

Kształtowanie architektury proekologicznej – budownictwo z surowej ziemi.

Realizacja i eksploatacja doświadczalnego budynku w Parku Ekologicznym w Pasłęku

Creation of pro-ecological architecture – raw earth constructions

Realisation and operation of an experimental building in the Ecological Park in Pasłęk

Streszczenie

Wśród działań na rzecz zrównoważonego rozwoju, ekologii, oszczędności energii, istotne jest tworzenie proekologicznej architektury. Jednym z nurtów współczesnej architektury jest stosowanie technologii wynikających z tradycji. Praktycznym przykładem takiego działania jest realizacja doświadczalnego budynku wzniesionego z użyciem technologii surowej ziemi (ziemia ubijana w szalunkach, ziemne bloczki prasowane i bloczki słomiano-gliniane), zlokalizowanego w Parku Ekologicznym w Pasłęku. Projekt opracował zespół autorski z Wydziału Architektury P.W. Budynek został oddany do użytku w 2012 r. Realizacja budynku miała na celu zademonstrowanie metod wznoszenia budynku z surowej ziemi, a następnie umożliwienie badań i obserwacji dotyczących zachowania się konstrukcji w czasie eksploatacji. Budynek pomyślany został jako energooszczędny z możliwością pozyskiwania energii słonecznej metodą pasywną. Zastosowano także dach pokryty zielenią ekstensywną. W artykule przedstawione są założenia projektowe, opis realizacji i rezultaty wizji lokalnych w czasie eksploatacji.

Summary

Among the measures for sustainable development, ecology and energy saving, it is important to create a pro-ecological architecture. One of the trends in contemporary architecture is the use of traditional technologies. A practical example of such action is the construction of an experimental building erected with the use of raw earth technology (rammed earth in formwork, earth pressed blocks and straw-clay blocks), located in the Ecological Park in Pasłęk.

The project was developed by a team of authors from the Faculty of Architecture at the Warsaw University of Technology. The building was commissioned in 2012.

The aim of erecting of this building was to demonstrate the construction methods of raw earth and then to enable research and observation on the behavior of the structure during operation. The building was designed as an energy-saving building with the possibility of obtaining solar energy using the passive method. A roof covered with extensive greenery was also used.

The article presents the design assumptions, the description of the implementation and the results of site inspections during the operation.

Słowa kluczowe: technologie surowej ziemi, ekologia, energooszczędność

Key words: raw earth technologies, ecology, energy efficiency

1. Wstęp

Wśród działań na rzecz zrównoważonego rozwoju, ekologii, oszczędności energii, istotne jest tworzenie proekologicznej architektury. Jednym z nurtów współczesnej architektury jest stosowanie technologii wynikających z tradycji. Wykorzystując plusy tradycyjnych technologii – naturalny, na ogół lokalny materiał, logikę budowania uwzględniającą cechy używanych materiałów – współczesne rozwiązania muszą uwzględniać aktualne wymagania określone w przepisach i normach. Mogą także wykorzystywać efekty postępu technicznego w dziedzinie technologii budowlanych wspomagające wybraną tradycyjną technologię.

W tym nurcie występują takie technologie, jak różne rozwiązania z użyciem surowej ziemi, budynki ze ścianami z balotów słomianych, budynki o konstrukcji drewnianej uzupełnianej elementami drewnopochodnymi oraz wykorzystanie różnych materiałów przetworzonych w procesie recyklingu.

Główną cechą technologii ziemnych jest użycie materiału lokalnego (ograniczenie transportu), niskoenergochłonnych metod przetwarzania (elementy nie są wypalane) i racjonalnego wznoszenia obiektów. Dlatego budownictwo z ziemi było stosowane powszechnie w różnych miejscach na ziemi od zarania dziejów budownictwa. Fragmenty obiektów z suchymi na słońcu cegieł w Egipcie czy Mezopotamii wzniesione kilka tysięcy lat temu istnieją do dzisiaj. Na ogół technologie ziemne wiążane są z gorącym klimatem ale przykłady obiektów z ubijanej ziemi występujące na terenach alpejskich o ostrym klimacie pokazują, że takie budynki mogą być realizowane także na innych terenach. Przykładem historycznym z terenu Polski może być pałac z XVIII wieku w Tarchominie pod Warszawą ze ścianami z ziemi ubijanej w szalunkach. Istnieją także budynki o drewnianej konstrukcji szkieletowej wypełnianej masą ziemną lub suchymi cegłami.

Podstawowe techniki z użyciem ziemi można podzielić na wymienione poniżej grupy [3].

a. Struktury monolityczne:

– ziemia modelowana – lepiąca bezpośrednio, tak jak ceramika,

– ziemia układana – bryły ziemi piętrowe i kształtowane bez szalunku,

– ziemia ubijana – w szalunkach lub w formach,

b. Struktury z elementów:

– ziemia formowana – wyrabiana w ręku lub w formach, w postaci cegieł i bloczków,

– ziemia prasowana – bloczki ubijane lub prasowane w formach,

c. Struktury złożone:

– ziemia wypełniająca – sypana między elementy nośne (mury warstwowe),

– ziemia nakładana – dopełniająca strukturę nośną.

Z powyższego podziału widać, że techniki ziemne mogą być stosowane w elementach nośnych lub być wypełnieniem konstrukcji z innych materiałów. Ze względu na funkcję skład mieszanek ziemnych różni się proporcjami składników, piasku, żwiru, gliny, dodatków organicznych np. słomy czy innych włókien. Masa ziemna do techniki układanej, wypełniającej, nakładanej powinna być plastyczna, piaszczysta,

1. Introduction

Among the actions for sustainable development, ecology, energy efficiency, it is important to create pro-ecological architecture. One of the trends of contemporary architecture is the use of traditional technologies. Benefiting from their advantages – use of natural, usually local materials, logical construction methods arising from the characteristics of such materials – contemporary solutions must take into account the current requirements set out in regulations and norms. They can also exploit the effects of technological progress in the field of building technologies to support the selected traditional technology.

Technologies such as various raw earth solutions, buildings with straw bale walls, wooden structures supplemented by wood-based elements and the use of different recycled materials are all part of this trend.

The main feature of earth technologies is the use of local material (reduction of transport), low-energy processing methods (elements are dried not burned) and rational construction methods. That is why earth-based construction has been widely used in various places on earth since the early days of construction. Fragments of buildings from sun-dried bricks in Egypt or Mesopotamia erected several thousand years ago still exist today. Generally earthen technologies are associated with hot climate, but examples of rammed earth buildings existing in alpine areas with severe climate show that this type of constructions may be situated in other places. Historical examples from area of Poland may be the palace from XVIII c. in Tarchomin close to Warsaw, with rammed earth walls. There are also buildings with wooden frames filled with adobe or dried bricks.

Basic earthen techniques can be divided into the following groups.

monolithic structures:

modelled earth, similar to ceramic shaping,

built-up earth without formwork,

rammed earth with formwork

structures from elements:

earth formed in hand or in forms of bricks and blocks

blocks pressed in forms,

compound structures:

earth filling sandwich walls,

earth supplementing load-bearing structure.

Above listed techniques show that they may be used for load-bearing elements or for fill the structure made of other materials. Depending on function the composition of earth mixtures differs in the proportions of components, sand, gravel, clay, organic additives, e.g. straw or other fibres.

The earth mass for the laying and filling technique should be plastic, sandy, semi-fat (clay content), with the addition of cut fibres for greater cohesive-

* Dr inż. arch. Jerzy Górski, Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej / PhD Eng. Arch. Jerzy Górski, Faculty of Architecture of the Warsaw University of Technology, email: jurekg07@op.pl

** Dr inż. arch. Joanna Klimowicz, Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej / PhD Eng. Arch. Joanna Klimowicz, Faculty of Architecture of the Warsaw University of Technology, email: klij@poczta.onet.pl



Il. 1. Widok budynku od strony północnej. (fot. J. Górski) / View of the building from the northern side. (photo: J. Górski)
 Il. 2. Widok budynku od strony południowo-wschodniej. (fot. J. Górski) / View of the building from the southeast. (photo: J. Górski)

póttłusta (zawartość gliny), z dodatkiem pociętych włókien dla uzyskania większej spójności. Elementy nośne bardziej obciążone, wykonane jako ziemia ubijana w szalunkach lub bloczki prasowane w formach wymagają mieszanki ziemnej o mniejszej zawartości gliny z odpowiednią ilością piasku. Podstawą do budowlanych elementów ziemnych jest lokalna ziemia, głównie z wykopów fundamentowych, o różnym składzie. Przed decyzjami projektowymi i pracami wykonawczymi, trzeba ją zbadać i dokonać odpowiednich modyfikacji. Praktyczną próbą wzniesienia obiektu z użyciem technologii surowej ziemi (ziemia ubijana w szalunkach, ziemne bloczki prasowane i bloczki słomiano-gliniane, tynk ziemny) jest realizacja doświadczalnego budynku zlokalizowanego w Parku Ekologicznym w Pasłęku. Inicjatorką tego przedsięwzięcia była prof. dr hab. arch. Teresa Kelm z Wydziału Architektury Politechniki Warszawskiej. Pod jej kierownictwem działał zespół projektowy, w którego skład wchodził dr arch. Jerzy Górski i arch. Marek Kołtątaj, a przy zagadnieniach technologicznych współpracowała dr Dorota Długosz-Nowicka, która wykonała badania laboratoryjne. W opracowaniu Projektu Budowlanego uczestniczyli projektanci branżowi. Przygotowanie projektu i realizacja budynku stały się możliwe dzięki pozyskaniu przez zespół autorski grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2005 – 2008. Realizacja budynku miała na celu zademonstrowanie metod wznoszenia budynku z surowej ziemi, a następnie umożliwienie badań i obserwacji dotyczących zachowania się konstrukcji w czasie eksploatacji. Gmina Pasłęk zainteresowana od wielu lat tematyką ekologii, jak również propagowaniem idei budownictwa ekologicznego na swoim terenie, udostępniła działkę pod budowę. Finansowanie z grantu starczyło na wykonanie budynku w stanie surowym. W następnych latach prace były wykonywane dzięki pomocy sponsorów i zaangażowaniu władz Pasłęka. Budynek został oddany do użytku w roku 2012. Budynek jest administrowany przez zarząd Parku Ekologicznego i używany jako centrum informacyjne, dydaktyczne, wystawowe. Realizacja budynku była zwieńczeniem prowadzonego przez wiele lat przez prof. Teresę Kelm programu dydaktycznego dotyczącego budownictwa proekologicznego z zastosowa-

ness. More stressed load-bearing elements, made as rammed earth in formwork or pressed blocks in moulds, require a lower clay content earth mix with a sufficient amount of sand. The basis for building earth elements is the local soil, mainly from foundation excavations, with different components compositions. It shall be examined and modified as appropriate before design decisions and implementation work are carried out. A practical attempt to erect an object with the use of raw earth technology (rammed earth in formwork, earth pressed blocks and straw clay blocks, earth plaster) is the construction of an experimental building located in the Ecological Park in Pasłęk. The initiator of this undertaking was prof. dr hab. arch. Teresa Kelm from the Faculty of Architecture of the Warsaw University of Technology. Under her leadership, there was a project team consisting of arch. Jerzy Górski, PhD and arch. Marek Kołtątaj, and Dorota Długosz-Nowicka, PhD, who cooperated on technological issues and carried out laboratory tests. Structures and installations designers participated in the preparation of the Construction Design. Preparation of the project and construction of the building became possible thanks to the author's team obtaining a grant from the Ministry of Science and Higher Education in the years 2005 – 2008. The aim of this building realization was to demonstrate the methods of erecting the building from raw earth and then to enable research and observation on the behavior of the structure during its exploitation. The municipality of Pasłęk, which has been interested in ecology for many years, as well as in promoting the idea of ecological construction in its area, has made the plot available for construction. Financing from the grant was sufficient for the construction of the building without finishing elements. In the following years the work was carried out with the help of sponsors and the involvement of the authorities of Pasłęk. The building was com-

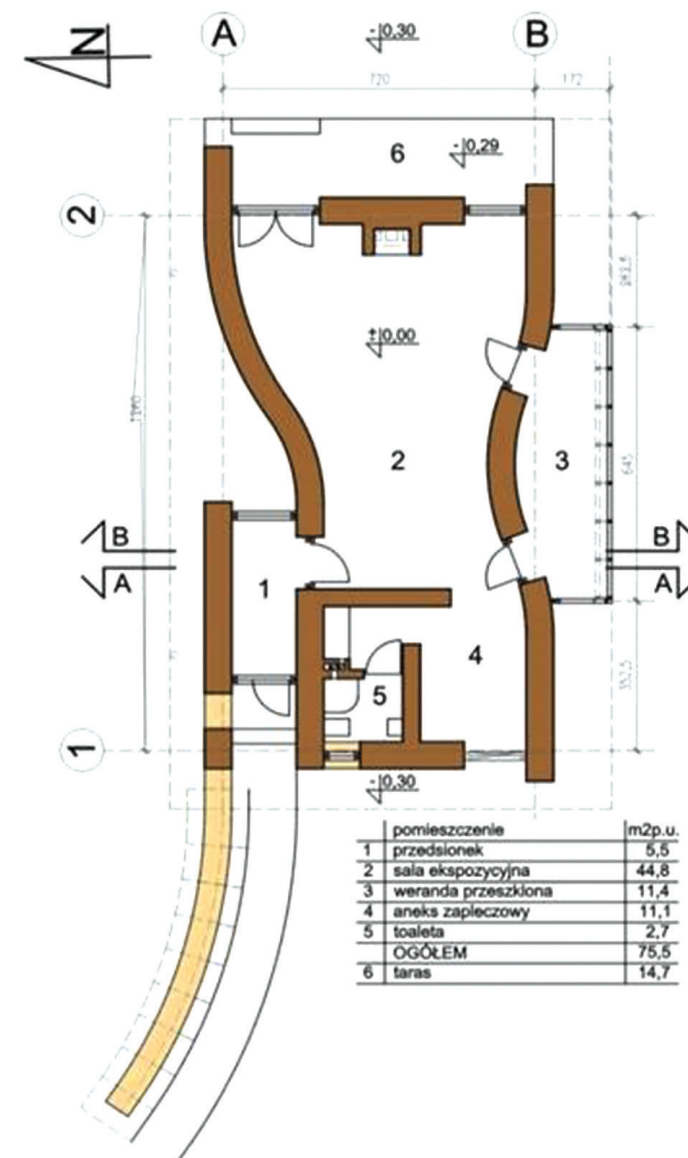
niem technologii surowej ziemi realizowanego w postaci seminariów, zajęć praktycznych, warsztatów, wizji lokalnych na budowie.

Realizacja budynku eksperymentalnego w Pasłęku spotkała się z zainteresowaniem w środowisku naukowym i architektonicznym związanym z budownictwem ekologicznym. Informacje były prezentowane na konferencjach tematycznych w kraju i za granicą. Budynek otrzymał nagrodę *Outstanding Earthen Architecture in Europe* za rok 2011. Nagrodę za projekt i nowatorską metodę realizacji przyznało międzynarodowe jury działające w ramach programu unii Europejskiej „Terra (In)cognita”.

2. Założenia projektowe i szczegóły realizacyjne

W projekcie zastosowano rozwiązania pozwalające na energooszczędność zarówno na etapie realizacji, jak i eksploatacji. Zastosowano technologię ziemi ubijanej w szalunkach do ścian konstrukcyjnych i zewnętrznych wykorzystując ziemię z wykopów na działce (ograniczenie kosztów transportu materiałów budowlanych). Ich uzupełnieniem wewnętrznym jest warstwa wzniesiona z bloczków słomiano-glinianych i izolacji

Il. 3. Rzut budynku eksperymentalnego w Pasłęku – fragment projektu koncepcyjnego. Widoczny układ funkcjonalny wnętrza. Jednym z celów eksperymentu było wykonanie ścian z ubijanej ziemi w układzie nieortogonalnym. Taki opływowy kształt ścian miał także wpływ na formę architektoniczną budynku.
 Il. 3. Plan of the experimental building in Pasłęk – part of the conceptual design. Displayed functional layout of the interior. One of the aims of the experiment was to make rammed earth walls in a non-orthogonal shape. Such shape of the walls also influenced the architectural form of the building



missioned in 2012. The building is administered by the management of the Ecological Park and used as an information, educational and exhibition centre. The construction of the building was the culmination of Professor Teresa Kelm's many years-long didactic programme on ecological construction with the use of raw earth technology, carried out in the form of seminars, practical classes, workshops and local inspections on the construction site. The construction of the experimental building in Pasłęk met with interest in the scientific and architectural environment related to ecological construction. The information was presented at thematic conferences in Poland and abroad. The building was awarded by an international jury of the European Union's Terra (In)cognita programme for design and innovative implementation and received the Outstanding Earthen Architecture in Europe Award in the year 2011.

2. Design assumptions and implementation details

In the project, energy-efficient solutions were applied during both the implementation and the operational phases. The technology of rammed earth in the formwork was applied to the structural and external walls using the soil from the excavations on the plot (reduction of the costs of transport of construction materials). They are supplemented with an internal layer built of straw-clay blocks and thermal insulation. The partition walls are made of pressed earth blocks. It is possible to obtain solar energy using the passive method by adding a glass veranda from the southern side.

2.1. Spatial and functional characteristics of the building

The building has an irregular plan within the shape of a rectangle measuring about 13x7,5 m and has a maximum height of 4,8 m. It was located in the south-eastern corner of a plot of land with an area of about 1 ha – a flat meadow – located at the entrance to the Ecological Park which is used in the summer as a place where outdoor events are organized. In order to achieve the energy-optimal surface area of the facades, the longer axis of the building is located in the east-west direction. The facade with the largest surface area and the largest number of glazings is on the southern side, the facade is smaller and has no openings on the northern side. The building is detached, one-storey, without basement and is roofed by a single pitched, north-facing roof covered with extensive greenery.

The main entrance to the building is located on the western side. It leads through the vestibule to the one-spatial didactic and exhibition hall located in the eastern part of the building and connected through two glass doors with a large fully glazed

termicznej a ściany działowe wykonane są z bloczków ziemnych prasowanych. Przewidziano możliwość pozyskiwania energii słonecznej metodą pasywną, poprzez dobudowaną przeszkloną werandę od strony południowej.

2.1. Charakterystyka przestrzenna i funkcjonalna budynku
Budynek ma nieregularny rzut wpisujący się w kształt prostokąta o wymiarach ok. 13x7, 5m i ma wysokość maksymalną 4,8 m. Został zlokalizowany w południowo-wschodnim narożniku działki o pow. ok. 1 ha – płaskiej łąki – położonej przy wjeździe na teren Parku Ekologicznego i wykorzystywanej w okresie letnim jako miejsce, na którym organizowane są imprezy plenerowe. W celu uzyskania optymalnych ze względów energetycznych powierzchni fasad w relacji do stron świata, dłuższą oś budynku usytuowano zgodnie z kierunkiem wschód-zachód. Elewacja o największej powierzchni i z największą ilością przeszkleń jest od strony południowej, elewacja mniejsza i pozbawiona otworów usytuowana od strony północnej. Budynek jest wolnostojący, parterowy i nie podpiwniczony przekryty nachylonym w kierunku północnym jednospadowym stropodachem pełnym, pokrytym zielenią ekstensywną. Główne wejście do budynku zlokalizowano od strony zachodniej. Prowadzi ono poprzez przedsionek do jednoprzestrzennej sali dydaktyczno-ekspozycyjnej usytuowanej we wschodniej części obiektu i połączonej przez dwoje szklanych drzwi z dużą całkowicie przeszkloną werandą umiejscowioną w obrębie fasady południowej. Sala połączona jest z tarasem zewnętrznym zlokalizowanym wzdłuż wschodniej elewacji budynku i z częścią gospodarczą (aneks kuchenny, toaleta) położoną w zachodniej części. Powierzchnia zabudowy całego budynku wynosi 105 m², powierzchnia użytkowa 75.5 m², a kubatura 250 m³.

2.2. Rozwiązania budowlane

Posadowienie budynku stanowią ławy i ściany fundamentowe wykonane z betonu zbrojonego prętami stalowymi i izolowane termicznie wkładkami ze styropianu, a przeciwwilgociowo papą i lepikiem. Biorąc pod uwagę konieczność zabezpieczenia masy ziemnej ścian przed wodą i wilgocią gruntową, ściana nadziemna wyniesiona jest na ok. 50cm nad poziomem gruntu i oparta na podmurówce betonowej wykończonej kamieniem naturalnym.

Ściany zewnętrzne zaprojektowano i wykonano jako przegrody trójwarstwowe. Warstwę nośną stanowią usytuowane od zewnątrz budynku ściany monolityczne z ziemi ubijanej w szalunkach, z użyciem ubijaka pneumatycznego. Surowcem do wykonania ścian była ziemia pozyskiwana z wykopów na terenie działki, uzupełniona – w celu uzyskania mieszanki spełniającej wymagania techniczne dla tego typu elementów – dodatkami modyfikacyjnymi w postaci piasku, lub żwiru. Ponadto, ze względu na kontakt ścian z wilgocią z powietrza, dodano do masy ziemnej stabilizatora – 6 do 8 % cementu wagowo. Warstwę nośną zwieńczono żelbetowym wieńcem z kotwami do mocowania murałów (konstrukcji dachu). Warstwa przegrody usytuowana od strony wewnętrznej wykonana została z bloczków z ubijanej ręcznie masy gliniano-słomianej, a szczelina pomiędzy warstwami wypełniona miała być zasypką celulozową

veranda located within the southern facade. The main room is connected with the external terrace located along the eastern elevation of the building and with the utility part (kitchenette, toilet) located in the western part. The development area of the whole building is 105 m², usable area 75.5 m² and cubic capacity 250 m³.

2.2. Construction solutions

The foundations of the building are benches and foundation walls made of reinforced concrete and thermally insulated with foamed polystyrene inserts, and damp-proof with bitumen membrane and adhesive. Taking into account the necessity of protecting the earth mass of the walls against water and ground dampness, the aboveground wall is elevated about 50 cm above the ground level and supported by a concrete foundation finished with natural stone.

The external walls are designed and constructed as three-layer partitions. The load-bearing layer is situated outside in form of rammed earth monolithic walls compacted in formwork using a pneumatic compactor. The raw material for the construction of the walls was soil obtained from excavations within the plot of land, supplemented – in order to obtain a mixture meeting the technical requirements for this type of elements – with modification additives like sand or gravel. Moreover, due to the contact of the walls with the air moisture, a stabiliser – 6 to 8 % by weight of cement – was added to the earth's mass. The load-bearing layer is topped off with a reinforced concrete ring beam with anchors for fixing the wall plates (roof structure). The internal layer of the partition was made of blocks made of clay and straw compacted mass, and the gap between the layers was to be filled with cellulose backfill (Ecofiber) replaced by mineral wool due to the price. Mineral wool is also used to insulate the roof. The inner blocks are finished with earth plaster to regulate the humidity of the interior or have a natural surface impregnated with varnish in order to stop the material from chipping. Partition walls are made of blocks made of pressed earth without any additional finishing. The floors on the ground were damp insulated with bitumen membrane laid on the underlay concrete and thermally with polystyrene. A floor layer made of cement screed was also made. A broken stone slab floor with concrete subfloor is a thermal accumulation mass. The unconventional order of external wall layers (rammed earth load-bearing layer as external one) was dictated by research considerations – verification of the influence of climatic factors (humidity from the air) on the earth mass and of water vapour permeation through the partition layers, determination of the dew-point, etc. It was assumed that the external surface of the compacted earth wall would be left without any finishing, as a natural illustration of

(Ekofiber) zastąpioną ze względu na cenę wełną mineralną. Wełnę zastosowano również do izolacji stropodachu. Bloczki wewnętrzne są wykończone tynkiem ziemnym dobrze regulującym wilgotność wnętrza lub mają naturalną powierzchnię zaimpregnowaną lakierem w celu zahamowania wykruszania się materiału. Ściany działowe wykonane zostały z bloczków z ziemi prasowanej bez dodatkowego wykończenia.

Podłogi na gruncie, zaizolowane zostały przeciwwilgociowo papą układaną na podkładowym betonie a termicznie styropianem. Wykonano także warstwę podposadzkową z jastrychu cementowego. Posadzka z łamanymi płyt kamiennymi wraz z podkładem betonowym stanowi termiczną masę akumulacyjną.

Niekonwencjonalna kolejność warstw ścian zewnętrznych (konstrukcyjna z ziemi ubijanej od zewnątrz budynku) podyktowana została względami badawczymi – sprawdzeniem wpływu czynników klimatycznych (wilgoć z powietrza) na ubitą masę ziemną i na przenikanie pary wodnej przez poszczególne warstwy przegrody, ustalenie punktu rosy itp. Założono przy tym pozostawienie zewnętrznej powierzchni ściany z ziemi ubijanej bez wykończenia, jako naturalną ilustrację nietypowej technologii. Ściany zewnętrzne powyżej poziomu górnej krawędzi otworów okiennych zrealizowano jako ściany szkieletowe drewniane, izolowane wełną mineralną z paroizolacją od wewnątrz, wiatroizolacją od zewnątrz i deskowaniem z obu stron.

Dach zrealizowany został jako stropodach pełny, pulpitowy z murałami, płatwiami i krokwiami drewnianymi. Płatw w obrębie werandy wzmocniono strukturą prętowo-cięgową. Na dachu ułożono warstwę roślinności tundrowej odpornej na trudne czynniki atmosferyczne. Dla zabezpieczenia ścian z ubijanej ziemi przed bezpośrednim działaniem wody opadowej okap dachu wysunięto z linii ścian na odległość nie mniejszą niż 80 cm. Woda deszczowa odprowadzona jest z dachu rynną wzdłuż północnej krawędzi okapu i przez dwa łańcuchy spustowe do studzienek chłonnych.

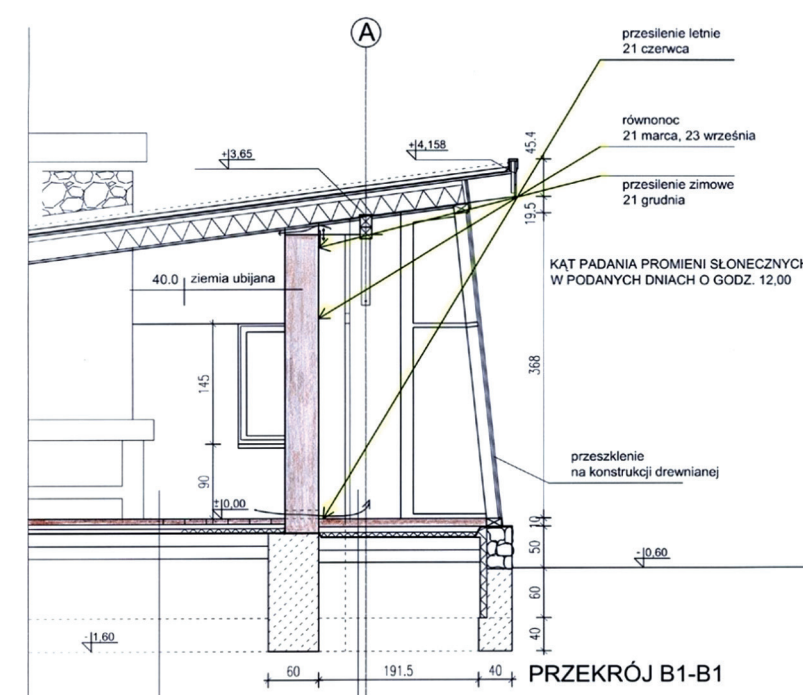
Werandę wykonano jako całkowicie przeszkloną, w konstrukcji drewnianej, ze ścianą południową pochyłą. Oddzielona jest

an unusual technology. It was designed to leave the external surface of the compacted earth wall without any finishing, as a clear illustration of an atypical technology. External walls above the window openings are made as wooden frame walls, insulated with mineral wool with internal vapour-barrier insulation, external wind-barrier insulation and wooden boarding on both sides. The roof is a single pitched, with wooden wall plates, purlins and rafters. The purlin within the veranda is reinforced with a steel tension bars. A layer of weather-resistant tundra greenery was laid on the roof. In order to protect the rammed earth walls from direct rainwater, the roof eaves were extended from the wall line at a distance of not less than 80 cm. Rainwater is discharged from the roof by a gutter along the northern edge of the eaves and through two drain chains to the absorption wells. The fully glazed veranda with wooden construction, has a southern sloping wall. It is separated from the main room by a thick, non-thermally insulated accumulation wall made of compacted earth and connected by two glass doors.

The windows and exterior doors are made of wood. The building has a sewerage system, cold and hot water, and electricity. The main source of heating is a free-standing wood-burning cast iron fireplace. Additionally, sockets for electric radiators are provided.

2.3. Energy performance of building components using raw earth technologies

The experimental building in Paślęk was designed in terms of space and materials so that the assumed construction solutions could be used for later analysis and research. At the design stage, theoretical calculations were carried out, which can later be compared with the achieved effects.



Il. 4. Przekrój przez werandę i ścianę akumulacyjną. Wysunięty okap ma za zadanie zacienienie ściany akumulacyjnej w okresie letnim / Cross-section through veranda and accumulation wall. The eave is designed to shade the accumulation wall during the summer

od głównego pomieszczenia grubą, nieizolowaną termicznie, ścianą akumulacyjną z ubijanej ziemi i przeszklonymi drzwiami. Okna i drzwi zewnętrzne są drewniane. Budynek posiada instalację kanalizacyjną, zimnej i ciepłej wody, elektryczną. Głównym źródłem ogrzewania jest wolnostojący kominek żelazny opalany drewnem. Dodatkowo przewidziane są gniazda na grzejniki elektryczne.

2.3. Charakterystyka energetyczna elementów budynku wykonanych w technologiach surowej ziemi

Eksperymentalny budynek w Pasłęku został zaprojektowany pod względem przestrzennym i materiałowym tak, by założone rozwiązania budowlane służyły późniejszej analizie i badaniom. Na etapie projektowania przeprowadzono teoretyczne obliczenia, które później można porównać z osiągniętymi efektami. Odniesiono się do przepisów i norm obowiązujących w okresie wykonywania projektu.

Poniżej pokazano cechy podstawowych materiałów ziemnych i izolacyjnych ścian zewnętrznych.

Współczynniki przewodności cieplnej [W/mK] materiałów użytych w ścianach wynosiły:

Masa ziemna ciężka (ściana ubijana w szalunkach) – 0,870

Masa ziemna lekka (bloczki słomiano – gliniane) – 0,350

Izolacja celulozowa (*Ekofiber*) / (wełna mineralna) – 0,040

Rozwiązania materiałowe pozostałych elementów budynku (stropodach, podłoga, przeszklenia) uzupełniają założenia i funkcjonowanie budynku dotyczące gospodarki energetycznej. Współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę U_0 ($1/R_t$) dla ściany zewnętrznej wyniósł **0,34 W/m²K**. Projektowany budynek zaliczony był do kategorii budynków użyteczności publicznej więc przewidywany współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę spełniał ówczesne przepisy.

Istotną rolę w gospodarce energetycznej obiektu stanowi biernie wykorzystanie energii słonecznej. Zrealizowane to jest poprzez zastosowanie przeszklonej werandy od strony południowej, przeszklonych drzwi tarasowych oraz okien. Ilość energii słonecznej przenikającej do wnętrza w postaci promieniowania krótkofalowego zależy od wielkości przeszklenia i od rodzaju szyb w zestawie, szczególnie od rodzaju szyby zewnętrznej. Energia słoneczna akumulowana jest w ścianie z ubijanej ziemi (bez izolacji termicznej) między werandą i głównym pomieszczeniem oraz w posadzkach z materiałów dobrze akumulujących ciepło – kamień oraz w ścianach działowych z bloczków prasowanych. Zakumulowane ciepło jest zatrzymane we wnętrzu dzięki zastosowaniu szklenia podwójnego z szybą wewnętrzną niskoemisyjną i właściwościami izolacyjnymi przegród zewnętrznych.

Za pomocą obliczeń przebadano wpływ przestrzeni pozyskującej ciepło (weranda). Zakres teoretycznego opracowania, według obowiązujących wówczas przepisów, obejmował:

- Sporządzenie bilansu cieplnego i obliczenie wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń dla trzech wariantów rozwiązania ściany południowej budynku w Pasłęku

- Określenie efektywności energetycznej zastosowanych w ww. budynku systemów wykorzystania promieniowania słonecznego

The characteristics of the basic earth and insulating materials of external walls are presented below. The thermal conductivity coefficients of [W/mK] of the materials used in the walls were as follows: Heavy earth (for rammed earth in formwork) – 0,870

Light weight (straw and clay blocks) – 0,350

Cellulose insulation (Eco-fibre)/(Mineral wool) -0,040

Building material solutions of the other elements (ceilings, floor, glazing) complement the design's assumptions concerning energy efficiency. The coefficient of heat transfer through the partition for the external wall – U_0 ($1/R_t$) – was 0.34 W/m²K. The designed building was classified as a public utility building, so the expected heat transfer coefficient through the partition complied with the regulations of that time. A significant role in the energy management of the object is the passive use of solar energy. This is achieved by using a glass veranda on the south side, glazed terrace doors and windows. The amount of solar energy penetrating into the room in the form of short wave radiation depends on the size of the glazing and the type of glass in the set, especially the type of external glass. Solar energy is stored in the compacted earth wall (without thermal insulation) between the veranda and the main room and in floors made of materials that well store heat – stone and in partition walls made of pressed blocks. The stored heat is retained in the interior by the use of double glazing with low-emission internal glazing and insulating properties of the external partitions.

The influence of the space obtaining heat (veranda) was studied using calculations. The scope of the theoretical study, according to the regulations in force at the time, included:

- preparation of the thermal balance and calculation of the index of seasonal heat demand

- for space heating for the three variants of the southern wall solution of the building in Pasłęk 2. determination of energy efficiency of the solar systems applied in the building.

The thermal balance was prepared in accordance with the algorithm contained in Annex G to Polish Standard PN-B-02025:1999 (item 3), supplemented by a module calculating heat losses from floor at ground level (according to ITB Instruction (item 5)). The calculations were made using the UbE computer software, which was based on this algorithm. The efficiency of the use of solar heat (veranda and south-eastern windows) obtained by the building was calculated using the PREFEN 1.0 program owned by the Faculty of Architecture of the Warsaw University of Technology (the calculations were made by arch. Paulina Gawrońska from the sub department of Building Physics).



Il. 5. Wykonywanie ściany z ziemi ubijanej w szalunkach, 2007. Ściana krzywoliniowa, szalunki z desek pionowych. (fot. J. Górski) / Making a rammed earth wall in formwork, 2007. Wall is curved, formwork out of vertical planks. (photo: J. Górski)



Il. 6. Pomiar zewnętrzny przy pomocy kamery termowizyjnej 2017 (fot. J. Górski) / External measurement with thermovision camera, 2017 (photo: J. Górski)

- Bilans cieplny sporządzono zgodnie z algorytmem zawartym w załączniku G do Polskiej Normy PN-B-02025:1999 /pkt 3/, uzupełnionym o człon obliczający straty ciepła przez posadzkę parteru posadowioną na gruncie (wg Instrukcji ITB /pkt 5/). Obliczenia przeprowadzono przy pomocy programu komputerowego UbE, opartego na wspomnianym algorytmie.

- Skuteczność wykorzystania pozyskanego przez budynek ciepła z energii słonecznej (weranda i południowo wschodnie okna) obliczono przy pomocy programu PREFEN 1.0 będącego własnością Wydziału Architektury PW (obliczenia wykonała arch. Paulina Gawrońska z Pracowni Fizyki Budowli i Instalacji).

3. Realizacja budynku

Stan surowy budynku został wykonany przez firmę BTE Jurkiewicz, produkującą w okolicy bloczki słomiano-gliniane, eksportowane na Zachód. Bloczki takie zastosowano w zewnętrznej ścianie warstwowej omawianego budynku. Bloczki prasowane użyto do ścian działowych. Elementy wykończenia i wyposażenie zrealizowane zostały przez zarząd Parku Ekologicznego. Warstwa konstrukcyjna ściany z ubijanej w szalunkach ziemi została usytuowana na zewnątrz. Masa ziemna była pozyskiwana z wykopów na terenie działki, odpowiednio zmodyfikowana dodatkami (piasek, żwir) i ubijana w szalunkach przy pomocy młota pneumatycznego. Zaprojektowanie ścian krzywoliniowych w rzucie miało na celu sprawdzenie możliwości wykonawczych wybranej technologii. Możliwości finansowe pozwalały tylko na użycie najprostszych szalunków z desek, z tym, że odcinki proste zaszalowano deskami poziomymi a linię falistą uzyskano mocując deski pionowe do krzywoliniowej konstrukcji nośnej szalunków.

Na zewnętrznej powierzchni ścian widoczne są ślady szalunków, ślady ubijania warstwami ok. 10 cm oraz poziome linie styku co ok. 1 m związane z przerwami technologicznymi. Re-alizowano ściany odcinkami kontynuując nową część na styk z uprzednio wykonaną. Widoczne są pionowe linie styku między tymi odcinkami. Ze względu na stabilizację ścian w czasie, wysychanie masy ziemnej i naturalny skurcz, szczeliny styków powiększyły się ale nie ma to wpływu na stabilność konstrukcji i szczelność przegrody.

3. Construction of a building

The construction works was made by the firm BTE Jurkiewicz, a company producing nearby straw and clay blocks, exported to the West. Such blocks were used in our building in the external wall as an internal layer. Compressed blocks were used for partition walls. Finishing elements and equipment were implemented by the management of the Ecological Park.

The structural layer of the wall made of rammed earth is located as outside layer. The earth mass was extracted from excavations within the building site, modified with additives (sand, gravel) and compacted in the formwork with a pneumatic hammer. Designing curvilinear walls was aimed at checking the feasibility of the chosen earthen technology. The financial possibilities allowed only for the use of the simplest formwork made of boards, however, the straight sections were lined with horizontal boards and the curved line was obtained by fixing the vertical boards to the curvilinear structure supporting the formwork. The outer surface of the walls shows traces of formwork, traces of slamming in layers of approx. 10 cm and horizontal contact lines at intervals of approx. 1 m due to technological breaks. The walls were constructed in sections, continuing the new part butting with the previously made part. The vertical contact lines between these sections are visible. Due to the stabilization of the walls over time, drying out of the earth and natural shrinkage, the contact slots have increased but this does not affect the stability of the structure and the tightness of the partition.

The building was subject to local inspections during its execution and operation by the design team and other persons from the Faculty of Architecture of the Warsaw University of Technology. The behaviour of building elements was observed. There are no signs of uneven settling, i.e. the dimensions and structure of the foundations are correct. The

Budynek był obiektem wizji lokalnych w czasie realizacji i eksploatacji przeprowadzonych przez zespół projektowy i inne osoby z Wydziału Architektury PW. Obserwowano zachowanie się elementów budowlanych. Nie widać żadnych oznak nierównomiernego osiadania czyli gabaryty i konstrukcja fundamentów jest poprawna. Widoczna część cokołowa obłożona kamieniem jest w bardzo dobrym stanie. Powyżej cokołu ściana z ubijanej ziemi nie wykazuje żadnych negatywnych efektów oddziaływania czynników klimatycznych. Sprawdziła się zasada ochrony masy ziemnej przed wilgocią – ściana wyniesiona powyżej cokołu i ostonięta okapem przed bezpośrednim działaniem wody opadowej.

Wizje lokalne w 2017 roku poza problemami budowlanymi brały pod uwagę także zagadnienia mikroklimatu wewnętrznego, izolacyjności przegród i gospodarki energetycznej. Pomiarzy były wykonywane w różnych okresach roku (warunki letnie, późno jesienne).

Badania poligonowe wykonywane były w następującymi metodami:

– badanie kamerą termowizyjną przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne, zidentyfikowanie ewentualnych mostków cieplnych,

– na zewnątrz budynku – mierzenie temperatury, wilgotności, nasłonecznienia, prędkości wiatru,

– wewnątrz – mierzenie temperatury i wilgotności powietrza, Budynek użytkowany jest w różnorodny sposób od ponad 6 lat.

Ważna jest bezpośrednia opinia użytkowników, według której klimat wewnętrzny jest bardzo przyjazny. W okresie grzewczym jako źródło ciepła wystarczał kominek opalany drewnem. Masywne ściany i posadzka stanowiły dobry akumulator ciepła a bufor cieplny w przeszklonej werandzie akumulował ciepło w słoneczne dni i uzupełniał ogólny bilans cieplny.

LITERATURA

- [1] Aigner P., *Budownictwo wiejskie z cegły glino-suszzonej z plantami chałup wiejskich*, Drukarnia Piotra Zawadzkiego, Warszawa 1791.
- [2] Kelm T. – *Architektura ziemi – tradycja i współczesność*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996, 2014
- [3] Kelm T., Długosz-Nowicka D. – *Budownictwo z surowej ziemi. Idea i realizacja*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [4] Kelm T., Długosz-Nowicka D. – *Realizacja budynku eksperymentalnego. Właściwości fizyczne i mechaniczne elementów próbných z ziemi*. *Energia i Budynek*, nr 7/2010, s.16 – 22
- [5] Laskowski L. – *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [6] Laskowski L. – *Kompendium podstaw budownictwa energoefektywnego z elementami ekoprojektowania*, POLen Sp.z o.o., 2017
- [7] Minke G. – *Earth Construction Handbook: The Building Material Earth in Modern Architecture*, Wit Press, 2000
- [8] www.ziemna.webs.com, (dostęp 03.2018)
- [9] www.culture-terra-incognita.org, (dostęp 03.2018)

visible, stone-covered plinth is in a very good condition. Above the plinth a wall made of compacted earth does not show any negative effects of climatic factors. The principle of protecting the earth from moisture – the wall raised above the plinth and protected from direct rainfall by eaves – has proved its worth.

Site inspections in 2017, apart from construction problems, also took into account the issues of internal microclimate, insulating quality of partitions and energy management. The measurements were carried out at different times of the year (summer, late autumn). Field tests were carried out in the following methods:

– examination of heat transfer through external partitions with thermovision camera for identification of possible thermal bridges,

– outside the building, measuring temperature, humidity, insolation, wind speed,

– inside – measuring air temperature and humidity.

The building has been used in various ways for over 6 years. Direct feedback from users is important, as it shows that the internal climate is very comfortable. During the heating period, a wood-burning stove was sufficient as a source of heat. Solid walls and flooring were a good heat accumulator and the heat buffer in the glass veranda accumulated heat on sunny days and supplemented the overall heat balance.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Aigner P., *Budownictwo wiejskie z cegły glino-suszzonej z plantami chałup wiejskich*, Drukarnia Piotra Zawadzkiego, Warszawa 1791.
- [2] Kelm T. – *Architektura ziemi – tradycja i współczesność*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996, 2014
- [3] Kelm T., Długosz-Nowicka D. – *Budownictwo z surowej ziemi. Idea i realizacja*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [4] Kelm T., Długosz-Nowicka D. – *Realizacja budynku eksperymentalnego. Właściwości fizyczne i mechaniczne elementów próbných z ziemi*. *Energia i Budynek*, nr 7/2010, s.16 – 22
- [5] Laskowski L. – *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [6] Laskowski L. – *Kompendium podstaw budownictwa energoefektywnego z elementami ekoprojektowania*, POLen Sp.z o.o., 2017
- [7] Minke G. – *Earth Construction Handbook: The Building Material Earth in Modern Architecture*, Wit Press, 2000
- [8] www.ziemna.webs.com, (access: 03.2018)
- [9] www.culture-terra-incognita.org, (access: 03.2018)