

Filip Suchoń\*

orcid.org/0000-0002-3098-0025

## Stacja transformatorowa „Mogila”. Nieznany ślad tajnego eksperymentu

### “Mogila” Transformer Station: An Unknown Trace of a Secret Experiment

**Słowa kluczowe:** Twierdza Kraków, zabytki techniki i inżynierii, dziedzictwo poprzemysłowe

**Keywords:** Cracow Fortress, engineering monuments, post-industrial heritage

#### Wprowadzenie

Do podjęcia tematu skłoniło autora zapoznanie się ze zbiorem archiwalnych fotografii, wykonanych w roku 1915 na terenie dawnej Twierdzy Kraków przez krakowską Dyрекcję Inżynierii. Zbiór ten dokumentuje m.in. realizację betonowego schronu, opisanego jako „bomboodporną stacją transformatorową dla elektrycznej przeszkody drutowej”<sup>1</sup>. Był to zatem intrygujący sygnał istnienia obiektu o znaczeniu strategicznym, nieznanego do tej pory badaczom i nieobecnego w literaturze przedmiotu, będącego strukturalnym elementem zaawansowanej technicznie zapory inżynierskiej. Dzięki kwerendzie archiwalnej autor odtworzył okoliczności i założenia systemu urządzeń i instalacji, w ramach których zrealizowano obiekt. Ustalona została jego nazwa własna oraz data powstania<sup>2</sup>. Możliwe było również odnalezienie zachowanego obiektu w terenie i dokonanie wstępnych pomiarów inwentaryzacyjnych podczas wizji lokalnej. Celem artykułu jest opisanie badań i przybliżenie ich wyników.

#### Stan badań

W literaturze przedmiotu poświęconej Twierdzy Kraków opracowania mają na ogół charakter przekrojowy i syntetyczny, traktują przede wszystkim o fortyfikacjach austro-węgierskich czy o całościowo ujętej hi-

#### Introduction

The author decided to explore this subject after familiarizing himself with a set of archival photographs made on the former Cracow Fortress's grounds in 1915 by the Cracow-based Engineering Directorate. This collection documents, among others, the construction of a concrete shelter described as a “bomb-proof transformer station for an electrical wire obstacle.”<sup>1</sup> It was thus an intriguing signal of the existence of a building that had been unknown to scholars and without a presence in the literature, one of strategic significance and a structural element of a technologically advanced engineering barrier.

Based on an archival query, the author recreated the circumstances and assumptions of an entire system of devices and installations that the building in question had been a part of. The author determined the given name of the building and its precise construction date.<sup>2</sup> It was also possible, based on archival documentation, to find the surviving building in the field and perform initial building survey measurements during a site visit.

The objective of this paper is to provide an overview of the author's research and its findings.

#### State of research

The literature on the Cracow Fortress contains items that are largely cross-sectional and synthetic, primarily

\* dr inż. arch., Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej

\* Ph.D. Eng. Arch., Faculty of Architecture of the Cracow University of Technology



Ryc. 1. Fragment planu fortyfikacji stałych i polowych w rejonie Mogiła, stan z 1915; oznaczono lokalizację schronów stacji transformatorowych, schronu stacji ochrony przeciwprzebieciowej, trasy linii napowietrznych i kablowych oraz przebieg pasa przeszkód; oprac. F. Suchoń.

Fig. 1. Fragment of permanent and field fortifications in Mogiła, as seen in 1915, with the completed transformer shelters, the overvoltage protection station, the overhead power and cable lines and the trace of the obstacle barrier marked; by F. Suchoń based on archival documentation.

storii twierdzy<sup>3</sup>. Natomiast zastosowanie przeszkód drutowych pod napięciem przywołane było jedynie zdawkowo<sup>4</sup>. Przystępując zatem do badań, autor musiał się oprzeć przede wszystkim na materiałach archiwalnych<sup>5</sup>, a także odwołać się do rozstrzygnięć teoretycznych i normatywów projektowych obecnych w podręcznikach z epoki<sup>6</sup>. Cennym dla głównego wątku

discussing Austro-Hungarian fortifications of the period or cover the history of the fortress in a holistic way.<sup>3</sup> The use of electrified wire obstacles was referenced only in passing.<sup>4</sup>

This meant that the author had to base his research primarily on archival materials<sup>5</sup> and reference theoretical solutions from period manuals and design standards.<sup>6</sup>

rozważań zbiorem informacji, traktującym o rozwoju technicznym i bojowym zastosowaniu przeszkód elektrycznych przez armię Austro-Węgier, jest międzywojenne opracowanie kapitana Romualda Bużkiewicza<sup>7</sup>. O częstym stosowaniu przeszkód elektrycznych w fortyfikacjach polowych w latach 1915–1916 wspomina Teodor Brosch<sup>8</sup>, a interesujące uzupełnienie stanowi album fotograficzny *Elektrotechnika podczas wojny* zawierający zdjęcia mobilnego sprzętu i wyposażenia oddziałów elektrotechnicznych<sup>9</sup>.

### Tłó – Twierdza Kraków

U progu pierwszej wojny światowej Twierdza Kraków była podzielona administracyjnie na 8 obwodów obronnych<sup>10</sup> i składała się z linii pierścienia<sup>11</sup>, tzw. drugiej linii<sup>12</sup> oraz rdzenia – *noyau*. Odgrywała rolę zaplecza magazynowego i podwójnego przyczółka mostowego na Wiśle, zapewniała też obszar manewrowy dla armii polowych i oparcie dla ewentualnej linii frontu<sup>13</sup>. Każdy z obwodów obronnych skupiał kilka sąsiadujących grup dzieł, których powiązanie pod względem taktycznym wynikało również z warunków terenowych. Na obsadę obwodu obronnego składały się załogi poszczególnych grup wzmocnione przez odpowiednio silny odwód, złożony z wszystkich broni.

Pierścień umocnień organizowano tak, by jego załogę bezpieczeństwa można było uczynić stosunkowo słabą i by jak największa jej część stanowiła główny odwód w dyspozycji komendanta twierdzy. Zasada ta prowadziła wprost do tworzenia grup przez obsadzenie jedynie tych części terenu, które w walce musiały odegrać najważniejszą rolę, zwłaszcza wzniesień, podczas gdy obniżenia terenu, nad którymi panowały, nie wymagały obsady. Każda grupa składała się więc z kilku stałych dzieł (fortów) i baterii, wydajnie ostrzeliwujących własne dalekie i bliższe przedpole, międzypola oraz – w sensie wsparcia ogniowego – również przedpola sąsiednich fortów<sup>14</sup>.

Pierścień z pozycjami wysuniętymi i rdzeń (*noyau*) zostały rozbudowane w pierwszych miesiącach mobilizacji w roku 1914. Stałe forty rozbrojono (z wyjątkiem dział tradytorowych, dział pod pancernem i dział do obrony fos) i przekształcono w punkty oporu piechoty. Poprzez wzmocnienie strukturalne części budowli, lub poprzez kawerny utworzone w bliskim sąsiedztwie, w większości przypadków zapewniono zakwaterowanie załogi alarmowej przebudowanych fortów, odporne na ostrzał najcięższej artylerii<sup>15</sup>. Międzypola zostały wypełnione przez polowe punkty oporu i polowe pozycje piechoty, wykonane w ziemi i drewnie. Wydrążone metodą górniczą kawerny z nadkładem 8–20 m częściowo znajdowały się w pobliżu pozycji pierścienia i były z nimi kryto połączone, po części wycofane w głąb (do 1 km), stworzone jako schrony dla rezerw grup, odcinków, a także rezerw obwodów obronnych. Przed pozycjami ustawiono co najmniej dwie, ale na ogół trzy strefy przeszkód z drutu stalowego (na żelaznych prętach zasiekowych) o szerokości 10 m, prze-

The interwar work by Captain Romuald Bużkiewicz proved to be a valuable collection of information on the main theme of the study, as it discussed the technical and combat development of the application of electrical barriers by the Austro-Hungarian Army.<sup>7</sup> It was published in two parts in the journal “Przegląd wojskowo-techniczny;” the downside of this nevertheless exhaustive and extensive work is a lack of references and a list of sources. The frequent use of electrical barriers in field fortifications in the years 1915–1916 was mentioned by Teodor Brosch in his analytical work *Die Entwicklung der Feldbefestigung während des Weltkrieges*.<sup>8</sup> The photographic album *Die Elektro-Technik im Kriege*, which features photographs of mobile equipment and machinery used by electrotechnical forces, is an interesting supplementation.<sup>9</sup>

### Background—the Cracow Fortress

On the cusp of the First World War, the Cracow Fortress was administratively divided into eight defensive circuits<sup>10</sup> and was comprised of: a ring line,<sup>11</sup> a so-called second line,<sup>12</sup> and a core—called *noyau*. The fortress fulfilled the role of storage infrastructure, a double bridge outpost on the Vistula and provided maneuvering space for field armies together with support for a possible frontline.<sup>13</sup>

Each of the defensive circuits (orig. Verteidigungsbezirk) also featured several neighboring groups of defensive works, whose tactical connection was also a result of terrain conditions. The defensive circuits were manned by teams from each group, reinforced by an appropriately strong detachment comprised of all types of arms.

The ring of fortifications was arranged so that its defensive garrison could be made relatively weak and that the most significant part of the crew could be left as the primary detachment at the fortress commander’s disposal.

This principle directly led to the formation of groups by garrisoning only those parts of the area that were to play a significant role during combat—especially hills—while the lower regions that they secured did not require a garrison. Appropriately, every group comprised several permanent works (forts) and batteries that could effectively fire at their foregrounds, connecting sections and—when fire support is concerned—also the foregrounds of neighboring forts.<sup>14</sup>

The ring with forward positions and the core—*noyau*—were expanded in the first months of mobilization in 1914. Permanent forts were disarmed (except for flanking batteries, armored batteries and moat defense batteries) and converted into infantry defense posts. By structurally reinforcing some buildings or by caverns carved in their immediate vicinity, quarters for the emergency crews of these remodeled forts were provided, made to resist barrages by even the heaviest artillery.<sup>15</sup>

The field defensive positions and field infantry posts built out of earth and wood populated the connecting sections. Caverns drilled using methods employed in mining, with a ceiling 8–20 m thick, were partially

ważnie flankowane ogniem bocznym; forty i punkty oporu otoczono dwiema (do trzech) takimi strefami, również na barkach i w szyi.

### **Przeszkody drutowe pod napięciem (zapory elektryzowane)**

W roku 1870 Jules Verne opisał użycie elektryczności do ochrony przed atakiem: kapitan Nemo w powieści *Dwadzieścia tysięcy mil podmorskiej żeglugi* przyłożył napięcie do drabiny „Nautilusa”. W 1892 pierwsze, ograniczone próby z elektryfikacją przeszkód przeprowadził c.k. Techniczny Komitet Wojskowy przy Ministerstwie Wojny. Użyto słupków z rurek żelaznych, a gładki drut rozpinany był za pośrednictwem izolatorów<sup>16</sup>. W czasie wojny rosyjsko-japońskiej Rosjanie testowali elektryfikację przeszkód w obronie Port Arthur, podkopując morale atakującej piechoty. Podczas pierwszej wojny światowej walczące strony zaczęły masowo wykorzystywać elektryfikację drutu kolczastego<sup>17</sup>.

Od strony taktycznej elektryfikacja przeszkód drutowych dawała następujące korzyści<sup>18</sup>: zapewniała ochronę przed niespodziewanym atakiem wroga i pozwalała na zmniejszenie stanu osobowego broniących oddziałów; dobrze wpływała na morale obrońców; demaskowała z wyprzedzeniem plan przełamania przez wroga danego odcinka frontu, gdyż aby zniszczyć zelektryfikowaną przeszkodę z drutu, musiano przeprowadzić wzmocnione i przedłużone przygotowanie artyleryjskie, co pozwalało z wyprzedzeniem przerzucić rezerwy w zagrożone miejsce. Przeciwno wykorzystaniu przeszkód elektrycznych przemawiała ogromna ilość potrzebnych materiałów i nakładów pracy<sup>19</sup>.

### **Krakowski eksperyment z przeszkodą pod wysokim napięciem<sup>20</sup>**

Na początku roku 1915 Austriacy dowiedzieli się, że Niemcy zrealizowali elektryzowane przeszkody drutowe wokół fortów w Twierdzy Poznań. Do wizytacji tamtejszych umocnień powołano komisję, do której oddelegowano majora Jana Gawina-Niesiołowskiego z krakowskiej Dyrekcji Inżynierii i kapitana Eugena Luschińskiego z Wiednia. W marcu 1915, po przyjęciu wniosków „komisji do badania przeszkód wysokonapięciowych w Niemczech”, Wydział VIII Ministerstwa Wojny zlecił krakowskiej Dyrekcji Inżynierii opracowanie szczegółowego projektu przeszkody wysokiego napięcia i przeprowadzenie eksperymentów<sup>21</sup>. Do prób wybrano rejon grupy fortowej „Mogiła”, położonej w VI obwodzie obronnym „Czyżyny”. Pracami kierował major Niesiołowski.

Od początku było jasne, że prętami przeszkodowymi, jakie można było zastosować w Krakowie, były dotychczas stosowane pręty żelazne, odpowiednio zmodyfikowane. Za takim wyborem przemawiały względy taktyczne (dogodne prowadzenie własnego ognia i słaba widoczność ze strony nieprzyjaciela), a także fakt, że na całym obszarze twierdzy w pierścieniu zewnętr-

located close to the ring's position and were covertly linked with it and partly set back (by up to 1 km). They were erected as shelters for group and section reserves and reserves of entire defensive detachments. At least two, but mainly three zones of steel wire obstacles (affixed to iron rods) with a width of 10 m, were placed before the defensive positions, mostly flanked by side fire. Two to three such obstacle zones surrounded the forts and defensive posts, including near gorges and flanks.

### **Electrical wire obstacles (electrified barriers)**

In 1870, Jules Verne described the use of electricity in defending against attack: following the plot of his *Twenty Thousand Leagues Under the Sea* book, Captain Nemo electrified the ladder of the *Nautilus*. In 1892, the first limited attempts with electrifying obstacles were performed by the Imperial-Royal Technical Military Committee attached to the Ministry of War. It used posts from iron pipes, and smooth wire was suspended from them using small insulators.<sup>16</sup>

During the Russo-Japanese War, the Russians tested the electrification of obstacles in the defense of Port Arthur, dealing a severe blow to the attacking infantry. During the First World War, the sides of the conflict started to make mass use of electrified barbed wire.<sup>17</sup>

From a tactical standpoint, the electrification of wire obstacles provided the following advantages:<sup>18</sup> it provided protection from surprise enemy attacks and allowed reducing defending unit manpower; it contributed to maintaining defender morale; it served as an early warning of enemy plans to break through specific sections of the frontline, as to destroy an electrified wire obstacle, the enemy had to carry out a heavy and long artillery bombardment of the area, which provided enough time to redirect reserves.

The disadvantages of using electrified barriers included the large amounts of necessary materials and labor to erect them.<sup>19</sup>

### **The Cracow experiment with a high-voltage obstacle<sup>20</sup>**

At the start of 1915, the Austrians learned that the Germans had placed electrified wire obstacles around the forts of Festung Posen. They formed a special commission to visit these fortifications, including Major Jan Gawin-Niesiołowski from the Cracow Engineering Directorate and Captain Eugen Luschiński from Vienna. In March 1915, after approving the memorandum of the “commission tasked with investigating high-voltage obstacles in Germany,” Department 8 of the Ministry of War commissioned the Cracow Engineering Directorate to develop a detailed design of a high-voltage obstacle and perform systematic experiments on it.<sup>21</sup> Fort group “Mogiła,” located in the sixth “Czyżyny” defensive circuit, was chosen for the trials. Major Niesiołowski directed the operation.

nym do przeszkód użyto prawie wyłącznie żelaznych prętów. Zastosowanie drewnianych palików do wykonania przeszkody elektrycznej pozwoliłoby więc nieprzyjacielowi łatwo rozpoznać jej charakter.

Znacznym postępowaniem uczyniono z chwilą, gdy zamiast izolowania drutów od palików (np. za pomocą szklanych lub porcelanowych izolatorów widocznych dla nieprzyjaciela i łatwych do zniszczenia ostrzałem karabinowym) zaczęto stosować izolowanie palików od gruntu<sup>22</sup>. Drut mocowano tak, jak w przeszkodach zwykłych. Badania powtarzane w różnych warunkach atmosferycznych pozwoliły ocenić trwałość zastosowanej izolacji przy okresowo powtarzających się pomiarach kontrolnych<sup>23</sup>. Wyniki eksperymentów doprowadziły do zastosowania zwykłych, wykonanych z okrągłego żelaza prętów zasiekowych, których stopka zaizolowana asfaltem osadzana była w okrągłych lub kwadratowych blokach drewnianych (wyrzynkach) o średnicy ok. 20 cm i długości 80 cm. Przeszkoda została zaprojektowana jako dwurzędowa, z rozstawem prętów zasiekowych co 2 m, i umieszczona przed ciągiem istniejącej, zwykłej przeszkody. Między jej przednim a tylnym rzędem pozostawiono wolną przestrzeń, od 15 do 20 m. Miało to zapobiec połączeniu z istniejącą normalną przeszkodą, tworzącą bardzo dobre uziemienie, które mogłoby spowodować znaczny spadek napięcia prądu.

Po rozpoczęciu szczegółowych prac projektowych w marcu 1915 wysłano zapytania ofertowe do dostawców urządzeń elektrycznych. Projekt początkowo opierał się na napięciu roboczym 5 kV. Miało ono tę zaletę, że było napięciem roboczym miejskiej sieci kablowej Krakowa, umożliwiając wykorzystanie mocy elektrowni w przypadku obłędzenia.

Już podczas przedprojektowych prac studialnych stało się jasne, że użycie żelaza jako materiału na przewody spowoduje wielkie trudności. Żywiono nadzieję, że do tego eksperymentu zostanie udostępniony niezbędny materiał miedziany (ok. 4 ton). Dyrekcja Inżynierii zwróciła się telefonicznie do Ministerstwa Wojny z prośbą o zwolnienie wymaganej ilości miedzi, jednak prośba została odrzucona. Ponieważ przewodów aluminiowych nie było w kraju, a cynkowych nie można było stosować ze względu na małą wytrzymałość mechaniczną materiału, należało użyć żelaza.

Po wielokrotnych obliczeniach długodystansowych linii przesyłowych przy różnych założeniach okazało się, że aby druty miały przekroje pozwalające na ich zainstalowanie, trzeba użyć wyższego napięcia roboczego. Z obliczeń wynikało, że napięcie 10 kV pozwala użyć przekrojów 50–70 mm<sup>2</sup>, co wydawało się akceptowalne przy zaprojektowaniu linii podwójnej (mogącej nadal działać nawet podczas uszkodzenia jednej linii). 18 i 20 marca złożono pierwsze zamówienia na transformatory, a bardziej złożone projekty rozdzielnic znajdowały się jeszcze w opracowaniu. Systemy dystrybucji mocy były nowością, konieczne zatem było pilne nawiązanie bliskich kontaktów z firmami, które już budowały podobne linie. Jednocześnie by skrócić cięż-

It had been known from the start that the only obstacle posts that could be used in Cracow were the previously used iron posts, but they were properly modified. This choice was supported by tactical considerations (the ease of defensive fire and poor visibility to the enemy), in addition to the fact that iron posts were used almost exclusively along the entire external ring of the fortress. The use of wooden posts to make the electrical barrier would allow the enemy to identify its character easily.

Considerable progress was made when, instead of insulating the wire from the posts (e.g., using glass or porcelain insulators that could be easily spotted and destroyed by the enemy with machine-gun fire), posts were instead insulated from the soil itself.<sup>22</sup> The wire was affixed to the rod as in common barriers.

The trials' outcomes led to a decision to use ordinary circular iron rods, whose bases, insulated with asphalt, were placed into round or square wooden blocks (often from wood otherwise considered waste) with a diameter of 20 cm and a length of 80 cm.

The obstacle itself was designed to have two rows, with the rods spaced 2 m apart, in front of an existing, ordinary barrier. A free space of between 15 and 20 m was left between the front and back row of the electrical fence. This was to prevent a connection forming between the electrical barrier and the standard barrier, as the latter could very quickly provide earthing, leading to a considerable decrease in voltage.

After the commencement of detailed design work in March 1915, bid requests were sent to electrical appliance suppliers. The design was initially based on a working voltage of 5 kV. This voltage had the advantage of being the same as that of Cracow's power grid, enabling the power plant's use in the event of a siege. It became evident already during the pre-design study stage that the use of iron to make wires would cause numerous difficulties. It was hoped that the necessary copper (ca. 4 tons) would be made available for the trials. The Engineering Directorate contacted the Ministry of War directly—by telephone—to make the necessary amount of copper available, but the request was denied. As aluminum wires could not be obtained in the country and zinc wires could not be used due to the material's low mechanical durability, iron had to be used instead.

After numerous recalculations for long-distance power lines under different assumptions, it turned out that in order for the wires to have cross-sections enabling their installation, a higher working voltage was necessary. The calculation results indicated that a working voltage of 10 kV allowed the use of 50–70 mm<sup>2</sup> wires, which seemed acceptable considering a double line (which could still operate even when one line became damaged). The first transformer orders were filed on March 18 and 20, while the more complex switchgear designs were still under development. Power distribution systems were a novelty, and it was necessary to quickly reach companies that had

liwą korespondencję, 25 marca do Wiednia oddelegowano z Dyrekcji Inżynierii inżyniera, który wspólnie z austriackim oddziałem firmy Siemens-Schuckert-Werke w ciągu tygodnia opracował gotowy do zamówienia projekt<sup>24</sup>. Wcześniejsze eksperymenty firmy na liniach żelaznych wykazały, że konduktywność (przewodność właściwa) przewodników żelaznych na prąd przemienny, czyli najważniejsza stała do planowania, jest dość niska. Projekt więc musiał zostać obliczony z szacunkami i pewnym współczynnikiem bezpieczeństwa. Firma pracowała nad innowacjami w tej dziedzinie do ochrony patentowej (co było poufne), ale ich rozwój nie posunął się jeszcze na tyle, by mogły zostać uwzględnione w tym projekcie.

5 kwietnia 1915 złożono zamówienie w firmie Siemens-Schuckert-Werke, która zadeklarowała czas dostawy 3–5 tygodni. Żelazne przewody napowietrzne i kable miały zostać wykonane na specjalne zamówienie, rozdzielnie musiały być konfigurowane według specjalnych rysunków konstrukcyjnych, termin ten zatem uznano za rozsądny. W Krakowie od razu rozpoczęto wytyczanie 10-kilometrowej linii napowietrznej oraz budowę schronów stacji transformatorów i schronu dla urządzeń ochrony przeciwprzebiegiowej. W tym samym czasie rozpoczęto produkcję ok. 400 słupów drewnianych o długości 8–10 m, w niektórych miejscach potrzebne były słupy nawet 12-metrowe.

20 kwietnia dysponowano rysunkami dla rozdzielnic w fabryce maszyn L. Zieleniewskiego i można było zacząć prace budowlane. Ponieważ fabryka była nieczynna przez wiele miesięcy, musiała zostać ponownie uruchomiona na próbę, by móc zidentyfikować i usunąć wszelkie usterki. W ciągu miesiąca ustawiono ok. 300 słupów linii napowietrznej. Prace utrudniał podmokły i bagnisty teren wzdłuż Wisły, a także brak koni pociągowych. 20 maja 1915 zakończono roboty ziemne pod betonowane schrony, natomiast trwały jeszcze prace betoniarskie; część materiału do linii napowietrznych została już dostarczona, a w ciągu kilku dni miano rozpocząć układanie i napinanie linii. Montaż zakończył się na przełomie maja i czerwca 1915<sup>25</sup>.

### Konstrukcja schronów

Schron stacji transformatorowej „Mogiła” umieszczono w zakolu starorzecza Wisły, ok. 600 m na wschód od zabudowań klasztoru Cystersów w Mogile. Schron stacji transformatorowej „Krzyszłowice” znalazł się nad Dłubnią, w pobliżu obwodowego schronu amunicyjnego nr 14 „Mogiła”.

Schrony dla transformatorów miały powierzchnię 15 m<sup>2</sup>, o wymiarach rzutu w świetle 3 x 5 m przy wysokości 2,5 m. Wewnątrz schronu umieszczano tylko niezbędne urządzenia: transformator 70–100 kVA (80 kW) o napięciu 10/1,5 kV z dwoma samoczynnymi wyłącznikami po stronie 10 kV i ośmioma wysokonapięciowymi wyłącznikami olejowymi po stronie 1,5 kV, mały transformator 10/0,22 kV dla celów oświetlenia (tablica sterownicza oświetlana była kinkietem), wolto-

built similar lines during the war. To simultaneously make onerous correspondence more effective, an engineer from the Engineering Directorate was delegated to Vienna on March 25 and developed a design that was ready for commissioning in one week together with the Austrian branch of the Siemens-Schuckert-Werke company.<sup>24</sup> Earlier experiments by the company on iron power lines demonstrated that iron conductors' conductivity to alternating current, which was the most important constant for planning, had a relatively low value. The design had to be formulated with specific estimates, including a safety margin. The company worked on innovations in this field to have them patented—which is why they were kept secret—but their development had not gone far enough to allow their inclusion in the project. On April 5, 1915, an order was placed with Siemens-Schuckert-Werke, which declared a 3–5 weeks delivery time. The suspended iron wires and cables were to be custom-made, and the switchgears were to be configured following unique structural drawings, so the time offered to complete the order was deemed reasonable. Work began immediately on delineating a 10-kilometer overhead power line in Cracow, together with the construction of shelters, transformers and a protective shelter for overvoltage protection devices. The production of around 400 8–10 m long posts also began, as posts of a length of as much as 12 m were needed along some power line sections. On April 20, switchgear drawings were available at the L. Zieleniewski machine factory, and construction work could commence. The process of the factory's sequestration as stipulated by war laws was conducted in two stages. As the factory had been inactive for several months, its operations had to be jumpstarted to identify and remove any faults. Over a month, around 300 overhead power line posts were erected. It should be noted here that installation was hindered by wetland and swampy terrain along the Vistula and the lack of workhorses. On May 20, 1915, earthwork for concrete shelters was completed, and concreting was still ongoing: some of the material to build the overhead power line had already been delivered, and work on laying and stretching the power line could begin several days later. The assembly was completed around the end of May and the start of June 1915.<sup>25</sup>

### Shelter structure

Transformer sites were chosen on the counterscarps of flood embankments and behind barrier posts, so that—even in the event of a local breach in the line of defense—the enemy would not be able to capture and destroy the transformers.

The shelter for the “Mogiła” transformer station was placed in the bend of the old riverbed of the Vistula, around 600 m to the east of the Cistercian Monastery in Mogiła. The shelter of the “Krzyszłowice” transformer station was placed near the River Dłubnia, near the

mierze oraz telefon dla łączności z elektrownią – fabryką Zieleniewskiego i dowódcami oddziałów pierwszej linii<sup>26</sup>. Pośrodku trasy linii przesyłowej, wśród pól wsi Krzesławice, umieszczono schron stacji ochrony przeciwprzepięciowej. Znajdowały się w nim odgromniki różkowe z rezystorami tłumiącymi.

Dla budowli fortyfikacji stałych przyjmowano w Austrii na ogół dwa standardy odporności na ostrzał artyleryjski<sup>27</sup>. Konstrukcje zabezpieczające przed pociskami najcięższych dział stromotorowych nazywano „bomboodpornymi”<sup>28</sup>. Obiekty o mniejszym znaczeniu, a do takich można zaliczyć np. fort „Mogiła”, mogły być ze względów oszczędnościowych realizowane w standardzie niższym – odporności na uderzenia pocisków dział stromotorowych średniego kalibru (haubice ok. 150 mm), tzw. granatsicher. Normatywy projektowe dla poszczególnych standardów odporności były owocem poszukiwań i prób poligonowych prowadzonych przez c.k. Techniczny Komitet Wojskowy. Ogólne zasady projektowania obiektów w klasie „bombensicher”, aktualne w roku 1915, wynikały z „Protokołu Komisji z próby strzelania z 30,5 cm M.11 do celu na poligonie Steinfeld niedaleko Felixdorfu w 1913”<sup>29</sup>. Szczegółowe normatywy konstrukcyjne, dotyczące wymiarowania stropodachów, ścian i fundamentów, zawarto w „Tymczasowych wytycznych odnośnie do budowy bomboodpornych budowli fortyfikacyjnych”<sup>30</sup>.

Bryły schronów były prostopadłościowe, nakryte jednospadowym („pulpitowym”) stropodachem, o spadku ok. 25 stopni<sup>31</sup>. Ściany zewnętrzne (narażone) schowane były w nasypie ziemnym, z wyjątkiem elewacji od zapola, mieszczącej otwór wejściowy i kratki wentylacyjne. Krawędź stropodachu od strony zapola zakończona była gzymsem, wysadzonym na ok. 20 cm przed lico ścian. Pochylenie stropodachów – zgodnie z dyrektywą – miało na celu ułatwienie zsunięcia się padających stromotorowo pocisków<sup>32</sup>. Wielkość nachylenia zależała od warunków lokalnych – ekspozycji na ostrzał nieprzyjaciela. Kąt padania pocisków kalibru 30,5 cm wynosił 65° przy odległości strzelania 8 km<sup>33</sup>, jeśli działo i cel znajdowały się na tym samym poziomie. W zależności od konstrukcji końcówki pocisku, przy nachyleniu płyty stropu od 25° do 30° ześlizgiwał się on po pierwszym trafieniu.

Stropy, które mogły wytrzymać dwa uderzenia w jeden punkt, powinny były mieć grubość 2,50 m, a te, które mogły wytrzymać trzy trafienia – grubość 3,0 m<sup>34</sup>. Strop wytrzymujący pojedyncze trafienia pocisków 30,5 cm miał mieć grubość 2,0 m. Do projektanta należało dokonanie właściwego wyboru grubości płyty stropodachu, na podstawie dokładnej oceny okoliczności i wymaganej odporności. Dźwigary z dwuteowych belek stalowych, zakotwionych w masie betonu, układano co ok. 35 cm. Przy rozpiętości traktu od 2 do 3 m w świetle<sup>35</sup> zalecano zastosowanie belek wysokości 400 mm. Przestrzenie między dolnymi stopkami belek wypełniano wysklepkami z blachy stalowej. Stalowa struktura stanowiła deskowanie tracone, zespolone z ubijanym betonem w płytę stropodachu. Ściany ze-

fortified circuit munitions storage (G.M.M.) No. 14 „Mogiła.” The transformer shelters had a floor area of 15 m<sup>2</sup>, with daylight plan dimensions of 3 x 5 m—with a height of 2.5 m. The interior of the shelter only featured essential equipment: a 70–100 kVA (80 kW) transformer with a voltage of 10/1.5 kV with two automatic switches on the side of 10 kV and eight high-voltage oil switches on the side of 1.5 kV, a small 10/0.22 kV transformer for lighting (the switchboard was lit with a lamplight), voltage meters and a telephone for contacting the power plant—the Zieleniewski factory—and the commanders of first-line units.<sup>26</sup>

A shelter dedicated to overvoltage protection was placed at the center of the power line, in the fields of Krzesławice village. It housed conical lightning arresters with damping resistors.

In Austria, the construction of fortifications essentially followed two standards of resistance to artillery fire.<sup>27</sup> The structures that provided protection against the shells of the heaviest guns capable of plunging fire were called “bomb-proof.”<sup>28</sup> Buildings of lesser significance, which included fort “Mogiła,” could be built to a lower standard to save money—resistant to shelling from medium-caliber guns capable of plunging fire (150 mm howitzers)—and were of the “granatsicher” class.

Design standards for each protection class were the result of experiments and field trials conducted by the Imperial-Royal Technical Military Committee. The general principles of the design of “bombensicher” class buildings applicable in 1915 were the result of the *Commission Protocol from a targeted shooting trial employing 30.5 cm M. 11 at the Steinfeld proving grounds near Felixdorf in 1913.*<sup>29</sup> Detailed structural standards concerning the dimensioning of flat roofs, walls and foundations were included in *Temporary guidelines for building bomb-proof fortification structures.*<sup>30</sup>

The massings of shelters were cuboid, covered with a single-slope (shed) roof, with a pitch of around 25°.<sup>31</sup> The external (exposed) walls were hidden in an earthen escarpment, with the exception of the backfield facade, which featured an entryway and ventilation grates. The edge of the roof from the side of the backfield was crowned with a parapet that protruded around 20 cm from the face of the wall.

Flat roof pitch—as specified in the standard—was to facilitate the falling of shells from plunging fire.<sup>32</sup> The pitch value depended on local conditions—exposure to enemy fire. The impact angle of 30.5 cm caliber shells was 65° when fired from 8 km,<sup>33</sup> provided the gun and the target were at the same elevation. Depending on the structure of the shell tip, with a roof pitch of between 25° and 30°, the shell would slide down the surface after the first hit.

Slabs that could withstand two hits to the same area were to have a thickness of 2.5 m, while those that could withstand three hits—were to have a thickness of 3.0 m.<sup>34</sup> Slabs intended to withstand singular hits of 30.5 cm caliber shells were to have a thickness of



Ryc. 3. Stacja transformatorowa „Mogiła” podczas budowy – realizacja prac betonarskich; widoczna bryła schronu przed zasypaniem ochronną warstwą ziemi; na koronie wału przeciwpowodziowego poprowadzono tor kolejki polowej zaopatrującej plac budowy; fot. archiwalna z 1915, odbitka w zbiorach autora.

Fig. 3. “Mogiła” transformer station during construction—concreting—with the massing of the shelter visible before the heaping of earth, the top of the flood embankment served as the site of a field railway track that was used to supply the construction site, archival photograph from 1915; copy from the author’s collection.



Ryc. 4. Stacja transformatorowa „Mogiła” podczas budowy, widok od zachodu; schron betonowy widoczny w prawej części kadru, na pierwszym planie trasa wykopu pod kabel zasilający; fot. archiwalna z 1915, odbitka w zbiorach autora.

Fig. 4. “Mogiła” transformer station during construction, as seen from the west, the concrete shelter is visible in the right part of the frame, with the ditch for laying the power cable visible in the foreground, archival photograph from 1915; copy from the author’s collection.

wewnętrzne w klasie „bombensicher” powinny być wykonane z betonu i mieć taką samą grubość jak strop, minimum 2,0 m.

Pomiar wykonany przez autora w terenie wykazał, że całkowita długość stropodachu w rzucie wynosi ok. 9 m; oznaczałoby to, że po obwodzie wykonano ściany zewnętrzne o dwumetrowej grubości. Ściana od zapola (elewacyjna) jest prawdopodobnie nieco cieńsza – ok. 1,5 m.

Niewielkie kubatury, takie jak poterny czy wolno stojące schrony, fundowano na ciągłej płycie dennej o minimalnej grubości 1 m. Można z dużą dozą prawdopodobieństwa założyć, że tak samo rozwiązano

2.0 m. The designer was tasked with making the proper choice based on a precise assessment of circumstances and their justification. Trusses from double-T steel beams, anchored in the concrete mass, were spaced every 35 cm. With a daylight span of 2 to 3 m,<sup>35</sup> it was recommended to use beams with a height of 400 mm. The spaces between the lower flanges of the beams were filled with arched vaults from steel sheets. The steel structure acted as stay-in-place formwork, bound with concrete rammed into the flat roof slab. The external walls in “bombensicher” class shelters were to be made from concrete and have the same thickness as roof slabs, i.e. a minimum of 2.0 m.

On-site measurements by the author indicated that the total length of the flat roof in plan view was ca. 9 m; this would imply that external walls with a thickness of 2 m were built along the outline. The backfield-side wall (facade wall) was likely thinner—ca. 1.5 m.

Small masses like posterns, and freestanding shelters had slab footing with a minimum thickness of 1 m. It can be assumed with a high degree of probability that the foundations of transformer and over-voltage protection equipment shelters were designed in the same way.

It was recommended to take care when applying damp proofing to walls that came into contact with the ground so as to prevent them from becoming damp and wet. On an archival photograph from the period of the shelter’s construction (fig. 3), one can see a wall surface with a layer of bitumen waterproofing.

### Camouflage

Good camouflage was necessary to alleviate the effects of enemy bombardment. Plantings and using paint-based camouflage was best suited for this, and care was taken for the entire fortification structure not to stand out from its surroundings as a “foreign body.” This is why the massings of the shelters were carefully blended into slopes of flood embankments. The flat roofs were covered in grass and locally present riparian greenery species were planted around the walls—in the form of rapidly growing bushes (guelder rose) and small low-cut young trees (grey alder).

The aim of the paint camouflage was to create distinctive hues and shades so that the colors of the building’s facade would match the landscape. It is not possible to spot camouflage markings on surviving photographs, which is why it can be assumed that it was decided to opt solely for plant materials.

The camouflage’s effectiveness is attested to by the fact that the shelter is practically invisible even today (in September 2020). The archival photograph depicts just a tiny visible fragment of the shelter (see fig. 5). As demonstrated by later frontline experiences, the overhead power lines were less susceptible to damage by shelling than underground cables; it was also easier to find and repair any damage done to them. However,



fundamenty schronów trafostacji i stacji ochrony przeciwprzepięciowej. Zalecano wykonanie skrupulatnej hydroizolacji ścian mających styk z gruntem, aby zapobiec ich zawilgoceniu i nasiąkaniu wodą. Na archiwalnej fotografii z czasu budowy schronu (ryc. 3) widoczna jest płaszczyzna ściany pokryta warstwą izolacji bitumicznej.

### Maskowanie

Dobre maskowanie było niezbędne, aby zmniejszyć efektywność nieprzyjacielskiego ostrzału. Najlepiej nadawały się do tego nasadzenia roślin i farbomaskowanie, przy czym dbano o to, aby cały obiekt fortyfikacyjny nie wyróżniał się z otoczenia jako „ciało obce”. Dlatego też kubatury schronów pieczęlowicze wpasowano w stoki wałów przeciwpowodziowych. Stropodachy obłożono darnią, a wokół ścian schronów wykonano nasadzenia z lokalnie występujących gatunków lęgowych – szybko rosnących krzewów (np. kaliny koralowej) i ciętych krótko młodych drzewek (olsza szara). Farbomaskowanie miało na celu uzyskanie charakterystycznej barwy i odcieni, tak by kolorystyka elewacji obiektu została dopasowana do krajobrazu. Na archiwalnej fotografii nie sposób dostrzec plam kamuflażu, można więc sądzić, że poprzestano na

many branching cables near the transformers could betray their position, which is why the final sections of the connections were placed underground to ensure effective camouflage.<sup>36</sup>

### Powering the barrier

To supply power, decision-makers had to choose between either smaller stations that would have to be placed within every defensive circuit at a distance of 3–5 km behind the barrier, or one or more main station at the center of the fortress.

As in this case the matter was about creating a system suitable for defending the fortress and the possibility of performing powered experiments as soon as possible, available power plants had to be used for economic reasons.

The L. Zieleniewski factory was chosen as a source of power for the “Czyżyny” defensive circuit—the output of the plant’s power generator was sufficient to power the electrical barriers in the planned sections. Ultimately, the project was based on the system presented in the scheme attached (fig. 2). The structures completed during the first stage have been marked with a continuous line, while the successive extension stage for the entire sixth defensive circuit has been present-



Ryc. 5. Stacja transformatorowa „Mogila” – schron ukończony i zabezpieczony maskowaniem, widok od strony zapola; stropodach obłożono darnią, a wokół ścian schronu wykonano nasadzenia maskujące z krzewów i ciętych młodych drzewek; widoczna wnęka otworu wejściowego; fot. archiwalna z 1915, odbitka w zbiorach autora.

Fig. 5. “Mogila” transformer station—the completed and camouflaged shelter, as seen from the backfield, the roof was covered in grass and camouflage greenery was planted around the shelter, utilizing bushes and young trees cut short, visible entrance opening niche, archival photo from 1915; copy from the author’s collection.

użyciu materiału roślinnego. O skuteczności i staranności maskowania świadczy to, że nawet współcześnie (wrzesień 2020) schron jest praktycznie niewidoczny. Fotografia ukazuje jedynie niewielki fragment schronu, widoczny z kilku metrów (ryc. 5).

Linie przesyłowe napowietrzne, co wykazały późniejsze doświadczenia frontowe, były mniej wrażliwe na uszkodzenia przez pociski niż kable podziemne, łatwiejsze również było odnajdywanie i naprawa uszkodzeń. Jednak duża liczba rozgałęzień w pobliżu transformatorów groziła zdemaskowaniem ich lokalizacji, dlatego też w celu efektywnego maskowania końcowe odcinki przyłączy prowadzono pod ziemią<sup>36</sup>.

### Zasilanie przeszkody

Jako siłownie (elektrownie) brano pod uwagę albo mniejsze stacje, które trzeba było ustawić w każdym obwodzie obronnym w odległości 3–5 km za przeszkodą, albo jedną lub więcej stacji głównych w centrum twierdzy. Ponieważ w omawianym przypadku chodziło nie tylko o stworzenie systemu przydatnego do obrony twierdzy, lecz także o możliwość jak najszybszego przeprowadzania eksperymentów pod napięciem, ze względów ekonomicznych musiały być wykorzystywane dostępne elektrownie.

Dla VI obwodu obronnego „Czyżyny” jako źródło energii wytypowano siedzibę fabryki maszyn L. Zieleniewskiego – wydajność generatora prądu była wystarczająca do obsługi przeszkód elektrycznych w planowanej sekcji. Ostatecznie realizacja została oparta na układzie przedstawionym na schemacie (ryc. 2). Linia ciągłą oznaczono część obiektów, ukończoną w pierwszym rzucie, a przerywaną – kolejny etap rozbudowy dla całego VI obwodu obronnego. Podział na dwa etapy budowy umożliwił szybsze przekazanie obiektów eksperymentatorom i wyjaśnienie niektórych nierozstrzygniętych kwestii przed poniesieniem kosztów rozbudowy.

Należy wspomnieć, że początkowo zakładano wprowadzenie odmiennego systemu, łatwiejszego do wdrożenia: zakup ruchomych centrów zasilania o mocy ok. 150 KM (wysokoobrotowy silnik benzynowy o napięciu przemiennym 1 kV), rozbudowę sieci energetycznej 1 kV we wszystkich ośmiu obwodach obronnych oraz przygotowanie schronów dla mobilnych generatorów. Stworzenie mobilnych centrów zasilania zajęłoby jednak więcej czasu, niż zakładano na początku eksperymentu, mimo ich przydatności w dalszym rozwoju techniki i możliwości wykorzystania w terenie.

W Krakowie wszystkie omawiane generatory mocy były maszynami trójfazowymi. Niemniej jednak rozważano przede wszystkim zasilanie przeszkody elektrycznej prądem jednofazowym, ponieważ eliminowało to ryzyko wywołania zwarć między dwoma sąsiednimi odcinkami przeszkody, połączonymi z różnymi fazami. Pojawiły się jednak wątpliwości, czy kable i transformatory wykorzystywane do działania trójfazowo-

ed with a dashed line. The division of the construction into two stages enabled the quicker handover of the structures to experimenters and solve certain previously unsettled matters before covering the costs of labor and the entire extension.

It should be noted that, initially, it had been planned to introduce a different system that would have been better to implement had there been more time for it: the purchase of mobile power centers with around 150 horsepower (a high-revolution gasoline engine with a 1 kV alternating voltage), the extension of the 1 kV power line in all eight defensive circuits and the preparation of shelters for mobile generators along each of the circuits. Creating such mobile power centers required more time than had been on hand during the start of the trials, despite their suitability during the latter stage of engineering development and the possibility of their use in the field.

In Cracow, all of the power generators were three-phase machines. However, powering the electrical barrier with single-phase power was the prime concern, as it eliminated the risk of short-circuiting between two neighboring barrier sections plugged to different phases. Furthermore, the lines, switchgears and servicing were much simpler with single-phase power. However, doubts appeared whether cables and transformers used for three-phase lighting or power could also be used to power the barrier. If the phase used to power the barrier would be placed on full load, highly disturbing changes would occur in the remaining two phases, which could have led to the destruction of light bulbs plugged into the grid.

This was one of the reasons why the sharing of municipal lines and transformers was not chosen.<sup>37</sup>

To decide whether to use cables or overhead lines, utility reasons were considered (high-voltage power lines were expected to be faulty and overvoltage phenomena increased the risk of damage; on the other hand, cable grids were difficult to lay and repair), as were economic ones (the very high cost of high-voltage cables). It was decided to build all lines from the main power source to the transformers as overhead, made of iron. The length of completed overhead lines amounted to around 10 km. To power the entire sixth defensive circuit, the length of the line was to amount to around 22 km.<sup>38</sup> Transformers were connected to the ring of overhead power lines with short copper cables—via sections with a length of 100–400 m. Transmission from the transformer (see connection scheme, fig. 2) used shallow copper cables with 1 kV voltage. The ground in the immediate vicinity of the transformers was to be used as temporary earthing.

### Division into groups

The use of operating power with 1 kV voltage necessitated splitting the system into sections, each around 4 km in length, as voltage drops were too high at greater distances. From the point of view of operational safety, a certain decentralization was desirable—to limit the local consequences of transformer disruptions.

wych systemów oświetlenia lub zasilania mogłyby zostać wykorzystane do zasilania przeszkód. Przy pełnym obciążeniu fazy, do której podłączona była przeszkoda, mogły wystąpić niepokojące zmiany w pozostałych dwóch fazach napięcia, prowadzące do zniszczenia podłączonych do sieci żarówek. Między innymi z tego powodu zaniechano współużytkowania linii miejskich i miejskich transformatorów<sup>37</sup>.

Aby rozstrzygnąć, czy użyć kabli, czy linii napowietrznych, rozważono względy użytkowe (w sieciach linii wysokiego napięcia należało spodziewać się awarii, a zjawiska przepięć zwiększały ryzyko wystąpienia uszkodzeń; z kolei trasy kablowe były trudne do prowadzenia i naprawy) i ekonomiczne (bardzo wysoki koszt kabli wysokonapięciowych). Zdecydowano o realizacji wszystkich linii od głównego punktu zasilania do transformatorów jako napowietrznych. Dla zasilania całego VI obwodu obronnego linie miały liczyć ok. 22 km, zrealizowano ok. 10 km<sup>38</sup>.

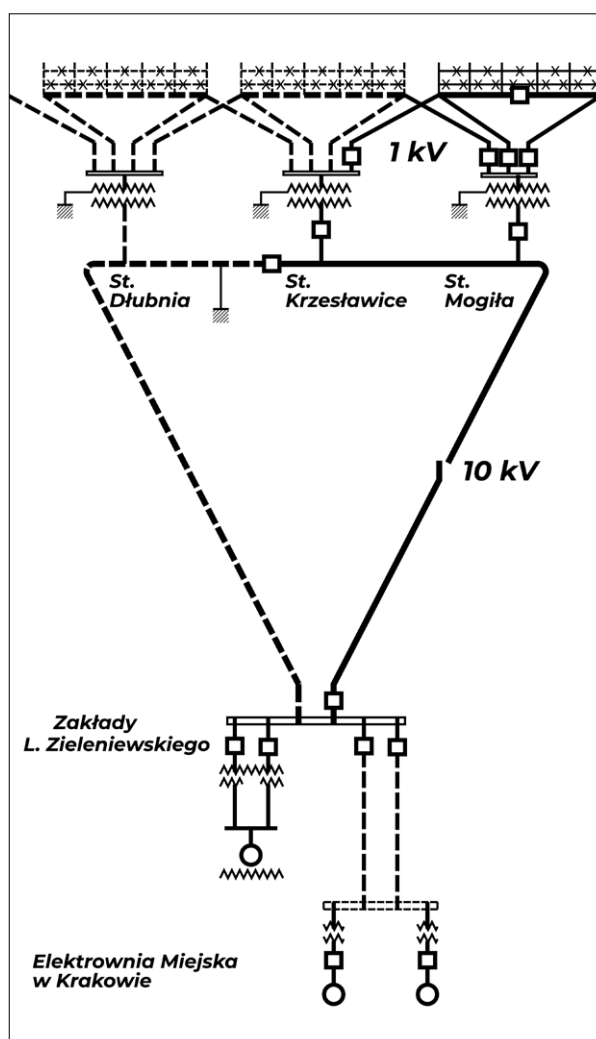
Stacje transformatorowe połączono z pierścieniem linii napowietrznej krótkimi kablami miedzianymi – odcinkami długości 100–400 m. Ze stacji transformatorowej (ryc. 2) dystrybucja odbywała się przy napięciu 1 kV przez płytko położone kable miedziane. Grunt w bezpośrednim sąsiedztwie stacji był przewidziany jako tymczasowe jej uziemienie.

### Podział na grupy

Korzystanie z prądu roboczego o napięciu 1 kV powodowało konieczność podzielenia systemu na odcinki o długości ok. 4 km, gdyż przy większej długości spadek napięcia stawał się zbyt duży. Z punktu widzenia bezpieczeństwa eksploatacji pożądana była również pewna decentralizacja w celu ograniczenia lokalnych skutków zakłóceń w stacji transformatorowej.

Podział wymagany z elektrycznego punktu widzenia pokrywał się z podziałem z taktycznego punktu widzenia. Stacje transformatorowe mogły więc być zaprojektowane jako rozdzielnie obsługiwane zgodnie z instrukcjami dowódcy grupy. Transformatory w każdej sekcji były odpowiednio zwymiarowane, aby mogły tymczasowo przejąć również zasilanie sekcji sąsiedniej, jeśli wykorzystywana była ich zdolność przeciążeniowa. W tym celu przewidziano kable z przełącznikami, prowadzące z każdej stacji transformatorowej do sąsiedniej grupy („Mogiła” i „Krzesławice”). Ponadto zainstalowane w stacjach transformatorowych woltmierzce pozwalały ocenić, czy kabel, do którego zostały podłączone, jest pod napięciem, czy nie. Możliwe było zatem sprawdzenie stanu działania poszczególnych sekcji. Wreszcie, długie kable dystrybucyjne przebiegające przez przeszkodę miały wbudowany wyłącznik zagłębiony w ziemi. Podczas prac remontowych połowa przeszkody mogła zostać odłączona od napięcia, bez wyłączania całej grupy<sup>39</sup>.

Ponieważ napięcie robocze linii przesyłowych wynosiło 10 kV, a ich długość w pierwszym rzucie budowy 10 km, wymagana była ochrona przeciwprze-



Ryc. 2. Schemat sieci elektroenergetycznej zasilającej przeszkodę; linią ciągłą oznaczono zrealizowane odcinki, linią przerywaną – planowane do realizacji w późniejszym etapie; oprac. F. Suchoń.

Fig. 2. Scheme of the electrical power grid powering the obstacles, the continuous line marks completed sections. The dashed line marks the sections planned for later construction; by F. Suchoń based on archival documentation.

The division required from an electrical standpoint mirrored the division required by tactics. The transformers themselves could be designed as distribution stations, serviced as per the group commander's instructions, and were located close to where group commanders were stationed. The transformers in each section were properly dimensioned so that they could also power neighboring sections in the event their overload capacity had to be used. To this end, cables with switches were laid, leading from every transformer to their nearby group ("Mogiła" and "Krzesławice"). Furthermore, voltage meters installed in each transformer could aid in assessing whether the cable to which they were connected to was live or not. It was thus possible to check the state of each section. Finally—long transmission cables running through the barrier had an inbuilt switch under the ground. During renovation work, one half of the barrier could be shut off without affecting the entire group.<sup>39</sup>

pięciowa. Zabezpieczenia przepięciowe z dławikami uziemiającymi i odgromnikami rozkowymi z rezystorami tłumiącymi zarówno między fazami, jak i do ziemi instalowano w punkcie początkowym linii przesyłowej. Pośrodku linii dalekobieżnej znajdowała się wspomniana specjalna stacja ochrony przeciwprzepięciowej.

### Użycie bojowe

Pomimo presji czasu, braków materiałowych spowodowanych sytuacją wojenną i przyjęcia nowatorskich rozwiązań, wyniki krakowskiego eksperymentu okazały się zadowalające. 28 maja 1915 raport i propozycje rozwiązań technicznych zostały rozesłane przez Ministerstwo Wojny do wszystkich Dyrekcji Inżynierii, Technicznego Komitetu Wojskowego oraz dowództw armii polowych<sup>40</sup>. Próby i doświadczenia prowadziły również inne Dyrekcje Inżynierii (Trydent, Riva, Sarajewo), ale to w Twierdzy Kraków dokonano pionierskich eksperymentów. Dalszą rozbudowę systemu w Krakowie jednak zarzucono – plany kolejnych odcinków linii zasilającej i schronu stacji transformatorowej „Dłubnia” pozostały na papierze.

Po raz pierwszy przeszkody elektryczne zastosowano bojowo pod koniec maja 1915 na froncie włoskim dla obrony przedmościa „Görz”<sup>41</sup>. Ponieważ od 25 maja nieprzyjaciel ostrzeliwał pozycje austriackie, przeszkody wykonywano pod ogniem. Z powodu górzystego terenu musiano je budować w odległości zaledwie 15–20 m od stanowisk własnych. Żeby uniknąć strat w nielicznym personelu technicznym, wznoszenie przeszkód wykonywano wyłącznie w nocy. W takich warunkach zrealizowano je na najniebezpieczniejszych odcinkach o ogólnej długości niespełna 5 km. Do zasilania przeszkód prądem wykorzystano kilka miejscowych elektrowni stałych o łącznej mocy ok. 600 KM<sup>42</sup>.

Brak było doświadczeń w warunkach bojowych, a charakter terenu, pora roku i warunki taktyczne były nadzwyczaj niesprzyjające. Okazało się, że budowa przeszkód elektryzowanych na froncie wymaga dużo więcej czasu i materiału, a kable wypróbowane na polu doświadczalnym nie nadają się do użytku<sup>43</sup>. Nie na wszystkich odcinkach przeszkody zostały zrealizowane zgodnie z zamierzeniami. Pomimo to użycie przeszkód było korzystne – na co wskazywały rzadsze natarcia i większe straty przeciwnika<sup>44</sup>.

### Podsumowanie i wnioski

Schron stacji transformatorowej „Mogiła” dotrwał do czasów współczesnych. Spoczywa zakopany pod powierzchnią terenu; widoczny jest jedynie niewielki fragment betonowej ściany szczytowej i kawałek betonowego stropodachu. Pomimo dużych inwestycji w okolicy (gazociąg wysokiego ciśnienia, stacje redukcyjne gazu, kolektor kanalizacji ogólnospławnej) schron pozostał nienaruszony. W ścianie szczytowej

As the working voltage of the distribution lines was 10 kV and their length in the first stage of construction was 10 km, overvoltage protection was required. Overvoltage protection with earthing dampers and lightning arresters with damping resistors both between phases and for earthing were installed at the starting point of the transmission line. A special overvoltage protection station was located at the center point of the long-distance transmission line.

### Combat use

Despite the pressure of time, material shortages caused by war, and the adoption of innovative solutions, the Cracow trials' outcomes were satisfactory. The Ministry of War sent the report and proposed technical solutions to all Engineering Directorates, the Technical Military Committee and field command staff on May 28, 1915.<sup>40</sup> Trials and experiments were also conducted by other Engineering Directorates (Trent, Riva, Sarajewo). Still, it was at the Cracow Fortress that pioneering trials were performed. Nevertheless, the further expansion of the system in Cracow was abandoned. Plans of additional power line sections and the “Dłubnia” transformer shelter remained on paper.

Electrical barriers were first used in combat towards the end of May 1915 on the Italian front to defend the “Görz” bridgehead.<sup>41</sup> As the enemy had been shelling Austrian positions with heavy artillery fire since May 25, the barriers were built while under fire. Due to the mountainous terrain, the barriers had to be built as close as 15–20 m from friendly positions. To avoid losses among the few members of technical personnel, the construction of these obstacles had to be performed only at night. It was built on the most dangerous sections with a total length of up to 5 km in these conditions. Several local permanent power plants with a combined power of around 600 horsepower were used to power the obstacles.<sup>42</sup>

The construction was performed without experience in combat conditions and the terrain, season of the year and tactical conditions were highly unfavorable. It turned out that building electrified barriers on the front required much more time and material, and the cables tested during trials were unfit for use.<sup>43</sup> The obstacles were not built as planned along all sections of the front. Despite these setbacks, the use of these obstacles proved highly successful—as demonstrated by less frequent assaults and higher enemy losses.<sup>44</sup>

### Summary and conclusions

The “Mogiła” transformer shelter has survived to the present day. It lies buried underground, and only a tiny fragment of its concrete gable wall and the ridge of its concrete roof are visible. Despite heavy investment in the area's linear infrastructure (a high-pressure gas pipeline, gas pressure reduction stations, a combined

został osadzony znak geodezyjny – reper wysokościowy, co prawdopodobnie również chroniło schron przed zniszczeniem.

Choć jest to obiekt niewielkich rozmiarów, stanowi jednak cenny element dziedzictwa przemysłowego i oryginalny zabytek techniki, przynajmniej z trzech względów:

- fizyczny ślad – element technicznej infrastruktury zrealizowanej w ramach tajnego wojskowego eksperymentu, zaawansowanego technologicznie i istotnego zarówno w skali miasta, jak i Twierdzy, w szczytowym okresie jej rozwoju;
- obiekt kubaturowy Twierdzy Kraków zrealizowany w myśl najbardziej zaawansowanych i nowoczesnych wytycznych z epoki, o odporności wyższej niż forty – obiekty fortyfikacji stałej; najbliższy położony w sąsiedztwie fort „Mogiła” (1895–1896) ma niższą klasę odporności „granatsicher”, a forty „Grębałów” (1897–1898) czy „Dłubnia” (1892–1896) – klasę odporności „bombensicher”, ale przeciw pociskom stromotorowym kalibru 21–24 cm<sup>45</sup>;
- obiekt nieznan i zapomniany; dalsze badania powinny prowadzić do potwierdzenia lokalizacji w terenie pozostałości bliźniaczego schronu „Krzyszawice” (nad Dłubnią) i schronu stacji ochrony przeciwprzepięciowej (nieдоступny obecnie obszar ogródków działkowych), prawdopodobnie w dobrym stanie zachowania.

Badania archeologiczne i architektoniczne schronu stacji transformatorowej „Mogiła” – po uzyskaniu odpowiednich zgód i pozwoleń – umożliwią zweryfikowanie parametrów konstrukcji, pomiary wnętrza oraz potwierdzenie lokalizacji i wymiarów otworów wejściowego i wentylacyjnych, przejść instalacyjnych dla przyłączy kablowych, ewentualnie zbadanie relikwów wyposażenia.

### Podziękowania

Dziękuję Tomaszowi Idzikowskiemu (Przemyśl) i dr. Reinfridowi Vergeinerowi (Wiedeń) za udostępnienie materiałów ze zbiorów prywatnych oraz inż. Łukaszowi Bielendzie (Kraków) za konsultację w sprawie struktury sieci elektroenergetycznej.

sewerage collector), the shelter has remained untouched. A surveying mark—a geodesic benchmark—was affixed into the gable wall, which probably also contributed to saving it from destruction. Although the building is small in size, it is a valuable post-industrial heritage element and an original engineering monument for at least three reasons:

- It is a physical trace—as an element of the technical infrastructure built as a part of a secret military trial that was technologically advanced and essential to the city and the Fortress at the height of its development;
- As a building of the Cracow Fortress that was built following the most advanced and innovative contemporary guidelines, with durability more excellent than forts—permanent fortification structures. The closest fort in the area, fort “Mogiła” (1895–1896), was built to a lower, “granatsicher” protection standard, while forts “Grębałów” (1897–1898) or “Dłubnia” (1892–1896) were in the “bombensicher” class, but measured against 21–24 cm caliber plunging fire shells.<sup>45</sup>
- The building is unknown and forgotten. Further studies should lead to confirming the location of the twin “Krzyszawice” shelter (near Dłubnia) and the overvoltage protection station shelter (located in a currently inaccessible area occupied by allotment gardens) which are probably well-preserved.

Archaeological and architectural studies of the “Mogiła” transformer—after obtaining the necessary approvals and permits—can help verify structural parameters and interior measurements and confirm the location and dimensions of entrance and ventilation openings, cable utility penetrations and investigating any remaining furnishings.

### Acknowledgements

The author would like to thank Tomasz Idzikowski (Przemyśl) and dr Reinfrid Vergeiner (Vienna) for sharing materials from their private collections, and engineer Łukasz Bielenda (Cracow) for consultations concerning the electrical power grid.

## Bibliografia / References

### Archiwalia / Archive materials

- Anhaltspunkte für den Entwurf und die Ausführung fortifikatorischer Bauten vom kriegstechnischen Standpunkte, K.u.k. Technisches Militärkomitee, Sekt. II, Nr 313 res. v. 1914, Wien, AT-OeStA/KA, MBeh, TMK, SR 1212.
- Bericht über Abisolierungsversuche von Hindernisstaben zum Zwecke der Herstellung elektrisch geladener Hindernisse, K.u.k. Genie-Direktion in Krakau zu Res. Nr 1215, 1915.
- Bericht über den derzeitigen Stand des Versuchs mit Hochspannungshindernis, K.u.k. Genie-Direktion in Krakau zu Res. Nr 1215, 1915.
- Elektrische Drahthindernisse; Versuchsergebnis bei der GnDir Krakau, K.u.k. Kriegsministerium Abt. 8, Nr 3622 res. v. 1915.
- Festungs-Umgebungs-Plan von Krakau, Special-Übersichts-Plan, Ark. 23 „Pleszów”, K.u.k. Militär-Comité 1899, skala 1:10 000. Hadtörténeti Intézet és Múzeum Budapest, sygn. G I h 349.
- „Provisorische Direktiven bautechnischer Natur für bombensichere, fortifikatorische Objekte”, K.u.k. Technisches Militärkomitee, Sekt. II, Nr 313 res. v. 1914, Wien (mps), Kriegsarchiv Wien, sygn. AT-OeStA/KA, MBeh, TMK, SR 1212.
- Stand der fortifikatorischen Ausgestaltung, K.u.k. Festungskommando in Krakau, 1916.

### Opracowania / Secondary sources

- Bogdanowski Janusz, *Warownie i zieleń Twierdzy Kraków*, Kraków 1979.

- Brosch-Arenau Theodor, *Die Entwicklung der Feldbefestigung während des Weltkrieges unter Zugrundelegung der Verhältnisse im Manövriergelände*, „Technische Mitteilungen” 1920, z. 3.
- Brunner Moriz (syn), *Die beständige Befestigung*, Wien 1909.
- Brzoskwina Waldemar, Janczykowski Jan, *Zabytki fortyfikacji Twierdzy Kraków. Ochrona i konserwacja w latach 1991–1998*, „Atlas Twierdzy Kraków”, seria II, t. 1, Kraków 1998.
- Bużkiewicz Romuald, *Rozwój techniczny i przykłady użycia przeszkód elektryzowanych podczas wojny światowej w wojsku austro-węgierskim*, „Przegląd Wojskowo-Techniczny” 1929, z. 1, t. 6.
- Glaise von Horstenau Edmund (red.), *Österreich-Ungarns Letzter Krieg 1914–1918*, cz. 1–2, Wien 1930.
- Leithner Ernst, *Beständige Befestigung und der Festungskrieg*, t. 3: *Neueste Anschauungen*, Wiedeń 1899.
- Mörz de Paula Kurt, *Der österreichisch-ungarische Befestigungsbau 1820–1914*, wyd. 3, Wien 2000.
- Moskwin A. (?), *Электризация проволочных заграждений* (Elektryzacja przeszkód z drutu), „Война и техника” („Wojna i Technika”) 1928, ks. 6, Moskwa.
- Pollak von Rudin Robert, *Die Elektro-Technik im Kriege (Kriegsalbum der Elektrobataillone)*, Wien–Berlin 1919.
- Stipanović Jaroslav, Solnitzky Johann, *Genetische Skizzen von Krakau. Aufgabe und Beschreibung der Befestigungen Krakaus*, K.u.k. Genie-Direktion in Krakau, Kraków 1905, stan na grudzień 1913, Kriegsarchiv Wien, sygn. B 1423 Sammlung Stützenstein.

<sup>1</sup> Opis zdjęcia w brzmieniu oryginalnym: „E.H. Bombensichere Transform. Stat. im Bau”; zob. ryc. 3.

<sup>2</sup> Zob. Bericht über den derzeitigen Stand des Versuchs mit Hochspannungshindernis, K.u.k. Genie-Direktion in Krakau zu Res. Nr 1215, 1915.

<sup>3</sup> J. Bogdanowski, *Warownie i zieleń Twierdzy Kraków*, Kraków 1979; W. Brzoskwina, J. Janczykowski, *Zabytki fortyfikacji Twierdzy Kraków, ochrona i konserwacja w latach 1991–1998*, Kraków 1998.

<sup>4</sup> M.in. „Część zapór [przeszkód drutowych] w obu twierdzach [Krakowie i Przemyślu] było elektryzowanych” (zob. M.J. Mikulski, *Austro-węgierskie fortyfikacje polowe w Galicji i Królestwie Kongresowym, 1914–1916*, s. 15); „Wy myśleć że z Krakowem tak łatwo? Tam ziemia wylatuje w górę, tam są druty, które parzą i wykręcają ręce [...] – relacja rosyjskiego żołnierza z 1914 r.” (J. Bogdanowski, op. cit.; relacja enigmatyczna, bez podania źródła).

<sup>5</sup> Wspomniany raport krakowskiej Dyrekcji Inżynierii złożony w Wydziale 8. (fortyfikacyjnym) Ministerstwa Wojsny pod koniec maja 1915.

<sup>6</sup> „Provisorische Direktiven bautechnischer Natur für bombensichere, fortifikatorische Objekte oraz Anhaltspunkte für den Entwurf und die Ausführung fortifikatorischer

Bauten vom kriegstechnischen Standpunkte”, K.u.k. Technisches Militärkomitee, 1914, Wien (mps).

<sup>7</sup> R. Bużkiewicz, *Rozwój techniczny i przykłady użycia przeszkód elektryzowanych podczas wojny światowej w wojsku austro-węgierskim*, „Przegląd Wojskowo-Techniczny” 1929, z. 1, t. 6; mankamentem tego obszernego, wyczerpującego opracowania jest brak bibliografii i wykazu źródeł.

<sup>8</sup> T. Brosch-Arenau, *Die Entwicklung der Feldbefestigung während des Weltkrieges unter Zugrundelegung der Verhältnisse im Manövriergelände*, „Technische Mitteilungen” 1920, z. 3.

<sup>9</sup> R. Pollak, *Die Elektro-Technik im Kriege (Kriegsalbum der Elektrobataillone)*, Wien–Berlin 1919.

<sup>10</sup> Oryg. *Verteidigungsbezirke* (termin tłumaczony również jako „obszary warowne”); zob. J. Bogdanowski, op. cit., s. 174, 234 i in.; M. Brunner, *Die beständige Befestigung*, Wien 1909, s. 19.

<sup>11</sup> Główna pozycja obronna (oryg. *Gürtellinie*); ibidem, s. 18.

<sup>12</sup> Oryg. *der zweiten Linie*; pas polowych szańców i baterii położony ok. 1 km za głównym pierścieniem.

<sup>13</sup> J. Stipanović, J. Solnitzky, *Genetische Skizzen von Krakau. Aufgabe und Beschreibung der Befestigungen Krakaus*, K.u.k. Genie-Direktion in Krakau, Kraków 1905, stan na grudzień 1913, Kriegsarchiv Wien, sygn. B 1423 Sammlung Stützenstein 1913.

- <sup>14</sup> E. Leithner, *Beständige Befestigung und der Festungskrieg*, Wien 1899.
- <sup>15</sup> *Stand der fortifikatorischen Ausgestaltung*, K.u.k. Festungskommando in Krakau, 1916.
- <sup>16</sup> *Elektrisches Drahthindernis*, K.u.k. Technisches Militärkomitee, Wien 1892 (patent firmy Ganz & Comp. z Budapesztu).
- <sup>17</sup> Na początku 1915 Niemcy rozpoczęli realizację tzw. Grenzhochspannungshindernis, czyli elektrycznej bariery z drutów pod wysokim napięciem na granicy okupowanej Belgii z neutralną Holandią; R. Bużkiewicz, op. cit., s. 309.
- <sup>18</sup> A. Moskwin, *Электризация проволочных заграждений* (Elektryzacja przeszkód z drutu), „Война и техника” („Wojna i Technika”) 1928, ks. 6, Moskwa.
- <sup>19</sup> T. Brosch-Aarenau, op. cit., s. 123.
- <sup>20</sup> Zob. *Bericht über den derzeitigen Stand*, op. cit.
- <sup>21</sup> Ibidem, s. 1.
- <sup>22</sup> R. Bużkiewicz, op. cit., s. 312; *Bericht über Abisolierungsversuche von Hindernisstaben zum Zwecke der Herstellung elektrisch geladener Hindernisse*, K.u.k. Genie-Direktion in Krakau zu Res. Nr 1215, 1915, s. 1–3.
- <sup>23</sup> *Bericht über Abisolierungsversuche von Hindernisstaben*, s. 3. Relacjonował inż. Leopold Filippi.
- <sup>24</sup> Firma dostarczała w tym czasie urządzenia elektryczne także do innych twierdz austro-węgierskich, m.in. instalacje prądu zmiennego do zasilania reflektorów w Twierdzy Pula. Elektryzowane zapory w Poznaniu były obsługiwane przez urządzenia dostarczone przez niemiecki oddział Siemens.
- <sup>25</sup> *Bericht über den derzeitigen Stand*, s. 7–10; przebieg i stan zaawansowania prac relacjonował kapitan Artur von Buol.
- <sup>26</sup> R. Bużkiewicz, op. cit., s. 22.
- <sup>27</sup> M. Brunner, op. cit., s. 47.
- <sup>28</sup> Oryg. bombensicher. W międzywojennych, polskich dokumentach inwentaryzacyjnych występował termin w dosłownym tłumaczeniu „bezpieczny przeciw bombom”. Zob. K. Mörz de Paula, *Der österreichisch-ungarische Befestigungsbau 1820–1914*, Wien 2000, s. 148.
- <sup>29</sup> „Kommissionsprotokolle über den Schiessversuch mit dem 30.5 cm Morser M.11 gegen ein Zielobjekt auf dem Steinfelde bei Felixdorf i.J.1913”.
- <sup>30</sup> „Provisorische Direktiven bautechnischer Natur für bombensichere, fortifikatorische Objekte”, K.u.k. Technisches Militärkomitee, 1914 (mps).
- <sup>31</sup> Na podstawie wykonanego przez autora pomiaru dostępnego fragmentu stropodachu.
- <sup>32</sup> M. Brunner, op. cit., s. 45–46.
- <sup>33</sup> Jak wykazały próby, najskuteczniejszy był ogień z dystansu do 7,7 km.
- <sup>34</sup> Mierzona w najsłabszym punkcie, prostopadle do powierzchni stropu. Zob. K. Mörz de Paula, op. cit., s. 148–149.
- <sup>35</sup> Głębokość traktu pomieszczenia trafostacji wynosiła 3 m. Zob. R. Bużkiewicz, op. cit., s. 22.
- <sup>36</sup> Ibidem; *Bericht über den derzeitigen Stand*, s. 5.
- <sup>37</sup> *Bericht über den derzeitigen Stand*, s. 4.
- <sup>38</sup> Ibidem, s. 5.
- <sup>39</sup> Ibidem.
- <sup>40</sup> *Elektrische Drahthindernisse. Versuchsergebnis bei der GnDir Krakau*, K.u.k. Kriegsministerium Abt. 8, Nr 3622 res. v. 1915. Pismo przewodnie sygnował szef sekcji technicznej Ministerstwa Wojny, FML Leopold von Schleyer.
- <sup>41</sup> Gorycja, Włochy. Zob. *Österreich-Ungarns Letzter Krieg 1914–1918*, Wien 1930, t. 2, cz. 1, s. 296; t. 3, cz. 2, s. 349–355.
- <sup>42</sup> Zob. R. Bużkiewicz, op. cit., s. 17.
- <sup>43</sup> Stosowana izolacja kabli po upływie kilku tygodni ulegała korozji chemicznej w gruncie, była też zbyt podatna na wchłanianie wilgoci. Zob. R. Bużkiewicz, op. cit., s. 315.
- <sup>44</sup> Ibidem, s. 25 i 26.
- <sup>45</sup> Wzniesione zgodnie z wcześniej obowiązującymi standardami odporności konstrukcji, wypracowanymi podczas prób poligonowych z ostrzałem moździerzami 21 cm M. 73 i 24 cm M. 98; zob. K. Mörz de Paula, op. cit., s. 146, 151.

## Streszczenie

W skład Twierdzy Kraków – prócz pozycji obronnych – wchodziły również: system komponowanych nasadzeń zieleni maskującej, system komunikacji, sieć łączności telefonicznej i telegraficznej, zaplecze koszarowe, szpitale, składy amunicji i prowiantowe, warsztaty remontowe, zakłady przetwórstwa żywności. W maju 1915 do tej złożonej struktury doszedł jeszcze jeden system, o charakterze zarazem militarnym i przemysłowym. W artykule przybliżono nieznaną epizod z dziejów Twierdzy podczas I wojny światowej, kiedy to posłużyła wojskowym inżynierom za teren do testów nowych rozwiązań technicznych. Materiałnym śladem zbudowanej wówczas infrastruktury jest zachowany schron stacji transformatorowej, obsługującej drutową zaporę elektryzowaną. Opisano warunki powstania i rozwiązania konstrukcyjne tego unikatowego obiektu.

## Abstract

The Cracow Fortress—apart from defensive positions—also included: a system of landscaped camouflage greenery plantings, a circulation system, a telephone and telegraph network, barracks infrastructure, hospitals, storage infrastructure (munitions and food stores), repair workshops and food processing plants. In May 1915, this complex structure received another system that was both military and industrial. This paper discussed a previously unknown episode in the fortress’s First-World-War history when it served military engineers as a testing ground for new technical solutions. The material trace of the infrastructure built at the time takes the form of a shelter that housed a transformer that serviced an electrified wire barrier. The paper describes the conditions of the construction and the structural solutions of this unique building.