

dr inż. Agnieszka Kaliszuk-Wietecha^{1*)}

ORCID: 0000-0003-2476-6951

inż. Marianna Muchorowska²⁾

Fort Bema jako przykład potencjału termomodernizacyjnego zabytkowych budynków militarnych

Fort Bema as the example of thermomodernisation potential of historical military buildings

DOI: 10.15199/33.2023.01.10

Streszczenie. Szczególnym rodzajem obiektów zabytkowych są obiekty militarne, gdyż ich charakter i pełniona niegdyś funkcja znacznie różnią się od tej, którą chce się im nadać, aby przywrócić do użytkowania. W artykule przedstawiono koncepcję architektoniczną rewitalizacji i termomodernizacji Fortów Bema w Warszawie z wariantową koncepcją modernizacji źródła ciepła, dostosowaną do specyficznej formy, zabytkowego charakteru i realnych możliwości. Przedstawiono obliczenia zapotrzebowania na energię i emisję dwutlenku węgla podczas eksploatacji we wszystkich zaproponowanych wariantach. Obliczenia pokazują możliwości przywrócenia obiektu społeczności lokalnej, poprawy komfortu jego użytkowania w wyniku poprawy parametrów obudowy zewnętrznej oraz możliwości obniżenia zapotrzebowania na energię i osiągnięcie standardu budynku zeroemisyjnego.

Słowa kluczowe: potencjał termomodernizacyjny; zabytkowy obiekt militarny; zmniejszenie zapotrzebowania na energię; obiekt zeroemisyjny.

Abstract. Military buildings are a special type of historic building, as their character and the function they used to provide are very different from the functions you want to give them in order to be returned to their users. This article presents an architectural concept for the thermal modernisation of the Bema Fort in Warsaw with a variant concept for the modernisation of the heat source, adapted to the specific form, historic character and realistic possibilities. Calculations of energy demand and carbon dioxide emissions during operation in all proposed variants are presented. The calculations show the possibilities of restoring the facility to the local community, improving the comfort of its use related to the upgrade of its external envelope parameters and the possibilities of lowering its energy demand and achieving a zero-emission building standard.

Keywords: thermomodernisation potential; historic military building; energy demand reduction; zero CO₂ emission object.

Warszawa, jako stolica Polski, od bardzo dawna stanowiła ważny strategicznie obszar. Od stuleci budowano tu obiekty wojskowe, które obecnie w większości zatraciły swój pierwotny charakter. Wiele z nich uległo zniszczeniu, a niektóre są poddawane modernizacji. Zazwyczaj jest im nadawana funkcja obiektów użyteczności publicznej. Poddawane są termomodernizacji, aby uzyskały parametry spełniające obecne wymagania. Bardzo istotne jest zaprojektowanie funkcji, procesu modernizacji i późniejszego użytkowania obiektu, w sposób wpisujący się w ideę zrównoważonego budownictwa, aby ich użytkowanie jak najmniej oddziaływało na środowisko naturalne. Podejście takie jest zgodne ze zmianami w dyrektywie o charakterystyce energetycznej budynków proponowanymi przez Komisję Europejską w ramach „Fit for 55”.

Charakterystyka obiektów Fortu Bema

Pierścień XIX-wiecznych fortyfikacji wokół całej Warszawy, zwany Twierdzą Warszawa, składał się z kilkudziesięciu obiektów z centralnie położoną Twierdzą Cytadeli. Nie wszystkie obiekty zachowały się do dziś, ale już ok. dziesięciu warszawskich obiektów wojskowych, z pierścienia fortyfikacji z czasów zaboru rosyjskiego, odzyskało swój blask dzięki przeprowadzonej termomodernizacji. Fort Parysów, zwany dziś Fortem Be-

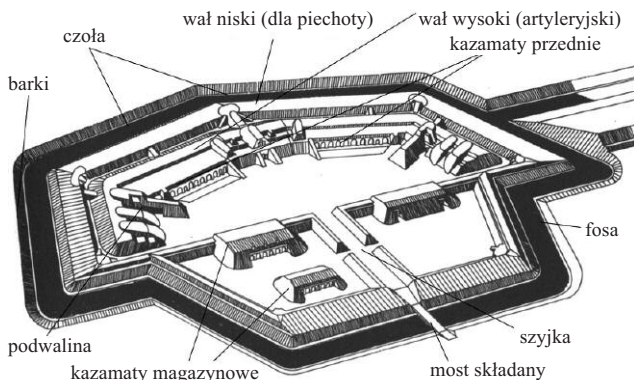
ma, jest jednym z lepiej zachowanych fortyfikacji. Dotychczas renowacji podlegał jednak głównie teren, a nie poszczególne obiekty. Fort Bema został zbudowany na planie typowym dla fortyfikacji Twierdzy Warszawa. Od strony możliwego ataku znajdowały się tzw. czoła i barki, czyli wzmocnione wałami boki fortu gotowe do obrony. Dostęp od drugiej strony blokowały wały łączące barki kolejnych fortów. Wejście na teren fortu prowadziło pierwotnie tylko przez składany most, który prowadził do tzw. szyjki między wewnętrznymi wałami. Cały fort został otoczony fosą wypełnioną wodą. Od strony czoł i barków znajdowały się dwa rzędy wałów, niższy przeznaczony dla piechoty, wyższy dla artylerii. W celu połączenia końców wałów wybudowano trawersy, czyli wały ziemne z przejściami wewnątrz chroniące przed ostrzałem. Pod obydwoma czołowymi wałami umieszczono ceglane kazamaty, czyli schrony zabezpieczone od góry grubą warstwą ziemi. Pod wałem artyleryjskim umieszczono dodatkowo podziemne przejście komunikacyjne, umożliwiające bezpieczne dojście do prochowni i schronu pogotowia na stykach czoł i barków. Wokół kazamatów znalazły się trzy schrony – prawy, środkowy i lewy, wzmocnione dodatkowo na wypadek ataku. Zewnętrzne wejścia do kazamatów były możliwe z potern lub dziedzińca, na który wychodziły również okna zabudowań. W części tylnej umieszczono symetrycznie cztery kazamaty magazynowe (rysunek 1).

Zachowało się siedem budynków Fortu Bema. W tylnej części fortu znajdują się budynki magazynowe: laboratorium, magazyn gotowych nabożów oraz zapasowa prochownia. W wałach

¹⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

²⁾ Uniwersytet w Innsbrucku, Austria

^{*)} Adres do korespondencji: agnieszka.wietecha@pw.edu.pl



Rys. 1. Widok perspektywiczny ostatniej formy historycznej Fortu Bema. Autor: dr inż. arch. C. Głuszek

Zródło: www.forty.waw.pl/index.php/twierdza-warszawa/wewnetrzny-pierscien-fortow/350-fort-p-parysow-bema [dostęp: 20 maja 2021]

Fig. 1. Perspective view of the last historic structure of Fort Bema. Author: Dr Eng. arch. C. Głuszek

z przodu mieszczą się nadal koszary lewe oraz koszary prawe (fotografia 1), a także dwa z trzech schronów – schron lewy oraz schron środkowy. Łączna kubatura budowli ceglanych wynosi ok. 25 100 m³, a powierzchnia użytkowa – 3200 m² [1]. Wszystkie budynki zostały wykonane w technologii tradycyjnej, z cegły ceramicznej pełnej o wymiarach 26,5 x 13 x 7,5 cm. Następnie zostały przysypane z trzech lub czterech stron ziemią, z której uformowano wały. Ławy fundamentowe zostały wykonane z kamieni granitowych. Na dolnych kondygnacjach znajdują się posadzki na gruncie z cegły pełnej. Na pierwotnej posadzce ułożono warstwę gliny oraz wylano posadzkę cementową o grubości 4 cm. Ściany zewnętrzne i wewnętrzne zostały wykonane z cegły ceramicznej pełnej na zaprawie cementowo-wapiennej. Grubość ścian zewnętrznych od strony nasypu wynosi 100 – 145 cm, a ściany elewacyjnych ok. 70 cm. Stropy zewnętrzne to sklepienia kolebkowe o kształcie zbliżonym do półkola, wykonane z cegły ceramicznej pełnej na zaprawie cementowo-wapiennej. Składają się z trzech warstw cegieł o łącznej grubości 80 – 85 cm oraz warstwy betonu grubości 7 cm. Budowle zostały przykryte nasypami ziemnymi o różnej grubości. Zachowały się jedynie pojedyncze drzwi zewnętrzne deskowo-spagowe, z zewnątrz zabezpieczone blachą. Stolarka okienna została zniszczona i w większości usunięta. Stan konstrukcji obiektów Fortu jest dobry. Teren jest ogólnodostępny, dlatego wnętrza są dewastowane.

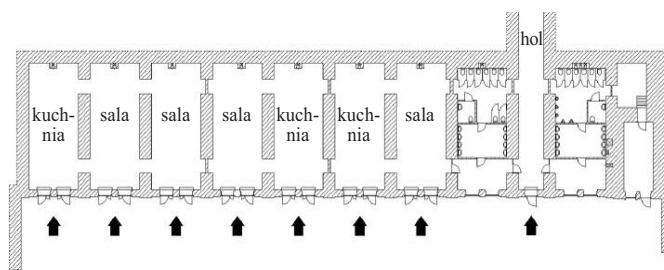


Fot. 1. Elewacja zewnętrzna koszarów prawych Fot. M. Muchorowska
Photo 1. External elevation of the right barracks Photo M. Muchorowska

Zaproponowane warianty termomodernizacji i uzyskane wyniki

Na podstawie studium uwarunkowań z 2018 r. [2], teren fortu oraz jego przedpola zostały przeznaczone pod sport i rekreację, kulturę, wystawiennictwo lub gastronomię. Zgodnie

z tymi wskazaniem koncepcja architektoniczna rewitalizacji fortu uwzględni przekształcenie budynków na lokale usługowe, gastronomiczne oraz magazyny. Centralnym punktem nowo zagospodarowanego obszaru stanie się plac pomiędzy koszarami, w których powstaną restauracje wraz z niezbędnym zapleczem (rysunek 2). Na tym placu będzie możliwe rozstawianie ogródków restauracyjnych w miesiącach letnich lub inne wykorzystanie, np. letnia scena teatralna. Budynki laboratorium i magazyn gotowych nabożów na przedpolu fortu zostaną zagospodarowane pod lokale usługowe, sklepy lub małą gastronomię (rysunek 3). Dodatkowym atutem będzie kręgielnia w dawnej zapasowej prochowni.

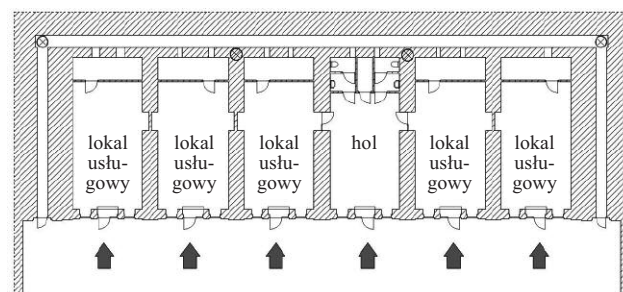


Rys. 2. Zarys koncepcji architektonicznej rewitalizacji koszar na lokale gastronomiczne

Opracowanie własne

Fig. 2. An outline of the architectural concept for the revitalisation of the barracks for gastronomic establishments

Own elaboration



Rys. 3. Zarys koncepcji architektonicznej rewitalizacji magazynu gotowych nabożów na lokale usługowe

Opracowanie własne

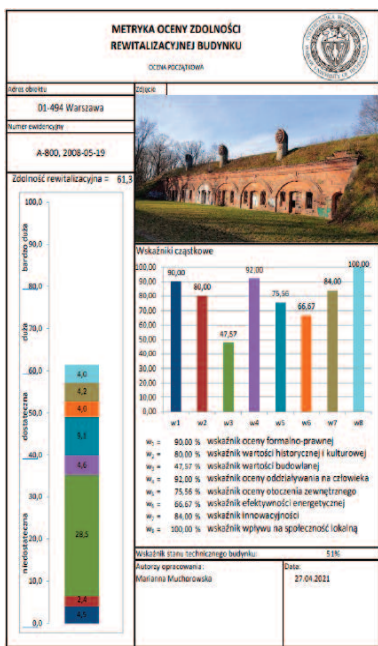
Fig. 3. An outline of the architectural concept for the Rifle Warehouse into service units

Own elaboration

Przeprowadzono ocenę zdolności rewitalizacyjnej obiektu wg metody dr. inż. Wojciecha Terlikowskiego [3]. W ramach oceny przeanalizowano: aspekty formalnoprawne; wartość historyczną i kulturową; wartość budowlaną; oddziaływanie na człowieka; otoczenie zewnętrzne; efektywność energetyczną; wpływ na społeczność lokalną.

Obiekty Fortu Bema charakteryzują się wysoką zdolnością rewitalizacyjną, co oznacza rewitalizację zalecaną. Na tej podstawie [3] opracowano metrykę zdolności rewitalizacyjnej pokazaną na rysunku 4.

W artykule zajęto się zagadnieniami docieplenia ścian zewnętrznych i podłóg na gruncie. Zaproponowane rozwiązania ograniczają się do prac realnie możliwych do wykonania. Ściany zostaną docieplone od środka lekkim betonem komórkowym o grubości zależnej od charakterystyki ściany, a podłogi pianą PUR grubości 6 cm. Okna ze względu na swój charakter muszą być wykonane na zamówienie, a ich parametry mają spełniać obecne wymagania izolacyjności cieplnej, tj. $U = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Sklepienia ceglano-ziemne, ze względu na ich



Rys. 4. Metryka zdolności rewitalizacyjnej obiektów Fortu Bema

Opracowanie własne na podstawie [3]
Fig. 4. Metrics for the revitalisation capacity of Fort Bema facilities
Own elaboration based on [3]

Proponowane systemy instalacyjne będą miały ogromny wpływ na zapotrzebowanie na energię oraz emisję CO₂ w przypadku omawianych obiektów. Rozważono kilka możliwych systemów instalacji centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Obliczenia ciepłe dotyczyły trzech wybranych wariantów systemów instalacji, uznanych za najbardziej prawdopodobne w realizacji, a także stanu istniejącego. Założono ogrzewanie otwartymi kominami opalonymi drewnem i przygotowanie ciepłej wody za pomocą miejscowych podgrzewaczy elektrycznych jako najbardziej zbliżonych do oryginalnego sposobu zaopatrzenia w energię. Wartości te mają stanowić punkt odniesienia do zaproponowanych wariantów modernizacji systemów instalacji. Obliczenia charakterystyki energetycznej wykonano zgodnie z obowiązującymi przepisami [6].

W przypadku stanu istniejącego uzyskano wartości poszczególnych wskaźników zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i nieodnawialną energię pierwotną oraz jednostkową wielkość emisji i udziału źródeł odnawialnych, które zestawiono na fragmencie wykonanego świadectwa charakterystyki energetycznej (tabela 1).

Termomodernizacja wariant 1: podłączenie do sieci miejskiej. System techniczny ogrzewania wykorzystuje ciepło sieciowe z kogeneracji, dostępne na terenie Warszawy. Ciepło z węzła ciepłowniczego jest rozprowadzane z izolowanymi przewodami do grzejników wodnych w po-

Tabela 1. Fragment świadectwa charakterystyki energetycznej obiektów Fortu Bema w przypadku założonych warunków stanu istniejącego

Table 1. Section of the energy performance certificates for the Fort Bema facilities for existing state conditions assumed

Wskaźniki charakterystyki energetycznej	Oceniany obiekt – „0”
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową EU	214,4 kWh/(m ² •rok)
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK	433,9 kWh/(m ² •rok)
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP	308,3 kWh/(m ² •rok)
Jednostkowa wielkość emisji CO ₂ E _{CO₂}	0,02516 tCO ₂ /(m ² •rok)
Udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową U _{OZE}	82,84%

charakter, nie zostaną do-cieplone. Obliczenia paramet- rów cieplnych przegród wykonano zgodnie z zale- canymi do stosowania nor- mami [4, 5].

Proponowane systemy instalacyjne będą miały ogromny wpływ na zapotrzebowanie na energię oraz emisję CO₂ w przy- padku omawianych objek- tów. Rozważono kilka możliwych systemów instalacji centralnego ogrze- wania i ciepłej wody użyt- kowej. Obliczenia ciepłe dotyczyły trzech wybra- nych wariantów systemów instalacji, uznanych za naj- bardziej prawdopodobne w realizacji, a także stanu istniejącego. Założono ogrzewanie otwartymi kominami opalonymi drewnem i przygotowanie cie- płej wody za pomocą miejscowych podgrzewaczy elektrycz- nych jako najbardziej zbli- żonych do oryginalnego sposobu zaopatrzenia w energię. Wartości te mają stanowić punkt odnie- sienia do zaproponowanych wariantów modernizacji syste- mów instalacji. Obliczenia charakterystyki energetycznej wy- konano zgodnie z obowiązu- jącymi przepisami [6].

W przypadku stanu istniejącego uzyskano wartości poszczególnych wskaźników zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i nieodnawialną energię pierwotną oraz jednostkową wielkość emisji i udziału źródeł odnawialnych, które zestawiono na fragmencie wykonanej projek- towanej charakterystyki energetycznej (tabela 2).

Wariant 2 – zastosowanie pomp ciepła wraz z grunto- wym wymiennikiem ciepła. W przypadku wentylacji i ogrze- wania zostanie wykorzystana wentylacja nawiewno-wywiew- na, która będzie dostarczać ciepłe powietrze do pomieszczeń. Większa sprawność systemu będzie możliwa dzięki rekupe- racji oraz gruntowemu wymiennikowi ciepła. W systemie ogrzewania ciepłej wody użytkowej wykorzystana zostanie pompa ciepła. W budynkach będzie zamontowane nowe, wy- dajne oświetlenie bazujące na niskoprężnych lampach sodo- wych, które osiągają największą skuteczność świetlną (na- wet 200 lx). W przypadku drugiego wariantu termomoderni- zacji uzyskano wartości poszczególnych wskaźników zapre- zentowane w tabeli 3.

Tabela 2. Fragment projektowanej charakterystyki energetycznej obiektów Fortu Bema w przypadku termomodernizacji wg wariantu 1

Table 2. Section of the design energy performance certificates for the Fort Bema facilities for thermomodernisation variant 1

Wskaźniki charakterystyki energetycznej	Oceniany obiekt – „1”
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użyt- kową EU	145,6 kWh/(m ² •rok)
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK	214,8 kWh/(m ² •rok)
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP	254,4 kWh/(m ² •rok)
Jednostkowa wielkość emisji CO ₂ E _{CO₂}	0,07257 tCO ₂ /(m ² •rok)
Udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapo- trzebowaniu na energię końcową U _{OZE}	0,00%

szczególnych pomieszczeniach. Dodatkowo zaplanowano regulację centralną i miejscową z zaworem termostatycz- nym, żeby zmaksymalizować sprawność regulacji ogrzewa- nia. Niezbędne do działania takiego systemu są urządzenia pomocnicze zasilane prądem elektrycznym z sieci systemo- wej. System przygotowania ciepłej wody użytkowej po mo- dernizacji wykorzystuje ciepło z sieci miejskiej, podobnie jak system ogrzewania (przyjęto wartość średnią z ostat- ních kilku lat w_i = 0,8). Do ogrzania wody zostanie wykorzysta- ny węzeł cieplny wspólny dla obu systemów. Moderniza- cja oświetlenia polega w pierwszym wariantcie moderniza- cji na instalacji nowych świetlówek. Zmianie ulegną rodza- je budynków, które mają być zaadaptowane na lokale res- tauracyjne, usługowe lub magazyny. W związku z tym zmienia się użytkowe natężenie oświetlenia, które wyno- si 300 luksów w pomieszczeniach usługowych i 100 luksów w magazynach.

W przypadku pierwszego wariantu termomodernizacji uzy- skano wartości poszczególnych wskaźników zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i nieodnawialną energię pier- wotną oraz jednostkową wielkość emisji i udziału źródeł od- nawialnych, które zestawiono na fragmencie wykonanej pro- jektowanej charakterystyki energetycznej (tabela 2).

Tabela 2. Fragment projektowanej charakterystyki energetycznej obiektów Fortu Bema w przypadku termomodernizacji wg wariantu 1

Wskaźniki charakterystyki energetycznej	Oceniany obiekt – „1”
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użyt- kową EU	145,6 kWh/(m ² •rok)
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK	214,8 kWh/(m ² •rok)
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP	254,4 kWh/(m ² •rok)
Jednostkowa wielkość emisji CO ₂ E _{CO₂}	0,07257 tCO ₂ /(m ² •rok)
Udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapo- trzebowaniu na energię końcową U _{OZE}	0,00%

W przypadku drugiego wariantu termomoderni- zacji uzyskano wartości poszczególnych wskaźników zapre- zentowane w tabeli 3.

Dodanie wentylacji mechanicznej z gruntowymi wymie- nnikami ciepła spowoduje, że w przypadku tego wariantu war- tość wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową będzie mniejsza niż w dwóch pozostałych. Forty Bema to obiekt za- bytkowy, dlatego do zasilania pomp ciepła nie można wyko- rzystać prądu z ogniw fotowoltaicznych i uzyskana wartość wskaźnika EP jest dosyć wysoka.

Tabela 3. Fragment projektowanej charakterystyki energetycznej obiektów Fortu Bema w przypadku termomodernizacji wg wariantu 2
Table 3. Section of the design energy performance certificates for the Fort Bema facilities for thermomodernisation variant 2

Wskaźniki charakterystyki energetycznej	Oceniany obiekt – „2”
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową EU	132,7 kWh/(m ² •rok)
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK	82,1 kWh/(m ² •rok)
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP	229,0 kWh/(m ² •rok)
Jednostkowa wielkość emisji CO ₂ E _{CO2}	0,02774 tCO ₂ /(m ² •rok)
Udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową U _{OZE}	44,30%

Wariant 3 – kotły na biomase. W tym wariantcie modernizacji przewidziano ogrzewanie budynków oraz przygotowanie ciepłej wody użytkowej energią pochodzącą z kotłowni zasilanej biomasą. Wykorzystanie biomasy ma na celu zmniejszenie wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną. Biomasa ma być również źródłem prądu do zasilania urządzeń pomocniczych i oświetlenia fortu.

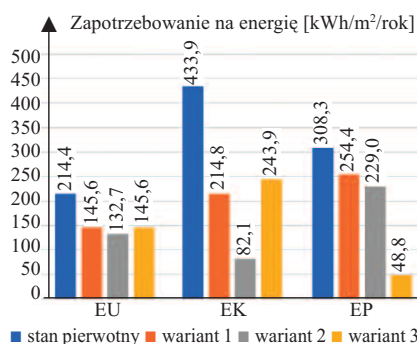
Wartości poszczególnych wskaźników zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i nieodnawialną energię pierwotną oraz jednostkową wielkość emisji i udziału źródeł odnawialnych w trzecim wariantcie termomodernizacji zestawiono na fragmencie wykonanej projektowanej charakterystyki energetycznej (tabela 4).

Tabela 4. Fragment projektowanej charakterystyki energetycznej obiektów Fortu Bema w przypadku termomodernizacji wg wariantu 3
Table 4. Section of the design energy performance certificates for the Fort Bema facilities for thermomodernisation variant 3

Wskaźniki charakterystyki energetycznej	Oceniany obiekt – „3”
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową EU	145,6 kWh/(m ² •rok)
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK	243,9 kWh/(m ² •rok)
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP	48,8 kWh/(m ² •rok)
Jednostkowa wielkość emisji CO ₂ E _{CO2}	0,0000 tCO ₂ /(m ² •rok)
Udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową U _{OZE}	100,00%

Na rysunku 5 przedstawiono wskaźniki rocznego zapotrzebowania na energię w przypadku stanu pierwotnego oraz wszystkich wariantów modernizacyjnych, a na rysunku 6 emisję CO₂ poszczególnych wariantów. Zastosowanie kotłowni na biomase, która zapewnia za-

ówno energię ciepłą, jak i elektryczną, pozwoliło w tym wariantcie na uzyskanie zerowej emisji CO₂. Wyniki obliczeń wskaźników zapotrzebowania na poszczególne rodzaje ener-



Rys. 5. Zestawienie wskaźników rocznego zapotrzebowania na energię

Fig. 5. Summary of annual energy demand indexes

gii w przypadku zaproponowanych wariantów termomodernizacyjnych zaprezentowano w materiałach konferencyjnych [7].

Wnioski

Analizując otrzymane wyniki poszczególnych wariantów obliczeń, sformułowano następujące wnioski:

- 1) rewitalizacja i termomodernizacja zmniejszają zapotrzebowanie na energię i poprawiają komfort użytkowania obiektów;
- 2) nawet niepełna termomodernizacja przegród zewnętrznych (wynikająca z zabytkowego charakteru obiektu oraz nietypowej bryły, gdzie większość przegród jest w kontakcie z gruntem) umożliwiła zmniejszenie zapotrzebowania na energię użytkową o ok. jedną trzecią;
- 3) z trzech zaproponowanych wariantów termomodernizacyjnych najniższy wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną udało się osiągnąć z zastosowaniem kotłów na biomase z kogeneracją;
- 4) ciepło sieciowe i mała sprawność systemów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej nie zapewniają wystarczającego obniżenia zapotrzebowania na energię;
- 5) użycie pomp ciepła bez wykorzystania odnawialnych źródeł energii, takich jak ogniwa fotowoltaiczne (niemożliwe ze względu na ochronę konserwatorską obiektu), zapewnia obniżenie wskaźnika EP na poziomie ok. 80%, pomimo wysokiej sprawności systemów i małej wartości EK;
- 6) zmniejszenie wskaźników rocznego zapotrzebowania na energię nie zawsze wiąże się ze zmniejszeniem jednostkowej wielkości emisji CO₂;
- 7) dążenie do doprowadzenia obiektów zabytkowych do stanu zerowej emisji CO₂ wpisuje się w plany Komisji Europejskiej związane z dekarbonizacją budownictwa w Europie.

Literatura

- [1] Kordek P, Rutkowski K. Karta ewidencyjna zabytków architektury i budownictwa: Fort Bema (do 1915 r.: P-PARYSÓW) w pierścieniu wewnętrznym Twierdzy Warszawa, grudzień 2004 r.
- [2] Załącznik nr 1 do Uchwały nr LXII/1667/2018 Rady m.st. Warszawa z 1 marca 2018 r., Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta stołecznego Warszawy ze zmianami.
- [3] Terlikowski, Wojciech Robert. Metodologia oceny zdolności rewitalizacyjnej budynków zabytkowych. Inżynieria i Budownictwo. 2017; 73: 482 – 485.
- [4] PN-EN ISO 6946 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [5] PN-EN ISO 13370 Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metoda obliczania.
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376) wraz późniejszymi zmianami.
- [7] Materiały konferencyjne z Międzynarodowej Konferencji Building Structures Design Kielce 2022. Kaliszuk-Wietecha A, Muchorowska M. Thermomodernisation potential of old military buildings on the example of Fort Bema in Warsaw, s. 12 – 15.

Przyjęto do druku: 27.12.2022 r.