

---

***Analiza możliwości wykorzystania  
odnawialnych źródeł energii w  
obiektach infrastruktury krytycznej***

---



**Opracowali:**

---

**Paulina Smaczna-Żmuda**  
**Grzegorz Pełka**  
**Wojciech Luboń**  
**Instytut Zrównoważonej Energii Miękinia Sp. z o.o.**

**Dariusz Curyło**  
**EgoTerm**



<b>WSTĘP</b> .....	<b>4</b>
<b>STRESZCZENIE</b> .....	<b>6</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>8</b>
<b>SŁOWNIK POJĘĆ</b> .....	<b>10</b>
<b>ANALIZA TRENDÓW I PRAKTYK STOSOWANYCH ROZWIĄZAŃ OZE W KRAJU I NA ŚWIECIE</b> .....	<b>11</b>
<b>NAJWAŻNIEJSZE AKTUALNE WYTYCZNE TECHNICZNE (REGULACJE PRAWNE) W ZAKRESIE BEZPIECZEŃSTWA FUNKCJONOWANIA INSTALACJI, MASZYN I URZĄDZEŃ W OBIEKTACH INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ, ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM OBIEKTÓW SZPITALNYCH</b> .....	<b>23</b>
<b>PODSTAWOWE WYTYCZNE SPORZĄDZANIA INWENTARYZACJI ŹRÓDEŁ ENERGII ELEKTRYCZNEJ I CIEPLNEJ, W TYM NA POTRZEBY PRODUKCJI CHŁODU</b> .....	<b>28</b>
<b>MODELOWE ROZWIĄZANIA OZE DLA SZPITALA WOJEWÓDZKIEGO IM. ŚW. ŁUKASZA W TARNOWIE</b> .....	<b>31</b>
OPIS I OCENA STANU OBECNEGO URZĄDZEŃ I OBIEKTÓW.....	31
PLANOWANE MODERNIZACJE .....	37
ANALIZA POKRYCIA ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ .....	42
<b>ANALIZA WARIANTÓW (STUDIUM PRZYPADKU) – PRZEDSTAWIENIE PRZYKŁADÓW TERMOMODERNIZACJI ORAZ ZASTOSOWANIA OZE W BUDYNKACH INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ W POLSCE</b> .....	<b>44</b>
STUDIUM PRZYPADKU NR 1.....	44
STUDIUM PRZYPADKU NR 2.....	47
STUDIUM PRZYPADKU NR 3.....	50
STUDIUM PRZYPADKU NR 4.....	56
<b>PODSUMOWANIE</b> .....	<b>59</b>
<b>SPIS TABEL</b> .....	<b>62</b>
<b>SPIS RYSUNKÓW</b> .....	<b>63</b>

## Wstęp

Niniejsze opracowanie zostało przygotowane na podstawie umowy pomiędzy Urzędem Marszałkowskim Województwa Małopolskiego, a Instytutem Zrównoważonej Energii „Miękinia” sp. z o.o.

Infrastruktura krytyczna, w szczególności jej bezpieczeństwo, odgrywa znaczącą rolę w funkcjonowaniu społeczeństwa, gospodarki i państwa. Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dz. U. z 2013 r. poz. 1166 oraz z 2015 r. poz. 1485, z 2016 r. poz. 266, 904, 1250.) definiuje infrastrukturę krytyczną jako systemy oraz wchodzące w ich skład powiązane ze sobą funkcjonalnie obiekty, w tym obiekty budowlane, urządzenia, instalacje, usługi kluczowe dla bezpieczeństwa państwa i jego obywateli oraz służące zapewnieniu sprawnego funkcjonowania organów administracji publicznej, a także instytucji i przedsiębiorców. Infrastruktura krytyczna obejmuje systemy m.in. ochrony zdrowia.

Obiekty infrastruktury krytycznej, omawiane w tym opracowaniu, są obiektami energochłonnymi, o dużych kosztach utrzymania. Ze względu na swoją funkcję cechują się znacznym nasyceniem energochłonnymi urządzeniami diagnostycznymi i sprzętem medycznym, a także często złym stanem technicznym. Według organizacji Health Care Without Harm, opieka zdrowotna w 2019 roku odpowiadała za 4,4% światowych emisji netto dwutlenku węgla<sup>1</sup>. Oznacza to, że gdyby opieka zdrowotna była państwem, byłaby 5 największym na świecie źródłem emisji gazów cieplarnianych<sup>2</sup>. Aby obiekty szpitalne osiągnęły standardy zielonych budynków i wpisywały się w plan działania Europejskiego Zielonego Ładu, konieczne jest podjęcie działań bazujących na zwiększeniu efektywności energetycznej i zastosowaniu odnawialnych źródeł energii. Dzięki temu zredukowany zostanie ślad węglowy, a budynki te staną się tańsze w eksploatacji i bardziej przyjazne dla środowiska.

Komplementarnie 9 lutego 2022 roku w naszym kraju przyjęta została Długoterminowa Strategia Renowacji Budynków (DSRB). Dokument jest pewnego rodzaju mapą drogową niezbędnych działań pozwalających osiągnąć wysoką efektywność energetyczną i niskoemisyjność budynków w Polsce w perspektywie 2050 roku. Według danych z DSRB zapotrzebowanie na energię pierwotną (EP) budynków opieki zdrowotnej, w zależności od roku oddania do użytkowania, mieści się w przedziale 257,2-442,9 kWh/(m<sup>2</sup>\*rok)<sup>3</sup>. Oznacza to 1,3-2,3-krotne przekroczenie wskaźnika EP w stosunku do wytycznych technicznych (190 kWh/(m<sup>2</sup>\*rok))<sup>4</sup>. Dane te pokazują potencjał poprawy efektywnego wykorzystania energii odnawialnej w tych budynkach.

---

<sup>1</sup> COP26 special report on climate change and health: the health argument for climate action, WHO, 2021

<sup>2</sup> Health Care Without Harm

<sup>3</sup> Załącznik do uchwały nr 23/2022 Rady Ministrów z dnia 9 lutego 2022 r. „Długoterminowa strategia renowacji budynków”

<sup>4</sup> Obwieszczenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

Skupiając się na dekarbonizacji opieki zdrowotnej należy zwrócić uwagę, na największą sieć zrzeszającą zielone szpitale, czyli *Global Green and Healthy Hospitals*, system certyfikacji LEED<sup>5</sup> for healthcare, opracowanie *Global Roadmap for Health Care Decarbonization* oraz organizację HealthCare without Harm – na ich podstawie przeprowadzono analizę trendów i dobrych praktyk stosowanych rozwiązań w przedmiotowym zakresie w kraju i innych państwach europejskich.

Opracowanie ma charakter poglądowy i nie może być jedynym źródłem wiedzy na temat możliwych zastosowań w obiektach infrastruktury krytycznej. Ze względu na indywidualną specyfikę każdego z obiektów, dynamiczny rozwój technologii energetycznych, zmieniające się regulacje prawne oraz różnorodność uwarunkowań technicznych i środowiskowych w poszczególnych placówkach, niezbędne jest korzystanie z aktualnych badań, specjalistycznych analiz oraz konsultacji z ekspertami w dziedzinie energetyki i zarządzania infrastrukturą.

---

<sup>5</sup> Leadership in Energy and Environmental Design

## Streszczenie

Poniższa analiza przedstawia rozwiązania modelowe zwiększające efektywność energetyczną oraz możliwości zastosowania odnawialnych źródeł energii w szpitalach, opisuje standardy bezpieczeństwa technicznego oraz regulacje prawne w zakresie bezpieczeństwa funkcjonowania instalacji, maszyn i urządzeń w obiektach infrastruktury krytycznej. W opracowaniu uwzględniono analizę modelowych rozwiązań w oparciu o obiekt infrastruktury krytycznej – Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie oraz analizy wariantów w innych obiektach opieki zdrowotnej. Analizy zawierają przykładowe rozwiązania termomodernizacyjne oraz uzyskane dla nich efekty energetyczne, a także przykłady zastosowania niekonwencjonalnych źródeł wytwarzania energii.

Dokument nakreśla strategię, które mogą przyczynić się do poprawy stanu szpitalnej infrastruktury, efektywności, a przez to również do wzmocnienia pozytywnych działań na rzecz klimatu oraz wskazuje aktualne regulacje prawne w zakresie bezpieczeństwa funkcjonowania instalacji, maszyn i urządzeń w obiektach infrastruktury krytycznej.

Analizując trendy i praktyki krajowe, europejskie oraz światowe wyróżnić można następujące rozwiązania zwiększające efektywność energetyczną omawianych obiektów, a jednocześnie wpływających na bezpieczeństwo działania w nich systemów:

1. Inteligentne systemy zarządzania budynkiem (BMS - ang. Building Management System oraz BEMS ang. Building Energy Management System) - centralizacja kontroli pozwala na zintegrowanie różnych systemów budynku (ogrzewanie, chłodzenie, wentylacja, oświetlenie) i optymalizację ich pracy w czasie rzeczywistym. Poprzez czujniki i algorytmy BMS można dostosować pracę systemów do aktualnych warunków pogodowych i obciążenia budynku, co pozwala na znaczne oszczędności energii. Dodatkowo systemy BMS umożliwiają przewidywanie awarii urządzeń i planowanie konserwacji, co minimalizuje przestoje i wydłuża żywotność urządzeń. Systemy monitorowania zużycia energii pozwalają śledzić zużycie energii w różnych częściach budynku i identyfikować obszary, w których można wprowadzić oszczędności.
2. Oświetlenie LED – zapewnia wysoką efektywność energetyczną, ponieważ świetlówki LED zużywają znacznie mniej energii niż tradycyjne źródła światła, co przekłada się na niższe rachunki za prąd. LED-y charakteryzują się długą żywotnością, co zmniejsza koszty związane z wymianą oświetlenia oraz są łatwo sterowalne dostosowując natężenie i barwę oświetlenia do różnych potrzeb.
3. Odnawialne źródła energii – zapewniają produkcję energii elektrycznej, cieplnej oraz chłodu z naturalnych zasobów co przekłada się na zwiększenie efektywności energetycznej i ekonomicznej. Powszechnie stosowanym rozwiązaniem jest montaż instalacji fotowoltaicznych na dachach budynków oraz na gruncie, które pozwalają na produkcję własnej energii elektrycznej. Do ogrzewania oraz chłodzenia wykorzystuje się pompy ciepła gruntowe i powietrzne, a także ciepło odpadowe. Spalanie biomasy (np. drewna w postaci zrębki, pelletów) może być wykorzystywane do produkcji ciepła i energii elektrycznej, szczególnie w szpitalach położonych w mniejszych miastach i obszarach wiejskich, gdzie w niedużej odległości jest dostęp do tego surowca energetycznego. Także energia geotermalna może być dobrym źródłem ciepła dla budynków szpitalnych, o ile na danym obszarze jej zasoby są dostępne. Mniej popularnym rozwiązaniem, ale

wartym uwagi jest wykorzystanie odpadów organicznych do produkcji biogazu, wykorzystywanego w agregatach kogeneracyjnych.

4. Optymalizacja systemów HVAC (ang. heating, ventilation, air conditioning) - poprawa izolacyjności cieplnej budynków oraz zastosowanie nowoczesnych systemów wentylacji z odzyskiem ciepła pozwala na zmniejszenie strat energii. Optymalizacja temperatury i wilgotności w pomieszczeniach pozwala na zmniejszenie zużycia energii przez systemy HVAC.
5. Termomodernizacja - zastosowanie wysokiej jakości materiałów izolacyjnych pozwala na zmniejszenie strat ciepła w okresie zimowym i ograniczenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania. Wykorzystanie materiałów naturalnych, takich jak drewno czy wełna mineralna, przyczynia się do poprawy jakości powietrza w pomieszczeniach i zmniejszenia emisji szkodliwych substancji.
6. Zrównoważone zarządzanie odpadami - wprowadzenie systemów selektywnej zbiórki odpadów medycznych i niemedycznych pozwala na zmniejszenie ilości odpadów kierowanych na składowiska i zwiększenie udziału recyklingu. Optymalizacja procesów i wybór produktów o mniejszej ilości opakowań pozwala na ograniczenie ilości wytwarzanych odpadów.

Aby skutecznie zabezpieczyć szpitale przed przerwami w dostawach energii, konieczne jest wdrożenie różnych rozwiązań, takich jak systemy zasilania awaryjnego (UPS), agregaty prądotwórcze, kogeneracja, fotowoltaika oraz redundantne linie zasilania. Kluczowe jest również opracowanie planów ciągłości działania oraz regularne szkolenia personelu technicznego. Integracja tych rozwiązań pozwala na zwiększenie odporności szpitali na awarie energetyczne, co jest szczególnie ważne dla zapewnienia bezpieczeństwa pacjentów i personelu medycznego.

Inwentaryzacja źródeł energii elektrycznej i cieplnej, systemów chłodzenia, a także uwzględnienie specyfiki funkcjonowania jednostki (m.in. ilość łóżek, przeprowadzanych operacji, sprzętu) jest kluczowym krokiem w zarządzaniu energią w budynkach opieki medycznej. Przygotowanie inwentaryzacji wymaga zrozumienia obecnych zasobów energetycznych (podstawowych elementów audytu energetycznego), ich efektywności oraz potencjalnych możliwości optymalizacji. W opracowaniu przedstawiono podstawowe wytyczne do sporządzania audytu energetycznego, na które składają się następujące etapy: analiza aktualnego stanu budynku, weryfikacja przyjętych parametrów, przegląd możliwych usprawnień, określenie nakładów inwestycyjnych, obliczenie oszczędności z przedsięwzięć, analiza ekonomiczna, określenie zalecanego zakresu prac.

Analiza wariantów opierająca się na bezpośrednich przykładach istniejących obiektów infrastruktury krytycznej, obrazuje potencjał działań termomodernizacyjnych oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii dla szpitali w województwie małopolskim. W zależności od zakresu termomodernizacji zmniejszanie zapotrzebowania na energię do ogrzewania może wynieść nawet 73%. Wymiana instalacji centralnego ogrzewania wraz z montażem zaworów termostatycznych pozwala na oszczędność energii na poziomie 11-16%, docieplenie stropodachu 10-32%, docieplenie ścian zewnętrznych 10-38%, wymiana okien 5-48%, docieplenie ścian zewnętrznych ponad poziomem gruntu 13-41%, wprowadzenie odzysku ciepła z wentylacji 16-28%, wyposażenie instalacji ciepłej wody użytkowej w perlatory 3-6%. Modernizacja oświetlenia polegająca na wymianie opraw i źródeł światła ze świetlówek na LED pozwala zmniejszyć zapotrzebowanie na energię elektryczną (oświetlenie) o 15-20% - niezależnie od wielkości budynku i jego funkcji. Natomiast poszerzenie modernizacji o instalację fotowoltaiczną pozwala na częściową niezależność od dostawców energii i ich cen.

## Summary

The following analysis presents model solutions for increasing energy efficiency and the possibility of using renewable energy sources in hospitals, describes technical safety standards and legal regulations for the safe operation of installations, machinery and equipment in critical infrastructure facilities. The study includes an analysis of model solutions based on a critical infrastructure facility - St. Luke's Provincial Hospital in Tarnów and analyses of variants in other healthcare facilities. The analyses include examples of thermomodernisation solutions and the energy effects obtained for them, as well as examples of the use of unconventional sources of energy generation.

The document outlines strategies that can improve hospital infrastructure, efficiency and thus also enhance positive climate action, and identifies current regulations for the safe operation of plant, machinery and equipment in critical infrastructure facilities.

Analysing national, European and global trends and practices, the following solutions can be identified to increase the energy efficiency of the facilities in question, while at the same time influencing the safety of their systems:

7. Intelligent Building Management Systems (BMS - Building Management System) - centralised control allows different building systems (heating, cooling, ventilation, lighting) to be integrated and optimised in real time. Through BMS sensors and algorithms, the operation of the systems can be adapted to the current weather conditions and building occupancy, resulting in significant energy savings. In addition, BMS systems make it possible to predict equipment failures and schedule maintenance, which minimises downtime and extends the life of equipment. Energy monitoring systems track energy consumption in different parts of the building and identify areas where savings can be made.
8. LED lighting - provides high energy efficiency, as LED bulbs use significantly less energy than traditional light sources, resulting in lower electricity bills. LEDs have a long lifespan, reducing costs associated with replacing lighting, and are easily controllable by adjusting their intensity and colour to suit different needs.
9. Renewable energy sources - provide the production of electricity, heat and cooling from natural resources resulting in increased energy and economic efficiency. A common solution is the installation of photovoltaic panels on the roofs of buildings and on the ground to produce their own electricity. Ground and air source heat pumps are used for heating and cooling, as well as waste heat. Burning biomass (e.g. wood) can be used to produce heat and electricity, especially in hospitals located in rural areas. A less common solution, but worth considering, is the use of organic waste to produce biogas for use in CHP units.
10. Optimisation of HVAC (heating, ventilation, air conditioning) systems - improving the insulation of buildings and using modern ventilation systems with heat recovery reduces energy losses. Optimisation of indoor temperature and humidity allows HVAC systems to reduce energy consumption.



11. Thermo-modernisation - the use of high-quality insulation materials reduces heat loss in winter and reduces the energy demand for heating. The use of natural materials, such as wood or mineral wool, helps to improve indoor air quality and reduce harmful emissions.
12. Sustainable waste management - the introduction of separate collection systems for medical and non-medical waste allows a reduction in the amount of waste sent to landfill and an increase in the proportion of recycling. By optimising processes and selecting products with less packaging, the amount of waste generated can be reduced.

In order to effectively protect hospitals from energy supply interruptions, it is necessary to implement various solutions such as uninterruptible power supply (UPS) systems, generators, cogeneration, photovoltaics and redundant power lines. The development of business continuity plans and regular training of technical staff is also crucial. Integrating these solutions allows hospitals to be more resilient to energy failures, which is particularly important to ensure the safety of patients and medical staff.

An inventory of electrical and thermal energy sources, cooling systems, as well as taking into account the specific operation of the unit (e.g. number of beds, operations brought in, equipment) is a key step in energy management in healthcare buildings. Preparing an inventory requires an understanding of current energy resources, their efficiency and potential opportunities for optimisation. The paper presents basic guidelines for preparing an inventory and assessing the current state, consisting of data collection steps, the quality of the information provided, and the characteristics of the equipment used in the building.

The analysis of options, based on direct examples of existing critical infrastructure facilities, illustrates the potential of thermomodernisation measures and the use of renewable energy sources for hospitals in the Małopolskie Voivodeship. Depending on the scope of thermomodernisation, the reduction in energy demand for heating can be as high as 73%. Replacement of the central heating system with the installation of thermostatic valves allows energy savings of 11-16%, insulation of the roof 10-32%, insulation of external walls 10-38%, replacement of windows 5-48%, insulation of external walls from ground level 13-41%, introduction of heat recovery from ventilation 16-28%, equipping the hot water system with aerators 3-6%. Upgrading lighting by replacing luminaires and light sources from fluorescent lamps to LEDs can reduce electricity demand (lighting) by 15-20% - regardless of the size of the building and its function. On the other hand, extending the modernisation to include a photovoltaic installation allows partial independence from energy suppliers and their prices.

## Słownik pojęć

**agregat kogeneracyjny** – urządzenie wytwarzające jednocześnie energię elektryczną i ciepło, zasilany gazem ziemnym lub biogazem, występują także agregaty trigeneracyjne, gdzie poza energią elektryczną i ciepłem wytwarzany jest także chłód.

**Global Green and Healthy Hospitals** – międzynarodowa inicjatywa na rzecz zrównoważonej i proekologicznej opieki zdrowotnej, skierowana do placówek medycznych, które dążą do zmniejszenia swojego wpływu na środowisko i promowania zdrowia publicznego. Inicjatywa wspiera szpitale, kliniki i inne instytucje ochrony zdrowia w realizacji działań przyjaznych środowisku, jednocześnie poprawiając warunki zdrowotne i bezpieczeństwo pacjentów oraz personelu.

**LEED for Healthcare** - specjalna wersja certyfikatu LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), opracowana przez U.S. Green Building Council (USGBC), która koncentruje się na projektowaniu i budowie obiektów służby zdrowia w sposób zrównoważony. Certyfikat ten uwzględnia specyficzne potrzeby placówek medycznych, które różnią się od typowych budynków komercyjnych i biurowych, a jego celem jest stworzenie przyjaznego środowiska dla pacjentów, personelu i odwiedzających, przy jednoczesnym minimalizowaniu wpływu na środowisko.

**odzysk ciepła odpadowego** – wykorzystanie nadmiaru ciepła np. z procesów przemysłowych, wentylacji, kanalizacji. W szpitalach dzięki zastosowaniu specjalnych wymienników umiejscowionych w dolnej części grawitacyjnego kanału kanalizacyjnego można odzyskać ciepło zawarte w ściekach. Wymienniki mogą być elementem nowych sieci lub mogą być dodawane do istniejących już kanałów. Ścieki napływające do przewodu kanalizacyjnego na długości rurociągu z wymiennikiem oddają ciepło i jest ono poprzez medium kierowane do pompy ciepła.

**pompa ciepła** - urządzenie grzewcze służące do pozyskiwania ciepła niskotemperaturowego z dolnego źródła ciepła (wody, gruntu, powietrza, kanalizacji) i przekazywania go do górnego źródła ciepła (instalacji centralnego ogrzewania i/lub ciepłej wody użytkowej), charakteryzującego się już użytkowym poziomem temperatur. Proces ten jest możliwy dzięki dostarczonej energii zewnętrznej (elektrycznej bądź cieplnej – w zależności od rodzaju pompy ciepła: sprężarkowej lub absorpcyjnej).

**system BMS** - z ang. Building Management System, system automatyki budynkowej, który daje możliwość monitorowania i zarządzania wszystkimi urządzeniami i systemami znajdującymi się w budynku i jego otoczeniu. Wykorzystywany do zarządzania instalacjami oświetleniowymi, grzewczymi, klimatyzacyjnymi czy alarmowymi, umożliwia wygodniejsze i efektywniejsze ich stosowanie. Może występować także system BEMS – z ang. Building Energy Management System – system do zarządzania energią w budynku.

**system HVAC** – z ang. Heating, Ventilation, Air Conditioning, grupa zintegrowanych urządzeń, których zadaniem jest ogrzewanie, klimatyzowanie i wentylowanie pomieszczeń – system HVAC odpowiada za utrzymanie pożądanej temperatury we wnętrzach, dostarczanie świeżego powietrza oraz regulowanie wilgotności w pomieszczeniach.

## Analiza trendów i praktyk stosowanych rozwiązań OZE w kraju i na świecie

Obiekty infrastruktury krytycznej są nieodłącznym elementem energetyki, a tym samym transformacji energetycznej. Konieczność redukcji śladu węglowego oraz rosnące koszty utrzymania skutkują wprowadzaniem innowacyjnych rozwiązań również w sektorze medycznym.

Międzynarodowa organizacja *Global Green and Healthy Hospitals* zrzesza szpitale, które dążą do redukcji śladu węglowego oraz inwestują w transformację energetyczną przyjazną dla środowiska. Obecnie sieć skupia 1940 członków, 70 tys. szpitali i centrów zdrowia z 86 krajów<sup>6</sup>. Organizacja prowadzi działania implementujące energooszczędne rozwiązania w szpitalach, zmniejszając ich wpływ na środowisko. W Polsce pierwszym włączonym szpitalem do sieci *Global Green and Healthy Hospitals* był Wojewódzki Specjalistyczny Zespół Zakładów Opieki Zdrowotnej Chorób Płuc i Gruźlicy w Wolicy. Szpital zrealizował instalację fotowoltaiczną o mocy prawie 200kWp, która pozwala na pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną w 50%<sup>7</sup>. Dodatkowo wybudowano modułowy izolowany pawilon z materiałów nieszkodliwych dla środowiska dla pacjentów rehabilitującym się po przejściu COVID-19<sup>8</sup>.

Strategie zrównoważonych obiektów ochrony zdrowia zostały ujęte m.in. w systemie certyfikacji zrównoważonych budynków, takim jak LEED for Healthcare. System LEED został stworzony przez U.S. Green Building Council (USGBC) w 2000 roku i polega na wielokryterialnej ocenie budynków pod względem ograniczania ich wpływu na środowisko. Działania projektowe i wykonawcze wymagane w LEED pozwalają na uzyskanie obiektu energo- i wodooszczędnego, o wysokiej jakości środowiska wewnętrznego i budowie prowadzonej w sposób zrównoważony. Budynek otrzymuje punkty w poszczególnych kategoriach, a suma zdobytych punktów przekłada się na poziom certyfikatu.

Główne obszary oceny w LEED for Healthcare:

- Lokalizacja i transport - Ocenia się lokalizację budynku pod kątem dostępu do transportu publicznego, infrastruktury rowerowej, parkingów i miejsc dla pojazdów niskoemisyjnych. Ważne jest również ograniczenie wpływu na otaczającą przyrodę i ekosystemy.
- Zrównoważone otoczenie - Koncentruje się na minimalizacji negatywnego wpływu budynku na otoczenie i ekosystemy. Dąży do ochrony istniejących zasobów naturalnych, poprawy jakości środowiska naturalnego wokół budynku oraz efektywnego zarządzania terenami zielonymi.
- Zrównoważone materiały i zasoby - stosowane materiały budowlane powinny charakteryzować się niskim wpływem na środowisko, pochodzić z recyklingu lub z lokalnych źródeł. Obejmuje także zarządzanie odpadami w trakcie budowy i eksploatacji, co jest szczególnie istotne w placówkach medycznych.

---

<sup>6</sup> Źródło: <https://greenhospitals.org/> dostęp: 13-08-2024 rok.

<sup>7</sup> Źródło: <https://globenergia.pl/zielona-rewolucja-w-ochronie-zdrowia-innowacyjny-krok-szpitala-w-wolicy/>

<sup>8</sup> Źródło: <https://poznan.tvp.pl/60549231/wolica-pierwsza-w-polsce-miedzynarodowa-konferencja-poswiecona>

- Zarządzanie energią i wodą: Ocena efektywności energetycznej budynku, stosowanie urządzeń o niskim zużyciu wody oraz systemów zarządzania energią.
- Jakość powietrza w pomieszczeniach: Wymagania dotyczące jakości powietrza wewnętrznego, wentylacji i filtrowania powietrza.
- Innowacje w projektowaniu: Nagradzanie za wdrożenie innowacyjnych rozwiązań, które wykraczają poza podstawowe wymagania LEED.

Międzynarodowa organizacja pozarządowa *Health Care Without Harm (HCWH)* stworzyła mapę drogową zielonych szpitali *Designing a net zero roadmap for healthcare: Technical methodology and guidance*. Jest to dokument strategiczny, który określa cel i działania prowadzące do transformacji placówek medycznych w bardziej zrównoważone i przyjazne dla środowiska instytucje. Choć konkretne założenia mogą różnić się w zależności od kraju, regionu i indywidualnych warunków szpitala, wyróżnić można kilka ogólnych założeń:

- Zmniejszenie śladu węglowego:
  - Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej poprzez zastosowanie energooszczędnych rozwiązań, takich jak oświetlenie LED, systemy zarządzania budynkiem czy wykorzystanie odnawialnych źródeł energii (np. panele fotowoltaiczne).
  - Zmniejszenie zużycia wody poprzez zastosowanie nowoczesnych technologii oszczędzających wodę (np. perlatory, aeratory) oraz optymalizację procesów technologicznych.
  - Redukcja emisji gazów cieplarnianych poprzez ograniczenie zużycia paliw kopalnych i wybór bardziej ekologicznych materiałów budowlanych.
- Zarządzanie odpadami:
  - Wprowadzenie systemów selektywnej zbiórki odpadów medycznych i niemedycznych.
  - Minimalizacja ilości odpadów poprzez optymalizację procesów i wybór produktów o mniejszej ilości opakowań.
  - Promowanie recyklingu i odzysku surowców wtórnych.
- Zastosowanie ekologicznych materiałów i technologii:
  - Wybór materiałów budowlanych i wyposażenia o niskim wpływie na środowisko.
  - Zastosowanie technologii przyjaznych dla środowiska, takich jak systemy wentylacji i klimatyzacji o wysokiej wydajności energetycznej.
  - Promowanie stosowania naturalnych materiałów i rozwiązań.
- Edukacja i świadomość:
  - Szkolenie pracowników szpitala w zakresie zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska.
  - Angażowanie pacjentów i odwiedzających w działania na rzecz ochrony środowiska.
  - Promowanie zdrowego stylu życia i zrównoważonej diety.
- Współpraca z dostawcami i partnerami:
  - Wybór dostawców oferujących produkty i usługi o niskim wpływie na środowisko.
  - Współpraca z innymi szpitalami i instytucjami w zakresie wymiany doświadczeń i najlepszych praktyk.
- Monitorowanie i ocena postępów:
  - Regularne monitorowanie postępów w realizacji celów określonych w mapie drogowej.
  - Ocena efektywności wdrożonych działań i wprowadzanie niezbędnych korekt.

Korzyści z wdrożenia mapy drogowej dla zielonych szpitali to przyczynianie się do celów zrównoważonego rozwoju poprzez poprawę jakości powietrza, ale również poprzez zmniejszenie kosztów operacyjnych szpitala i zwiększenie komfortu pacjentów i pracowników. Wyzwania zdiagnozowane we wdrożeniu mapy drogowej, to wysokie koszty początkowe inwestycji, potrzeba zmiany nawyków i kultury organizacyjnej, brak wiedzy i doświadczenia w zakresie zrównoważonego rozwoju, brak odpowiednich regulacji prawnych i wsparcia finansowego.

Wdrożenie mapy drogowej dla zielonych szpitali wymaga zaangażowania wszystkich pracowników szpitala, współpracy z dostawcami i partnerami oraz ciągłego monitorowania postępu.

Przykłady zwiększania efektywności energetycznej w szpitalach w Europie:

1. *Oslo University Hospital (Norwegia)* jest doskonałym przykładem tego, jak szpital może być jednocześnie nowoczesną placówką medyczną i przyjazną dla środowiska instytucją. Wykorzystanie geotermii, energii słonecznej i innych odnawialnych źródeł energii pozwala szpitalowi znacznie zmniejszyć swój ślad węglowy i przyczynić się do budowy bardziej zrównoważonej przyszłości. Oslo, położone w regionie o wysokiej aktywności geotermalnej, wykorzystuje to naturalne źródło ciepła do ogrzewania i chłodzenia budynków szpitalnych. Pompy ciepła pobierają ciepło z głębokich warstw ziemi i przekazują je do systemu grzewczego, a latem odwrotnie – odbierają ciepło z budynku i odprowadzają je do ziemi. Dodatkowo na dachach budynku zamontowano panele fotowoltaiczne.
2. *Amsterdam University Medical Center (Holandia)*. Podobnie jak w innych obiektach na dachach budynków Amsterdam UMC zainstalowano panele fotowoltaiczne, które generują energię elektryczną na potrzeby szpitala oraz pomp ciepła. Oprócz bezpośredniego wykorzystania odnawialnych źródeł energii, Amsterdam UMC inwestuje w nowoczesne technologie mające na celu zwiększenie efektywności energetycznej. Przykłady obejmują modernizację systemów oświetleniowych na LED, optymalizację systemów HVAC (ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja) oraz implementację zaawansowanych systemów zarządzania energią. W nowo powstających budynkach Amsterdam UMC stosuje się materiały i technologie przyjazne dla środowiska, które zmniejszają zapotrzebowanie na energię oraz maksymalizują wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Dodatkowo dla pracowników szpitala została utworzona platforma „społeczność zrównoważonego rozwoju”, a także organizowane są wydarzenia, które inspirują współpracowników do bardziej zrównoważonej opieki.<sup>9</sup>
3. *Guy's and St Thomas' NHS Foundation Trust, Londyn, Wielka Brytania*. Szpital zainstalował zintegrowany system kogeneracyjny (Combined Heat and Power, CHP), który jednocześnie produkuje energię elektryczną i ciepło. System ten pozwala na znaczące zmniejszenie zużycia energii zewnętrznej oraz obniżenie emisji CO<sub>2</sub>. Na dachach szpitala zamontowano panele

---

<sup>9</sup><https://www.amsterdamumc.org/en/research/institutes/amsterdam-public-health/news/get-inspired-sustainability-in-amsterdam-umc.htm>

słoneczne, które generują energię elektryczną na potrzeby placówki, co dodatkowo zwiększa efektywność energetyczną. Komplementarnie szpital opracował strategię zrównoważonego rozwoju na lata 2021-2031, w której zostały uwzględnione elementy raportowania ESG (Environmental, Social, Governance).<sup>10</sup>

4. *Radboud University Medical Center, Nijmegen, Holandia.* Szpital zainwestował w zielone dachy, które poprawiają izolację termiczną budynków, redukując zapotrzebowanie na ogrzewanie i chłodzenie. Zielone dachy również przyczyniają się do poprawy jakości powietrza i zarządzania wodą deszczową. Wprowadzono zaawansowane systemy zarządzania energią (Energy Management Systems, EMS), które monitorują i optymalizują zużycie energii w całym kompleksie szpitalnym.
5. *Örebro University Hospital, Örebro, Szwecja.* Szpital korzysta z energii geotermalnej do ogrzewania i chłodzenia budynków. System ten pozwala na korzystanie z odnawialnej energii o niskim wpływie na środowisko, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów operacyjnych. Zastosowano system do odzysku energii z odpadów medycznych, co pozwala na zmniejszenie zużycia energii z tradycyjnych źródeł.
6. *Hospital Universitario La Paz, Madryt, Hiszpania.* Szpital La Paz zainstalował jednostkę kogeneracyjną, która produkuje zarówno energię elektryczną, jak i ciepłą. Dzięki temu szpital zmniejszył swoje koszty operacyjne oraz emisje CO<sub>2</sub>. Szpital wprowadził programy recyklingu oraz odzysku energii z odpadów medycznych, co zmniejszyło zapotrzebowanie na energię zewnętrzną i wpłynęło na poprawę efektywności energetycznej.
7. *Karolinska University Hospital, Sztokholm, Szwecja.* W nowo wybudowanym obiekcie Karolinska zastosowano zaawansowane systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC), które są zarządzane przez systemy automatyki budynkowej. Systemy te współpracują z gruntowymi pompami ciepła, automatycznie dostosowują poziom ogrzewania i chłodzenia do warunków zewnętrznych oraz aktualnej liczby pacjentów, co znacznie zwiększa efektywność energetyczną. Cały kompleks szpitalny został wyposażony w energooszczędne oświetlenie LED, co znacząco obniżyło zużycie energii. Około 98 procent zużycia energii w szpitalu pochodzi ze źródeł odnawialnych; pozostałe dwa procent to systemy awaryjnego zasilania oparte na dieslu.<sup>11</sup>
8. *Miejski Ośrodek Zdrowia w Leverkusen w Niemczech.* Ośrodek posiada instalację odzyskującą ciepło ze ścieków na potrzeby grzania. Budynek posiada powierzchnię ponad 12 tys. m<sup>2</sup>, a łączne zapotrzebowanie na moc grzewczą wynosi 1030 kW. Wymiennik ciepła składający się z 40 prefabrykowanych elementów o długości 3 m każdy zainstalowany jest na pobliskim kolektorze miejskim. Moc pompy ciepła wynosi 242 kW. Dostarcza ona w rocznym cyklu pracy 68% energii używanej do grzania budynku. Założony przez inwestora efekt został uzyskany – instalacja, pracując na bazie pompy ciepła, emituje o 22% mniej dwutlenku węgla mniej niż tradycyjne układy grzewcze.<sup>12</sup>

---

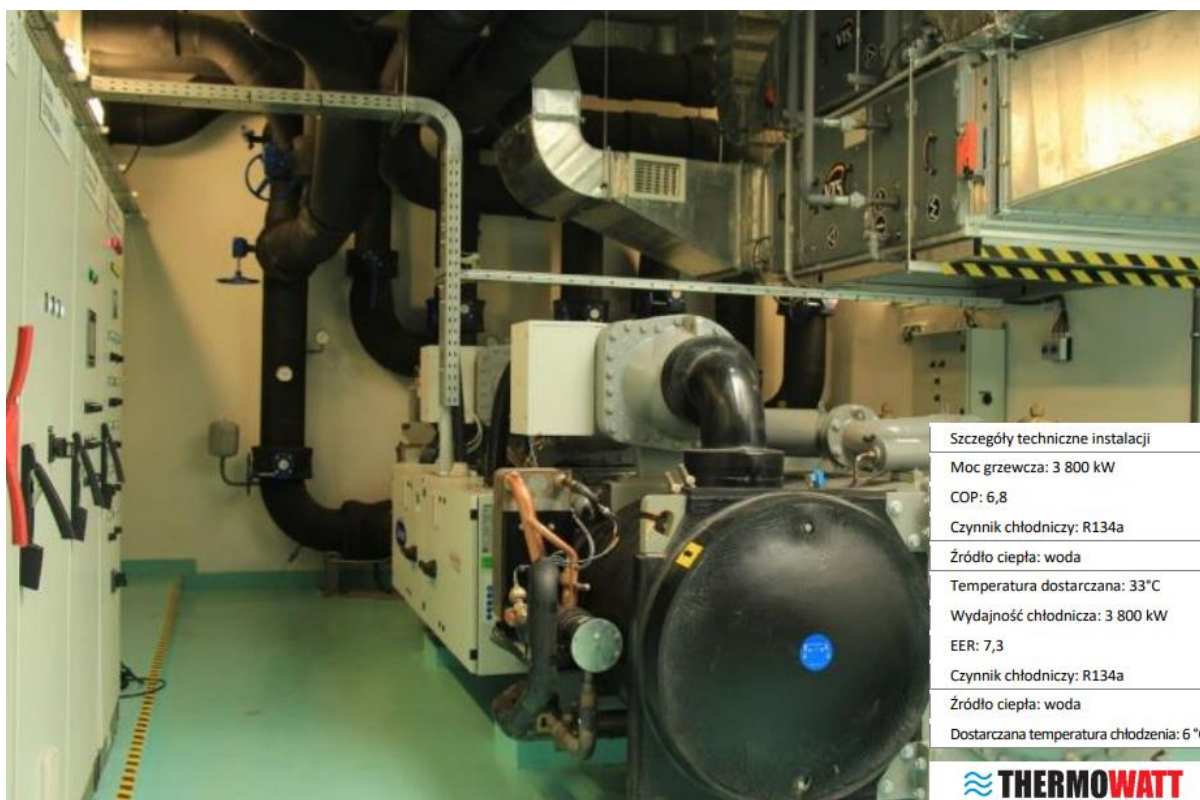
<sup>10</sup> Źródło: file:///C:/Users/48504/Downloads/GSTT\_Sustainability\_Strategy\_2021-2031.pdf

<sup>11</sup> SB11 Helsinki – World Sustainable Building Conference

<sup>12</sup> Źródło: Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, [https://nbi.com.pl/content/uploads/assets/NBI-pdf/2010/2\\_29\\_2010/pdf/17\\_piotr\\_kuliczkowski\\_kanaly\\_sanitarne.pdf](https://nbi.com.pl/content/uploads/assets/NBI-pdf/2010/2_29_2010/pdf/17_piotr_kuliczkowski_kanaly_sanitarne.pdf)



9. *Szpital wojskowy w Budapeszcie*. Ośrodek posiada system z pompą ciepła, który odzyskuje ciepło ze ścieków na potrzeby grzania. System funkcjonuje od lipca 2014 r. i zapewnia ogrzewanie i chłodzenie dla kompleksu budynków o powierzchni 40 000 m<sup>2</sup>. System zapewnia 3,8 MW ogrzewania i 3,3 MW chłodzenia przy zastosowaniu dwóch, w przybliżeniu tej samej wielkości, pomp ciepła w układzie woda-woda firmy Carrier, z których jedna jest inwerterowa, co zapewnia lepszą pracę systemu i wyższą wydajność. Cały system, w tym zespół filtracyjny, mieści się w betonowej konstrukcji podziemnej znajdującej się pod parkingiem i zajmuje około 210 m<sup>2</sup>. Zarówno ogrzewanie, jak i chłodzenie są dostarczane poprzez centrale z dużymi wymiennikami ciepła i pracujące w temperaturze zaledwie 32°C, co przyczynia się do wysokiego współczynnika COP w zakresie 6,5-7,1. System jest zasilany grawitacyjnie z kolektora, a jego wielkość została wyznaczona względem ilości dostępnych ścieków - 11 000 m<sup>3</sup>/dzień.<sup>13</sup>



Rysunek 1 Podziemne pomieszczenie maszynowni szpitala w Budapeszcie. Źródło: Pompy ciepła dużej mocy w Europie, Poradnik PORT PC

10. *Szpital Uniwersytecki Grønnsköpingkiö*. Nieszablonowe podejście do tematu edukacji i rozpowszechniania rozwiązań technologicznych zaprezentowała Organizacja Nordic Center for Sustainable Healthcare (NCSH), organizacja we współpracy z firmami specjalizującymi się w zrównoważonych rozwiązaniach stworzyła cyfrowy szpital wzorcowy „Szpital Uniwersytecki

<sup>13</sup> Pompy ciepła dużej mocy w Europie, Poradnik PORT PC

Grønnskøpingkið”. Strona internetowa wirtualnej placówki prezentuje proekologiczne rozwiązania stosowane w systemie opieki zdrowotnej w podziale na następujące kategorie: rozwiązania energetyczne, technologie oszczędzania wody i zarządzania odpadami, architektura i budownictwo, arena innowacji oraz klimat wewnętrzny.<sup>14</sup>

Z wielu rozwiązań przedstawionych na stronie szpitala na uwagę zasługują w szczególności:

Technologia TcAF (Temperature controlled Airflow) – system wentylacji, który wykorzystuje kontrolowaną temperaturę do kierowania przepływem powietrza w pomieszczeniach medycznych, takich jak sale operacyjne. Jego głównym celem jest minimalizacja ryzyka zakażeń przenoszonych drogą powietrzną poprzez stworzenie wysoce kontrolowanego środowiska. Technologia TcAF opiera się na systemie wentylacyjnym, który dostarcza lekko schłodzone powietrze do strefy nad stołem operacyjnym, jednocześnie kontrolując temperaturę pomieszczenia dzięki nawiewowi powietrza na obrzeżach sali. Wykorzystując podstawowe prawa natury, TcAF skutecznie przerywa prądy konwekcyjne w sposób efektywny energetycznie. System ten oferuje o 30% niższe koszty eksploatacji w porównaniu ze standardowymi systemami laminarnymi (Journal of Hospital Infection, październik 2017).

E. ON ectogrid™ - inteligentny, zdecentralizowany system energetyczny przeznaczony dla dzielnic, miast i społeczności, takich jak szpitale. System umożliwia dzielenie i ponowne wykorzystywanie energii cieplnej i chłodniczej pomiędzy budynkami na terenie szpitala. E. ON ectogrid™ recyklinguje energię tak długo, jak to możliwe, a dodatkową energię zewnętrzną dostarcza dopiero wtedy, gdy wszystkie wewnętrzne źródła energii zostaną wyczerpane. Dzięki temu szpital ponosi niższe koszty energii i zmniejsza swój ślad węglowy. W niektórych przypadkach system zmniejsza zapotrzebowanie na energię zewnętrzną nawet o 60%. Temperatury w systemie są obniżone do poziomu temperatur gruntu, co zwiększa bezpieczeństwo na terenie szpitala. Ponadto, dzięki dwukierunkowej konstrukcji systemu, potrzebne są tylko dwie rury w ziemi, co pozwala zaoszczędzić miejsce w gęsto zabudowanych obszarach szpitalnych.<sup>15</sup>

Stryker Neptune 3 - zaawansowany system zarządzania odpadami zaprojektowany do użytku w środowisku chirurgicznym. Służy do bezpiecznego zbierania, transportu i usuwania płynów chirurgicznych oraz dymu, pomagając zredukować ekspozycję personelu na potencjalnie niebezpieczne substancje. System charakteryzuje się konstrukcją "ciągle zamkniętą", która blokuje płyny podczas użytkowania, zmiany manifoldów i transportu, minimalizując ryzyko wycieków i kontaminacji. System poprawia zarządzanie odpadami i minimalizuje wpływ na środowisko w porównaniu do tradycyjnych systemów opartych na pojemnikach. Wykazano, że zmniejsza wagę odpadów chirurgicznych o niemal 96%, co przekłada się na oszczędności i większą przyjazność dla środowiska.<sup>16</sup>

---

<sup>14</sup> <https://worldsgreenesthospital.org/about-gronnkopingkid/>

<sup>15</sup> Przep. Autora – w Polsce pierwsze tego typu rozwiązanie zostało uruchomione jesienią 2022 r., na obszarze szczecińskiej wyspy Łasztownia.

<sup>16</sup> <https://surgicaltechnologies-eu.stryker.com/neptune-3>



## GRØNNKÖPINGKID UNIVERSITY HOSPITAL



Rysunek 2 Grønnskøpingkid University Hospital. Źródło: <https://worldsgreenesthospital.org/about-gronnkopingkid/>

Przykłady zwiększania efektywności energetycznej w szpitalach w Polsce:

1. *Szpital Specjalistyczny Pro-Familia w Rzeszowie*. Szpital korzysta z ekologicznego tlenu medycznego, pozyskanego w 100% ze źródeł odnawialnych. Działanie to pozwoli szpitalowi na roczną redukcję emisji dwutlenku węgla o ponad 60 tys. ton.<sup>17</sup>
2. *Wojewódzki Szpital Zespolony w Toruniu*. Placówka do ogrzewania i chłodzenia wykorzystuje gazowe pompy ciepła, zasilane gazem ziemnym. Posiada również instalację odzyskiwania ciepła w systemach wentylacyjnych, instalację solarną i fotowoltaiczną, wykorzystuje oświetlenie typu LED oraz czujniki światła dziennego i obecności. Innym z rozwiązań przyjaznych środowisku jest wykorzystywanie wody deszczowej w instalacjach sanitarnych (posiada 9 podziemnych zbiorników na deszczówkę). W części budynków zastosowano ogrzewanie sufitowe, które w lecie ma możliwość chłodzenia pasywnego. Rozwiązanie to ogranicza zastosowanie klimatyzacji. Nowością w skali kraju są zielone dachy. Są one dodatkową izolacją termiczną i akustyczną oraz korzystnie wpływają na mikroklimat (redukcją pyłu, regulują wilgotność i redukują dwutlenek węgla).<sup>18</sup>

---

<sup>17</sup> Raport Un Global Compact Network Poland *Zielone Szpitale*

<sup>18</sup><https://www.rynekzdrowia.pl/Inwestycje/Torun-szpital-na-Bielanach-ma-byc-superoszczedny-i-zielony,193481,3.html>



Rysunek 3 Wojewódzki Szpital Zespolony w Toruniu. Źródło: <https://torun.naszemiasto.pl/szpital-na-bielanach-w-toruniu-kiedy-koniec-budowy-zdjecia/qa/c14-8668519/zd/68804911> fot. Sky Drone Studio dla KPIM

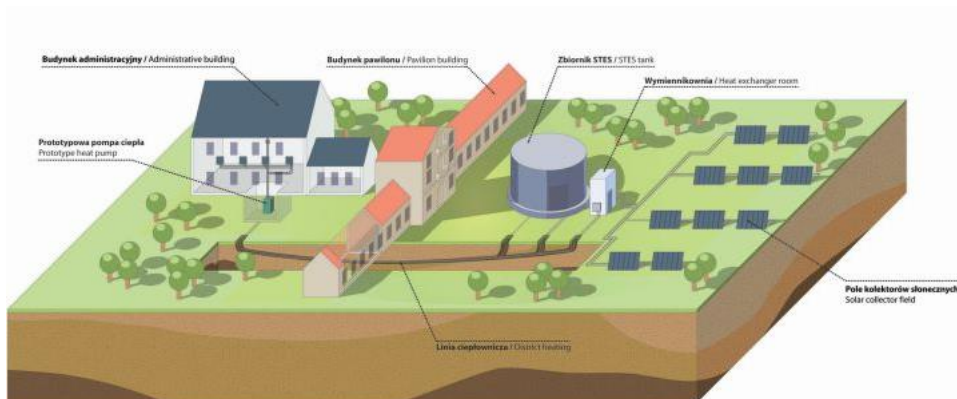
3. *Instytut Matki i Dziecka w Warszawie*. W ramach modernizacji budynku dokonano ocieplenia ścian zewnętrznych, wymieniono okna, zamontowano gazowe pompy ciepła o łącznej mocy 240kW, kolektory słoneczne o mocy 90kW, panele fotowoltaiczne 35kW oraz zastosowano wentylację mechaniczną z rekuperacją. Dodatkowo ciepło odpadowe pochodzące z chłodzenia silników gazowych pomp ciepła wykorzystuje się obecnie do zasilania ciepłej wody użytkowej. Nad kontrolą zużycia, produkcji energii oraz nieprawidłowym działaniu urządzeń czuwa system BMS (Building Management System) – System Automatyki i Zarządzania Budynkiem.<sup>19</sup> Efekt końcowy oszacowano na zmniejszenie zużycia energii końcowej o 664,78 GJ/rok, oszczędność energii cieplnej o 554,68 GJ/rok, oszczędność energii elektrycznej o 30,58 MWh/rok oraz ograniczenie emisji gazów cieplarnianych.<sup>20</sup>
4. *Zespół Opieki Zdrowotnej w Łęczycy*. Szpital od kwietnia 2024 roku wykorzystuje energię produkowaną w kogeneracji zasilanej gazem ziemnym oraz farmę fotowoltaiczną o mocy 400 kWp.
5. *Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny nr 1 Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego*. Szpital od 2002 roku podejmuje sukcesywne działania na rzecz zwiększania efektywności energetycznej i wykorzystania OZE w produkcji energii: w 2005 roku w szpitalu została oddana do użytku spalarnia odpadów medycznych, w 2012 roku zakończono dwuletnią termomodernizację budynków, która poprawiła efektywność energetyczną budynków o ok. 30%, w 2020 roku zakończono budowę instalacji fotowoltaicznej o mocy 740,6 kWp oraz zamontowano 10

<sup>19</sup> <https://imid.med.pl/pl/do-pobrania>

<sup>20</sup> <https://www.gov.pl/web/nfosigw/ponad-13-mln-zl-na-termomodernizacje-kolejnych-obiektow-instytutu-matki-i-dziecka-w-warszawie>

gruntowych pomp ciepła zapewniających ciepło, ciepłą wodę użytkową oraz chłód. Sumaryczna moc pomp ciepła to 880kW mocy cieplnej i 950kW mocy chłodniczej. Prognozuje się, że elektrownia PV pokryje średnio 40% zapotrzebowania na energię, natomiast średniodobowe pokrycie zapotrzebowania jest szacowane na około 20-25%. Zgodnie z wdrażaną polityką *paperless* szpital w znacznej większości przeszedł na prowadzenie dokumentacji elektronicznej.<sup>21</sup>

6. *Mazowieckie Centrum Psychiatrii „Drewnica” w Ząbkach k. Warszawy*. Centrum posiada sezonowy magazyn ciepła (tzw. STES – Seasonal Thermal Energy Storage). Magazynem ciepła jest woda zgromadzona w zbiorniku o pojemności 800m<sup>3</sup>. Za jej podgrzewanie odpowiedzialna jest instalacja kolektorów słonecznych (o łącznej powierzchni 150m<sup>2</sup>) oraz sprężarkowa pompa ciepła. Ze względu na stosunkowo wysoką temperaturę dolnego źródła (zbiornik STES) zastosowano czynnik chłodniczy R245fa, którego właściwości powodują, że temperatura wody w zbiorniku musi osiągać co najmniej 35°C. Woda podgrzana przez instalację kolektorów słonecznych tłoczona jest ze zbiornika do pompy ciepła, która z dolnego źródła o temperaturze 35-55°C, przekazuje wodę o temperaturze zasilania 70-80°C. Taki rozkład temperatur powoduje że pompa ciepła może pracować z sezonowym współczynnikiem efektywności SCOP na poziomie zbliżonym do wartości 5,0. Jeśli temperatura zładu wody w STES przekroczy 55°C, woda kierowana jest bezpośrednio do węzła ciepła w szpitalu w celu bezpośredniego wykorzystania. W zakresie temperatur 30-55°C pracuje pompa ciepła. Dalsze obniżenie temperatury wody powoduje wyłączenie systemu, wówczas automatycznie załącza się kocioł gazowy. Szacuje się, że STES w połączeniu z pompą ciepła może pokryć nawet 60% zapotrzebowania obiektu na cele grzewcze. Zastosowane połączenie powoduje, że aż 80% ciepła wyprodukowanego przez pompę ciepła pochodzi z OZE. Oznacza to, że w skali roku z odnawialnych źródeł energii pochodzi aż 50% ciepła wykorzystywanego w szpitalu.<sup>22</sup>



Rysunek 4 Sezonowy magazyn ciepła w Ząbkach [Źródło: Mostostal Warszawa]

<sup>21</sup> Raport Un Global Compact Network Poland *Zielone Szpitale*

<sup>22</sup> Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła PORT PC

7. *Powiatowy Zakład Opieki Zdrowotnej w Starachowicach*. Szpital przeszedł termomodernizację zawierającą wymianę kaloryferów na bardziej energooszczędne, wymieniono lampy na oświetlenie LED, poddano wymianie drzwi zewnętrzne oraz część instalacji wodnej. Do systemu ogrzewania z sieci miejskiej dołączono kaskadę ośmiu pomp ciepła powietrze-woda oraz na potrzebę produkcji energii elektrycznej zainstalowano instalację fotowoltaiczną o mocy 50 kW. Szacuje się, że zużycie energii elektrycznej spadnie o 158,32 MWh/rok, ciepłej – o 4764,54 GJ/rok, a energii końcowej – o 5487,01 GJ/rok. Z kolei szacowany roczny spadek emisji CO<sub>2</sub> może osiągnąć 631,27 ton, a produkcja energii elektrycznej z OZE sięgnie 42,37 MWh/rok.<sup>23</sup>
8. *Szpital Wojewódzki w Bielsku-Białej*. Szpital w ramach podnoszenia efektywności energetycznej swoich obiektów wykonał częściową termomodernizację polegającą na wykonaniu docieplenia stropodachów obiektów szpitala (8715m<sup>2</sup>) poprzez natryśnięcie 12cm pianki PU zabezpieczonej warstwą polimocznika, wymianie opraw oświetleniowych na oprawy energooszczędne typu LED, uszczelnił okna oraz wybudował elektrownię fotowoltaiczną o mocy 400kW, która szacunkowo pokrywa 10% zapotrzebowania na energię elektryczną<sup>24</sup>.
9. *Centrum Zdrowia Psychicznego w Słupsku*. W 2022r. w Centrum Zdrowia Psychicznego w Słupsku zainstalowano system zarządzania energią (BEMS) Sinum firmy TECH Sterowniki<sup>25</sup>. Obiekt, w którym system został zainstalowany jest budynkiem ponad stuletnim, czterokondygnacyjnym, o powierzchni około 6000 m<sup>2</sup>. Budynek w latach 2014-2016 został poddany termomodernizacji obejmującej docieplenie stropów nad przestrzeniami nieogrzewanymi, wymianę okien oraz docieplenie ścian zewnętrznych systemem docieplenia wewnętrznego (ze względu na nadzór konserwatorski, którym objęty jest omawiany budynek). Centrum Zdrowia Psychicznego w Słupsku obejmuje opieką pacjentów w dwóch trybach - leczeniu stacjonarnym oraz leczeniu w trybie ośrodka dziennego, ponadto w budynku szpitala znajdują się poradnie specjalistyczne. Szpital ogrzewany jest ciepłem sieciowym. Zainstalowany system zarządzania energią obsługuje ponad 260 pomieszczeń, a do jego zamontowania wykorzystano niemal 1000 urządzeń, w tym:
  - 371 bezprzewodowych głowic grzejnikowych regulujących temperaturę grzejników,
  - 318 bezprzewodowych czujników, których zadaniem jest wykrywanie otwarcia okna i wysyłanie informacji do systemu sterującego,
  - 270 bezprzewodowych czujników temperatury kontrolujących aktualne wartości wewnątrz pomieszczenia.Układ ten ma przede wszystkim ograniczyć przegrzewanie pomieszczeń. Temperatury użytkowe poszczególnych pomieszczeń są ustawiane przez użytkownika systemu. Ponadto system czuwa, aby przy wietrzeniu poszczególnych pomieszczeń, poprzez otwarcie lub uchYLENIE okna,

---

<sup>23</sup><https://dedietrich.pl/blog/case-study-szpital-w-starachowicach-po-gruntownej-termomodernizacji-z-kaskada-pomp-ciepla/>

<sup>24</sup> <https://www.hospital.com.pl/>

<sup>25</sup><https://www.techsterowniki.pl/centrum-prasowe/notki-prasowe/montaz-systemu-sinum-w-centrum-zdrowia-psychicznego-w-slupsku>



wyłączyć ogrzewanie w tym pomieszczeniu. W pomieszczeniach, gdzie realizowana jest tylko opieka dzienna zastosowano harmonogram ogrzewania z nocnym obniżeniem temperatury. Zainstalowany system pozwolił na roczne oszczędności ciepła na poziomie 15%.

### Innowacyjne przykłady zwiększania efektywności energetycznej w szpitalach na świecie

Niekonwencjonalnym przykładem zwiększania efektywności energetycznej w szpitalach na świecie jest Szpital Uniwersytecki Tribhuvan (TUTH) w Nepalu. W szpitalu od 2014 roku zaczęto wprowadzać zarządzanie odpadami medycznymi oraz wykorzystywanie odpadów organicznych (m.in. tkanki miękkie wycięte w trakcie zabiegów) jako substrat do produkcji biogazu. Głównym celem projektu była redukcja zagrożeń dla zdrowia publicznego i środowiska wynikających z niewłaściwego przetwarzania odpadów oraz promowanie gospodarki o obiegu zamkniętym. W 2019 roku bioreaktor przetwarzał średnio 72,3 kg odpadów dziennie z 23 oddziałów, co stanowiło 36% oczekiwanej ilości odpadów organicznych. Obecnie metan wyprodukowany w reaktorze jest odprowadzany z komór retencyjnych do pomieszczenia dla personelu. Zasila kuchenkę wykorzystywaną do gotowania, zastępując część gazu płynnego (LPG), który szpital wcześniej kupował. Reaktor w Tribhuvan produkuje 1,5 m<sup>3</sup> metanu dziennie<sup>26</sup>. Po wdrożeniu systemu, ilość odpadów klasyfikowanych jako niebezpieczne zmniejszyła się z 92% do 34%. Wdrożenie systemu wpłynęło na obniżenie kosztów związanych z transportem i przetwarzaniem odpadów, a także na generowanie przychodów ze sprzedaży odpadów do recyklingu.



Rysunek 5 Bioreaktor w trakcie budowy. Źródło: *Health care waste management towards the circular economy: a case study at Tribhuvan University Teaching Hospital in Nepal*

The Royal Adelaide Hospital (RAH) to jedna z najbardziej zaawansowanych technologicznie placówek opieki zdrowotnej w Australii, uzyskał 4-gwiazdkowy certyfikat Green Star – Healthcare Design v1, stając się największym i najbardziej technicznie zaawansowanym projektem Green Star w Australii. Szpital został wyposażony w elektroniczny system zdalnego sterowania ułatwiający efektywne utrzymanie temperatury w pomieszczeniach i eksploatację sprzętu. Na dachu budynku znajdują się tereny zielone, które służą nie tylko rekreacyjnie, ale również do chłodzenia budynków, a

---

<sup>26</sup> Health care waste management towards the circular economy: a case study at Tribhuvan University Teaching Hospital in Nepal

więc zmniejszenia kosztów eksploatacji. RAH wprowadził zarządzanie odpadami i recykling: zredukowano ilość odpadów kierowanych na składowiska, osiągając 40% poziom recyklingu dzięki oddzielnej zbiórce odpadów kuchennych, papieru, plastiku, tonerów i innych materiałów. W kuchni głównej zainstalowano system próżniowy do przetwarzania odpadów organicznych, co pozwala na ich redukcję i dalsze przetwarzanie na kompost przez zewnętrzną firmę. Ścisły nadzór nad segregacją przyczynił się do znacznej redukcji śladu ekologicznego.

Szpital odgrywa kluczową rolę w strategiach zarządzania katastrofami w Australii Południowej, mając zdolność wspierania ofiar katastrof naturalnych i spowodowanych przez człowieka. Oddział ratunkowy wyposażony jest do reagowania na duże katastrofy, takie jak wycieki chemiczne, dzięki prysznicom do masowej dekontaminacji oraz pomieszczeniom podciśnieniowym i izolatkom na wypadek wybuchu chorób zakaźnych. Budynek zaprojektowano z myślą o elastyczności, umożliwiając konwersję określonych przestrzeni na dodatkowe obszary kliniczne w razie katastrofy masowej. Szpital jest odporny na trzęsienia ziemi i ekstremalne warunki pogodowe oraz może działać przez 48 godzin w przypadku całkowitego odcięcia od zewnętrznych dostaw wody i energii.<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> <https://www.rah.sa.gov.au/about/about-the-rah>

## Najważniejsze aktualne wytyczne techniczne (regulacje prawne) w zakresie bezpieczeństwa funkcjonowania instalacji, maszyn i urządzeń w obiektach infrastruktury krytycznej, ze szczególnym uwzględnieniem obiektów szpitalnych

Aby zapewnić wysoką jakość usług medycznych i bezpieczeństwo pacjentów, infrastruktura szpitalna musi być odporna na różnorodne zagrożenia, takie jak awarie zasilania, zakłócenia telekomunikacyjne czy ataki cybernetyczne. Szpitale powinny mieć niezależne źródła zasilania, takie jak generatory awaryjne i systemy UPS (zasilanie bezprzerwowe), które zapewniają energię elektryczną w przypadku przerw w dostawie prądu. Wymagane jest, by te systemy były odporne na zakłócenia elektromagnetyczne i miały odpowiednią moc, aby obsłużyć krytyczne urządzenia medyczne. Wymagana jest również odporność na fizyczne ataki. Budynek szpitalny powinien być projektowany z uwzględnieniem potencjalnych zagrożeń, takich jak katastrofy naturalne (np. huragany, trzęsienia ziemi) czy ataki terrorystyczne. Wszelkie urządzenia krytyczne, w tym transformatory, urządzenia zasilające i systemy HVAC, muszą być zabezpieczone przed uszkodzeniami. W szpitalach powinny istnieć procedury awaryjne, które pozwalają na szybkie dostosowanie systemów do zmieniającej się sytuacji. To obejmuje zarówno zarządzanie przestrzenią (np. wykorzystywanie sal jako przestrzeni tymczasowych w przypadku dużego napływu pacjentów), jak i zapasowe systemy zasilania, które umożliwiają utrzymanie krytycznych usług.

Wytyczne techniczne i regulacje prawne dotyczące bezpieczeństwa funkcjonowania instalacji, maszyn i urządzeń w obiektach infrastruktury krytycznej, w tym w szpitalach, są kluczowe dla zapewnienia ciągłości działania tych placówek oraz ochrony zdrowia i życia ludzi. W poniższym zestawieniu znajdują się najważniejsze aktualne wytyczne i regulacje, które obejmują wymagania dotyczące odporności systemów na zakłócenia oraz ogólne zasady bezpieczeństwa:

### Dyrektywy i regulacje Unii Europejskiej

**Dyrektywa 2016/1148 (NIS Directive):** Dyrektywa w sprawie bezpieczeństwa sieci i informacji obejmuje przepisy dotyczące cyberbezpieczeństwa dla operatorów usług kluczowych, w tym szpitali. Nakłada na państwa członkowskie obowiązek zapewnienia, że systemy ICT w tych obiektach są odporne na zakłócenia i ataki.

**Dyrektywa 2014/30/UE (Dyrektywa EMC):** Dotyczy kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Wymaga, aby urządzenia stosowane w szpitalach nie emitowały zakłóceń elektromagnetycznych, które mogłyby wpływać na inne urządzenia, oraz były odporne na zakłócenia zewnętrzne.

**Rozporządzenie 2017/745 (MDR - Medical Device Regulation):** Zawiera wymagania dotyczące bezpieczeństwa urządzeń medycznych, w tym ich odporności na zakłócenia elektromagnetyczne i innych form zakłóceń, które mogą wpływać na ich prawidłowe działanie.

## Normy międzynarodowe i europejskie

**EN 60601-1:** Standard dotyczący bezpieczeństwa podstawowego i zasadniczych parametrów działania urządzeń medycznych. Obejmuje wymagania dotyczące odporności na zakłócenia elektromagnetyczne oraz ochrony przed porażeniem elektrycznym.

**EN 50160:** Norma określająca jakość energii elektrycznej dostarczanej do użytkowników, co jest kluczowe dla zapewnienia stabilnej pracy urządzeń w infrastrukturze krytycznej, w tym w szpitalach.

**ISO 27001:** Norma dotycząca systemów zarządzania bezpieczeństwem informacji (ISMS), która ma zastosowanie również w szpitalach. Zawiera wytyczne dotyczące zarządzania ryzykiem i odporności systemów IT na zakłócenia i ataki cybernetyczne.

## Polskie prawo krajowe

**Ustawa z dnia 5 lipca 2018 r. o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa (Dz.U. 2018 poz. 1560):** Wprowadza przepisy dotyczące bezpieczeństwa systemów informacyjnych w infrastrukturze krytycznej, w tym w placówkach ochrony zdrowia. Nakłada obowiązek zapewnienia odporności na cyberzagrożenia i inne formy zakłóceń. Ustawa wprowadza funkcjonowanie Rządowego Zespołu Reagowania na Incydenty Cyberbezpieczeństwa (CERT Polska) oraz Krajowy Punkt Kontaktowy w celu koordynacji działań na poziomie krajowym.

**Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690):** Zawiera wymagania dotyczące m.in. instalacji elektrycznych i innych systemów technicznych w budynkach, w tym odporności na zakłócenia.

**Uchwała nr 23/2022 Rady Ministrów z dnia 9 lutego 2022 r. w sprawie przyjęcia „Długoterminowej strategii renowacji budynków”:** dokument określa niezbędne działania do zapewnienia w perspektywie 2050 r. wysokiej efektywności energetycznej i niskoemisyjności budynków prywatnych i publicznych w Polsce oraz przedstawia przykłady zrealizowanych termomodernizacji dla kilku typów budynku, w tym dla szpitali.

**Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej:** został opracowany na podstawie art. 5b ust. 1 ustawy o zarządzaniu kryzysowym. Celem Programu jest stworzenie warunków do poprawy bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej i zawiera konkretne wskazówki dotyczące budowy, organizacji i funkcjonowania systemu ochrony. Załącznikiem do programu są „Standardy służące zapewnieniu sprawnego funkcjonowania infrastruktury krytycznej – dobre praktyki i rekomendacje”. Dokument zawiera odniesienia do kluczowych wymagań oraz ich wpływu na proces identyfikacji i analizowania zagrożeń, jak również na ocenę ryzyk, do których zobowiązany jest każdy operator IK. Zawiera także informacje na temat powiązania ochrony IK z zadaniami dotyczącymi ciągłości działania, cyberbezpieczeństwa oraz innych aspektów, takich jak bezpieczeństwo osobowe, fizyczne, techniczne i prawne, a także zgodność z celami operatora IK oraz jego zasobami.



## Wytyczne i rekomendacje branżowe

**Strategia Modernizacji Budynków: Mapa Drogowa 2050:** Raport jest wspólnym dziełem ekspertów z zakresu efektywności energetycznej z Building Performance Institute Europe, Krajowej Agencji Poszanowania Energii, Instytutu Ekonomii Środowiska, Narodowej Agencji Poszanowania Energii oraz PwC. Dokument został opracowany w celu osiągnięcia celów związanych z poprawą efektywności energetycznej budynków oraz zmniejszeniem emisji gazów cieplarnianych do 2050 roku. Dokument ten stanowi część krajowej polityki na rzecz transformacji energetycznej, w której kluczową rolę odgrywa termomodernizacja istniejących budynków oraz poprawa ich efektywności energetycznej.

**Wytyczne NFPA 99 (Health Care Facilities Code):** ustala kryteria dotyczące poziomów usług lub systemów opieki zdrowotnej w zależności od ryzyka dla pacjentów, personelu lub odwiedzających w placówkach medycznych, aby zminimalizować zagrożenia pożarem, wybuchem i problemami z instalacjami elektrycznymi.

**Wytyczne WHO w zakresie infrastruktury zdrowotnej:** Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) dostarcza wytyczne dotyczące budowy i utrzymania infrastruktury zdrowotnej, z uwzględnieniem odporności na zakłócenia, takie jak awarie zasilania czy zakłócenia elektromagnetyczne. Celem dokumentu jest dostarczenie narzędzi, które pomogą władzom placówek opieki zdrowotnej ocenić ich odporność na zagrożenia związane ze zmianami klimatycznymi oraz ich zrównoważony rozwój środowiskowy w oparciu o odpowiednie wykorzystanie zasobów (w szczególności wody i energii oraz zrównoważonego zakupu) i uwalnianie zagrożeń (biologicznych, chemicznych, radiologicznych) do otaczającego środowiska.

## Zarządzanie ryzykiem i ciągłość działania

**ISO 22301:** Norma dotycząca systemów zarządzania ciągłością działania (BCMS ang. Business Continuity Management System). Wymaga, aby szpitale i inne obiekty infrastruktury krytycznej miały wdrożone plany ciągłości działania, które zapewnią odporność na różnego rodzaju zakłócenia, w tym przerwy w dostawie energii czy ataki cybernetyczne.

**ISO 31000:** Standard zarządzania ryzykiem, który obejmuje identyfikację, ocenę i zarządzanie ryzykiem w systemach technicznych i organizacyjnych, co jest kluczowe dla zapewnienia odporności na zakłócenia w obiektach infrastruktury krytycznej.

Aktualne wytyczne techniczne i regulacje prawne kładą duży nacisk na zapewnienie bezpieczeństwa, ciągłości działania oraz odporności na zakłócenia systemów w obiektach infrastruktury krytycznej, zwłaszcza w szpitalach. Ochrona szpitali przed przerwami w dostawie energii ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa pacjentów i ciągłości działania krytycznych systemów medycznych. W szpitalach korzysta się z zaawansowanych technologii, urządzeń podtrzymujących życie i innych systemów, które muszą działać nieprzerwanie.

Poniżej przedstawiono najważniejsze rozwiązania, które można wprowadzić, aby zabezpieczyć szpitale przed przerwami w dostawie energii:

1. Zasilanie awaryjne (UPS - Uninterruptible Power Supply). Systemy zasilania awaryjnego (UPS) zapewniają natychmiastowe przełączenie na alternatywne źródło energii w przypadku awarii sieci energetycznej. UPS podtrzymuje zasilanie przez krótki okres, wystarczający do bezpiecznego zakończenia procedur lub do czasu, aż zasilanie zostanie przywrócone. Zaletą jest ochrona urządzeń krytycznych przed nagłym wyłączeniem. UPS jest kluczowy dla zabezpieczenia systemów IT, systemów monitorowania stanu pacjentów oraz delikatnych urządzeń medycznych, które nie mogą zostać natychmiast wyłączone. UPS-y mogą być wyposażone w różne technologie, takie jak offline, line-interactive czy online, przy czym rozwiązania online są najbardziej zaawansowane i zapewniają najwyższy poziom ochrony.
2. Agregaty prądotwórcze. Agregaty prądotwórcze to najważniejsze źródła zasilania awaryjnego dla szpitali, które mogą przejąć pełne obciążenie energetyczne w razie awarii zewnętrznej sieci. Zazwyczaj zasilane są olejem napędowym, co pozwala na ich długotrwałą pracę w przypadku przedłużających się przerw w dostawie energii. Agregaty mogą działać przez wiele godzin, a nawet dni, pod warunkiem dostarczenia odpowiedniej ilości paliwa. W pełni zabezpieczają krytyczne urządzenia, takie jak respiratory, systemy podtrzymywania życia, lampy operacyjne i systemy grzewczo-wentylacyjne. Agregaty muszą być regularnie testowane i konserwowane, a także powinny być dostępne odpowiednie zapasy paliwa, aby zapewnić długotrwałą pracę w razie potrzeby.
3. Systemy kogeneracji (CHP - Combined Heat and Power). Kogeneracja to technologia, która jednocześnie produkuje energię elektryczną i ciepło. Systemy te mogą być stosowane w szpitalach jako dodatkowe źródło energii, które działa w trybie normalnym i w razie potrzeby może stanowić rezerwę zasilania. Zapewniają efektywne wykorzystanie energii i mogą stanowić stałe źródło zasilania, które w przypadku awarii sieci zewnętrznej może natychmiast podtrzymać pracę urządzeń medycznych. Dodatkowo, kogeneracja pozwala na oszczędności w kosztach energii w dłuższym okresie. Systemy CHP mogą działać na różne paliwa, w tym gaz ziemny, co pozwala na ich elastyczne dostosowanie do lokalnych warunków.
4. Systemy fotowoltaiczne (PV) z magazynami energii. Instalacje fotowoltaiczne mogą być uzupełnieniem dla zasilania szpitali, zwłaszcza gdy są połączone z magazynami energii (baterie akumulatorowe). Energia słoneczna jest wykorzystywana do zasilania budynków szpitalnych, a nadwyżki są przechowywane w bateriach i używane w przypadku przerw w dostawie energii. Fotowoltaika w połączeniu z magazynami energii może działać jako niezależne źródło zasilania, szczególnie w godzinach szczytowego zużycia energii. Dodatkowo systemy te są mniej podatne na zakłócenia z sieci energetycznej, co czyni je dobrym uzupełnieniem systemu awaryjnego.
5. Redundantne linie zasilania (zasilanie z dwóch niezależnych źródeł). Szpitale mogą być podłączone do dwóch niezależnych źródeł zasilania (np. dwie niezależne sieci energetyczne lub różne podstacje). W razie awarii jednego źródła, automatycznie następuje przełączenie na drugie źródło. Zwiększa to bezpieczeństwo zasilania, ponieważ awaria jednej linii energetycznej nie powoduje przerwy w działaniu szpitala. Redundantne linie pozwalają na ciągłość działania bez konieczności korzystania z zasilania awaryjnego.
6. Systemy zarządzania energią (EMS - Energy Management Systems oraz BMS). Zaawansowane systemy zarządzania energią monitorują zużycie energii w czasie rzeczywistym, wykrywają nieprawidłowości i automatycznie przełączają się na źródła awaryjne w razie potrzeby. EMS

optymalizuje zużycie energii w szpitalu, pozwala na lepsze zarządzanie zasobami energii w przypadku przerw w dostawach oraz minimalizuje ryzyko przeciążeń systemu energetycznego. Taki system może również wskazywać momenty, kiedy przełączenie na zasilanie awaryjne jest konieczne, aby uniknąć przeciążeń.

7. Dywersyfikacja źródła ciepła (kotłownie gazowe, biomasowe). Szpitale powinny mieć możliwość zasilania swoich systemów grzewczych z alternatywnych źródeł. Kotłownie gazowe lub biomasowe mogą pełnić rolę zapasowego systemu ogrzewania i dostarczania ciepłej wody w przypadku awarii głównej kotłowni.
8. Wdrożenie planów ciągłości działania (BCP - Business Continuity Plan) zgodnie z normą **ISO 22301**. Szpitale powinny opracować szczegółowe plany ciągłości działania (BCP), które uwzględniają różne scenariusze awarii zasilania. Plany te powinny określać, jakie systemy i urządzenia mają priorytet, jak szybko muszą zostać uruchomione alternatywne źródła zasilania i jak długo mogą działać na zasilaniu awaryjnym. Dzięki planom BCP szpitale mogą minimalizować zakłócenia w pracy podczas awarii energetycznych, a także poprawić koordynację między personelem odpowiedzialnym za infrastrukturę techniczną. Testowanie planów BCP pozwala na szybsze i bardziej efektywne reagowanie na przerwy w zasilaniu.
9. Szkolenia personelu. Personel techniczny i medyczny powinien być regularnie szkolony w zakresie obsługi systemów awaryjnych, takich jak agregaty prądotwórcze i UPS, a także procedur w sytuacjach awaryjnych. Dobrze przeszkolony personel będzie wiedział, jak uruchomić awaryjne źródła zasilania oraz jak zapewnić ciągłość pracy urządzeń medycznych.

## Podstawowe wytyczne sporządzania inwentaryzacji źródeł energii elektrycznej i ciepłej, w tym na potrzeby produkcji chłodu

W celu określenia aktualnego zapotrzebowania na energię i możliwości zmniejszenia energochłonności szpitali należy wykonać szczegółowe analizy energetyczne budynków – czyli audyty energetyczne. Są to ekspertyzy dotyczące podejmowania i realizacji przedsięwzięć zmniejszających całkowite zużycie energii w budynku. Audyt ma na celu wskazanie konkretnych rozwiązań wraz z określeniem ich opłacalności (okresu zwrotu poniesionych kosztów). Audyt określa stan faktyczny, w jakim znajduje się dany budynek, a następnie wskazuje rozwiązanie, czyli sposób modernizacji budynku, instalacji itp., który prowadzić będzie do osiągnięcia optymalnych wyników dotyczących oszczędności energii w stosunku do poniesionych kosztów.

Audyt powinien uzgodnić ze zleceniodawcą cel audytu – potrzeby i oczekiwania, okres realizacji, kryteria oceny usprawnień – czas zwrotu, ograniczenie emisji, ułatwienia w eksploatacji, a dodatkowo planowane pomiary i kontrole, które będą wykonywane w ramach audytu. Zleceniodawca powinien, również przekazać informacje o prawnych ograniczeniach mogących wpłynąć na zakres lub sposób wykonywania audytu (np. objęcie ochroną konserwatora zabytków), systemie zarządzania energią, własnych opiniach i pomysłach.

Audyt energetyczny zawiera następujące elementy:

- inwentaryzację systemu grzewczego, ocenę właściwości cieplnych budynku oraz określenie, jaka jest charakterystyka energetyczna budynku,
- propozycje termomodernizacji budynku,
- ocenę opłacalności każdej z propozycji,
- wskazanie, które z nich są optymalne dla audytowanego budynku.

Audyty energetyczne są przeprowadzone zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. (Dz. U. z 2009 r. Nr 43, poz. 346) i składają się z następujących etapów:

### **Etap I - Analiza aktualnego stanu budynku**

W pierwszym etapie audytu określone są koszty ogrzewania w warunkach średnich, które są poziomem odniesienia dla proponowanych przedsięwzięć energooszczędnych. W tym celu ustalana jest sprawność systemu grzewczego oraz sezonowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania w standardowym sezonie grzewczym. Na sprawność całego systemu ogrzewania wpływa szereg cząstkowych parametrów, które zależą od: rodzaju źródła ciepła i sposobu jego wykorzystania, usytuowania i rodzaju grzejników, sposobu regulacji i sterowania systemem grzewczym, wielkości strat przy przesyłaniu ciepła. Konkretnie wartości ustalane są na podstawie dokumentacji i wizji lokalnej. Aby obliczyć zużycie energii w standardowym sezonie grzewczym konieczne jest stworzenie szczegółowego bilansu strat i zysków ciepła. Na tej podstawie określa się jakie są straty ciepła przez poszczególne przegrody budowlane (ściany, stopy, okna itd.) oraz straty na wentylację.

Ocena stanu technicznego i eksploatacji obiektu obejmuje ogólną ocenę budynku, jego urządzeń i instalacji, w celu ustalenia niezbędnych prac remontowych, a na podstawie wizji lokalnej zdefiniowane są przyczyny nadmiernego zużycia energii. Na tym etapie audytor, wraz z osobą wyznaczoną do współpracy po stronie zleceniodawcy, powinien przeprowadzić wizję lokalną, czyli skontrolować

obiekty przewidziane do audytu, zbadać procedury operacyjne, zachowania użytkowników oraz ich wpływ na zużycie i efektywność energetyczną. Audytor powinien upewnić się, że pomiary i obserwacje są wykonywane w sytuacjach normalnej eksploatacji i w odpowiednich warunkach atmosferycznych.

## **Etap II - Weryfikacja przyjętych parametrów**

Aby ustalić czy przyjęte w poprzednim etapie parametry odpowiadają rzeczywistości dokonywana jest weryfikacja. Polega ona na porównaniu rzeczywistego zużycia energii w poprzednich sezonach grzewczych ze zużyciem obliczeniowym przy założeniu warunków meteorologicznych panujących w porównywanych okresach. W przypadku, gdy przyjęty model matematyczny budynku (wraz z systemem grzewczym) nie odpowiada rzeczywistości dokonywane są odpowiednie korekty, a w razie potrzeby dodatkowe badania (np. termowizyjne), odkrywkowe pomiary.

## **Etap III. Przegląd możliwych usprawnień**

W kolejnym etapie wyszukiwane są wszystkie możliwe do zrealizowania usprawnienia i przedsięwzięcia, których efektem będzie zmniejszenie kosztów ogrzewania. W audycie proponowane są konkretne rozwiązania, dobrane w oparciu o szeroką znajomość rynku i fachową wiedzę. W przypadku docieplenia na podstawie kryteriów opłacalności obliczana jest optymalna grubość termoizolacji.

## **Etap IV. Określenie nakładów inwestycyjnych**

Na podstawie uproszczonych kosztorysów inwestorskich ustalane są przewidywane nakłady finansowe dla każdego przedsięwzięcia.

## **Etap V. Obliczenie oszczędności z przedsięwzięć**

Obliczenie oszczędności energii jakie wynikną z realizacji poszczególnych przedsięwzięć jest kluczowym elementem audytu. Oszczędność kosztów ogrzewania, czyli różnica w opłatach za ogrzewanie przed i po zrealizowaniu usprawnienia wpływa na rentowność inwestycji. Obliczenia prowadzone są na podstawie bilansu cieplnego obiektu, analogicznie jak w etapie pierwszym. Dla każdej inwestycji uwzględniana jest zmiana charakterystycznych parametrów - np. docieplenie ścian zmienia ich współczynnik U, zmiana kotła podnosi sprawność wytwarzania ciepła itd. Aby móc porównać wyniki, wszystkie obliczenia prowadzone są przy założeniu takich samych, standardowych warunków meteorologicznych i takich samych warunków panujących w pomieszczeniach (temperatury i zyski bytowe). Dzięki takim obliczeniom, dla każdego przedsięwzięcia określony jest nie tylko koszt, ale również zysk jaki ona przyniesie. Znajomość kosztów i zysków jest punktem wyjścia do podejmowania decyzji o realizacji jakiegokolwiek inwestycji.

## **Etap VI. Analiza ekonomiczna (określenie opłacalności)**

Celem analizy ekonomicznej jest uszeregowanie przedsięwzięć od najbardziej do najmniej opłacalnych. Analiza polega na porównywaniu kosztów i zysków (oszczędności) danej inwestycji. W oparciu o odpowiednie formuły ekonomiczne obliczane są wskaźniki, które mogą być wykorzystane jako kryteria opłacalności. W przypadku niniejszej analizy jest to wskaźnik SPBT, czyli prosty okres zwrotu nakładów (w innych przypadkach stosowane są zarówno kryteria uniwersalne zalecane przez Bank Światowy okres zwrotu nakładów, NPV, IRR/ jak też kryteria przeznaczone specjalnie dla inwestycji

energooszczędnych /CS, CSE/). Okres zwrotu nakładów wskazuje okres czasu po jakim zwrócą się koszty inwestycji i przedsięwzięcie zacznie przynosić korzyści.

#### **Etap VII. Określenie zalecanego zakresu prac**

Po ustaleniu, które z działań są opłacalne określany jest optymalny zakres prac, czyli komplet inwestycji zalecanych do realizacji. Dobór zakresu prac oparty jest głównie na kryteriach ekonomicznych, choć brane są pod uwagę również inne argumenty np. polepszenie komfortu cieplnego, zlikwidowanie przemarzania ścian, zwiększenie bezpieczeństwa czy niezawodności centralnego ogrzewania, uproszczenie obsługi urządzeń, korzyści ekologiczne. Uwzględniane są także uwarunkowania techniczne oraz konieczność połączenia niektórych usprawnień, które dopiero w całości przyniosą spodziewane efekty. Audytor może również zaproponować wytyczne dla personelu w zakresie użytkowania pomieszczeń i urządzeń, którą wpłyną za zwiększenie efektywności energetycznej.

Na zakończenie prac audytor powinien przekazać raport z audytu w sposób zrozumiały i ułatwiający podjęcie decyzji przez zleceniodawcę oraz udzielić niezbędnych wyjaśnień.

## Modelowe rozwiązania OZE dla Szpitala Wojewódzkiego im. Św. Łukasza w Tarnowie.

Szpital Wojewódzki im. św. Łukasza w Tarnowie jest największą placówką leczenia zamkniętego we wschodniej części województwa małopolskiego. Prowadzi leczenie stacjonarne na prawie 580 łóżkach. Większość łóżek szpitalnych to łóżka o charakterze ostrym, z 23 oddziałów, 12 ma charakter zabiegowy.

Szpital przyjmuje głównie pacjentów z terenu miasta Tarnowa oraz powiatów: ziemskiego tarnowskiego, dąbrowskiego, brzeskiego oraz części powiatu bocheńskiego i terenów przygranicznych należących obecnie do województwa Podkarpackiego tj. części powiatów: Dębica, Mielec i Jasło. Szpital prowadzi 27 Specjalistycznych Poradni Konsultacyjnych, w których udzielane są świadczenia ambulatoryjne dla pacjentów leczonych w oddziałach szpitalnych, pacjentów kierowanych przez lekarzy POZ, a także kierowanych przez lekarzy innych placówek leczniczych. Dodatkowo udzielane są świadczenia w ramach Nocnej i Świątecznej Opieki Zdrowotnej.

Na rzecz podstawowej działalności Szpitala pracują: Blok Operacyjny, Zakład Diagnostyki Medycznej wraz z Zespołem Radiologii Zabiegowej, Zakład Patomorfologii, Zakład Rehabilitacji Leczniczej, Centralna Sterylizatornia, Apteka Szpitalna. Intensywnie rozwijane są dziedziny medycyny, takie jak – neurochirurgia, kardiologia inwazyjna, leczenie onkologiczne w ramach Tarnowskiego Ośrodka Onkologicznego oraz psychiatria w ramach Ośrodka Zdrowia Psychicznego.<sup>28</sup>

Dla Szpitala opracowano modelowe rozwiązanie zwiększenia efektywności energetycznej, uzasadnione technicznie i ekonomicznie. Główne problemy wskazane przez Inwestora to: wysokie zużycie energii elektrycznej oraz ciepłej, konieczność modernizacji wyeksploatowanego źródła ciepła.

Na potrzeby wykonania audytu Inwestor udostępnił posiadane dane:

- odczyty liczników energii elektrycznej,
- faktury i zestawienia zużycie opału,
- informacje o punktach poboru energii i gazu,
- schemat ideowy powiązań stacji trafo.

Wywiad i wizję lokalną przeprowadzono w październiku 2024 roku.

### Opis i ocena stanu obecnego urządzeń i obiektów

Budynek i instalacje zużywają energię na potrzeby ogrzewania i przygotowania c.w.u, pracy systemów technicznych, oświetlenia oraz urządzeń rehabilitacyjnych. Energia ciepła do celów grzewczych jest wytwarzana we własnej lokalnej kotłowni gazowej wodnej i parowej, a przygotowany nośnik energii

---

<sup>28</sup> <https://lukasz.med.pl/szpital/>

(para wodna) transportowany jest poprzez sieć ciepłą do budynków szpitala. Energia elektryczna jest zapewniona przez zewnętrznego dostawcę sieciowego.

Na podstawie dostępnej dokumentacji oraz wizji przeprowadzonych w terenie został ustalony stan istniejący w obszarach zużycia energii cieplnej i elektrycznej.

## Nośniki energii

### *Energia elektryczna*

Energia elektryczna jest rozliczana z kilku punktów poboru energii (PPE). Szpital nie posiada podliczników, które pozwoliłyby określić zużycie energii na poszczególne cele np. oświetlenie, urządzenia biurowe itp.

Główne systemy i urządzenia obierające energię elektryczną:

- energia pomocnicza do napędu urządzeń grzewczych i przygotowania c.w.u.,
- energia do systemów technologicznych i wentylacji mechanicznej,
- oświetlenie wewnętrzne,
- urządzenia biurowe (m.in. komputery, drukarki, inne),
- inne m.in. oświetlenie zewnętrzne.

### *Ogrzewanie*

Ogrzewanie i przygotowanie c.w.u. jest realizowane przez własną lokalną kotłownię gazową. Zużycie ciepła można określić na podstawie faktur za paliwo. Kotłownia wyposażona jest w kilka kotłów wodnych i parowych o różnym stopniu wyeksploatowania.

## Bilans energetyczny

### *Dane historyczne o obecnym zużyciu energii z podziałem na poszczególne nośniki*

Na podstawie odczytów liczników energii elektrycznej i faktur za dostawy paliwa określono średnie zużycie energii w zależności od nośnika i obszaru użytkowania. Za podstawę przyjęto dane z 2 lat poprzednich.

### *Ogrzewanie i przygotowanie pary technologicznej– kotłownia gazowa*

Na podstawie faktur z lat poprzednich można przyjąć średnie roczne zużycie gazu do celów grzewczych i przygotowania pary technologicznej na poziomie 14 834 MWh. Miesięczne zużycie jest zależne od warunków atmosferycznych. W dalszych obliczeniach przyjęto, że średnia, a sprawność wytwarzania w źródle ciepła wynosi 0.85.



	Średnie zużycie paliwa gazowego [MWh]
Styczeń	2055
Luty	1831
Marzec	1712
Kwiecień	1371
Maj	765
Czerwiec	700
Lipiec	597
Sierpień	584
Wrzesień	713
Październik	1038
Listopad	1570
Grudzień	1898
Razem	14834

Tabela 1 Zużycie gazu w ujęciu miesięcznym - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.

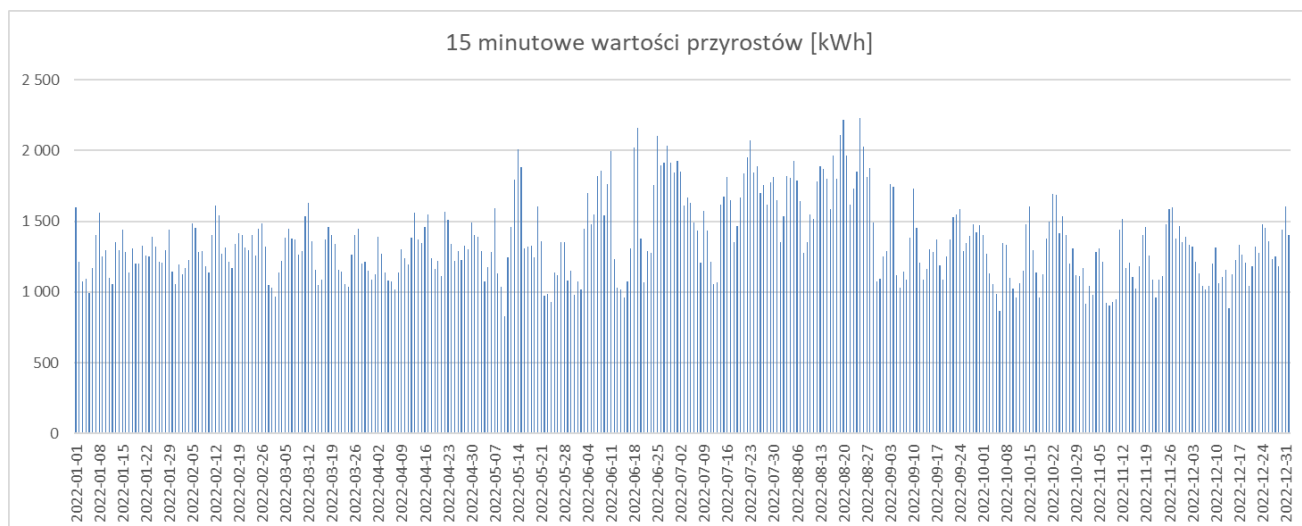
Przyjmując, że od maja do września kotłownia pracuje tylko na cele przygotowania pary technologicznej to średnie roczne zużycie energii cieplnej kształtuje się następująco:

	MWh	%
Ogrzewanie	6773	54,3%
Przygotowanie pary technologicznej	8062	45,7%
Razem	<b>4625.0</b>	

Tabela 2 Średnie roczne zużycie energii cieplnej na ogrzewanie i przygotowanie pary technologicznej - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.

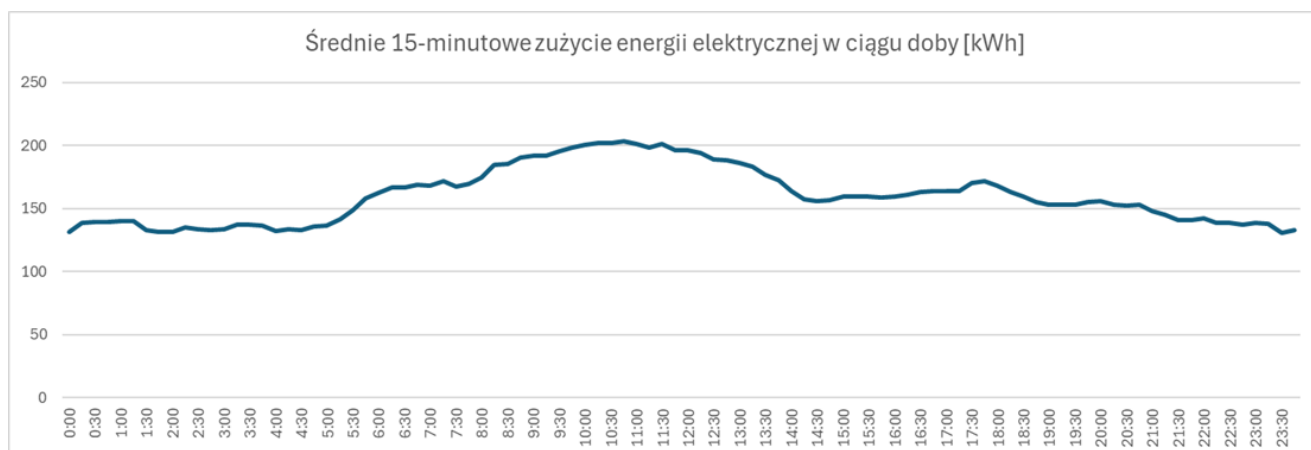
### *Energia elektryczna*

W szpitalu jest kilka PPE (liczniki energii elektrycznej) dla wszystkich celów tj. oświetlenie, instalacje technologiczne oraz urządzenia biurowe. Na podstawie faktur za poprzednie lata określono średnie zużycie energii w ciągu roku, które wynosi 5564 MWh. Inwestor jest w posiadaniu raport ewidencyjnego obejmującego wartości przyrostów 15 minutowych (przeliczone) w zakresie energii elektrycznej. (Rysunek 6)



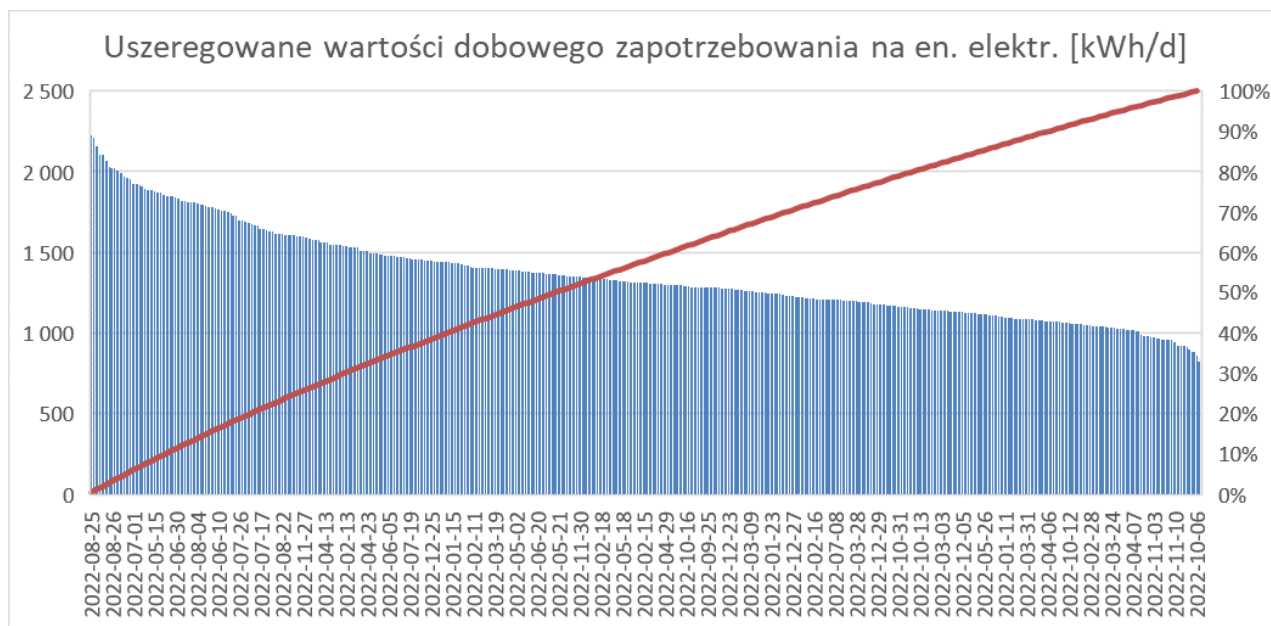
Rysunek 6 Wartości przyrostów 15 minutowe - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.

Dobowy rozkład zapotrzebowania na energię elektryczną nie wykazuje większych zmian w przeciągu roku, z wyjątkiem wzrostu zapotrzebowania na chłód w miesiącach letnich. Zwiększenie pracy urządzeń można zaobserwować od 5.00 rano do 21.00 wieczorem. (Rysunek 7)



Rysunek 7 Dobowy rozkład zapotrzebowania na energię elektryczną urządzeń - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.

Również dobowe wartości zapotrzebowania na energię elektryczną charakteryzują się stabilnością. Przez ponad 80 % dnia wartości mieszczą się w przedziale 10000 – 18000 kWh/dobę. (Rysunek 8)



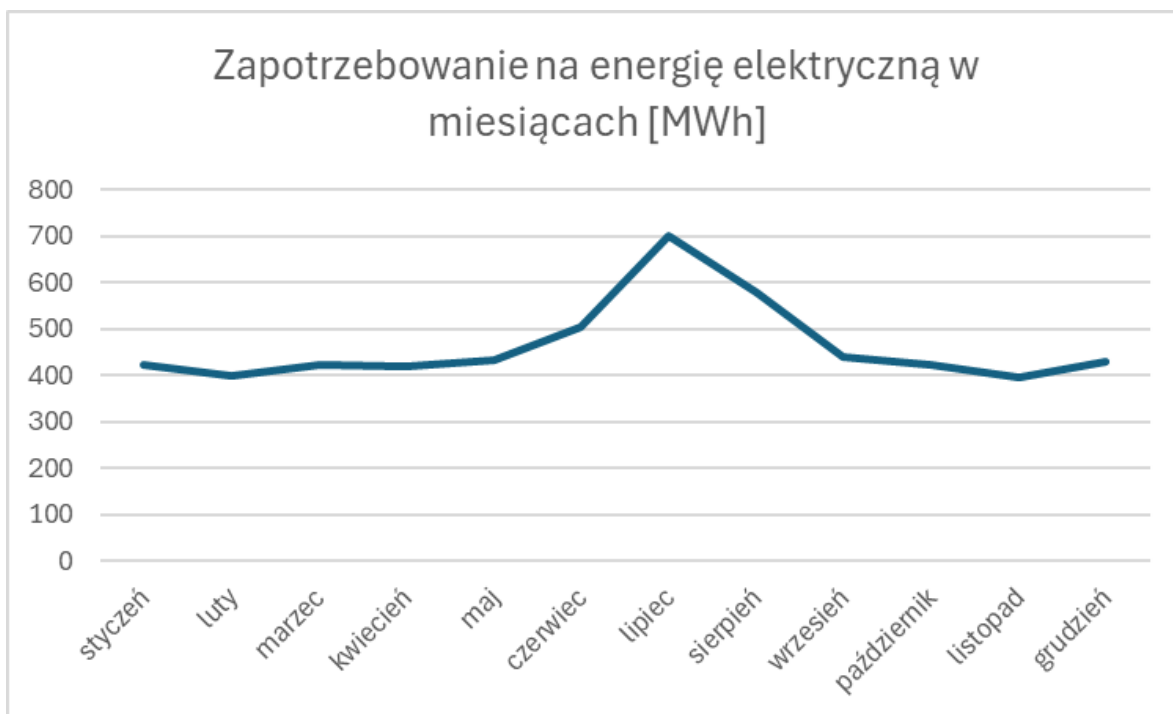
Rysunek 8 Dobowe zapotrzebowania na energię elektryczną urządzeń w ciągu roku - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.

Z analizy wartości przyrostów 15 minutowych za rok wynika, że w okresie letnim (czerwiec – sierpień) następuje 17,5 procentowe zwiększenie zużycia energii w stosunku do średniej z całego roku. Wynika to ze zwiększonego korzystania z klimatyzacji w budynku.

Miesiąc	Średnie zużycie energii [MWh]
styczeń	423
luty	400
marzec	424
kwiecień	420
maj	432
czerwiec	505
lipiec	700
sierpień	579
wrzesień	438
październik	421

<b>listopad</b>	394
<b>grudzień</b>	430
<b>Razem</b>	<b>5564</b>

Tabela 3 Średnie zużycie energii elektrycznej w miesiącach - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.



Rysunek 9 Średnie miesięczne zapotrzebowanie na energię elektryczną w ciągu roku - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.

#### Podsumowanie danych historycznych

Na podstawie danych z faktur za ostatni rok rozliczeniowy zostało określone historyczne, roczne zużycie energii w poszczególnych obszarach – Tabela 4.

Obszary zużycia energii	Energia cieplna [MWh]	Energia elektryczna [MWh]	Udział procentowy [%]
<b>Ogrzewanie</b>	6773		33,2
<b>Przygotowanie pary technologicznej</b>	8062		39,5
<b>Energia elektryczna łącznie</b>		5564	27,3
<b>RAZEM</b>	<b>14835</b>	<b>5564</b>	

Tabela 4 Dane historyczne – podsumowanie - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.

## Planowane modernizacje

### Jednostka kogeneracyjna

Kotłownia zostanie wyposażona w gazowy agregat kogeneracyjny. Do dalszej analizy przyjęto jednostkę kogeneracyjną zasilaną gazem ziemnym o mocy elektrycznej około 400 kW i mocy cieplnej około 600 kW.

Podstawowym celem budowy układu wysokosprawnej kogeneracji i kotłowni parowej zasilanej gazem ziemnym będzie:

- produkcja energii elektrycznej i ciepła z możliwie najefektywniejszym wykorzystaniem energii chemicznej zawartej w paliwie gazowym,
- ograniczenie wpływu energetycznego spalania paliw w celu produkcji energii na środowisko naturalne, poprzez zastąpienie obecnej kotłowni gazowej kotłownią kogeneracyjną gazową, spełniającą wymagania Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2193 z dnia 25 listopada 2015 r. w sprawie ograniczenia emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza ze średnich obiektów energetycznego spalania,
- poprawa bezpieczeństwa ciągłości dostawy energii cieplnej,
- dostosowanie źródeł wytwarzania ciepła w szpitalu zgodnie z jego potrzebami.

Realizacja obejmuje:

- a) w zakresie projektowania:
  - a. sporządzenie projektu budowlanego w zakresie zgodnym z wymaganiami obowiązującej w Polsce ustawy Prawo budowlane z 7 lipca 1994 r. z późniejszymi zmianami oraz aktami niższego rzędu i ustawami powiązanymi,
  - b. opracowanie informacji dotyczącej bezpieczeństwa i ochrony zdrowia,
  - c. uzyskanie niezbędnych opinii, pozwoleń i uzgodnień wymaganych przepisami szczegółowymi ustawy Prawo budowlane,
  - d. sporządzenie dokumentacji wykonawczej dla celów realizacji inwestycji, która stanowić będzie uszczegółowienie projektu budowlanego, w zakresie niezbędnym dla realizacji Inwestycji. Dokumentacja powinna być opracowana z uwzględnieniem warunków zatwierdzenia Projektu Budowlanego oraz warunków zawartych w uzyskanych opiniach i uzgodnieniach,
  - e. dokonanie niezbędnych uzgodnień z lokalnym dystrybutorem gazu ziemnego,
  - f. wykonanie projektów włączenia energii elektrycznej w istniejący system,
- b) w zakresie robót budowlanych, wykonywanych na podstawie opracowanej dokumentacji wykonawczej:
  - a. opracowanie planu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia,
  - b. wybudowanie/dostawa kompletnej jednostki kogeneracyjnej,
  - c. wykonanie instalacji chłodzenia awaryjnego,
  - d. włączenie instalacji technologicznej kotłowni w zakresie orurowania i armatury dla potrzeb współpracy z agregatem kogeneracyjnym z uwzględnieniem wielkości

strumienia czynnika grzejjego wynikającego z mocy zainstalowanych urządzeń pomocniczych,

- e. wykonanie systemu monitoringu, wizualizacji oraz zdalnego sterowania i nadzoru pracy,
- f. wykonanie instalacji wewnętrznej gazu ziemnego,
- g. wykonanie dokumentacji powykonawczej z naniesionymi w sposób czytelny wszelkimi zmianami wprowadzonymi w trakcie budowy,
- h. wykonanie instrukcji eksploatacji, dokumentacji techniczno-ruchowej układu kogeneracyjnego oraz pozostałych urządzeń wchodzących, instrukcji stanowiskowych oraz instrukcji BHP, PPOŻ (przepisy przeciwpożarowe),
- i. wykonanie protokołu z rozruchu,
- j. przeprowadzenie szkolenia personelu w zakresie obsługi i konserwacji,
- k. usługi serwisowe urządzeń w okresie gwarancyjnym.

Kotłownia powinna być zautomatyzowana, charakteryzować się wysokim poziomem technicznym i technologicznym oraz bezawaryjnością pracy. Przed rozpoczęciem prac projektowych należy zweryfikować dane wyjściowe do projektowania, wykonać wszystkie badania i analizy uzupełniające niezbędne dla prawidłowego wykonania dokumentów, a w szczególności Projektu Budowlanego.

Lista podstawowych elementów:

Jednoźyzyskowy generator chłodzony powietrzem

- Rama bazowa do umieszczania agregatów prądowórczych i technologii kogeneracyjnych,
- Silnik - energia z paliwa jest zamieniana na energię mechaniczną i ciepłą. Pracuje w trybie stechiometrycznym,
- System zapłonowy - jednostka kontroli zapłonu,
- Wanna zlewowa - wanna do zatrzymywania płynów operacyjnych w przypadku wycieku,
- Jednostki kogeneracyjne przeznaczone do równoległej współpracy z publiczną siecią elektroenergetyczną (tryb pracy SP) są uruchamiane przez rozrusznik elektryczny zasilany z urządzenia rozruchowego zasilanego z sieci publicznej. W związku z tym nie jest możliwe uruchomienie jednostki kogeneracyjnej w przypadku awarii tej sieci.

Obieg Pierwotny:

- Naczynie wzbiórcze - wyrównuje ciśnienie w obiegu przy zmianach temperatury,
- Pompa - zapewnia nominalny przepływ płynu chłodzącego przez silnik,
- Płytowy wymiennik ciepła - wymiana ciepła pomiędzy obiegiem pierwotnym i wtórnym (jednostka/odbiorca),
- Zawór trójdrożny - zapewnia regulację płynu chłodzącego dopływającego do silnika.

Układ Olejowy:

- Pompa olejowa,
- Zbiornik - dopływ czystego oleju do silnika.

Ścieżka Gazowa:

- Filtr powietrza - filtr powietrza do spalania,

- Regulator zero -reguluje ciśnienie gazu do mieszania,
- Zawory elektromagnetyczne -element zabezpieczający zamyka i otwiera wlot gazu do urządzenia.

#### Przewód Spalinowy:

- Tłumik spalin - redukcja hałasu po stronie wylotowej urządzenia,
- Wymiennik ciepła spalin -przekazuje moc cieplną spalin do obiegu pierwotnego.

#### Rozdzielnia:

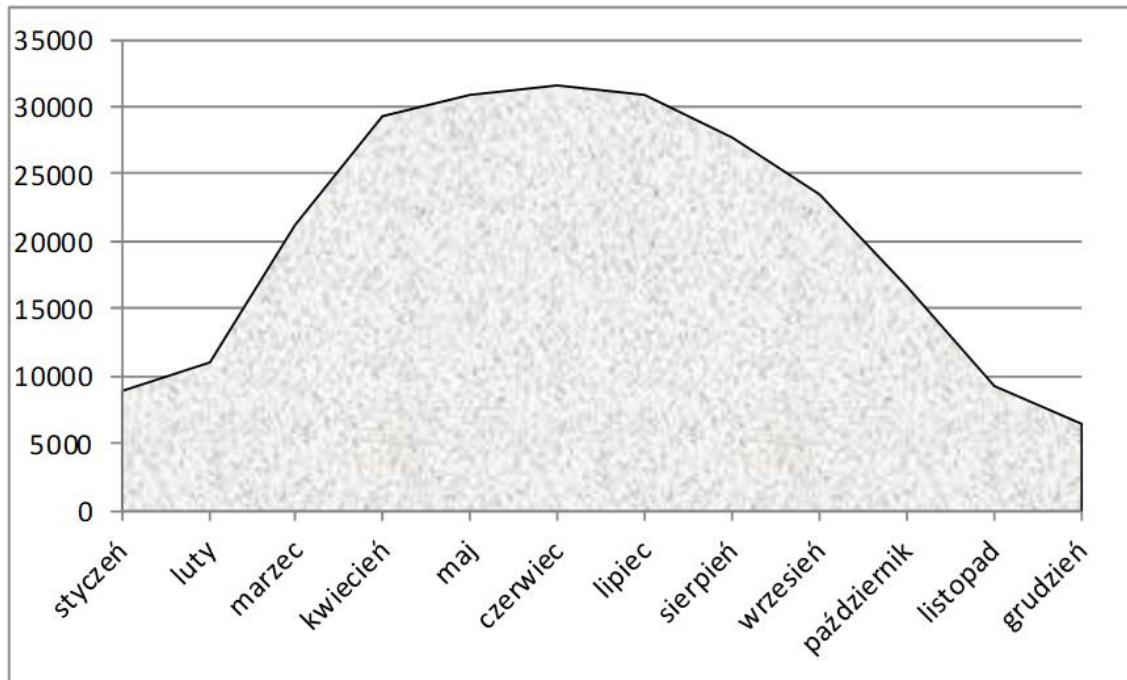
- Ochrona sieci - zabezpieczenie sieci w sposób ciągły monitoruje napięcie i częstotliwość sieci, a w przypadku przekroczenia nastawionych limitów blok kogeneracyjny zostaje wyłączony. Gdy jednostka jest nieruchoma, jej start jest zablokowany.
- Rozdzielnica składa się z następujących części: Część zasilająca: Służy do wyprowadzenia energii elektrycznej z generatora. Część sterująca: Służy do sterowania, zasilania i podłączania napędów, czujników i sygnałów zewnętrznych System sterowania: Zapewnia pełną kontrolę nad jednostką kogeneracyjną, mierzy parametry techniczne, fazy do sieci, ocenia pracę jednostki kogeneracyjnej. Umożliwia zdalną komunikację z jednostką kogeneracyjną. Komponenty rozdzielnic są umieszczone w metalowej szafie, która jest zainstalowana na ramie agregatu. Zasilanie rozdzielnic zawiera również urządzenie rozruchowe w indywidualnej szafie, która jest częścią zasilania jednostki kogeneracyjnej.
- Tryb pracy - jednostka kogeneracyjna może pracować tylko we współpracy z publiczną siecią elektroenergetyczną. Jeśli ta sieć ulegnie awarii, jednostka kogeneracyjna zostanie wyłączona z powodu ochrony sieci.

## Instalacja fotowoltaiczna

### OBLICZENIA ZAOSZCZĘDZONEJ ENERGII ELEKTRYCZNEJ - INSTALACJA FOTOWOLTAICZNA

Z uwagi na ograniczenia techniczne rozpatrywany jest jeden wariant montażu instalacji PV: Montaż instalacji PV na dachu budynku i na gruncie o mocy 277.68 kWp.

Moc generatora fotowoltaicznego	277.68 kWp
Powierzchnia generatora fotowoltaicznego (orientacyjnie)	1255.9 m <sup>2</sup>
Liczba modułów fotowoltaicznych (paneli) (orientacyjnie)	661 szt.
Liczba falowników	1 szt.
Lokalizacja paneli	na dachu budynku i na gruncie
Jednostkowy zysk roczny	925 kWh/kWp
Współczynnik wydajności	96.2 %
Ilość wytworzonej rocznie energii	247 094 kWh



Orientacyjne ilości wytworzonej energii w miesiącach

Rysunek 10 Obliczenia zaoszczędzonej energii elektrycznej - instalacja fotowoltaiczna - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.



## SYMULACJA - INSTALACJA FOTOWOLTAICZNA

### Struktura instalacji

Miejscowość:	Tarnów
Dane meteorologiczne:	Tarnów
Rodzaj instalacji:	3D, instalacja fotowoltaiczna podłączona do sieci - pełne zasilanie

### Generator solarny

Moduł solarny:	277.68 kWp
Nachylenie:	34°
Orientacja:	Południe (180°)
Sytuacja montażowa:	Równoległe z dachem
Powierzchnia generatora:	1255.9 m <sup>2</sup>
Moc pozostała po 25 latach:	83%

### Falownik i sieć AC

Liczba faz:	3
Napięcie sieciowe:	230 V
Współczynnik przesuwu fazowego	+/-1
Kabel - strata całkowita	0.88%
Przyłączenia	MPP 1+2: 1 x 20

### Symulacja

Roczne nasłonecznienie:	925 kWh/m <sup>2</sup>
Roczna średnia temperatur:	9.6 °C
Moc nominalna:	277.7 kWp (DC)
Ilość modułów:	661 sztuk

### Produkcja energii:

$$\text{Energia rzeczywista} = \frac{\text{Nasłonecznienie} \times \text{Moc instalacji} \times \text{Współczynnik wydajności}}{\text{Natężenie promieniowania (STC)}}$$

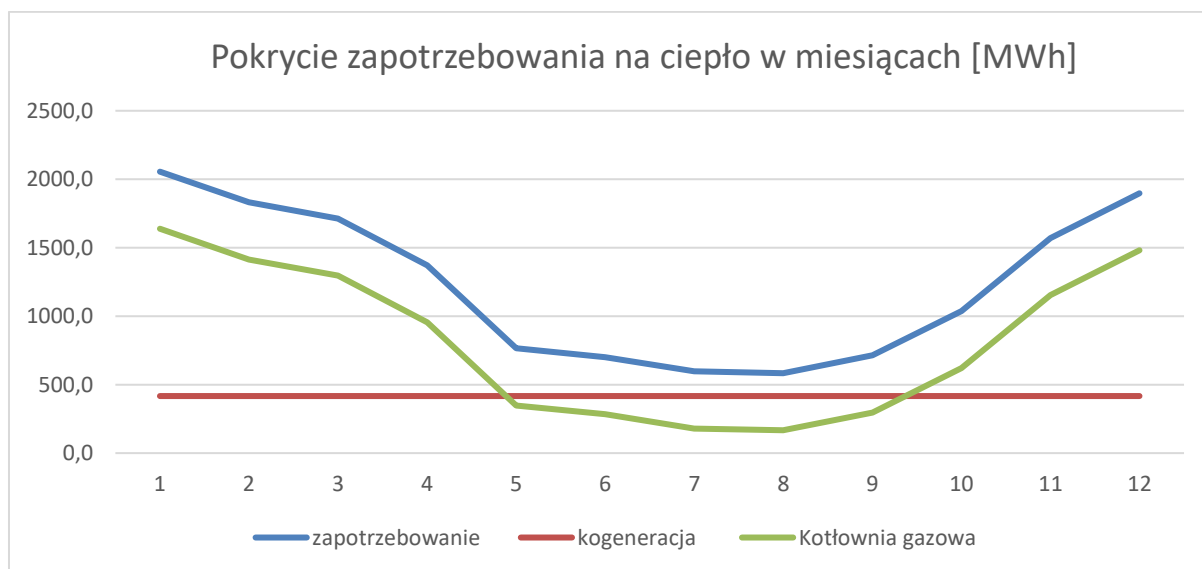
Nasłonecznienie:	925 kWh/m <sup>2</sup>
Moc instalacji:	277 680 W
Współczynnik wydajności	96.2 %
Natężenie promieniowania:	1000 W/m <sup>2</sup>
Energia rzeczywista:	247 094 kWh/rok

## Analiza pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną

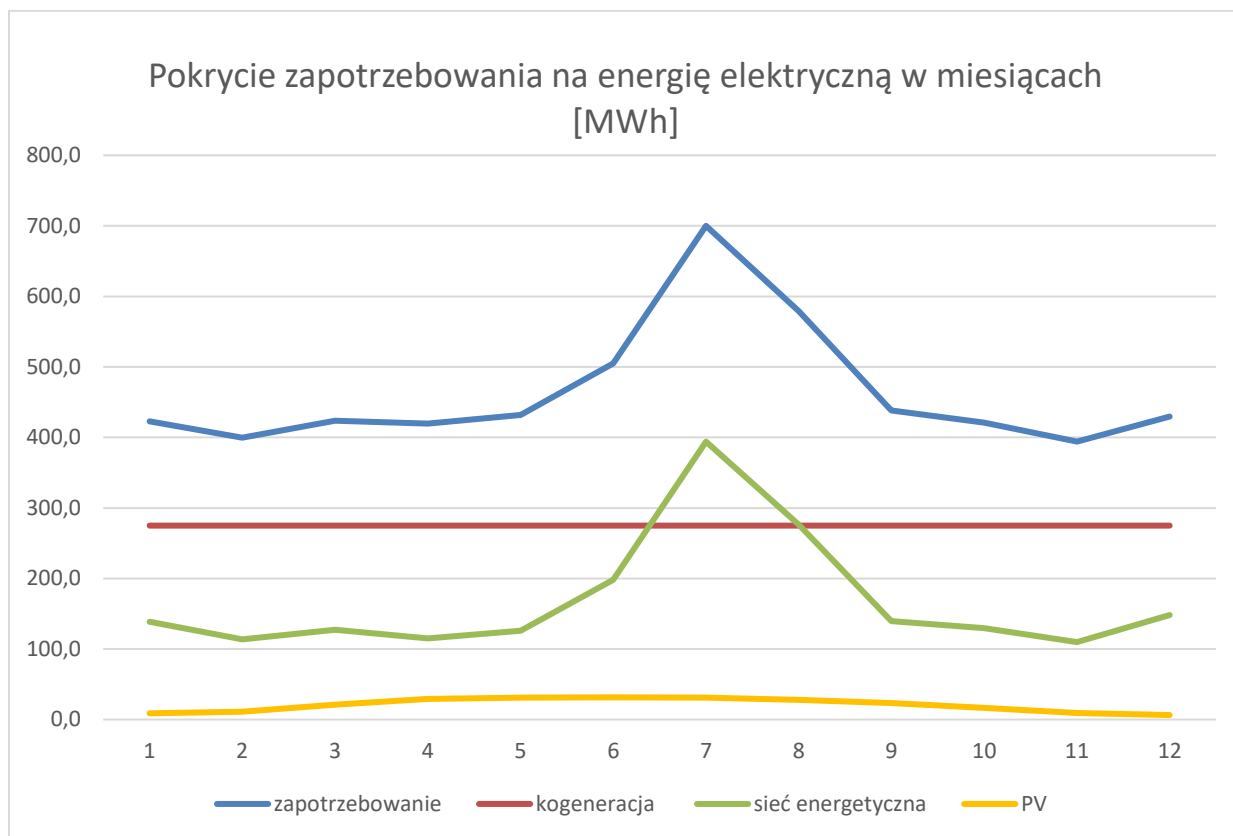
Poniżej przedstawiono pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło w podziale na miesiące przy jednoczesnym wykorzystaniu agregatu kogeneracyjnego oraz instalacji fotowoltaicznej. W okresie grzewczym (od października do marca) jednostka kogeneracyjna jest w stanie zapewnić powyżej 20% zapotrzebowania na ciepło w szpitalu, pokrywając w tym samym czasie zapotrzebowanie na energię elektryczną na poziomie około 65%.

	zapotrzebowanie na energię		kogeneracja		pokrycie przez kogenerację		PV MWh
	ciepło	en. elektr	ciepło	en. elektr	ciepło	en. elektr	
	MWh	MWh	MWh	MWh	%	%	
styczeń	2055.2	422.6	416.7	275	20%	65%	8.9
luty	1831.1	399.5	416.7	275	23%	69%	11.0
marzec	1712.3	423.5	416.7	275	24%	65%	21.1
kwiecień	1371.4	419.5	416.7	275	30%	66%	29.3
maj	765.0	432.0	416.7	275	54%	64%	31.0
czerwiec	700.4	504.8	416.7	275	59%	54%	31.5
lipiec	596.7	700.0	416.7	275	70%	39%	31.0
sierpień	583.6	578.8	416.7	275	71%	48%	27.7
wrzesień	713.2	438.2	416.7	275	58%	63%	23.5
październik	1037.9	421.2	416.7	275	40%	65%	16.5
listopad	1569.5	394.1	416.7	275	27%	70%	9.3
grudzień	1897.7	429.8	416.7	275	22%	64%	6.4
<b>RAZEM</b>	<b>14834.1</b>	<b>5564.0</b>	<b>5000.0</b>	<b>3300.0</b>			<b>247.2</b>

Rysunek 12 Kogeneracja i PV- pokrycie zapotrzebowania na ciepło i energię elektryczną w miesiącach - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.



Rysunek 13 Kogeneracja - pokrycie zapotrzebowania na ciepło w miesiącach - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.



Rysunek 14 Kogeneracja i PV- pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną w miesiącach - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.

W skali roku jednostka kogeneracyjna pokryje zapotrzebowanie na ciepło grzewcze w 34% i na energię elektryczną w 59%. Pozostała część zapotrzebowania musi być zabezpieczona z innych źródeł, m.in. z instalacji fotowoltaicznej - 4% całkowitego (zapotrzebowania na energię dla szpitala). Zastosowanie fotowoltaiki nie wpłynie znacząco na pracę jednostki kogeneracyjnej, ale zmniejszy pobór energii elektrycznej z sieci zewnętrznej.

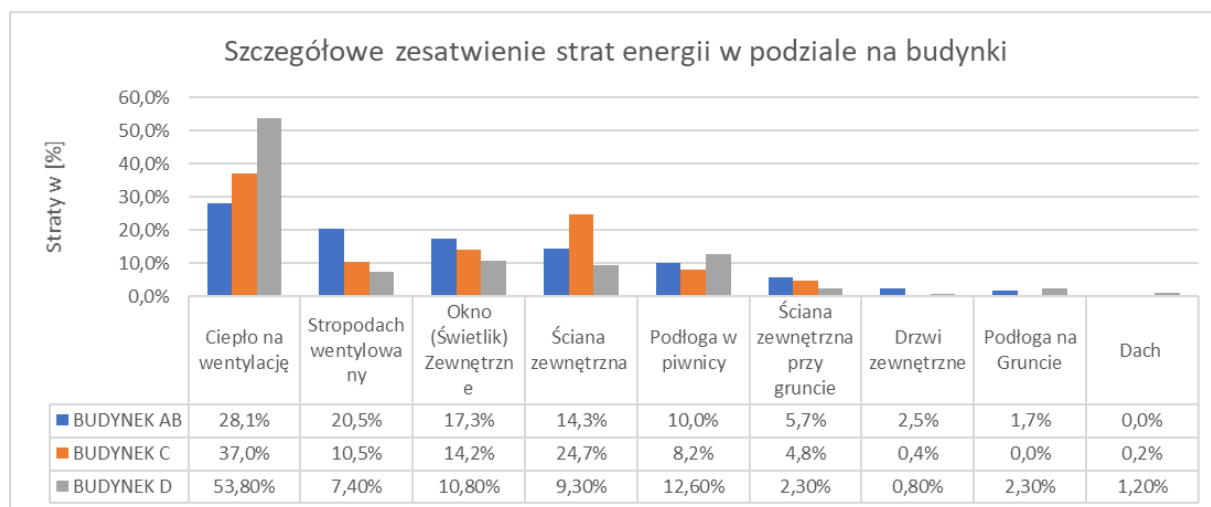
## Analiza wariantów (studium przypadku) – przedstawienie przykładów termomodernizacji oraz zastosowania OZE w budynkach infrastruktury krytycznej w Polsce.

Modernizacja infrastruktury szpitali poprzez termomodernizację oraz zastosowanie odnawialnych źródeł energii może przynieść znaczne oszczędności energetyczne, poprawić efektywność energetyczną oraz znacząco obniżyć emisję CO<sub>2</sub>. Zrównoważenie inwestycji w odnawialne źródła energii z modernizacją budynków daje największy efekt synergiczny i pozwala na długoterminowe zmniejszenie kosztów operacyjnych tych placówek. Obrazują to poniższe przykłady dobrych praktyk.

### Studium przypadku nr 1

Analizowany kompleks budynków z końca XIX wieku, składa się z 25 obiektów o łącznej powierzchni ponad 20 tys. m<sup>2</sup>, w pięciu z nich prowadzona jest działalność lecznicza. Podstawowym źródłem ciepła jest miejska sieć ciepłownicza, która doprowadzona jest do kilku wymienników na terenie szpitala. Analizę objęto 4 budynki, w tym przychodnię o łącznej powierzchni prawie 11 tys. m<sup>2</sup>. Budynki nie były ocieplone, posiadały nieszczelną stolarkę okienną oraz system grzewczy bez możliwości regulacji temperatur w pomieszczeniach i wykorzystania zysków ciepłych. Ciepła woda użytkowa była przygotowywana centralnie i rozprowadzana do punktów poboru poprzez zewnętrzną i wewnętrzną sieć ciepłą wraz z cyrkulacją.

Dokładne zestawienie strat energii analizowanych budynków przedstawiono na wykresie poniżej.



Rysunek 15 Szczegółowe zestawienie strat energii cieplnej w podziale na budynki – studium przypadku nr 1. Źródło: opracowanie własne

Poniżej przedstawiono zakresy prac termomodernizacyjnych w poszczególnych budynkach, które przełożyły się na wskaźniki energetyczne:

#### Budynki AB

- Wymiana instalacji c.o. oraz montaż przygrzejnikowych zaworów termostatycznych,
- Docieplenie stropodachu – 14 cm wełną mineralną,

- Docieplenie ścian zewnętrznych styropianem 12 cm,
- Wymiana stolarki okiennej.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	303	155
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	23	23
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	2251	975
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	2978	1081
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	430	430
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m3rok)]	49.5	21.4
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m3rok)]	65.5	23.8
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m2rok)]	232.0	84.2

Tabela 5 Charakterystyka energetyczna budynku AB studium przypadku nr 1.

#### Budynek C

- Wymiana instalacji c.o. oraz montaż przygrzejkowych zaworów termostatycznych,
- Docieplenie stropodachu – 14 cm wełną mineralną,
- Wymiana stolarki okiennej,
- Docieplanie stropu nad klatkami schodowymi styropianem 13 cm,
- Docieplenie ścian zewnętrznych od poziomu gruntu styropianem 12 cm.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	321	164
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	46	46
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	2408	966
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	3187	1070
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	860	860

<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	40,8	16,3
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	53,9	18,1
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	203,8	68,5

Tabela 6 Charakterystyka energetyczna budynku C studium przypadku nr 1.

#### Budynek D

- Wprowadzenie odzysku ciepła z wentylacji,
- Wyposażenie instalacji c.w.u. w perlatory,

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	151	151
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	22	22
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	1095	736
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	1214	816
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	407	385
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	22,5	15,2
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	25	16,8
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	109,6	73,7

Tabela 7 Charakterystyka energetyczna budynku D studium przypadku nr 1.

Obiekty szpitala zasilane są przez kilka wymienników zlokalizowanych w różnych częściach kompleksu dostarczając ciepło na potrzeby grzewcze i ciepłej wody użytkowej. Rozproszenie to utrudnia wprowadzenie wspólnego źródła ciepła, jednakże istnieje możliwość zastosowania dwóch gruntowych pomp ciepła (2 x 180kW) dla Budynków AB i D oraz wykorzystanie ścieków kanalizacyjnych jako częściowego dolnego źródła ciepła. Instalacja będzie współpracować z instalacją kolektorów słonecznych na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej w budynku C oraz kotłem gazowym jako szczytowym źródłem energii. Wykorzystanie ciepła 30 tys. m<sup>3</sup> ścieków rocznie pozwoli na

podniesienie średniego współczynnika COP<sup>29</sup> o 0.5. W warunkach klimatycznych, właściwych dla lokalizacji Szpitala, ekstremalne warunki temperaturowe występują średnio przez 2-3 tygodnie rocznie. Budowa instalacji pompy ciepła pokrywającej całą moc grzewczą w najniższych temperaturach byłaby nieuzasadniona ekonomicznie, gdyż instalacja wykorzystywałaby część swojej mocy przez większość sezonu grzewczego. Ponieważ koszty inwestycyjne dla pomp ciepła są liniowo zależne od mocy instalacji, należy wprowadzić drugie, szczytowe źródło ciepła, najlepiej o niskich eksploatacyjnych opłatach stałych. Takim źródłem jest kotłownia gazowa, która będzie uruchamiała się automatycznie w miarę potrzeb.

Powyższe rozwiązanie zapewnia zmniejszenie zużycia energii cieplnej z 7605 GJ do 1622 GJ, redukcję emisji CO<sub>2</sub> o 431.4 MgCO<sub>2</sub> oraz pozwoli na pokrycie cieplnych potrzeb szpitala przez odnawialne źródło energii w 72%.

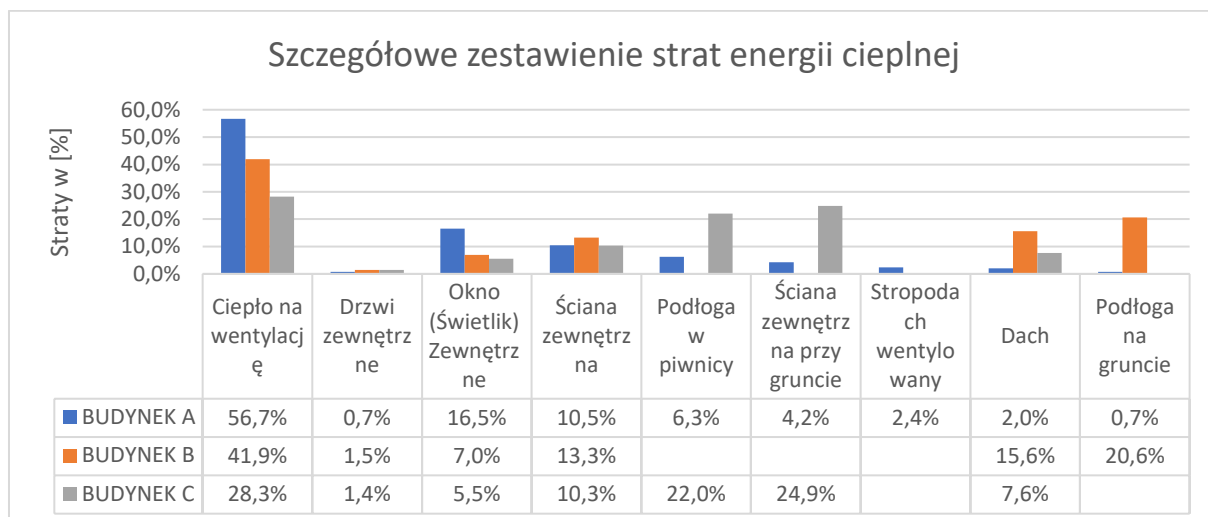
## Studium przypadku nr 2

Analizowany szpital z lat 80tych XX wieku, składa się z 13 budynków o łącznej powierzchni ponad 24 tys. m<sup>2</sup>. Podstawowym źródłem ciepła jest własna kotłownia gazowo-olejowa wyposażona w 2 kotły parowe i jeden kocioł wodny. Kotły parowe o mocy 2,6 MW i 1,96 MW dostarczają czynnika na potrzeby grzewcze, CWU oraz parę technologiczną, przy czym udział energii na te cele wynosi odpowiednio 55%, 30% i 25%. Sieć cieplna do celów ogrzewania wymaga modernizacji z uwagi na duże straty przesyłowe sięgające 20%. Analizą objęto 3 budynki, w tym przychodnię o łącznej powierzchni prawie 15 tys. m<sup>2</sup>. Szpital posiada instalację kolektorów słonecznych o powierzchni 300 m<sup>2</sup>.

Dokładne zestawianie strat energii w podziale na budynki przedstawiono na wykresie poniżej.

---

<sup>29</sup> COP – Coefficient of Performance – współczynnik wydajności grzewczej – stosunek energii wytworzonej przez pompę ciepła do energii pobranej przez sprężarkę, sterownik oraz instalację dolnego źródła ciepła.



Rysunek 16 Szczegółowe zestawienie strat energii cieplnej w podziale na budynki – studium przypadku nr 2. Źródło: opracowanie własne

W budynkach szpitala przeprowadzono prace termomodernizacyjne, które przełożyły się na wskaźniki energetyczne budynków przedstawione w poszczególnych tabelach poniżej.

#### Budynek A

- Wymiana części instalacji c.o. i grzejników (w 60%) oraz budowa nowej instalacji c.o. wprowadzającej kilka obiegów systemu, montaż przygrzejnikowych zaworów termostatycznych,
- Wyposażenie instalacji c.w.u. w perlatory.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	824	824
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	437	437
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	6024	6024
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	7546	6154
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	1454	1454
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	25	25
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	31,4	25,6
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	121	98,7



Tabela 8 Charakterystyka energetyczna budynku A studium przypadku nr 2.

#### Budynek B

- Wprowadzenie odzysku ciepła z wentylacji: przebudowa układu wentylacji mechanicznej wprowadzenie odzysku ciepła.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	39	39
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	20	20
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	288	218
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	319	242
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	28	28
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	41,5	31,4
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	46	34,8
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	241,5	183

Tabela 9 Charakterystyka energetyczna budynku B studium przypadku nr 2.

#### Budynek C

- Wymiana części instalacji c.o. i grzejników (w 85%), montaż przygrzejnikowych zaworów termostatycznych,
- Wprowadzenie odzysku ciepła z wentylacji: przebudowa układu wentylacji mechanicznej wprowadzenie odzysku ciepła.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	29	29
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	20	20
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	234	196
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	294	217
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	28	28

<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	42,5	35,5
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	53,3	39,3
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	195,7	144,5

Tabela 10 Charakterystyka energetyczna budynku C studium przypadku nr 2.

Kotłownia szpitala dostarcza stosunkowo dużą ilość pary technologicznej na potrzeby kuchni i nowych oddziałów operacyjnych (około 25%). Rezygnacja z tego medium oznacza potrzebę poniesienia kosztów na modernizację - wprowadzenie lokalnych wytwornic pary technologicznej. Analiza zakłada wymianę sieci centralnego ogrzewania oraz instalację gruntowych pomp ciepła o mocy 1 MW. Powyższe rozwiązanie zapewnia zmniejszenie zużycia energii cieplnej z 16425 GJ do 6751 GJ i zwiększenie emisji CO<sub>2</sub> o 106,1 MgCO<sub>2</sub> (wskaźnik emisji dla polskich sieci energetycznych wynosi 0,89 MgCO<sub>2</sub>/MWh<sup>30</sup>, co w przypadku częściowej rezygnacji z gazu na rzecz energii elektrycznej powoduje zwiększenie emisji). Pozwoli to na pokrycie cieplnych potrzeb szpitala przez odnawialne źródła energii w 56% przy zwiększonej emisji CO<sub>2</sub> o 106,1 MgCO<sub>2</sub>.

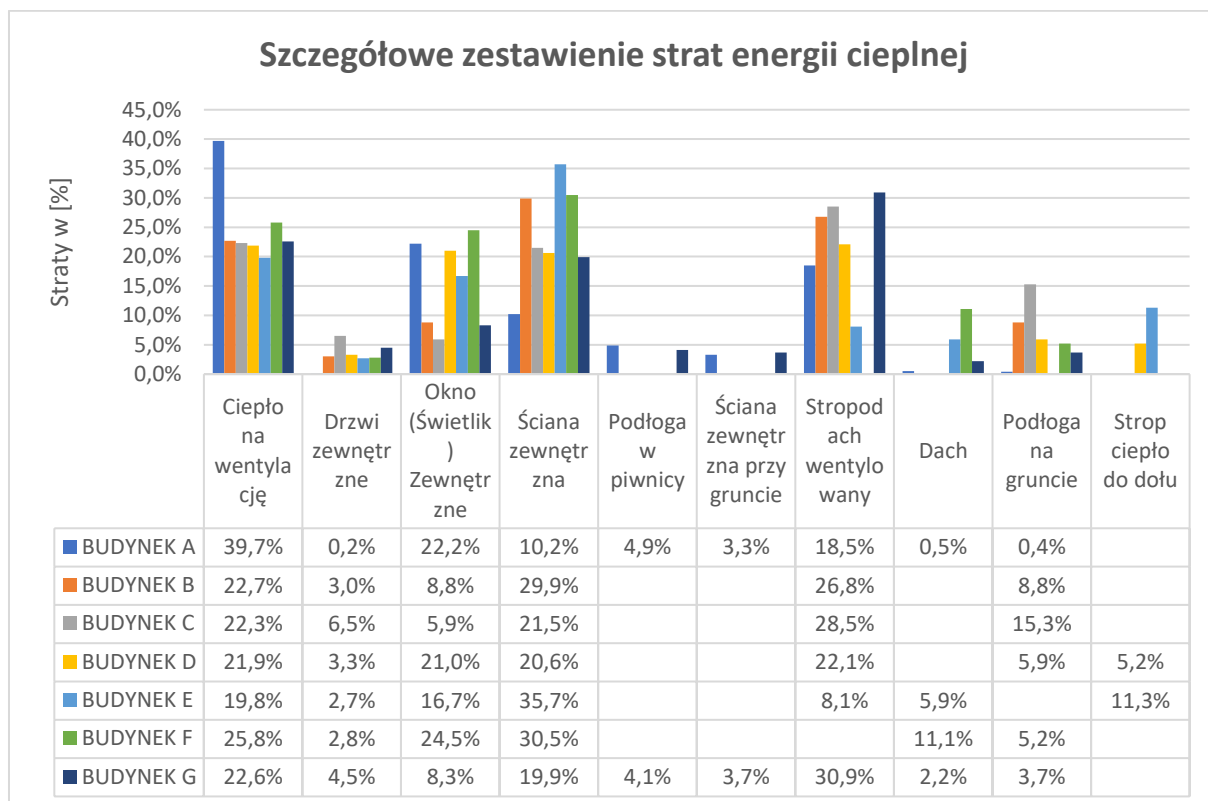
### Studium przypadku nr 3

Szpital został wybudowany w latach 60tych XX wieku. Kompleks składa się z 13 poszczególnych budynków o łącznej powierzchni niespełna 15 tys. m<sup>2</sup>. W analizie uwzględniono 7 budynków. Szpital ogrzewany jest z własnej kotłowni gazowo-olejowej wyposażonej w 2 kotły wodne i jeden kocioł parowy, przy czym głównym nośnikiem energii jest gaz. Kotły wodne o mocy 2x720 kW dostarczają ciepło na potrzeby grzewcze i ciepłej wody użytkowej, natomiast kocioł parowy dostarcza czynnik do kuchni i na bloki operacyjne.

Dokładne zestawianie strat energii w podziale na budynki przedstawiono na wykresie poniżej.

---

<sup>30</sup> Wartości opałowe do raportowania we Wspólnym Systemie Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2012



Rysunek 17 Szczegółowe zestawienie strat energii cieplnej w podziale na budynki – studium przypadku nr 3. Źródło: opracowanie własne

W budynkach szpitala przeprowadzono prace termomodernizacyjne, które przełożyły się na wskaźniki energetyczne budynków przedstawione w poszczególnych tabelach poniżej.

#### Budynek A

- Wymiana części instalacji c.o. i grzejników (w 70%), montaż przygrzejnikowych zaworów termostatycznych,
- Docieplenie stropodachu wentylowanego wełną granulowaną 15 cm,
- Wymiana starej stolarki okiennej z automatycznymi nawiewnikami,
- Wyposażenie instalacji c.w.u. w perlatory na oddziałach łóżkowych.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	499	390
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	277	277
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	3769	2556
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	4720	2833
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	923	869

<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	41	27,8
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	51,3	30,8
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	225,7	135,5

Tabela 11 Charakterystyka energetyczna budynku A studium przypadku nr 3.

### Budynek B

- Wymiana instalacji c.o., montaż przygrzejnikowych zaworów termostatycznych,
- Docieplenie stropodachu wełną granulowaną 15 cm,
- Wymiana starej stolarki okiennej z automatycznymi nawiewnikami i drzwi balkonowych,
- Docieplenie ścian zewnętrznych styropianem 12 cm,
- Wyposażenie instalacji c.w.u. w perlatory.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	157	67
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	109	109
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	1449	576
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	1834	638
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	363	352
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	71,3	28,3
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	90,3	31,4
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	420,4	146,3

Tabela 12 Charakterystyka energetyczna budynku B studium przypadku nr 3.

### Budynek C

- Wymiana instalacji c.o., montaż przygrzejnikowych zaworów termostatycznych,
- Docieplenie stropodachu wełną granulowaną 15 cm,
- Wymiana starej stolarki okiennej z automatycznymi nawiewnikami,

- Docieplenie ścian zewnętrznych styropianem 12 cm.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	92	48
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	20	20
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	783	411
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	991	455
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	28	28
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	85,8	45
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	108,6	49,9
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	430,1	197,7

Tabela 13 Charakterystyka energetyczna budynku C studium przypadku nr 3.

#### Budynek D

- Wymiana instalacji c.o., montaż przygrzejnikowych zaworów termostatycznych,
- Docieplenie stropodachu wełną granulowaną 15 cm,
- Wymiana starej stolarki okiennej z automatycznymi nawiewnikami,
- Wymiana przeszkleń metalowych,
- Docieplenie ścian wewnętrznych styropianem 12 cm.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	116	46
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	84	84
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	887	280
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	1123	310
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	280	280

<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	70,5	22,3
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	89,2	24,7
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	334,5	92,5

Tabela 14 Charakterystyka energetyczna budynku D studium przypadku nr 3.

#### Budynek E

- Wymiana instalacji c.o., montaż przygrzejnikowych zaworów termostatycznych,
- Wymiana starej stolarki okiennej z automatycznymi nawiewnikami,
- Docieplenie ścian zewnętrznych od poziomu gruntu styropianem 12 cm.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	21	10
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	20	20
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	167	76
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	211	84
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	28	28
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	94,7	43,1
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	119,8	47,8
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	383,3	153

Tabela 15 Charakterystyka energetyczna budynku E studium przypadku nr 3.

#### Budynek F

- Wymiana instalacji c.o., montaż przygrzejnikowych zaworów termostatycznych,
- Docieplenie stropodachu styropianem 14 cm,
- Wymiana starej stolarki okiennej z automatycznymi nawiewnikami,
- Docieplenie ścian zewnętrznych styropianem 12 cm.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	165	69
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	50	50
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	1189	361
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	1504	400
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	168	168
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	69,5	21,1
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	87,9	23,4
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	293,2	77,9

Tabela 16 Charakterystyka energetyczna budynku F studium przypadku nr 3.

#### Budynek G

- Docieplenie stropodachu wentylowanego wełną granulowaną 16 cm,
- Wymiana starej stolarki okiennej z automatycznymi nawiewnikami,
- Docieplenie ścian zewnętrznych od poziomu gruntu styropianem 12 cm,
- Wymiana przeszkleń metalowych,
- Wyposażenie instalacji c.w.u. w perlatory na oddziałach łózkowych.

Charakterystyka energetyczna budynku	Jednostka	Przed	Po
<b>Obliczona moc cieplna systemu grzewczego</b>	[kW]	238	110
<b>Obliczona moc cieplna na przygotowanie c.w.u.</b>	[kW]	126	126
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku (bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[GJ/rok]	1946	757
<b>Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu</b>	[GJ/rok]	2158	840
<b>Obliczeniowe zużycie energii do przygotowania c.w.u.</b>	[GJ/rok]	419	401
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Bez uwzględnienia sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	58,2	22,6



<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>3</sup> rok)]	64,5	25,1
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku (Z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> rok)]	264,6	103

Tabela 17 Charakterystyka energetyczna budynku G studium przypadku nr 3.

Kotłownia szpitala zlokalizowana jest w znacznej odległości od pozostałych budynków, co powoduje wysokie straty ciepła, dlatego też działaniem najkorzystniejszym jest likwidacja centralnej kotłowni i budowa lokalnych źródeł ciepła w oparciu o gruntowe i powietrzne pompy ciepła oraz szczytowe kotły gazowe wraz z instalacją kolektorów słonecznych (140 sztuk pozwalających na uzyskanie około 1000 GJ energii rocznie). Realizacja koncepcji powoduje zmniejszenie zużycia energii cieplnej z 16 505 GJ do 3 767 GJ, redukcję emisji CO<sub>2</sub> o 350.5 MgCO<sub>2</sub> oraz pozwala na pokrycie zapotrzebowania na energię cieplną ze źródeł odnawialnych w 60%.

#### Studium przypadku nr 4

Budynki szpitala powstały w latach 60 i 80tych XX wieku. Kompleks składa się z 10 poszczególnych budynków o łącznej powierzchni niespełna 30 tys. m<sup>2</sup>. Ogrzewanie zapewnia zewnętrzny dostawca ciepła. Na dachach oraz elewacji budynków szpitala istnieje możliwość montażu instalacji fotowoltaicznych.

W budynkach szpitala przeprowadzono prace modernizacyjne, które przełożyły się na poprawę wskaźników efektywności energetycznej przedstawionych w tabeli:

- Częściowa modernizacja instalacji c.o., montaż przygrzejnikowych zaworów termostatycznych,
- Częściowa wymiana stolarki okiennej,
- Wymiana drzwi zewnętrznych w budynku C,
- Docieplenie ścian zewnętrznych styropianem 10-15 cm,
- Wymiana oświetlenia na źródła światła typu LED,
- Montaż instalacji PV o mocy:
  - Budynek A - 47 kWp
  - Budynek B – 24 kWp
  - Budynek C – 19,6 kWp
  - Budynek D – 42,5 kWp
  - Budynek E – 17,6 kWp
  - Budynek G – 62 kWp
  - Budynek H – 140 kWp
  - Budynek I – 19 kWp



	Budynnek A	Budynnek B	Budynnek C	Budynnek D	Budynnek E	Budynnek F	Budynnek G	Budynnek H	Budynnek I	Budynnek J
<b>Stopień poprawy efektywności energetycznej (Zmniejszenie zapotrzebowania na energię końcową)</b>	43,30 %	50,40 %	29,40 %	50,80 %	49,20 %	5,80 %	57,90 %	10,70 %	33,90%	29,30 %
<b>Zmniejszenie zapotrzebowania na energię użytkową (UE) (Ogrzewanie)</b>	52,60 %	61,00 %	38,90 %	63,90 %	59,10 %	7,90 %	73,20 %	0,90%	46,90%	0,00%
<b>Zmniejszenie zapotrzebowania na energię finalną do ogrzewania budynku i przygotowanie c.w.u.</b>	43,30 %	50,40 %	29,40 %	50,80 %	49,20 %	5,80 %	57,90 %	10,70 %	33,90%	29,30 %
<b>Udział energii OZE po modernizacji</b>	27,90 %	25,20 %	30,30 %	53,00 %	20,70 %	0%*	64,20 %	85,20 %	112,10 %	0%*
<b>Zmniejszenie zapotrzebowania na energię finalną do ogrzewania budynku i przygotowanie c.w.u. [GJ]</b>	377	313	51	257	258	39	372	51	19	17
<b>Zmniejszenie zapotrzebowania na energię finalną do ogrzewania budynku i przygotowanie c.w.u. [kWh/m2]</b>	20	25	14	23	25	3	32	3	10	9
<b>Ograniczenie emisji CO2 [MgCO<sub>2</sub>]</b>	77	48	12	55	37	7	84	104	16	2

Wskaźnik EU rocznej energii użytkowej osiągnięty po modernizacji (ogrzewanie) [kWh/m <sup>2</sup> ]	12	11	16	9	12	22	9	10	7	22
Ilość zaoszczędzonej energii elektrycznej (OZE) [MW/h]	61	26	10	45	17	5	70	145	20	1
Ilość zaoszczędzonej energii cieplnej [GJ]	377	312	51	257	258	39	372	51	19	17
Zmniejszenie zużycia energii końcowej po modernizacji [GJ]	596	407	88	420	321	57	626	574	93	20
Zmniejszenie zużycia energii końcowej po modernizacji [kWh]	166	113	25	117	90	16	174	160	26	5
Zmniejszenie zużycia energii pierwotnej po modernizacji [kWh]	310	190	50	226	145	26	340	444	67	8

Tabela 18 Wskaźniki efektywności energetycznej Studium przypadku nr 4.

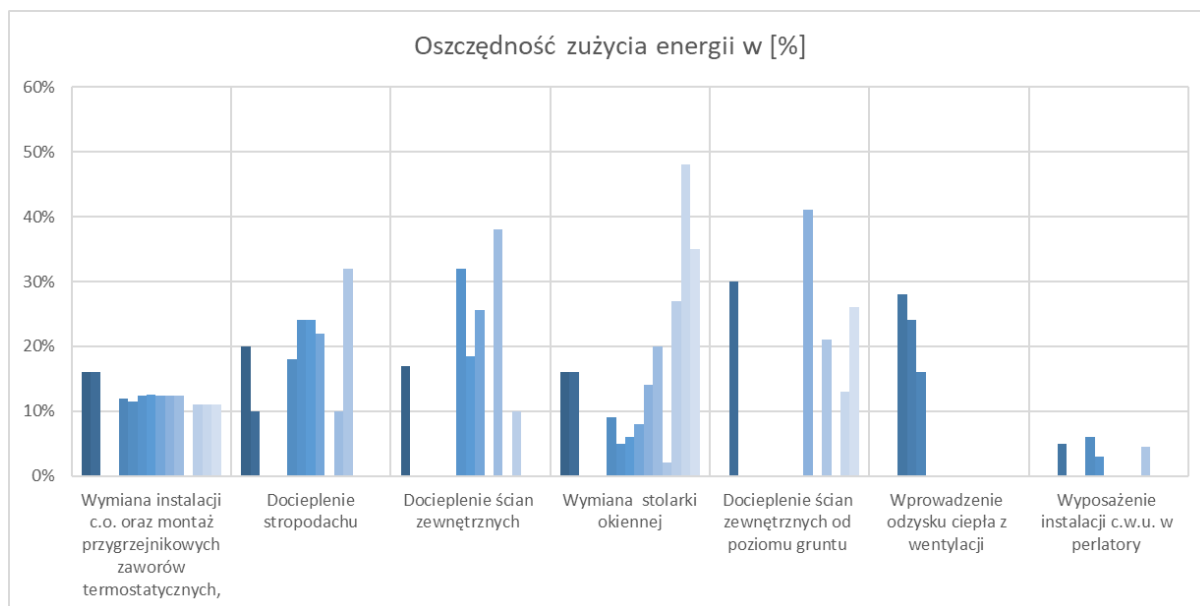
W omawianym przykładzie wprowadzenie dodatkowo jednostki kogeneracyjnej napędzanej gazem o mocy grzewczej 120kW oraz mocy elektrycznej 80kW pozwoli na zmniejszenie mocy zamówionej z przedsiębiorstwa energetyki cieplnej o 30%. Wpłynie to na zwiększenie dywersyfikacji wytwarzania energii cieplnej i elektrycznej, a tym samym na poprawę elastyczności systemu.

## Podsumowanie

Szpitale składają się w przeważającej mierze z kompleksów budynków, które mają różne funkcje i specyfikę, a zatem posiadają zupełnie odmienne potrzeby energetyczne. Najczęściej źródło ciepła znajduje się w wyodrębnionym miejscu, co powoduje, że mamy do czynienia ze stratami energii cieplnej na przesyle między budynkami. Dodatkowo większość budynków szpitalnych to budynki wielkokubaturowe, czasami o złożonej architekturze, co oznacza, że proporcje strat ciepła przez poszczególne elementy budynku mogły być zupełnie inne niż w budynkach typowych. Kompleks szpitalny zazwyczaj zużywa 2-3 razy więcej energii niż budynki analogicznej wielkości, ale o funkcji użytkowej na przykład biurowej. Budynki te cechują się różnorodnością funkcji pomieszczeń, tj. pomieszczenia biurowe i tak zwane pomieszczenia łóżkowe, występują w obrębie jednego budynku, a są to pomieszczenia wymagające innego harmonogramu ogrzewania. Pomimo złożoności systemów grzewczych i elektroenergetycznych zazwyczaj brak jest opomiarowania innego niż centralny licznik ciepła i energii elektrycznej. Ponadto szpitale posiadają liczne systemy techniczne o dużym zapotrzebowaniu na energię elektryczną, a także chłodzenie.

Analizując oszczędności zużycia energii przykładów z studium przypadku, wymiana instalacji centralnego ogrzewania wraz z montażem zaworów termostatycznych pozwala na oszczędność energii na poziomie 11-16%, docieplenie stropodachu 10-32%, docieplenie ścian zewnętrznych 10-38%, wymiana okien 5-48%, docieplenie ścian zewnętrznych od poziomu gruntu 13-41%, wprowadzenie odzysku ciepła z wentylacji 16-28%, wyposażenie instalacji ciepłej wody użytkowej w perlatory 3-6%. (Rysunek 18)

Modernizacja oświetlenia polegająca na wymianie opraw i źródeł światła ze świetlówek na LED pozwala zmniejszyć zapotrzebowanie na energię elektryczną (oświetlenie) o 15-20% - niezależnie od wielkości budynku i jego funkcji. Natomiast poszerzenie modernizacji o instalację fotowoltaiczną pozwala na częściową niezależność od dostawców energii i ich cen. Stosując system BEMS szpital jest w stanie zaoszczędzić nawet 15% energii.



Rysunek 18 Oszczędność zużycia energii w zależności od zastosowanych rozwiązań termomodernizacyjnych.

Uwzględniając najważniejsze wytyczne techniczne w zakresie bezpieczeństwa funkcjonowania obiektów infrastruktury krytycznej, jednym z najważniejszych aspektów jest dywersyfikacja źródeł dostarczających energię elektryczną i ciepłą do szpitali. Wykorzystanie różnych, niezależnych od siebie źródeł i technologii zapewnienia stabilnej dostawy energii. Celem dywersyfikacji jest zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego placówki, minimalizacja ryzyka przerw w dostawach oraz optymalizacja kosztów eksploatacyjnych. Dzięki dywersyfikacji szpitale mogą lepiej funkcjonować podczas awarii i zredukować swoją zależność od jednego typu źródła energii. Odnawialne źródła energii (OZE) odgrywają tu istotną rolę. Szpitale mogą korzystać z fotowoltaiki, montując panele słoneczne na dachach lub gruntach, co pozwala na generowanie energii elektrycznej bezpośrednio ze słońca, zmniejszając zależność od sieci. Energia ta może być magazynowana lub sprzedawana do sieci, co dodatkowo wpływa na koszty eksploatacyjne placówki. Pompy ciepła, które wykorzystują ciepło z gruntu, powietrza lub wody, są efektywne energetycznie i mogą pokryć część potrzeb cieplnych szpitala. W niektórych placówkach stosuje się także biomasę lub biogaz do produkcji energii cieplnej i elektrycznej, co jest korzystnym rozwiązaniem, zwłaszcza na obszarach wiejskich. Innym rozwiązaniem są systemy kogeneracyjne, czyli systemy do jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i cieplnej. Wykorzystując paliwa takie jak gaz ziemny, kogeneracja pozwala szpitalowi uzyskać niezależne źródło energii i zwiększa elastyczność energetyczną, co jest nieocenione w sytuacjach awaryjnych. Ważnym aspektem dywersyfikacji jest magazynowanie energii. Magazyny energii, takie jak akumulatory litowo-jonowe, umożliwiają przechowywanie energii elektrycznej pochodzącej z OZE lub sieci w okresach niskiego zapotrzebowania, co pozwala na wykorzystanie jej w momentach większego obciążenia. Takie rozwiązanie zwiększa niezależność szpitali i poprawia ich odporność na awarie. Systemy zasilania awaryjnego stanowią kolejny element dywersyfikacji. Generatory awaryjne, najczęściej zasilane olejem napędowym, zapewniają zasilanie na wypadek przerw w dostawach energii i stanowią podstawowe źródło energii w sytuacjach kryzysowych. Choć nie są wykorzystywane na co dzień, stanowią istotny składnik bezpieczeństwa energetycznego szpitali. Dodatkowo, tam gdzie jest dostępna sieć ciepłownicza, szpitale mogą korzystać z dostaw ciepła z systemów miejskich, co zmniejsza potrzebę posiadania dużych instalacji grzewczych i wpływa na oszczędności. Nowoczesnym rozwiązaniem są

także mikrosieci (system zarządzania budynkiem typu BMS), które integrują wiele źródeł energii w jednym systemie, umożliwiając autonomiczne funkcjonowanie w przypadku awarii zewnętrznej sieci. Mikrosieci pozwalają na efektywne zarządzanie energią oraz optymalne wykorzystanie zasobów dostępnych na terenie placówki.

Ze względu na wysoką energochłonność sektora oraz wyzwania związane z efektywnością energetyczną i zapewnieniem bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej w jednostkach infrastruktury krytycznej, w literaturze naukowej pojawia się rosnąca liczba analiz poświęconych specyfice funkcjonowania sektora medycznego. Między innymi badano zużycie energii w niemieckich szpitalach publicznych, analizując wskaźniki energetyczne w odniesieniu do takich zmiennych, jak liczba łóżek, powierzchnia budynku i liczba pracowników<sup>31</sup>, natomiast w polskiej literaturze naukowej skupiono się na korelacji zużycia energii elektrycznej i ciepłej w polskich szpitalach, z uwzględnieniem stref klimatycznych oraz specyfiki działalności medycznej.<sup>32</sup> Obie analizy wykazały korelację pomiędzy zużyciem energii a liczbą lekarzy, łóżek oraz prowadzonych operacji. Dodatkowo wykazano, że najwięcej energii zużywają szpitale zlokalizowane w cieplejszych strefach klimatycznych, co może być związane z większym zapotrzebowaniem na chłodzenie. W szpitalach zlokalizowanych w zimniejszych strefach (strefa IV) nie zaobserwowano zależności między intensywnością działalności a zużyciem energii.<sup>10</sup>

---

<sup>31</sup> Alfonso González González, Justo García-Sanz-Calcedo, David Rodríguez Salgado Evaluation of Energy Consumption in German Hospitals: Benchmarking in the Public Sector, Energies 2018.

<sup>32</sup> Małgorzata Cygańska, Magdalena Kludacz-Alessandri Determinants of Electrical and Thermal Energy Consumption in Hospitals According to Climate Zones in Poland, Energies 2021.

## Spis tabel

Tabela 1	Zużycie gazu w ujęciu miesięcznym - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie. .	33
Tabela 2	Średnie roczne zużycie energii cieplnej na ogrzewanie i przygotowanie pary technologicznej - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie. ....	33
Tabela 3	Średnie zużycie energii elektrycznej w miesiącach - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.	36
Tabela 4	Dane historyczne – podsumowanie - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie. .	36
Tabela 5	Charakterystyka energetyczna budynku AB studium przypadku nr 1.....	45
Tabela 6	Charakterystyka energetyczna budynku C studium przypadku nr 1.....	46
Tabela 7	Charakterystyka energetyczna budynku D studium przypadku nr 1.....	46
Tabela 8	Charakterystyka energetyczna budynku A studium przypadku nr 2.....	49
Tabela 9	Charakterystyka energetyczna budynku B studium przypadku nr 2.....	49
Tabela 10	Charakterystyka energetyczna budynku C studium przypadku nr 2.....	50
Tabela 11	Charakterystyka energetyczna budynku A studium przypadku nr 3.....	52
Tabela 12	Charakterystyka energetyczna budynku B studium przypadku nr 3.....	52
Tabela 13	Charakterystyka energetyczna budynku C studium przypadku nr 3.....	53
Tabela 14	Charakterystyka energetyczna budynku D studium przypadku nr 3.....	54
Tabela 15	Charakterystyka energetyczna budynku E studium przypadku nr 3. ....	54
Tabela 16	Charakterystyka energetyczna budynku F studium przypadku nr 3. ....	55
Tabela 17	Charakterystyka energetyczna budynku G studium przypadku nr 3. ....	56
Tabela 18	Wskaźniki efektywności energetycznej Studium przypadku nr 4. ....	58

## Spis rysunków

Rysunek 1	Podziemne pomieszczenie maszynowni szpitala w Budapeszcie. Źródło: Pompy ciepła dużej mocy w Europie, Poradnik PORT PC .....	15
Rysunek 2	Grønnskøpingkið University Hospital. Źródło: <a href="https://worldsgreenesthospital.org/about-gronnkopingkid/">https://worldsgreenesthospital.org/about-gronnkopingkid/</a> .....	17
Rysunek 3	Wojewódzki Szpital Zespolony w Toruniu. Źródło: <a href="https://torun.naszemiasto.pl/szpital-na-bielanach-w-toruniu-kiedy-koniec-budowy-zdjecia/ga/c14-8668519/zd/68804911">https://torun.naszemiasto.pl/szpital-na-bielanach-w-toruniu-kiedy-koniec-budowy-zdjecia/ga/c14-8668519/zd/68804911</a> fot. Sky Drone Studio dla KPIM .....	18
Rysunek 4	Sezonowy magazyn ciepła w Ząbkach [Źródło: Mostostal Warszawa] .....	19
Rysunek 5	Bioreaktor w trakcie budowy. Źródło: Health care waste management towards the circular economy: a case study at Tribhuvan University Teaching Hospital in Nepal.....	21
Rysunek 6	Wartości przyrostów 15 minutowe - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie. 34	
Rysunek 7	Dobowy rozkład zapotrzebowania na energię elektryczną urządzeń - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.....	34
Rysunek 8	Dobowe zapotrzebowania na energię elektryczną urządzeń w ciągu roku - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.....	35
Rysunek 9	Średnie miesięczne zapotrzebowanie na energię elektryczną w ciągu roku - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.....	36
Rysunek 10	Obliczenia zaoszczędzonej energii elektrycznej - instalacja fotowoltaiczna - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.....	40
Rysunek 11	Symulacja - instalacja fotowoltaiczna - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie. 41	
Rysunek 12	Kogeneracja i PV- pokrycie zapotrzebowania na ciepło i energię elektryczną w miesiącach - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.....	42
Rysunek 13	Kogeneracja - pokrycie zapotrzebowania na ciepło w miesiącach - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.....	42
Rysunek 14	Kogeneracja i PV- pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną w miesiącach - Szpital Wojewódzki im. Św. Łukasza w Tarnowie.....	43
Rysunek 15	Szczegółowe zestawienie strat energii cieplnej w podziale na budynki – studium przypadku nr 1. Źródło: opracowanie własne.....	44
Rysunek 16	Szczegółowe zestawienie strat energii cieplnej w podziale na budynki – studium przypadku nr 2. Źródło: opracowanie własne.....	48
Rysunek 17	Szczegółowe zestawienie strat energii cieplnej w podziale na budynki – studium przypadku nr 3. Źródło: opracowanie własne.....	51
Rysunek 18	Oszczędność zużycia energii w zależności od zastosowanych rozwiązań termomodernizacyjnych.....	60