

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT X

10/2023

Miesięcznik COW
tom 54

ISSN 0137-3676
e-ISSN 2449-9900
cena 33,00
(w tym 8% VAT)

CIEPŁOWNICTWO OGRZEWNICTWO WENTYLACJA

DISTRICT HEATING, HEATING, VENTILATION

„Ziemi nie dziedziczymy
po naszych rodzicach,
pożyczamy ją od naszych dzieci.”

Antoine de Saint-Exupéry

Obniżenie zużycia
energii elektrycznej

~ 20–25%

Zmniejszenie
emisji CO₂

~ 20–25%

Czas zwrotu
inwestycji

~ 3–6 lat

**Zmodernizuj z Wilo układ pompowy
kotłowni i ciepłowni o mocy 10–50 MWt.
Oszczędzaj energię. Zmniejsz ślad węglowy.
Bądź odpowiedzialny z natury.**

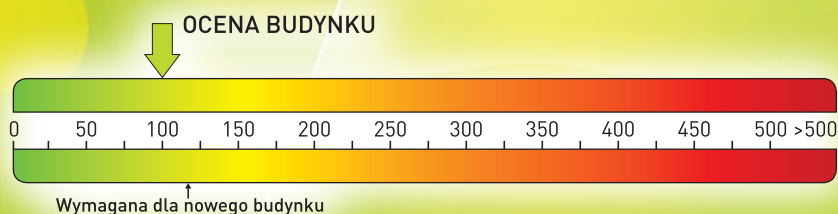
www.wilo.pl

wilo



Bezpłatny webinar

Pierwsze kroki w wyznaczaniu
świadczeń energetycznych
w programie Audytor OZC



13.11.2023

godz. 11.00

ZAPISZ SIĘ



Zeskanuj kod QR
i zapisz się na webinar.



OD REDAKCJI

Szanowni Państwo,

Podobnie jak w minionym roku, również w październiku br. przedstawiamy Państwu monotematyczny numer naszego czasopisma poświęcony tym razem problemom związanym z certyfikacją energetyczną budynków. Są to problemy ważne i aktualne, które obecnie są dyskutowane w różnych gremiach. Jesteśmy już wprawdzie po wstępnych konsultacjach projektu rozporządzenia Ministra Rozwoju i Technologii w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub jego części oraz sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej, lecz właściwe konsultacje społeczne rozpoczyna się po przygotowaniu nowego projektu rozporządzenia.

Z kolei nowa dyrektywa EPBD jest wciąż w fazie tzw. trilogu, tj. uzgodnień między członkami Parlamentu Europejskiego, Rady i Komisji. Dlatego też jest jeszcze czas na dyskusję, która ma na celu wypracowanie odpowiedniej metodyki w tym rozporządzeniu.

Nasz naukowo-techniczny miesięcznik włącza się zatem w przedmiotową dyskusję i mamy nadzieję, że dostarczymy Państwu ciekawych i praktycznych informacji na ten temat.

W pierwszym artykule 10 numeru czasopisma prof. Edward Szczechowiak przedstawia zasady obliczania charakterystyki energetycznej budynków i ewolucję tych zasad oraz określa tendencje ich rozwoju. Autor podkreślił, że potrzebna jest zmiana metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków tak, aby była ona oparta na obowiązującej normie PN-EN ISO 52016-1, przy czym w tym procesie powinny być uwzględnione realia rynku budowlanego i budynków istniejących.

W kolejnym artykule dr inż. Jerzy Kwiatkowski oraz dr inż. Piotr Narowski przeprowadzili analizę zasadności wprowadzenia nowych rodzajów w klasyfikacji energii. Autorzy porównali definicje rodzajów energii stosowane w obecnym rozporządzeniu oraz projekcie nowego rozporządzenia z uwzględnieniem wymagań, które zostały sformułowane w kolejnych wersjach dyrektywy EPBD. W artykule tym podkreślono, że planowane zmiany w projekcie rozporządzenia podążają w dobrym kierunku, gdyż eliminują błędy w obowiązującej obecnie metodyce obliczeń oraz umożliwią wyznaczanie charakterystyki energetycznej budynków o dodatnim bilansie energetycznym.

Dr inż. Piotr Kowalski, dr inż. Paweł Szałański oraz dr hab. inż. Edyta Dudkiewicz w swym artykule zaprezentowali spojrzenie z perspektywy osób sporządzających charakterystyki energetyczne na problemy wynikające ze szczegółowej analizy obowiązujących,



uchylonych oraz zmienionych przepisów dotyczących charakterystyki energetycznej budynków w Polsce. Autorzy wykazali istotny wpływ niejasności i braków w obowiązującej metodyce na wynik obliczeń charakterystyki energetycznej budynku oraz przedstawili rekomendacje w zakresie proponowanym zmian.

Tematem artykułu dr inż. Joanny Rucińskiej oraz dr hab. inż. Łukasza Amanowicza jest analiza wpływu wybranych instalacji HVAC na wartość wskaźników zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną w świadectwie charakterystyki energetycznej. Autorzy przedstawili dyskusję parametrów, na które wpływają wybrane systemy wentylacji, ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz źródła energii.

Dr inż. Karol Bandurski, dr hab. inż. Łukasz Amanowicz oraz dr hab. inż. Tomasz Cholewa zwrócili uwagę na różnice między trzema metodami wyznaczania charakterystyki energetycznej budynków: zużyciową, obliczeniową statyczną (miesięczną) oraz dynamiczną (godzinową). Autorzy wykazali różnice, które występują między wartościami charakterystyki wyznaczonej wg metody pomiarowej i obliczeniowej.

W kolejnym artykule dr hab. inż. Michał Turski oraz mgr inż. Arkadiusz Kępa porównali dziewięć konfiguracji systemów zaopatrzenia budynku w energię w aspekcie spełnienia wymagań zawartych w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Kończącym artykułem tego tematycznego miesięcznika jest opracowanie dr hab. inż. Doroty Krawczyk, dr inż. Beaty Sadowskiej oraz dr inż. arch. Macieja Kłopotowskiego. W artykule tym autorzy przedstawili efekty termomodernizacji dwóch budynków przedszkola o jednakowej bryle. Autorzy porównali oszczędności określone w audytach energetycznych z rzeczywistym zużyciem ciepła oraz zwrócili uwagę na czynniki powodujące różnice.

Numer zamyka pożegnanie kolegi mgr. inż. Janusza Iberszera, wieloletniego prezesa Lubelskiego Oddziału PZITS. Zmarły Janusz Iberszer zawsze pomagał swoim kolegom nie tylko w zakresie rozwiązywania problemów dotyczących ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji, ale również w innych problemach życiowych. **Kolego Januszu, spoczywaj w pokoju!**

Tomasz Cholewa

Redaktor tematyczny COW

Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.

**WYDAWNICTWO
SIGMA-NOT**

ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa
tel.: 22 818-09-18, 818-98-32, fax 619-21-87

Internet: <http://www.sigma-not.pl>

Sekretariat: sekretariat@sigma-not.pl

Prenumerata e-mail: prenumerata@sigma-not.pl

Informacje e-mail: informacja@sigma-not.pl

Dział Reklamy i Marketingu

Wydawnictwo Sigma-NOT Sp. z o.o.

ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa
tel. 22 827 43 65 – stacjonarny
604 528 865 – Katarzyna Przybytniak-Marzec
e-mail: reklama@sigma-not.pl

© SIGMA-NOT Sp. z o.o.

Wszelkie prawa zastrzeżone

Skład: Studio DTP Wydawnictwa SIGMA-NOT

Druk: Zakład Poligrafii i Kolportażu
Wydawnictwa SIGMA-NOT
01-595 Warszawa, ul. Ks. J. Popiełuszki 19/21
drukarnia@sigma-not.pl

Kolportaż: 22 840 35 89

PRENUMERATA 2024

Rodzaje prenumerat:

- ▶ Prenumerata papierowa
- ▶ Prenumerata cyfrowa
- ▶ Prenumerata w pakiecie w wersji PLUS zawiera wersję papierową, cyfrową + dostęp do archiwum na Portalu www.sigma-not.pl

Ceny prenumeraty w roku 2024:

- ▶ Cena 1 egzemplarza (okładkowa) 38 zł (z VAT),
- ▶ Cena prenumeraty rocznej w wersji papierowej 432 zł + roczny koszt wysyłki 42 zł,
- ▶ Cena prenumeraty rocznej w wersji cyfrowej 360 zł,
- ▶ Cena prenumeraty rocznej w pakiecie w wersji PLUS PAKIET (wersja papierowa + cyfrowa + dostęp do archiwalnych treści) – 552 zł

Prenumeratę można zamówić:

- ▶ Telefonicznie: 22 840 30 86, 22 840 35 89,
- ▶ e-mailem: prenumerata@sigma-not.pl,
- ▶ Listownie: Zakład Poligrafii i Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o., ul. Ks. J. Popiełuszki 19/21, 01-595 Warszawa,
- ▶ Dokonując wpłaty na konto: Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o. ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, nr 24 1020 1026 0000 1002 0250 0577

UWAGA! Okres prenumeraty nie ulega skróceniu



KOLEGIUM REDAKCYJNE EDITORIAL STAFF

Redaktor naczelny – Editor in Chief
dr hab. inż. ANNA BOGDAN, prof. PW

Zastępca redaktora naczelnego
– osoba do kontaktu
mgr inż. BARBARA RUBIK tel. 605032330

Redaktorzy tematyczni
dr hab. inż. BOŻENA BABIARZ, prof. PRz
dr hab. inż. TOMASZ CHOLEWA, prof. PL
dr hab. inż. ROBERT CICHOWICZ, prof. PŁ
dr inż. ANDRZEJ GÓRKA
mgr inż. EWA KRĘCIELEWSKA
mgr inż. PAWEŁ LACHMAN
prof. dr hab. inż. ROBERT SEKRET
dr inż. AGNIESZKA PALMOWSKA
mgr inż. WOJCIECH RATAJCZAK
dr inż. MARIAN RUBIK
dr inż. SYLWIA SZCZĘŚNIAK
dr inż. PIOTR ZIĘTEK

Redaktor językowy
mgr HANNA MICHALIK

Redaktor statystyczny
mgr MACIEJ PERETA

Kierownik Zakładu – Pełnomocnik Zarządu
mgr inż. BARBARA RUBIK

Adres Redakcji:
CIEPŁOWNICTWO, OGRZEWNICTWO,
WENTYLACJA
ul. Czackiego 3/5, pokój 216
00-430 Warszawa,
tel./fax 22 828-27-26

INTERNET: www.cieplowent.pl
www.sigma-not.pl
e-mail: cieploogrzewwent@sigma-not.pl
e-mail: redakcja.cow@cieplowent.pl

ISSN 0137-3676, e-ISSN 2449-9900

Skład i opracowanie graficzne:
Studio DTP Wydawnictwa SIGMA-NOT

Materiałów nie zamówionych redakcja nie zwraca.
Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za treść ogłoszeń.
Wszystkie artykuły naukowe są recenzowane.

Wersja pierwotna czasopisma – papierowa.

Jesteśmy w bazach czasopism technicznych: BazTech,
Index Kopernik ICV 2022 = 79.81 oraz POL-index.
Artykuły publikowane w naszym czasopiśmie są rejestrowane w bazie danych CrossRef. Każdy artykuł ma numer identyfikacyjny DOI (Digital Object Identifier). Prosimy autorów artykułów o stosowanie numeru DOI w wykazach literatury.

Nakład (w tym wersja elektroniczna) do 1400 egz.

W NUMERZE 10/2023 CONTENTS

strona
page

Od redakcji – **Tomasz Cholewa** 1

CIEPŁOWNICTWO – DISTRICT HEATING • OGRZEWNICTWO – HEATING

Charakterystyka energetyczna budynków – ewolucja metodologii obliczeń
Energy Performance of Buildings – Evolution of Calculation Methodology
– **Edward Szczechowiak** 3

Energia dostarczona – czy potrzebny nam jeszcze jeden rodzaj w klasyfikacji energii w charakterystyce energetycznej budynków?
Delivered Energy – do We Need Another Type of Energy Classification in Building Energy Performance? – **Jerzy Kwiatkowski, Piotr Narowski** ... 13

Wyzwania świadomego wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku
Challenges of Informed Determination of Building Energy Performance
– **Piotr Kowalski, Paweł Szałański, Edyta Dudkiewicz** 17

Wpływ wybranych instalacji HVAC na wartość wskaźników zapotrzebowania na energię w świadectwie charakterystyki energetycznej
Impact of Selected HVAC Instalations on the Value of Energy Demand Indicators in the Energy Performance Certificate – **Joanna Rucińska, Łukasz Amanowicz** 22

Metoda statyczna, dynamiczna czy pomiarowa – jak rzetelnie oceniać efektywność energetyczną budynków?
Static, Dynamic or Measurement-Based Method for Building Energy Performance Assessment – Which Way is Reliable? – **Karol Bandurski, Łukasz Amanowicz, Tomasz Cholewa** 32

Systemy zaopatrzenia budynku w energię, a spełnienie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
Energy Supply Systems of Buildings and the Fulfillment of Technical Conditions to be Met By Buildings and Their Location – **Michał Turski, Arkadiusz Kępa** 38

Termomodernizacja budynku przedszkola
Retrofitting of a Kindergarten – **Dorota Anna Krawczyk, Beata Sadowska, Maciej Kłopotowski** 44

OSTATNIE POŻEGNANIE

Ostatnie pożegnanie Janusz Iberszer 1943-2023 50

Autor za publikację artykułu w czasopiśmie naukowym „Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja” otrzymuje **70 punktów** zgodnie z komunikatem Ministra Edukacji i Nauki z dnia 17 lipca 2023 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych.

Zapraszamy do odwiedzenia strony
www.cieplowent.pl

**prof. dr hab. inż. EDWARD SZCZECHOWIAK**

ORCID ID: 0000-0001-6101-1940
edward.szczechowiak@put.poznan.pl
Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji
Budowlanych
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Poznańska

Charakterystyka energetyczna budynków – ewolucja metodologii obliczeń

Energy Performance of Buildings – Evolution of Calculation Methodology

Słowa kluczowe: charakterystyka energetyczna budynku, procedury obliczeniowe metodą miesięczną

Streszczenie

W artykule przedstawiono wprowadzanie w życie dyrektywy Unii Europejskiej z roku 2002 o charakterystyce energetycznej budynków, powstawanie przepisów krajowych w roku 2008 i metodologii obliczeń oraz kształtu świadectw charakterystyki energetycznej. Następnie omówiono zmiany wprowadzone w roku 2015 i niedokładności w obliczeniach wynikające z tych zmian.

Metodologia obliczeń opracowana w roku 2008 była oparta na normie PN-EN ISO 13790:2007 i nie implementuje metod opisanych w obecnie obowiązującej normie PN-EN ISO 52016-1:2017. Aktualnie więc norma PN-EN ISO 52016-1 jest kluczową w systemie obliczeń energetycznych na potrzeby budownictwa. Omówiono w niej dwa główne sposoby obliczeń: metodę miesięczną stosowaną do obliczeń uproszczonych oraz metodę godzinową, za pomocą której można dokładniej wyznaczyć roczne zapotrzebowanie budynku na energię użytkową do ogrzewania i chłodzenia. Wprowadzenie metody obliczeń opartej na normie PN-EN ISO 52016-1:2017 jest więc potrzebne, jednak należy jednoznacznie rozstrzygnąć, kiedy trzeba stosować metodę godzinową, a kiedy można zastosować metodę miesięczną.

Keywords: energy performance of the building, calculation procedures using the monthly method

Abstract

The paper presents the implementation of the European Union directive of 2002 on the performance of buildings, the development of national regulation in 2008, the calculation methodology and the shape of energy performance certificates. Then, the changes introduced in 2015 and the inaccuracies in the calculations resulting from these changes were discussed.

The calculation methodology developed in 2008 was based on the PN-EN ISO 13790:2007 standard and does not implement the methods described PN-EN ISO 52016-1:2017 standard. This standard – is key in Energy calculation system for construction purposes. It discusses two main calculation methods: the monthly method used for simplified calculations and the hourly method, which can be used to more precisely determine the buildings annual energy demand usable for heating and cooling. The introduction of a calculation method based on the PN-EN ISO 52016-1 standard is therefore necessary, but it must be clearly decided when the hourly method should be used and when the monthly method can be used.

© 2006-2023 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
All right reserved

1. Wprowadzenie

Wprowadzenie w Unii Europejskiej świadectw charakterystyki energetycznej budynków nastąpiło po wdrożeniu dyrektywy z roku 2002 o charakterystyce energetycznej budynków (2002/91/CE – opublikowana 16 grudnia 2002 r.). Świadectwa stały się obowiązujące w starych krajach członkowskich od stycznia 2006 r., a w krajach nowo przyjętych na początku XXI wieku, w tym również w Polsce o stycznia 2009 r. Był to duży krok w zakresie kontroli zużycia energii w budownictwie i bodziec do redukcji tego zużycia, tym bardziej że budownictwo zużywa rocznie najwięcej energii końcowej ze wszystkich sektorów gospodarki (ok. 40%).

W związku z tym, wypełniając wymagania Unii Europejskiej, również w Polsce w roku 2008 były prowadzone intensywne prace nad opracowaniem od podstaw metodologii obliczania charakterystyki cieplnej budynków i kształtu

świadectw charakterystyki energetycznej budynków lub części budynków. Równocześnie niezbędna była nowelizacja przepisów o warunkach technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie oraz formy i zakresu projektu budowlanego. Prace te doprowadziły do wydania odpowiednich rozporządzeń w listopadzie 2008 r. z mocą obowiązywania od stycznia 2009 r., co wypełniło wymagania UE.

Pierwsza metodyka obliczeń charakterystyki energetycznej budynków z roku 2008 bazowała na niepełnej implementacji metody miesięcznej zawartej w normie PN EN-ISO 13790:2007, która została wycofana w roku 2017.

W roku 2015 zostały wprowadzone w metodyce obliczeń pewne korekty i dodano procedury do obliczeń emisji dwutlenku węgla (CO₂) oraz udziału energii odnawialnej, co jest umieszczane na zmodyfikowanym formularzu świadectwa charakterystyki energetycznej budynków.

Obecna metodyka obliczeń charakterystyki energetycznej budynków bazuje na niepełnej implementacji metody miesięcznej z wycofanej w 2017 roku normy PN EN-ISO 13790 i nie implementuje metod opisanych w normie PN-EN ISO 52016-1, co jest wymagane w dyrektywie 2018/844/UE. Norma PN-EN ISO 52016-1 jest więc kluczowa w systemie obliczeń energetycznych na potrzeby budownictwa. Omawia dwa główne sposoby obliczeń: metodę miesięczną stosowaną do obliczeń uproszczonych oraz metodę godzinową, za pomocą której można dokładniej wyznaczyć roczne zapotrzebowanie budynku na energię użytkową.

Metoda obliczania zapotrzebowania na energię z metodyki świadectw charakterystyki energetycznej w przypadku obecnie wznoszonych budynków niskoenergetycznych (nZEB) i innych niż mieszkalne nie powinna być używana, ponieważ prowadzi do znacznych błędów, jak twierdzi Narowski [11], co nie jest do końca słuszne z uwagi na niepewność warunków brzegowych i początkowych przyjmowanych w obliczeniach. Jednak zmiany ewolucyjne są potrzebne, gdyż zmieniają się wymagania, technologie i techniki stosowane w budownictwie.

Wprowadzenie od roku 2009 świadectw charakterystyki energetycznej budynków było rozwiązaniem w prawie budowlanym słusznym i przyczyniło się do postępu w poprawie efektywności energetycznej budynków, ale również można zaobserwować krytykę i zjawiska negatywne, jednak elementy pozytywne zdecydowanie przeważają. Stąd też trzeba doskonalić metody obliczania charakterystyki energetycznej budynków.

W niniejszym artykule zostaną poruszone zasady obliczania charakterystyki energetycznej budynków i ewolucja tych zasad oraz określone kierunki przyszłościowe w tym zakresie.

2. Prace nad pierwszą metodologią obliczania charakterystyki energetycznej budynków

2.1. Wprowadzenie przepisów o efektywności energetycznej

Prace nad pierwszą w Polsce metodologią obliczania charakterystyki energetycznej budynków rozpoczęły się intensywnie w czerwcu 2008 r. Była to pionierska praca, po raz pierwszy realizowana w Polsce. Pięć miesięcy intensywnej pracy wąskiego grona osób pozwoliło na opracowanie metodologii i metod obliczeniowych, pozwalających na wykonanie obliczeń do charakterystyki energetycznej i wykonania świadectwa charakterystyki energetycznej.

Podstawą do opracowania metodologii była dyrektywa EU – 2002/91/CE *on the energy performance of buildings* (o charakterystyce energetycznej budynków) z roku 2002 [20]. Celem dyrektywy było:

- ustanowienie minimalnych wymagań efektywności energetycznej dla całego zapotrzebowania na energię przez budynek (ogrzewanie/chłodzenie, wentylacja, ciepła woda użytkowa, oświetlenie),
- objęcie powyższymi wymaganiami wszystkich budynków nowych i dużych remontowanych,
- wprowadzenie systemu obowiązkowych świadectw energetycznych dla budynków nowych lub poddanych obrotowni (najem, sprzedaż),
- co 5 lat przeprowadzanie rewizji przepisów.

Celem tych działań była poprawa gospodarki energetycznej, zmniejszenie zużycia paliw pierwotnych, zmniejszenie

emisji CO₂ w europejskich domach, mieszkaniach i obiektach użyteczności publicznej.

Dyrektywa o charakterystyce energetycznej budynków określa co powinno się uwzględniać w sporządzaniu charakterystyki energetycznej:

- charakterystykę klimatu lokalnego,
- warunki klimatu wewnętrznego, jakość powietrza,
- położenie i orientację budynku,
- charakterystykę budynku (przenikanie ciepła przez obudowę i szczelność powietrzną, podział wewnętrzny, wewnętrzna pojemność cieplna),
- pasywne systemy słoneczne i ochrona przed promieniowaniem,
- instalacje ogrzewcze i ciepłej wody, jakość izolacji systemów dystrybucji,
- instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne, wentylacja naturalna,
- oświetlenie naturalne i instalacje oświetleniowe.

Szczególny nacisk w zapisach dyrektywy kładzie się na:

- wykorzystanie aktywnych systemów słonecznych termicznych i PV oraz inne zasoby energii odnawialnej,
- układy skojarzone ciepłno-elektryczne różnych mocy,
- systemy zintegrowane ciepłowniczo-chłodnicze.

Konkluzją tych działań miało być:

- wzrost efektywności energetycznej budynków,
- obniżenie zużycia nieodnawialnej energii pierwotnej,
- wzrost wykorzystania energii odnawialnej,
- obniżenie emisji ditunku węgla (CO₂) w eksploatacji budynków.

Ocena energetyczną są objęte budynki różnego typu:

- Budynki jednorodzinne różnych rodzajów,
- Bloki mieszkalne wielorodzinne,
- Budynki biurowe,
- Budynki edukacyjne,
- Hotele i restauracje,
- Szpitale,
- Obiekty sportowe,
- Hurtownie i budynki usług handlu detalicznego,
- Inne budynki zużywające energię.

Budynki wyłączone z oceny energetycznej:

- Budynki kultu religijnego,
- Budynki historyczne,
- Budynki użytkowane okresowo.

Powyższe wymagania zostały zawarte w opracowywanych w roku 2008 ustawach oraz rozporządzeniach ministra ds. budownictwa, takich jak:

• **Nowelizacja ustawy Prawo budowlane**

Ustawa z dnia 19 września 2007 r. o zmianie ustawy – Prawo budowlane (**Dz.U. nr 191, poz. 1373**),

• **Rozporządzenie Ministra Infrastruktury** z dnia 21 stycznia 2008 r. w sprawie przeprowadzania szkolenia oraz egzaminu dla osób ubiegających się o uprawnienia do sporządzania świadectwa charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego oraz części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową (**Dz.U. Nr 17 poz. 104**),

• **Rozporządzenia Ministra Infrastruktury:**

□ Rozporządzenie z dnia 6. listopada 2008 (**Dz.U. Nr 201 poz. 1240**) w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej,

□ Nowelizacja z dnia 6. listopada 2008 (**Dz.U. Nr 201 poz. 1238**) rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jaki powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (WT'08),

□ Nowelizacja z dnia 6. listopada 2008 r. (**Dz.U. Nr 201 poz. 1239**) rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego.

Rozporządzenie w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku ... obejmuje (2008):

- sposób sporządzania świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku, lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową,
- wzory świadectw charakterystyki energetycznej dla budynku, ... ,
- metodologię obliczania charakterystyki energetycznej budynku,

Natomiast nowelizacja rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jaki powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie ureguje (WT'08):

- spełnienie wymagań dotyczących utrzymania na racjonalnie niskim poziomie ilości ciepła, chłodu i energii elektrycznej potrzebnej do użytkowania budynku,
- minimalne wymagania techniczno-budowlane w zakresie standardu energetycznego na potrzeby projektowania budynków,
- uszczegółowienie wymagań odnośnie ryzyka przegrzewania budynków,
- zaostrzenie wymagań w zakresie szczelności przegród okiennych i drzwiowych,
- zalecenia w zakresie szczelności powietrznej budynków,
- wymagania dotyczące urządzeń i instalacji związanych z przepływem energii dla poprawy ich efektywności.

Dalsze zmiany w prawodawstwie EU i prawodawstwie polskim w zakresie efektywności energetycznej budynków:

• **Nowelizacja Dyrektywy (2010/31/EU)** z 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków wprowadza budynki o prawie zerowym zużyciu energii (*very low and close to zero energy buildings*) i stanowi, że:

□ po 31.12.2020 r. – wszystkie nowe budynki będą o niemal zerowym zużyciu energii,

□ po 31.12.2018 r. – wszystkie budynki nowe zajmowane przez władze publiczne będą o niemal zerowym zużyciu energii,

□ po roku 2015 – państwa członkowskie wprowadzą wymagania okresu przejściowego.

Budynek o niemal zerowym zużyciu energii (**nZEB**) oznacza budynek o bardzo wysokiej efektywności energetycznej określonej liczbowo wg jednolitej procedury (wspólne ramy do obliczania charakterystyki energetycznej wydane przez Komisję Europejską – 01.2012 r.). Ponadto, niemal zerowa lub bardzo mała ilość wymaganej energii powinna pochodzić w bardzo wysokim procencie z energii ze źródeł odnawialnych (w tym ze źródeł odnawialnych wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu lokalizacji budynku).

Na podstawie wspólnych ram Komisji Europejskiej zostały ustalone wymagania dla budynków nZEB w warunkach polskich – dla okresu przejściowego – 01.2014 r., 01.2017 r. i docelowo – 01.2021 r. (01.2019 r. – dla budynków zajmowanych przez władzę publiczną).

Wybór rozwiązania projektowego budynku nZEB – wg minimalnego kosztu globalnego (K_{global}), który obejmuje

koszty inwestycyjne i zdyskontowane koszty eksploatacyjne, a więc:

$$K_{\text{global}} = F (EP_{\text{max}}) \quad (1)$$

$$EP_{\text{max}} = f (PP, PO) \quad (2)$$

gdzie:

EP_{max} – maksymalna wartość nieodnawialnej energii pierwotnej,

PP – parametry projektowe budynku i wyposażenia technicznego,

PO – parametry operacyjne związane z profilem eksploatacji budynku.

Wartości liczbowych EP_{max} określa się:

- wg ram metodologii porównawczej do obliczania optymalnego kosztu minimalnych wymagań energetycznych dla budynków i elementów budynków (suplement do Dyrektywy 2013/1/EU),

- na podstawie wymagań krajowych (koszty inwestycyjne i koszty eksploatacyjne, w tym ceny energii),

- z wykorzystaniem metody optymalnego globalnego (obliczenia dla okresu eksploatacji – 20 lat dla budynków niemieszkalnych oraz 30 lat – dla budynków mieszkalnych),

- dla wybranych rodzajów budynków.

Wyniki takich obliczeń przykładowo pokazano w tabeli 1, co zostało zawarte w warunkach technicznych WT'13.

TABELA 1. Maksymalne wartości EP_{H+W} , kWh/(m²·rok), dla różnych budynków wg WT'13

Rodzaj budynku	Od 01.2014 r.	Od 01.2017 r.	Od 01.2021 r.*
Budynek mieszkalny: – jednorodzinny – wielorodzinny	120 105	95 85	70 65
Budynek zamieszkania zbiorowego	95	85	75
Budynek użyteczności publicznej: – opieki zdrowotnej – pozostałe	390 65	290 60	190 45
Budynek produkcyjny, magazynowy	110	90	70

Oznaczenia: H – ogrzewanie, W – ciepła woda *od 01.2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

Jak wynika z tabeli 1. wymagania dotyczące maksymalnych wartości nieodnawialnej energii pierwotnej dla budynków nZEB w Polsce od roku 2019/2021 są następujące:

- budynki mieszkalne jednorodzinne – $EP_{H+W} = 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$,
- budynki mieszkalne wielorodzinne – $EP_{H+W} = 65 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$,
- budynki zamieszkania zbiorowego – $EP_{H+W} = 75 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ oraz $EP_{H+W+C} = 100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$,
- budynki biurowe i administracyjne – $EP_{H+W} = 45 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ oraz $EP_{H+W+C} = 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ i $EP_{H+W+C+L} = 95 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

W ślad za nowelizacją dyrektywy nastąpiły zmiany w prawodawstwie krajowym, również w Polsce:

- **Ustawa z dnia 29. sierpnia 2014 r. (Dz.U. 1200 poz. 1200)** o charakterystyce energetycznej budynków,

• **Rozporządzenia Ministra Infrastruktury:**

□ Nowelizacja z dnia 5. lipca 2013 r. (**Dz.U. Nr 33 poz. 926**) rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jaki powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (WT'13),

□ Rozporządzenie z dnia 27. lutego 2015 r. (**Dz.U. 2015 poz. 376**) w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.

Nowelizacja warunków technicznych (WT'13 – 5 lipca 2013 r.) to m.in. przepisy dotyczące wprowadzenie wymagań dla budynków nZEB w Polsce stopniowo zmniejszając EP w latach 2014-2021.

2.2. Metodologia wyznaczania charakterystyki energetycznej budynków

Wprowadzenie po raz pierwszy w roku 2008 do prawa- dawstwa polskiego przepisów regulujących charakterystykę energetyczną budynków nie było łatwe, gdyż te charaktery- styki miało sporządzać dość szerokie grono osób o różnych kompetencjach. Natomiast problematyka właściwości ener- getycznych budynków wraz z technicznym wyposażeniem odpowiadającym za przepływ energii i źródła energii oraz pochodzenie energii nie jest prosta. Jeżeli świadectwo cha- rakterystryki energetycznej budynków jest dokumentem, to zawarte w nim wartości powinny pochodzić z jednolitych i relatywnie prostych procedur obliczeniowych. Z tych po- wodów zdecydowano się na bilansowanie ciepła i energii w budynkach metodą bilansów miesięcznych, wg PN-EN ISO 13790:2007.

Do łatwiejszego zrozumienia przepływu ciepła i energii w budynku, wprowadzono trzy pojęcia, odnoszące się do poszczególnych komponentów budynku, z podziałem: budynek, techniczne wyposażenie, rodzaj i pochodzenie energii:

• **energia użytkowa (EU)** – związana z budynkiem, za- pewniająca utrzymanie odpowiedniej temperatury, jakości powietrza i komfortu użytkowania w pomieszczeniach, co jest związane z potrzebami cieplnymi netto do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, ciepłej wody użytkowej i energią elektryczną do oświetlenia,

• **energia końcowa (EK)** – związana z technicznym wy- posażeniem, które dostarcza energię do zapewnienia energii użytkowej do poszczególnych pomieszczeń i tutaj kluczowe znaczenie ma sprawność poszczególnych komponentów,

• **nieodnawialna energia pierwotna (EP)** – energia nie- zbędna przeliczona na nieodnawialną energię pierwotną, do- starczana do urządzeń w budynku zapewniającymi dostar- czenie niezbędnej energii końcowej.

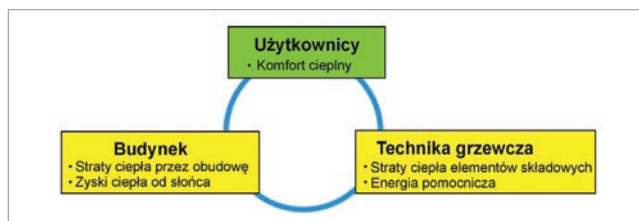
W związku z powyższym przyjęto następujące założenia:

• budynek jest traktowany jako system energetyczny, bi- lansowany zgodnie z zasadami termodynamiki,

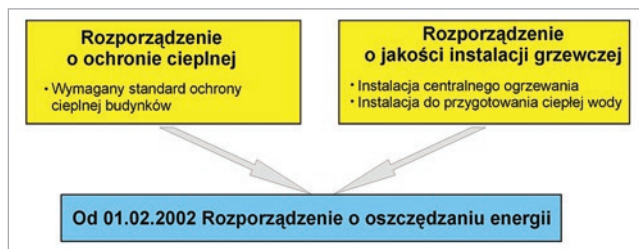
• zapotrzebowanie na **energię użytkową** do utrzymania komfortu cieplnego i jakości powietrza w pomieszczeniach na podstawie normy PN-EN ISO 13790:2007 (straty i zyski ciepła, zyski wewnętrzne i od słońca przez przegrody prze- szklone, uwzględnienie pojemności cieplnej),

• zapotrzebowanie na **energię końcową** związane z dzia- łaniem urządzeń technicznych dostarczających ciepło, chłód i energię elektryczną,

• zapotrzebowanie na **nieodnawialną energię pierwotną**, niezbędną do działania urządzeń technicznych dostarczają- cych energię końcową związaną z działaniem urządzeń tech- nicznych dostarczających ciepło, chłód i energię elektryczną



Rys. 1. Właściwości cieplne budynku z techniką grzewczą i użytkow- nikami



Rys. 2. Integracja przepisów o oszczędzaniu energii w Niemczech (2002) do ogrzewania

(uwzględnia nakłady na wyprodukowanie energii, jej trans- port i pozyskanie),

• w przypadku ciepłej wody użytkowej, jej zużycie zosta- ło ustalone ryczałtowo, wg analiz zużycia w różnych typach lokali.

Obliczenia charakterystyki energetycznej dokonuje się po- przez zintegrowanie trzech modułów, wykorzystując proce- dury i oznaczenia z normy PN-EN ISO 13790:2007:

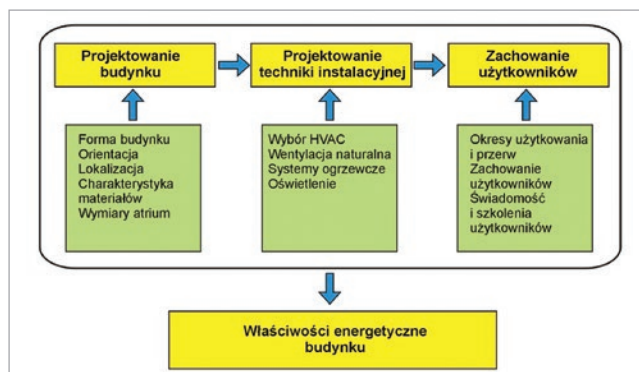
• **budynek i jego właściwości cieplne** (izolacja termicz- na, szczelność powietrzna, wykorzystanie energii promie- niowania słonecznego w zimie, ochrona przed promienio- waniem słonecznym w lecie, zyski ciepła w budynku, we- wnętrzna pojemność cieplna – H_{tr} , H_{ve} (H_{vel} , H_{int}), Q_{sol} , Q_{int} ,

• **technika instalacyjna** odpowiedzialna za komfort cieplny i użytkowy oraz za oświetlenie (sprawność energe- tyczna, straty lub zyski ciepła, sprawność regulacji, dystry- bucji, akumulacji, konwersji energii),

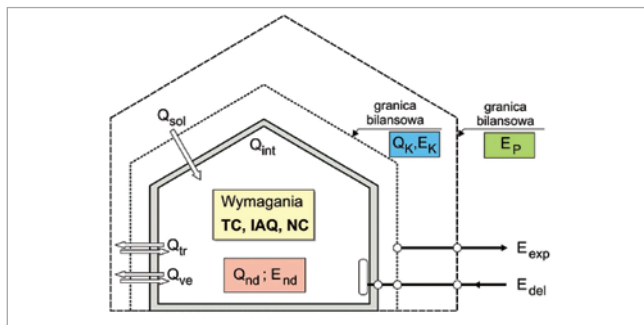
• efektywne wyprodukowanie i dostarczenie energii do budynku (wykorzystywać można energię pierwotną – nieod- nawialną lub odnawialną).

W analizach i procedurach wykorzystano założenia przy- jęte przy powstawaniu niemieckich przepisów o oszczędza- niu energii (tzw. EnEV'02), co pokazano na rys. 1 oraz 2.

W przypadku budynku niemieszkalnego i dodatkowo z klimatyzacją analiza energetyczna jest bardziej złożona, gdyż ważne jest również chłodzenie, profile użytkowania



Rys. 3. Integracja analizy energetycznej w budynkach z klimatyzacją w obliczeniach energetycznych



Rys. 4. Założenia do bilansowania energii w budynku i określenia charakterystyki energetycznej: TC – komfort cieplny, IAQ – jakość powietrza wewnętrznego, NC – komfort użytkowy (ciepła woda użytkowa, oświetlenie, ...), Q_{nd} , E_{nd} – potrzebne ciepło użytkowe lub energia użytkowa, E_K – energia końcowa, E_P – energia pierwotna, Q_{int} – wewnętrzne zyski ciepła, Q_{sol} – zyski ciepła od słońca, Q_{tr} – straty/zyski ciepła przez przegrody, Q_{ve} – straty/zyski ciepła powietrza wentylacyjnego (infiltracyjnego)

oraz sposób działania układów wentylacyjnych pomieszczeń (strukturę powiązań pokazano na rys. 3). Dla przypadku złożonego i dodatkowo bilansując energię dostarczoną oraz wyprodukowaną w własnych urządzeniach, to schemat ogólny pokazano na rys. 4.

Bilans zintegrowany budynku lub części budynku

Na bilans ogrzewania/chłodzenia, w określonym czasie, wpływają cztery podstawowe oddziaływania – zmienne w czasie: straty/zyski ciepła przez przenikanie, podgrzewanie/ochładzanie powietrza wentylacyjnego, zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez okna, zyski ciepła od źródeł wewnętrznych.

Dla charakterystyki energetycznej budynków, oblicza się roczne zapotrzebowanie na ciepło użytkowe ($Q_{H,nd}$) – w wypadku ogrzewania i wentylacji metodą bilansów miesięcznych. Zapotrzebowanie na ciepło $Q_{H,nd}$ jest sumą zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i wentylacji budynku lub lokalu mieszkalnego, albo części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową w poszczególnych miesiącach, w których wartości obliczeniowe są dodatnie.

Przeważnie rozpatruje się miesiące: od stycznia do maja i od września do grudnia włącznie.

$$Q_{H,nd} = \sum_n Q_{H,nd,n} \text{ kWh/rok} \quad (3)$$

Łączne zapotrzebowanie na ciepło użytkowe do ogrzewania i wentylacji ($Q_{h,nd}$)

$$Q_{h,nd} = f_l(Q_{tr}, Q_{ve}, Q_{sol}, Q_{int}, \text{czas}) \quad (4)$$

Wartość miesięcznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i wentylacji budynku lub lokalu mieszkalnego $Q_{H,nd,n}$ należy obliczać zgodnie ze wzorem:

$$Q_{H,nd,n} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \text{ kWh/m-c} \quad (5)$$

gdzie:

- $Q_{H,nd}$ – ilość ciepła niezbędna do pokrycia potrzeb ogrzewczych budynku (lokalu mieszkalnego, części budynku) w okresie miesięcznym lub rocznym, kWh/m-c,
- $Q_{H,ht}$ – straty ciepła przez przenikanie i wentylację w okresie miesięcznym, kWh/m-c,
- $Q_{H,gn}$ – zyski ciepła wewnętrzne i od słońca w okresie miesięcznym, kWh/m-c,
- $\eta_{H,gn}$ – współczynnik efektywności wykorzystania zysków w trybie ogrzewania, kWh/m-c.

Łączne zapotrzebowanie na chłód użytkowy do chłodzenia i wentylacji ($Q_{c,nd}$)

$$Q_{c,nd} = f_2(Q_{tr}, Q_{ve}, Q_{sol}, Q_{int}, \text{czas}) \quad (6)$$

lub po wstawieniu zależności

$$Q_{c,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht} \quad (7)$$

gdzie:

- $Q_{C,nd}$ – ilość chłodu niezbędna do pokrycia potrzeb chłodzenia budynku (lokalu mieszkalnego, strefy) w okresie miesięcznym, kWh/m-c,
- $Q_{C,ht}$ – całkowity przepływ ciepła przez przenikanie i wentylację trybie chłodzenia w okresie miesięcznym, kWh/m-c,
- $Q_{C,gn}$ – całkowite zyski ciepła w trybie chłodzenia w okresie miesięcznym, kWh/m-c,
- $\eta_{C,ls}$ – współczynnik efektywności wykorzystania strat ciepła w trybie chłodzenia, kWh/m-c.

Całkowite straty i zyski ciepła

Dla każdej strefy budynku oraz każdego miesiąca całkowite straty ciepła wyznaczane są z równania:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (8)$$

natomiast całkowite zyski ciepła z zależności:

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (9)$$

gdzie:

- Q_{ht} – całkowity przepływ ciepła przez przenikanie i wentylację w okresie miesięcznym, kWh/m-c,
- Q_{tr} – całkowity przepływ ciepła przez przenikanie w okresie miesięcznym, kWh/m-c,
- Q_{ve} – całkowity przepływ ciepła przez wentylację w okresie miesięcznym, kWh/m-c,
- Q_{gn} – całkowite zyski ciepła w okresie miesięcznym, kWh/m-c,
- Q_{int} – wewnętrzne zyski ciepła w okresie miesięcznym, kWh/m-c,
- Q_{sol} – zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez przegrody przezroczyste w okresie miesięcznym, kWh/m-c.

Współczynnik efektywności wykorzystania zysków ciepła do ogrzewania

Współczynnik efektywności wykorzystania zysków ciepła $\eta_{H,gn}$ w trybie ogrzewania wyznaczany jest z zależności:

$$\text{dla } \gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \neq 1$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (10)$$

dla $\gamma_H = 1$:

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (11)$$

Parametr numeryczny a_H zależny od stałej czasowej, wyznaczany jest dla budynku lub strefy budynku w funkcji stałej czasowej wg zależności:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (12)$$

gdzie:

$a_{H,0}$ – bezwymiarowy referencyjny współczynnik równy 1,0,
 τ – stała czasowa strefy budynku lub całego budynku, h,
 $\tau_{H,0}$ – stała czasowa referencyjna równa 15 h, h.

Przy czym:

$$\tau = \frac{c_m/3600}{H_{tr} + H_{ve}} \quad (13)$$

gdzie: C_m wewnętrzna pojemność cieplna strefy budynku lub całego budynku, J/K.

$$C_m = \sum_j \sum_i (c_{ij} \cdot \rho_{ij} \cdot d_{ij} \cdot A_j) \quad (14)$$

gdzie:

c_{ij} – ciepło właściwe materiału warstwy i-tej w elemencie j-tym, J/(kg·K),
 ρ_{ij} – gęstość materiału warstwy i-tej w elemencie j-tym, kg/m³,
 d_{ij} – grubość warstwy i-tej w elemencie j-tym, przy czym łączna grubość warstw nie może przekraczać 0,1 m, m,
 A_j – pole powierzchni j-tego elementu budynku, m².

Współczynnik efektywności wykorzystania strat ciepła do chłodzenia

Współczynnik efektywności wykorzystania strat ciepła w trybie chłodzenia wyznaczany jest z zależności:

$$\text{dla } \gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}} \neq 1 \text{ i } \gamma_C > 0$$

$$\eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}} \quad (15)$$

dla $\gamma_C = 1$:

$$\eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C + 1} \quad (16)$$

dla $\gamma_C < 0$:

$$\eta_{C,ls} = 1 \quad (17)$$

Współczynnik a_H wyznaczany jest dla budynku lub części budynku w funkcji stałej czasowej określonej według zależności (12), przy czym zamiast indeksu H należy wstawić C .

Miesięczne straty ciepła przez przenikanie i wentylację budynku lub części budynku w dany miesiąc sezonu ogrzewczego oblicza się ze wzorów:

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \text{ kWh/m-c} \quad (18)$$

$$Q_{tr} = H_{tr} \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t_M \cdot 10^{-3} \text{ kWh/m-c} \quad (19)$$

$$Q_{ve} = H_{ve} \cdot (\theta_{int,H} - \theta_e) \cdot t_M \cdot 10^{-3} \text{ kWh/m-c} \quad (20)$$

Miesięczne zyski/straty ciepła przez przenikanie i wentylację budynku lub części budynku w danym miesiącu sezonu chłodzenia oblicza się ze wzorów:

$$Q_{C,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \text{ kWh/m-c} \quad (21)$$

$$Q_{tr} = H_{tr} \cdot (\theta_{int,C} - \theta_e) \cdot t_M \cdot 10^{-3} \text{ kWh/m-c} \quad (22)$$

$$Q_{ve} = H_{ve} \cdot (\theta_{int,C} - \theta_e) \cdot t_M \cdot 10^{-3} \text{ kWh/miesiąc} \quad (23)$$

gdzie:

H_{tr} – współczynnik strat/zysków mocy cieplnej przez przenikanie przez wszystkie przegrody zewnętrzne, W/K,
 H_{ve} – współczynnik strat mocy cieplnej na wentylację, W/K,
 $\theta_{int,H}$ – temperatura wewnętrzna dla okresu ogrzewania w budynku lub lokalu mieszkalnym przyjmowana zgodnie z wymaganiami zawartymi w przepisach techniczno-budowlanych, °C,
 $\theta_{int,C}$ – temperatura wewnętrzna dla okresu ogrzewania w budynku lub lokalu mieszkalnym przyjmowana zgodnie z wymaganiami zawartymi w przepisach techniczno-budowlanych, °C,
 θ_e – średnia temperatura powietrza zewnętrznego w analizowanym okresie miesięcznym według danych dla najbliższej stacji meteorologicznej, °C,
 t_M – liczba godzin w miesiącu, h,

oraz współczynniki strat ciepła przez przenikanie należy obliczać ze wzoru:

$$H_{tr} = \sum_i [b_{tr,i} \cdot (A_i \cdot U_i + \sum_l l_i \cdot \Psi_l)] \text{ W/K} \quad (24)$$

gdzie:

$b_{tr,i}$ – współczynnik redukcyjny obliczeniowej różnicy temperatury i-tej przegrody; dla przegród pomiędzy przestrzenią ogrzewaną i środowiskiem zewnętrznym $b_{tr} = 1$,
 A_i – pole powierzchni i-tej przegrody otaczającej przestrzeń o regulowanej temperaturze, obliczanej wg wymiarów zewnętrznych przegrody, (wymiarów okien i drzwi przyjmuje się jako wymiary otworów w ścianie), m²,
 U_i – współczynnik przenikania ciepła i-tej przegrody pomiędzy przestrzenią ogrzewaną i stroną zewnętrzną, W/(m²·K),
 l_i – długość i-tego liniowego mostka cieplnego, m,
 Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego przyjęty wg PN-EN ISO 14683:2008 lub obliczony zgodnie z PN-EN ISO 10211:2008, W/(m·K)

i współczynniki strat ciepła/zysków wentylacji należy obliczać ze wzoru:

$$H_{ve} = \rho_a c_a \sum_k (b_{ve,k} \cdot V_{ve,k,mn}) \text{ W/K} \quad (25)$$

gdzie:

$\rho_a c_a$ – pojemność cieplna powietrza, 1200 J/(m³·K), J/(m³·K),
 $b_{ve,k}$ – współczynnik korekcyjny dla strumienia k,
 $V_{ve,k,mn}$ – uśredniony w czasie strumień powietrza k, m³/s,
 k – identyfikator strumienia powietrza.

Wyznaczanie rocznego zapotrzebowania na energię użytkową do podgrzewania ciepłej wody użytkowej

Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do podgrzewania ciepłej wody użytkowej $Q_{W,nd}$ wyznacza się ze wzoru:

$$Q_{W,nd} = V_{wi} \cdot A_f \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot (\theta_w - \theta_o) \cdot k_R \cdot t_R / 3600 \text{ kWh/rok} \quad (26)$$

gdzie:

- V_{wi} – jednostkowe dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową, $\text{dm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{doba})$,
 A_f – powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze, m^2 ,
 c_w – ciepło właściwe wody, przyjmowane jako 4,19, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,
 ρ_w – gęstość wody, przyjmowana jako 1000, kg/m^3 ,
 θ_w – temperatura ciepłej wody w zaworze czterpalnym, np. 55, $^{\circ}\text{C}$,
 θ_o – temperatura wody zimnej przed podgrzewaczem, przyjmowana jako 10 $^{\circ}\text{C}$,
 k_R – współczynnik korekcyjny ze względu na przerwy w użytkowaniu ciepłej wody użytkowej (zmniejszenie średnio w ciągu roku o 10% – dla budynków mieszkalnych),
 t_R – liczba dni w roku (równa 365), doby.

Wyznaczenie rocznego zapotrzebowania na energię końcową

Do ogrzewania i wentylacji

Ilość energii końcowej (energii dostarczanej do budynku ze źródła własnego lub z zewnętrznej sieci nośnika energii) niezbędnej do pokrycia potrzeb grzewczych budynku w roku wyznaczana jest z zależności:

$$Q_{K,H} = Q_{H,nd} / \eta_{H,tot} \text{ kWh/rok} \quad (27)$$

gdzie:

$$\eta_{H,tot} = \eta_{H,g} \cdot \eta_{H,s} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,e} \quad (28)$$

gdzie:

- $Q_{H,nd}$ – zapotrzebowanie na energię użytkową (ciepło użytkowe) przez budynek (lokal mieszkalny), kWh/rok,
 $\eta_{H,tot}$ – średnia sezonowa sprawność całkowita systemu grzewczego budynku – od wytwarzania (konwersji) ciepła do przekazania w pomieszczeniu,
 $\eta_{H,g}$ – średnia sezonowa sprawność wytworzenia nośnika ciepła z energii dostarczanej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej),
 $\eta_{H,s}$ – średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu grzewczego budynku (w obrębie osłony bilansowej lub poza nią),
 $\eta_{H,d}$ – średnia sezonowa sprawność transportu (dystrybucji) nośnika ciepła w obrębie budynku (osłony bilansowej lub poza nią),
 $\eta_{H,e}$ – średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w budynku (w obrębie osłony bilansowej)

Do chłodzenia i wentylacji

Ilość energii końcowej (energii dostarczanej do budynku z zewnętrznej sieci nośnika energii) niezbędnej do pokrycia potrzeb chłodniczych budynku w roku wyznaczana jest z zależności:

$$Q_{K,C} = Q_{C,nd} / \eta_{C,tot} \text{ kWh/rok} \quad (29)$$

gdzie:

sprawnność całkowita systemu chłodzenia budynku wyznaczana jest z zależności:

$$\eta_{C,tot} = \text{ESEER} \cdot \eta_{C,s} \cdot \eta_{C,d} \cdot \eta_{C,e} \quad (30)$$

gdzie:

- ESEER – średni europejski współczynnik efektywności energetycznej wytwarzania chłodu z nośnika energii doprowadzonej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej) liczony zgodnie z wytycznymi Eurovent,
 $\eta_{C,s}$ – średnia sezonowa sprawność akumulacji chłodu w budynku (w obrębie osłony bilansowej),
 $\eta_{C,d}$ – średnia sezonowa sprawność transportu nośnika chłodu w obrębie budynku (osłony bilansowej),
 $\eta_{C,e}$ – średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania chłodu w budynku (w obrębie osłony bilansowej).

Uwaga:

1. Zyski ciepła od instalacji transportu nośnika ciepła i modułów pojemnościowych, jeżeli są one zlokalizowane wewnątrz osłony izolacyjnej budynku, to są wliczane do wewnętrznych zysków/strat ciepła.

2. Jeżeli instalacja transportu nośnika ciepła jest zaizolowana i położona w brzdach, to nie uwzględnia się tej części instalacji w obliczeniach strat ciepła.

Sprawności cząstkowe uwzględnione we wzorach (28), (30) należy wyznaczać na podstawie:

- obowiązujących przepisów,
- dokumentacji technicznej budynku i instalacji oraz urządzeń,
- wiedzy technicznej oraz wizji lokalnej obiektu,
- dostępnych danych katalogowych urządzeń, elementów instalacji ogrzewczej i wentylacyjnej obiektu.

Do podgrzewania ciepłej wody użytkowej

Ilość energii końcowej (energii dostarczanej do budynku ze źródła własnego lub z zewnętrznej sieci nośnika energii) niezbędnej do pokrycia potrzeb cieplnych do podgrzewania ciepłej wody użytkowej wyznaczana jest z zależności:

$$Q_{K,W} = Q_{W,nd} / \eta_{W,tot} \text{ kWh/rok} \quad (31)$$

gdzie:

$$\eta_{W,tot} = \eta_{W,g} \cdot \eta_{W,s} \cdot \eta_{W,d} \cdot \eta_{W,e} \quad (32)$$

gdzie:

- $Q_{W,nd}$ – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do podgrzewania ciepłej wody użytkowej, kWh/rok,
 $\eta_{W,tot}$ – średnia roczna sprawność całkowita systemu podgrzewania ciepłej wody użytkowej,
 $\eta_{W,g}$ – średnia roczna sprawność wytworzenia ciepła z energii dostarczonej do źródła ciepła,
 $\eta_{W,s}$ – średnia roczna sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu podgrzewania ciepłej wody użytkowej,
 $\eta_{W,d}$ – średnia roczna sprawność przesyłania ciepła ze źródła ciepła do zaworów czterpalnych,
 $\eta_{W,e}$ – średnia roczna sprawność regulacji i wykorzystania ciepła (przyjmuje się 1,0).

Do wbudowanego oświetlenia

Roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczoną do wbudowanej instalacji oświetlenia budynku $Q_{K,L}$ wyznacza się z zależności:

$$Q_{K,L} = LENI \cdot A_L \quad (33)$$

gdzie:

LENI – liczbowy wskaźnik zapotrzebowania na energię do oświetlenia wyznaczony wg Polskiej Normy dotyczącej charakterystyki energetycznej budynku – wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia, kWh/rok,

A_L – powierzchnia pomieszczeń wyposażonych w system wbudowanej instalacji oświetlenia równa powierzchni przyjętej do obliczania wskaźnika LENI.

Uwaga: metody nie stosuje się dla budynków i lokali mieszkalnych.

Obliczenia rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP)

Całkowite zapotrzebowanie na energię pierwotną budynku lub części budynku jest sumą zapotrzebowania na: ogrzewanie, chłodzenie, ciepłą wodę użytkową i oświetlenie wbudowane, wg zależności:

$$Q_P = Q_{P,H} + Q_{P,W} + Q_{P,C} + Q_{P,L} \quad \text{kWh/rok} \quad (34)$$

$$Q_{P,H} = w_H \cdot Q_{K,H} + w_{el} \cdot E_{el,pom,H} \quad \text{kWh/rok} \quad (35)$$

$$Q_{P,W} = w_W \cdot Q_{K,W} + w_{el} \cdot E_{el,pom,W} \quad \text{kWh/rok} \quad (36)$$

$$Q_{P,C} = w_C \cdot Q_{K,C} + w_{el} \cdot E_{el,pom,C} \quad \text{kWh/rok} \quad (37)$$

$$Q_{P,L} = w_L \cdot Q_{K,L} \quad \text{kWh/rok} \quad (38)$$

gdzie:

$Q_{P,H}$ – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do systemu ogrzewania i wentylacji, kWh/rok,

$Q_{P,C}$ – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do systemu chłodzenia i wentylacji (do chłodzenia pomieszczenia i powietrza), kWh/rok,

$Q_{P,W}$ – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do systemu (do podgrzania ciepłej wody użytkowej), kWh/rok,

$Q_{P,L}$ – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do systemu wbudowanej instalacji oświetlenia, kWh/rok,

$Q_{K,H}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczoną do systemu grzewczego i wentylacyjnego (do ogrzewania i wentylacji), kWh/rok,

$Q_{K,C}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczoną do systemu chłodzenia i wentylacji (do chłodzenia pomieszczenia i powietrza), kWh/rok,

$Q_{K,W}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczoną do systemu podgrzewania ciepłej wody użytkowej, kWh/rok,

$Q_{K,L}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową do systemu oświetlenia wbudowanego budynku, kWh/rok,

$E_{el,pom,H}$ – roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną do napędu urządzeń pomocniczych systemu ogrzewania i wentylacji, kWh/rok,

$E_{el,pom,C}$ – roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną do napędu urządzeń pomocniczych systemu chłodzenia i wentylacji, kWh/rok,

$E_{el,pom,W}$ – roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną do napędu urządzeń pomocniczych systemu ciepłej wody, kWh/rok,

w_i – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej do ocenianego budynku (w_{el} , w_H , w_W), który określa dostawca energii lub nośnika energii; przy braku danych można korzystać z tabl. 2 (w_{el} – dotyczy energii elektrycznej, w_H – dotyczy ciepła dla ogrzewania, w_W – dotyczy ciepła do przygotowania ciepłej wody użytkowej, w_C – dotyczy wytwarzania chłodu, dla agregatu o napędzie elektrycznym $w_C = 3,0$).

Wyznaczenie wskaźnika EP i EK

Wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną i energię końcową oblicza się ze wzorów:

$$EP = Q_P / A_f \quad \text{kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)} \quad (39)$$

$$EK = (Q_{K,H} + Q_{K,W} + Q_{K,C} + Q_{K,L}) / A_f \quad \text{kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)} \quad (40)$$

gdzie:

Q_P – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania i wentylacji, podgrzewania ciepłej wody użytkowej, chłodzenia oraz napędu urządzeń pomocniczych, kWh/rok,

A_f – powierzchnia ogrzewana/chłodzona (o regulowanej temperaturze) budynku lub części budynku, m².

TABELA 2. Współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii do budynku (2008 i 2015)

Lp.	Sposób zasilania budynku lub części budynku w energię	Rodzaj nośnika energii lub energii	Współczynnik nakładu w _i	
			rok 2008	rok 2015
1	Miejskowe wytwarzanie energii (ciepła) w budynku	olej opałowy	1,1	1,1
2		gaz ziemny	1,1	1,1
3		gaz płynny	1,1	1,1
4		węgiel kamienny	1,1	1,1
5		węgiel brunatny	1,1	1,1
6		energia słoneczna	0,0	0,0
7		energia wiatrowa		0,0
8		energia geotermalna		0,0
9		biomasa	0,2	0,2
10		biogaz		0,5
11	Ciepło sieciowe z kogeneracji ¹⁾	węgiel kamienny lub gaz ziemny ³⁾	0,8	0,8
12		biomasa, biogaz	0,15	0,15
13	Ciepło sieciowe z ciepłowni	ciepło z ciepłowni węglowej	1,3	1,3
14		ciepło z ciepłowni gazowej/olejowej	1,2	1,2
15		ciepło z ciepłowni na biomasę	0,2	
16	Energia elektryczna	produkcja mieszana ²⁾	3,0	3,0
17		systemy PV ³⁾	0,70	0,0
Skojarzona produkcji energii elektrycznej i ciepła, ²⁾ dotyczy zasilania z sieci elektroenergetycznej systemowej, ³⁾ ogniwa fotowoltaiczne (produkcja energii elektrycznej z energii słonecznej) Uwaga: kolektor słoneczny termiczny – w _H = 0,0 Uwaga: w roku 2023 wartość dla energii elektrycznej z sieci svstemowej w _i = 2,5				

3. Ocena stosowanej metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków

Pierwsza wersja metodologii została opublikowana w listopadzie 2008 r. – wprowadzona w życie od stycznia 2009 r. Po sześciu latach wprowadzono nowelizację, która weszła w życie od 28 marca 2015 r. i obowiązuje obecnie. W ogólnym zakresie i metodzie obliczeń powiela ona metodologię wprowadzoną w roku 2008, a wprowadza jedynie zmiany danych wejściowych upraszczając je co nie zawsze jest właściwe i odbiega od rzeczywistości. Upłynęło jednak ponad 8,5 roku i nadszedł czas na zmiany, wynikające z rozwoju techniki, technologii i metod obliczeniowych.

Nowelizacja metodologii z roku 2015 wprowadziła dodatkowe, pozytywne elementy, takie jak:

- obliczanie emisji ditlenku węgla (CO_2) związanej ze zużyciem energii na potrzeby ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, podgrzewania ciepłej wody użytkowej i oświetlenia wbudowanego,
- wprowadzenie wartości emisji do świadectwa charakterystyki energetycznej,
- wprowadzenie obliczania udziału energii ze źródeł odnawialnych i wstawianie tego udziału w świadectwie charakterystyki energetycznej.

Wprowadzono również wiele zmian, które w założeniu miały uprościć obliczenia, jednak nie zawsze jest to jednoznaczne i tożsame z faktycznym stanem w projektowanym lub istniejącym budynku. Ważniejsze z nich podano poniżej:

- Tabl. 25 [33] – podstawowy strumień powietrza jest ustalany dość ogólnie, nie bierze pod uwagę projektowej liczby osób;
- Tabl. 26 [33] – obciążenie cieplne pomieszczeń zyskami wewnętrznymi jest mało dokładne i nie zależy od liczby osób i wyposażenia, np. budynek jednorodzinny – jest $q_{\text{int}} = 6,8 \text{ W/m}^2$, natomiast dokładniejsze analizy dają inne wartości:
 - budynek 120 m^2 , 4 osoby – $q_{\text{int}} = 4,0 \text{ W/m}^2$,
 - budynek 200 m^2 , 4 osoby – $q_{\text{int}} = 2,5 \text{ W/m}^2$;
- Tabl. 27 [33] – zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową przyjęto w odniesieniu do m^2 powierzchni i doby – co jest bardzo nieprecyzyjne, gdyż nie uwzględnia liczby osób, które zużywają tę wodę i wartości przyjęte do obliczeń odbiegają od rzeczywistych.

- Punkt 8 [33] – udział odnawialnych źródeł energii.

Wzór na udział energii odnawialnej do chłodzenia należałoby wykreślić, gdyż przy chłodzeniu nie występuje energia odnawialna (rewersyjna PC, SEER większe od 1), całe ciepło skraplania czynnika chłodniczego jest odprowadzane do atmosfery w skraplaczu powietrznym lub do cieczy chłodzącej skraplacz. Natomiast jeżeli wykorzystuje się ciepło skraplania, np. do wstępnego podgrzewania ciepłej wody, to mamy odzysk ciepła skraplania?

Te niektóre niedokładności mają wpływ na wynik obliczeń charakterystyki energetycznej i powodują błędy; powinny więc przy planowanych zmianach wyeliminowane.

Charakterystykę energetyczną budynku i świadectwo charakterystyki energetycznej wykonuje się w następujących przypadkach:

- jako projektową charakterystykę energetyczną – przy wykonywaniu projektu architektoniczno-budowlanego i projektu technicznego,
- jako charakterystykę energetyczną powykonawczą,

- charakterystykę energetyczną budynku istniejącego przed i po wykonaniu termomodernizacji.

I te przypadki powinny być uwzględnione we wprowadzaniu zmian.

Stąd też przy opracowywaniu metod obliczeniowych powinny być brane pod uwagę również parametry projektowe, takie jak: wyposażenie pomieszczeń, projektowa liczba użytkowników, profil dobowy/tygodniowy wykorzystania pomieszczeń.

4. Przyszłościowe rozwiązania w metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków

Metodologia obliczania charakterystyki energetycznej budynków została opracowana i wdrożona w 2008 roku i była oparta na normie PN-EN ISO 13790:2007, która została wycofana w 2017 roku. Zastosowano w niej metodę bilansów miesięcznych ogrzewania i chłodzenia. Ta metodologia obowiązuje już prawie 15 lat z drobnymi modyfikacjami wprowadzonymi w roku 2015. Jednak od tego czasu nastąpił rozwój techniki budowlanej i przepisów prowadzących do rozwoju budynków niemal zero-energetycznych (nZEB) oraz rozwój techniki instalacyjnej i źródeł energii – w tym odnawialnych, jak również rozwój techniki obliczeniowej – co powinno prowadzić do korekty procedur obliczeniowych, wynikające ze zmian aktów prawnych.

Norma PN-EN ISO 13790 nie implementuje metod opisanych w normie PN-EN ISO 52016-1:2017, co jest wymagane w dyrektywie 2018/844/UE. Obecnie więc norma PN-EN ISO 52016-1 jest kluczowa w systemie obliczeń energetycznych na potrzeby budownictwa. Omawia ona dwa główne sposoby obliczeń: metodę miesięczną stosowaną do obliczeń uproszczonych oraz metodę godzinową, za pomocą której można dokładniej wyznaczyć roczne zapotrzebowanie budynku na energię użytkową.

Wprowadzenie metody obliczeń na podstawie normy PN-EN ISO 52016-1:2017 jest więc potrzebne. Główną zaletą metody godzinowej w porównaniu do metody miesięcznej przedstawionej w normie PN-EN ISO 52016-1 jest możliwość szczegółowego modelowania wielu zmiennych w czasie parametrów opisujących budynek oraz parametrów eksploatacyjnych systemów jego technicznego wyposażenia, odpowiedzialnych za przepływy energii. Dodatkowo uwzględnia się szczegółowo zmienność parametrów klimatu zewnętrznego, w tym: temperatury, uwzględnia się również zmienności współczynników zacielenia, przegród zewnętrznych oraz okien budynku, zmienność pracy systemów wentylacji, ogrzewania i chłodzenia, wpływ na zmienne wartości temperatury nastawy w strefach budynku itp. Dodatkowo można uwzględniać profile użytkowania pomieszczeń, obecność osób, harmonogramy oświetlenia sztucznego, zyski ciepła od ludzi i urządzeń oraz oświetlenia, co umożliwia wyznaczanie zmiennych w czasie wewnętrznych zysków ciepła, które mają wpływ na dynamikę przepływu ciepła przez budynek. Zaproponowany w opisywanej normie model godzinowy umożliwia analizowanie wielu aspektów związanych z obliczeniami zapotrzebowania na energię oraz maksymalnym obciążeniem cieplnym systemu ogrzewania i klimatyzacji budynków. Jak wspomniano wcześniej, zaawansowane obliczeniowe modele mogą być wykorzystane do wyznaczania wartości średnich miesięcznych wskaźników metody miesięcznej.

Wprowadzenie metody godzinowej wymaga dokładniejszych danych początkowych i brzegowych, co nie zawsze jest możliwe. Jest to pewne ograniczenie, które dotyczy takich danych, jak:

- przepływ powietrza wentylacyjnego zmiany w czasie doby/tygodnia,
- zyski wewnętrzne zmienne w czasie doby/tygodnia,
- zużycie ciepłej wody użytkowej zmienne w ciągu doby/tygodnia,

Na pewno ograniczone jest zastosowanie metody godzinowej w budynkach z wentylacją grawitacyjną oraz w większości przypadków na etapie tzw. projektowej charakterystyki energetycznej, gdy wielu potrzebnych danych do obliczeń po prostu nie ma. W tych przypadkach w dosyatecznym stopniu wystarczy metoda miesięczna.

Z istniejących opracowań, dotyczących wprowadzenia metody godzinowej do obliczeń charakterystyki energetycznej budynków, na uwagę zasługują opracowania: Firlej i inni – NAPE 2020 [3] oraz Koc, Węglarz i inni – KAPE 2022 [9]. Opracowania te są na tyle zaawansowane, że można je wykorzystywać do stworzenia nowych zapisów metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków. Należy rozważyć jednak sytuację, kiedy będzie stosowana metoda godzinowa, a w jakich przypadkach pozostanie metoda miesięczna.

5. Uwagi końcowe

Stosowana obecnie metodologia obliczania charakterystyki energetycznej budynków jest oparta na normie PN-EN ISO 13790:2007 została wprowadzona w roku 2008 i przetrwała z niewielkimi modyfikacjami do roku 2023, czyli prawie 15 lat. Jej zmiana jest więc potrzebna i powinna być oparta na obowiązującej normie PN-EN ISO 52016-1, jednak trzeba to dokonać z rozważą biorąc pod uwagę realia rynku budowlanego i budynków istniejących.

LITERATURA

- [1] Feist W.: Das Niedrigenergiehaus. F.C. Müller Verlag Heidelberg 1998.
- [2] Feist W. i inni: Pakiet do projektowania budynków pasywnych PHPP. Passiv Haus Institut – Darmstadt 2006.
- [3] Firlej S. i inni: Ekspertyza w zakresie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku. NAPE Warszawa 2020.
- [4] Harvey L.D.D: A Handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems, Earthscan 2006.
- [5] Hasting R., Wall M.: Sustainable Solar Housing. Vol. 1 i 2. Earthscan London 2007.
- [6] Haendel C.: Ventilation with heat recovery is a necessity in “nearly zero” energy buildings. REHVA Journal 2011, 5.
- [7] Hernandez P., Kenny P.: From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). Energy and Buildings 42 (2010): 815-821.
- [8] Jansen R.: Towards Energy Efficient Buildings in Europe. EuroACI London 2004.
- [9] Koc D., Węglarz A. i inni: Zmiany regulacji w zakresie wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. KAPE Warszawa 2022.
- [10] Kurnitzki J.: How to calculate cost optimal nZEB energy performance? REHVA Journal, 2011, 11.
- [11] Narowski P.: Norma PN-EN ISO 52016-1 – zmiany w metodach obliczania zapotrzebowania na energię i obciążenia cieplnego ogrzewania i chłodzenia budynków. Rynek Instalacyjny 12/2020, 19.
- [12] Schnieders J., Feist W.: Passiv-Verwaltungsgebäude Wagner & Co. in Coelbe. Endbericht. Passivhaus Institut Darmstadt 2002.
- [13] Szczechowiak E.: Efektywność energetyczna budynków. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Budownictwo Lądowe Nr LVIII 2006, pp. 25-44.
- [14] Szczechowiak E.: Realizacja polityki energetycznej w budownictwie w świetle nowych rozporządzeń. Materiały Budowlane nr 1/2009, s. 8-12.
- [15] Szczechowiak E.: Zmiany w budownictwie w aspekcie zrównoważonego rozwoju. 54 Konf. Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZiTb, Białystok – Krynica, 21-26 września 2008. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej 2008.
- [16] Szczechowiak E.: Budynki energooszczędne i pasywne. *Czysta Energia*. 2008, 3, s. 22-26.
- [17] Wall M. 2006. „Energy-efficient terrace houses in Sweden. Simulations and measurements”. *Energy and Buildings* (38): 627-634.
- [18] Węglarz A. 2009. „Poprawianie efektywności energetycznej budynków w Polsce”. *Materiały Budowlane* (1): 38-40.
- [19] Ziębik A., Hoinka K.: Energy Systems of Complex Buildings. Springer Verlag London 2013.

Dyrektywy, ustawy, rozporządzenia i normy

- [20] Directive 2002/91/CE of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. [Official Journal EU. L 1 of 4.01.2003 + wersja przekształcona 210/31/EU z dnia 19 maja 2010 r.].
- [21] Directive 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the energy performance of buildings – zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej (Dz.Urz. UE L 156/75).
- [22] Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC [Official Journal EU L 114 of 27.4.2006].
- [23] PN EN 15217: Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings (Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Metody przedstawiania energetycznych właściwości użytkowych i certyfikacji energetycznej budynków). Juni 2007.
- [24] PN EN 15603: Energy performance of buildings – Overall energy use and definition of energy ratings. European Committee for Standardization (CEN) Brussels Jan. 2008.
- [25] PN-EN ISO 52016-1:2017-09 (wersja polska) Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia, wewnętrzne temperatury oraz jawne i utajone obciążenia cieplne. Część 1: Procedury obliczania, 2017.
- [26] Ustawa z dnia 19 września 2007 r. o zmianie ustawy – Prawo budowlane (Dz. U. nr 191, poz. 1373 z późn. zm.)
- [27] Ustawa prawo energetyczne z 10 kwietnia 1997 r. (Dz.U. nr 54/1997 z późn. zm.).
- [28] Ustawa o efektywności energetycznej z 15 kwietnia 2011 r. (Dz.U. nr 94/2011).
- [29] **Rozporządzenie Ministra Infrastruktury** z dnia 21 stycznia 2008 r. w sprawie przeprowadzania szkolenia oraz egzaminu dla osób ubiegających się o uprawnienia do sporządzania świadectwa charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego oraz części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową (Dz.U. Nr 17 poz. 104 z późn. zm.)
- [30] **Rozporządzenie Ministra Infrastruktury** z dnia 6. listopada 2008 zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jaki powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 201 poz. 1238 z późn. zm.)
- [31] **Rozporządzenie Ministra Infrastruktury** z dnia 6. listopada 2008 zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U. Nr 201 poz. 1239 z późn. zm.)
- [32] **Rozporządzenie Ministra Infrastruktury** z dnia 6. listopada 2008 w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz.U. Nr 201 poz. 1240).
- [33] **Rozporządzenie Ministra Infrastruktury** z dnia 27. lutego 2015 w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. poz. 376)
- [34] Dyrektywa 2009/28/WE Parlamentu Europejskiego z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywę 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dz. U. Unii Europejskiej L140 z 5 czerwca 2009 r.).



dr inż. JERZY KWIATKOWSKI

ORCID ID: 0000-0002-2688-1980

Osoba do kontaktu:

jerzy.kwiatkowski@pw.edu.pl

Wydział Instalacji Budowlanych,

Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska

Politechnika Warszawska



dr inż. PIOTR NAROWSKI

ORCID ID: 0000-0003-2484-6863

piotr.narowski@pw.edu.pl

Wydział Instalacji Budowlanych,

Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska

Politechnika Warszawska

Energia dostarczona – czy potrzebny nam jeszcze jeden rodzaj w klasyfikacji energii w charakterystyce energetycznej budynków?

Delivered Energy – do We Need Another Type of Energy Classification in Building Energy Performance?

Słowa kluczowe: energia dostarczona, energia końcowa, charakterystyka energetyczna, definicje rodzajów energii

Streszczenie

System świadectw charakterystyki energetycznej istnieje już od ponad dwudziestu lat, a w Polsce od niemal piętnastu. W ramach obliczania charakterystyki energetycznej wyznacza się wartości różnych rodzajów energii: użytkowej, końcowej, nieodnawialnej pierwotnej. W opublikowanym projekcie nowego rozporządzenia z metodyką obliczeń charakterystyki energetycznej pojawił się nowy rodzaj w klasyfikacji energii – energia dostarczona. W artykule przeprowadzono dyskusję zasadności wprowadzenia nowych rodzajów w klasyfikacji energii. W tym celu zestawiono i porównano ze sobą definicje rodzajów energii zawartych w obecnym rozporządzeniu oraz projekcie nowego rozporządzenia. Odniesiono się także do wymagań jakie zostały nałożone przez kolejne dyrektywy EPBD. Ostatecznie zaprezentowano przykład błędnych obliczeń w związku z niepełnymi formułami w aktualnej metodyce wyznaczania charakterystyki energetycznej. Ostatecznie uznano, że zmiany w projekcie rozporządzenia podążają w dobrym kierunku i pozwolą nie tylko wyeliminować błędy w obowiązującej obecnie metodyce obliczeń, ale umożliwią również na wyznaczanie charakterystyki energetycznej budynków o dodatnim bilansie energetycznym.

Keywords: delivered energy, energy use, energy performance, energy type definition

Abstract

The energy performance certificate system has existed for over twenty years and in Poland for almost fifteen years. As part of calculating the energy performance, the values of various types of energy are determined: usable, final, and non-renewable primary. In the published draft of the new regulation with the methodology of energy performance calculations, new types of energy classification appeared – delivered energy. In the article, it was decided to discuss the legitimacy of introducing a new classification of types of energy. For this purpose, the definitions of the types of energy contained in the current regulation and the draft of the new regulation were compiled and compared. Reference was also made to the requirements imposed by subsequent EPBD directives. Finally, an example of incorrect calculations due to incomplete formulas in the current methodology for determining energy performance was presented. Ultimately, it was decided that the changes in the draft regulation are going in the right direction and will not only eliminate errors in the current calculation methodology but will also allow for the future determination of the energy performance of buildings with a positive energy balance.

© 2006-2023 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
All right reserved

1. Wstęp

System świadectw charakterystyki energetycznej został wprowadzony dyrektywą w sprawie charakterystyki energetycznej budynków z roku 2002 (EPBD) [1]. Dyrektywa ta wraz z wersjami przekształconymi z roku 2010 [2] oraz 2018 [3] nakłada obowiązki na Państwa Członkowskie UE w zakresie sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej, systemu ich weryfikacji, sprawozdawczości, ale także wymagania dotyczące kontroli systemów klimatyzacji i ogrzewania, źródeł ciepła czy wprowadzenia definicji budynku o niemal zerowym zużyciu energii – nZEB.

W Polsce system świadectw charakterystyki energetycznej obowiązywać zaczął od 1 stycznia 2009 roku. Metodyka obliczeń zapotrzebowania na energię [4] oparta została na

metodzie bilansowej miesięcznej zgodnie z obowiązującą wówczas normą PN EN 13790 [5]. Przez ponad 15 lat funkcjonowania systemu świadectw rozporządzenie w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej było nowelizowane oraz zmieniane, jednak obliczenia wciąż oparte są na metodzie bilansów miesięcznych.

W ramach sporządzania świadectwa charakterystyki energetycznej wykonuje się kolejno obliczenia zapotrzebowania na energię użytkową, zapotrzebowania na energię końcową i ostatecznie zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. W projekcie nowego rozporządzenia (z dnia 31.01.2023 r. [6]) opisującego metodykę sporządzania obliczeń charakterystyki energetycznej pojawiła się dodatkowa klasyfikacja energii: energia dostarczona końcowa oraz energia dostarczona netto.

W artykule postanowiono odpowiedzieć na pytanie dlaczego istnieje konieczność wprowadzenia nowych rodzajów w klasyfikacji energii. Dyskusja ta z jednej strony ma na celu rozpowszechnienie i przyzwyczajenie do nowych sformułowań i definicji, a z drugiej aktywację środowiska zainteresowanego systemem świadectw charakterystyki energetycznej w śledzenie prac związanych ze zmianą metodyki sporządzania charakterystyki energetycznej budynków.

2. Definicje rodzajów w klasyfikacji energii

W obecnie obowiązującym rozporządzeniu w sprawie metodologii sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej [4] podano definicje klasyfikujące energię do następujących rodzajów:

- nieodnawialna energia pierwotna,
- odnawialna energia pierwotna,
- energia końcowa,
- energia pomocnicza końcowa,
- energia użytkowa.

W proponowanym nowym projekcie rozporządzenia liczba rodzajów w klasyfikacji energii została zwiększona do następujących:

- nieodnawialna energia pierwotna,
- odnawialna energia pierwotna,
- energia końcowa,
- energia pomocnicza końcowa,
- energia końcowa dostarczona,
- energia końcowa wyeksportowana,
- energia dostarczona netto,
- lokalna energia odnawialna wykorzystywana na miejscu,
- energia użytkowa.

O ile w przypadku energii pierwotnej odnawialnej i nieodnawialnej, energii użytkowej oraz energii pomocniczej końcowej definicje w obu dokumentach się pokrywają, to w przypadku energii końcowej mamy już znaczące zmiany. W zasadzie zmiany te nie dotyczą definicji energii końcowej, ale dodania innych rodzajów w klasyfikacji energii końcowej: energia końcowa dostarczona, energia końcowa wyeksportowana. Określono również definicję energii dostarczonej

TABELA 1. Porównanie definicji rodzajów energii w aktualnym oraz projekcie nowego rozporządzenia w sprawie metodologii sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej

TABLE 1. Comparison of the definitions of energy types in the current and draft of new regulation on the methodology for preparing energy performance certificates

Rodzaj energii	Aktualne rozporządzenie [4]	Projekt nowego rozporządzenia [6]
Nieodnawialna energia pierwotna	energia zawarta w kopalnych surowcach energetycznych, która nie została poddana procesowi konwersji lub transformacji	energia ze źródeł nieodnawialnych, która nie została poddana żadnemu procesowi przemiany lub transformacji
Odnawialna energia pierwotna	energia uzyskana z odnawialnego źródła energii	energia uzyskana z odnawialnego źródła energii
Energia końcowa	energia dostarczona do budynku lub części budynku dla systemów technicznych	energia elektryczna, energia paliw, ciepło lub chłód z lokalnych sieci wewnątrz granicy systemu energii dostarczonej. Energię końcową oblicza się na podstawie energii użytkowej, biorąc pod uwagę straty systemowe i straty konwersji energii oraz lokalnej energii odnawialnej wykorzystanej na miejscu. Źródłem energii końcowej jest energia dostarczana i/lub lokalna energia odnawialna wykorzystana na miejscu
Energia pomocnicza końcowa	część energii końcowej dostarczanej do budynku lub części budynku dla zapewnienia funkcjonowania urządzeń pomocniczych w systemach technicznych	część energii końcowej dostarczanej do budynku lub części budynku do zapewnienia funkcjonowania urządzeń pomocniczych w systemach technicznych
Energia końcowa dostarczona	–	energia elektryczna uzyskana z sieci elektroenergetycznych, ciepło uzyskane z sieci ciepłowniczych, chłód uzyskany z sieci centralnego chłodzenia lub energia paliw, wyrażona w kWh/rok, która jest uzyskiwana od dostawców energii i paliw, i która jest wykorzystywana łącznie z lokalną energią odnawialną wykorzystywaną na miejscu do pokrycia rocznej energii końcowej w budynku lub części budynku, dostarczona do granicy systemu energii dostarczonej
Energia końcowa wyeksportowana	–	energia elektryczna, ciepło lub chłód wytwarzane w budynku, części budynku lub jego bezpośrednim otoczeniu, wyrażone w kWh/rok, które nie są wykorzystane na pokrycie rocznej energii końcowej w budynku lub części budynku, odprowadzane poza granicę systemu energii dostarczonej do odpowiednio sieci elektroenergetycznej, lokalnej sieci ciepłowniczej lub lokalnej sieci centralnego chłodzenia
Energia dostarczona netto	–	różnica między energią końcową dostarczoną i energią wyeksportowaną obliczaną na granicy systemu energii dostarczonej
Lokalna energia odnawialna wykorzystywana na miejscu	–	ciepło, chłód lub energia elektryczna wytwarzana ze źródeł energii słonecznej, wiatrowej, wodnej i geotermalnej w budynku, części budynku lub w jego bezpośrednim otoczeniu, wykorzystywana w budynku, części budynku lub w jego bezpośrednim otoczeniu
Energia użytkowa	a) w przypadku ogrzewania budynku lub części budynku – energia przenoszona z budynku lub części budynku do jego (jej) otoczenia przez przenikanie lub z powietrzem wentylacyjnym, pomniejszona o zyski ciepła, b) w przypadku chłodzenia budynku lub części budynku – zyski ciepła pomniejszone o energię przenoszoną z budynku lub części budynku do jego (jej) otoczenia przez przenikanie lub z powietrzem wentylacyjnym, c) w przypadku przygotowania ciepłej wody użytkowej – energia przenoszona z budynku lub części budynku do jego (jej) otoczenia ze ściekami	ciepło lub chłód (bez uwzględnienia strat systemowych i konwersji z jednego rodzaju energii na inny) wymagane do utrzymania zadanych parametrów cieplnych w pomieszczeniach budynku lub części budynku i przygotowania ciepłej wody użytkowej

netto, która jest różnicą pomiędzy energią końcową dostarczoną a wyeksportowaną. W związku z tym, że w nowej definicji energii końcowej uwzględniono także lokalną energię odnawialną wykorzystaną na miejscu, jej definicja także pojawiła się w projekcie nowego rozporządzenia. W tabeli 1 podano porównanie definicji rodzajów energii w aktualnym oraz projekcie nowego rozporządzenia w sprawie metodologii sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej

3. Definicje a wymagania normowe

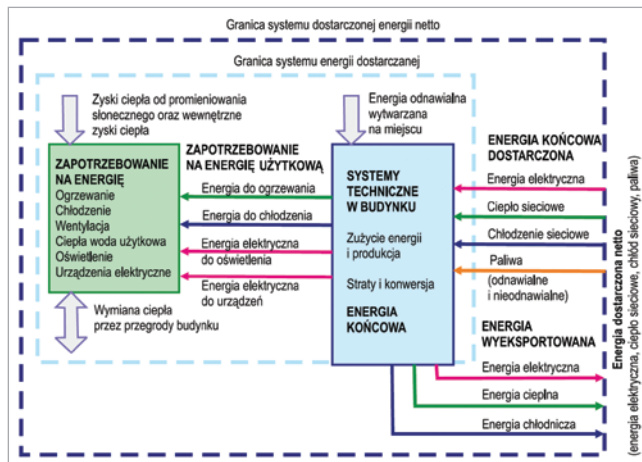
Opublikowana w 2018 roku przekształcona wersja dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej zobowiązuje państwa członkowskie do przygotowania metodyki sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej „zgodnie z załącznikami krajowymi powiązanych norm europejskich, mianowicie ISO 52000-1, 52003-1, 52010-1, 52016-1 oraz 52018-1 opracowanych na podstawie mandatu M/480 udzielonego Europejskiemu Komitetowi Normalizacyjnemu” [3]. Wymagania te wymuszają wprowadzenie nowych pojęć (np. energia końcowa wyeksportowana, energia końcowa dostarczona czy energia dostarczona netto) oraz uaktualnienie definicji już istniejących (np. energia końcowa) stosowanych w metodyce obliczania charakterystyki energetycznej budynku. Można zatem stwierdzić, że umieszczenie w projekcie rozporządzenia nowych rodzajów klasyfikacji energii wynika tylko i wyłącznie z uwzględnienia pojęć zawartych w rodzinie norm serii ISO 52000. Należy zatem rozważyć czy podejście takie jest uzasadnione i czy nie powoduje znacznego skomplikowania obliczeń charakterystyki energetycznej budynków? Żeby odpowiedzieć na to pytanie trzeba głębiej zastanowić się o czym informują poszczególne rodzaje klasyfikacji energii. Na rysunku 1 przedstawiono granice bilansowe obliczeń charakterystyki energetycznej budynku i jego bezpośredniego otoczenia.

Zapotrzebowanie na energię użytkową wynika z konieczności utrzymania zadanych parametrów powietrza wewnętrznego. Do wytworzenia/konwersji i dostarczenia tej ilości energii wykorzystywane są systemy techniczne w budynku np. system ogrzewania ze źródłem ciepła czy system chłodzenia ze źródłem chłodu. Do systemów tych, znajdujących się wewnątrz granicy systemu energii dostarczonej, należy dostarczyć energię elektryczną, energię paliw, ciepło lub chłód. Jest to energia końcowa. Jej źródłem może być energia końcowa dostarczana z poza granicy systemu i/lub lokalna energia odnawialna wykorzystana na miejscu. Jednocześnie systemy techniczne budynku mogą wytwarzać energię elektryczną, ciepło lub chłód, które będą eksportowane poza granice systemu. Jest to energia wyeksportowana. Różnica pomiędzy energią końcową dostarczoną a energią wyeksportowaną jest energią dostarczoną netto.

Takie przedstawienie przepływów energii w ramach granicy bilansowej obliczeń charakterystyki energetycznej umożliwia:

- ujęcie lokalnej energii odnawialnej wykorzystanej na miejscu w sumie energii końcowej,
- uwzględnienie w systemie charakterystyki energetycznej energii wyeksportowanej,
- określenie wskaźników dla budynków o dodatnim bilansie energetycznym netto.

Wszystkie te trzy powyżej wymienione aspekty nie są obecnie ujęte w metodyce wykonywania charakterystyki energetycznej, co w niektórych sytuacjach powoduje błędne wyniki obliczeń.



Rys. 1. Granice bilansowe obliczeń charakterystyki energetycznej opracowane na podstawie PN-EN ISO 52000-1 [7]

Fig. 1. Balance boundaries of energy performance calculations based on PN-EN ISO 52000-1 [7]

4. Poprawna definicja, a niepełne formuły

Obecnie w rozporządzeniu w sprawie metodologii sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej [4] podano definicję energii końcowej, która jest zgodna z definicją podaną w rodzinie norm z serii ISO 52000. Jest ona zdefiniowana jako „energia dostarczona do budynku lub części budynku dla systemów technicznych”. Można zatem spodziewać się, że definicja ta będzie miała odzwierciedlenie w formułach opisanych w samym rozporządzeniu. Niestety w przypadku zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej czy chłodzenia i źródła energii jakim jest pompa ciepła formuły nie uwzględniają energii odnawialnej wychwyconej przez te urządzenia. Inaczej mówiąc pomimo poprawnej definicji energia odnawialna dostarczona przez pompy ciepła znika w obliczeniach charakterystyki energetycznej. Prowadzi to do błędów w wyznaczeniu wskaźnika udziału odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową U_{oze} .

Obecnie udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową wyraża się jako procentową wartość stosunku sumy rocznego zapotrzebowania na energię końcową dostarczoną do budynku lub części budynku przez odnawialne źródła energii odpowiednio dla systemów ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, chłodzenia, wbudowanej instalacji oświetlenia oraz technicznych, do rocznego zapotrzebowania na energię końcową dostarczoną do budynku lub części budynku dla systemów technicznych. W przypadku pomp ciepła o efektywności wytwarzania większej niż 1 wartość zapotrzebowania na energię końcową dostarczoną przez odnawialne źródło energii dla danego systemu wyznacza się jako różnicę pomiędzy rocznym zapotrzebowaniem na energię końcową dla danego systemu a rocznym zapotrzebowaniem na energię końcową podzieloną przez sprawność wytwarzania dla danego systemu.

Prześledźmy zatem przykłady wyznaczenia udziału odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową dla przykładowych danych z pompą ciepła jako źródłem ciepła w budynku. Założenia do obliczeń są następujące:

- roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania $Q_{H,nd}$ wynosi 10 kWh/rok;

- źródłem ciepła jest pompa ciepła o średniej, rocznej efektywności wytwarzania $\eta_{H,g}$ równej 5,0;
- iloczyn sprawności cząstkowych $\eta_{H,e}$, $\eta_{H,d}$, $\eta_{H,s}$ pozostałych składników instalacji ogrzewczej (sprawności regulacji i wykorzystania, sprawności przesyłu, sprawności akumulacji) wynosi 1,0;
- w budynku występuje zapotrzebowanie na energię elektryczną pomocniczą $E_{el,pom}$ równe 10 kWh/rok.

W tabeli 2 zaprezentowano wyniki obliczeń udziału odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową oparte na obecnie stosowanej metodzie.

Natomiast w tabeli 3 przedstawiono obliczenia dla tych samych założeń obliczając rzeczywistą ilość energii aerotermalnej, geotermalnej i hydrotermalnej wychwyconej przez pompy ciepła uznawanej za energię ze źródeł odnawialnych. W tym przypadku należy wyznaczyć całkowite użyteczne ciepło pochodzące z pompy ciepła.

Wyniki obliczeń w przypadku zastosowania metody wprost z obecnego rozporządzenia w sprawie metodologii sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej oraz na podstawie rzeczywistej ilości energii aerotermalnej, geotermalnej i hydrotermalnej wychwyconej przez pompę ciepła różnią się znacznie między sobą. W pierwszym wypadku wskaźnik U_{oze} wynosi 13,3% a w drugim jest trzykrotnie większy i wynosi 40%. Różnica ta wynika z niepełnych formuł, które nie uwzględniają w energii końcowej energii odnawialnej wykorzystywanej przez pompy ciepła. Propozycja wprowadzenia nowej formy energii w postaci energii końcowej dostarczonej pozwoli na poprawne wyliczenia udziału odnawialnych źródeł energii w zapotrzebowaniu na energię końcową.

5. Podsumowanie

W artykule porównano ze sobą definicje rodzajów w klasyfikacji energii w obecnie obowiązującej metodyce wykonywania obliczeń charakterystyki energetycznej oraz w proponowanych zmianach zawartych w projekcie rozporządzenia. Pokazano, że wprowadzenie nowego rodzaju w klasyfikacji energii w postaci energii końcowej dostarczonej wraz z dodatkowymi pojęciami: energii końcowej wyeksportowanej, energii dostarczonej netto, lokalnej energii odnawialnej wykorzystywanej na miejscu, pozwoli na bardziej precyzyjne uwzględnienie przepływów energii w ramach obliczeń charakterystyki energetycznej budynku. Pomimo zwiększenia zakresu obliczeń zmiany te pozwolą na poprawne obliczanie wskaźnika udziału odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową, uwzględnienie w systemie charakterystyki energetycznej budynku energii wyeksportowanej oraz określenie wskaźników dla budynków o dodatnim bilansie energetycznym netto. Zaproponowane zmiany w metodzie obliczeń wynikają z dwóch przesłanek:

TABELA 2. Wyniki obliczeń udziału odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową – przykład – metoda z obecnego rozporządzenia

TABLE 2. Results of calculations of the share of renewable energy sources in the annual energy use – example – method from the current regulation

Wielkość	Wzór/oznaczenie	Wartość	Jednostka
Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania	$Q_{H,nd}$	10	kWh/rok
Roczne zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania	$Q_{K,H} = Q_{H,nd} / (\eta_{H,g} \cdot \eta_{H,e} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,s})$	2	kWh/rok
Roczne zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania zapewnione przez odnawialne źródło energii	$Q_{K,H,oze} = Q_{K,H} \cdot (1 - 1/\eta_{H,g})$	1,6	kWh/rok
Udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową	$U_{oze} = Q_{K,H,oze} / (Q_{K,H} + E_{el,pom})$	13,3	%

TABELA 3. Wyniki obliczeń udziału odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową – przykład – metoda oparta na ilości energii aerotermalnej, geotermalnej i hydrotermalnej wychwyconej przez pompę ciepła

TABLE 3. Results of calculations of the share of renewable energy sources in the annual energy use – example – method based on the amount of aerothermal, geothermal and hydrothermal energy captured by the heat pump

Wielkość	Wzór/oznaczenie	Wartość	Jednostka
Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania	$Q_{H,nd}$	10	kWh/rok
Roczne zapotrzebowanie na energię końcową do ogrzewania	$Q_{K,H} = Q_{H,nd} / (\eta_{H,g} \cdot \eta_{H,e} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,s})$	2	kWh/rok
Całkowite roczne użyteczne ciepło pochodzące z pompy ciepła	$Q_{H,usable} = Q_{H,nd} / (\eta_{H,e} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,s})$	10	kWh/rok
Ilość energii aerotermalnej, geotermalnej i hydrotermalnej wychwyconej przez pompę ciepła	$E_{H,oze} = Q_{H,usable} \cdot (1 - 1/\eta_{H,g})$	8	kWh/rok
Udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową	$U_{oze} = E_{H,oze} / (E_{H,oze} + Q_{K,H} + E_{el,pom})$	40	%

pierwszą jest obowiązek wdrożenia rodziny norm serii ISO 52000, drugim jest opisana powyżej funkcjonalność tej metody w odniesieniu do coraz bardziej złożonych systemów dostawy energii do budynków.

Wydaje się, że proponowane zmiany zmierzają w dobrym kierunku i ważne jest, aby środowisko ekspertów zajmujących się problematyką wyznaczania charakterystyki energetycznej budynków prowadziło merytoryczną dyskusję, wnioski z której pozwolą na opracowanie dobrych przepisów w zakresie sporządzania charakterystyki energetycznej budynków.

LITERATURA

- [1] Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Dz. Urz. UE L 001 z 4 stycznia 2003 r., s. 65.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Dz. Urz. UE L 153 z 10 czerwca 2010 r., s. 13.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej. Dz. Urz. UE L 156 z 19 czerwca 2018 r., s. 75.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. (Dz.U. 2015 poz. 376).
- [5] PN-EN ISO 13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków -- Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- [6] <https://www.gov.pl/attachment/202ea1c-2c3f-4256-ae3-45ea46e7d8b8> [dostęp dnia 30.08.2023 r.]
- [7] PN-EN ISO 52000-1:2017-10 – wersja polska – Energetyczne właściwości użytkowe budynków -- Nadrzędna ocena EPB -- Część 1: Ogólne ramy i procedury.

**dr inż. PIOTR KOWALSKI**

piotr.kowalski@pwr.edu.pl
 ORCID ID: 0000-0003-4423-9884,
 Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wrocławska

**dr inż. PAWEŁ SZALAŃSKI**

pawel.szalanski@pwr.edu.pl
 ORCID ID: 0000-0001-9263-3486
 Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wrocławska
 Osoba do kontaktu

**dr hab. inż. EDYTA DUDKIEWICZ**

edyta.dudkiewicz@pwr.edu.pl
 ORCID ID: 0000-0002-6276-5290
 Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wrocławska

Wyzwania świadomego wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku

Challenges of Informed Determination of Building Energy Performance

Słowa kluczowe: ocena energetyczna budynków, charakterystyka energetyczna, świadectwa charakterystyki energetycznej

Streszczenie

Przedstawiono wybrane problemy wynikające z analizy obowiązujących, uchylonych oraz zmienionych przepisów dotyczących charakterystyki energetycznej budynków w Polsce. Poruszono te, wynikające z niejasności i braków w obowiązującej metodzie, ze wskazaniem wpływu części z nich na wynik obliczeń charakterystyki energetycznej budynku oraz przedstawiono wybrane sugestie dotyczących zmian zasad wyznaczania charakterystyki energetycznej. Zaprezentowano spojrzenie z perspektywy osoby sporządzającej charakterystykę energetyczną.

Keywords: energy assessment of buildings, energy performance, energy performance certificates

Abstract

Selected problems resulting from the analysis of the current, repealed and amended regulations on the energy performance of buildings in Poland are presented. Those resulting from ambiguities and deficiencies in the current methodology were addressed, with an indication of the impact of some of them on the outcome of the calculation of the energy performance of the building, as well as selected suggestions for changes in the rules for determining energy performance were presented. A view from the perspective of the person drawing up the energy performance was presented.

© 2006-2023 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
 All right reserved

1. Problematyczność wybranych zasad sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej

Obowiązek sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynków oraz projektowanej charakterystyki energetycznej budynku wprowadzono w Polsce w roku 2009 [8]. W 2015 r. nastąpiły istotne zmiany w sposobie prowadzenia obliczeń charakterystyki energetycznej [7], [10]. Bieżący rok 2023 przyniósł kolejne ważne zmiany, które zmusiły społeczeństwo do stosowania obecnych przepisów ustawy [9]. Zarówno w pierwszym okresie tj. pomiędzy rokiem 2009 a 2015, jak i po 2015 roku, w odczuciu autorów, proces związany z wyznaczeniem charakterystyki energetycznej był i nadal pozostał pełen luk, niejasności i niespójności. Taki stan rzeczy nie tylko nie sprzyja podnoszeniu znaczenia

oceny energetycznej budynków, ale wręcz i w konsekwencji może doprowadzić do degradacji tej branży.

W praktyce już od początku nie dopełniano obowiązku sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej. Nie można było się zrzec prawa do wezwania do dostarczenia świadectwa. Dopiero nowelizacja Ustawy o charakterystyce energetycznej w 2022 r. [9] jasno określiła zasadę braku możliwości zrzeczenia się prawa do otrzymania świadectwa. I chociaż istniał wcześniej proces egzekwowania obowiązku przekazania świadectwa przy jego nieprzekazaniu nabywcy lub najemcy łącznie z możliwością sporządzenia go na koszt zbywcy lub wynajmującego [10], to było to dość skomplikowane i ostatecznie wymagało ścieżki sądowej. Bywały również sytuacje, w których nabywca lokalu w budynku otrzymywał niewłaściwe świadectwo, tzn. świadectwo dla budynku, a nie nabywanej części budynku. Wspomniana

nowelizacja [9] doprecyzowała przepisy, zabraniając takiej możliwości.

Aktualne przepisy również nie są pozbawione niejasności w kwestii wymagalności sporządzenia świadectwa charakterystyki energetycznej dla części budynku. Dotyczą one samej definicji „części budynku” [10], która brzmi: „zespół pomieszczeń w budynku o jednakowym przeznaczeniu, przewidzianych do odrębnego użytkowania, w szczególności lokal mieszkalny lub lokal użytkowy w budynku”. Jest ona czytelna i zrozumiała właściwie tylko dla lokalu mieszkalnego. Zaś w przypadku lokalu użytkowego w przywołanej definicji widoczna jest sprzeczność z definicją zawartą w Warunkach technicznych [4], w których jako lokal użytkowy należy rozumieć jedno pomieszczenie lub zespół pomieszczeń. Zatem, jak widać lokal użytkowy może być jednym pomieszczeniem, lub zespołem pomieszczeń. Być może z tego powodu i braku definicji „odrębnego użytkowania” nie wiadomo, jak postąpić w sytuacji wynajmu jednej sali lekcyjnej czy pomieszczenia biurowego. Jak wiadomo, wynajmując część budynku, zgodnie z przepisami [9] „w przypadku zawarcia (...) umowy najmu części budynku przekazywane świadectwo charakterystyki energetycznej dotyczy części budynku albo lokalu będących przedmiotem umowy”. Trudno więc odpowiedzieć na pojawiające się pytania: Czy zespołem pomieszczeń mogą być dwie podobne sale lekcyjne w różnych częściach budynku i jaka jest energetycznie różnica między dwoma małymi pomieszczeniami biurowymi a jednym zdecydowanie większym? Czy w zespole pomieszczeń części budynku mają być również ujmowane pomieszczenia sanitarne? Czy należy przekazać świadectwo wynajmując dwie sale lekcyjne na 2 godziny? Ile konfiguracji świadectw dla części budynków zrobić w szkole, gdy inne podmioty wynajmują często różne sale lekcyjne? Trudno również zrozumieć sens przepisów będących podstawą odpowiedzi na część tych pytań.

Oddzielną grupę problemów stanowią kwestie dotyczące jakości sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej, a więc związane z przygotowaniem merytorycznym i rzetelnością pracy osób sporządzających oraz weryfikacją powstałych dokumentów. Świadectwa może sporządzać osoba (każdy inżynier) bez właściwego przygotowania merytorycznego i wykształcenia kierunkowego. Dlaczego projektant musi mieć odpowiednie wykształcenie kierunkowe, praktykę zawodową i zdać egzamin, żeby sporządzać projektową charakterystykę energetyczną budynku, a osoba, która sporządza świadectwo charakterystyki energetycznej na podstawie dokładnie tej samej metody, wystarczy, że spełnia formalne wymogi ustawy i ma tytuł zawodowy inżyniera? Ocena wyników świadectwa przez osoby je otrzymujące jest praktycznie niemożliwa, ponieważ wyniki w nich zawarte nie są tożsame z rzeczywistym zużyciem energii przez budynek, a ponadto obliczenia energetyczne są trudne do weryfikacji, ponieważ nie następuje ona samoistnie, jak na przykład projektu budowlanego w momencie powstawania budynku.

System kontroli wyników świadectw z urzędu dotyczy tylko bardzo małego odsetka wszystkich wykonanych świadectw w roku. I chociaż wydawać by się mogło, że losowe kontrole świadectw charakterystyki energetycznej dokonywane z urzędu zapewniały jakość ich sporządzania, to należy mieć świadomość, że część z nich była wykonywana poza Centralnym Rejestrem Charakterystyki Energetycznej Budynków [1], tym samym takie świadectwa nie mogły być

wylosowane do kontroli. Nowelizacja ustawy [9] wprowadziła dodatkowe oświadczenie oraz kary za taki proceder. Powyższe rozważanie nie ma na celu wskazać konieczność zwiększania wymagań do uzyskaniu uprawnień, ale przede wszystkim uświadomić o potrzebie zapewnienia merytorycznej jakości świadectw.

Pewne problemy przy sporządzaniu świadectwa mogą wynikać z braku możliwości uzyskania rzetelnej informacji w sytuacji, gdy zgodnie z zapisem [10] „świadectwo charakterystyki energetycznej części budynku może być opracowane na podstawie świadectwa charakterystyki energetycznej budynku, a w przypadku braku tego świadectwa, na podstawie dokumentacji technicznej budynku”. W tym przypadku przejrzystość informacji przedstawianych w świadectwach budynku i czytelność ich opisu jest szczególnie istotna, jak np.: dla których przegród budowlanych podawane są współczynniki przenikania ciepła, jednoznaczne przyporządkowanie sprawności do poszczególnych systemów technicznych. Bowiem nie zawsze wiadomo, w jaki sposób zostały przyjęte wartości sprawności systemów technicznych, które z założenia powinny być wyznaczone w oparciu o możliwie rzetelne dane odzwierciedlające rzeczywistość charakterystykę danego systemu, a nie przyjmowanie jako wartości standardowe z tabel zawartych w rozporządzeniu [7]. Dodatkowym zagrożeniem jest powielanie błędów z dokumentacji projektowej czy dokumentacji technicznej budynku, których osoba bez odpowiedniego przygotowania zawodowego może nie być w stanie rozpoznać.

W konsekwencji niejednoznacznych przepisów spotykamy na rynku firmy oferujące strony internetowe, na których zlecający wykonanie świadectwa, sam podaje kluczowe dane na temat budynku lub części budynku, łącznie z grubością i rodzajem izolacji cieplnej ścian, a wizja lokalna umożliwiająca weryfikację tych danych nie jest standardem, ale dodatkową płatną opcją do wykupienia przez zlecającego. Czy w takiej sytuacji właściciel budynku czy lokalu nie modeluje sobie wyników zawartych w świadectwie? Należy zaznaczyć, że zgodnie z [10] sporządzania świadectwa przez właściciela nieruchomości jest zakazane.

Nie tylko te wybrane, przedstawione kwestie powodują, że osoba zaangażowana we własny rozwój w tym zawodzie, funkcjonuje w warunkach często trudnej konkurencji i w niejasnym otoczeniu prawnym.

2. Wybrane problemy metodyki wyznaczania charakterystyki energetycznej

Własne doświadczenia wyznaczania charakterystyki energetycznej dla różnych rodzajów budynków nasuwają spostrzeżenie, że metodologia wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku i sporządzania ich świadectw charakterystyki energetycznej [7] nie jest pozbawiona niespójności i niejasności, a wiele kwestii może być problematycznych i traktowanych zbyt pobieżnie. Mianowicie:

- W przypadku braku wyniku badania szczelności istnieje konieczność przyjmowania wyniku próby szczelności $n_{50} = 4,0 \text{ h}^{-1}$ niezależnie od rodzaju budynku. Niestety taka wartość nie jest charakterystyczna dla wszystkich typów budynków i może być przykładowo akceptowalna dla budynków mieszkalnych. Jednak jest zupełnie niewłaściwa dla budynków wielkokubaturowych o dobrym stopniu szczelności, takich jak nowoczesne hale magazynowe. Wówczas charakterystyczne są wartości z zakresu $n_{50} = 0,2 \div 1,0 \text{ h}^{-1}$.

Przyjęcie, dla przykładowej hali o powierzchni blisko 85 000 m² i wysokości około 14 m, wyniku próby szczelności 4,0 h⁻¹, a nie na przykład 1,0 h⁻¹, tylko dlatego, że w danej hali nie przeprowadzono badania szczelności (nie ma obecnie w Polsce obowiązku wykonywania testów szczelności powietrznej budynków), podnosi wynik energii użytkowej EU_H na cele ogrzewania z 38,2 kWh/(m²·rok) na 99,0 kWh/(m²·rok). Całkowita likwidacja strat przez przenikanie w budynku przy wyniku próby szczelności $n_{50} = 4,0 \text{ h}^{-1}$ daje wynik EU_H = 66,9 kWh/(m²·rok), a więc nawet nie zbliżony do wyniku przy $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$.

- Rozporządzenie [7] nie wyjaśnia ani nie podaje typowego czasu czy profilu użytkowania różnych rodzajów budynków. Nie jest zatem jasne na jakiej podstawie należy określić sposób użytkowania budynku lub jego części, który jest podstawą do wyznaczenia na przykład czasu pracy wentylatorów, czy wartości zysków ciepła. W związku z tym, sposób użytkowania może mieć istotny wpływ na wartość wskaźnika energii pierwotnej EP. Opieranie się na przykład na rzeczywistym czasie pracy lokalu gastronomicznego, może prowadzić do sytuacji, gdzie zmiana czasu otwarcia lokalu powoduje zmianę charakterystyki energetycznej. Dla przykładowego lokalu gastronomicznego o powierzchni blisko 350 m², zmiana czasu użytkowania z 10 h/d na 12 h/d (wzrost o 20%) przez 7 dni w tygodniu, powoduje zmianę EP z 353,4 kWh/(m²·rok) na 381,4 kWh/(m²·rok) dając wzrost o około 8%. Podobny wzrost EP w omawianym lokalu może spowodować przez:

- zwiększenie wartości energii użytkowej na ogrzewanie i chłodzenie o około 20%,
- zwiększenie wartości energii końcowej (lub sprawności systemu) na ogrzewanie i chłodzenie (41% powierzchni lokalu chłodzone) o około 20%,
- zwiększenie mocy opraw oświetleniowych o około 55%,
- zwiększenie wartości współczynników przenikania ciepła wszystkich przegród budowlanych o około 160%.

Ta sytuacja ma jeszcze inny aspekt w przypadku budynków nowych. Ponieważ tę samą metodykę wykorzystuje się do opracowania projektowej charakterystyki energetycznej oraz świadectwa charakterystyki energetycznej budynku, to zmiana czasu użytkowania budynku (jeżeli w ogóle był określony) na etapie projektu na moment oddania budynku do użytkowania może istotnie zmienić EP, a nawet sprawić, że budynek przestanie spełniać przepisy dotyczące oszczędności energii.

- W zakresie ustalenia temperatury wewnętrznej na cele chłodzenia rozporządzenie [7] odsyła do dokumentacji technicznej. Problem w tym, że często takiej wartości w dokumentacji nie ma, a równie często nie ma w ogóle dokumentacji technicznej. Pada więc pytanie: Przy braku sposobu postępowania i przy braku tej wartości, jak ją określić? Przyjąć dowolnie? Pewną wskazówką może być odniesienie się do normy PN-EN ISO 13790 [6], która jako wartość typową dla wielu rodzajów budynków podaje 26°C.

We wspomnianym powyżej lokalu gastronomicznym, zmiana temperatury wewnętrznej na cele chłodzenia z 26°C na 23°C powoduje zwiększenie EP o 2,2%, przy 41% udziale powierzchni chłodzonej lokalu. Jednocześnie zmienia się wartość energii użytkowej na chłodzenie o 13,4%. Stosując do obliczeń energii użytkowej na chłodzenie miesięczny krok obliczeniowy w połączeniu ze standardowymi danymi klimatycznymi, w których brak wartości ekstremalnych, uzyskuje się efekt wprowadzenia do bilansu chłodniczego

strat ciepła wentylacyjnych i związanych z przenikaniem. Rozpatrując to zagadnienie w godzinowym kroku czasowym, często temperatury powietrza zewnętrznego są wyższe od temperatury w pomieszczeniu w okresie użytkowania chłodzenia.

- W dokumencie [7] w odniesieniu do instalacji chłodzenia nie podano strat jednostkowych przesyłu i akumulacji chłodu, choć zawarte są dane dla instalacji ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej.

- Określając zapotrzebowanie na energię użytkową na chłodzenie, według [7] dopuszcza się uwzględnianie przerwy i osłabienia chłodzenia, a w przypadku zapotrzebowania na energię na ogrzewanie uwzględnia się tylko pracę w trybie ciągłym.

- Może się zdarzyć sytuacja, że w pewnym okresie roku strefa budynku będzie strefą obliczeniowo ogrzewaną, a w pozostałym okresie strefą obliczeniowo nieogrzewaną. Autorzy zalecają zatem sprawdzenie czy programy do wspomaganie obliczeń charakterystyki energetycznej wyznaczają temperaturę strefy nieogrzewanej lub okresowo ogrzewanej w kroku miesięcznym. Tu, kontynuując rodzi się pytanie: Czy, jak wynika to z zapisów rozporządzenia [7], dla piwnicy z oknami w budynku mieszkalnym (pomieszczenie nieogrzewane) wyznacza się w praktyce bilans ciepła w kroku miesięcznym, żeby określić temperaturę w piwnicy?

- W przypadku zacielenia okien pojawia się problem w sezonie chłodniczym, bowiem polska norma PN-EN ISO 13790 [6], dla metody miesięcznej, podaje wartości współczynników korekty właściwe tylko w sezonie ogrzewczym.

- Chociaż jasne jest, że sprawność przesyłu ciepła można wyznaczyć obliczeniowo na podstawie strat ciepła z instalacji, to jednak nie jest jasne, które odcinki instalacji należy uwzględniać. Przykładowo, czy w przypadku ogrzewania uwzględnić straty ciepła z rur w mieszkaniach, ogrzewanej części budynku, a może tylko z przestrzeni nieogrzewanych? Czy w przypadku instalacji ciepłej wody straty ciepła uwzględniać tylko w sezonie ogrzewczym i w strefach ogrzewanych z uwzględnieniem przerw w pracy cyrkulacji i wynikające z czynnika korekty k_R ? Jest to na tyle istotne, że straty ciepła są znaczeniowo powiązane z zyskami ciepła, a w tym przypadku nie wiadomo, jak zostały wyznaczone jednostkowe zyski ciepła podane w rozporządzeniu [7], tj. czy uwzględniały zyski ciepła z instalacji grzewczych i ciepłej wody. Aktualnie proces obliczeń energii użytkowej nie pozwala na włączenie zysków z instalacji transportu ciepła do bilansu grzewczego budynku.

- Straty ciepła z przesyłu ciepła stanowią również zagadkę w przypadku decentralnych układów z mieszkaniowymi węzłami cieplnymi, tj. gdy ze źródła ciepła w budynku czynnik grzewczy transportowany jest do węzłów mieszkaniowych i tu przygotowywana jest ciepła woda, a czynnik grzewczy rozprowadzany jest do grzejników w mieszkaniach. Czy wówczas można uznać, że wartość w tabeli dla c.w.u. równa 0,85 dla przesyłu ciepła ujmuje wszystkie straty ciepła? Wydaje się, że bezkrytyczne jej stosowanie szkodzi innym rozwiązaniom technicznym.

- Problematiczną kwestią bywa również sprawność źródeł ciepła, a w szczególności pomp ciepła, gdyż nie zawsze w dokumentacji budynku zawarte są informacje o sezonowym współczynniku efektywności wytworzenia ciepła, bądź dostępne dane nie są właściwe do bezpośredniego zastosowania w obliczeniach. Wynika to z istotnej zależności efektywności pomp ciepła od warunków w jakich te urządzenia

pracują, m.in. parametrów instalacji ogrzewczej, obciążenia cieplnego, warunków klimatycznych (w szczególności w przypadku powietrznych pomp ciepła). Producenci często podają wartość SCOP powietrznych pomp ciepła, zakładając klimat średni (EN 14825) i współpracę z instalacją ogrzewczą o określonych parametrach temperaturowych. Metodologia [7] nie określa konieczności i metod przeliczenia efektywności ze względu na warunki charakterystyczne dla analizowanego budynku, natomiast podaje stosunkowo niskie wartości do przyjęcia w przypadku braku danych (na przykład dla pompy ciepła pracującej na cele ogrzewania podłogowego $SCOP = 3,0$). W [3] wykazano, że ta sama powietrzna pompa ciepła, w zależności od przyjętej metody obliczeń może mieć $SCOP\ 3,27 \div 3,38$ w Suwałkach i $4,51 \div 4,64$ we Wrocławiu. Przyjęcie w tym przypadku dla Wrocławia wartości tabelarycznej z rozporządzenia [7] spowodowałoby wzrost energii końcowej na cele ogrzewania o ponad 50%. Zagadnienie staje się jeszcze bardziej złożone w przypadku źródeł hybrydowych, zwłaszcza współpracujących z pompami ciepła.

- W przypadku wentylacji mechanicznej nawiewo-wywiewnej rozporządzenie [7] nakazuje przyjmować strumień na podstawie dokumentacji technicznej budynku. Niezrozumiałe jest więc dlaczego w przypadku wyboru ścieżki obliczeniowej według punktu 5.5.1 rozporządzenia [7], dla systemów wentylacji mechanicznej wywiewnej należy korzystać z jednostkowych wskaźników strumienia powietrza wentylującego podanych w [7]? Pomijamy fakt możliwości w obu przypadkach skorzystania ze ścieżki odwołania się do PN-EN ISO 13790 [6]. W obu rodzajach instalacji pracują wentylatory zapewniające kontrolowane strumienie powietrza, które powinny być określone w dokumentacji budynku. O ile można zrozumieć przyjmowanie wskaźników strumieni jednostkowych w przypadku wentylacji grawitacyjnej, argumentując ten fakt tym, iż nie działa ona w sposób kontrolowany, to nadal takie podejście dla wentylacji grawitacyjnej również wydaje się nieprawidłowe. Przykładem mogą być tu budynki mieszkalne. Niezależnie czy jest to budynek jednorodzinny czy wielorodzinny według polskich przepisów [4, 5] strumień powietrza wentylującego określa się na podstawie wymaganego strumienia powietrza wywiewanego z pomieszczeń kuchennych i sanitarno-higienicznych. W konsekwencji strumień wymagany dla 50 m² mieszkania i 100 m² domu z 1 łazienką i 1 kuchnią będzie taki sam. Dlaczego w takim razie podstawowy strumień powietrza, wynikający z rozporządzenia [7], zależny w tym przypadku od powierzchni użytkowej, różni się dwukrotnie?

- Wyznaczenie wentylacyjnych strat ciepła w przypadku wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej zależy również od konfiguracji centrali i sposobu regulacji temperatury powietrza. Można stosować na przykład regulację temperatury powietrza w pomieszczeniu (wywiewanego) lub utrzymywać stałą temperaturę nawiewu. Dodatkowo przy stosowaniu odzysku ciepła istotny jest sposób jego zabezpieczenia przed zamarzaniem i związana z tym energia na odszranianie. Wszystko to wymaga dokładnego opisu układu automatycznej regulacji jak i konfiguracji centrali. Informacje te wpływają bowiem istotnie na bilans energii użytkowej, a nawet na sposób uwzględnienia w nim wentylacyjnych strat ciepła. Uwagę zwraca się na to zagadnienie w PN-EN ISO 13790 [6], a nie w rozporządzeniu [7], w którym nie ma wskazania kiedy stosować normę.

- Istotnym zagadnieniem jest sposób określenia energii na potrzeby technologiczne i potrzeby budynku. Z metodologii [7] wynika, że nie należy uwzględniać zapotrzebowania na energię do technologii, jednak zyski ciepła od niej należy dodawać do bilansu ciepła. Pomijając pewną trudność w zdefiniowaniu co jest technologią, jej rozdzielenie od potrzeb podstawowych budynku jest równie trudne. Przykładowo technologią dla kuchni w lokalu gastronomicznym jest proces przygotowania posiłków, ale wówczas wydaje się zasadne również zaliczyć do niej instalację wentylacji okapów kuchennych. Jeżeli wentylacja ogólna i technologiczna jest realizowana przy pomocy tej samej centrali, to nie tylko potrzebne są szczegółowe dane rozdzielające strumienie powietrza na poszczególne potrzeby, ale również należy podzielić energię elektryczną zużywaną przez wentylatory. Podobnych trudności jest szczególnie dużo w obiektach magazynowych i przemysłowych, a jak się okazuje energia elektryczna na pracę wentylatorów stanowi bardzo istotny składnik bilansu energii pierwotnej.

- Należy podkreślić coraz większe znaczenie doświadczeń inżynierskich związanych z tzw. „wiedzą techniczną” w kontekście budynków modernizowanych i nowych, w których stosuje się coraz częściej zaawansowane i złożone systemy techniczne. W tych przypadkach w procesie obliczeniowym nie jest możliwe bezpośrednie wykorzystanie wartości z tabel zawartych w rozporządzeniu [7]. Mowa tu o układach, gdzie na jeden lub kilka celów użytkowych budynku pracuje jednocześnie wiele źródeł ciepła, przykładowo pompy ciepła połączone ze szczytowymi kotłami gazowymi wraz z instalacjami kolektorów słonecznych i fotowoltaiczną, czy węzły ciepła z pompami ciepła lub kolektorami słonecznymi. Są to również układy z akumulacją krótko-, jak i długookresową; to pompy ciepła, gdy dolnym źródłem dla jednej jest druga; to również „zwykła” kotłownia gazowa z kolektorami słonecznymi. Wykonanie obliczeń wymaga bardzo dobrej znajomości pracy takich układów, ale również często stosowania zaawansowanego oprogramowania. Pomocą w rozwiązywaniu takich zagadnień powinno być ciągłe doszkalanie się na kursach organizowanych przez odpowiednie instytucje [11, 12].

- Korzystanie z metodologii [7] jest utrudnione, gdyż wymaga korzystania z wielu źródeł, w których podane są metody obliczeniowe oraz wartości liczbowe. Przykładowo zapotrzebowanie na energię użytkową do ciepłej wody jest w całości zawarte w rozporządzeniu [7], strumienie powietrza zewnętrznego można przyjmować z tabel rozporządzenia lub z normy, a zapotrzebowanie na energię końcową do oświetlenia należy wyznaczać tylko w oparciu o normę.

3. Sugestie

Metodyka wyznaczania charakterystyki energetycznej wydaje się być przygotowana w głównej mierze dla budynków mieszkalnych lub innych nieskomplikowanych, w szczególności z prostymi systemami instalacyjnymi i ze standardowym sposobem użytkowania. Niezależnie jednak od typu budynku występuje szereg problemów wynikających z procesu obliczeniowego zawartego w rozporządzeniu [7]. W celu uzyskania prawidłowych wyników należy przyjmować do obliczeń wartości odpowiednie dla analizowanego budynku. Przykładowo (poza budynkami produkcyjnymi) podane w metodologii [7] wartości zysków ciepła, zużycia ciepłej wody, należy przyjmować zawsze z tabel,

natomiast sprawności systemów technicznych w większości przypadków można obliczyć lub przyjąć z tabel, a współczynniki przenikania ciepła powinny być tylko właściwe dla ocenianego budynku. Tym samym rodzi się pytanie czy metoda wyznaczania charakterystyki energetycznej ma służyć w pierwszej kolejności do porównania budynków między sobą i dopuszczać uproszczenia w procesie obliczeniowym czy wierne odzwierciedlać rzeczywistość. Sugeruje się zatem sprecyzowanie jakie zagadnienie należy rozwiązywać w oparciu o dane tabelaryczne, jakie obliczeniowo, a jakie w odesłaniu do norm. Przy czym niezbędny jest katalog norm z podaniem numeru i dokładnego zakresu w jakim dana norma ma uzupełniać zapisy rozporządzenia.

Sugerujemy doprecyzować i rozwijać metodę miesięczną obliczeń zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wentylacji i ją stosować szczególnie w sytuacjach i budynkach typowych. Natomiast stosowanie metody godzinowej sugerujemy wprowadzić w przypadku obiektów bardziej skomplikowanych, jednak z jasnym określeniem sposobu i zakresu ich stosowania w konkretnych sytuacjach. Przykładem obiektów, dla których jest to szczególnie uzasadnione są budynki z pompami ciepła, źródłami hybrydowymi czy odnawialnymi źródłami energii, do których obliczenia godzinowe pozwolą na określenie właściwej sprawności i udziałów poszczególnych źródeł ciepła.

Warto mieć na uwadze, że wprowadzenie metody godzinowej do każdego procesu wyznaczania charakterystyki energetycznej znacznie zwiększy jego czasochłonność i kosztochłonność. Jej stosowanie będzie w praktyce wymuszało stosowanie programów obliczeniowych, mimo że te już teraz nie zawsze są zgodne ze wszystkimi założeniami obecnej metodyki. Odpowiedzialność za poprawność sporządzenia świadectwa i wykonania obliczeń spoczywa wyłącznie na osobie uprawnionej, a nie na producencie oprogramowania. Można spodziewać się, że stosowanie skomplikowanych metod obliczeniowych pogłębi rozwarstwienie rynku pod względem rzetelności i jakości. Być może rozwiązaniem byłaby certyfikacja programów przez Ministerstwo.

Oprócz zmian w zakresie metod wyznaczania energii użytkowej na cele ogrzewania do rozstrzygnięcia jest szereg ważnych kwestii znacznie bardziej wpływających na wyznaczanie w charakterystyce energetycznej wartość EP. Warto zwrócić uwagę, że według [2] różnice w wynikach energii użytkowej na cele ogrzewania dla metody godzinowej i miesięcznej (wg PN-EN ISO 13790 [6]) nie są duże (wynoszą od kilku do kilkunastu procent), natomiast już dla chłodzenia mogą się różnić znacznie, bo nawet wielokrotnie.

4. Podsumowanie

Osoby otrzymujące świadectwo energetyczne mają prawo oczekiwać, że wiarygodnie odzwierciedla ono rzeczywistość i może być porównane ze świadectwami innych podobnych budynków czy też ich części. Jednak ocena energetyczna

budynku jest zagadnieniem szerokim, złożonym i najczęściej trudnym. Oczywiście jest, że zapisanie w przepisach odpowiedzi na wszystkie sytuacje, które można spotkać w rzeczywistych budynkach jest praktycznie niemożliwe, stąd ważna jest jasność i jednoznaczność przekazu rozporządzeń. Oczekiwany jest powszechny system oceny energetycznej budynków, wynikający nie tylko z wymogów prawnych. Powinno temu sprzyjać prawo, napisane jasno, klarownie, a także jego egzekwowanie. Nowelizacja przepisów, mimo wielu przesłanek do ich szybkiej zmiany, następowała powoli. Rozpoczął się proces kolejnej zmiany metodologii [7] i wierzymy, że część opisanych problemów zostanie zapewne rozwiązanych. Jednak powyższy głos miał pokazać w jakich realiach funkcjonuje od wielu lat osoba wyznaczająca charakterystykę energetyczną budynku.

W artykule nie poruszono wszystkich problematycznych kwestii, jak choćby wyznaczania zapotrzebowania na energię użytkową dla ciepłej wody w oparciu o krok roczny, czy udziału energii związanej z odnawialnymi źródłami w oparciu o energię końcową. Mamy jednak nadzieję, że przedstawiony przez nas punkt widzenia będzie inspirował to dyskusji i pozwoli na dalszy rozwój, jakże istotnego, obszaru oceny energetycznej budynków w Polsce.

LITERATURA

- [1] Centralny Rejestr Charakterystyki Energetycznej Budynków <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/centralny-rejestr-charakterystyki-energetycznej-budynkow>
- [2] Kokogiannakis Georgios, Strachan Paul, Clarke Joe. 2008. "Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context", *Journal of Building Performance Simulation*. 1:4, 209-219, DOI: 10.1080/19401490802509388
- [3] Kowalski Piotr, Szałański Paweł. 2019. "Seasonal coefficient of performance of air-to-air heat pump and energy performance of a building in Poland", *E3S Web of Conferences*. doi.org/10.1051/e3sconf/201911600039.
- [4] 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, Dz.U. 2022 poz. 122.
- [5] PN-B-03430:1983. Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania.
- [6] PN-EN ISO 13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, Dz.U. 2015 poz. 376.
- [8] Ustawa o zmianie ustawy Prawo Budowlane z 17 września 2007 r., Dz.U. 2007 nr 191 poz. 1373.
- [9] Ustawa z dnia 7 października 2022 r. o zmianie ustawy o charakterystyce energetycznej budynków oraz ustawy – Prawo budowlane, Dz.U. 2022 poz. 2206.
- [10] Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków, Dz.U. 2014 poz. 1200.
- [11] wis.pwr.edu.pl/kandydaci/studia-podyplomowe
- [12] <https://cku.pwr.edu.pl/studia-podyplomowe/kierunki-studiow/certyfikacja-i-audyty-energetyczne-budynkow-edycja-12>

CIEPŁOWNICTWO
OGRZEWNICTWO
WENTYLACJA

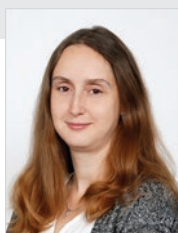
Miesięcznik Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych



Aktualności | Archiwum | O nas | Dla autorów | Otwarty dostęp | Egzemplarz okazowy | Prenumerata | Reklama | Kontakt | Polski




Zapraszamy na naszą stronę www.cieplowent.pl

**dr inż. JOANNA RUCIŃSKA**

ORCID ID 0000-0003-4292-1425
Osoba do kontaktu
joanna.rucinska@pw.edu.pl
Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa
Wydział Instalacji Budowlanych Hydrotechniki
i Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska
Agradblue by Westbridge Poland
joanna.rucinska@agradblue.com

**dr hab. inż. ŁUKASZ AMANOWICZ**

ORCID: 0000-0002-2903-3805
lukasz.amanowicz@put.poznan.pl,
Instytut Inżynierii Środowiska
i Instalacji Budowlanych
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Poznańska

Wpływ wybranych instalacji HVAC na wartość wskaźników zapotrzebowania na energię w świadectwie charakterystyki energetycznej

Impact of Selected HVAC Installations on the Value of Energy Demand Indicators in the Energy Performance Certificate

Słowa kluczowe: charakterystyka energetyczna, instalacje HVAC, energia użytkowa, energia końcowa, energia pierwotna

Streszczenie

W artykule omówiono wpływ wybranych instalacji HVAC na wartość wskaźników zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną w świadectwie charakterystyki energetycznej. W sposób jakościowy przedstawiono procedurę obliczania charakterystyki energetycznej a następnie przedyskutowano parametry, na które wpływają wybrane systemy wentylacji, ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz źródła energii. Wskazano korzyści i wpływ zastosowania danego rozwiązania instalacyjnego na zapotrzebowanie na energię. Przedstawiono również przykład obliczeniowy budynku biurowego, w którym zmieniano ilość powietrza wentylacyjnego, szczelność powietrzną, sprawność instalacji oraz rodzaj źródła, prezentując wartości wszystkich parametrów, obliczanych w ramach procedury wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku. W podsumowaniu podkreślono kluczowe znaczenie źródeł energii na wartość wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP, który jest limitowany prawnie przez Rozporządzenie w sprawie Warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (WT).

Keywords: energy performance, HVAC installations, usable energy, final energy, primary energy

Abstract

The article discusses the impact of selected HVAC installations on the value of indicators of demand for useful, final and primary energy in the energy performance certificate. The procedure for calculating energy characteristics was presented qualitatively, and then the parameters influenced by selected ventilation, heating, hot water preparation systems and energy sources were discussed. The benefits and energy costs of using a given installation solution were indicated. A calculation example was also presented for an office building in which the amount of ventilation air, air tightness, installation efficiency and type of source were changed, presenting the values of all parameters calculated as part of the procedure for determining the energy performance of the building. The summary highlights the key importance of energy sources for the value of the demand index for non-renewable primary energy EP, which is legally limited by the Regulation on the technical conditions to be met by buildings and their location (WT).

© 2006-2023 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
All right reserved

1. Wprowadzenie

„Postulat wzrostu efektywności energetycznej budynków może być realizowany na trzech płaszczyznach [1]:

1. Budynek – zmianie może ulegać m.in. jego izolacyjność termiczna, szczelność powietrzna, zwartość geometryczna, pojemność cieplna, orientacja względem stron świata, stosowanie ochrony przed promieniowaniem słonecznym w lecie oraz maksymalizacja wykorzystania zysków ciepła od słońca w okresie zimowym. Wszystkie te elementy w połączeniu ze sposobem użytkowania budynku (zachowanie użytkownika, znaczenie jego świadomości, nawyków itp.) mają wpływ na wartość zapotrzebowania na energię użytkową.

2. Technika instalacyjna rozumiana jako systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC) – komponenty systemów HVAC, sterowanie ich pracą, sprawność regulacji, a przede wszystkim ich efektywność energetyczna wpływają na wartość zapotrzebowania na energię końcową.

3. Źródła energii – pochodzenie nośników, sposób konwersji, wpływają na wartość zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną.

Potencjał do zwiększania efektywności energetycznej budynków istnieje na poziomie wszystkich wymienionych płaszczyzn. Końcowy efekt powinien wynikać z synergii działań podjętych na każdej z nich w celu uzyskania budynku efektywnego energetycznie.”

W świadectwie charakterystyki energetycznej prezentowane są wartości następujących wielkości związanych z zapotrzebowaniem na energię:

- EU (wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową),
- EK (wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową)
- EP (wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną).

$$EU = Q_p / A_f \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}) \quad (1)$$

$$EK = Q_k / A_f \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}) \quad (2)$$

$$EP = Q_u / A_f \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}) \quad (3)$$

gdzie:

Q_p – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną przez systemy techniczne, kWh/rok,

Q_k – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemów technicznych, kWh/rok,

Q_u – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową, kWh/rok,

A_f – powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (powierzchnia ogrzewana lub chłodzona), m^2 ,

$$Q_u = Q_{H,nd} + Q_{W,nd} + Q_{C,nd} \text{ kWh/rok} \quad (4)$$

gdzie:

$Q_{H,nd}$ – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji, kWh/rok,

$Q_{W,nd}$ – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody użytkowej, kWh/rok,

$Q_{C,nd}$ – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do chłodzenia, kWh/rok,

$$Q_{k,i} = \frac{Q_{i,nd}}{\eta_{g,i} \cdot \eta_{e,i} \cdot \eta_{d,i} \cdot \eta_{s,i}} \quad (5)$$

gdzie:

$\eta_{g,i}$ – średnia sezonowa sprawność wytwarzania energii w i -tym systemie,

$\eta_{e,i}$ – średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania energii i -tym systemie,

$\eta_{d,i}$ – średnia sezonowa sprawność przesyłu energii i -tym systemie,

$\eta_{s,i}$ – średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych w i -tym systemie.

Wartość rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla celów zaspokojenia i -tej potrzeby zależy od zapotrzebowania na: energię końcową $Q_{k,i}$, energię elektryczną pomocniczą $E_{el,pom,i}$ oraz współczynnika nakładu energii pierwotnej i współczynnika nakładu energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii elektrycznej w_{el} :

$$Q_{p,i} = Q_{k,i} \cdot w_i \cdot E_{el,pom,i} \cdot w_{el} \quad (6)$$

gdzie:

w_i – współczynnika nakładu energii pierwotnej,

w_{el} – współczynnika nakładu energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii elektrycznej.

2. Wentylacja

2.1. Wartość strumienia powietrza wentylacyjnego

Świeże powietrze wentylacyjne może być dostarczane do pomieszczeń za pomocą wentylacji naturalnej (grawitacyjnej, niekontrolowanej) lub mechanicznej (kontrolowanej).

Uśredniony w czasie strumień powietrza zewnętrznego wyznaczany jest zgodnie z pkt 5.5.1 Metodologii [2] albo według Polskiej Normy dotyczącej energetycznych właściwości użytkowych budynków – obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia. Im większa wartość strumienia powietrza, tym więcej energii należy dostarczyć do jego obróbki termicznej (podgrzewania zimą, chłodzenia latem), co przekłada się wprost na zwiększenie wartości $Q_{h,nd}$, a zatem Q_u (4) i EU. W przypadku wentylacji mechanicznej, przetłaczanie większego strumienia powietrza wentylacyjnego wiąże się również ze zwiększonym zapotrzebowaniem na energię elektryczną do napędu wentylatorów (nawiewnego i wywiewnego lub jednego z nich w zależności od rozwiązania systemu), co zwiększa wartość $E_{el,pom}$ w obliczeniach zapotrzebowania na energię końcową Q_k oraz dalej EK. Wartość $E_{el,pom}$ występuje również we wzorze na Q_p (6) pomnożona przez współczynnik $w_{i,el}$ (nakładu energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii elektrycznej), a zatem zwiększa wartość EP. W przypadku energii elektrycznej pochodzącej z systemowej sieci elektroenergetycznej, współczynnik $w_{i,el}$ wynosi obecnie 2,5, jednak stosując np. panele fotowoltaiczne PV lub turbiny wiatrowe jako źródło energii elektrycznej, $w_{i,el} = 0$ i wówczas zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną do napędu wentylatorów skutkuje zwiększeniem wartości $E_{el,pom}$ i EK, ale nie zwiększa wartości EP, ponieważ ten składnik ulega wyzerowaniu. Zwiększony strumień powietrza wentylacyjnego powoduje również zwiększenie wartości dodatkowych strumieni powietrza infiltrującego (które omówiono w punkcie 2.2). To sprawia, że zwiększanie strumienia powietrza wentylacyjnego ponad wartość wynikającą z kryterium higienicznego – tzn. minimalną wartość, która zapewnia utrzymanie zdrowej i komfortowej wartości stężenie CO_2 w pomieszczeniu – jest nieuzasadnione, o czym przekonywano wcześniej w artykule [3].

2.2. Szczelność powietrzna obudowy budynku

Zarówno w artykule [3] jak i w [4-5] oraz artykule przeglądowym [6], zwracano uwagę na znaczenie szczelności powietrznej budynku na działanie systemów wentylacyjnych w kontekście ich energochłonności. Liczne analizy cytowane we wspomnianej pracy przeglądowej pokazują, że stopień szczelności powietrznej mierzony wartością współczynnika n_{50} (krotność wymian powietrza przez nieszczelności przy różnicy ciśnień pomiędzy wnętrzem a zewnątrz budynku równej 50 Pa) istotnie wpływa na zapotrzebowanie na energię budynku. Znajduje to odzwierciedlenie również w obliczeniach charakterystyki energetycznej, gdzie w zależności od stosowanego systemu wentylacji uwzględnia się dodatkowe strumienie powietrza infiltrującego przez nieszczelności:

a) V_{inf} – spowodowany działaniem wiatru i wyporu termicznego w pomieszczeniach w przypadku wentylacji grawitacyjnej i w przypadku wyłączonej wentylacji mechanicznej,

b) $V_{x,ex}$ – przy pracy wentylatorów w przypadku wentylacji mechanicznej wywiewnej spowodowany działaniem wiatru i wyporu termicznego w pomieszczeniach,

c) $V_{x,su}$ – przy pracy wentylatorów w przypadku wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej.

Przez nieszczelności w przegrodach zewnętrznych budynku infiltruje powietrze zewnętrzne, które istotnie zwiększa zapotrzebowanie na energię przez system HVAC. Nie ma możliwości odzyskiwania ciepła/chłodu, jeśli nie przepływa

$$Q_{H,nd} = Q_{tr} + Q_{ve} - \eta_{H,g} (Q_{sol} + Q_{int})$$

$Q_{H,nd}$ ← Q_{tr} $Q_{H,nd}$ ← Q_{ve} $Q_{H,nd}$ ← $\eta_{H,g} (Q_{sol} + Q_{int})$
 Q_{tr} ← $H_{tr,o}$ Q_{tr} ← $H_{tr,mc}$ Q_{ve} ← $H_{ve,o}$ Q_{ve} ← $H_{ve,inf}$

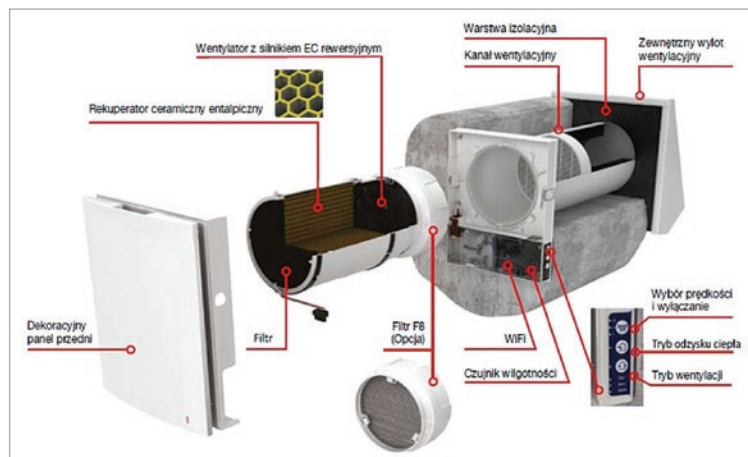
Rys. 1. Wpływ składowych wentylacyjnych na wartość $Q_{H,nd}$, $H_{tr,o}$ – współczynnik strat ciepła przez przenikanie przez obudowę budynku, $H_{tr,mc}$ – współczynnik strat ciepła przez mostki cieplne, H_{ve} – współczynnik strat ciepła przez wentylację, $H_{ve,o}$ – współczynnik strat ciepła przez wentylację kontrolowaną, $H_{ve,inf}$ – współczynnik strat ciepła przez infiltrację, [3]

Fig. 1. The influence of ventilation components on the value of $Q_{H,nd}$, $H_{tr,o}$ – heat loss coefficient through penetration through the building envelope, $H_{tr,mc}$ – heat loss coefficient through thermal bridges, H_{ve} – ventilation heat loss coefficient, $H_{ve,o}$ – coefficient heat loss through controlled ventilation, $H_{ve,inf}$ – heat loss coefficient through infiltration [3]

ono przez wymiennik do odzysku ciepła, tylko dostaje się do pomieszczenia przez nieszczelności. We współczesnych budynkach przegrody są bardzo dobrze zaizolowane termicznie oraz często stosuje się wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła, co istotnie obniża wartość rocznego zapotrzebowania na energię użytkową, ale również szczytową moc cieplną systemów HVAC. To sprawia, że system HVAC nie ma nadwyżek mocy, które mogłyby zostać skonsumowane na przygotowanie powietrza infiltrującego, a koszt energetyczny tego procesu jest relatywnie duży w porównaniu z niewielkimi potrzebami cieplnymi współczesnego budynku. Wynika z tego, że dbałość o wysoką szczelność powietrzną budynku powinna być priorytetem i chociaż dotyczy konstrukcji budynku, to jednak na tyle istotnie oddziałuje na pracę instalacji HVAC, że powinna być przedmiotem zainteresowania nie tylko architekta czy konstruktora, ale również inżyniera HVAC. W artykule [3] zasugerowano, że wartość strumienia infiltrującego powinna być przynajmniej o rząd wielkości mniejsza niż strumienia podstawowego, co przekłada się na wymaganą wartości wskaźnika $n_{50} < 0,6$, tak, aby składowa infiltracyjna nie wpływała istotnie na zapotrzebowanie na energię na cele ogrzewania i wentylacji, co zaprezentowano schematycznie na rys. 1.

2.3. Straty ciśnienia, decentralizacja

W przypadku wentylacji grawitacyjnej, przepływ powietrza następuje samoistnie, jednak jest niekontrolowany. W przypadku wentylacji mechanicznej, ruch powietrza wywołują wentylatory. Zapotrzebowanie na energię elektryczną do napędu wentylatorów jest tym większe, im większy jest strumień przepływającego powietrza oraz im większa jest wartość strat ciśnienia przy jego przepływie przez instalację wentylacyjną. Zwiększa to wartość $E_{el,pom}$ w obliczeniach zapotrzebowania na energię końcową Q_k oraz dalej EK. Wartość $E_{el,pom}$ występuje również we wzorze na Q_p (6) pomnożona przez współczynnik $w_{i,el}$ (nakładu energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii elektrycznej), a zatem zwiększa wartość EP. Wartość strumienia powietrza zależy od potrzeb higienicznych lub technologicznych pomieszczeń. Wartość strat ciśnienia zależy od geometrii układu wentylacyjnego, w szczególności od jego rozległości. Systemy wentylacji zdecentralizowanej, np. te, które opisane zostały w pracach [7-9], wpływają na zapotrzebowanie na energię użytkową w dwojaki sposób:



Rys. 2. Rekuperator ścienny – urządzenie realizujące ideę wentylacji zdecentralizowanej (źródło: materiały producenta urządzeń Vents)

Fig. 2. Wall-type recuperator – a device implementing the idea of decentralized ventilation, source (materials from the Vents device manufacturer)

(i) pozwalają na lepsze dopasowanie wydajności (strumienia powietrza wentylacyjnego) do potrzeb użytkowników, a co za tym idzie na obniżenie wartości Q_u i pośrednio $E_{el,pom}$, ponieważ w okresie obniżonej wydajności maleją: strumień powietrza oraz straty ciśnienia, a więc również zapotrzebowanie na energię do napędu wentylatorów,

(ii) powodują zmniejszenie wartości strat ciśnienia dzięki wyeliminowaniu rozległego centralnego systemu dystrybucji powietrza, a zatem sprzyjają zmniejszeniu wartości $E_{el,pom}$.

W świadectwie charakterystyki energetycznej wpływ opisany jako (i) wentylacji zdecentralizowanej może nie być widoczny, ponieważ zwykle wykorzystywane są standardowe wartości z tabeli zalecanych przez Metodologię, natomiast powinien być uwzględniony wpływ (ii).

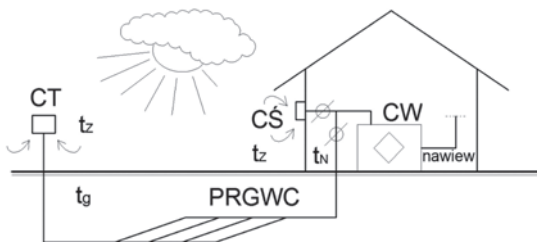
Cytat z [1]: „Stosowanie rekuperatorów ściennych, realizujących wentylację zdecentralizowaną wpływa na

- zmniejszenie wartości wentylacyjnej straty ciepła Q_{ve} , wchodzącej w skład zapotrzebowania na energię użytkową na cele ogrzewania (zimą) $Q_{u,H}$ oraz na cele chłodzenia (latem) $Q_{u,C}$, dzięki możliwości odzyskiwania energii z powietrza usuwanego,

- zmniejszenie zapotrzebowania na energię końcową do celów ogrzewania i chłodzenia dzięki zwiększeniu sprawności: regulacji i wykorzystania energii η_e (lepsze dopasowanie się do chwilowych potrzeb odbiorców w stosunku do systemów centralnych) oraz sprawności dystrybucji η_d (brak systemu dystrybucji, a przez to ograniczenie strat energii do przestrzeni o niekontrolowanej temperaturze); zapotrzebowanie na energię końcową na cele ogrzewania i chłodzenia jest w tych systemach mniejsze również ze względu na zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną pomocniczą $E_{el,pom}$ (brak systemu dystrybucji powietrza skutkujący mniejszymi oporami przepływu).”

2.4. Odzyskiwanie ciepła z powietrza usuwanego

W systemach wentylacji mechanicznej, zarówno centralnej jak i zdecentralizowanej, istnieje możliwość zastosowania wymiennika ciepła i odzyskiwanie ciepła z powietrza usuwanego [10]. Wpływa to bezpośrednio na wartość $Q_{H,nd}$, zmniejszając wartość wentylacyjnej straty ciepła – ale tylko tego składnika, który dotyczy uśrednionego w czasie podstawowego strumienia powietrza wentylacyjnego. Odzyskiwanie ciepła nie wpływa na zapotrzebowanie na energię do przygotowania dodatkowych strumieni powietrza infiltrującego, wymienionych w podpunkcie 2.2.



Rys. 3. Schemat układu wentylacji z PRGWC: CT – czerpnia terenowa, CS – czerpnia ścienna, CW – centrala wentylacyjna, PRGWC – powietrzny rurowy wymiennik ciepła [20]

Fig. 3. Scheme of the ventilation system with PRGWC: CT – field air intake, CS – wall air intake, CW – air handling unit, PRGWC – air tubular ground heat exchanger [20]

2.5. Powietrzne gruntowe wymienniki ciepła

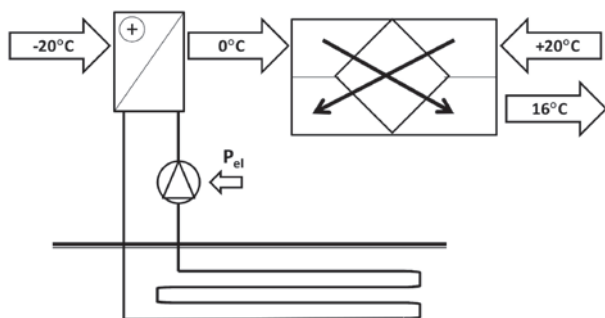
Powietrzne gruntowe wymienniki ciepła to element systemu wentylacji, przez który w pierwszej kolejności przepływa świeże powietrze wentylacyjne. Dzięki względnie stałej temperaturze gruntu na głębokości ok. 1,5-2,5 m pod poziomem terenu, przepływające powietrze ulega podgrzaniu zimą i schłodzeniu latem. Szczegółową zasadę działania tych urządzeń oraz ich rodzaje (przeponowe, bezprzeponowe) opisano w szeregu prac badawczych na ten temat, np. [11-18]. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy schemat układu wentylacji z PRGWC (powietrznym rurowym gruntowym wymiennikiem ciepła). Przykładowe obliczenia gruntowego wymiennika na cele charakterystyki energetycznej można znaleźć np. w artykule [19].

Cytat z [1]: „Stosowanie powietrznych rurowych gruntowych wymienników ciepła wpływa na:

- zmniejszenie wartości wentylacyjnej straty ciepła Q_{ve} wchodzącej w skład zapotrzebowania na energię użytkową na cele ogrzewania (zimą) $Q_{u,H}$ oraz na cele chłodzenia (latem) $Q_{u,C}$ poprzez wykorzystanie energii gruntu,
- zwiększenie zapotrzebowania na energię elektryczną pomocniczą $E_{el,pom}$ służącą do napędu wentylatora przetłaczającego powietrze przez wymiennik, który musi pokonać dodatkowe opory przepływu spowodowane obecnością wymiennika w instalacji.”

2.6. Cieczowe wymienniki ciepła typu ziemia-powietrze

Wymienniki ciepła, które służą do odzyskiwania ciepła z powietrza usuwanego w centralach wentylacyjnych, w pewnych warunkach ulegają oblodzeniu, co powoduje zablokowanie przepływu powietrza i konieczność dostarczenia energii na cele odmrożenia. Można tego uniknąć stosując



Rys. 4. Schemat cieczowego gruntowego wymiennika ciepła do podgrzewania powietrza wentylacyjnego [3]

Fig. 4. Diagram of a liquid ground heat exchanger for heating ventilation air [3]

powietrzne gruntowe wymienniki ciepła opisane w podpunkcie 2.5, albo cieczowe wymienniki ciepła typu ziemia-powietrze. Przykładowy schemat zastosowania cieczowego wymiennika ciepła typu ziemia-powietrze w układzie wentylacji mechanicznej przedstawiono na rys. 4.

3. Ogrzewanie

3.1. Ogrzewanie płaszczyznowe

Stosowanie ogrzewania płaszczyznowego wpływa na [1] „zmniejszenie zapotrzebowania na energię końcową na cele ogrzewania i chłodzenia dzięki zwiększeniu sprawności: wytwarzania η_g (wyższa sprawność wytwarzania energii, szczególnie w przypadku źródeł wykorzystujących energię odnawialną, dzięki zastosowaniu w systemach płaszczyznowych niskiej temperatury zasilania w przypadku ogrzewania oraz wysokiej temperatury w przypadku chłodzenia), regulacji i wykorzystania energii η_e (lepsze dopasowanie do chwilowych potrzeb, ogrzewanie niskotemperaturowe, chłodzenie wysokotemperaturowe) oraz dystrybucji η_d (mniejsze straty dystrybucji dzięki obniżeniu temperatury czynnika grzewczego oraz podniesieniu temperatury czynnika chłodzącego).”

3.2. Sposób rozliczania użytkowników za koszty energii na cele c.o.

Sposób rozliczania użytkowników za koszty energii ma również istotne znaczenie dla zapotrzebowania na energię. Wskazują na to wyniki badań i analiz przedstawione np. w pracach [21-26]. Użytkownicy mają większą motywację do ograniczania energochłonności pomieszczeń, jeśli widzą bezpośredni związek pomiędzy swoimi nawykami/sposobem użytkowania budynków, a kosztami energii. Wymaga to jednak uczciwego, czytelnego i zrozumiałego dla użytkowników sposobu rozliczania kosztów energii. Niemniej jednak sposób rozliczania użytkowników nie jest brany pod uwagę podczas obliczania wskaźników energetycznych w świadectwie charakterystyki energetycznej budynków.

4. Ciepła woda użytkowa

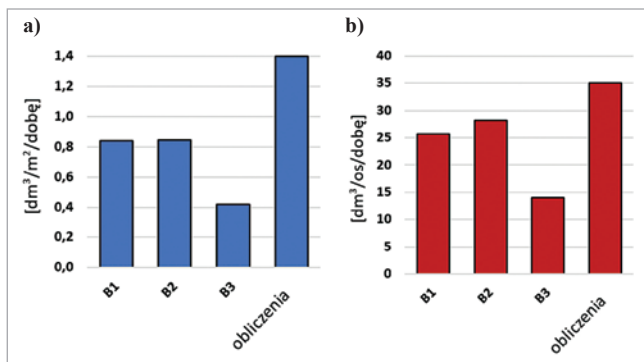
4.1. Roczne zużycie ciepłej wody użytkowej

W artykułach [27-28] porównywano obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło obliczane wg Metodologii oraz rzeczywiste zapotrzebowanie, wynikające z pomiaru zużycia gazu. Wykazano rozbieżności. Ich przyczyny dopatrywano się w nieadekwatności danych klimatycznych, a także w nieodpowiednich (zawyżonych) wartościach założonego jednostkowego zużycia ciepłej wody wg Metodologii (rys. 5).

4.2. Odzyskiwanie ciepła ze ścieków

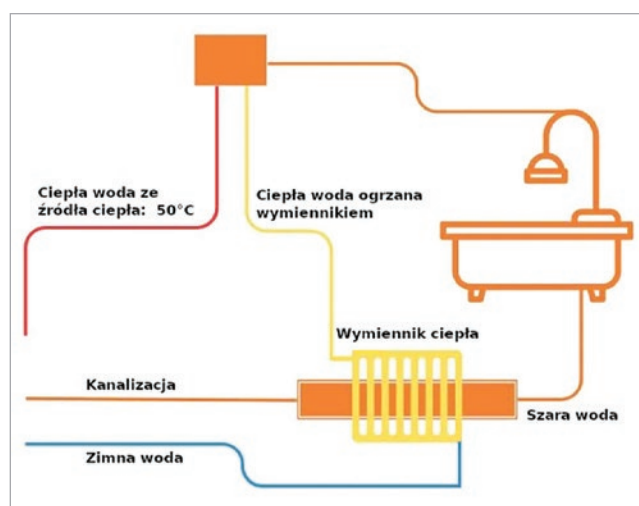
Podobnie jak istnieją techniczne możliwości odzyskiwania ciepła z powietrza usuwanego w wentylacji, o czym wspomniano w podpunkcie 2.4, ciepło można odzyskiwać ze ścieków. Jednym ze sposobów realizacji tej idei jest stosowanie podpionowych wymienników ciepła, które działają na zasadzie podgrzewania zimnej wody do kąpieli za pomocą ciepłej wody odprowadzanej z wanny lub brodzika w trakcie kąpieli. Zasadę działania takich urządzeń przedstawiono na rys. 6, a na rys. 7 przedstawiono wizualizację przykładowej instalacji.

Badania tego typu były przedmiotem rozprawy doktorskiej [30], a także zostały opublikowane m.in. w artykułach [31-40]. Systemy są w stanie zmniejszyć zapotrzebowanie na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej, a zatem



Rys. 5. Wyniki obliczeń wskaźników zużycia ciepłej wody użytkowej w rzeczywistych budynkach jednorodzinnych (B1, B2 i B3) na tle wartości zalecanych do przyjmowania wg Metodologii obliczania świadectw charakterystyki energetycznej budynków (obliczenia) [29]

Fig. 5. Results of calculations of hot water consumption rates in real single-family buildings (B1, B2 and B3) against the background of the values recommended for adoption according to the Methodology for calculating energy performance certificates of buildings (calculations) [29]



Rys. 6. Schematyczna prezentacja zasady działania wymienników do odzyskiwania ciepła z prysznica/wanny, źródło: <https://enerad.pl/wiedza/odzysk-ciepła-z-komina-i-wentylacji-jak-wykorzystać-ciepło-odpadowe/>

Fig. 6. Schematic presentation of the principle of operation of heat exchangers for recovering heat from a shower/bathtub, source: <https://enerad.pl/Wiedzy/odzysk-lepsza-z-komina-i-wentylacji-jak-exploita-ciepl-szaro-odpadowe/>

zmniejszyć zapotrzebowanie na energię użytkową, a w konsekwencji energię końcową i pierwotną. W ich przypadku nie tyle istotna jest sprawność temperaturowa wymiennika ciepła podawana przez producentów, ale sprawność energetyczna. W aktualnej wersji Metodologii nie ma ustandaryzowanej metody obliczania zapotrzebowania na energię na cele podgrzewania c.w.u. w przypadku zastosowania odzysku ciepła ze ścieków. Podobna sytuacja dotyczy uwzględniania innych sposobów odzyskiwania ciepła na cele przygotowania ciepłej wody użytkowej – np. ze spalin z promienników gazowych [41].

5. Źródła ciepła i energii elektrycznej

5.1. Sprawność konwersji i dystrybucji energii

Sprawność konwersji i dystrybucji energii uwzględnia fakt dyssypacji energii podczas konwersji paliwa w energię w źródle oraz dalej podczas dystrybucji energii do przyłącza w budynku. W obliczeniach charakterystyki energetycznej



Rys. 7. Wizualizacja instalacji do odzyskiwania ciepła z wody szarej (ścieków z prysznica), źródło: materiały producenta <https://innovapolska.pl/bee-system-odzysku-ciepła-z-wody-szarej/>

Fig. 7. Visualization of the installation for recovering heat from gray water (shower wastewater), source: manufacturer's materials <https://innovapolska.pl/bee-system-odzysku-lepsza-z-wody-szarej/>

uwzględnia się ten fakt poprzez współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i . Przykładowo:

– Jeśli $w_i = 2,5$, oznacza to, że aby do przyłącza w budynku dostarczyć 1 kWh energii, należy do źródła energii dostarczyć taką ilość paliwa pierwotnego, z którego w idealnym (teoretycznym) procesie konwersji uwolnione mogłoby zostać 2,5 kWh energii.

– Jeśli energia elektryczna pochodzi z odnawialnego źródła, np. z konwersji energii słonecznej w panelach PV, to do uzyskania 1 kWh energii elektrycznej wykorzystuje się 0 kWh energii w paliwie pierwotnym, tzn. współczynnik $w_i = 0$.

– Jeśli ciepło pochodzi z konwersji energii słonecznej w kolektorach słonecznych do podgrzewu c.w.u., to współczynnik $w_i = 0$, jednak należy pamiętać, że w instalacji takiej musi działać pompa obiegowa, dla której zapotrzebowanie na energię elektryczną uwzględnia się w wartości $E_{el,pom}$, a także przeważnie jest wymagany zbiornik na ciepłą wodę, w którym woda stygnie, co uwzględnia się przez zmniejszenie sprawności magazynowania energii przy obliczeniach zapotrzebowania na energię końcową, a zatem zastosowanie takiego rozwiązania nie spowoduje uzyskania wartości 0 kWh, jak w przypadku instalacji PV.

Współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i (dla różnych źródeł energii) i w_{el} (dla energii elektrycznej) uwzględnia się podczas obliczania zapotrzebowania na energię pierwotną wg wzoru (6). Wartość współczynnika w_i i w_{el} ma decydujące znaczenie dla ostatecznej wartości wskaźnika EP prezentowanego w świadectwie charakterystyki energetycznej.

5.2. Kogeneracyjne źródła energii

Kogeneracyjne źródła energii, to takie, w których pozyskuje się energię elektryczną i ciepło w jednym procesie. Ciepło jest produktem ubocznym w procesie produkcji energii elektrycznej. Jeśli nie jest wykorzystywane w użyteczny sposób, musi zostać oddane do otoczenia, co dodatkowo wymaga energii do napędu pomp, wentylatorów i/lub innych urządzeń pomocniczych. Jeśli zostanie wykorzystane użytecznie, wtedy dodatkowa energia do napędu pomp jest pożytkowana na transport wody grzewczej do odbiorcy (zwykle do węzłów ciepłowniczych, choć źródło kogeneracyjne może również dostarczać energię elektryczną i ciepło wykorzystywane lokalnie). To sprawia, że ciepło sieciowe

z kogeneracji charakteryzuje się współczynnikiem $w_i < 1$ (co korzystnie wpływa na zmniejszenie wartości EP w charakterystyce energetycznej).

5.3. Pompy ciepła

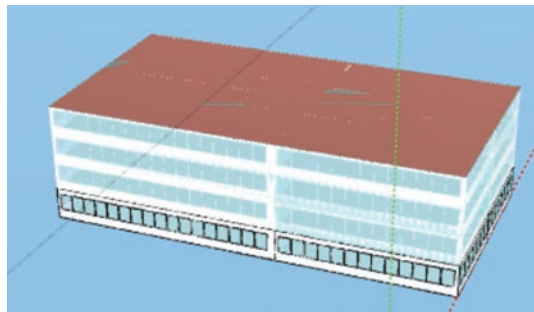
Najpopularniejsze sprężarkowe pompy działają w ten sposób, że za sprawą czynnika roboczego i pracy sprężarki (to do niej doprowadzana jest energia elektryczna, która jest kosztem pracy pompy ciepła) pozyskiwane jest ciepło z dolnego źródła ciepła (grunt, woda, powietrze i inne). Energia przekazywana jest do górnego źródła ciepła, którym może być wymiennik ciepła podgrzewający wodę na różne cele, np. centralnego ogrzewania czy ciepłej wody użytkowej. Czynnik roboczy odparowuje naturalnie w dolnym źródle ciepła, pobierając z niego energię (bez dodatkowego nakładu energii do realizacji tego procesu). Z kolei w górnym źródle ciepła uzyskuje się więcej energii niż dostarcza energii elektrycznej do napędu sprężarki, ponieważ jest to suma energii z dolnego źródła ciepła oraz energii dostarczonej do sprężarki. Znajduje to odzwierciedlenie w wartości współczynnika COP (*coefficient of performance*), który może wynosić np. 5, co oznacza, że aby uzyskać 5 kWh ciepła w wymienniku ciepła na cele c.o. i c.w.u., należy dostarczyć do sprężarki 1 kWh energii elektrycznej. Pozostałe 4 kWh pochodzą z dolnego źródła ciepła i są pozyskiwane dzięki samoczynnemu odparowaniu czynnika roboczego (np. w gruncie czy w powietrzu zewnętrznym). Z tego powodu w przypadku zastosowania pompy ciepła o SCOP = 5 (średnia sezonowa wartość COP), zapotrzebowanie na energię użytkową na cele ogrzewania i wentylacji $Q_{h,nd}$ dzieli się przez 5, tzn. w charakterystyce energetycznej uwzględnia się fakt, że aby dostarczyć 5 kWh energii użytkowej na cele ogrzewania i wentylacji, wystarczy wykorzystać 1 kWh energii elektrycznej. Dalej przy obliczeniach zapotrzebowania na energię pierwotną, uwzględnia się wartość w_i jak dla energii elektrycznej. Najkorzystniej jest, kiedy w całości pochodzi ona z odnawialnych źródeł, np. z paneli PV. Wówczas $w_i = 0$, a zatem wskaźnik EP może mieć wówczas odpowiednio małą wartość, a w skrajnym przypadku wynosić nawet 0.

5.4. Fotowoltaika

Panele fotowoltaiczne PV zyskują w ostatnich latach na popularności głównie za sprawą lepszej efektywności produkcji energii elektrycznej, obniżonej ceny, dotacji, a także modelu sprzedaży nadwyżek energii w trybie prosumenta. Wskaźnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla fotowoltaiki wynosi 0. Oznacza to, że jeśli systemy HVAC budynku będą wykorzystywały energię elektryczną, którą w całości (w rocznym cyklu rozliczeniowym) wyprodukują panele PV, wskaźnik EP wyniesie 0. Niezależnie od tego jaką wartość będą miały wskaźniki EU i EK, tzn. jak bardzo nieefektywne będą systemy HVAC lub słaba będzie izolacyjność cieplna przegród (ale nie gorsza niż wynika to z wymagań WT) czy szczelność powietrzna budynku, warunek EP_{max} będzie spełniony.

6. Przykład obliczeniowy

Wpływ niektórych parametrów na wartości wskaźników znajdujących się na świadectwie pokazano na przykładzie budynku biurowego czterokondygnacyjnego zlokalizowanego w Warszawie. W obliczeniach uwzględniono regulację ilości powietrza wentylacyjnego, szczelność powietrzną



Rys. 8. Widok modelu analizowanego budynku biurowego, opracowanie własne

Fig. 8. View of the model of the analyzed office building, own work

budynku, sprawność instalacji oraz rodzaj źródła. Widok modelu modelu analizowanego budynku pokazano na rysunku poniżej.

W budynku znajdują się pomieszczenia biurowe oraz korytarze. Powierzchnia użytkowa wynosi 4581 m². Przegrody budynku zgodne są z wymaganiami Rozporządzenia Dz.U. 2022 poz. 1225 na rok 2021.

Budynek wyposażony jest w instalację ogrzewania, chłodzenia oraz wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła o sprawności 70% i strumień powietrza wentylacyjnego wynosi 13 500 m³/h. W pomieszczeniach biurowych temperatura powietrza wewnętrznego założona w trybie ogrzewania to 21°C, a na korytarzach 20°C. Temperatura w trybie chłodzenia w biurach wynosi 24°C, natomiast korytarze nie są chłodzone. Średnia moc oświetlenia wynosi 10 W/m² i moc systemu nie jest regulowana a czas jego działania wynosi 2500 h.

Obliczenia zapotrzebowania na energię wykonano w następujących wariantach.

1. wentylacja działa przez 24 h/dobę, szczelność powietrzna budynku $n_{50} = 1,5$ 1/h
2. wentylacja działa przez 12 h/dobę, szczelność powietrzna budynku $n_{50} = 1,5$ 1/h
3. wentylacja działa przez 12 h/dobę, szczelność powietrzna budynku $n_{50} = 1,0$ 1/h

Dla każdego z wariantów wyznaczono także zapotrzebowanie na energię końcową i pierwotną w dwóch przypadkach

A. System ogrzewania zasilany z węzła ciepłowniczego, instalacja z zaizolowanymi przewodami, armaturą i urządzeniami, które są zainstalowane w przestrzeni ogrzewanej, z regulacją centralną i miejscową wyposażoną w zawory termostatyczne o działaniu proporcjonalnym z zakresem proporcjonalności P – 1 K. Instalacja nie jest wyposażona w zasobnik ciepła.

Źródłem chłodu jest sprężarkowa wytwornica wody lodowej chłodzona powietrzem ze sprężarką typu scroll. Zaprojektowano system chłodzenia centralny z cieczą pośredniczącą i podziałem na obiegi pierwotny i wtórny. Instalacja jest zaizolowana i wyposażona w zawory regulacyjne trójdrogowe (regulacja skokowa) oraz nie jest wyposażona w zasobnik chłodu

B. System ogrzewania zasilany z gruntowej pompy ciepła, instalacja z zaizolowanymi przewodami, armaturą i urządzeniami, które są zainstalowane w przestrzeni ogrzewanej, z regulacją centralną i miejscową wyposażoną w zawory termostatyczne o działaniu proporcjonalnym z zakresem proporcjonalności P – 1 K. Instalacja nie jest wyposażona w zasobnik ciepła.

TABELA 1. Sprawność instalacji

TABLE 1. Installation efficiency

Sprawność średnia sezonowa		Wariant A	Wariant B
System ogrzewania	wytwarzania ciepła	0,93	4,00
	akumulacji ciepła	1,00	1,00
	przesyłu ciepła	0,96	0,96
	regulacji i wykorzystania ciepła przestrzeni ogrzewanej	0,89	0,89
	sprawność całkowita systemu	0,79	3,42
	współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i	0,74*	2,50
System chłodzenia	wytwarzania chłodu	4,50	4,50
	akumulacji chłodu	1,00	1,00
	przesyłu chłodu	0,96	0,96
	regulacji i wykorzystania chłodu w przestrzeni ogrzewanej	0,94	0,94
	sprawność całkowita systemu	4,06	4,06
	współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i	2,50	2,50
System przygotowania ciepłej wody użytkowej	wytwarzania ciepła	0,99	0,99
	akumulacji ciepła	1,00	1,00
	przesyłu ciepła	1,00	1,00
	regulacji i wykorzystania ciepła	1,00	1,00
	sprawność całkowita systemu	0,99	0,99
	współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i	2,50	2,50

* www.energiadla.warszawy.pl/strefa-miejska/cieplo-systemowe/dla-audytow/ (29.09.2023)

Źródłem chłodu jest sprężarkowa wytwornica wody lodowej chłodzona powietrzem ze sprężarką typu scroll. Zaprojektowano system chłodzenia centralny z cieczą pośredniczącą i podziałem na obiegi pierwotny i wtórny. Instalacja jest zaizolowana i wyposażona w zawory regulacyjne trójdrogowe (regulacja skokowa) oraz nie jest wyposażona w zasobnik chłodu.

We wszystkich wariantach przygotowanie ciepłej wody użytkowej odbywa się za pomocą miejscowych podgrzewaczy elektrycznych bez zasobnika.

Sprawność instalacji w wariantach A i B oraz współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej podano w tabeli 1.

W tabeli 2 zestawiono wyniki zapotrzebowania na energię oraz wskaźników znajdujących się na pierwszej stronie świadectwa charakterystyki energetycznej analizowanych wariantów.

Oznaczenia zastosowane w tabeli:

- $Q_{H,nd}$ – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji,
- $Q_{k,H}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu ogrzewania,
- $E_{el,pom,H}$ – roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu ogrzewania,
- $Q_{p,H}$ – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu ogrzewania,
- $Q_{W,nd}$ – roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody użytkowej,

- $Q_{k,W}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej,
- $E_{el,pom,W}$ – roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej,
- Q_{OZE} – roczna produkcja energii z odnawialnych źródeł,
- $Q_{p,W}$ – roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej,
- EU – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową,
- EK – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową,
- EP – wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną,
- EP_{gr} – graniczny wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną.

Regulacja strumienia powietrza i dostosowanie jego wartości do aktualnych potrzeb znacznie wpływa na zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania oraz końcową do napędu urządzeń pomocniczych (wentylatorów). Poprawa szczelności powietrznej czyli obniżenie wartości wskaźnika n_{50} powoduje zmniejszenie zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i zwiększenie zapotrzebowania na energię użytkową do chłodzenia.

Zwiększenie sprawności instalacji zmniejsza zapotrzebowanie na energię końcową i najniższą wartość wskaźnika EK; uzyskano w wariantach 3B. W żadnym z wariantów, w którym zasilanie odbywa się z sieci ciepłowniczej nie uzyskano wartości wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP mniejszej niż wymaganej EP_{gr} , natomiast w przypadku wariantów 2A i 3A

TABELA 2. Wyniki obliczeń budynku

TABLE 2. Building calculation results

Wartość	Jednostka	Wariant					
		1A	1B	2A	2B	3A	3B
$Q_{H,nd}$	kWh/rok	166 486	166 486	76 100	76 100	64 475	64 475
$Q_{C,nd}$	kWh/rok	109 936	109 936	109 936	109 936	112 553	112 553
$Q_{W,nd}$	kWh/rok	21 456	21 456	21 456	21 456	21 456	21 456
$Q_{k,H}$	kWh/rok	209 524	48 714	95 772	22 267	81 142	18 866
$Q_{k,C}$	kWh/rok	27 073	27 073	27 073	27 073	27 717	27 717
$Q_{k,W}$	kWh/rok	21 672	21 672	21 672	21 672	21 672	21 672
$Q_{k,L}$	kWh/rok	114 525	114 526	114 527	114 528	114 529	114 530
$E_{el,pom,H}$	kWh/rok	45 748	45 434	27 689	27 376	27 689	27 376
$Q_{p,H}$	kWh/rok	155 048	121 786	70 872	55 668	60 045	47 164
$Q_{p,C}$	kWh/rok	67 681	67 681	67 681	67 681	69 292	69 292
$Q_{p,W}$	kWh/rok	54 181	54 181	54 181	54 181	54 181	54 181
$Q_{p,L}$	kWh/rok	286 312	286 315	286 317	286 320	286 322	286 325
$E_{el,pom}$	kWh/rok	114 369	113 586	69 224	68 440	69 224	68 440
EU	kWh/(m ² ·rok)	65,0	65,0	45,3	45,3	43,3	43,3
EK	kWh/(m ² ·rok)	91,4	56,2	62,6	46,5	59,5	45,9
EP	kWh/(m ² ·rok)	147,9	140,5	119,7	116,2	117,7	114,7
EP_{gr}	kWh/(m ² ·rok)	116,8	116,8	116,8	116,8	116,8	116,8
E_{CO_2}	t _{CO2} /(m ² ·rok)	0,048	0,040	0,037	0,033	0,036	0,032
U_{OZE}	%	0,0	14,2	0,0	7,8	0,0	6,7

uzyskane wartości EP są nieznacznie wyższe niż wartość EP_{gr} wyznaczona na podstawie obowiązującego rozporządzenia w sprawie warunków technicznych. W celu spełnienia wymagań warunków technicznych dotyczących maksymalnej dopuszczalnej wartości wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP należałoby w wariantach z systemem zasilania A rozważyć w obszarze zapotrzebowania na energię użytkową zwiększenie izolacyjności cieplnej przegród lub poprawę sprawności odzysku ciepła w systemie wentylacji; w zakresie energii końcowej podniesienie sprawności regulacji i wykorzystania ciepła i/lub sprawności przesyłu ciepła, mocy instalacji oświetlenia podstawowego a w przypadku energii pierwotnej uzupełnienie systemów o odpowiednio dobrane odnawialne źródła energii. Spośród wariantów z systemem B tylko wariant budynku z brakiem regulacji wartości strumienia powietrza nie spełnia obowiązujących wymagań w zakresie wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP.

Ze względu na dostępną powierzchnię dachu przeanalizowano także jak wpłynie uzupełnienie systemów w budynku o instalację paneli PV. Ze względu na dostępną powierzchnię przeanalizowano instalację o mocy 120 kWp. Roczna produkcja energii z takiej instalacji wyniesie około 125 650 kWh/rok a całość energii zostanie zużyta na miejscu. Wyprodukowana energia została proporcjonalnie do wartości energii końcowej uwzględniona we wszystkich systemach zasilanych energią elektryczną (tab. 3).

Energia wyprodukowana z instalacji PV nie wpływa na wartość zapotrzebowania na energię użytkową i końcową, obniża natomiast wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną, emisję dwutlenku węgla CO_2 oraz udział energii wyprodukowanej z energii odnawialnej. We wszystkich wariantach wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP jest niższy od wartości granicznej wyznaczonej na podstawie obowiązującego rozporządzenia w sprawie warunków technicznych WT.

7. Podsumowanie

W świadectwie charakterystyki energetycznej prezentowane są wskaźniki: rocznego zapotrzebowania na energię użytkową EU, rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK, rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP, emisji CO_2 a także udział odnawialnych źródeł energii w całkowitym zapotrzebowaniu na energię końcową. W niniejszym artykule opisano wpływ wybranych instalacji HVAC na wartość tych wskaźników.

Z przedstawionej dyskusji wynika, że:

- stosowanie wysoko sprawnych instalacji wentylacji wpływa na wartość wskaźników zapotrzebowania na energię EU, EK i EP
- w obliczeniach należy uwzględniać harmonogram działania instalacji wentylacji i uśrednione względem okresu bilansowego wartości strumienia powietrza wentylacyjnego co wpływa na wartość wskaźników zapotrzebowania na energię EU, EK i EP

TABELA 3. Wyniki obliczeń budynku z instalacją PV

TABLE 3. Calculation results for a building with a PV installation

Wartość	Jednostka	Wariant					
		1A	1B	2A	2B	3A	3B
$Q_{H,nd}$	kWh/rok	166 486	166 486	76 100	76 100	64 475	64 475
$Q_{C,nd}$	kWh/rok	109 936	109 936	109 936	109 936	112 553	112 553
$Q_{W,nd}$	kWh/rok	21 456	21 456	21 456	21 456	21 456	21 456
$Q_{k,H}$	kWh/rok	209 524	48 714	95 772	22 267	81 142	18 866
$Q_{k,C}$	kWh/rok	27 073	27 073	27 073	27 073	27 717	27 717
$Q_{k,W}$	kWh/rok	21 672	21 672	21 672	21 672	21 672	21 672
$Q_{k,L}$	kWh/rok	114 525	114 526	114 527	114 528	114 529	114 530
$E_{el,pom,H}$	kWh/rok	45 748	45 434	27 689	27 376	27 689	27 376
Q_{oze}	kWh/rok	120 650	120 650	120 650	120 650	120 650	120 650
$Q_{p,H}$	kWh/rok	155 048	98 739	70 872	49 846	60 045	42 930
$Q_{p,C}$	kWh/rok	58 915	60 563	58 086	59 076	59 269	60 154
$Q_{p,W}$	kWh/rok	48 563	49 619	48 032	48 666	48 053	48 594
$Q_{p,L}$	kWh/rok	129 436	158 933	114 602	132 308	115 180	130 288
$E_{el,pom}$	kWh/rok	89 337	93 538	59 186	59 640	59 220	59 525
EU	kWh/(m ² ·rok)	65,0	65,0	45,3	45,3	43,3	43,3
EK	kWh/(m ² ·rok)	91,4	56,2	62,6	46,5	59,5	45,9
EP	kWh/(m ² ·rok)	105,1	100,7	76,6	76,3	74,6	74,5
EP_{gr}	kWh/(m ² ·rok)	116,8	116,8	116,8	116,8	116,8	116,8
E_{CO_2}	t _{CO2} /(m ² ·rok)	0,029	0,021	0,018	0,014	0,017	0,014
U_{OZE}	%	28,8	61,1	42,1	64,5	44,2	64,1

– szczelność powietrzna budynku, ma istotne znaczenie przy wyznaczaniu charakterystyki energetycznej, ponieważ wpływa na wartość dodatkowego strumienia powietrza infiltrującego, zatem zalecane jest wykonywanie badań szczelności powietrznej, gdyż wyniki testów szczelności można uwzględnić w obliczeniach,

– bardzo duży wpływ na wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną EP ma źródło energii, osiągnięcie bardzo małej wartości tego wskaźnika jest możliwe w przypadku zasilania budynku ze źródeł odnawialnych,

– w przypadku budynku zasilanego ze źródeł odnawialnych wartość wskaźnika EU i EK mogą mieć wyższe wartości, ponieważ te wskaźniki nie podlegają ocenie i nie ma określonych wartości maksymalnych w przepisach techniczno-budowlanych,

– w związku z dekarbonizacją sektora budownictwa wykorzystanie do zasilania budynku źródeł o niskim współczynniku emisji CO_2 jest korzystne z punktu widzenia zarządcy/właściciela budynku natomiast w obecnej metodyce emisja dwutlenku węgla nie jest w sposób szczególny oceniana i nie podlega ograniczeniom,

– polska metodologia wyznaczania charakterystyki energetycznej dopuszcza w niektórych przypadkach stosowanie metody zużyciowej, jednak bardzo rzadko wykorzystywane jest zastosowanie tej metody ze względu na jej ograniczenia,

– planując gruntowną modernizację budynku lub projektując nowy budynek należy zawsze w pierwszej kolejności ograniczać zapotrzebowanie na energię użytkową, następnie poprzez dobór efektywnych systemów wpływać w sposób pozytywny na zapotrzebowanie na energię końcową a na samym końcu dobierać system zasilania, takie podejście pozwala na racjonalne ograniczenie zapotrzebowania na energię i prowadzi do doboru efektywnie działających systemów i źródeł zasilania a także na ograniczenie emisji CO_2 .

LITERATURA

- [1] Amanowicz Ł., Autoreferat w postępowaniu habilitacyjnym: „Analiza wybranych komponentów systemów ogrzewania i wentylacji budynków w aspekcie wzrostu efektywności energetycznej”, kwiecień 2022
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376)
- [3] Amanowicz Łukasz, Edward Szczechowiak. 2017. „Zasady projektowania systemów wentylacji budynków energooszczędnych”. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 48 (2): 72-78. <https://doi.org/10.3390/10.15199/9.2017.2.4>
- [4] Amanowicz Łukasz, Katarzyna Ratajczak. 2021. „Praktyczne aspekty projektowania energooszczędnych systemów wentylacyjnych”. *Rynek Instalacyjny* (6): 42-48.
- [5] Amanowicz Łukasz, Katarzyna Ratajczak. 2021. „Stosowanie odzysku ciepła, OZE oraz zdecentralizowanych systemów wentylacyjnych w kontekście wymagań WT 2021”. *Rynek Instalacyjny* (7-8): 46-51.
- [6] Amanowicz Łukasz, Katarzyna Ratajczak, Edyta Dudkiewicz. 2023. „Recent Advancements in Ventilation Systems Used to Decrease Energy Consumption in Buildings – Literature Review”. *Energies* 16: 1853. <https://doi.org/10.3390/en16041853>
- [7] Amanowicz Łukasz, Katarzyna Ratajczak, Edward Szczechowiak. 2019. „Badania jednorurowych systemów wentylacyjnych pod kątem oceny mieszania się strumieni powietrza w czerpni i wyrzutni”. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 50 (6): 231-238. DOI:10.15199/9.2019.6.4
- [8] Amanowicz Łukasz, Katarzyna Ratajczak, Edward Szczechowiak. 2019. „Analiza możliwości stosowania systemu wentylacji zdecentralizowanej w budynkach edukacyjnych”. *Instal* 10: 20-26.
- [9] Amanowicz Łukasz, Katarzyna Ratajczak, Edward Szczechowiak. 2019. „Stosowanie rekuperatorów ściennych w budynkach nowych i modernizowanych ciepłnie w świetle aktualnych wymagań prawnych”. *Rynek Instalacyjny* (11): 58-62.
- [10] Ratajczak Katarzyna, Łukasz Amanowicz, Edward Szczechowiak. 2020. “Assessment of the air streams mixing in wall-type heat recovery units for ventilation of existing and refurbishing buildings toward low energy buildings”. *Energy & Buildings* 227: 110427. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110427>
- [11] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak. 2010. „Badania eksperymentalne wpływu zmian sposobu zasilania powietrznego gruntowego wymiennika ciepła typu rurowego na jego charakterystykę przepływową. Część 1 Równomierność rozprzysywu”. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* (6): 208-212, 220.
- [12] Chmielewski Krzysztof, Łukasz Amanowicz. 2017. „Bezprzeponowe powietrzne gruntowe wymienniki ciepła w układach wentylacji mechanicznej”. *Rynek Instalacyjny* (5): 76-80.
- [13] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak. 2015. „Wpływ właściwości ciepłego gruntu na wydajność powietrznych rurowych gruntowych wymienników ciepła (PRGWC)”. *Instal* 366 (10): 59-62.
- [14] Amanowicz Łukasz. 2016. „Doświadczalne charakterystyki przepływowe powietrznych wielorurowych gruntowych wymienników ciepła”. *Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej*. ISBN 978-83-7775-411-5
- [15] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak. 2017. „Wpływ nierówności rozdziału powietrza na wydajność ciepłą wielorurowych gruntowych wymienników ciepła”. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 48 (12): 413-417. <https://doi.org/10.15199/9.2017.12.3>
- [16] Amanowicz Łukasz. 2018. “Influence of geometrical parameters on the flow characteristics of multi-pipe earth-to-air heat exchangers – experimental and CFD investigations”. *Applied Energy* (226): 849-861. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.096>
- [17] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak. 2020. “Thermal performance of multi-pipe earth-to-air heat exchangers considering the non-uniform distribution of air between parallel pipes”. *Geothermics* 88: 101896. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101896>
- [18] Amanowicz Łukasz, Janusz Wojtkowiak. 2021. “Comparison of Single- and Multipipe Earth-to-Air Heat Exchangers in Terms of Energy Gains and Electricity Consumption: A Case Study for the Temperate Climate of Central Europe”. *Energies* 14: 8217. <https://doi.org/10.3390/en14248217>
- [19] Kostka Maria, Małgorzata Szulgowska-Zgrzywa. 2015. „Obliczenia energetyczne gruntowych rurowych wymienników ciepła”. *Rynek Instalacyjny* (6): 64-68.
- [20] Amanowicz Łukasz, Wojtkowiak Janusz. 2012. Wpływ oporu przewodzenia ciepła w gruncie oraz wykraplania wilgoci na obliczeniową ilość energii z gruntowego powietrznego wymiennika ciepła. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 43 (1): 22-25
- [21] Michnikowski Paweł. 2022. „Przegląd wybranych metod rozliczania kosztów ciepłej wody użytkowej po nowelizacji przepisów w 2021 roku”. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 53 (10): 16-19.
- [22] Michnikowski Paweł. 2019. „Ocena poprawności rozliczania kosztów ogrzewania lokali w budynkach wielorodzinnych na podstawie zarejestrowanego zużycia”. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 50 (5): 182-185.
- [23] Michnikowski Paweł, M. Grzywacz. 2015. „Sprawdzanie poprawności rozliczania kosztów ogrzewania na podstawie wskazań podzielników”. *Rynek Instalacyjny* (1-2): 71-74.
- [24] Michnikowski Paweł, Robert Cichowicz. 2014. *Ocena metod rozliczenia kosztów ogrzewania w budynkach wielorodzinnych. Instal* (10): 30-34.
- [25] Tomasz Cholewa, Marco Dell’Isola, Laura Canale, Giorgio Fico, Paweł Michnikowski, Alicja Siuta-Olcha, Aleksandra Olszewska, Gabriela Sadowska, Marzenna R. Dudzińska. 2022. “On the influence of heat cost allocation on operation of heating system in buildings and possible, additional decrease of supply temperature”. *Energy and Buildings* 254: 111599. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111599>
- [26] Michnikowski Paweł. 2017. “Allocation of heating costs with consideration to energy transfer from adjacent apartments”. *Energy and Buildings* 139: 224-231. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.020>
- [27] Bandurski Karol, Katarzyna Ratajczak, Łukasz Amanowicz. 2021. „Różnica między obliczeniowym i pomiarowym wykorzystaniem energii do ogrzewania w budynkach wielorodzinnych”. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 52 (12): 12-16
- [28] Ratajczak Katarzyna, Karol Bandurski, Łukasz Amanowicz, Jakub Brzeziński. 2022. „Różnice między obliczeniowym a zmierzonym zużyciem energii do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej na przykładzie budynków jednorodzinnych”. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 53 (4): 3-9. <http://dx.doi.org/10.15199/9.2022.4.1>
- [29] Ratajczak, Katarzyna, Katarzyna Michalak, Michał Narajczyk, Łukasz Amanowicz. 2021. “Real Domestic Hot Water Consumption in Residential Buildings and Its Impact on Buildings’ Energy Performance – Case Study in Poland”. *Energies* 14: 5010. <https://doi.org/10.3390/en14165010>
- [30] Piotrowska Beata. „Badania odzysku ciepła odpadowego w instalacjach kanalizacyjnych obiektów mieszkalnych”. Rozprawa doktorska. Politechnika Rzeszowska 2023
- [31] Kordana Sabina, Kamil Pochwat, Daniel Słyś, Mariusz Starzec. 2019. “Opportunities and Threats of Implementing Drain Water Heat Recovery Units in Poland”. *Resources* 8, 88. <https://doi.org/10.3390/resources8020088>
- [32] Kordana-Obuch Sabina, Mariusz Starzec, Daniel Słyś. 2021. “Assessment of the Feasibility of Implementing Shower Heat Exchangers in Residential Buildings Based on Users’ Energy Saving Preferences”. *Energies* 14: 5547. <https://doi.org/10.3390/en14175547>
- [33] Dudkiewicz Edyta, Natalia Fidorów-Kaprawy. 2020. „Hybrid Domestic Hot Water System Performance in Industrial Hall”. *Resources* 9, 65. <https://doi.org/10.3390/resources9060065>
- [34] Piotrowska Beata, Daniel Słyś, Sabina Kordana-Obuch, Kamil Pochwat. 2020. “Critical Analysis of the Current State of Knowledge in the Field of Waste Heat Recovery in Sewage Systems”. *Resources* 9, 72. <https://doi.org/10.3390/resources9060072>
- [35] Kordana-Obuch Sabina, Mariusz Starzec, Michał Wojtoń, Daniel Słyś. 2023. “Greywater as a Future Sustainable Energy and Water Source: Bibliometric Mapping of Current Knowledge and Strategies”. *Energies* 16: 934. <https://doi.org/10.3390/en16020934>
- [36] Dudkiewicz Edyta, Natalia Fidorów-Kaprawy. 2017. “The energy analysis of a hybrid hot tap water preparation system based on renewable and waste sources”. *Energy* 127: 198-208. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.061>
- [37] Piotrowska Beata, Daniel Słyś. 2023. “Variant analysis of financial and energy efficiency of the heat recovery system and domestic hot water preparation for a single-family building: The case of Poland”. *Journal of Building Engineering* 65: 105769. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105769>
- [38] Piotrowska Beata, Daniel Słyś. 2023. “Comprehensive Analysis of the State of Technology in the Field of Waste Heat Recovery from Grey Water”. *Energies* 16: 137. <https://doi.org/10.3390/en16010137>
- [39] Aleksandra Mazur, Daniel Słyś. 2017. “Possibility of heat recovery from gray water in residential building”. *Selected Scientific Papers – Journal of Civil Engineering* 12 (2): 155-162. <https://doi.org/10.1515/ssjce-2017-0032>
- [40] Sayegh Marderos Ara, Agnieszka Ludwińska, Krzysztof Rajski, Edyta Dudkiewicz. 2021. “Environmental and energy saving potential from greywater in hotels”. *Science of The Total Environment* 761: 143220. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143220>
- [41] Dudkiewicz Edyta, Natalia Fidorów. 2015. „Wykorzystanie ciepła ze spalin promienników do przygotowania ciepłej wody”. *Rynek Instalacyjny* (6): 18-22.



POZNAJ VENTO EXPERT BLACK

i odkryj korzyści z użytkowania inteligentnej wentylacji nawiewno-wywiewnej

NOWOŚĆ



OBNIŻENIE KOSZTÓW

Odzysk ciepła to oszczędność na kosztach ogrzewania domu w czasie sezonu zimowego.



BRAK ZANIECZYSZCZEŃ

Urządzenie zapewnia stałą wymianę powietrza, ochronę przed alergenami i smogiem.



ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ

Urządzenie cechuje się niskim zapotrzebowaniem na energię dzięki silnikom EC.



OCHRONA PRZED WILOGOCIĄ

Wbudowany czujnik skutecznie zapobiega zawilgoceniu i powstawaniu pleśni.



ŚWIEŻE POWIETRZE

Urządzenie zapewnia stałą wymianę powietrza w pomieszczeniu.



www.blauberg.pl



BLAUBERG
Ventilatoren

**dr inż. KAROL BANDURSKI**

ORCID ID: 0000-0001-8578-7233
Osoba do kontaktu
karol.bandurski@put.poznan.pl
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Politechnika Poznańska

**dr hab. inż. ŁUKASZ AMANOWICZ**

ORCID ID: 0000-0002-2903-3805
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Politechnika Poznańska

**dr hab. inż. TOMASZ CHOLEWA, prof. PL**

ORCID: 0000-0002-5310-2508
Wydział Inżynierii Środowiska,
Politechnika Lubelska

Metoda statyczna, dynamiczna czy pomiarowa – jak rzetelnie oceniać efektywność energetyczną budynków?

Static, Dynamic or Measurement-Based Method for Building Energy Performance Assessment – Which Way is Reliable?

Słowa kluczowe: charakterystyka energetyczna budynku, świadectwa charakterystyki energetycznej, transformacja energetyczna, polityka energetyczna, projektowanie zintegrowane, dekarbonizacja, transformacja technologiczno-społeczna, społeczne aspekty w technice, wytyczne projektowe, Warunki Techniczne

Streszczenie

Charakterystyka energetyczna budynków (ChEB) jest standardem wymiany informacji na temat efektywności energetycznej budynków. Obecnie w Polsce planowana jest modyfikacja metodologii jej wyznaczania. Jedną z zmian dotyczy rezygnacji z metody zużyciowej określania ChEB oraz wymagania obliczeń dynamicznych dla niektórych typów budynków. W artykule omówiono różnice między trzema podejściami wyznaczania ChEB: zużyciową, obliczeniową statyczną (miesięczną) oraz dynamiczną (godzinową). Odnosząc się do wybranych pozycji literaturowych wykazujemy, że planowane zmiany nie gwarantują wzrostu skuteczności ChEB w polityce energetycznej państwa ani zwiększenia jej dokładności. Jednocześnie sugerujemy, że celowe byłoby podjęcie działań w kierunku integracji metod pomiarowych i obliczeniowych ChEB. Takie podejście ma duży potencjał zwiększenia skuteczności ChEB w komunikacji społecznej, i ma szansę wpłynąć na rzeczywistą efektywność energetyczną budownictwa.

Keywords: energy performance codes, energy performance certificates, energy transition, energy policy, integrated design, decarbonization, socio-technical transition, social aspects in technology, design guidelines, building law

Abstract

The energy performance of buildings (EPB) is a standard for exchanging information on buildings energy efficiency in society. Currently, Polish government is going to modify the methodology for EPB assesment. One of the changes involves abandoning the measurement method of EPB assessment and requiring dynamic calculations for some types of buildings. The article discusses the differences between the three approaches to EPB assessment: measurement-based, static (monthly) and dynamic (hourly) calculation. Referring to scientific literature, we point out that the planned changes do not guarantee an increase in the effectiveness of the EPB in national energy policy and its accuracy. We suggest that it would be advisable to take steps toward integrating EPB based on both methods: measurments and calculation. This approach has great potential for increasing the effectiveness of EPB in public communication and thus influencing the actual energy efficiency of building stock.

© 2006-2023 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
All right reserved

1. Wprowadzenie

Rozporządzenie w sprawie Metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynków (ChEB) [1] określa obecnie dwie metody sporządzania ChEB:

- metodę obliczeniową, szczegółowo opisaną, opartą na bilansowym miesięcznym modelu cieplnym budynku, tzw. metodę statyczną,

- metodę zużyciową, która bazuje na danych pomiarowych wykorzystania ciepła sieciowego lub gazu ziemnego na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej i ogrzewania pomieszczeń, z ostatnich 3 lat. Te dane uznaje się za energię końcową. Zapotrzebowanie na energię na oświetlenie i na energię pomocniczą wyznacza się analitycznie – korzystając z tych samych wzorów jak w metodzie obliczeniowej.

Jeżeli budynek ma system chłodzenia, nie może być analizowany metodą zużyciową.

Obecnie trwają prace nad wprowadzeniem nowej Metodologii [2]. W jej projekcie wprowadzono nowe zapisy:

- w przypadku budynków niemieszkalnych nakazuje się wykonywanie obliczeń metodą dynamiczną (godzinową), nie statyczną,

- rezygnuje się z możliwości wyznaczenia charakterystyki energetycznej metodą zużyciową.

W tym kontekście powstaje niniejszy artykuł, dla którego pewnym wprowadzeniem będą również inne artykuły autorów dotyczące dyskusji na temat roli charakterystyki energetycznej w transformacji energetycznej oraz rozbieżności między obliczonym, a rzeczywistym zapotrzebowaniem na energię, opublikowane w pracach [3-6].

2. Problematyka i zakres publikacji

Czy dotychczasowe regulacje dotyczące Metodologii były skuteczne? Czy planowane zmiany są uzasadnione? Jaka metoda wyznaczania charakterystyki energetycznej byłaby najlepsza? Chcielibyśmy w tym artykule spróbować odpowiedzieć na te pytania.

Rozpocniemy od zdefiniowania jakie widzimy uzasadnienie do tworzenia charakterystyki energetycznej, następnie zarysujemy matematyczne różnice między trzema metodami wyznaczania ChEB (obliczeniowa statyczna, obliczeniowa dynamiczna, pomiarowa) oraz dokonamy krótkiego przeglądu literatury w zakresie poszukiwania różnic pomiędzy tymi metodami. Niniejszy artykuł ma charakter poglądowy i polemiczny. Chcemy zwrócić nim uwagę na złożoność opisywanego zagadnienia.

3. Cel sporządzania charakterystyki energetycznej budynków

Więcej na temat celowości oraz funkcji, jaką pełni i może pełnić charakterystyka energetyczna, pisaliśmy wcześniej w artykule [6]. Ujmując jednym zdaniem:

ChEB jest standardem wymiany informacji między interesariuszami procesu wykorzystania energii, na potrzeby zapewnienia odpowiedniej jakości środowiska wewnętrznego.

Z punktu widzenia tej definicji, bardzo istotna jest komunikatywność, wiarygodność oraz użyteczność ChEB. Tylko wtedy można skorzystać z przekazanej lub dostępnej informacji, kiedy jest ona klarowna, ma dla danej osoby konkretną wartość – może się jej do czegoś przydać – i ma się zaufanie co do jej źródła.

Warto pamiętać, że ChEB jest określeniem szerszym niż tylko informacja o wykorzystaniu energii w budynku. Znałe są parametryczne, predykcyjne i pomiarowe wskaźniki ChEB [6]. Jednak w tym artykule skupimy się tylko na wskaźnikach predykcyjnych oraz pomiarowych, i w tym znaczeniu będziemy używać określenia ChEB.

4. Opis matematyczny

Równanie bilansu energetycznego budynku można w uproszczeniu przedstawić w ujęciu dynamicznym (model dynamiczny):

$$mC \frac{dt_b}{d\tau} = \dot{Q}_{gn} - \dot{Q}_{loss} + \dot{Q}_{HVAC} \quad (1)$$

lub w ujęciu statycznym (model statyczny):

$$\frac{dt_b}{d\tau} = 0 \quad (2)$$

$$Q_{HVAC} = Q_{loss} - \eta Q_{gn}$$

gdzie:

- mC – iloczyn masy i pojemności cieplnej budynku, J/K,
- t_b – temperatura budynku (uwzględnia temperaturę powietrza, wyposażenia i konstrukcji budynku), °C,
- τ – czas, s,
- \dot{Q}_{gn} – strumień zysków ciepła (wewnętrznych i słonecznych) docierających do wnętrza budynku, W,
- \dot{Q}_{loss} – strumień strat ciepła z budynku (przez przenikanie i wentylację/infiltrację), W,
- \dot{Q}_{HVAC} – strumień ciepła doprowadzany do wnętrza budynku przez jego techniczne wyposażenie, W,
- Q_{gn} – zyski ciepła (wewnętrzne i słoneczne) docierające do wnętrza budynku, J lub kWh,
- Q_{loss} – energia przekazywana na zewnątrz budynku (przez przenikanie i wentylację/infiltrację), J lub kWh,
- Q_{HVAC} – energia doprowadzana do wnętrza budynku przez jego techniczne wyposażenie, J lub kWh,
- η – sprawność wykorzystania zysków ciepła zależna od bezwładności cieplnej budynku.

Składniki równania bilansu statycznego (2) można rozszerzyć do następującej postaci:

$$Q_{HVAC} = H_{tr+ve}(t_i - t_e) - \eta Q_{gn} \quad (3)$$

$$Q_{HVAC} = H_{tr+ve}t_i - H_{tr+ve}t_e - \eta Q_{int} - \eta Q_{sol}$$

gdzie:

- H_{tr+ve} – współczynnik przenoszenia ciepła budynku (przez przenikanie i wentylację), W/K,
- t_i – temperatura powietrza wewnętrznego, °C,
- t_e – temperatura zewnętrzna, °C,
- Q_{sol} – energia promieniowania słonecznego doprowadzona do wnętrza budynku, J lub kWh,
- Q_{int} – energia wewnętrznych zysków ciepła doprowadzona do wnętrza budynku, J lub kWh,

Można zauważyć, że model statyczny jest funkcją liniową dwóch zmiennych meteorologicznych:

- temperatury zewnętrznej t_e ,
- promieniowania słonecznego Q_{sol} oraz trzech zmiennych związanych ze sposobem użytkowania budynku:
 - temperatury wewnętrznej t_i ,
 - zysków wewnętrznych Q_{int} ,
 - stopnia wykorzystania zysków ciepła η ,
 - strumienia powietrza wentylacyjnego (ukrytego w składowej H_{tr+ve}).

bliski związek między t_b a t_p , dlatego zgodnie z założeniem metody statycznej, równanie (2), temperatura wewnętrzna nie zmienia się w ciągu roku.

Równania (1) i (2) obrazują ideę metody dynamicznej i statycznej wyznaczania ChEB. Metoda pomiarowa w najprostszym wariantcie ogranicza się do określenia średniej wartości wykorzystania energii w ciągu ostatnich kilku lat z podziałem na poszczególne cele: ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Natomiast, jak pokazuje również (3), pozyskanie danych pomiarowych, nawet tylko tych najłatwiej dostępnych w zakresie wykorzystania energii

(odczyt z liczników) i rzeczywistej zmienności temperatury zewnętrznej w ciągu roku, dają możliwość znacznie głębszej, dokładniejszej, analizy ChEB, a także uzyskanie urealnionych wartości wskaźników zapotrzebowania na energię dla danego budynku, użytkowanego w dany sposób przez jego rzeczywistych użytkowników.

5. Przegląd literatury

5.1. Metodologia ChEB w Unii Europejskiej

Zarys zmian, jakie dokonywały się i dokonują w zakresie treści metodologii ChEB syntetycznie opisuje Kwiatkowski w artykule [7]. Metoda zużyciowa jest dopuszczalna razem z obliczeniową w 15 z 27 państw UE, jednak z pewnymi ograniczeniami w zależności od kraju. Wśród Państw, gdzie nie dopuszczono stosowania metody zużyciowej, tylko w Hiszpanii wymaga się metody dynamicznej w obliczeniach. W pozostałych Państwach można w pewnych sytuacjach korzystać z metody statycznej, czasem z pewnymi ograniczeniami.

W Polsce procedura obliczeniowa jest szczegółowo opisana w rozporządzeniu, natomiast implementacja równań w programach obliczeniowych znajduje się poza kontrolą państwa, a osoba sporządzająca ChEB ma dowolność w wyborze narzędzia obliczeniowego. Podobnie jest w 8 krajach UE. W pozostałych udzielana jest państwowa licencja na komercyjny program do obliczeń ChEB lub wydano oficjalne państwowe narzędzia. Takie podejście jest najbardziej powszechne w krajach członkowskich. Wydaje się, że zwykle rozwiązania komercyjne ze swej natury są wygodnymi narzędziami, stale się rozwijającymi i posiadającymi dodatkowe funkcje. Jednak zaletą rozwiązania „państwowego” jest możliwość zbierania bezpośrednio wszystkich danych o budynkach przez jedną platformę, szczególnie jeżeli byłoby to narzędzie on-line. Obecnie wyniki ChEB w Polsce należy wprowadzić do Centralnego rejestru charakterystyki energetycznej budynków [8], jednak jest to tylko baza wyników. Brakuje w niej wartości pośrednich i założeń, które są czynione na różnych etapach obliczeń, co zawęża lub uniemożliwia dogłębną analizę zasobu budowlanego w kraju, celem podejmowania strategicznych decyzji w zakresie wymagań odnośnie do nowych budynków, a także odnośnie modernizacji istniejących. Co więcej, wyników nie da się przeliczyć – np. w przypadku, gdyby do jakichś celów było potrzebne przeprowadzenie analizy wg zmodyfikowanej procedury albo dla innych danych klimatycznych, innego profilu użytkowania budynku i innych symulacji energetycznych.

5.2. Metoda dynamiczna czy statyczna

W ramach prekonsultacji [2] nowego projektu Metodologii wyznaczania ChEB udostępniono dwie obszerne ekspertyzy. Nowszy dokument przedstawia metodę dynamiczną jako dokładniejszą, bazując na kilku przykładach. Zaprezentowane rozbieżności w zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania uzyskane obiema metodami są znaczące, przykładowo ok. 30% dla budynku wielorodzinnego i ok. 20% dla budynku jednorodzinnego, choć w obydwu podejściach przyjęto te same dane meteorologiczne i założenie odnośnie do użytkowania, opisane w projekcie nowej Metodologii [2]. Jest to zaskakujące ponieważ w literaturze istnieje przynajmniej kilka przykładów porównania obliczeń między metodą statyczną a dynamiczną, z których wynika, że w wypadku ogrzewania w naszym klimacie zbieżność powinna być

znacznie większa, jeżeli nie rozważamy wpływu zmiennej nastawy temperatury powietrza wewnętrznego w budynku [9-11]. Warto również zauważyć, że metoda statyczna sprawdza się w certyfikacji budynków pasywnych, gdzie jest wykorzystywana w programie PHPP. Twórcy certyfikacji weryfikują obliczenia na podstawie pomiarów wykorzystania energii i zbieżność okazuje się być zadowalająca [12]. Dlatego rozbieżności zaprezentowane w ekspertyzie powinny być głębiej przeanalizowane i przedyskutowane przed ostateczną oceną różnic w dokładności obydwu metod.

5.3. Metoda obliczeniowa vs. pomiary

Różnicom w wartościach wyników między charakterystyką pomiarową a obliczeniową poświęcono w ostatnich latach sporo uwagi. Jest to problem tzw. *performance gap*. Na łamach tego czasopisma opisaliśmy już wcześniej to zróżnicowanie dla danych z Polski dotyczących budynków jedno- i wielorodzinnych, odwołując się jednocześnie do literatury międzynarodowej [3], [5]. Pokazaliśmy, że średnia wartość zmierzonego zapotrzebowania na ciepło na cele ogrzewania pomieszczeń w budynkach wielorodzinnych jest większa od obliczonego o ok. 12%. Co więcej, zmierzone wartości zapotrzebowania charakteryzują się zdecydowanie większą różnicą między maksymalną a minimalną wartością niż obliczone. Po uwzględnieniu zapotrzebowania na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej, różnice te mogą być jeszcze większe, ponieważ zależą od odgórnie przyjętego zużycia ciepłej wody przez użytkowników, a także zakładanej i rzeczywistej liczby użytkowników, która może różnić się nawet kilkukrotnie (np. jeśli mieszkanie przeznaczone dla czterech osób zamieszkuje jedna).

Odrębne zagadnienie, któremu chcemy poświęcić uwagę w kolejnym podpunkcie, jest kwestia termomodernizacji budynków i jej ilościowy wpływ na charakterystykę energetyczną w kontekście planowanych (obliczonych) i rzeczywistych efektów energetycznych takich inwestycji. Wiarygodne określenie rzeczywistych oszczędności w zakresie zapotrzebowania na energię dla budynku za sprawą przeprowadzonych usprawnień jest kluczową daną do analizy opłacalności inwestycji, a także w procesie określenia poziomu ewentualnych dotacji czy podczas planowania różnych innych narzędzi, zachęcających do termomodernizacji. Samo tylko wiarygodne określenie oszczędności energetycznych wydaje się być wystarczająco przekonujące dla inwestora, który mając do dyspozycji zaufane narzędzie obliczeniowe, może chętniej podjąć decyzję, dzięki pewności, że obliczone oszczędności, będą również tymi rzeczywistymi.

5.3.1. Budynki po termomodernizacji

Jednym z powszechnie stosowanych w przeszłości działań, które miały zwiększyć efektywność energetyczną istniejących budynków było zwiększenie izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych (w szczególności docieplenie ścian zewnętrznych, dachów oraz wymiana okien zewnętrznych). Wykonanie tych działań było zazwyczaj poprzedzone audytem energetycznym, który pozwalał na uzyskanie premii termomodernizacyjnej i obecnie jest w wielu przypadkach podstawą wykonania ChEB dla danego obiektu. Przedmiotowe działania zaplanowane w ramach audytów energetycznych szacowały oszczędności w zakresie zapotrzebowania na ciepło na potrzeby ogrzewania najczęściej w przedziale 30%-50%, a nawet 60%. W ramach przedmiotowych audytów energetycznych planowano zazwyczaj (w zależności

od wiedzy audytorów energetycznych) również wykonanie równoważenia hydraulicznego instalacji ogrzewczej oraz obniżenie krzywej grzewczej. Jednak w praktyce powyższe działania związane z dostosowaniem sytemu ogrzewania do aktualnych potrzeb energetycznych budynków nie były często realizowane z uwagi na brak dokumentacji projektowej, jak również marginalizowanie efektów i konieczności przeprowadzenia tych działań przy dużych nakładach czasu i z udziałem osób o odpowiedniej wiedzy technicznej.

Dlatego też wiele obecnie funkcjonujących budynków po termomodernizacji nie jest efektywnych energetycznie, szczególnie w porównaniu do założeń określonych indywidualnie w ramach audytów energetycznych, co zostało pokazane szczegółowo w ramach publikacji [13]. Zauważono, że iloraz rzeczywistego do planowanego poziomu oszczędności w zapotrzebowaniu ciepła na cele ogrzewania w grupie budynków (w której było przeprowadzone dostosowanie systemu ogrzewania po termomodernizacji) wynosił od 51,8% do 68,6% (przy średniej 60,1%). Oznacza to, że efekt energetyczny był średnio o 39,9% gorszy niż zakładano. Z kolei w grupie budynków, w której nie było przeprowadzone dostosowanie systemu ogrzewania po termomodernizacji, iloraz rzeczywistego do planowanego poziomu oszczędności ciepła wynosił od 22,8% do 30,4% (przy średniej 25,9%), co oznacza, że efekty energetyczny był średnio aż o 74,1% gorszy niż zakładano, co zniechęcało kolejnych inwestorów do podejmowania termomodernizacji. W praktyce zdarzają się również sytuacje kuriozalne, kiedy zapotrzebowanie na ciepło na potrzeby ogrzewania budynku po termomodernizacji jest wyższe niż zapotrzebowanie przed termomodernizacją. Takie sytuacje w połączeniu z niewystarczającym poziomem wiedzy technicznej i tendencją do stygmatyzowania analiz teoretycznych sprawiają, że inwestorzy nie ufają wynikom analiz i nie postrzegają działań termomodernizacyjnych jako pewnej, bezpiecznej inwestycji.

Biorąc powyższe pod uwagę należy podkreślić, że wykorzystanie danych z audytu energetycznego dla danego budynku po termomodernizacji jest wygodnym podejściem dla osoby sporządzającej ChEB, jednak w wielu przypadkach jest obarczone grubym błędem i zdecydowanie nie odzwierciedla rzeczywistej charakterystyki energetycznej budynku.

5.3.2. Synergia

Wydaje się, że ciekawym i konstruktywnym podsumowaniem tego problemu w kontekście ChEB jest praca Cozza i in. [14]. Autorzy proponują, aby połączyć informacje zawarte w obliczeniowej i pomiarowej ChEB. Dane pomiarowe obrazują rzeczywisty przepływ energii jednak zwykle bez precyzyjnego wskazania czynników determinując taki stan rzeczy. Z kolei obliczenia rozpoczynają się od założenia sposobu użytkowania budynku i parametrów projektowych. Synergia tych dwóch zbiorów danych może przyczynić się do wykrycia obszarów budynku o największym potencjale zwiększenia efektywności energetycznej, co wydaje się racjonalnie uzasadnionym podejściem, które powinno przynieść zakładany efekt.

6. Dyskusja

6.1. Czy dotychczasowe regulacje prawne były skuteczne?

Dotychczas wykorzystywana metoda statyczna nie była zazwyczaj weryfikowana względem wartości rzeczywistego wykorzystania energii, a była najczęściej stosowaną

w praktyce metodą z uwagi na dostępność danych i szybkość otrzymania wyników. Natomiast metoda zużyciowa była bardzo rzadko stosowana. Dlatego wydaje się, że potencjał doczasowych regulacji nie został wykorzystany. Sporządzanie ChEB było niechcianym obowiązkiem i rzadko służyło osiągnięciu pierwotnego celu (patrz punkt 3). Pewien zasługujący na uwagę wyjątek stanowi np. budowa Wydziału Architektury i Wydziału Zarządzania Politechniki Poznańskiej [15], gdzie metodologia ChEB była podstawą do wyznaczania kosztu globalnego inwestycji, który był kryterium podejmowania decyzji w procesie przetargowym.

Naszym zdaniem utworzenie Centralnej Ewidencji Emisyjności Budynków [16] ma duży potencjał, który można by było wykorzystać przez integrację z Centralnym rejestrem charakterystyki energetycznej [8] oraz informacjami o rzeczywistym wykorzystaniu energii. Taka baza danych byłaby wartościowym narzędziem przy planowaniu polityki energetycznej państwa oraz doradzaniu obywatelom w wyborze rozwiązań termomodernizacyjnych, czy poszukiwaniu potencjału zwiększenia efektywności energetycznej, szczególnie w istniejących budynkach. Ta ścieżka nie została jeszcze w pełni wykorzystana, a gdyby była, wówczas można by było wyżej ocenić skuteczność dotychczasowych regulacji prawnych.

6.2. Czy planowane zmiany w metodologii sporządzania ChEB są uzasadnione?

Planowane zmiany niestety nie odpowiadają na podstawowe problemy i wyzwania, które staraliśmy się przybliżyć w niniejszym artykule oraz w poprzednich pracach, czyli zwiększenie wiarygodności, komunikatywności i użyteczności ChEB. Odrzucanie metody pomiarowej z uwagi na wpływ użytkowników konkretnego obiektu wydaje się nieuzasadnione dla większych budynków. Jak pokazano w pracy [17], w budynkach jednorodzinnych użytkownik odpowiada za ok. 50% wykorzystania energii i wówczas może być trudno porównywać poszczególne technologie, czy efektywność samego budynku (bez użytkowników). Natomiast w przypadku większych budynków metoda zużyciowa jest najbardziej miarodajna (po uwzględnieniu korekty pogodowej i przy analizie kilku lat pomiarów). Ponieważ te budynki są użytkowane przez większą liczbę osób, charakterystyka użytkowników zbliża się do reprezentacji całej populacji. Metoda zużyciowa nie wymaga założeń, które są głównym źródłem błędów w obliczeniach, ale bazuje na rzeczywistym stanie technicznym budynku i zintegrowanych w nim systemów technicznych oraz sposobie użytkowania, który powinien być uwzględniany przez projektantów, a nie arbitralnie narzucany. Małym lecz istotnym krokiem w tym kontekście byłoby uzupełnienie w Metodologii metody zużyciowej o źródła energii inne niż ciepło sieciowe i gaz (np. energię elektryczną czy OZE) oraz sposób analizy tych danych w kontekście warunków meteorologicznych w celu określenia parametrów ChEB.

Wprowadzenie obligatoryjnej analizy dynamicznej wydaje się uzasadnione z dwóch powodów. Pierwszym z nich jest dokładniejsza analiza przegrzewania i zapotrzebowania na chłód. W naszym klimacie dynamika zmian zapotrzebowania na chłód jest na tyle zróżnicowana w ciągu doby, że jedynie metody dynamiczne są ją w stanie uchwycić. Z drugiej strony celem polityki energetycznej powinno być unikanie aktywnego chłodzenia. Regulacje prawne powinny raczej promować unikanie przegrzewania pomieszczeń,

a temu akurat proponowane zmiany nie służą, ponieważ nie uwzględniają analizy tego zjawiska w wyznaczaniu ChEB.

Po drugie w przypadku budynków energooszczędnych, ciepło zmagazynowane w masie termicznej budynku (konstrukcji budynku) ma znaczny udział w dobowym bilansie cieplnym obiektu. Obrazowo można oszacować, że w przypadku obiektów o standardzie NF40 obniżenie temperatury masy termicznej budynku o 1K może pokryć około 25% średniodobowego zapotrzebowania na ciepło budynku w sezonie ogrzewczym. Jednak problem polega na tym, że w powszechnie wykorzystywanych programach do dynamicznej (godzinowej) analizy energetycznej budynków występuje narzędzie, które umożliwia wyznaczenie zapotrzebowania na ciepło (lub chłód) przy założeniu idealnego systemu sterowania. W ten sposób w ramach symulacji komputerowych energia jest doprowadzana (lub odprowadzana) w taki sposób, aby utrzymać idealnie zadaną temperaturę wewnętrzną. Sprawność systemu sterowania, dystrybucji, źródła są uwzględniane w ten sam sposób jak w metodzie statycznej: przez współczynniki sprawności określone w tabelach, co również jest dość dużym uproszczeniem, bazującym na ogólnych założeniach. Takie podejście ogranicza potencjał wykorzystania możliwości analiz dynamicznych i dynamiki budynków energooszczędnych. W propozycji nowej metodologii przyjęto, że dla budynków jedno- i wielorodzinnych, wyposażonych zwykle tylko w system ogrzewczy, można zastosować do obliczeń energetycznych metodę statyczną. Wydaje się jednak, że takie uproszczenie ma sens również dla budynków o innych funkcjach, które są wyposażone w tylko jeden system ogrzewczy. Bardziej celowe byłoby rozróżnienie metod obliczeniowych dla zapotrzebowania na ciepło i chłód lub standardowych i nowych rozwiązań technicznego wyposażenia budynku czy jego sterowania. Metody dynamiczne byłyby wymagane do określania zapotrzebowania na chłód czy oceny ryzyka przegrzewania, a także w przypadku nie typowych rozwiązań instalacyjnych w celu udokumentowania nie tylko energii użytkowej, ale również sprawności tych rozwiązań.

Należy pamiętać, że programy do analiz dynamicznych są znaczenie bardziej złożone, wymagają większej liczby założeń co powoduje, że występuje większe ryzyko błędnego wyniku [18], [19]. Kolejną rzeczą jest fakt że model modelowi nie równy, również w przypadku narzędzi uwzględniających dynamikę cieplną. Zakula i in. [20] wykazali że nowy dynamiczny (godzinowy) model z normy [21] nie jest tożsamy z modelami w dostępnych komercyjnie programach (np. TRNSYS, DesignBuilder, IES VE) i daje dość znacząco różne wyniki niż np. te z programu TRNSYS. Edukacja w zakresie obsługi narzędzi oraz w zakresie fizyki budownictwa i podstaw działania systemów HVAC może odgrywać równie istotną rolę, co wybór odpowiedniego modelu obliczeniowego. Wykorzystanie bardziej skomplikowanych narzędzi przez zbyt mało świadomych/niedoświadczonych inżynierów, może przynieść odwrotny skutek do zakładanego i pogłębić różnice między wynikami obliczeń, a rzeczywistością.

6.3. Jaka metoda wyznaczania charakterystyki energetycznej byłaby najlepsza?

Według Autorów jesteśmy w pół kroku między połączeniem obliczeniowej i zużyciowej charakterystyki energetycznej. Przeprowadzenie tego procesu w ramach odpowiednio przygotowanego narzędzia informatycznego,

ogólnie dostępnego, mogłoby się przyczynić do znacznego zwiększenia komunikatywności, wiarygodności i użyteczności ChEB. Obecnie powinno się zwiększyć wysiłki na rzecz przygotowania tego narzędzia. Polska dysponuje szerokim zapleczem eksperckim i wykorzystanie potencjału uczelni technicznych w tym zakresie byłoby wskazane. Pewne próby dopracowania metody zużyciowej zostały podjęte np. w projekcie *Kompleksowa diagnostyka cieplna in situ budynków. Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków*, który był realizowany około 10 lat temu przez Politechnikę Śląską na zlecenie NCBR [22-24]. Szkoda, że tego typu opracowania nie doczekały się szerokiej dyskusji w środowisku, ani dalszych badań i implementacji. Zdaniem autorów potrzebna jest integracja środowiska osób i instytucji, które zajmują się doskonaleniem narzędzi obliczeniowych ChEB, a także wykorzystujących te narzędzia, w celu ujednolicenia metod, a także opracowania wiarygodnego narzędzia do obliczania ChEB, które pozwoliłoby na uzyskanie urealnionych prognoz efektów inwestycji w nowoczesne systemy HVAC w budynkach projektowanych czy usprawnień termomodernizacyjnych w budynkach istniejących, a w konsekwencji obniżenie wykorzystania energii przez zasoby budowlane w kraju i obniżenie kosztów eksploatacji.

LITERATURA

- [1] Minister Inwestycji i Rozwoju, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, 2015.
- [2] Prekonsultacje zmian regulacji w zakresie wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz wzorów świadectw charakterystyki energetycznej – Ministerstwo Rozwoju i Technologii – Portal Gov.pl, (n.d.). <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/Prekonsultacje-zmian-regulacji-w-zakresie-wyznaczania-charakterystyki-energetycznej-budynku-lub-czesci-budynku-oraz-wzorow-swiadectw-charakterystyki-energetycznej> (accessed September 26, 2023).
- [3] Bandurski K., K. Ratajczak, Ł. Amanowicz. 2021. „Różnica między obliczeniowym i pomiarowym wykorzystaniem energii do ogrzewania w budynkach wielorodzinnych”, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*. 12 (52): 12-16. <https://doi.org/10.15199/9.2021.12.2>
- [4] Bandurski K., K. Ratajczak, Ł. Amanowicz. 2021. „Transformacja energetyczna a Metodologia sporządzania charakterystyki energetycznej budynków”, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*. 9(52): 20-26. <https://doi.org/10.15199/9.2021.10.3>
- [5] Ratajczak K., K. Bandurski, Ł. Amanowicz, J. Brzeziński 2022. „Różnice między obliczeniowym i zmierzonym zużyciem energii do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej na przykładzie budynków jednorodzinnych”, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*. 4(53): 3-9. <https://doi.org/10.15199/9.2022.4.1>
- [6] Bandurski K., Amanowicz Łukasz, Ratajczak Katarzyna. 2022. „Zintegrowane wykorzystanie charakterystyki energetycznej budynków w polityce energetycznej”, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 1(53): 22-27. <https://doi.org/10.15199/9.2022.12.4>
- [7] Kwiatkowski J. 2020. „Zarys koncepcji zmian metodyki wyznaczania świadectw charakterystyki energetycznej w Polsce”, *Warunki Techniczne.PL*. (3): 51-55. <https://magazyn.warunkitechniczne.pl/spis-tresci-numeru/34>
- [8] Ministerstwo Rozwoju i Technologii, Centralny rejestr charakterystyki energetycznej budynków, (n.d.). <https://rejestrchb.mrpit.gov.pl/> (accessed October 13, 2021).
- [9] Dermentzis G., F. Ochs, M. Gustafsson, T. Calabrese, D. Siegele, W. Feist, C. Dipasquale, R. Fedrizzi, C. Bales. A comprehensive evaluation of a monthly-based energy auditing tool through dynamic simulations, and monitoring in a renovation case study, *Energy Build.* 183 (2019) 713-726. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2018.11.046>
- [10] Van der Veken J., D. Saelens, G. Verbeek, H. Hens. Comparison of steady-state and dynamic building energy simulation programs, in: *Proceedings of the International Buildings IX ASHREA Conference on the Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings*, Clearwater Beach, Florida 2004, 2004.

- [11] Kokogiannakis G., P. Strachan, J. Clarke. 2008. Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context, *J Build Perform Simul.* (1):209-219. <https://doi.org/10.1080/19401490802509388>
- [12] Johnston D., M. Siddall, O. Ottinger, S. Peper, W. Feist. 2020. „Are the energy savings of the passive house standard reliable? A review of the as-built thermal and space heating performance of passive house dwellings from 1990 to 2018”, *Energy Efficiency.* (13): 1605-1631. <https://doi.org/10.1007/s12053-020-09855-7>
- [13] Cholewa T., C.A. Balaras, S. Nižetić, A. Siuta-Olcha. 2020. „On calculated and actual energy savings from thermal building renovations – Long term field evaluation of multifamily buildings”. *Energy Build.* (223): 110145. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2020.110145>
- [14] Cozza S., J. Chambers, A. Brambilla, M.K. Patel. 2021. „In search of optimal consumption: A review of causes and solutions to the Energy Performance Gap in residential buildings”, *Energy Build.* (249): 111253. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2021.111253>
- [15] Szczechowiak E., M. Szymański, K. Czerpińska, Ł. Malewski, R. Górzeński. 2022. „Niemal zeroenergetyczny budynek użyteczności publicznej – case study budynku Wydziału Architektury i Wydziału Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej (WaiWIZ PP)”, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja.* 12 (53):15-21. <https://doi.org/10.15199/9.2022.12.3>
- [16] Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, Centralna Ewidencja Emisyjności Budynków, (n.d.). <https://www.gunb.gov.pl/strona/centralna-ewidencja-emisyjnosci-budynkow-faq> (accessed October 13, 2021).
- [17] P. van den Brom, A.R. Hansen, K. Gram-Hanssen, A. Meijer, H. Vischer. 2019. Variances in residential heating consumption – Importance of building characteristics and occupants analysed by movers and stayers, *Appl Energy.* (250): 713-728. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.078>
- [18] Beausoleil-Morrison I. 2019. „Learning the fundamentals of building performance simulation through an experiential teaching approach”, *J Build Perform Simul.* (12): 308-325. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1479773>
- [19] Strachan P, K. Svehla, I. Heusler, M. Kersken. 2016. „Whole model empirical validation on a full-scale building”, *J Build Perform Simul.* (9): 331-350. <https://doi.org/10.1080/19401493.2015.1064480>
- [20] Zakula T, M. Bagaric, N. Ferdelj, B. Milovanovic, S. Mudrinic, K. Ritosa. 2019. „Comparison of dynamic simulations and the ISO 52016 standard for the assessment of building energy performance”, *Appl Energy.* (254): 113553. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.113553>
- [21] PN-EN ISO 52016-1:2017-09, Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia, wewnętrzne temperatury oraz jawne i utajone obciążenia cieplne – Część 1: Procedury obliczania, n.d.
- [22] D. Bartosz, A. Specjał, Estimation Of The Seasonal Demand For Cooling Based On The Short-Term Data, Architecture, Civil Engineering, Environment. 10 (2017) 133–143. <https://doi.org/10.21307/ACEE-2017-027>.
- [23] J. Ferdyn-Grygierek, D. Bartosz, A. Specjał, K. Grygierek, Analysis of Accuracy Determination of the Seasonal Heat Demand in Buildings Based on Short Measurement Periods, *Energies* 2018, Vol. 11, Page 2734. 11 (2018) 2734. <https://doi.org/10.3390/EN11102734>.
- [24] A. Specjał, D. Bartosz, Determination of the seasonal heat consumption based on the short-term measurements in the building, *J Build Phys.* 40 (2016) 544–560. <https://doi.org/10.1177/1744259116637617>

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT

ponad 70 LAT NA RYNKU

34 TYTUŁY

150 000 PUBLIKACJI

Bądź bardziej EKO

KORZYSTAJ Z ZASOBÓW
PORTALU INFORMACJI TECHNICZEJ

in
ig
f

**dr. hab. inż. MICHAŁ TURSKI**

ORCID ID: 0000-0002-4341-3062
Osoba do kontaktu
michal.turski@pcz.pl
Wydział Infrastruktury i Środowiska,
Katedra Zaawansowanych Technologii
Energetycznych
Politechnika Częstochowska

**mgr inż. ARKADIUSZ KĘPA**

ORCID ID: 0000-0001-5312-024X
Projektowanie i nadzory
mgr inż. Sławomir Olszewski
ul. Uniwersytecka 33/35, 90-233, Łódź

Systemy zaopatrzenia budynku w energię, a spełnienie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

Energy Supply Systems of Buildings and the Fulfillment of Technical Conditions to be Met By Buildings and Their Location

Słowa kluczowe: charakterystyka energetyczna, budynki energooszczędne, warunki techniczne, systemy instalacyjno-budowlane, zrównoważony rozwój

Streszczenie

Jakie aspekty są istotne przy doborze źródeł energii, uwzględniając spełnienie wymagań warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, pod kątem wartości wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP? Czy jest to jedyne i obiektywne kryterium wyboru optymalnego rozwiązania? Czy może dojść do nadużyć przy doborze źródeł ciepła, kiedy priorytetem jest spełnienie wymagań EP?

Celem przeprowadzonej analizy było porównanie systemów zaopatrzenia budynku w energię pod kątem spełnienia aktualnych wymagań zawartych w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, dla budynku mieszkalnego jednorodzinnego oraz wskazanie preferowanych rozwiązań.

Porównanych zostało 9 konfiguracji systemów zaopatrzenia budynków w energię. Konfiguracja systemów była zróżnicowana w kategoriach mocy i rodzaju źródła, rodzaju paliwa, lokalizacji źródła, regulacji i izolacji systemu, sposobu podgrzewu c.w.u., rodzaju wentylacji oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Obliczenia zapotrzebowania na energię użytkową, końcową oraz pierwotną dla każdego z wariantów wykonano za pomocą oprogramowania Audytor OZC 7.0 Pro.

Spośród analizowanych systemów najefektywniejszymi wariantami pod względem wskaźnika EP były rozwiązania oparte na biomase. Można wśród nich wyróżnić węzeł ciepłny z ciepłem z kogeneracji z wykorzystaniem biomasy i wartością EP wynoszącą 16,6 kWh/(m²·rok), kocioł na pellet drzewny z automatycznym podajnikiem i wartością EP wynoszącą 27,8 kWh/(m²·rok) oraz kominek z płaszczem wodnym i zamkniętą komorą spalania i wartością EP wynoszącą 34,9 kWh/(m²·rok). Do pozostałych systemów, których zastosowanie umożliwiało spełnienie aktualnych wymagań można zaliczyć: pompę ciepła grunt-woda, pompę ciepła powietrze-woda oraz węzeł ciepłny z ciepłem pochodzącym z kogeneracji, gdzie paliwem był węgiel lub gaz.

Keywords: energy performance, energy-saving buildings, technical conditions, building-installation systems, sustainable development

Abstract

What aspects are important when designing energy sources, taking into account meeting the requirements of technical conditions that buildings and their location should meet, in terms of the value of the demand for non-renewable primary energy EP value? Is this the only and objective criterion for selecting the optimal solution? Can there be abuses in the design of heat sources when the priority is to meet EP requirements?

Aim: The aim of the analysis was to compare building energy supply systems in terms of meeting the current requirements contained in the regulation of the Minister of Infrastructure on the technical conditions to be met by buildings and their location for a single-family residential building and to indicate preferred solutions.

Nine configurations of building energy supply systems were compared. The configuration of the systems varied in terms of power and source type, fuel type, source location, system regulation and insulation, hot water heating method, ventilation type and the use of renewable energy sources. Calculations of the demand for useful, final and primary energy for each variant were made using Audytor OZC 7.0 Pro software.

Among the analyzed systems, the most effective variants in terms of the EP index were solutions based on biomass. These include a district heating substation with heat from cogeneration using biomass and an EP value of 16.6 kWh/(m²·year), a wood pellet boiler with an automatic feeder and an EP value of 27.8 kWh/(m²·year) and a fireplace with a water jacket and a closed combustion chamber and an EP value of 34.9 kWh/(m²·year). Other systems that were possible to meet the current requirements include: a ground-water heat pump, an air-water heat pump and a district heating substation with heat from cogeneration, where the fuel was coal or gas.

© 2006-2023 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
All right reserved

1. Wstęp

Wybór technologii, kierując się zasadami zrównoważonego rozwoju, jest jednym z najważniejszych celów na potrzeby ochrony przed negatywnymi skutkami zmian klimatycznych [12]. Realizacja Polityki Energetycznej do 2050 roku powinna ułatwić transformację systemu elektroenergetycznego opartego na węglu w kierunku bardziej zrównoważonych i zróżnicowanych źródeł energii [11]. Wsparcie finansowe stwarza realne możliwości przejścia w kierunku odnawialnych źródeł energii (OZE) [5]. Istotne jest jednak aby optymalnie dobierać źródła energii biorąc pod uwagę opinię publiczną i jej możliwości materialne [3]. Jest to szczególnie ważne gdyż rynek energetyczny w Polsce pozostaje silnie uzależniony od paliw kopalnych, w szczególności od węgla, bardziej niż w pozostałych krajach Unii Europejskiej. Szacuje się, że w Polsce za 38% zużytej energii i 33% udział w emisji gazów cieplarnianych odpowiadają budynki [1]. Z tego względu głównym celem polityki Unii Europejskiej tzw. „Zielonego Ładu” jest transformacja w kierunku osiągnięcia do 2050 roku neutralności klimatycznej, w której stosuje się zasady gospodarki w obiegu zamkniętym, zrównoważonego rozwoju i konkurencyjności [13]. Również dla każdego z nas powinno oznaczać to prawo do posiadania przystępnych cenowo, zdrowych budynków, przy równoczesnej ochronie dziedzictwa kulturowego [2].

Z uwagi na powyższe uwarunkowania obecna polityka ekologiczna Unii Europejskiej jest coraz bardziej rygorystyczna i nakłada ogromną presję na istniejące i nowo budowane obiekty budowlane [6]. Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP) zmienił się bardzo dynamicznie w ostatnich latach. Od 1 stycznia 2014 roku mógł maksymalnie wynosić 120 kWh/(m²·rok), trzy lata później – od 1 stycznia 2017 roku już tylko 95 kWh/(m²·rok), by docelowo od 1 stycznia 2021 roku mógł osiągnąć maksymalną wartość 70 kWh/(m²·rok) dla budynków jednorodzinnych [7].

Taka sytuacja powoduje konieczność stosowania w budownictwie nowoczesnych materiałów o wysokiej izolacyjności cieplnej oraz systemów dostarczania energii do budynków wspieranych dodatkowo energią z OZE [10]. Sprawia to, że tradycyjne źródła bez dodatkowych, często kosztownych instalacji, nie spełniają aktualnych wymagań maksymalnej wartości EP [14]. Do rozwiązań umożliwiających wykorzystanie tradycyjnych źródeł należą hybrydowe systemy ogrzewania, np. połączenia tradycyjnych źródeł ciepła z wentylacją mechaniczną i panelami fotowoltaicznymi [4]. Wymusza to stosowanie rozwiązań droższych, które w dobie rosnących cen i braku dostępności towaru tworzą napięcia na linii projektant – wykonawca – inwestor. Niejednokrotnie priorytetem staje się spełnienie wymagań względem wskaźnika EP, a nie obiektywna poprawa efektywności systemu budowlano-instalacyjnego.

Dlatego też celem przeprowadzonej analizy było porównanie systemów zaopatrzenia budynku w energię pod kątem spełnienia aktualnych wymagań w zakresie EP, które są zawarte w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, dla budynku mieszkalnego jednorodzinnego oraz wskazanie preferowanych rozwiązań.

2. Metodyka

W artykule zostały porównane systemy zaopatrzenia budynku w ciepło w zależności od rodzaju paliwa. Zostały wzięte pod uwagę źródła na paliwa kopalne (gaz ziemny, węgiel brunatny, kamienny), energię elektryczną z sieci elektroenergetycznej (grzejniki elektryczne), odnawialne źródła energii (dolne źródła pomp ciepła w postaci powietrzna lub gruntu, kocioł biomasę, panele fotowoltaiczne) oraz ciepło z sieci ciepłowniczej (węzeł ciepły).

Analiza została przeprowadzona pod kątem spełnienia aktualnych wymagań zawartych w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690), Dział X § 328 i § 329 [8], sprowadzających się do nieprzekraczania wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną dla nowo budowanych obiektów mieszkalnych, jednorodzinnych $EP = 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Pozostałymi wskaźnikami, które podlegały analizie były wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową EU oraz wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową EK [9]. Porównanych zostało 9 konfiguracji systemów zaopatrzenia budynków w energię, zwanych dalej wariantami. Konfiguracja systemów była zróżnicowana w kategoriach mocy i rodzaju źródła, rodzaju paliwa, lokalizacji źródła, regulacji i izolacji systemu, sposobu przygotowania c.w.u., rodzaju wentylacji oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Obliczenia zapotrzebowania na energię użytkową, końcową oraz pierwotną dla każdego z wariantów wykonano za pomocą oprogramowania Audytor OZC 7.0 Pro.

2.1. Obiekt analizy

Warunkami odniesienia był budynek mieszkalny jednorodzinny o powierzchni zabudowy 93,55 m², powierzchni całkowitej 183,6 m², powierzchni użytkowej 94,2 m² oraz kubaturze 589,60 m³. Na parterze znajdował się salon z aneksem kuchennym, pomieszczenie techniczne przeznaczone na źródło ciepła oraz garaż jednostanowiskowy. Budynek miał poddasze użytkowe, przeznaczone na sypialnię, garderobę i łazienkę. Budynek był zlokalizowany w III strefie klimatycznej.

Projektowa strata ciepła przez przenikanie wynosiła 3947 W, a projektowa wentylacyjna strata ciepła wynosiła 3428 W przy zastosowaniu wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła lub 7777 W przy zastosowaniu wariantu z wentylacją grawitacyjną. Zatem całkowita projektowa strata ciepła przy zastosowaniu wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła wynosiła 7415 W lub 11724 W przy zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej.

Z uwagi na to, że konstrukcja przegród budowlanych nie jest kluczowym elementem tego artykułu wybrano budynek, który spełnia aktualne wymagania dotyczące wartości współczynników przenikania ciepła. Wartości współczynników przenikania ciepła dla poszczególnych przegród budowlanych zostały zestawione w tabeli 1.

2.2. Warianty systemów zaopatrzenia budynku w energię

W analizie zostały wykorzystane alternatywne warianty systemów zaopatrzenia budynku w energię. W przypadku niespełnienia wymaganego EP dodano kolejny wariant z udziałem kominka z zamkniętą komorą spalania w celu sprawdzenia, czy analizowany system jest w stanie w ogóle

TABELA 1. Wartości współczynników przenikania ciepła dla poszczególnych przegród budowlanych obiektu analizy**TABLE 1.** Values of heat transfer coefficients for individual building partitions of the analyzed object.

Nazwa przegrody	Współczynnik przenikania ciepła, U , $W/(m^2 \cdot K)$
Drzwi wewnętrzne	2,500
Drzwi zewnętrzne	1,300
Dach	0,147
Okno dachowe	1,100
Okno	0,900
Podłoga garażu	0,296
Podłoga domu	0,241
Ściana wewnętrzna gr. 12 cm	1,478
Ściana wewnętrzna gr. 25 cm	0,912
Ściana wewnętrzna gr. 44 cm	0,197
Strop garażu	0,506
Strop domu	0,879

spełnić aktualne wymagania, co do wskaźnika EP budynku. W takim przypadku określono jaki procent odnawialnego źródła ciepła jest do tego niezbędny. W celu przejrzystości wyników w zestawieniu nadano nazwy skrótowe wariantów, używane na wykresie (rys. 1). Poniżej zostały zdefiniowane poszczególne warianty analizy.

Wariant 1 zakładał wykorzystanie kompaktowego węzła ciepłego c.o. z obudową oraz mocą nieprzekraczającą 100 kW z ciepłem pochodzącym z kogeneracji, gdzie wykorzystywane było paliwo w postaci węgla kamiennego lub gazu *Węzeł c.o. węgiel gaz* [I]. Wariant ten zakładał lokalizację źródła ciepła w ogrzewanym budynku, pełną izolację oraz regulację, bez zasobnika buforowego. C.w.u. była przygotowywana centralnie. Standardowo została zastosowana wentylacja mechaniczna przy udziale paneli fotowoltaicznych zapewniających pokrycie 40% zapotrzebowania na energię elektryczną. Wariantowość tego rozwiązania polegała na zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej *Węzeł c.o. węgiel gaz* [II] oraz udziale paneli fotowoltaicznych zapewniających pokrycie 40% zapotrzebowania na energię elektryczną. *Węzeł c.o. węgiel gaz* [III] to rozwiązanie, w którym zastosowano jedynie wentylację grawitacyjną. Dla powyższego systemu przygotowano dodatkowy wariant z 20% udziałem kominka na biomasę z zamkniętą komorą spalania zasilającego instalację centralnego ogrzewania *Węzeł c.o. węgiel gaz* [IIIr]. Układ ten został dodatkowo uzupełniony o bufor w systemie ogrzewczym o parametrach 70/55°C.

Wariant 2 zakładał wykorzystanie węzła ciepłego c.o. z ciepłem pochodzącym z kogeneracji, gdzie wykorzystywane było paliwo w postaci biomasy lub biogazu *Węzeł c.o. biomasa gaz* [I]. Pozostałe parametry zostały przyjęte podobnie jak w wariantcie 1. Podobnie jak w wariantcie 1 wariantowość tego rozwiązania polegała na zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej przy udziale paneli fotowoltaicznych zapewniających pokrycie 40% zapotrzebowania na energię elektryczną *Węzeł c.o. biomasa gaz* [II]. *Węzeł c.o. biomasa gaz* [III] to rozwiązanie, w którym zastosowano wyłącznie wentylację grawitacyjną.

Wariant 3 zakładał wykorzystanie kotła gazowego na gaz ziemny *Kocioł gaz* [I]. Przyjęto kocioł gazowy kondensacyjny o mocy cieplnej do 50 kW (55/45°C). Pozostałe parametry zostały przyjęte podobnie jak w wariantcie 1, z różnicą w wykorzystaniu zasobnika c.w.u. – zastosowano zasobnik

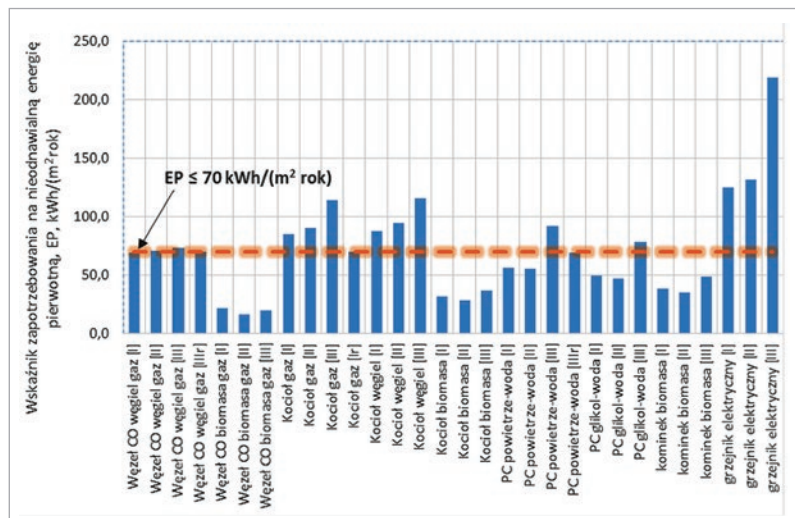
wyprodukowany po 2005 r. Podobnie jak w wariantcie 1 wariantowość tego rozwiązania polegała na zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej przy udziale paneli fotowoltaicznych zapewniających pokrycie 40% zapotrzebowania na energię elektryczną *Kocioł gaz* [II]. *Kocioł gaz* [III] to rozwiązanie, w którym zastosowano jedynie wentylację grawitacyjną. Dla pierwszego wariantu powyższego systemu przygotowano dodatkowy z 50% udziałem kominka na biomasę z zamkniętą komorą spalania zasilającego instalację centralnego ogrzewania *Kocioł gaz* [Ir]. Układ ten został dodatkowo uzupełniony o bufor w systemie ogrzewczym o parametrach 70/55°C.

Wariant 4 zakładał wykorzystanie kotła węglowego na węgiel kamienny *Kocioł węgiel* [I]. Do analizy przyjęto kocioł węglowy wyprodukowany po 2000 r. Pozostałe parametry zostały przyjęte podobnie jak w wariantcie 1, z różnicą w wykorzystaniu zasobnika c.w.u. – zastosowano zasobnik wyprodukowany po 2005 r. Podobnie jak w wariantcie 1 wariantowość tego rozwiązania polegała na zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej oraz udziale paneli fotowoltaicznych zapewniających pokrycie 40% zapotrzebowania na energię elektryczną *Kocioł węgiel* [II]. *Kocioł węgiel* [III] to rozwiązanie, w którym zastosowano wyłącznie wentylację grawitacyjną.

Wariant 5 zakładał wykorzystanie kotła na biomasę o mocy cieplnej do 100 kW z automatycznym podajnikiem *Kocioł biomasa* [I]. Pozostałe parametry zostały przyjęte podobnie jak w wariantcie 1, z różnicą w dodatkowym zastosowaniu bufora w systemie c.o. o parametrach 70/55°C oraz zasobnika c.w.u. – zastosowano zasobnik wyprodukowany po 2005 r. Podobnie jak w wariantcie 1 wariantowość tego rozwiązania polegała na zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej oraz udziale paneli fotowoltaicznych zapewniających pokrycie 40% zapotrzebowania na energię elektryczną *Kocioł biomasa* [II]. *Kocioł biomasa* [III] to rozwiązanie, w którym zastosowano jedynie wentylację grawitacyjną.

Wariant 6 zakładał wykorzystanie pompy ciepła typu powietrze/woda *PC powietrze-woda* [I]. Pozostałe parametry zostały przyjęte podobnie jak w wariantcie 1, z różnicą w dodatkowym zastosowaniu bufora w systemie c.o. o parametrach 70/55°C oraz zasobnika c.w.u. – zastosowano zasobnik wyprodukowany po 2005 r. Podobnie jak w wariantcie 1 wariantowość tego rozwiązania polegała na zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej oraz udziale paneli fotowoltaicznych zapewniających pokrycie 40% zapotrzebowania na energię elektryczną *PC powietrze-woda* [II]. *PC powietrze-woda* [III] to rozwiązanie, w którym zastosowano wyłącznie wentylację grawitacyjną. Dla trzeciego wariantu powyższego systemu przygotowano dodatkowy wariant z 75% udziałem kominka na biomasę z zamkniętą komorą spalania zasilającego instalację centralnego ogrzewania *PC powietrze-woda* [IIIr]. Układ ten został dodatkowo uzupełniony o bufor w systemie ogrzewczym o parametrach 70/55°C. Jednak należy zauważyć, że tak wysoki udział źródła ciepła sprawia, że staje się ono źródłem głównym. Obliczenia przeprowadzono wyłącznie w celach poglądowych.

Wariant 7 zakładał wykorzystanie pompy ciepła typu grunt/woda o parametrach pracy 55/45°C *PC grunt-woda* [I]. Pozostałe parametry zostały przyjęte podobnie jak w wariantcie 1, z różnicą w dodatkowym zastosowaniu bufora w systemie c.o. o parametrach 55/45°C oraz zasobnika c.w.u. – zastosowano zasobnik wyprodukowany po 2005 r. Podobnie jak w wariantcie 1 wariantowość tego rozwiązania polegała



Rys. 1. Zestawienie systemów zasilania budynku w energię pod względem wartości EP
Fig. 1. List of building energy supply systems in terms of EP value

na zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej oraz udziale paneli fotowoltaicznych zapewniających pokrycie 40% zapotrzebowania na energię elektryczną *PC grunt-woda* [II]. *PC grunt-woda* [III] to rozwiązanie, w którym zastosowano wyłącznie wentylację grawitacyjną.

Wariant 8 zakładał wykorzystanie kominka z płaszczem wodnym z paliwem w postaci biomasy *Kominek biomasa* [I]. Pozostałe parametry zostały przyjęte podobnie jak w wariantcie 1, z różnicą w dodatkowym zastosowaniu bufora w systemie c.o. o parametrach 70/55°C oraz zasobnika c.w.u. – zastosowano zasobnik wyprodukowany po 2005 r. Podobnie jak w wariantcie 1 wariantowość tego rozwiązania polegała na zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej oraz udziale paneli fotowoltaicznych zapewniających pokrycie 40% zapotrzebowania na energię elektryczną *Kominek biomasa* [II]. *Kominek biomasa* [III] to rozwiązanie, w którym zastosowano jedynie wentylację grawitacyjną.

Wariant 9 zakładał wykorzystanie elektrycznych grzejników bezpośrednich, zlokalizowanych w pomieszczeniach bez dodatkowego zasobnika buforowego c.o. *Grzejnik elektryczny* [I]. C.w.u. była przygotowywana centralnie w elektrycznym, akumulacyjnym zasobniku c.w.u. – zastosowano zasobnik wyprodukowany po 2005 r. Podobnie jak w wariantcie 1 wariantowość tego rozwiązania polegała na zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej oraz udziale paneli fotowoltaicznych zapewniających pokrycie 40% zapotrzebowania na energię elektryczną *Grzejnik elektryczny* [II]. *Grzejnik elektryczny* [III] to rozwiązanie, w którym zastosowano jedynie wentylację grawitacyjną.

3. Wyniki analizy

Zbiorcze zestawienie porównania wszystkich systemów zaopatrzenia budynku w energię, przedstawiono na rysunku 1 oraz w tabeli 2. W tabeli 2 dodatkowo zaznaczono systemy, które spełniają aktualne wymagania EP poniżej 70 kWh/(m²·rok).

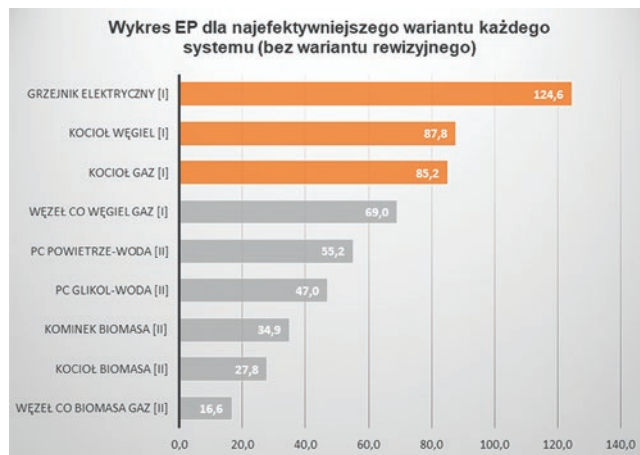
Na rysunku 2 zostały porównane najefektywniejsze warianty systemów zaopatrzenia budynku w energię pod względem wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną oraz spełnienia warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, EP poniżej 70 kWh/(m²·rok).

Najefektywniejsze warianty pod względem wskaźnika EP były oparte na biomase. Można wśród nich wyróżnić węzeł ciepły do celów c.o. z ciepłem pochodzącym z kogeneracji, gdzie paliwem była biomasa lub biogaz (w wariantcie drugim), dla którego rozwiązania wartość EP wyniosła 16,6 kWh/(m²·rok). Również rozwiązanie wykorzystujące kocioł na pellet drzewny z automatycznym podajnikiem w wariantcie drugim charakteryzowało się korzystną wartością EP wynoszącą 27,8 kWh/(m²·rok). Kolejnym rozwiązaniem był kominek z płaszczem wodnym i zamkniętą komorą spalania w wariantcie drugim z osiągniętą wartością EP na poziomie 34,9 kWh/(m²·rok). Do pozostałych systemów, których zastosowanie umożliwiałoby spełnienie aktualnych wymagań można zaliczyć: pompę ciepła grunt-woda w wariantcie drugim (EP = 47,0 kWh/(m²·rok)), pompę ciepła powietrze-woda w wariantcie drugim

(EP = 55,2 kWh/(m²·rok) oraz węzeł ciepły do celów c.o. z ciepłem pochodzącym z kogeneracji, gdzie paliwem był węgiel lub gaz (EP = 69,0 kWh/(m²·rok)). Aktualnych wymagań

TABELA 2. Zestawienie systemów zasilania budynku w energię
TABLE 2. List of building energy supply systems.

Wariant (skrót)	EU kWh/(m²·rok)	EK kWh/(m²·rok)	EP kWh/(m²·rok)
Węzeł c.o. węgiel gaz [I]	56,8	80,0	69,0
Węzeł c.o. węgiel gaz [II]	65,4	85,5	70,4
Węzeł c.o. węgiel gaz [III]	65,4	85,5	73,2
Węzeł c.o. węgiel gaz [IIIr]	65,4	91,4	69,4
Węzeł c.o. biomasa gaz [I]	56,8	80,0	21,6
Węzeł c.o. biomasa gaz [II]	65,4	85,5	16,6
Węzeł c.o. biomasa gaz [III]	65,4	85,5	19,5
Kocioł gaz [I]	56,8	94,5	85,2
Kocioł gaz [II]	65,4	97,5	89,9
Kocioł gaz [III]	65,4	99,7	113,7
Kocioł gaz [Ir]	56,8	103,4	69,8
Kocioł węgiel [I]	56,8	94,1	87,8
Kocioł węgiel [II]	65,4	101,4	94,2
Kocioł węgiel [III]	65,4	101,4	115,6
Kocioł biomasa [I]	56,8	108,4	31,2
Kocioł biomasa [II]	65,4	118,9	27,8
Kocioł biomasa [III]	65,4	118,9	36,9
PC powietrze-woda [I]	56,8	37,4	56,1
PC powietrze-woda [II]	65,4	36,8	55,2
PC powietrze-woda [III]	65,4	36,8	92,0
PC powietrze-woda [IIIr]	65,4	76,5	68,8
PC grunt-woda [I]	56,8	32,8	49,1
PC grunt-woda [II]	65,4	31,3	47,0
PC grunt-woda [III]	65,4	31,3	78,3
Kominek biomasa [I]	56,8	143,8	38,3
Kominek biomasa [II]	65,4	154,3	34,9
Kominek biomasa [III]	65,4	177,9	48,7
Grzejnik elektryczny [I]	56,8	83,0	124,6
Grzejnik elektryczny [II]	65,4	87,8	131,8
Grzejnik elektryczny [III]	65,4	87,8	219,6



Rys. 2. Porównanie najefektywniejszych wariantów systemów zaopatrzenia budynku w energię pod względem EP

Fig. 2. Comparison of the most effective variants of building energy supply systems in terms of EP

prawnych nie spełnił kocioł gazowy: $EP = 85,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, kocioł węglowy oraz ogrzewanie elektryczne.

Należy wspomnieć o specyfice wskaźnika EP, która w znaczący sposób faworyzuje źródła odnawialne. W takim przypadku powstaje dysonans pomiędzy zdecydowanie gorszą sprawnością wytwarzania np. kotła na biomasę lub kominka z płaszczem wodnym oraz np. kotła gazowego o zdecydowanie lepszej sprawności, a wartością współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i , który niwelował te różnice. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku wykorzystania pomp ciepła, których wykorzystanie pozwala na osiągnięcie zadowalających wartości wskaźnika EP z powodu ich wysokich sprawności, pomimo niekorzystnego współczynnika w_i .

Na uwagę zasługuje też stosowanie wariantów poprawiających wartości współczynnika EP. W tym celu najczęściej wykorzystywane jest rozwiązanie z kominkiem z płaszczem wodnym, jako dodatkowego źródła ciepła. Jednak stosowanie takiego rozwiązania do osiągnięcia celu w postaci spełnienia wymagań wskaźnika EP nie jest zasadne w wielu przypadkach, np. dla wariantu kotłem gazowym ten udział musiał już wynosić aż 50% wariant I_r, a dla pompy ciepła powietrze-woda aż 75% wariant III_r.

Przeprowadzona analiza prowadzi do sformułowania następujących wniosków:

1. Ogrzewanie elektryczne przy aktualnych uwarunkowaniach nie było preferowanym systemem, nawet przy 40% udziale odnawialnych źródeł energii zarówno do potrzeb źródła, jak również energii pomocniczej. Wskaźnik EP w najlepszym wariantcie dla tego systemu wyniósł $124,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

2. Źródło ciepła w postaci kotła węglowego jest lepszym rozwiązaniem niż ogrzewanie elektryczne pod względem wskaźnika $EP = 87,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, lecz nadal nie spełnia aktualnych wymagań, co w praktyce dyskwalifikuje je w nowo projektowanych budynkach.

3. Źródło ciepła w postaci kotła gazowego kondensacyjnego jest systemem zaopatrzenia budynku w energię, który wymaga dużego wsparcia dodatkowych źródeł energii opartych na odnawialnych źródłach na poziomie udziału 50% kominka z płaszczem wodnym i 40% systemu PV, aby uzyskać wartość wskaźnika $EP = 69,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ i spełnić tym samym aktualne wymagania.

4. W wypadku pomp ciepła spełnienie aktualnych wymagań oznacza zazwyczaj wsparcie systemów PV na poziomie 40% pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną. Bez wsparcia odnawialnych źródeł wskaźnik EP dla pompy ciepła powietrze-woda wynosił $92,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, a dla pompy ciepła glikol-woda $78,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

5. Systemy zaopatrzenia budynku w energię oparte na biomase odznaczają się bardzo dobrymi parametrami umożliwiającymi spełnienie aktualnych wymagań, nawet bez wsparcia w postaci ogniw fotowoltaicznych. W wariantach bez paneli fotowoltaicznych rozwiązanie z kotłem na biomasę charakteryzowało się wskaźnikiem EP wynoszącym $36,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$, a dla rozwiązania z kominkiem z płaszczem wodnym wartość wskaźnika EP wyniosła $48,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

6. Korzystnymi rozwiązaniami pod względem wartości wskaźnika EP są węzły cieplne pod warunkiem, że źródło systemu ciepłowniczego pracuje w kogeneracji i wykorzystuje paliwa w postaci biomasy lub biogazu. W takim przypadku wartości wskaźnika EP wynosiła od 19,5 do $21,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Dla węzła cieplnego z ciepłem z kogeneracji i paliwem w postaci węgla lub gazu konieczne było wsparcie odnawialnych źródeł w celu spełnienia aktualnych wymagań wskaźnika EP z wynikiem $69,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ dla systemu ogniw fotowoltaicznych z udziałem 40% i wentylacji mechanicznej.

4. Podsumowanie

Obecna forma definiowania wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP sprawia, że preferowanymi systemami pokrywającymi zaopatrzenie na energię budynków i jednocześnie umożliwiającymi spełnienie aktualnych wymagań są systemy oparte na biomase, systemy ciepłownicze z ciepłem pochodzącym z kogeneracji przy udziale paliw w postaci biomasy i biogazu oraz systemy wykorzystujące energię słoneczną, a biorąc pod uwagę dzisiejsze trendy w szczególności ogniw fotowoltaiczne.

Rozwiązaniem równorzędnym jest stosowanie systemów charakteryzujących się wysokimi sprawnościami. Oprócz potencjalnej możliwości spełniania wymagań w zakresie wskaźnika EP rozwiązania cechujące się wysoką sprawnością powodują korzystne wartości wskaźnika EK. Zatem oprócz spełnienia wymagań środowiskowych obniżana jest rzeczywista energochłonność samego systemu. Rozwiązanie takie jest mniej podatne na zmiany w wartościach współczynników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i . Spośród analizowanych wariantów rozwiązania oparte na pompach ciepła powietrze-woda oraz grunt-woda charakteryzowały się niskimi wskaźnikami EK. W efekcie przekładało się to na korzystne wartości wskaźnika EP, choć czasami z wymaganym wsparciem ogniw fotowoltaicznych.

Alternatywnym rozwiązaniem, które można nazwać do-
rażnym, wybieranym często w ostateczności jest użycie dodatkowego źródła ciepła w postaci kominka z zamkniętą komorą spalania. W tym wariantcie nośnikiem energii końcowej jest biomasę z korzystnym współczynnikiem w_i . Należy jednak pamiętać, że pomimo tego, że jest to wariant dający możliwość spełnienia aktualnych wymagań „na papierze” to trudno oczekiwać, że budynek będzie zasilany ze źródła w postaci kominka przez 50% sezonu grzewczego.

Oczywiście oprócz spełnienia wymagań formalnych dotyczących zaopatrzenia budynku w energię pozostaje jeszcze

szereg innych czynników, z których niezwykle istotnym wydaje się aspekt ekonomiczny. Na etapie budowy często właśnie takie kryterium będzie decydowało o wyborze dostępnej technologii a nie najkorzystniejsza wartość wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP, oczywiście mieszcząc się w zakresie spełnienia wymagań dotyczących EP.

Badania naukowe zostały sfinansowane z subwencji statutowej Wydziału Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej

LITERATURA

- [1] Attia S., Kosiński P., Wójcik R., Węglarz A., Koc D., Laurent O. 2022. „Energy efficiency in the polish residential building stock: A literature review”. *Journal of Building Engineering* 45 (103461): 1-18.
- [2] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. 2023. „A Renovation Wave for Europe – greening our buildings, creating jobs, improving lives,” 15 września 2023 [Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0662&from=FR>
- [3] Jałowicz T., Wojtaszek H., Miciuła I. 2022. „Analysis of the Potential Management of the Low-Carbon”. *Energies* 15 (7) 2351: 1-29.
- [4] Juntunen J. K., Martiskainen M. 2021. „Improving understanding of energy autonomy: A systematic review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 141 (110797) : 1-10.
- [5] Khalil M. I., Jhanjhi N. Z., Humayun M., Sivanesan S., Masud M., Hossain M. S. 2021. „Hybrid smart grid with sustainable energy efficient resources for smart cities”. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 46 (101211): 1-7.
- [6] Pożarowski M., Kędzierski P. 2022. „Głęboka termomodernizacja budynku wielorodzinnego”. *Rynek Instalacyjny* 7-8: 29-32.
- [7] Robakiewicz M. 2022. „Audyty energetyczne – zastosowanie – wymagania – metody wykonania” Warszawa: Oficyna Wydawnicza POLCEN: 183-186.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.
- [10] Rubik M. 2023. „Technologia pomp ciepła w transformacji energetycznej ciepłownictwa – wyzwania, zagrożenia i oczekiwania. Część II”. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 4 (53): 3-12.
- [11] Ryńska J. 2022. „Jak zdywersyfikować dostawy ciepła i zoptymalizować koszty eksploatacyjne dzięki ogrzewaniu elektrycznemu”. *Rynek Instalacyjny* 10: 35-40.
- [12] Trzcinski Ł., Turski M. 2022. „Magazynowanie energii elektrycznej w systemie off-grid” *Czysta energia i środowisko* ISBN: 978-83-7193-903-7.
- [13] Trzcinski Ł., Turski M. 2022. „Zmniejszenie emisji zanieczyszczeń przez zastosowanie systemu off-grid z magazynowaniem energii”. *Główny Instytut Górnictwa, Innowacyjna Zielona Gospodarka* 4: 97-107. Praca zbiorowa pod redakcją Marcina Głodnioka, ISBN 978-83-65503-47-3.
- [14] Żuchowski S. 2020. „Kotły kondensacyjne – innowacje i nowości”. *Rynek Instalacyjny* 7-8: 30-31.



**-50%
PRENUMERATA**

**CIEPŁOWNICTWO
OGRZEWNICTWO
WENTYLACJA**

**Gaz, Woda
i Technika Sanitarna**
Gas, Water & Sanitary Engineering



Szanowni Państwo,

członkowie PZITS mogą kupować prenumeratę elektroniczną naszych czasopism z 50% rabatem. W załączeniu kod QR, który prowadzi do strony internetowej opisującej jak otrzymać rabat. Serdecznie zapraszamy do prenumeraty i rozpowszechniania informacji!

Redakcja



**dr hab. inż. DOROTA ANNA KRAWCZYK
prof. PB**

ORCID ID: 0000-0002-3118-2236
Katedra Budownictwa Zrównoważonego
i Instalacji Budowlanych
Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku
Politechnika Białostocka



dr inż. BEATA SADOWSKA

ORCID ID: 0000-0003-2866-3685
Osoba do kontaktu
b.sadowska@pb.edu.pl
Katedra Budownictwa Zrównoważonego
i Instalacji Budowlanych
Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku
Politechnika Białostocka



dr inż. arch. MACIEJ KŁOPOTOWSKI

ORCID: 0000-0001-8714-8953
Katedra Budownictwa Zrównoważonego
i Instalacji Budowlanych
Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku
Politechnika Białostocka

Termomodernizacja budynku przedszkola

Retrofitting of a Kindergarten

Słowa kluczowe: budynek przedszkolny, rzeczywiste eksploatacyjne wskaźniki energii końcowej, skuteczność termomodernizacji, poprawa efektywności energetycznej, budynki bezemisyjne

Streszczenie

Poprawa efektywności energetycznej budynków i wynikająca z niej redukcja emisji CO₂ wpisują się w pakiet działań niezbędnych do osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r., będącej jednym z priorytetów polityki krajów Unii Europejskiej. Najlepsze efekty można uzyskać przy kompleksowym podejściu do termomodernizacji obejmującym oprócz aspektów budowlanych również modernizację instalacji c.o., c.w.u. oraz źródła ciepła, jak również modernizację oświetlenia. Według zapisów dyrektywy o charakterystyce energetycznej pozostała niemal zerowa lub bardzo niska ilość wymaganej energii powinna pochodzić w bardzo wysokim stopniu z energii ze źródeł odnawialnych, w tym energii ze źródeł odnawialnych wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu. Nie zawsze jest to jednak możliwe do wykonania w praktyce. W artykule przedstawiono efekty termomodernizacji przeprowadzonej w dwóch budynkach przedszkola o jednakowej bryle, zlokalizowanych w północno-wschodniej Polsce. Z efektami rzeczywistymi wyznaczonymi na podstawie monitoringu zużycia przed i po modernizacji porównano oszczędności zaplanowane w audytach energetycznych wykonanych na etapie planowania (ex-ante) i po zrealizowaniu inwestycji (ex-post). Zwrócono uwagę na trudności z porównywaniem tych wartości oraz wskazano czynniki na to wpływające. Rzeczywiste eksploatacyjne wskaźniki energii końcowej EK, które po kompleksowej modernizacji ukształtowały się w analizowanych budynkach na poziomie 98,92-113,54 kWh/(m²·rok) wskazują na konieczność dalszej poprawy efektywności energetycznej w kierunku osiągnięcia standardu budynków bezemisyjnych. Efekty energetyczne planowane i rzeczywiste różniły się w analizowanych budynkach o 15,7-27,2%, co wynikało częściowo z braku pomiaru zużycia ciepła zaraz po zrealizowaniu inwestycji (na etapie audytu ex-post.), ale również z konieczności przyjmowania w audytach wartości wielu danych wejściowych, w tym odnośnie profilu użytkowania obiektów. Analiza wykazała zasadność zwiększenia udziału energii odnawialnej w ogólnym bilansie, co również staje się niezbędne w aspekcie konieczności zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego.

Keywords: kindergarten, real operation final energy indicators, effectiveness of retrofitting, improvement of energy efficiency, zero-emission buildings

Abstract

Improvement of the energy efficiency of buildings and related to its reduction of CO₂ emissions fit into the package of actions necessary to achieve climate neutrality by 2050, which is one of the policy priorities of European Union countries. The greatest effects can be achieved with a comprehensive approach to the modernization, including, in addition to construction aspects, also the modernization of heating, hot water, heat sources and lighting. According to the provisions of the Energy Performance Directive, in the almost zero or low energy modern buildings the remaining amount of energy should be generated in the usage of from renewable sources, including energy produced on-site. However, this is not always possible in practice. The paper presents the effects of retrofitting carried out in two kindergartens with the same shape, located in north-eastern Poland. The theoretical savings planned in energy audits performed at the planning stage (ex-ante) and after the investment (ex-post) were compared with the real effects determined on the basis of consumption monitoring before and after modernization. Attention was drawn to the difficulties in comparing these values and the main factors influencing real energy consumption were indicated. The actual operational final energy indicator EK after the comprehensive modernization were found at the level of 98.92-113.54 kWh/(m²·year), that indicates the need to further improve energy efficiency towards achieving the standard of emission-free buildings. The planned and real energy effects differed in the analyzed buildings by 15.7-27.2%, that is partly connected with the lack of measurement of heat consumption immediately after the investment was completed (at the ex-post audit stage), but also as the result of some preliminary assumptions regarding values of many input data in the audits, including the usage profile of the facilities. The analyses showed the need for an increase in the renewable energy share, that is also consistent with the need of ensuring energy security.

© 2006-2023 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
All right reserved

1. Wstęp

Zredukowanie zużycia energii to jedno z wyzwań, które go skuteczna realizacja jest niezbędna do osiągnięcia celów klimatycznych mówiących o zatrzymaniu globalnego ocieplenia na poziomie 1,5 lub 2 stopni względem czasów przedprzemysłowych [1]. Aby to zrealizować postanowiono, że do 2050 r. Unia Europejska (UE) stanie się „neutralna klimatycznie”. Strategię, w postaci Europejskiego Zielonego Ładu [2], mającą zintensyfikować działania umożliwiające osiągnięcie zerowej emisji netto gazów cieplarnianych Komisja Europejska przedstawiła w grudniu 2019 r. Sformułowano w niej nowy unijny cel mówiący o redukcji emisji gazów cieplarnianych netto do 2030 r. o co najmniej 55% w porównaniu z poziomem z 1990 r.

Jednym z sektorów, w którym bezwzględnie należy wprowadzać zmiany jest sektor budownictwa, gdyż ocenia się, że pomimo działań legislacyjnych i środków wdrażanych w ciągu ostatnich 20 lat, które poprawiły efektywność zużycia energii zasobów budowlanych [3], nadal 75% budynków w państwach członkowskich UE jest nieefektywnych energetycznie, a roczny wskaźnik renowacji budynków wynosi zaledwie od 0,4% do 1,2% [4]. W 2020 roku Komisja Europejska (KE) uruchomiła „falę renowacji”, której celem jest podwojenie unijnego rocznego wskaźnika renowacji budynków związanych z energią, wynoszącego 1%, poprzez modernizację 35 milionów budynków do 2030 r. [5].

Jak podkreśla wielu autorów publikacji [6-8] największe efekty można uzyskać przy kompleksowym podejściu do termomodernizacji budynków i osiągnąć zmniejszenie zużycia energii nawet o około 85%. Jednakże często istnieją różnego rodzaju ograniczenia związane z zakresem możliwych do wykonania ulepszeń. Może to być np. brak możliwości technicznych czy wcześniejsza częściowa modernizacja, rok budowy budynku i jego rodzaj, lokalizacja, ale też wysokie nakłady inwestycyjne wpływające na zakres realizowanych prac, dlatego też jakość energetyczna istniejących budynków jest mocno zróżnicowana. Jak wynika z analizy prowadzonej dla budynków szkolnych w Białymstoku, średni eksploatacyjny wskaźnik energii końcowej EK jest na poziomie 135 kWh/(m²·rok) [9], podczas gdy dla grupy budynków mieszkalnych w Lublinie wynosi 86-113 kWh/(m²·rok) [10].

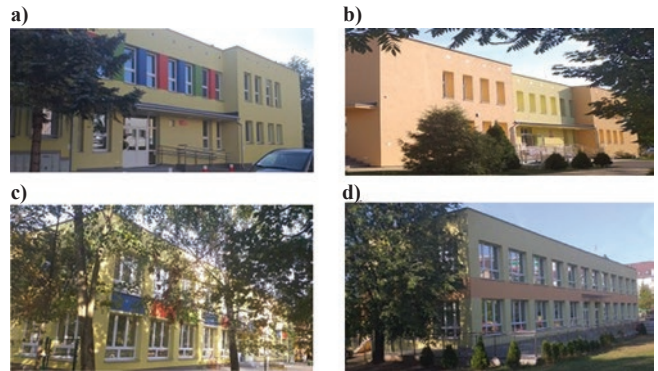
W artykule skupiono się na budynkach przedszkolnych, które wcześniej nie były poddane termomodernizacji.

Głównym celem artykułu jest przedstawienie rzeczywistych eksploatacyjnych wskaźników energii końcowej EK, przed i po modernizacji, dwóch wybranych budynków przedszkoli o takiej samej bryle, w klimacie Polski północno-wschodniej i sprawdzenie możliwości osiągnięcia standardu budynków bezemisyjnych. Dodatkowo porównano osiągnięte efekty w zakresie poprawy efektywności energetycznej z założonymi w audytach energetycznych ze wskazaniem możliwych przyczyn rozbieżności.

2. Metody

2.1. Opis analizowanych budynków przedszkoli

Na terenie Białegostoku działa ponad sto (111) przedszkoli. Wszystkie prowadzą działalność w budynkach wzniesionych lub odbudowanych po II Wojnie Światowej. Cezurą przełomową dla tych obiektów były przemiany ustrojowe i ekonomiczne z przełomu lat 80. i 90. XX wieku. Placówki,



Rys. 1. Elewacje podłużne analizowanych budynków przedszkoli: a) i c) budynek nr 1; b) i d) budynek nr 2

Fig. 1. Longitudinal elevations of the analyzed kindergarten buildings: a) and c) building no. 1; b) and d) building no. 2

które rozpoczęły swą działalność w okresie PRL (do roku 1989) stanowią w tej grupie 56%. Zostały one celowo zaprojektowane według powszechnie obowiązujących normatywnów urbanistycznych i architektonicznych. Regulowały one między innymi: powierzchnie działki, sposób ich zagospodarowania i wyposażenia, program funkcjonalny budynku oraz nasłonecznienie i doświetlenie sal zajęć. Realizowane były na podstawie typowych projektów, które od końca lat 60. preferowały technologie uprzemysłowione. Doprowadziło to do sytuacji, gdzie w różnych lokalizacjach (w skali kraju) powstawały identyczne obiekty. Budynki lokowane były na terenie powstających w tym okresie osiedli mieszkaniowych i miały zapewnić opiekę nad 4–6 grupami przedszkolaków. Właśnie do tej grupy przedszkoli należą wybrane do analizy budynki.

Oba z wybranych do analizy obiekty zlokalizowane są na terenie osiedla Dziesięciny, które budowano na przedmieściach Białegostoku od końca lat 70. do 2 połowy lat 80. XX wieku. Zbudowane zostały one na podstawie projektów typowych, w technologii uprzemysłowionej wielkoblukowej. Obiekty te to dwukondygnacyjne prostopadłościennymi bryły, częściowo podpiwniczone, ze stropodachami wentylowanymi. Wejście główne w obu budynkach ułożone pośrodku jednej z dłuższych elewacji we wnęcie, która powstała dzięki wysunięciu bocznych ryzalitów (rys. 1a i 1b). Przeciwnie ściana budynku to tak zwana elewacja uprzywilejowana wyposażona jest w znaczną liczbę dużych otworów okiennych. Ułożone wzdłuż niej zostały sale zajęć dla dzieci (budynki projektowane były z przeznaczeniem na przedszkola), a w narożnikach budynku sale mają okna wyprowadzone w dwóch kierunkach (rys. 1c i 1d).

Budynek przedszkolny nr 1 zlokalizowany jest na działce o powierzchni ponad 4000 m², zaś powierzchnia samego budynku wynosi 520 m². Znaczna część terenu przedszkola jest bardzo mocno zadrzewiona, co powoduje zacienianie terenu obiektu oraz jego elewacji obiektu. Elewacja uprzywilejowana tego obiektu zwrócona jest w kierunku południowo-zachodnim (rys. 1c).

W przypadku budynku przedszkolnego nr 2 powierzchnia działki wynosi 5060 m², a powierzchnia zabudowy jest analogiczna do wcześniej prezentowanego. W przeciwieństwie do przedszkola nr 1 elewacja uprzywilejowana nie jest zacieniana, skierowana jest w kierunku południowo-wschodnim (rys. 1d). W odróżnieniu od przedszkola nr 1 budynkowi towarzyszy zdecydowanie większy, przylegający do sal dydaktycznych, taras rekreacyjny. Oba przedszkola przeznaczone

są dla 125 dzieci oraz 28 osób personelu. Powierzchnia użytkowa przedszkola nr 1 wynosi 920 m², a przedszkola nr 2: 934,98 m², zaś kubatura odpowiednio 4040,0 m³ i 4011,8 m³.

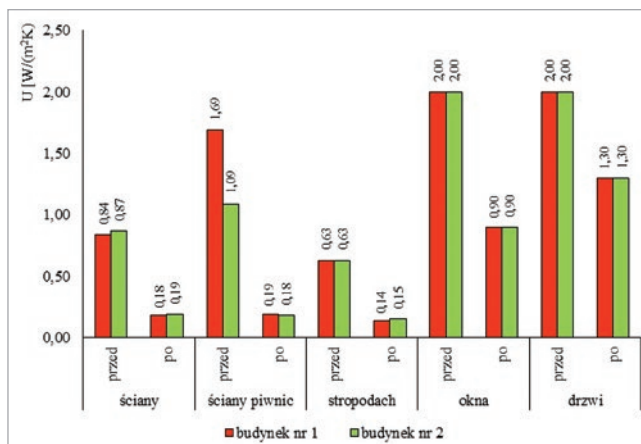
Ściany piwnic budynku nr 1 wykonano z żużlobetonu, zaś budynku nr 2 ze żwirobetonu. Ściany parteru i piętra obu budynków wzniesiono z elementów prefabrykowanych – wielkoblokowych (gr. 42 cm) oraz z gazobetonu (gr. 30 cm). Wszystkie stropy w budynku przedszkola nr 1 to stropy z prefabrykowanych płyt kanałowych, w budynku przedszkola nr 2 strop nad piwnicą typu DZ-3. Stropodachy budynków są wentylowane, pograżone. Konstrukcję nośną części górnej stanowią prefabrykowane płytki korytkowe oparte na murach ażurowych. Dachy kryte są papą. Stropodachy docieplone były pierwotnie płytami z wełny mineralnej o grubości 6 cm. Stolarka okienna i drzwi zewnętrzne z PCV, wyspy na ziemniaki w piwnicach drewniane. Wentylacja w budynkach jest naturalna grawitacyjna.

Ciepło na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej w obu budynkach przygotowywane jest w węźle cieplnym, zasilanym z miejskiej sieci ciepłowniczej w Białymstoku. Węzły wyposażone są w liczniki ciepła, regulację pogodową, o mocach zamówionych 151,2 kW oraz 148,5 kW odpowiednio w budynkach nr 1 i nr 2.

W budynkach instalacja c.o. dwururowa pompowa z rozdziałem dolnym była stara, w złym stanie technicznym, kwalifikującym ją do wymiany. Odpowietrzanie instalacji c.o. odbywało się poprzez centralną sieć odpowietrzającą. Występowały liczne ubytki w izolacji cieplnej. Instalacja nie była wyregulowana hydraulicznie, brak było zaworów termostatycznych co uniemożliwiało regulację wydajności grzejników i wykorzystywanie zysków od nasłonecznienia. Instalacja ciepłej wody w budynku nr 2 wymagała wymiany, zaś w budynku nr 1 jedynie modernizacji w ramach planowanej przebudowy sanitariatów.

2.2. Zastosowane w budynkach przedszkolnych zabiegi termomodernizacyjne

W ramach przygotowania procesu termomodernizacji budynków, w październiku 2018 roku zostały wykonane audyty energetyczne [11], w przygotowaniu których brał



Rys. 2. Współczynniki przenikania ciepła przegród analizowanych budynków przedszkolnych przed i po termomodernizacji

Fig. 2. Heat transfer coefficients of external envelope of analyzed kindergarten buildings before and after thermal modernization

udział jeden z autorów artykułu. Określono stan techniczny istniejących budynków oraz przeprowadzono optymalizację grubości docieplania wszystkich przegród, zgodnie z metodologią sporządzania audytów energetycznych [12] i metodologią świadectw charakterystyki energetycznej [13]. Zaplanowane, a następnie zrealizowane i potwierdzone audytami ex-post wykonanymi w kwietniu 2022 r. [11] zakresy termomodernizacji przedstawiono w tabeli 1.

Na rysunku 2 zestawiono zmianę wartości współczynników przenikania ciepła obu budynków przedszkolnych w wyniku ich modernizacji. Wszystkie przegrody osiągnęły poziom izolacyjności cieplnej zgodny z aktualnymi wymaganiami ochrony cieplnej (WT2021 [14]), przy czym w przypadku ścian osiągnięte współczynniki U były nawet o 10% niższe niż wymagania. Niewielkie różnice we współczynnikach przenikania ciepła dwóch budynków przedszkolnych wynikały z nieco innych rozwiązań materiałowych budynku (zwłaszcza ścian piwnic), wyboru grubości optymalnej na podstawie kryterium ekonomicznego, do którego wykorzystano kosztorysy budynków oraz parametrów materiałów rzeczywiście zastosowanych podczas termomodernizacji.

TABELA 1. Przedsięwzięcia termomodernizacyjne w analizowanych budynkach

TABLE 1. Thermal modernization measures in the analyzed buildings

Rodzaj przedsięwzięcia	Sposób realizacji i główne parametry	
	budynek nr 1	budynek nr 2
Docieplenie ścian zewnętrznych	styropian o $\lambda = 0,040$ W/m·K ($\lambda = 0,036$ W/m·K w piwnicach) i grubości 17 cm, metoda ETICS oraz na fragmentach ścian styropian o $\lambda = 0,031$ W/m·K i gr. 12 cm	styropian o $\lambda = 0,040$ W/m·K ($\lambda = 0,035$ W/m·K w piwnicach) i grubości 16 cm, metoda ETICS
Docieplenie stropodachu	granulat z wełny mineralnej o grubości 21 cm i $\lambda = 0,039$ W/m·K	granulat z wełny mineralnej o grubości 21 cm i $\lambda = 0,040$ W/m·K
Wymiana okien	okna nowe o $U = 0,90$ W/(m ² ·K)	okna nowe o $U = 0,90$ W/(m ² ·K)
Wymiana drzwi zewnętrznych	drzwi nowe o $U = 1,30$ W/(m ² ·K)	drzwi nowe o $U = 1,30$ W/(m ² ·K)
Wymiana instalacji c.o.	wykonanie nowej instalacji z regulacją przepływów, montaż nowych grzejników oraz zaworów i głowic termostatycznych, izolacje na przewodach (poprawa sprawności systemu c.o.: $\eta_{H,tot} = 0,5729 \rightarrow 0,7366$)	wykonanie nowej instalacji z regulacją przepływów, montaż nowych grzejników oraz zaworów i głowic termostatycznych, izolacje na przewodach (poprawa sprawności systemu c.o.: $\eta_{H,tot} = 0,5729 \rightarrow 0,7366$)
Wymiana instalacji c.w.u.	–	wykonanie nowej instalacji c.w.u. i cyrkulacji, z rur PP, z izolacją i termostatycznymi zaworami z cyrkulacyjnymi (poprawa sprawności systemu przygotowania c.w.u.: $\eta_{W,tot} = 0,5460 \rightarrow 0,7280$)
Wymiana oświetlenia w budowanego	wymiana istniejącego oświetlenia na nowoczesne oświetlenie energooszczędne typu LED (zmiana mocy zainstalowanego oświetlenia: 12 420 W \rightarrow 5 962 W)	wymiana istniejącego oświetlenia na nowoczesne oświetlenie energooszczędne typu LED (zmiana mocy zainstalowanego oświetlenia: 9 520 W \rightarrow 5 893 W)

2.3. Metoda określenia rzeczywistych wskaźników energii końcowej oraz oszczędności

Rzeczywiste eksploatacyjne wskaźniki energii końcowej EK wyznaczono na podstawie danych o zużyciu ciepła w budynkach przed modernizacją (w roku 2016) oraz w okresie od stycznia 2021 do maja 2023 roku, dzieląc ilość roczną przez powierzchnię użytkową o regulowanej temperaturze wg wzoru (1):

$$EK = \frac{Q \cdot 1000}{A_f \cdot 3,6} \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}) \quad (1)$$

gdzie:

Q – ilość zużytego ciepła, GJ,

A_f – powierzchnia o regulowanej temperaturze, m^2

Oszczędności procentowe zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło wyznaczono ze wzoru (2):

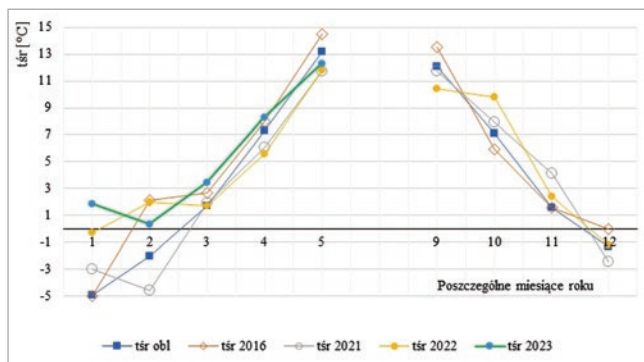
$$\Delta EK = \frac{EK_{\text{przed}} - EK_{\text{po}}}{EK_{\text{przed}}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

gdzie:

EK_{przed} – wskaźnik energii końcowej przed modernizacją, $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$,

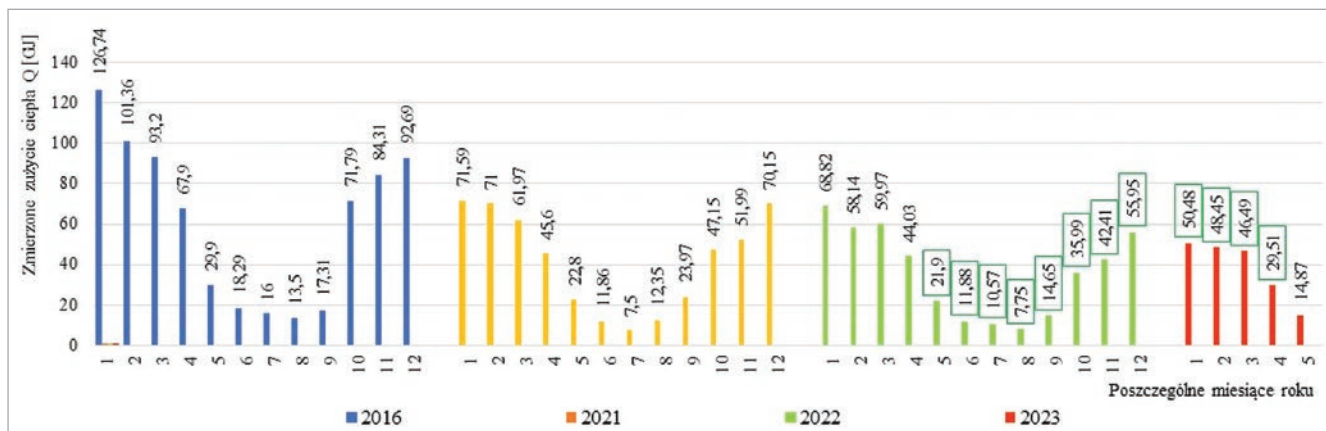
EK_{po} – wskaźnik energii końcowej po modernizacji, $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.

W celu porównania efektów rzeczywistych z efektami planowanymi w audytach energetycznych wzięto pod uwagę różnice stopniodni sezonu rzeczywistego i standardowego, wykorzystując temperaturę rzeczywistą w poszczególnych



Rys. 3. Średnia miesięczna temperatura zewnętrzna w roku przed wykonaniem termomodernizacji budynków oraz podczas i po termomodernizacji

Fig. 3. Average monthly temperatures in the year before thermal modernization of buildings and during and after thermal modernization



Rys. 4. Zmierzone miesięczne zużycie ciepła przed, podczas i po termomodernizacji budynku przedszkola nr 1

Fig. 4. Measured monthly thermal energy consumption before, during and after thermal modernization of kindergarten building no. 1

analizowanych miesiącach udostępniane są przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej [15] oraz średnie miesięczne wartości temperatury dla sezonu standardowego, dla stacji Białystok [16] w poszczególnych latach, które zestawiono na rys. 3. Uwzględniono jednakową liczbę dni sezonu ogrzewczego.

Okazało się, że sezon przed termomodernizacją (w roku 2016) był o prawie 4,74% cieplejszy niż standardowy, zaś po termomodernizacji (2022-2023) o 10,96% cieplejszy.

Ponieważ nie dysponowano danymi zużycia ciepła osobno na c.o. i c.w.u., do oszacowania rocznego rzeczywistego zużycia na c.w.u. posłużono się średnią zużycia w okresie letnim.

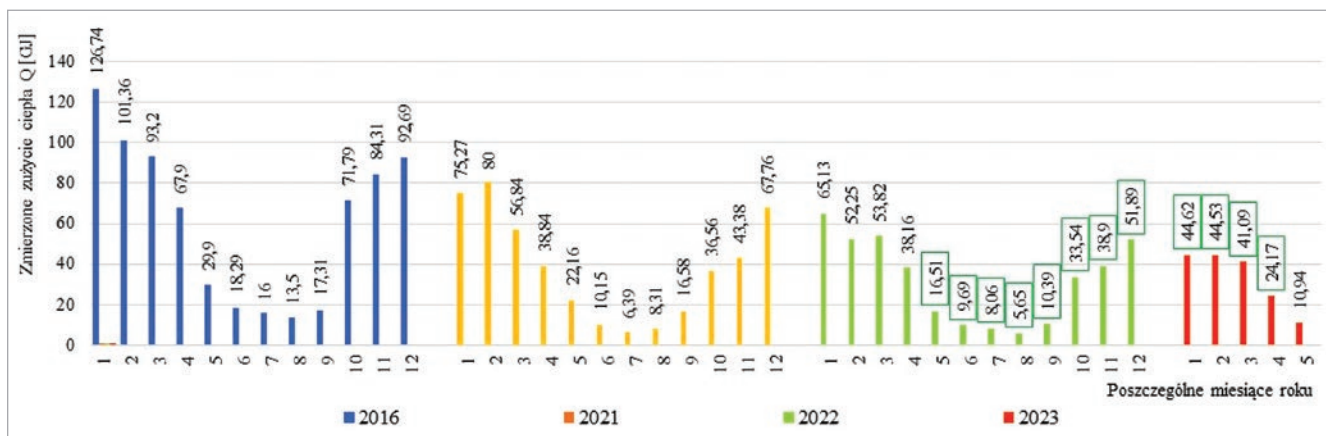
3. Wyniki i dyskusja

Zużycie ciepła zmierzone w poszczególnych miesiącach w roku 2016 (przed termomodernizacją) i w okresie od stycznia 2021 do maja 2023 roku (podczas i po wykonaniu termomodernizacji) w budynku nr 1 przedstawiono na rys. 4, zaś w budynku nr 2 na rys. 5. Widać wyraźną tendencję spadkową zużycia ciepła w trakcie i po zakończeniu prac termomodernizacyjnych (w kwietniu 2022 r.)

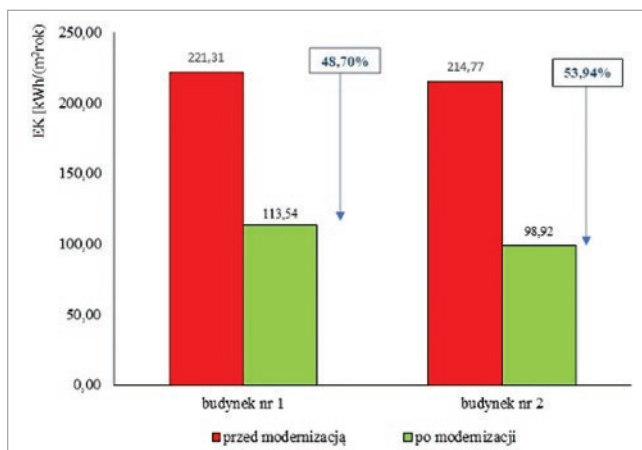
Na podstawie zmierzonych wartości zużycia ciepła (rys. 4 i 5), ze wzoru (1), określono rzeczywiste eksploatacyjne wskaźniki energii końcowej budynków przed i po wykonaniu termomodernizacji i rzeczywistą procentową redukcję zużycia ciepła (ze wzoru 2), które zaprezentowano na rys. 5. Uzyskane w wyniku przeprowadzonej modernizacji rzeczywiste eksploatacyjne wskaźniki energii końcowej EK (113,54 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ w budynku nr 1 oraz 98,92 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ w budynku nr 1 okazały się niższe niż wartość średnia dla budynków szkolnych zlokalizowanych w Białymstoku, wynoszącej 135 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ [9]. Uzyskane zaś procentowe oszczędności w budynku przedszkolnym nr 1 zredukowano ilość zużywanego ciepła o 48,70%, zaś w budynku nr 2 o 53,94%.

W tabeli 2 zestawiono rzeczywiste ilości zużytej w budynkach przedszkolnych energii z wartościami obliczonymi w audytach energetycznych. Z uwagi na wykonanie modernizacji oświetlenia zestawiono również oszczędności wynikające z wykonania tego przedsięwzięcia, ale jedynie na podstawie audytu ex-post, gdyż w praktyce nie ma możliwości wyodrębnienia ilości rzeczywiście zużytej energii elektrycznej w podziale na poszczególne cele.

Na etapie wykonania audytu energetycznego występują problemy z ustaleniem rzeczywistych parametrów budynku.



Rys. 5. Zmierzone miesięczne zużycie ciepła przed, podczas i po termomodernizacji budynku przedszkolnego nr 2
Fig. 5. Measured monthly thermal energy consumption before, during and after thermal modernization of kindergarten building no. 2



Rys. 6. Rzeczywiste eksploatacyjne wskaźniki energii końcowej analizowanych budynków przedszkolnych przed i po modernizacji
Fig. 6. Actual operational final energy indicators of the analyzed kindergarten buildings before and after modernization

Z jednej strony porównać można zmierzone zużycie ciepła do ogrzewania, przeliczone na warunki sezonu standardowego (które wg metodologii audytu służy do weryfikacji przyjętych składanych danych obliczeniowych bilansu ciepła), a z drugiej strony należy wziąć pod uwagę moce zamówione. Często istnieje sytuacja, jak w analizowanych budynkach, że zużycia ciepła obliczeniowe są wyższe niż

zmierzone, ale moce obliczeniowe są niższe niż zamówione. Podczas wykonywania audytów w praktyce często bierze się obie te wartości pod uwagę, gdyż wartości zmierzone nie uwzględniają sposobu eksploatacji budynku.

Wielkość teoretycznie obliczonych oszczędności i rzeczywistych oszczędności wynikających z pomiarów zużycia ciepła różniły się o kilkanaście punktów procentowych (o 18,22 punktów procentowych w budynku nr 1 i o 10,08 punktów procentowych w budynku nr 2) co stanowi odpowiednio 27,2% i 15,7%. Porównując wielkości teoretyczne planowanych oszczędności z oszczędnościami wynikającymi z pomiarów, przeliczonych na warunki sezonu standardowego, różnice okazały się większe i wyniosły odpowiednio dla dwóch budynków: 20,54 oraz 12,96 punktów procentowych. Otrzymane rozbieżności są podobne do prezentowanych w innych publikacjach, np. [17], [18], gdzie efekty energetyczne planowane i rzeczywiste termomodernizacji budynków użyteczności publicznej różniły się o 26%-38%.

Rozbieżności wynikać mogą z kilku kwestii, spośród najważniejszych wydają się być:

- audyt budynku bazuje na wartościach obliczeniowych danych wejściowych, określonych wskaźników wynikających z obowiązujących przepisów (dotyczących ilości powietrza wentylacyjnego, wartości wewnętrznych zysków ciepła, wskaźnika szczelności powietrznej budynku czy zapotrzebowania na c.w.u. liczonego z powierzchni ogrzewanej),

TABELA 2. Porównanie parametrów energetycznych określonych w audytach z rzeczywistymi

TABLE 2. Comparison of energy parameters determined in audits with actual data

Wyszczególnienie	Budynek nr 1			Budynek nr 2		
	przed modernizacją	po modernizacji	oszczędność	przed modernizacją	po modernizacji	oszczędność
Moc cieplna zamówiona, kW	151,20	151,20	0	148,50	110,00	39,00
Moc cieplna obliczeniowa, kW	125,56	87,56	38,00 (30,26%)	124,07	87,52	36,55 (29,46%)
Roczne zużycie ciepła wg audytu, GJ	1168,00	386,36	781,64 GJ =217 122 kWh (66,92%)	1060,30	381,46	678,84 = 188 567 kWh (64,02%)
Roczne zużycie ciepła zmierzone, GJ	732,99	376,03	356,96 (48,70%)	711,31	329,04	382,27 (53,94%)
Roczne zużycie ciepła zmierzone, przeliczone na warunki sezonu standardowego, GJ	759,93	407,44	352,49 (46,38%)	739,58	361,98	377,60 (51,06%)
Zapotrzebowanie na energię elektryczną na potrzeby oświetlenia wbudowanego, kWh/rok	24 840	11 924	12 916 kWh = 12,92 MWh	19 040	11 786	7 254 kWh = 7,25 MWh

– niejednokrotnie brak jest danych dotyczących zarówno elementów budynku, systemu wentylacji i systemów budowlanych, a przy wykonywaniu audytów nie ma praktyki zlecenia pomiarów rzeczywistych wartości np. jakości ciepłej przegród itd.,

– audyt nie uwzględnia specyfiki eksploatacji budynku, a więc jego wyniki są zawsze mniej lub bardziej odległe od stanu rzeczywistego,

– nie ma też możliwości porównania obliczonych oszczędności zużycia energii elektrycznej wynikającej z modernizacji oświetlenia, z uwagi na brak osobnego pomiaru energii elektrycznej na te cele.

Dodatkowym problemem, który nie był analizowany w artykule, ale pojawia się przy raportowaniu redukcji nieodnawialnej energii pierwotnej budynków jest coroczna zmiana współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej przez dostawców ciepła sieciowego, gdyż zwykle proces termomodernizacji budynków trwa kilka lat; co ma bezpośrednie przełożenie na szacunkową redukcję emisji CO₂.

4. Wnioski

Dobrze zaplanowana i przeprowadzona termomodernizacja pozwala na uzyskanie znaczących oszczędności energii (w analizowanych budynkach przedszkoli redukcja zużycia ciepła wyniosła 48,70% oraz 53,94%) lecz bez zastosowania energii ze źródeł odnawialnych nie jest możliwe osiągnięcie standardu budynku nZEB.

Ustalanie osiągniętych w wyniku modernizacji efektów energetycznych powinno odbywać się na podstawie pomiaru zużytej ciepła (lub ilości zużytego paliwa), ponieważ tylko w ten sposób można wykazać rzeczywiste (eksploatacyjne) wskaźniki energetyczne budynku. Przy obecnym sposobie opomiarowania nie ma natomiast możliwości określenia efektu modernizacji oświetlenia wbudowanego. Szereg niezbędnych na etapie audytu energetycznego założeń i uproszczeń obliczeniowy wpływa na kilkunasto- lub kilkudziesięcio- procentowe rozbieżności między planowanych a osiąganym efektem termomodernizacji.

Źródła finansowania

Praca została zrealizowana przy wsparciu Politechniki Białostockiej i sfinansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego RP [nr grantu WZ/WB-IIL/2/2023] oraz Badania zrealizowano i sfinansowano w ramach grantu VC/WB-IIL/4/2023: Zwiększenie efektywności energetycznej budynków mieszkalnych i edukacyjnych w warunkach zagrożenia bezpieczeństwa energetycznego.

LITERATURA

- [1] Organizacja Narodów Zjednoczonych. 2015. Porozumienie paryskie. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (dostęp na 20 września 2023).
- [2] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego, Komitetu Regionów i Europejskiego Banku Inwestycyjnego. 2018. Czysta planeta dla wszystkich Europejska długoterminowa wizja strategiczna dobrze prosperującej, nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki. Dostępne online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0773> (dostęp na 20 września 2023).
- [3] Heim Dariusz. 2020. „Mechanizmy poprawy efektywności energetycznej budynków”. *Izolacje* 251 (11/12): 19-22.
- [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej.
- [5] Komisja Europejska. 2018. „Fala renowacji: podwojenie wskaźnika renowacji w celu ograniczenia emisji, pobudzenia ożywienia gospodarczego i ograniczenia ubóstwa energetycznego”. file:///C:/Users/Beatka/Downloads/Fala_renowacji_podwojenie_wska_nika_renowacji_w_celu_ograniczenia_emisji_pobudzenia_o_ywienia_gospodarczego_i_ograniczenia_ub_stwa_energetycznego.pdf (dostęp na 20 września 2023).
- [6] Strategia modernizacji budownictwa: mapa drogowa 2050, praca zbiorowa zrealizowana przez pracowników: Instytutu Ekonomiki Środowiska (IEŚ), Buildings Performance Institute Europe (BPIE), Narodowej Agencji Poszanowania Energii SA (NAPE), Krajowej Agencji Poszanowania Energii SA (KAPE) oraz PwC, <http://renowacja2050.pl/files/raport.pdf> (dostęp na 20 września 2023).
- [7] Firląg Szymon, Kaliszuk-Wietecha Agnieszka, Węglarz Arkadiusz. 2020. „Głęboka termomodernizacja budynków”. *Izolacje* 251 (11/12): B-24.
- [8] Sadowska Beata. 2018. „Effects of deep thermal modernization and use of renewable energy in public buildings in north-eastern Poland”. *Engineering for Rural Development*, Engineering for Rural Development, 1870–75. doi:10.22616/ERDev2018.17.N447
- [9] Krawczyk Dorota, Sadowska Beata. 2019. Buildings 2020+. Krawczyk, Dorota, red. “Buildings 2020+: Constructions, Materials and Installations”. Białystok. <https://doi.org/10.24427/978-83-65596-71-0>.
- [10] Cholewa Tomasz, Siuta-Olcha. 2018. On the influence of local and zonal hydraulic balancing of heating system on energy savings in existing buildings – Long term experimental research. *Energy and Buildings*. vol. 179, s. 156-164
- [11] Audyty energetyczne budynków użyteczności publicznej wykonane w NAPE S.A., Oddział Białystok w latach 2018 i 2022.
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmów oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, z późn. zmianami.
- [13] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (D.U. 2015 r. poz. 376)
- [14] 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 (D.U. 2022 r. poz. 1225).
- [15] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Dane pomiarowo obserwacyjne, meteorologiczne, miesięczne. https://dane.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/dane_meteorologiczne/miesieczne/klimat/ (dostęp na 20 września 2023).
- [16] Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków. https://dane.gov.pl/pl/dataset/797,typowe-lata-meteorologiczne-i-statystyczne-dane-klimatyczne-dla-obszaru-polski-do-obliczen-energetycznych-budynkow?page=3&per_page=20&q=&sort=-data_date&model=resources (dostęp na 20 września 2023).
- [17] Sarosiek Wiesław, Sadowska Beata. 2016. „Planowane i rzeczywiste efekty termomodernizacji budynków użyteczności publicznej w gminie Zbójna” *Materiały Budowlane* 521(1): 26-27. DOI 10.15199/33.2016.01.08.
- [18] Krawczyk Dorota Anna. 2014. “Theoretical and real effect of the school’s thermal modernization – A case study”. *Energy and Buildings*. Vol. 81: 30-37

Janusz Iberszer

1943-2023

Z głębokim żalem i smutkiem przyjęliśmy wiadomość, że w dniu 29 marca 2023 roku zmarł nasz Kolega Janusz Iberszer (urodzony 06.01.1943 r. w Kazimierzu Dolnym), który był Honorowym Prezesem naszego Oddziału w Lublinie. Niedawno przecież składaliśmy życzenia Koledze Januszowi z okazji jego 80 urodzin podczas naszego spotkania Zarządu Oddziału w Lublinie.

Kolegę Janusza znaliśmy od wielu lat jako człowieka miłego, koleżeńskiego, sumiennego i godnego zaufania, zawsze można było na niego liczyć. Był bardzo pomocny dla innych mimo wielu ważnych funkcji, które pełnił m.in. kierował dużą firmą projektowo-wykonawczo-serwisową Proper, prowadził zajęcia w Politechnice Lubelskiej, w latach 2002-2022 (5 kolejnych kadencji) był Zastępcą Przewodniczącego Okręgowej Rady Lubelskiej Izby Inżynierów Budownictwa, był przez 2 kadencję wiceprezydentem Polskiej Korporacji Techniki Sanitarnej, Grzewczej, Gazowej i Klimatyzacji (a następnie przez 3 kadencje Przewodniczącym Krajowej Komisji Rewizyjnej) oraz w latach 2003-2017 (4 kadencje) był Prezesem PZITS Oddział Lublin.

Mimo przekazania w 2017 roku kierowania pracami naszego Oddziału PZITS nadal bardzo czynnie uczestniczył w jego pracach jako Honorowy Prezes. Zawsze służył cenną, wyważoną i trafną radą ze swojej strony.

Był osobą z ogromnym doświadczeniem (uprawnienie budowlane do projektowania i kierowania robotami uzyskał w 1970 roku), rzeczoznawcą GUNB od



1980 roku, autorytetem i praktykiem w zakresie branży sanitarnej. Dla niego nie było tematów niemożliwych do wykonania i dlatego często jego firma realizowała prace, których nikt nie chciał się podjąć.

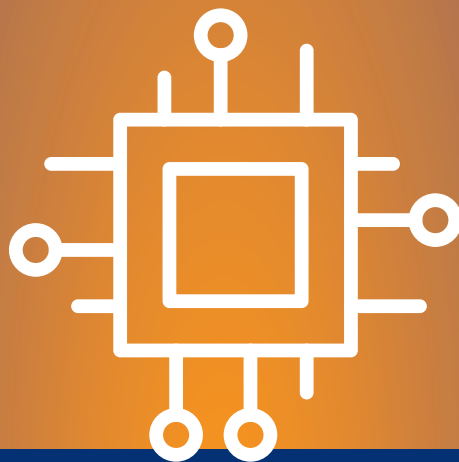
Za swoją działalność został odznaczony między innymi Srebrną i Złotą Odznaką Honorową PIIB, Odznakami Honorowymi „Za zasługi dla budownictwa” i „Za zasługi dla energetyki”, Medalem Prezydenta Miasta Lublin, Złotym Krzyżem Zasługi, Złotą i Diamentową Odznaką „Zasłużony dla NOT”, Złotą i Złotą z diamentem Honorową Odznaką PZITS.

My jako Koleżanki i Koledzy z PZITS Oddział Lublin zawsze będziemy pamiętać o naszym zasłużonym Koledze.

Członkowie Oddziału Lubelskiego PZITS



KONFERENCJA TECHNICZNA



WARSZAWA | 15-16 listopada 2023

Szanowni Państwo,
Izba Gospodarcza Ciepłownictwo Polskie zaprasza na:
XX Konferencję Techniczną,
która odbędzie się w dniach 15-16.11.2023 r.
w Hotelu Puławska Residence
w Warszawie przy ul. Puławskiej 361.

Szczegóły, w tym zaproszenie i karta zgłoszenia:
www.igcp.pl

 Izba Gospodarcza
Ciepłownictwo Polskie

PATRONAT MEDIALNY

COW | INSTAL

AKREDYTOWANE LABORATORIUM BADAWCZE

Kompleksowe akredytowane badania:

elementów rur, złączy i kształtek preizolowanych oraz izolacji przemysłowych zgodnie z najnowszymi wydaniem norm:

PN-EN 253, PN-EN 489-1, PN-EN 448, PN-EN 15698-1 i PN-EN 17415-1

w tym, elementów rurociągów preizolowanych pojedynczych i podwójnych, przeznaczonych do przesyłu ciepła i chłodu systemowego.

izolacji przemysłowych i **mat kompensacyjnych**

Badanie jakości wody kotłowej i sieciowej



AB 414

