

# POTENCJAŁ RYNKOWY REMONTÓW ENERGOOSZCZĘDNYCH W BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM ZIELONEJ GÓRY

Marta SKIBA\*, Maria MRÓWCZYŃSKA, Anna BAZAN-KRZYWOSZAŃSKA

Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono analizę potencjalnych oszczędności energii dla remontów energooszczędnych w budownictwie mieszkaniowym w Zielonej Górze. Potencjał został określony na podstawie technologii i roku wykonania budynków, formy zabudowy i przeważającego sposobu zasilania w ciepło i energię elektryczną. Obliczony potencjał został przedstawiony jako wartość koniecznych nakładów dla zmniejszenia zużycia energii o 1 kWh/m<sup>2</sup>.

**Słowa kluczowe:** miejska polityka energetyczna, polityka przestrzenna, wzrost efektywności energetycznej w budownictwie mieszkaniowym, sieci neuronowe radialne.

## 1. Wprowadzenie

Czynniki mające wpływ na konsumpcję energii zależą od wielu rzeczy, między innymi: od klimatu, formy budynku, jego konstrukcji, materiałów i technologii, nośników energii, zastosowanych sposobów ogrzewania, szczelności przegród, itp. Efektywność energetyczna związana jest z kulturą i wiedzą użytkowników dotyczącą energooszczędności. Mieszkańcy budynków mają wpływ na konsumpcję energii poprzez sposób ich użytkowania, w tym przede wszystkim poprzez nastawy temperatur w pomieszczeniach oraz przygotowywanie ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). Wymienione elementy wpływają na stan konsumpcji energii końcowej, a także zależą bezpośrednio od sposobu użytkowania budynku.

Osiągnięcie założonych celów polityki energetycznej wymagać będzie ugruntowania w społeczeństwie przekonania, że zmniejszenie zapotrzebowania na energię opłaci się każdemu gospodarstwu domowemu. Stworzenie pozytywnego klimatu inwestycyjnego, promocja nowych wzorców i upowszechnianie dobrych przykładów prowadzić będzie do wzrostu gospodarczego poprzez wykorzystanie technologii niskoemisyjnych.

Potencjał oszczędności energii i możliwość zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w domach i miastach są wysokie, a korzyść gospodarcza najwyższa w budynkach jednorodzinnych (stanowią one powyżej 70% wszystkich budynków mieszkalnych w kraju), ponieważ sami właściciele decydują o stanie technicznym domu i nie są skazani na wotum większości. Sprawę kluczową będą zatem stanowiły dobre wzorce oraz przykładowe realizacje osiedli niskoemisyjnych, których budynki będą swego rodzaju inspiracją.

Zgodnie z artykułem 9 ust. 1 dyrektywy 2010/31/UE,

który stanowi, aby:

- do dnia 31 grudnia 2020 roku wszystkie nowe budynki były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii;
- po dniu 31 grudnia 2018 roku nowe budynki zajmowane przez władze publiczne, a także będące ich własnością, były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii. Państwa członkowskie opracowują krajowe plany mające na celu zwiększenie liczby budynków o niemal zerowym zużyciu energii. Plany te mogą zawierać założenia zróżnicowane w zależności od kategorii obiektów.

W Polsce cel ten został określony w Krajowym planie mającym na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii, w którym określono w szczególności:

- 1) definicję budynków o niskim zużyciu energii oraz ich szczegółowe cechy;
- 2) działania administracji rządowej podejmowane w celu promowania budynków o niskim zużyciu energii, w tym w zakresie projektowania, budowy i przebudowy budynków w sposób zapewniający ich energooszczędność, a także zwiększenia pozyskania energii ze źródeł odnawialnych w nowych oraz istniejących budynkach;
- 3) harmonogram osiągnięcia celów, o których mowa w punkcie 2.

Budynki mieszkalne wielorodzinne, które są jednym z głównych konsumentów energii w Polsce wymagają przeprowadzenia nie tylko termomodernizacji, ale również podjęcia działań w kierunku zastosowania odnawialnych źródeł energii. Remonty budynków mieszkalnych, zwłaszcza wielorodzinnych mogą generować duże zyski wynikające z zastosowania termomodernizacji i OZE, co w efekcie zmniejszy koszt ich utrzymania.

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: M.Skiba@aiu.uz.zgora.pl

## 2. Remonty budynków do standardu energooszczędnego

Zapotrzebowanie na energię na poziomie miejskim zależy od lokalnych uwarunkowań, takich jak: klimat i położenie geograficzne, układ przeważających w mieście funkcji, energochłonność substancji budowlanej oraz źródła i sposoby dostawy energii. Opisane w literaturze badania dotyczące zapotrzebowania na energię na poziomie miejskim odnoszą się do zużycia rzeczywistego i szacowanego (Balars i in., 2005; Bourdic i Salat, 2012; Bourdic i in., 2012; Fabbri i in., 2012; Yeo i in., 2013; Kopietz-Unger, 2010). Władze niektórych miast zachodnioeuropejskich dostrzegły korzyści wynikające z polityki przestrzennej i transportowej ukierunkowanej na oszczędność wody, przestrzeni i zużycia energii (Yeo i in., 2013). W polskich miastach, bardzo często podejmując inwestycje, nie zwraca się uwagi na ich konsekwencje przestrzenne i koszty, także energetyczne, w przyszłości (Labiosa i in., 2013; Ziobrowski, 2012).

Obecne modele prognozowania zapotrzebowania na energię można przyrównać do modelu ekonomicznego, który uwzględnia: wielkość PKB (Produkt Krajowy Brutto), liczbę ludności i wielkość przemysłu oraz koszt ochrony środowiska (Asadi i in., 2012; Fouquet i Johansson, 2008, Labiosa i in., 2013). Przewiduje się długoterminowe trendy zapotrzebowania na energię elektryczną w skali kraju, które są podstawą kształtowania lokalnej polityki energetycznej. W tym samym czasie na poziomie lokalnym prognozuje się wielkość popytu na energię, w zależności od sposobu dostarczania energii do budynku, urządzeń ogrzewających i chłodzących, uwzględniając takie czynniki, jak: klimat, stan techniczny budynku i jego właściwości fizyczne oraz standard związany z urządzeniami, w które jest wyposażony. Dostawcy energii, dla określenia zapotrzebowania na media, coraz częściej budują modele prognozujące, używając na przykład sztucznych sieci neuronowych. Rzadko stosuje się jednak symulację zużycia energii wspomagającą optymalizację zarządzania miast.

## 3. Obiekt badań i metoda badawcza

W literaturze przedmiotu nie znaleziono przykładów badań, szacowania i przewidywania – modelowania, dla stref miejskich i miast Europy Wschodniej. Wiele prac opiera się na badaniach poszczególnych budynków, zwłaszcza mieszkalnych, ale nie w skali miasta. Może być to spowodowane wieloletnimi zaniedbaniami i brakiem map cyfrowych, zbioru danych i systemów monitoringu zmian przestrzennych w skali miasta, co też sprawiało problemy, autorom niniejszego artykułu. Pewnym potwierdzeniem tych słów jest fakt, że Uniwersytet Zielonogórski był w 2011 roku wykonawcą strategicznego tematu dotyczącego podnoszenia efektywności energetycznej w skali miasta. Opracowany Energetyczny Audyt Miejski (EAM, 2011) dla miasta Zielona Góra był pierwszym tego typu dokumentem, choć nie wdrożonym (głównie ze względu na skutki ekonomiczne i polityczne).

Przedstawione w pracy badania zostały wykonane dla miasta Zielona Góra, położonego na obszarze zachodniej Polski, w południowo-wschodniej części województwa lubuskiego (51°56'23" szerokości geograficznej północnej oraz 15°30'18" długości geograficznej wschodniej). Przyjmując do analizy dane, dotyczące Zielonej Góry, kierowano się kilkoma cechami charakteryzującymi stan budownictwa w mieście, a które odzwierciedlają średni stan budownictwa w całej Polce. Do tych cech należy:

- wielkość średniej powierzchni użytkowej mieszkania, która w Zielonej Górze wynosi 61,5 m<sup>2</sup> (średnio w Polsce 62,5 m<sup>2</sup>),
- wielkość przeciętnej powierzchni użytkowej mieszkania w przeliczeniu na 1 osobę wynosi 24,6 m<sup>2</sup> (w Polsce średnio 24 m<sup>2</sup>),
- stale zwiększająca się liczba zarówno budynków mieszkalnych, jak i mieszkań,
- stały wzrost wielkość powierzchni użytkowej mieszkania, stały wzrost jakości i standardu zamieszkania.

W Zielonej Górze, jak w większości miast Polski, struktura budynków jest dość zróżnicowana. Występuje tu zwarta zabudowa pierzejowa w centrum i śródmieściu, gdzie nadal użytkuje się dużo urządzeń grzewczych węglowych. Często są to budynki mieszkalne i mieszkalno-usługowe, zrealizowane w technologii tradycyjnej. Wyróżnia się też budynki w zabudowie jednorodzinnej i wielorodzinnej z lat 50-70 ubiegłego wieku, z przewagą udziału gazu jako źródła zasilania w energię cieplną. Ze względu na technologię realizacji, jakość materiałów i czas w jakim zostały zrealizowane są bardzo energochłonne i często nieocieplone. Właściciele takich budynków z uwagi na duże zapotrzebowanie na ciepło, często wybierają najtańsze nośniki energii, jakimi wciąż pozostają paliwa stałe. Centrum i śródmieście otoczone są pierścieniem osiedli mieszkaniowych o budynkach wielorodzinnych, powstałych w różnych okresach od lat 50 do chwili obecnej. Osiedla wyróżniają się także technologią realizacji zabudowy: tradycyjną, uprzemysłowioną lub mieszaną. Uzupełnienie zabudowy stanowią budynki w zabudowie jednorodzinnej, bliźniaczej i szeregowej wybudowane w technologii tradycyjnej, głównie na przedmieściach (EAM, 2011).

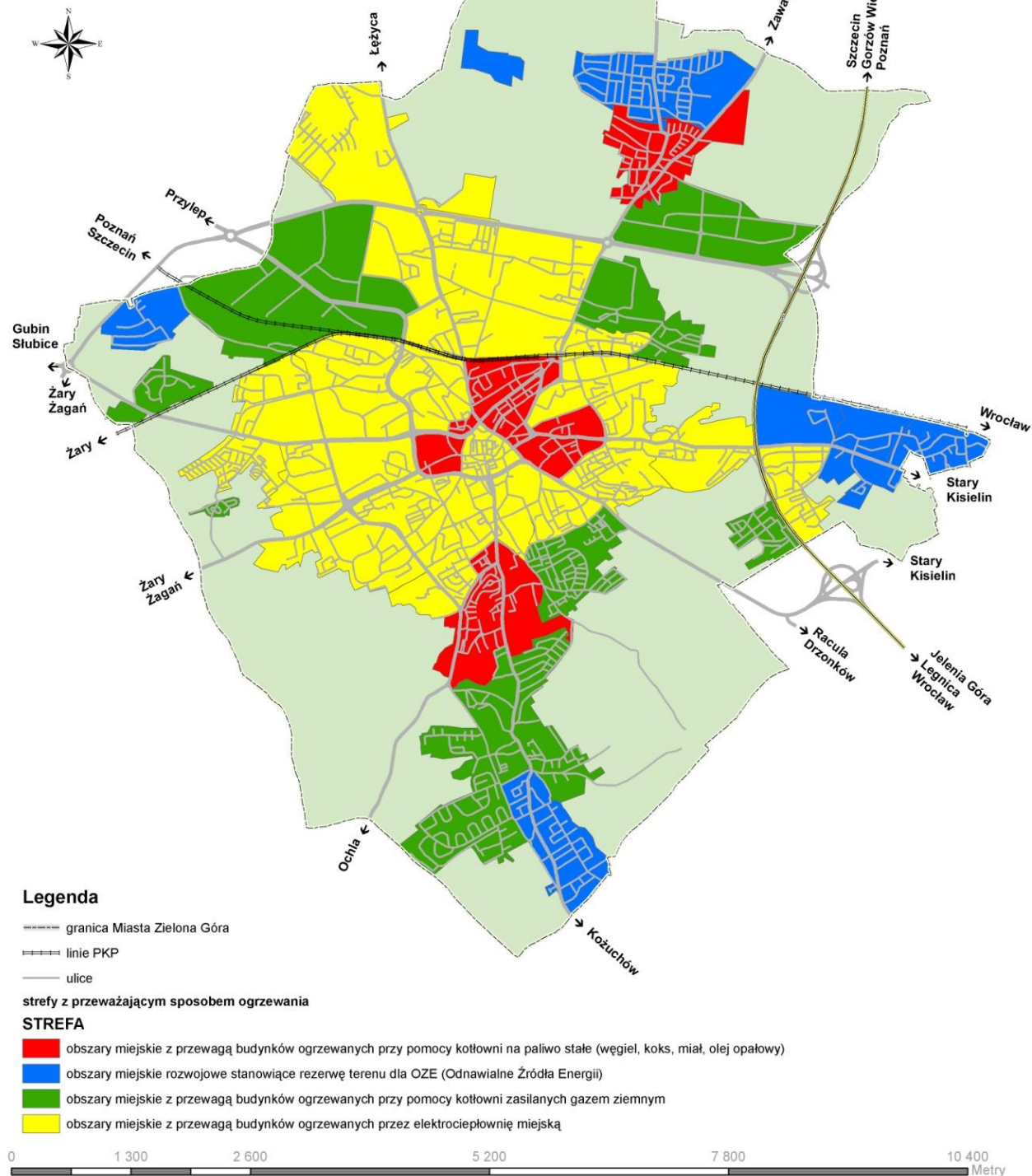
Biorąc pod uwagę brak możliwości wykorzystania informacji zawartych w obowiązujących dla miasta Zielona Góra dokumentach planistycznych, na potrzeby audytu wykorzystano informacje zgromadzone w rejestrze ewidencji gruntów i budynków miasta oraz warstwie budynków z mapy zasadniczej Zielonej Góry. Miasto podzielono na strefy energetyczne (rys. 1):

- strefa energetyczna czerwona – obszary miejskie z przewagą budynków ogrzewanych przy pomocy kotłowni na paliwo stałe (węgiel, miał, koks);
- strefa energetyczna żółta – obszary miejskie z przewagą budynków zasilanych w ciepło przez elektrociepłownię miejską;

## Energetyczny Audyt Miejski Zielona Góra

Mapa z podziałem na strefy ze względu  
na przeważający sposób ogrzewania

Skala 1:40 000



Rys. 1. Podział miasta Zielona Góra na obszary wynikające z przeważającego nośnika energii wykorzystywanej w celach grzewczych (EAM, 2011)

- strefa energetyczna zielona – obszary miejskie z przewagą budynków ogrzewanych przy pomocy kotłów zasilanych gazem ziemnym (na podstawie EAM (2011) dla miasta Zielona Góra).

Wysokość nakładów inwestycyjnych w strefie zielonej (tab. 1) wynika z zastanej już dość wysokiej efektywności energetycznej budynków. Wygenerowanie następnej oszczędności rzędu 1 (kWh/m<sup>2</sup>)/rok wymaga poniesienia większych nakładów z uwagi na zastosowanie innowacyjnych rozwiązań (Bazan-Krzywoszańska i in., 2016). Obecnie najczęściej stosuje się działania naprawcze służące oszczędzaniu energii w postaci termomodernizacji (tab. 2). W tabeli 1 nie zwrócono uwagi na konieczność zarezerwowania środków finansowych na opracowanie dokumentacji projektowej i niezbędnych nadzorów, od których także zależy powodzenie w realizacji i jakość zaproponowanych rozwiązań.

Tab. 1. Szacunkowy koszt nakładów inwestycyjnych [zł/m<sup>2</sup>] dotyczące redukcji rocznego zapotrzebowania na energię o 1 (kWh/m<sup>2</sup>)/rok (EAM, 2011)

Strefa	Koszt nakładów inwestycyjnych	Szacowane oszczędności
czerwona	18,02 zł/(m <sup>2</sup> /rok)	92,10 kWh/(m <sup>2</sup> /rok)
żółta	8,22 zł/(m <sup>2</sup> /rok)	59,27 kWh/(m <sup>2</sup> /rok)
zielona	14,55 zł/(m <sup>2</sup> /rok)	31,92 kWh/(m <sup>2</sup> /rok)

Na podstawie analizy danych, w wyniku badań społecznych, zebranych metodą ankietowania w wywiadzie bezpośrednim, dotyczących zużycia energii i kosztów eksploatacyjnych lub udokumentowanych oświadczeniami i/lub zaświadczeniami dla budynków według kryterium wieku budynków (nie poddanych jeszcze termomodernizacji), uwzględniających: wielkość, usytuowanie, wiek, poddano analizie zużycie paliwa na cele ogrzewcze i c.w.u. oraz oszacowano energię końcową w budynkach wielorodzinnych i wynikającą z niej jakość energetyczną wybranych do badań budynków.

Tab. 2. Możliwe działania dostosowujące budynki do stanu niskoenergetycznego

Działania naprawcze	
1.	Docieplenie ścian zewnętrznych budynku oraz ocieplenie ścian stykających się z gruntem
2.	Docieplenie stropów nad piwnicami oraz docieplenie stropodachów wentylowanych
3.	Docieplenie pozostawionych mostków liniowych (gzyms, loggie, płyty balkonowe)
4.	Wymiana stolarki okiennej i drzwiowej
5.	Zabudowa loggi cofniętych oraz w niektórych wypadkach rozbiórka balkonów
6.	Płukanie i regulacja instalacji c.o. wraz z ociepleniem
Działania modernizacyjne	
1.	Wykonanie instalacji mechanicznej wyciągowej z odzyskiem ciepła - rekuperator - indywidualne/zbiorcze). Wykonanie instalacji mechanicznej wyciągowej (instalacja, kratki, wentylatory)
2.	Montaż nawiewników higrosterowanych
3.	Wykonanie układu solarnego (kolektory słoneczne, armatura)
4.	Wykonanie układu fotowoltaicznego (panele fotowoltaiczne, armatura)
5.	Wykonanie układu odzysku wody szarej (zbiorniki, armatura, instalacja do WC)
6.	Montaż oświetlenia LED w korytarzach, na klatce i przed wejściem
7.	Wymiana dźwigów osobowych na energooszczędne
8.	Wykonanie układu elektrowni wiatrowej (wiatraki, armatura)

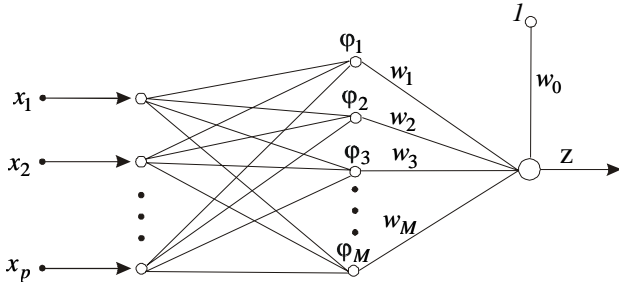
#### 4. Sieci radialne w zastosowaniu do modelowania potencjału

Sztuczne sieci neuronowe odznaczają się mocnymi podstawami teoretycznymi oraz użytecznością w praktyce. Dowolny problem, który może być rozwiązany za pomocą klasycznego modelowania lub metodami statystycznymi, daje się rozwiązać przy użyciu sieci neuronowych (Osowski, 2006). Zdecydowana większość zastosowań sieci neuronowych dotyczy sieci jednokierunkowych wielowarstwowych typu sigmoidalnego. Z matematycznego punktu widzenia sieci tego rodzaju pełnią rolę aproksymacji stochastycznej funkcji wielu zmiennych, która odwzorowuje zbiór zmiennych wejściowych  $\mathbf{x} \in R^n$  w zbiór zmiennych wyjściowych  $\mathbf{y} \in R^m$ .

Aproksymacja stochastyczna funkcji wielu zmiennych realizowana za pomocą sieci neuronowych wielowarstwowych ma charakter globalny, ponieważ odwzorowanie estymowanej funkcji w dowolny punkt przestrzeni następuje w wyniku łącznego pobudzenia wielu neuronów. Komplementarnym sposobem odwzorowania zbioru wejściowego w zbiór wyjściowy jest dopasowanie wielu pojedynczych funkcji aproksymujących do elementów zbioru wartości zadanych

w ograniczonym obszarze przestrzeni wielowymiarowej. Odwzorowanie ma charakter lokalny, natomiast odwzorowanie pełnego wektora wejściowego  $\mathbf{x} \in R^n$  w wektor wyjściowy  $\mathbf{y} \in R^m$  stanowi rezultat w postaci odwzorowań lokalnych, realizowany przez sieci o radialnych funkcjach bazowych (rys. 2), złożonej z neuronów, które w warstwie ukrytej realizują odwzorowanie (Osowski, 2006; Liao i in., 2003):

$$\mathbf{x} \rightarrow \varphi(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}\|), \mathbf{x} \in R^n \quad (1)$$



Rys. 2. Architektura sieci neuronowej radialnej

Najczęściej stosowaną funkcją radialną  $\varphi$ , która w praktyce daje dobre wyniki, jest funkcja Gaussa (postać uproszczona):

$$\varphi(\mathbf{x}) = \varphi(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (2)$$

gdzie:  $c_i$  jest centrami funkcji radialnej, a  $s_i$  jest szerokością funkcji radialnej.

Na podstawie odpowiedniej procedury minimalizującej funkcję celu

$$E = \sum_{i=1}^p \left[ \sum_{j=1}^M w_j \varphi(\|\mathbf{x}_i - \mathbf{c}_j\| - \mathbf{d}_i) \right]^2 \quad (3)$$

wyznaczamy współrzędne wektora wag  $\mathbf{w}$  oraz wartości parametrów  $c$  i  $\sigma$  funkcji radialnych.

Uzyskanie zadawalających rezultatów w rozwiązywaniu dowolnego zagadnienia za pomocą sieci neuronowych o radialnych funkcjach bazowych zależy od odpowiedniej architektury sieci, liczby radialnych funkcji bazowych i ich szerokości oraz wartości współczynników uczenia (Gil, 2006; Barsi, 2001). W prezentowanej pracy sieci neuronowe o radialnych

funkcjach bazowych znalazły zastosowanie do modelowania potencjału energetycznego na obszarach miejskich.

W celu rozwiązania postawionego problemu, którym było modelowanie kosztów nakładów inwestycyjnych [zł/m<sup>2</sup>] dotyczących redukcji rocznego zapotrzebowania na energię o 1 (kWh/m<sup>2</sup>)/rok, zbudowano i nauczono sieć neuronową o radialnych funkcjach bazowych. Wektor wejściowy stanowiły, przedstawione w sposób numeryczny, punkty reprezentujące poszczególne obszary, natomiast wektor wyjściowy wielkość oszczędność energii. Proces uczenia przeprowadzono dla danych pozyskanych dla 30% rejonów, dla różnej liczby radialnych funkcji bazowych (zmienna architektura), zawsze przy wykorzystaniu jako funkcji radialnej funkcji Gaussa. Jakość przeprowadzonego procesu uczenia została oszacowana z zastosowaniem średniego błędu procentowego (ang. *Average Percentage Error*, APE), zapisanego wzorem

$$APE = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \left| \frac{y_i - d_i}{d_i} \right| \times 100\% \quad (4)$$

oraz pierwiastka błędu średniokwadratowego następującej postaci:

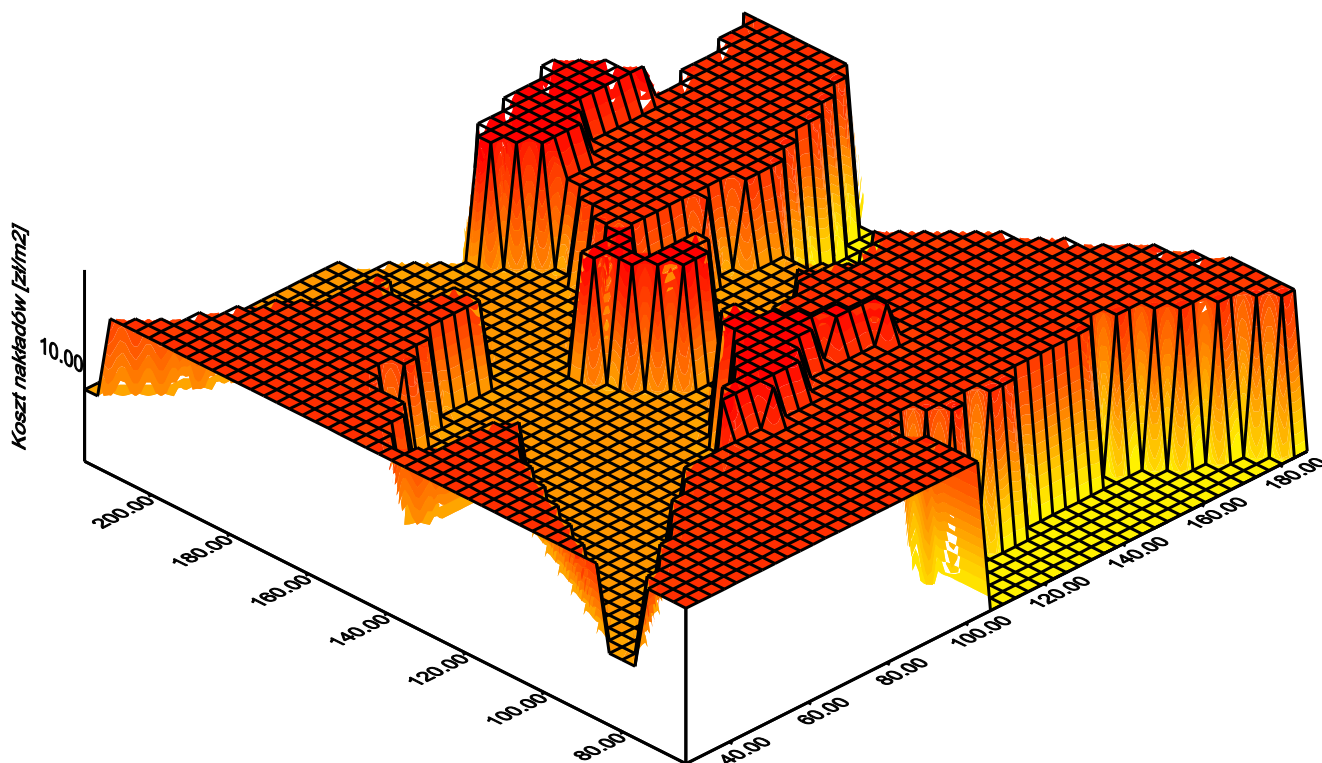
$$RMSE = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - d_i)^2} \quad (5)$$

## 5. Wnioski z badań

Wykorzystanie sieci neuronowych radialnych do modelowania szacunkowych koszt nakładów inwestycyjnych [zł/m<sup>2</sup>] dających redukcję rocznego zapotrzebowania na energię o 1 (kWh/m<sup>2</sup>)/rok pozwoliło na określenie szacunkowych kosztów z błędem dla zbioru testowego wynoszącym 1,12 zł/m<sup>2</sup>. Błąd ten uzyskano dla sieci radialnej o architekturze 2\_5\_1, wykorzystującej funkcję bazową Gaussa (pozostałe wyniki uczenia zestawiono w tabeli 3). Uzyskane wyniki zostały zilustrowane graficznie na rysunku 3. Biorąc pod uwagę, że w modelowaniu analizowano dane z obszaru całego miasta Zielona Góra, można stwierdzić, że uzyskane wyniki uczenia i testowania sieci są bardzo satysfakcjonujące.

Tab. 3. Wyniki uczenia i testowania sieci o radialnych funkcjach bazowych

Architektura sieci	Średni błąd procentowy APE [%]		Pierwiastek błędu średniokwadratowego RMSE [zł/m <sup>2</sup> ]	
	Zbiór uczący	Zbiór testowy	Zbiór uczący	Zbiór testowy
2_3_1	81,5	79,2	2,18	2,56
2_4_1	89,2	88,7	1,45	1,51
2_5_1	94,8	91,5	0,85	1,12
2_10_1	95,2	87,6	0,74	1,58
2_15_1	95,6	80,5	0,71	2,02



Rys. 3. Model szacunkowych koszt nakładów inwestycyjnych [zł/m<sup>2</sup>] dotyczących redukcji rocznego zapotrzebowania na energię o 1 (kWh/m<sup>2</sup>)/rok

Na podstawie przeprowadzonych analiz wynika, że największe szacunkowe koszty inwestycyjne będą występowały na obszarach o zabudowie najstarszej (sprzed 1945 roku), zwartej, o niskim standardzie, występującej w ścisłym centrum i na historycznych przedmieściach Zielonej Góry (rys. 3).

### Literatura

- Asadi E., Da Silva M., Antunes C., Dias L. (2012). A multi-objective optimization model for building retrofit strategies using TRNSYS simulations, GenOpt and MATLAB. *Building and Environment*, Vol. 56, 370-378.
- Balaras C., Drousta K., Dascalaki E., Kontoyiannidis S. (2005). Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 37, 429-442.
- Barsi A. (2001). Performing coordinate transformation by artificial neural network. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 4/2001.
- Bazan-Krzywoszańska A., Mrówczyńska M., Skiba M., Łączak A. (2016). Economic conditions for the development of energy efficient civil engineering using RES in the policy of cohesion of the European Union (2014-2020). Case study: The town of Zielona Góra. *Energy and Buildings*, Vol. 118, 170-180.
- Bourdic L., Salat S. (2012). Building energy models and assessment systems at the district and city scale: a review. *Building Research and Information*, Vol. 40 (4), 518-526.
- Bourdic L., Salat S., Nowacki C. (2012). Assessing cities: a new system of cross-scale spatial indicators. *Building Research and Information*, Vol. 40 (5), 592-605.
- 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 18.06.2010, str. 13).
- Energetyczny Audyt Miejski (2011) dla miasta Zielona Góra, Zadanie badawcze nr 1: Analiza możliwości i skutków socjoekonomicznych wzrostu efektywności energetycznej w budownictwie. Umowa Nr SP/B/1/91454/10, NCBiR 2010, Zielona Góra, 2011.
- Fabbi K., Zuppiroli. M., Ambrogio K. (2012). Heritage buildings and energy performance: Mapping with GIS tools. *Energy and Buildings*, Vol. 48, 137-145.
- Fouquet D, Johansson Th. (2008). European renewable energy policy at crossroads. Focus on electricity support mechanisms. *Energy Policy*, Vol. 36, 4079-4092.
- Gil J. (2006). Przykłady zastosowań sieci neuronowych w geodezji. *Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego*, Zielona Góra.
- Kopietz-Unger J. (2010). Założenia planowania przestrzennego na rzecz ochrony klimatu i oszczędności energii. *Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego*, Zielona Góra.
- Labiosa W., Forney W., Esnard A., Mitsova-Boneva D., Bernknopf R., Hearn P., Hogan D., Pearlstone L., Strong D., Gladwin H., Swain E. (2013). An integrated multi-criteria scenario evaluation web tool for participatory land-use planning in urbanized areas: The Ecosystem Portfolio Model. *Environmental Modeling & Software*, Vol. 41, 210-222.
- Liao Y., Fang S., Nuttle H. (2003). Relaxed conditions for radial – basis function networks to be approximators. *Neural Networks*, Vol. 16, 1019-1028.
- Osowski S. (2006). Sieci neuronowe. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.
- Uchwała Nr 91 Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 roku w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu

zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”.  
MP, z dnia 16 lipca 2015 r. poz. 614.

Yeo I., Yoon S., Yee J. (2013). Development of an urban energy demand forecasting system to support environmentally friendly urban planning. *Applied Energy*, Vol. 110, 304-317.

Ziobrowski Z. (2012). Urbanistyczne wymiary miast. *Instytut Rozwoju Miast*, Kraków.

## **MARKET POTENTIAL FOR ENERGY EFFICIENT RENOVATIONS IN HOUSING OF ZIELONA GÓRA**

**Abstract:** The paper presents an analysis of conditional energy savings for energy-efficient renovation of housing in Zielona Góra. The potential was determined on the basis of technology and a year of the construction of buildings, kind of buildings and dominating way of heat and power supply. The calculated potential was presented as the value of the necessary investments to reduce energy consumption by 1 kWh/m<sup>2</sup>.