

Iwona Foryś

Uniwersytet Szczeciński

WYKORZYSTANIE METOD PORZĄDKOWANIA OBIEKTÓW PRZY PODEJMOWANIU DECYZJI DOTYCZĄCYCH TERMOMODERNIZACJI BUDYNKÓW MIESZKALNYCH

1. Wstęp

Energochłonność budynków stała się ważnym zagadnieniem ze względu na wysokie koszty nośników energii cieplnej, które w zasobach mieszkaniowych sięgają do 60% bieżących kosztów eksploatacyjnych. Szukanie oszczędności w tym zakresie, czyli racjonalne gospodarowanie energią ciepłą, poprawia komfort zamieszkiwania (zwiększają się parametry cieplne budynku) oraz estetykę budynku, pozwala również na utrzymanie wartości nieruchomości (zapobieganie zużyciu technicznemu i ekonomicznemu). Przesłanki te skłoniły zarządców nieruchomości – w tym również spółdzielnie mieszkaniowe – do podejmowania przedsięwzięć termomodernizacyjnych. Przez przedsięwzięcie termomodernizacyjne należy rozumieć ulepszenie, w wyniku którego następuje zmniejszenie rocznego zapotrzebowania na energię ciepłą dostarczaną do budynków od 10-25% w zależności od rodzaju budynku oraz zakresu prac termomodernizacyjnych. Zakres tych prac obejmuje zarówno ocieplenie elewacji, stropodachów, jak również wymianę stolarki drzwiowej i okiennej oraz modernizację systemów ogrzewania, instalacji grzewczej czy wentylacyjnej. Ponieważ zakres tych prac jest bardzo szeroki, a tym samym kosztochłonny, w przypadku ograniczonych zasobów finansowych dla zarządcy ważne jest ustalenie kolejności poddawania tym procesom kolejnych budynków, czyli typowania obiektów do termomodernizacji.

W tym celu można wykorzystać narzędzia taksonomiczne do wyznaczania syntetycznych wskaźników pozwalających na klasyfikację obiektów pod względem parametrów decydujących o ich energochłonności, a tym samym na grupowanie

obiektów o podobnych cechach. Taka procedura pozwala zobiektywizować zarządzanie typowanie budynków (ustalanie kolejności w następnych latach) do termomodernizacji i racjonalne gospodarowanie przeznaczonym na ten cel funduszem.

2. Charakterystyka danych empirycznych i wybór zmiennych diagnostycznych

Badaniu poddano 37 obiektów O_i (budynków), $i = 1, 2, \dots, 37$, wzniesionych w technologii przemysłowej, pozostających w zasobach spółdzielni mieszkaniowej w Stargardzie Szczecińskim w województwie zachodniopomorskim. Obiekty te stanowią kompleks budynków zlokalizowanych na trzech osiedlach mieszkaniowych, o tym samym źródle zasilania w energię ciepłą (z sieci miejskiej). Pierwotne założenia badania, które miało obejmować okres od roku 1997, zostało ograniczone do trzech ostatnich lat z powodu niekompletności danych istotnych z punktu widzenia zestawu cech opisujących efektywność energetyczną budynków. Zakres czasowy badania (ze względu na rozliczenia finansowe prowadzone w spółdzielni mieszkaniowej) sprowadzono do trzech sezonów grzewczych 2003/2004, 2004/2005 oraz 2005/2006.

Badana grupa obiektów opisana została zmiennymi, które najlepiej, zdaniem specjalistów (zarządców nieruchomości, inżynierów), określają efektywność energetyczną budynków. Należy również wspomnieć, że klasyczna metoda oceny takiej efektywności polega na sporządzeniu dla każdego budynku odrębnego audytu energetycznego, który na tym etapie jest zbędnym wysokim kosztem. Dodatkowym utrudnieniem było zgromadzenie odpowiednich informacji, które pochodziły z innych komórek organizacyjnych i nie funkcjonowały w jednej bazie zbiorczej. Przestanki te pozwoliły na przyjęcie następujących cech określających efektywność energetyczną budynków:

- $X1$ – średnioroczne zużycie energii cieplnej (w kWh/m²),
- $X2$ – moc zamówiona energii cieplnej na budynek (w MW),
- $X3$ – średni koszt ogrzania 1 m² powierzchni użytkowej budynku (w zł/m²),
- $X4$ – liczba mieszkań,
- $X5$ – liczba osób w budynku (mieszkańców według rozliczeń za wywóz nieczystości),
- $X6$ – powierzchnia użytkowa budynku (w m²),
- $X7$ – powierzchnia lokali użytkowych w budynku (w m²),
- $X8$ – wiek budynku w latach,
- $X9$ – stan termomodernizacji budynku (ocieplony, nieocieplony),
- $X10$ – charakterystyka konstrukcyjna budynku (wysoki, niski).

W efekcie otrzymano zestaw danych: w ujęciu przestrzennym – obiekty $O1, \dots, O37$, w ujęciu dynamicznym – sezony grzewcze 2003/2004, 2004/2005, 2005/2006 oraz zmienne charakteryzujące poziom zużycia energii cieplnej obiektów – $X1, \dots, X10$.

Przyjmując kryterium wyboru zmiennych objaśniających najczęściej proponowane w literaturze przedmiotu (zob. [Pawelek, Zeliaś]), należy wyznaczyć podstawowe miary statystyczne analizowanych zmiennych, a w szczególności współczynniki zmienności, korelacji oraz asymetrii. Kompletność danych w analizowanym okresie (zagwarantowana ograniczeniem badania do trzech lat), współczynnik zmienności, który eliminuje zmienne przy $V_s \leq 10\%$, oraz brak nadmiernego skorelowania i asymetryczność rozkładu pozwalają na wybór zmiennych diagnostycznych. Zmienne spełniające nierówność uznano za quasi-stałe, niewnoszące znaczących informacji o badanym zjawisku i nieposiadające zdolności dyskryminacyjnych. Wyznaczono również macierze współczynników korelacji pomiędzy poszczególnymi zmiennymi w kolejnych latach. Ostateczny wybór zmiennych diagnostycznych dokonany został tak, aby zmienne wykazywały niski stopień podobieństwa do siebie oraz niski stopień skorelowania między sobą. Takie podejście gwarantuje niepowielanie informacji zawartych w innych zmiennych.

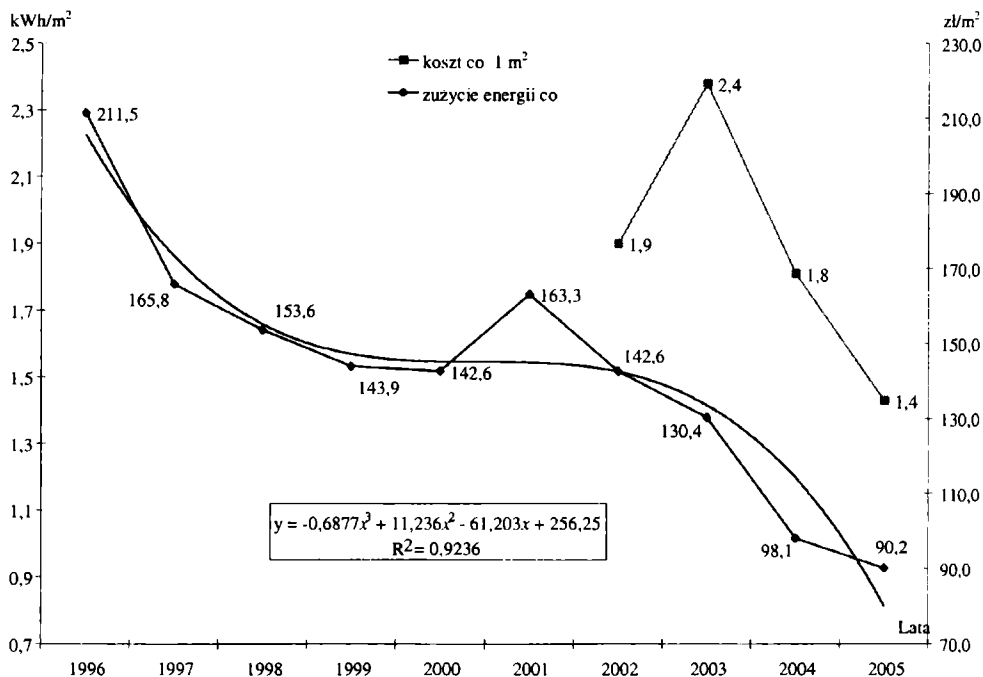
Tabela 1. Wybrane statystyki opisowe zmiennych charakteryzujących badane obiekty*

	Sezony	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
$\bar{x}$	t_1	99,11	0,17	1,47	89,57	255,81	4763,51	74,53	22,84	0,35	0,76
	t_2	101,34	0,32	1,53	89,57	254,73	4763,51	74,53	22,84	0,35	0,76
	t_3	109,18	0,32	1,64	89,57	250,70	4763,51	74,53	22,84	0,35	0,76
A_s	t_1	0,78	0,95	0,63	1,63	1,50	1,44	1,86	0,34	0,65	-1,25
	t_2	0,56	2,06	0,27	1,63	1,50	1,44	1,86	0,34	0,65	-1,25
	t_3	1,42	2,06	-0,04	1,63	1,49	1,44	1,86	0,34	0,65	-1,25
V_s	t_1	13,32	87,40	15,10	95,07	86,46	86,47	182,09	20,19	137,75	57,48
	t_2	15,49	90,78	18,01	95,07	88,07	86,47	182,09	20,19	137,75	57,48
	t_3	19,13	90,78	20,82	95,07	88,53	86,47	182,09	20,19	137,75	57,48

Gdzie: S_x – odchylenie standardowe, A_s – współczynnik asymetrii, V_s – klasyczny współczynnik różnicowania.

Źródło: obliczenia własne.

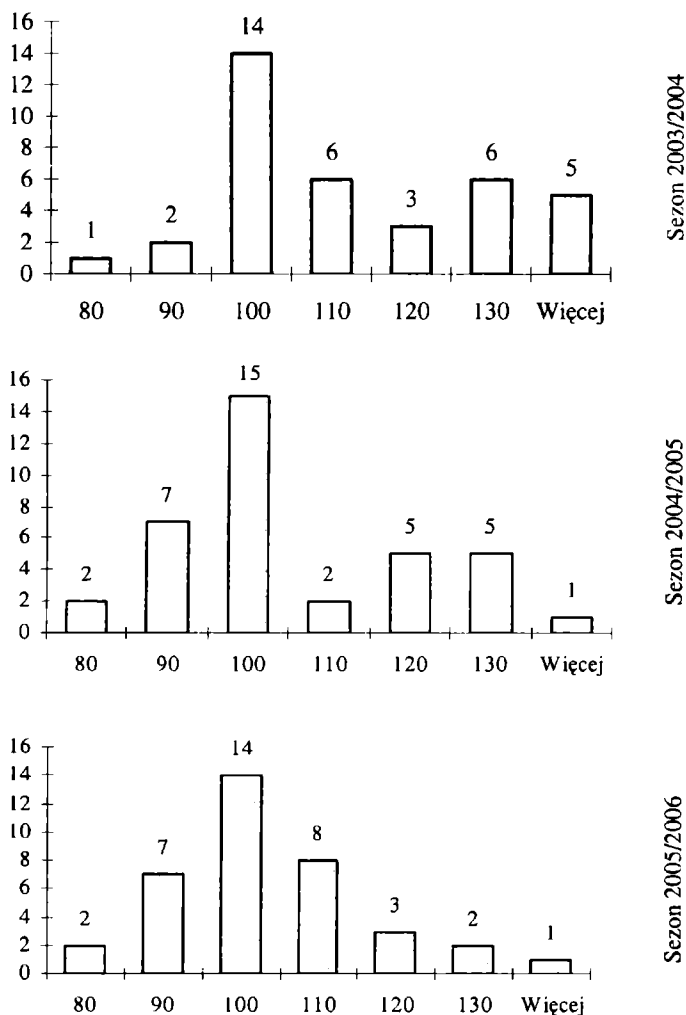
Przyjmując wspomniane kryteria doboru zestawu zmiennych, do dalszej analizy pozostawiono zmienne X1, X3, X4, X5, X7, X9, X10. Spośród nich zmienne X1, X3, X4 oraz X5 ulegały zmianom w czasie (t_1 , t_2 , t_3), natomiast rozkłady zmiennych X7, X9 oraz X10 są w badanych latach stałe. Spośród 37 badanych obiektów 13 poddano termomodernizacji, a ich pozostawienie w zbiorze obiektów pozwala na ustalenie wzorca, do którego porównywane są pozostałe badane obiekty. Na 37 klasyfikowanych budynków 28 to budynki niskie, postrzegane przez zarządców jako mniej energochłonne, co jednak nie znajduje potwierdzenia we współczynniku korelacji.



Rys. 1. Średnioroczny koszt zużycia energii ciepłej oraz koszt ogrzania 1 m² powierzchni mieszkalnej na przykładzie budynku A2 (obiekt O1) w latach 1996-2002
Źródło: obliczenia własne.

Na rysunku 1 wskazano zasadność przeprowadzania procesów termomodernizacyjnych na przykładzie jednego z badanych obiektów (budynek A2 oznaczony jako obiekt O1 w analizie), które pozwalają na zmniejszenie zużycia energii ciepłej (z poziomu 211,5 kWh/m² w roku 1996 do 90,2 kWh/m² w roku 2005), a tym samym – kosztów energii ciepłej z 1,9 zł/m² w roku 2002 do 1,4 zł/m² w roku 2005.

W kolejnych sezonach grzewczych można zaobserwować przesunięcie wartości mediany średniorocznego zużycia energii ciepłej (X1) z wartości 102,1 kWh/m² w sezonie 2004/2003 do wartości 98,0 kWh/m² w sezonie 2005/2006 (zob. rys. 2). Zmiana ta jest wynikiem prowadzonych w kolejnych latach termomodernizacji budynków, potwierdza również celowość prowadzenia tych prac.



Rys. 2. Rozkład średniorocznego zużycia energii cieplnej w kWh/m² w badanych sezonach (X1)
Źródło: opracowanie własne.

Przesłanki merytoryczne pozwoliły na ustalenie grupy zmiennych odgrywających rolę symulant, nominat oraz destymulant, przy czym ostatnie z nich zamieniono na stymulanty, przyjmując ich odwrotność do dalszych obliczeń. W efekcie otrzymano zbiór nominant {X10}, zbiór stymulant {X5, X7, X9} oraz destymulant {X1, X3, X4}.

3. Klasyfikacja obiektów za pomocą syntetycznego miernika efektywności energetycznej budynków

Kolejnym krokiem do wyznaczenia syntetycznego miernika rozwoju (SMR) była normalizacja zmiennych diagnostycznych, która polegała na standaryzacji zmiennych X_i . W celu uporządkowania obiektów od najlepszego do najłabszego pod względem efektywności energetycznej (ranking) wykorzystano mierniki taksonomiczne (przekształcone wartości zmiennych syntetycznych) [Tarczyński 1995]. W efekcie uzyskano uporządkowanie obiektów od najlepszego do najłabszego w trzech sezonach grzewczych 2003/2004, 2004/2005, 2005/2006 pod względem efektywności energetycznej (zob. tab. 2).

Tabela 2. Porządkowanie obiektów według syntetycznego miernika efektywności energetycznej obiektów zgodnie z wzorcem zmiennym w latach 2003-2006

Obiekt	SMR 2005/2006	Obiekt	SMR 2004/2005	Obiekt	SMR 2003/2004
O1	0,671	O1	0,625	O27	0,589
O25	0,634	O27	0,622	O28	0,543
O27	0,629	O11	0,604	O1	0,527
O11	0,621	O28	0,588	O11	0,524
O28	0,612	O25	0,567	O25	0,513
O6	0,594	O2	0,536	O35	0,512
O8	0,593	O3	0,535	O24	0,502
O3	0,592	O35	0,530	O3	0,479
O35	0,591	O24	0,502	O36	0,466
O2	0,589	O4	0,499	O2	0,465
O7	0,576	O36	0,484	O21	0,464
O24	0,546	O31	0,480	O26	0,448
O23	0,540	O6	0,473	O20	0,439
O10	0,532	O21	0,460	O31	0,431
O5	0,526	O20	0,452	O22	0,430
O21	0,518	O30	0,447	O30	0,412
O4	0,511	O7	0,433	O23	0,406
O36	0,504	O23	0,433	O37	0,391
O30	0,482	O22	0,429	O4	0,382
O29	0,466	O32	0,427	O6	0,381
O20	0,451	O37	0,419	O34	0,376
O32	0,445	O29	0,409	O33	0,361
O9	0,444	O34	0,408	O14	0,341
O37	0,444	O10	0,407	O16	0,336
O22	0,436	O5	0,391	O29	0,334
O31	0,432	O16	0,386	O19	0,322
O16	0,411	O26	0,379	O10	0,318
O14	0,388	O33	0,372	O13	0,286
O34	0,369	O14	0,341	O7	0,254
O33	0,368	O13	0,317	O5	0,254
O19	0,359	O19	0,305	O9	0,250
O26	0,353	O8	0,266	O8	0,244
O17	0,316	O17	0,266	O17	0,212
O13	0,315	O9	0,254	O15	0,205
O15	0,291	O15	0,222	O18	0,169
O18	0,163	O18	0,174	O32	0,116
O12	0,000	O12	0,000	O12	0,000

Źródło: opracowanie własne.

Grupowanie obiektów (wyniki w tab. 3) dla wzorca zmiennego przeprowadzono, opierając się na podstawowych parametrach miernika syntetycznego (średnia arytmetyczna oraz odchylenie standardowe) i stosując wzory [Tarczyński 1995]:

$$G1: z_i \in \left(\bar{z} + S_z; \max_i \{z_i\} \right),$$

$$G2: z_i \in \left(\bar{z}; \bar{z} + S_z \right),$$

$$G3: z_i \in \left(\bar{z} - S_z; \bar{z} \right),$$

$$G4: z_i \in \left(\min_i \{z_i\}; \bar{z} - S_z \right).$$

Tabela 3. Klasyfikacja budynków według syntetycznego miernika efektywności energetycznej w sezonach grzewczych w latach 2003-2006

Grupa	Sezon 2005/2006	Sezon 2004/2005	Sezon 2003/2004
I	O1, O11, O25, O27, O28	O1, O11, O25, O27, O28	O1, O11, O24, O25, O27, O28, O35
II	O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8, O10, O21, O23, O24, O30, O35, O36	O2, O3, O4, O6, O7, O8, O10, O20, O21, O22, O23, O24, O30, O31, O32, O37	O2, O3, O4, O6, O20, O22, O23, O24, O26, O30, O34, O36, O37
III	O9, O14, O16, O19, O20, O22, O26, O29, O31, O32, O33, O34, O37	O5, O10, O13, O14, O16, O19, O26, O29, O33, O34	O5, O7, O8, O9, O10, O13, O14, O16, O19, O29, O33
IV	O12, O13, O15, O17, O18	O8, O9, O12, O15, O17, O18	O8, O12, O15, O17, O18, O32

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można zauważyć dużą zbieżność wyników klasyfikacji w kolejnych sezonach grzewczych. Największe podobieństwo wykazują grupy I oraz IV, a podobieństwo w czasie – dwa ostatnie sezony. Tylko dwa obiekty O24 oraz O35 w sezonie 2003/2004 zostały wyżej sklasyfikowane niż w dwóch kolejnych latach. W grupach II oraz III zauważono kilka przesunięć w klasyfikacji obiektów, przy czym sezon 2003/2004 najbardziej odbiegał od pozostałych.

Podobne uporządkowanie oraz grupowanie uzyskano, przyjmując za punkt odniesienia wzorzec stały [Zeliaś 2000], rozumiany jako stały punkt odniesienia przy normalizacji cech (wartości maksymalnych cech z sezonu 2003/2004).

4. Wnioski

Przeprowadzone badanie ma wymiar bardzo praktyczny, ponieważ na podstawie uzyskanego grupowania pozwala wskazać kolejność typowania obiektów (budynków) do prac termomodernizacyjnych. Wskazanie w pierwszej kolejności obiektów o najgorszych parametrach efektywności energetycznej (grupa IV), czyli obiektów o najwyż-

szych zużyciach ze względu na przyjęte zmienne (stymulanty i destymulanty), ułatwi zapobieganie niekorzystnym odchyleniom i pozwoli na efektywniejsze gospodarowanie energią cieplną w analizowanych zasobach. Daje również zarządcy narzędzie do wskazywania obiektów, dla których z powodu niekorzystnych odchyleń należy przeprowadzać szczegółowe analizy pozwalające na zidentyfikowanie przyczyn (które mogą leżeć w wadach technicznych obiektów) tych odchyleń. W skrajnych przypadkach badanie daje uzasadnienie do wykonania audytów energetycznych, a w przyszłości pozwala ustalać kolejność ich wykonywania.

Literatura

- Jajuga K. (1993), *Statystyczna analiza wielowymiarowa*, PWN, Warszawa.
- Pawełek B., Zeliaś A., *Proste metody oceny ważności zmiennych diagnostycznych w badaniach taksonomicznych*, Folia Oeconomica Cracoviensia, vol. XXXVII.
- Tarczyński W. (1995), *Metody ilościowe w analizie otoczenia przedsiębiorstwa*. Uniwersytet Szczeciński, Szczecin.
- Walesiak M. (1996), *Metody analizy danych marketingowych*, PWN, Warszawa.
- Walesiak M. (2002), *Uogólniona miara odległości w statystycznej analizie wielowymiarowej*, AE, Wrocław.
- Zeliaś A.(red.) (2000), *Taksonomiczna analiza przestrzennego zróżnicowania poziomu życia w Polsce w ujęciu dynamicznym*, AE, Kraków.

THE USING ORDERING OF OBJECTS METHODS AT THE STARTING HOUSE BUILDINGS TERMOMODERNIZATION DECISIONS

Summary

In this article author used the ordering of objects methods in the process of decisions connected with the choosing a house buildings to termomodernization. The author divided 37 objects on four groups, using the synthetic measure of the energy-effectivity in three heating seasons in years 2003-2006. In the group IV were found objects which had worst energy- parameters, instead in the group I - the best. In following heating seasons the arrangement gave nearing effects, and dislocatings in groups got out of executed on given objects in this time of termomodernization works. Dislocatings to higher groups, followed as result of of making worse of diagnostic quality, accepted in the analysis. The using synthetic measure of the development to the classification of objects according to the constant pattern gives property managers the simple tool of the type inference of following objects to termomodernization.