

BUDOWNICTWO

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS

CIVIL ENGINEERING

WYDAWNICTWO

POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1-B/2009

ZESZYT 5

ROK 106

ISSUE 5

YEAR 106

PIOTR LIS, ROBERT SEKRET*

ANALIZA PORÓWNAWCZA
SEZONOWEGO ZUŻYCIA CIEPŁA
DO OGRZEWANIA BUDYNKÓW EDUKACYJNYCH

COMPARATIVE ANALYSIS OF SEASONAL
HEAT CONSUMPTION FOR HEATING
IN EDUCATIONAL BUILDINGS

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań i analizy energochłonności ogrzewania budynków edukacyjnych. Wspomniane wyniki są fragmentem szerszych badań statystycznych cech 50 budynków szkół w Częstochowie, wpływających na ich parametry ciepłno-energetyczne. W artykule przedstawiono analizę zmian sezonowej energochłonności ogrzewania 18 budynków szkół w trzech podobnych sezonach grzewczych.

Słowa kluczowe: budynki edukacyjne, sezony grzewcze, zużycie energii do ogrzewania

Abstract

The paper presents the results of the research and analysis of the energy-consuming for heating in the educational buildings. These results are some fragment of the results of the statistical research included 50 school buildings in Częstochowa whose aim was the analysis of the features of school buildings. The paper presents analysis of changes of the seasonal energy-consuming for heating in 18 school buildings for three similar heating seasons.

Keywords: educational buildings, heating seasons, energy-consuming for heating

* Dr inż. Piotr Lis, dr hab. inż. Robert Sekret, prof. PCz., Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ochrony Atmosfery, Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska, Politechnika Częstochowska.

Oznaczenia

V	– kubatura ogrzewana budynku [m^3]
P_o	– powierzchnia ogrzewana budynku [m^2]
$t_e \text{ śr}$	– średnia dobową temperaturę powietrza na zewnątrz w sezonie grzewczym [$^{\circ}C$]
Sd	– liczba stopniodni w sezonie grzewczym [doba $^{\circ}C$]
$x_{\text{śr}}, x_{\text{typ}}$	– odpowiednio: wartość średnia i granice typowości danej wielkości
$s(x)$	– odchylenie standardowe danej wielkości
$V_k(x)$	– współczynnik zmienności danej wielkości [%]
$A_s(x)$	– współczynnik asymetrii danej wielkości [–]
Q, q	– odpowiednio: rzeczywiste zużycie ciepła do ogrzewania budynku edukacyjnego w sezonie grzewczym [MJ/a] i moc szczytowa [kW]
Q/V	– ilość ciepła zużytego do ogrzewania $1 m^3$ kubatury ogrzewanej budynku w sezonie grzewczym [$MJ/(m^3 a)$]
Q/P_o	– ilość ciepła zużytego do ogrzewania $1 m^2$ powierzchni ogrzewanej budynku w sezonie grzewczym [$MJ/(m^2 a)$]
q/V	– moc szczytowa do ogrzewania $1 m^3$ kubatury ogrzewanej budynku [W/m^3]
q/P_o	– moc szczytowa do ogrzewania $1 m^2$ powierzchni ogrzewanej budynku [W/m^2]

1. Wstęp

Celem zaprezentowanej analizy było uzyskanie opisu kształtowania się zużycia ciepła, a tym samym energochłonności ogrzewania pomieszczeń w budynkach edukacyjnych w trzech podobnych sezonach grzewczych.

Wspomniane wcześniej podobieństwo sezonów grzewczych dotyczyło zbliżonych wartości temperatur powietrza na zewnątrz i okresów trwania rozpatrywanych okresów.

Przedstawiona w dalszej części artykułu analiza graficznego przebiegu wielkości związanych bezpośrednio lub pośrednio z zużyciem ciepła do ogrzewania powinna być pomocna w ujawnieniu zależności i możliwości interpretacyjnych wynikających z przedstawionych wykresów. Zdobyte w ten sposób doświadczenia można wykorzystać w bardziej złożonej niż zazwyczaj obserwacji zużycia energii do ogrzewania budynków. Przy takich okazjach pojawiają się również możliwości uzyskania istotnych informacji wynikających wprost lub pośrednio z przeprowadzenia wspomnianej analizy.

2. Ogólna charakterystyka przeprowadzonych badań

Analizie poddano wielkości charakteryzujące ogrzewanie 18 budynków edukacyjnych w trzech sezonach grzewczych. Jeśli chodzi o uwzględnione w analizie sezony grzewcze, to można uznać (po przeprowadzeniu statystycznego testowania hipotez z zastosowaniem testu t -Studenta), że nie odbiegają one w sposób statystycznie istotny od typowego sezonu grzewczego dla wielolecia. Podstawową charakterystykę tych sezonów przedstawiono w tab. 1.

Wspomniana analiza jest fragmentem prowadzonych od dłuższego czasu pełnych badań statystycznych wymienionej zbiorowości. Zbiorowość statystyczną tworzy 50 budynków mieszczących szkoły podstawowe i gimnazja podlegające i zarządzane przez Wydział

Edukacji i Sportu Urzędu Miasta w Częstochowie. Badania realizowane są za pomocą metody spisu statystycznego doraźnego z wykorzystaniem statystyki opisowej, analizy współzależności i metod statystycznej weryfikacji hipotez. Wśród badanych budynków edukacyjnych część zasilana jest w ciepło do ogrzewania przez miejscowe Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej i to z tych obiektów wybrano 18 budynków do dalszej analizy.

Tabela 1

Poddane analizie sezony grzewcze, uporządkowane chronologicznie

Sezon grzewczy (oznaczenie umowne)	Średnia dobową temperatura na zewnątrz $t_{e\text{śr}}$ [°C]	Czas trwania sezonu grzewczego [doba]	Stopniodni Sd [doba °C]	Odniesienie do sezonu I [-]
I	3,0	205	3485	1,00
II	3,7	220	3586	1,03
III	1,4	222	4192	1,20

Przy wyborze osiemnastu rozpatrywanych tutaj budynków kierowano się kryteriami podobieństwa sposobu określenia rzeczywistego sezonowego zużycia ciepła do ogrzewania (liczniki ciepła) i niezmiennością w badanych okresach czynników związanych z elementami budowlanymi i instalacyjnymi tych obiektów. Ilość zużytego do ogrzewania ciepła Q

Tabela 2

Wybrane miary opisu statystycznego wielkości charakteryzujących budynki edukacyjne i zużycie ciepła do ich ogrzewania

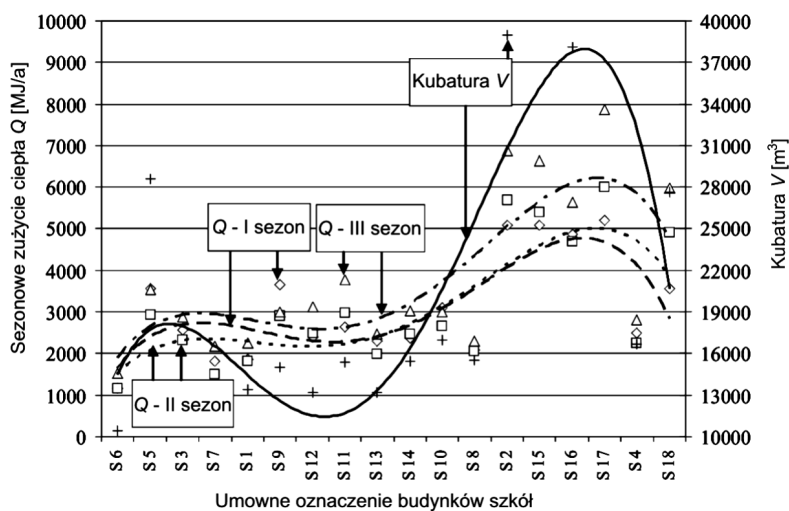
Wielkość x	Wybrane miary opisu statystycznego				
	wartość średnia $x_{\text{śr}}$	odchylenie standardowe $s(x)$	granice typowości x_{typ}	współczynnik zmienności $V_k(x)$	współczynnik asymetrii $A_s(x)$
Budynki edukacyjne					
Kubatura ogrzewana V [m ³]	21485	10968	10517–32453	51,1%	0,70
Powierzchnia ogrzewana P_o [m ²]	4609	2494	2103–7115	54,4%	0,86
Moc szczytowa q [kW]	492,68	263,98	228,70–756,7	53,6%	-0,10
q/V [W/(m ³ a)]	23,19	5,33	17,86–28,51	23,0%	-0,57
Sezon grzewczy I					
Q [GJ/a]	3099,19	1214,86	1884,25–4313,97	24,97%	0,58
Q/V [MJ/(m ³ a)]	152,80	33,20	119,60–185,99	16,29%	0,36
Q/P_o [MJ/(m ² a)]	728,38	168,03	560,35–896,41	13,02%	0,20
Sezon grzewczy II					
Q [GJ/a]	3595,14	1694,50	1900,64–5289,64	42,01%	0,56
Q/V [MJ/(m ³ a)]	171,71	31,81	139,90–203,52	14,36%	0,44
Q/P_o [MJ/(m ² a)]	811,68	128,80	682,88–940,48	10,73%	0,53
Sezon grzewczy III					
Q [GJ/a]	4017,91	1923,61	2094,30–5941,53	43,40%	0,65
Q/V [MJ/(m ³ a)]	192,04	33,89	158,14–225,93	9,91%	0,25
Q/P_o [MJ/(m ² a)]	908,99	140,07	768,92–1049,06	11,27%	0,51

w trzech analizowanych sezonach grzewczych ustalono na podstawie wskazań liczników ciepła [1, 2]. Ogólną charakterystykę statystyczną badanej grupy obiektów przedstawiono w tab. 2.

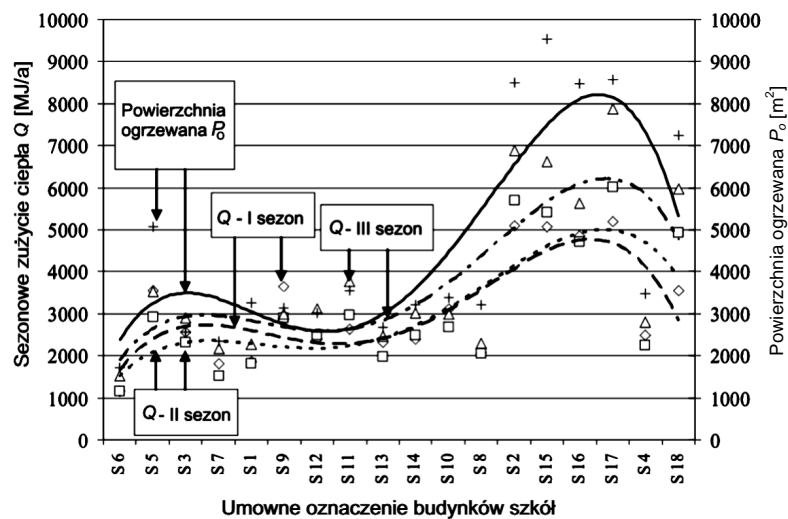
3. Wyniki analizy

Wyniki analizy przedstawiono w formie wykresów wartości rzeczywistego sezonowego zużycia ciepła Q i pomocniczo mocy szczytowej q w 18 budynkach dla trzech sezonów grzewczych i obliczonych na tej podstawie wskaźników energochłonności ogrzewania: Q/V , q/V . Należy dodać, że wartości sezonowego zużycia ciepła do ogrzewania Q poddano pewnego rodzaju skorygowaniu, dzieląc wartości dla dwóch sezonów grzewczych przez współczynniki odnoszące ilości stopniodni S_d obliczone dla sezonów II i III do analogicznej wielkości dla sezonu I – „najłżejszego” z rozpatrywanych. Wartości tych współczynników przedstawiono w ostatniej kolumnie tab. 1 w celu pośredniego wyeliminowania różnic pomiędzy wartościami stopniodni S_d rozpatrywanych okresów ogrzewania.

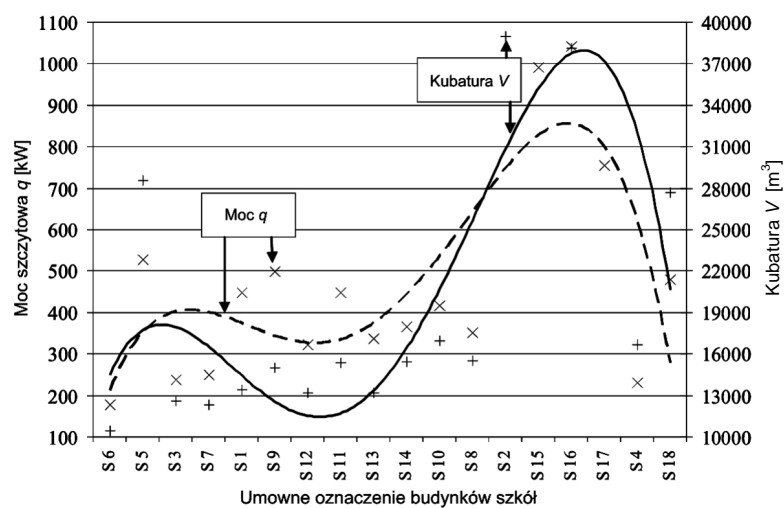
Wykresy zaprezentowano w dwóch grupach, po przeprowadzeniu sortowania danych według lat budowy badanych budynków edukacyjnych, rozpoczynając od obiektu „najstarszego”, a kończąc na „najmłodszym”. W pierwszej przedstawiono wartości i trendy zmian dla wielkości Q , q (rys. 5), wspólnie z towarzyszącymi im zmianami kubatury ogrzewanej V (rys. 1 i 3) i powierzchni ogrzewanej P_o (rys. 2 i 4). W drugiej grupie opisane wcześniej zasady sortowania pozostały bez zmian, ale tym razem wykresy wykonano, wykorzystując wartości wskaźników energochłonności ogrzewania Q/V i q/V (rys. 6).



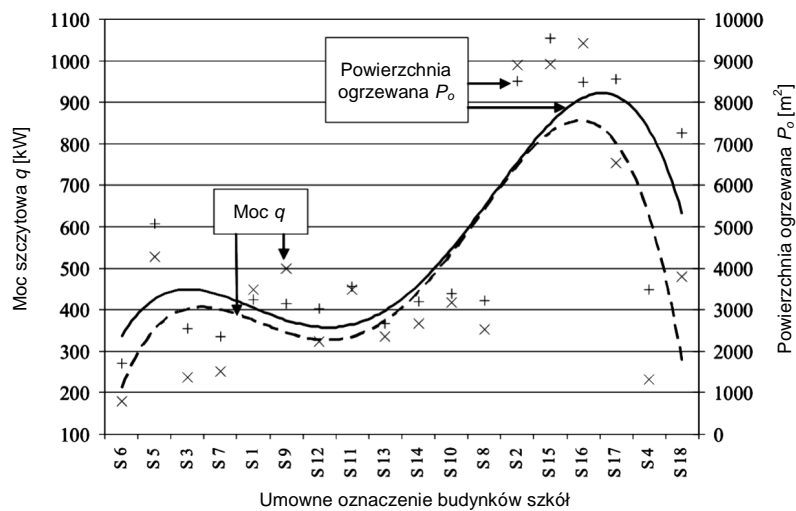
Rys. 1. Trendy zmian Q i V dla budynków szkół uporządkowanych wg roku budowy
Fig. 1. Trends of changes Q and V for school buildings ordered according to year of building



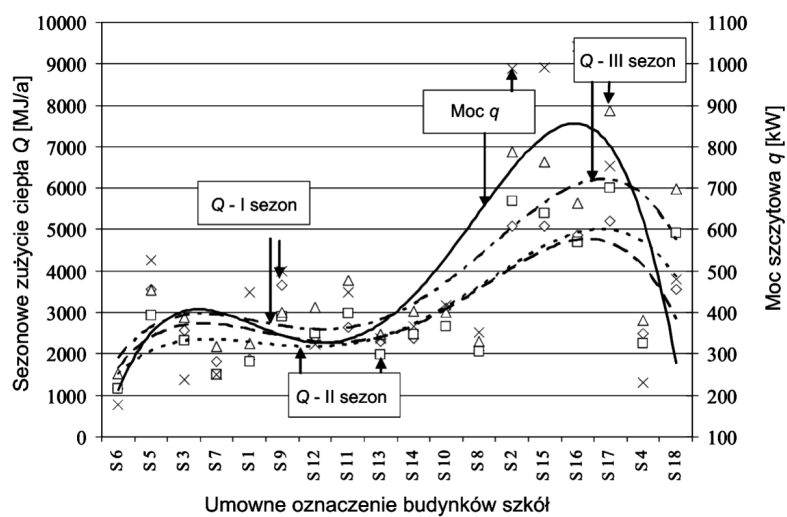
Rys. 2. Trendy zmian Q i P_o dla budynków szkół uporządkowanych wg roku ich budowy
 Fig. 2. Trends of changes Q and P_o for school buildings ordered according to year of building



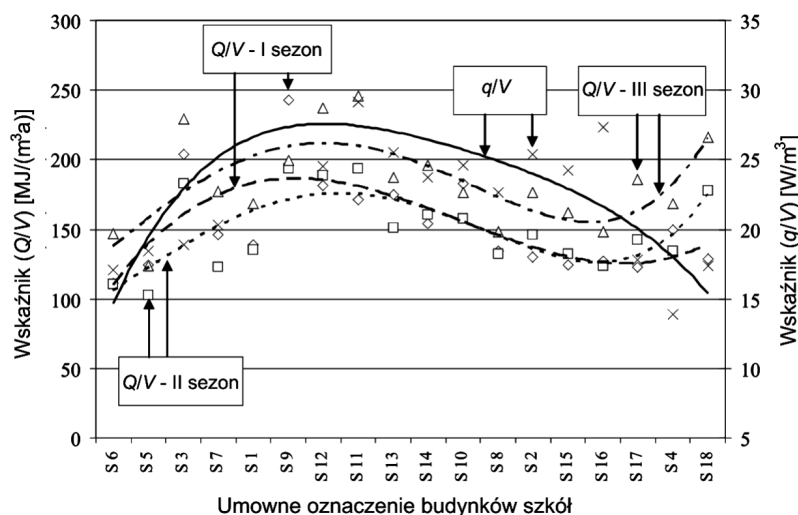
Rys. 3. Trendy zmian q i V dla budynków szkół uporządkowanych wg roku ich budowy
 Fig. 3. Trends of changes q and V for school buildings ordered according to year of building



Rys. 4. Trendy zmian q i P_o dla budynków szkół uporządkowanych wg roku ich budowy
 Fig. 4. Trends of changes q and P_o for school buildings ordered according to year of building



Rys. 5. Trendy zmian Q i q dla budynków szkół uporządkowanych wg roku ich budowy
 Fig. 5. Trends of changes Q and q for school buildings ordered according to year of building



Rys. 6. Trendy zmian (Q/V) i (q/V) dla budynków szkół uporządkowanych wg roku ich budowy

Fig. 6. Trends of changes (Q/V) and (q/V) for school buildings ordered according to year of building

4. Podsumowanie

Mając na uwadze zmianę warunków w kolejnych, porównywanych sezonach grzewczych, zużycie ciepła do ogrzewania badanych budynków edukacyjnych powinno wykazywać tendencję rosnącą (rys. 1 i 2). Jednak dzieje się tak w ok. 70% analizowanych obiektów. Wydaje się to świadczyć o nieprawidłowościach w ogrzewaniu pozostałych 30% budynków. Może to być spowodowane pewnymi zamierzonymi lub przypadkowymi wydarzeniami (awaria, remont ogrzewania itp.). W rozpatrywanym okresie nie zanotowano jednak żadnego z wymienionych zdarzeń w skali mogącej wpłynąć znacząco na zużycie ciepła. Wynika stąd, że przyczyny zaobserwowanego zjawiska należy prawdopodobnie szukać w uchybieniach eksploatacyjnych w ogrzewanych szkołach. Z pewnością jest to sygnał do podjęcia działań mających na celu szczegółowe wyjaśnienie takiej sytuacji.

Realizowanie powyższej procedury – od porównania wyników monitorowania, przez wyjaśnienie przyczyn, do zastosowania niezbędnych środków zaradczych – w dłuższym okresie umożliwia budowanie banku danych o możliwych przyczynach zniekształceń obrazu graficznego powstałego w wyniku monitorowania sezonowego zużycia ciepła do ogrzewania rozpatrywanych obiektów.

Na wykresach zaobserwowano zwiększone sezonowe zużycie ciepła Q do ogrzewania nowszych budynków edukacyjnych (rys. 1 i 2) pomimo przeciętnie mniejszej energochłonności ich ogrzewania (rys. 6). Jest to spowodowane występującą z upływem czasu tendencją wznoszenia coraz większych obiektów tego typu, przy jednoczesnym stosowaniu rozwiązań coraz bardziej zmniejszających zużycie ciepła do ogrzewania. Te ostatnie powodowały – ilustrują to wykresy na rys. 6 – niższy przeciętny poziom wartości wskaź-

ników rzeczywistych bazujących na wartościach Q i wskaźników teoretycznych obliczonych z wykorzystaniem wartości mocy szczytowej q w poszczególnych obiektach, odnoszących przecież wspomniane wartości do jednostki ogrzewanej kubatury budynków, a nie do ich całkowitej wielkości. Architektoniczno-budowlane ukształtowanie oraz wielkość (kubatura V – rys. 1 i 3) analizowanych budynków edukacyjnych są różne i powiązane z potrzebami cieplnymi ogrzewanych obiektów. Na zużycie ciepła wpływa jednak jeszcze wiele cech i to one uzyskują dominujący wpływ na energochłonność ogrzewania (rys. 1 i 2 – dominującą rolę odgrywają znaczne różnice w kubaturze V szkół).

Zauważono również (rys. 1 i 3), że pomimo zgodności trendów zmian wartości Q i q ze zmianami kubatury V występują tutaj pewnego rodzaju różnice w omawianych tendencjach. Można je sformułować w następujący sposób – wzrostom i spadkom sezonowego zużycia ciepła do ogrzewania towarzyszą odpowiadające im, ale większe, odchylenia wartości kubatury V (rys. 1) i mocy szczytowej q (rys. 3). Zjawisko to dotyczy przede wszystkim najmniejszych i największych budynków. Z tym jednak, że w wypadku najmniejszych obiektów powyższe sformułowanie odnosi się praktycznie tylko do kubatury.

Zastosowanie „skorygowania” wartości Q , Q/V , Q/P_o (przeliczniki w tab. 1), mającego na celu teoretyczne „upodobnienie i wyrównanie” warunków w trzech rozpatrywanych sezonach grzewczych, umożliwi umowne usunięcie wpływu tych warunków na energochłonność ogrzewania. Wtedy wzajemne ułożenie linii trendów zmian analizowanych wielkości jest dodatkowym źródłem informacji o ewentualnych zależnościach lub nieprawidłowościach. Sygnałem do ich występowania jest zbyt duży rozrzut linii trendu.

W omawianym wypadku wzajemne położenie linii trendu dla sezonów I i II można uznać za „prawidłowe” (rys. 3 i 4). Zauważono również występowanie rozbieżności pomiędzy realiami sezonu grzewczego (wartości na bazie Q) a teoretycznymi, obliczeniowymi przewidywaniami (wartości na bazie q) dla niektórych budynków (rys. 5 i 6).

Analizując wykresy z wartościami Q (rys. 1 i 2), należy zwrócić także uwagę na poziom wartości Q w stosunku do ich typowego zakresu (tab. 2). W budynkach 2, 15, 17 i 18 stwierdzono przekroczenie górnej granicy typowości dla wartości Q , pomimo że objekty te charakteryzują się przeciętnymi lub nawet stosunkowo dobrymi (w rozpatrywanej zbiorowości) wartościami wskaźników Q/V (rys. 6). Taki wynik jest następstwem faktu, że wspomniane budynki należą do większych (duże zużycie ciepła Q – rys. 1 i 2) wśród rozpatrywanej grupy obiektów. Mniej korzystne wartości Q/V występują w szkołach mniejszych, ale ze względu na swoją mniejszą kubaturę zużywają one mniej ciepła Q .

Przedstawiona propozycja analizy zużycia ciepła do ogrzewania oraz interpretacja jej wyników może posłużyć jako narzędzie w zarządzaniu energią w użytkowanych budynkach, wskazując jednocześnie możliwości racjonalizacji w tym zakresie zarówno dla całej zbiorowości, jak i indywidualnych obiektów.

Literatura

- [1] Lis P., *Dane o zużyciu ciepła w budynkach szkół zarządzanych przez Urząd Miasta w Częstochowie*, uzyskane w wyniku badań własnych i od Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej w Częstochowie.
- [2] Lis P., *Interpretacja zmian sezonowego zużycia ciepła do ogrzewania budynków edukacyjnych*, *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* 2, R. XXXVI(431), 2006, 29-33.