

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\*

TENDENCJE W KSZTAŁTOWANIU  
ISTNIEJĄCYCH BUDYNKÓW EDUKACYJNYCH  
I ICH WPŁYW NA ENERGOCHŁONNOŚĆ OGRZEWANIA

EDUCATIONAL BUILDINGS SHAPES TENDENCY  
AND INFLUENCES ENERGY CONSUMPTION  
OF HEATING

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań sezonowego zużycia ciepła  $Q$  do ich ogrzewania i mocy szczytowej  $q$  w zbiorowości budynków edukacyjnych. Badaniami statystycznymi objęto 50 budynków szkół w Częstochowie zarządzanych przez Urząd Miasta. Na podstawie zebranego pierwotnego materiału badawczego w artykule przedstawiono analizę wpływu wybranych rozwiązań architektoniczno-funkcjonalnych budynków edukacyjnych na rzeczywiste zużycie ciepła do ich ogrzewania.

*Słowa kluczowe: budynki edukacyjne, rozwiązania architektoniczno-funkcjonalne, zużycie ciepła do ogrzewania*

Abstract

The paper presents the results of the research of the seasonal heat demand for heating  $Q$  and heat power  $q$  in the educational buildings. The statistical research included 50 school buildings in Częstochowa governed by the Częstochowa Municipal Office. The paper present analysis of the influence selected architectural and functional solutions of educational buildings on the real seasonal consumption of heat used for heating of this buildings.

*Keywords: educational buildings, architectural and functional solutions, consumption of heat used 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 [ $m^3$ ]
$A$	– powierzchnia przegród zewnętrznych budynku [ $m^2$ ]
$P_u$	– powierzchnia użytkowa budynku [ $m^2$ ]
$P_{ok}$	– powierzchnia okien w budynku [ $m^2$ ]
$P_s$	– powierzchnia wszystkich sal lekcyjnych w danym budynku [ $m^2$ ]
$A/V$	– stosunek powierzchni przegród zewnętrznych $A$ do kubatury $V$ budynku [ $m^{-1}$ ]
$P_{ok}/P_{so}$	– stosunek powierzchni okien do powierzchni ścian zewnętrznych razem z powierzchnią okien
$P_{ok}/P_u$	– stosunek powierzchni okien w budynku do jego powierzchni użytkowej
$P_s/P_u$	– stosunek powierzchni wszystkich sal lekcyjnych w budynku do jego powierzchni użytkowej
$L_s$	– liczba sal lekcyjnych w budynku
$P_{s\ \acute{s}r}$	– średnia powierzchnia sali lekcyjnej w danym budynku [ $m^2$ ]
$P_{d\ \acute{s}r}$	– średnia powierzchnia sali lekcyjnej przypadająca na 1 ucznia w budynku [ $m^2/\text{uczeń}$ ]
$Q$	– rzeczywiste zużycie ciepła do ogrzewania budynku w sezonie grzewczym [ $MJ/a$ ]
$q$	– moc szczytowa na potrzeby związane z ogrzewaniem budynku [ $kW$ ]
$Q/V$	– ilość ciepła zużytego do ogrzewania $1\ m^3$ kubatury ogrzewanej budynku w sezonie grzewczym [ $MJ/(m^3a)$ ]
$q/V$	– moc szczytowa do ogrzewania $1\ m^3$ kubatury ogrzewanej budynku [ $kW/m^3$ ]
$x_{\acute{s}r}$	– wartość średnia danej wielkości
$x_{typ}$	– granice typowości danej wielkości
$s(x)$	– odchylenie standardowe danej wielkości
$V_k(x)$	– współczynnik zmienności danej wielkości [%]
$A_s(x)$	– współczynnik asymetrii danej wielkości [–]

## 1. Wstęp

Każdy budynek bez względu na funkcję ma pewne cechy charakterystyczne. Jest to spowodowane m.in. wprowadzeniem do jego projektu określonych rozwiązań architektoniczno-budowlanych. Są one w pewnym stopniu zdeterminowane funkcją budynku i oczekiwaniami przyszłych użytkowników. Rozwiązania te wpływają w mniejszym lub w większym stopniu na zużycie ciepła do ogrzewania.

Analiza kształtowania budynku, czyli rozwiązań architektoniczno-funkcjonalnych w odniesieniu do ilości ciepła zużywanego podczas ogrzewania pomieszczeń, może być źródłem informacji wykorzystywanych przy projektowaniu tego typu obiektów.

## 2. Ogólna charakterystyka badań

Realizację badań rozpoczęto w latach 90. i są one kontynuowane. Ze względu na sposób ich prowadzenia można je zaliczyć do badań statystycznych pełnych. Zbiorowość statystyczna to 50 budynków mieszczących szkoły publiczne zarządzane przez Wydział Edukacji i Sportu Urzędu Miasta w Częstochowie. Badania realizowane są metodą spisu statystycznego doraźnego z zastosowaniem statystyki opisowej i analizy współzależności.

Ostateczne dane o mocy szczytowej  $q$  dla badanych budynków uzyskano z dokumentacji technicznej i finansowej oraz własnych obliczeń. Ilość zużytego ciepła  $Q$  w bazowych dla badań sezonach grzewczych, które są typowe dla okresu wieloletniego, ustalono w dwojaki sposób. W budynkach, do których ciepło dostarczane jest przez PEC, sezonowe zużycie ciepła  $Q$  określono na podstawie odczytów z zainstalowanych liczników ciepła. W obiektach z własnymi kotłowniami ilość ciepła  $Q$  obliczono, zbierając niezbędne informacje lub korzystając z wyników przeprowadzonych pomiarów.

Dodatkowe informacje o badanych budynkach szkół przedstawiono w tab. 1 [1–3].

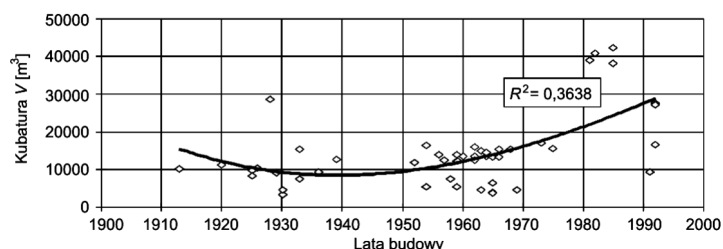
Tabela 1

**Wybrane miary opisu statystycznego dla analizowanych wielkości charakteryzujących  
pośrednio kształtowanie budynków edukacyjnych**

Wielkość $x$	Wybrane miary opisu statystycznego				
	wartość średnia $x_{\text{sr}}$	odchylenie standard. $s(x)$	granice typowości $x_{\text{typ}}$	$V_k(x)$ , [%]	$A_s(x)$
Kubatura $V$ [m <sup>3</sup> ]	14 365,15	9 354,18	5 010,98–23 719,34	65,12	0,22
Powierzchnia użytkowa $P_u$ [m <sup>2</sup> ]	3 109,44	2 096,57	1 012,87–5 206,01	67,43	0,36
Liczba sal lekcyjnych $L_s$	21	12	9–33	57,12	0,01
Średnia powierzchnia sali lekcyjnej $P_{s\text{sr}}$ [m <sup>2</sup> ]	50,28	8,13	42,15–58,40	16,16	0,20
Powierzchnia sali lekcyjnej na 1 ucznia $P_{d\text{sr}}$ [m <sup>2</sup> /uczeń]	1,58	0,41	1,28–2,11	24,38	0,21
$A/V$ [m <sup>-1</sup> ]	0,3774	0,0927	0,3035–0,4889	23,40	0,62
$P_{ok}/P_{so}$ [-]	0,2438	0,0540	0,1898–0,2978	22,15	0,79
$P_s/P_u$ [-]	0,3711	0,0946	0,2978–0,4657	25,49	-0,02
$P_{ok}/P_u$ [-]	0,2438	0,0540	0,1898–0,2978	22,15	0,79

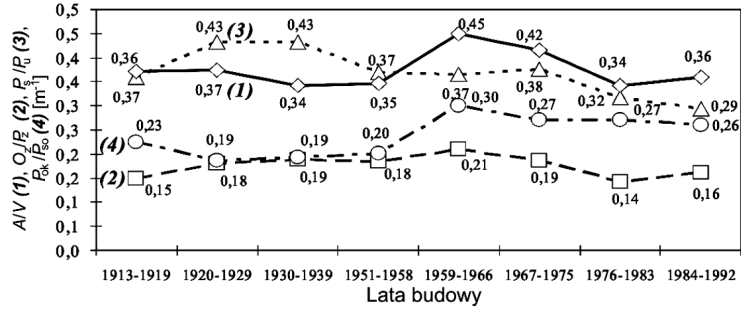
### 3. Wyniki badań

Badane budynki edukacyjne wybudowano w latach 1913–1992, przy czym 75% wzniesiono po 1945 r. Ponadto w latach 1950–1992 istniała tendencja do budowania coraz większych obiektów oświatowych (rys. 1).



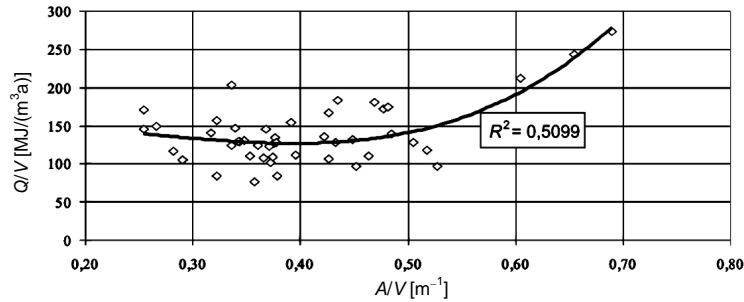
Rys. 1. Trendy zmian  $V$  dla budynków edukacyjnych uporządkowanych wg roku budowy  
Fig. 1. Trend of cubature  $V$  changes for educational buildings ordered according to year of building

Dodatkowych informacji o obiektach dostarcza wykres trendów zmian wskaźników charakteryzujących ilościowo wybrane przez autora (tab. 1) tendencje w kształtowaniu budynków edukacyjnych (rys. 2). Przedziały czasowe na wykresie są zdeterminowane okresami obowiązywania kolejnych wymagań ochrony cieplnej budynków.



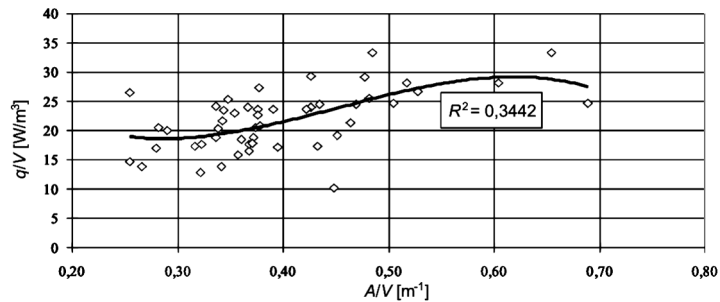
Rys. 2. Trendy zmian  $A/V$ ,  $O_z/P_z$ ,  $P_s/P_u$ ,  $P_{ok}/P_{so}$  dla budynków uporządkowanych wg roku budowy

Fig. 2. Trend of  $A/V$ ,  $O_z/P_z$ ,  $P_s/P_u$ ,  $P_{ok}/P_{so}$  changes for buildings ordered according to year of building



Rys. 3. Wykres zależności pomiędzy  $Q/V$  i  $A/V$  dla budynków edukacyjnych

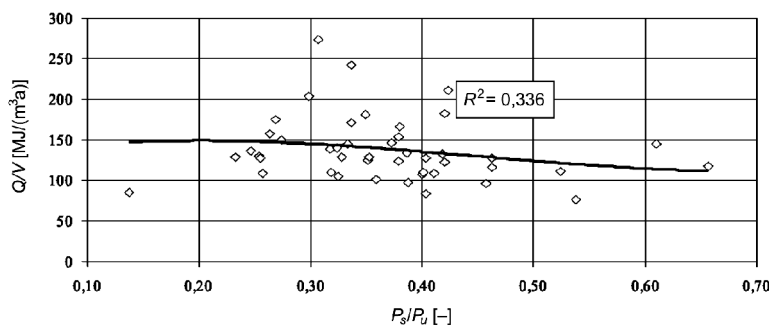
Fig. 3. Dependency graph between  $Q/V$  and  $A/V$  for educational buildings



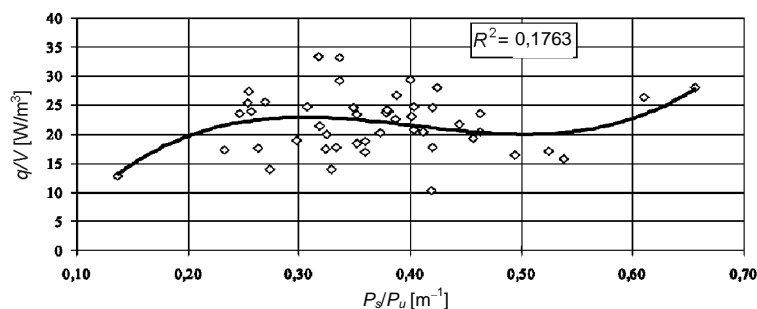
Rys. 4. Wykres zależności pomiędzy  $q/V$  i  $A/V$  dla budynków edukacyjnych

Fig. 4. Dependency graph between  $q/V$  and  $A/V$  for educational buildings

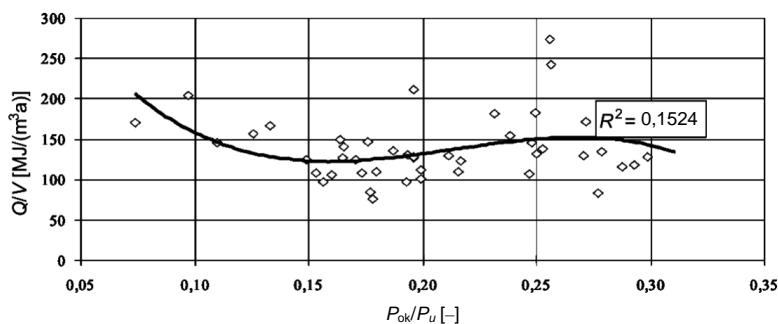
W dalszej części przedstawiono wykresy zależności pomiędzy wybranymi, wymienionymi wcześniej w tab. 1 wielkościami – wskaźnikami charakteryzującymi ilościowo rozwiązania architektoniczno-funkcjonalne badanych szkół (rys. 3–10), a wskaźnikami określającymi energochłonność ich ogrzewania  $Q/V$  i  $q/V$ .



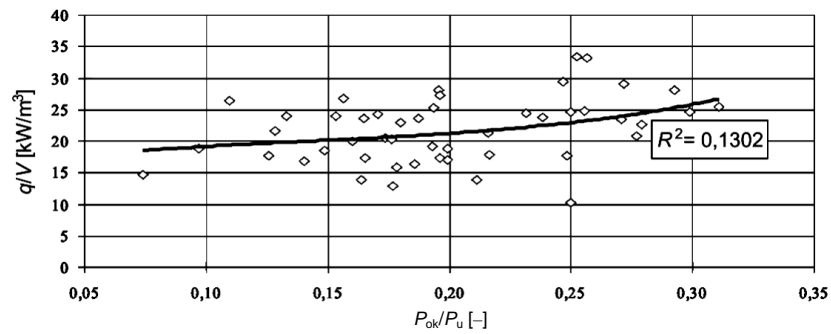
Rys. 5. Wykres zależności pomiędzy  $Q/V$  i  $P_s/P_u$  dla budynków edukacyjnych  
Fig. 5. Dependency graph between  $Q/V$  and  $P_s/P_u$  for educational buildings



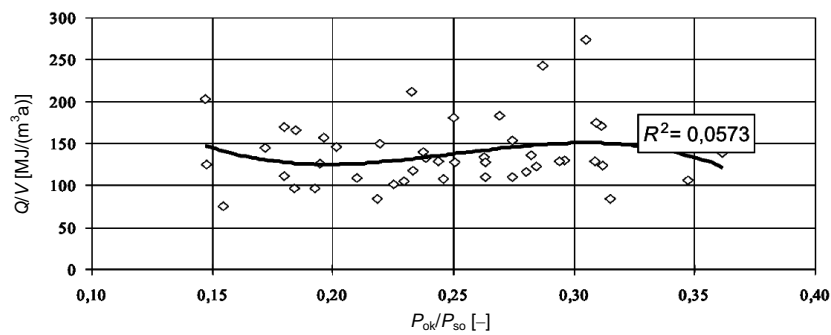
Rys. 6. Wykres zależności pomiędzy  $q/V$  i  $P_s/P_u$  dla budynków edukacyjnych  
Fig. 6. Dependency graph between  $q/V$  and  $P_s/P_u$  for educational buildings



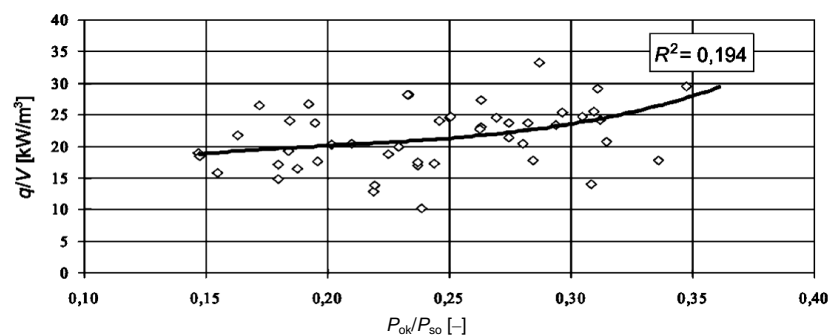
Rys. 7. Wykres zależności pomiędzy  $Q/V$  i  $P_{ok}/P_u$  dla budynków edukacyjnych  
Fig. 7. Dependency graph between  $Q/V$  and  $P_{ok}/P_u$  for educational buildings



Rys. 8. Wykres zależności pomiędzy  $q/V$  i  $P_{ok}/P_u$  dla budynków edukacyjnych  
 Fig. 8. Dependency graph between  $q/V$  and  $P_{ok}/P_u$  for educational buildings



Rys. 9. Wykres zależności pomiędzy  $Q/V$  i  $P_{ok}/P_{so}$  dla budynków edukacyjnych  
 Fig. 9. Dependency graph between  $Q/V$  and  $P_{ok}/P_{so}$  for educational buildings



Rys. 10. Wykres zależności pomiędzy  $q/V$  i  $P_{ok}/P_{so}$  dla budynków edukacyjnych  
 Fig. 10. Dependency graph between  $q/V$  and  $P_{ok}/P_{so}$  for educational buildings

#### 4. Podsumowanie

Przeciętny budynek, w którym mieści się szkoła, ma kubaturę  $V_{sr} = 14\,365,16\text{ m}^3$ , a ok. 65% tego typu obiektów ma kubaturę  $V$  mniejszą od ww. wartości średniej (potwierdza to wartość współczynnika  $A_s(V) = 0,22$  (tab. 1) – asymetria prawostronna). Wartości  $V$  dla ok. 40% obiektów mieszczą się w przedziale 12 000–16 000  $\text{m}^3$  i można je uznać za średniej wielkości, a większość z nich wybudowano w latach 1959–1970.

Wśród analizowanych rozwiązań architektoniczno-funkcjonalnych (linie trendu na wykresach wykreślono, korzystając w każdym z rozpatrywanych wypadków z wielomianu trzeciego stopnia budynków) największy wpływ na energochłonność ich ogrzewania, określoną przez wskaźniki  $Q/V$  i  $q/V$ , ma ukształtowanie bryły budynku edukacyjnego. Scharakteryzowano je pośrednio przez wskaźnik  $A/V$ .

Różnice w tym zakresie pomiędzy budynkami (rys. 3 i 4) są odpowiedzialne w ok. 34% za zmiany wartości  $q/V$  i w ok. 51% za zmiany wartości  $Q/V$ . Na podstawie różnicy wartości  $R^2$  można domniemywać o istnieniu rozbieżności pomiędzy teorią obliczeń a rzeczywistymi warunkami zużycia ciepła  $Q$ . Przeciętnie największymi wartościami  $A/V$  charakteryzują się szkoły wybudowane w latach 1959–1966 (rys. 2)  $(A/V)_{sr} = 0,45\text{ m}^{-1}$ . W tym okresie często projektowano budynki pawilonowe (częściowo atrialne), o rozległym rzucie poziomym i różnej liczbie kondygnacji w poszczególnych segmentach. Na podstawie analizy badanej zbiorowości stwierdzono, że nie powinno stanowić trudności projektowanie tego typu obiektów przynajmniej o  $A/V \approx 0,30\text{ m}^{-1}$ , dzięki czemu można uzyskać bezinwestycyjne ograniczenie potrzeb cieplnych budynku nawet o 40–50%.

Analizie poddano również wykorzystanie powierzchni użytkowej budynków szkół, określonej przez stosunek powierzchni sal lekcyjnych w budynku do jego powierzchni użytkowej –  $P_s/P_u$ . Stwierdzono słaby związek korelacyjny pomiędzy  $P_s/P_u$  a  $Q/V$  i  $q/V$  (rys. 5 i 6). Na uwagę zasługuje jednak zmiana rosnącej tendencji zależności pomiędzy wskaźnikiem  $P_s/P_u$  a  $q/V$  na malejącą w wypadku wskaźników  $P_s/P_u$  i  $Q/V$ . Wydaje się, że jest to przede wszystkim spowodowane przez występujące w rzeczywistych warunkach zanikanie różnicy w temperaturach wewnątrz ogrzewanych pomieszczeń pomiędzy salami lekcyjnymi a korytarzami i innymi pomieszczeniami. Stan ten jest konsekwencją braku lub wadliwej pracy grzejnikowych zaworów termostatycznych. Drugą przyczyną tego zjawiska są występujące rzeczywiste (nadmierne w stosunku do teoretycznych obliczeń  $q$ ) straty ciepła z pomieszczeń innych niż sale lekcyjne. Niejednokrotnie podczas wizji stwierdzano większą nieuszczelnność okien i drzwi zewnętrznych na szkolnych korytarzach i w pomieszczeniach pomocniczych. W szkołach wybudowanych po 1958 r. wykorzystanie  $P_u$  obiektu na sale lekcyjne jest mniejsze od obiektów wzniesionych wcześniej. Występuje tam nadmierny i nieuzasadniony funkcjonalnie udział powierzchni komunikacyjnej w powierzchni użytkowej budynku, którą trzeba ogrzewać. Wspomnianej tendencji towarzyszy zazwyczaj wzrost wartości wskaźnika  $A/V$  (rys. 2).

W badanych budynkach dokonano także analizy wartości uproszczonego wskaźnika oświetlenia dziennego wyrażonego przez stosunek powierzchni okien do powierzchni podłogi  $P_{ok}/P_u$  (rys. 7 i 8). W wyniku badania zależności stwierdzono odmienną przebiegu związku pomiędzy  $P_{ok}/P_u$  a  $Q/V$  (rys. 7) oraz związku  $P_{ok}/P_u$  i  $q/V$  (rys. 8). Należy zwrócić uwagę na czynniki odpowiedzialne za ten stan rzeczy, albowiem istnienie wyraźnej, rosnącej zależności między  $Q/V$  a  $P_{ok}/P_u$  wydaje się logiczne i oczywiste.

Stwierdzono między innymi, że wpływ powierzchni przeszklonych (a szczególnie szczelności okien) na zużycie ciepła  $Q$  jest znacznie trudniejszy do rzeczywistej oceny i często mniejszy niż wynikałoby to z obliczeń wartości  $q$  wykonanych w projektach instalacji centralnego ogrzewania. Jest to jeszcze jednym potwierdzeniem istnienia rozbieżności pomiędzy teoretycznymi podstawami obliczeń wartości  $q$  a rzeczywistymi warunkami wpływającymi na zużycie ciepła  $Q$ . W celu ogólnego wyjaśnienia ujawnionych różnic dokonano analizy czynników wpływających na wartości wskaźników  $Q/V$  i  $q/V$ . Na tej podstawie wywnioskowano, że zaobserwowana odmienność zależności pomiędzy  $Q/V$  a  $P_{ok}/P_u$  (w stosunku do zależności  $q/V$  i  $P_{ok}/P_u$ ) jest spowodowana przede wszystkim różnicami pomiędzy rzeczywistymi a obliczeniowymi warunkami na zewnątrz ogrzewanego budynku oraz trudnościami we właściwej ocenie rzeczywistej termoizolacyjności poszczególnych fragmentów przeszklania budynku i przyjęciu na tej podstawie pewnych danych do obliczeń. Do powstania wyjaśnianych różnic nie bez znaczenia jest też brak lub wadliwa praca grzejnikowych zaworów termostatycznych w wielu analizowanych budynkach edukacyjnych.

Uniemożliwia to reakcję systemu ogrzewania na zmiany w ogrzewanych pomieszczeniach, spowodowane m.in. przez zyski ciepła od nasłonecznienia przez okna, jak i zwiększone zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania przy nadmiernej infiltracji powietrza z zewnątrz przez nieszczelne okna. Prawdopodobnie zbliżone do ww. przyczyny spowodowały również podobną do wykresów na rys. 7 i 8 odmienność statystycznie nieistotnego przebiegu związku pomiędzy  $P_{ok}/P_{so}$  a  $Q/V$  (rys. 9) oraz statystycznie istotnego związku pomiędzy  $P_{ok}/P_{so}$  i  $q/V$  (rys. 10).

Dla przeciętnego budynku szkoły  $P_{ok}/P_u = 0,20$  przy zakresie wartości od 0,07 do 0,31. W wypadku szkół oświetlenie dzienne jest najczęściej oświetleniem bocznym, a wskaźnik  $P_{ok}/P_u$  powinien wynosić od 0,20 do 0,30. Ze względu na ograniczanie strat ciepła korzystniejsze jest jednak przyjmowanie  $P_{ok}/P_u = 0,20$ . Wskaźnik  $P_{ok}/P_u = 0,20$  jest przekroczony o od 0,01 do 0,11 w 19 z 50 badanych budynków. Warto o tym pamiętać przy wymianie okien, przy jednoczesnej możliwości ograniczenia ich powierzchni.

#### Literatura

- [1] Lis P., *Wpływ ukształtowania architektoniczno-funkcjonalnego budynków szkół na zużycie ciepła do ogrzewania*, Gospodarka Paliwami i Energią 1, R. LII (595), 2004, 4-8.
- [2] Lis P., *The architectural and material features of heating school buildings which are statistical important for heat consumption*, VII Vedecká konferencia s medzinárodnou úcastiou. Zborník prednášok, 12. sekcia: Teória techniky prostredia budov., 22–24 mája 2002, Košice, Košice 2002, 110-113.
- [3] Lis P., Śliwowski L., *Ukształtowanie brył budynków szkół a zużycie ciepła do ich ogrzewania*, Instal 1, R. 20 (203), 2001, 20-23.