

WYBRANE ASPEKTY MONITOROWANIA ZUŻYCIA CIEPŁA W BUDYNKACH EDUKACYJNYCH

Piotr LIS*

* Politechnika Częstochowska, Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ochrony Atmosfery
Ul. J. H. Dąbrowskiego 71, 42-200 Częstochowa, e-mail: annapiotr.lis@neostrada.pl

Streszczenie: W referacie przedstawiono możliwości, jak i warunki ich wykorzystania, stworzone dzięki monitorowaniu i analizie zużycia ciepła w grupie budynków. Przedstawiony materiał zilustrowano przykładami odnoszącymi się do zbiorowości budynków edukacyjnych.

Słowa kluczowe: ogrzewanie pomieszczeń, energochłonność ogrzewania, zużycie ciepła, budynki edukacyjne.

1. WPROWADZENIE

Monitorowanie zużycia ciepła do ogrzewania pomieszczeń zazwyczaj ogranicza się do rejestracji jego wartości w pewnych okresach. Ma to miejsce w odniesieniu do budynków rozpatrywanych często jako pojedyncze obiekty. Towarzyszy temu podstawowa analiza tychże wartości. Dysponując takim materiałem wyjściowym można jednak dokonywać poszerzonych analiz. Wnioski z nich mogą mieć znacznie donioślejszy charakter niż ma to miejsce w obecnych, ograniczonych praktykach. Syntetyczną charakterystykę podejścia do prezentowanej problematyki można by zawrzeć w trzech, trochę zmienionych przez autora na potrzeby niniejszego referatu, funkcjonujących i przytaczanych przy różnych okazjach sformułowaniach:

- prawie wszystko już było;
- kto dysponuje informacją ten ... może skutecznie zarządzać;
- czasami wystarczy obserwować, naśladować i udoskonalać istniejące rozwiązania

2. WARUNKI WYKORZYSTANIA MOŻLIWOŚCI MONITOROWANIA ZUŻYCIA CIEPŁA

Mając na uwadze powyższe można wyodrębnić dwa kluczowe dla omawianych zagadnień cele monitorowania:

- tworzenie bazy danych z informacjami o podstawowych wielkościach związanych z zużyciem ciepła w budynkach;
- dostarczenie informacji wyjściowych do dalszych analiz różnych aspektów zużycia ciepła w budynkach.

Dane uzyskane w czasie monitorowania zużycia ciepła do ogrzewania pomieszczeń w budynkach, a jeszcze lepiej w określonej w pewien sposób ich zbiorowości, stwarzają możliwości do odpowiedzi na szereg pytań związanych z energochłonnością ogrzewania tych obiektów i czynnikami odgrywającymi tutaj znaczącą rolę. Właściwe wykorzystanie pojawiających się w takich przypadkach możliwości pozwala na:

- efektywne zarządzanie energią w obiektach;
- wyodrębnienie i uwypuklenie zachodzących pozytywnych i negatywnych zjawisk i oddziaływań różnych czynników wpływających na zużycie ciepła;
- wyodrębnienie i możliwość powielania rozwiązań korzystnych dla zużycia ciepła w budynku, a funkcjonujących w monitorowanej zbiorowości obiektów;
- podejmowanie najważniejszych decyzji dotyczących racjonalizacji gospodarowania ciepłem w budynku.

Dla właściwego wykorzystania tych możliwości, w odniesieniu do grupy budynków (rys.1), konieczne jest:

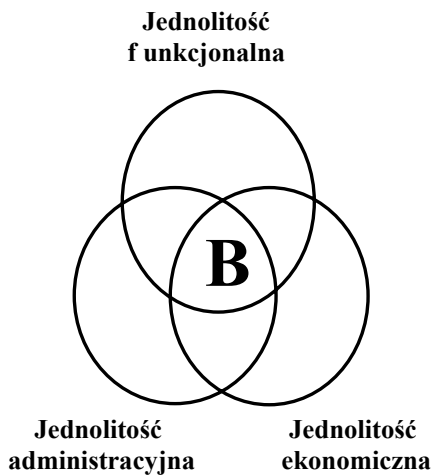
- określenie jednolitej pod pewnymi względami zbiorowości budynków;
- przyjęcie lub stworzenie, w oparciu o posiadane dane liczbowe i ich przekształcenia, wskaźników związanych z istotnymi czynnikami wpływającymi bezpośrednio lub pośrednio na zużycie ciepła;
- zilustrowanie (wykresy) informacji o: wybranych wielkościach, obliczonych na ich podstawie wskaźnikach, wynikach ich analizy.



Rys. 1. Warunki wykorzystania możliwości monitorowania zużycia ciepła w zbiorowości budynków Fig. 1.

2.1. Jednolita zbiorowość budynków

Najlepiej, gdy obserwacji poddana jest jednolita pod pewnymi względami zbiorowość obiektów. Pozwala to na eliminowanie pewnych różnic pomiędzy budynkami, wpływających na energochłonność ogrzewania i efektywniejsze wdrażanie zaleceń dotyczących racjonalizacji gospodarki ciepłem. Wymagania jednolitości monitorowanej grupy budynków (rys. 2 obszar B) spełnia w odpowiedni sposób zbiorowość budynków szkół. Są to obiekty jednolite funkcjonalnie, podlegające administracyjnie lokalnym samorządom i finansowane przez samorządy (z środków finansowych Budżetu Państwa i własnych).



Rys. 2. Jednolita zbiorowość budynków Fig. 2. Uniform community of buildings

2.2. Dane i wskaźniki

Wykorzystywane dane można podzielić na zależne i niezależne. Do tej pierwszej grupy należą: sezonowe zużycie ciepła Q do ogrzewania pomieszczeń i moc szczytowa q (użyto oznaczeń przed zmianami zamieszczonymi w normie PN-EN 12831 „Instalacje grzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.”). Wspomniane wielkości, a w szczególności pierwszoplanowa w prowadzonych rozważaniach, ilość ciepła zużytego w sezonie grzewczym do ogrzania budynku, zależą od szeregu cech - wielkości niezależnych. Można je podzielić na cztery grupy:

- cechy organizacyjne - uwzględniają funkcję budynku oraz sposób jego eksploatacji w aspekcie jego ogrzewania;
- cechy architektoniczno-budowlane - charakteryzują budynek pod względem rozwiązań architektoniczno-budowlanych mających związek z energochłonnością jego ogrzewania;
- cechy materiałowo-konstrukcyjne - uwzględniają zastosowane rozwiązania materiałowe, konstrukcyjne i technologiczne w odniesieniu przede wszystkim do przegród zewnętrznych budynku;
- cechy instalacyjne - mające związek z systemem ogrzewania budynku.

Omawiane wielkości przedstawiono w tab. 1 i 2 dla przypadku zbiorowości budynków szkół.

Tabela 1. Wielkości i obliczone wskaźniki
Table 1. Quantities and calculation indexes

Podstawowe dane charakteryzujące środowisko na zewnątrz i wewnątrz ogrzewanego budynku	
Podstawowe dane meteorologiczne dla obszaru lokalizacji budynków, m.in. temperatura na zewnątrz, kierunek i prędkość wiatru, nasłonecznienie i dodatkowo czas ogrzewania	
Podstawowe dane charakteryzujące środowisko wewnątrz ogrzewanego budynku - przynajmniej temperatura wewnątrz	
Wielkości zależne i wskaźniki - charakterystyka cieplno-energetyczna budynku	
Dane wyjściowe (sezonowe zużycie ciepła do ogrzewania - Q ; moc szczytowa - q)	Obliczone wskaźniki (m.in. Q/V ; q/V)
Wielkości niezależne i wskaźniki - charakterystyka budynków	
Organizacyjne; architektoniczno-budowlane; materiałowo-konstrukcyjne; instalacyjne	
Dane wyjściowe	Obliczone wskaźniki

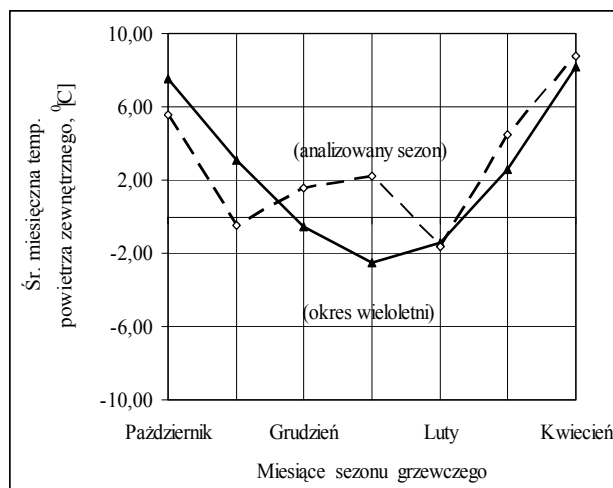
Tabela 2. Podstawowe wielkości niezależne
Table 2. General independent quantities

PODSTAWOWE WIELKOŚCI NIEZALEŻNE
<p><u>Grupa cech organizacyjnych:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - czas trwania zajęć lekcyjnych, - czas trwania zajęć pozalekcyjnych, - czas trwania zajęć lekcyjnych i pozalekcyjnych.
<p><u>Grupa cech architektoniczno - budowlanych:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - wielkość i kształt bryły budynku edukacyjnego, - powierzchnia, kształt i usytuowanie okien, - wykorzystanie powierzchni użytkowej, - usytuowanie budynku w terenie.
<p><u>Grupa cech materiałowo - konstrukcyjnych:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - własności termoizolacyjne przegród zewnętrznych, - typizacja projektu architektoniczno - budowlanego, - technologia realizacji budynku edukacyjnego, - stan techniczny budynku edukacyjnego.
<p><u>Grupa cech instalacyjnych:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - system wentylacji w budynku i jego funkcjonowanie, - wyposażenie systemu c.o. w urządzenia i automatykę regulacyjną, - eksploatacja instalacji c.o., - rodzaj źródła zasilania w ciepło instalacji c.o., - charakterystyka źródła ciepła w kotłowniach własnych, - eksploatacja źródła ciepła w kotłowniach własnych.

Ważną rolę w zbiorze danych odgrywają informacje charakteryzujące warunki panujące na zewnątrz i wewnątrz ogrzewanych pomieszczeń, w okresie analizowanych sezonów grzewczych. Aby spełnić swoje zadanie, podstawowe dane meteorologiczne dla obszaru lokalizacji budynków oraz przynajmniej dane o temperaturze wewnątrz ogrzewanych pomieszczeń powinny być:

- zgromadzone dla okresu wieloletniego;
- gromadzone dla kolejnych okresów monitorowania zużycia ciepła do ogrzewania w budynkach;
- porównane, dla okresu monitorowania, z okresem wieloletnim. W tym celu można wykorzystać narzędzia statystyczne i graficzne. W pierwszym przypadku mogą to być testy stosowane w teorii testowania hipotez (dla przykładu test t-Studenta występujący w różnych, zmodyfikowanych wersjach dla zbiorowości o różnych liczebnościach.

Jeśli chodzi natomiast o narzędzia graficzne to doskonale sprawdzają się w tym przypadku wykresy sporządzone dla odpowiednio przygotowanych szeregów czasowych (rys.3).



Rys. 3. Średnie miesięczne temperatury powietrza zewnętrznego w sezonie grzewczym

Fig. 3. Averages monthly outdoor temperatures in heating season

Dysponowanie danymi o warunkach panujących na zewnątrz i wewnątrz pomieszczeń w rozpatrywanych okresach stwarza możliwości teoretycznego zobiektywizowania porównania uzyskanych informacji. Jest to często niezbędne dla różnych warunków ogrzewania budynków w poszczególnych sezonach grzewczych i poszczególnych obiektach.

Podsumowując tą część rozważań można stwierdzić, że przeprowadzając różne operacje przy gromadzeniu i przygotowaniu zbioru danych należałoby dążyć do otrzymania:

- odpowiednio uporządkowanych szeregów wartości dla poszczególnych cech ilościowych rozpatrywanych budynków. Podstawą uporządkowania może być jedna z rozpatrywanych cech. Inną, specyficzną formą uporządkowania jest tworzenie szeregów czasowych przedziałowych, gdzie kryterium utworzenia takiego szeregu jest czas obowiązywania poszczególnych wymagań z zakresu ochrony cieplnej budynków;
- wskaźników (na bazie Q i q), obliczonych z uwzględnieniem cech mających istotny wpływ na zużycie ciepła w budynkach;
- tak zwanych wskaźników skorygowanych, otrzymanych poprzez tworzenie iloczynów wybranych wielkości lub wskaźników. Pozwala to wyeliminować lub wzmocnić wpływ cech obiektów na zjawiska związane z zużyciem ciepła.

2.3. Wykresy zmian wartości i zależności

Dane wyjściowe i otrzymane na ich podstawie wskaźniki powinny być w dalszej części poddane opisowi statystycznemu z wykorzystaniem powszechnie dostępnego oprogramowania. Wiele zjawisk występujących w analizowanej zbiorowości budynków i mających różny wpływ na energochłonność ich ogrzewania nie jest jednak widocznych jeśli analizę oprzemy wyłącznie na opisie statystycznym. Z tego względu należy odpowiednio przygotowane dane o rozpatrywanych wielkościach przedstawić w formie wykresów zmian ich wartości i zależności pomiędzy nimi. Dla uzyskania pełniejszego obrazu można wykonywane wykresy uzupełnić o dodatkowe opcje przedstawione w tab.3.

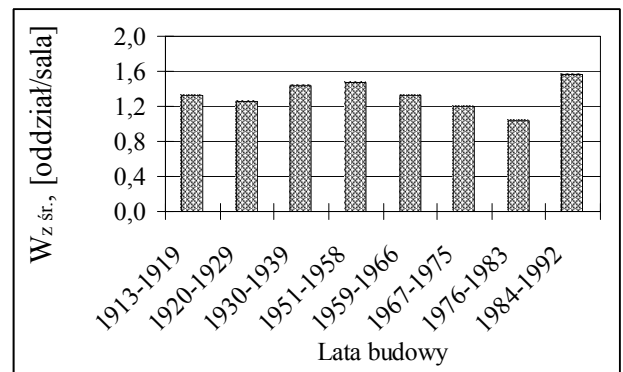
Tabela 3. Wykresy stosowane w analizie danych
Table 3. Graphs applied to data analysis

Rodzaj wykresu	Opcje
Wykres zmian wartości	Linia trendu zmian
	Opis funkcji linii trendu
	Wskaźnik determinacji dla funkcji linii trendu R^2
	Grupowanie według jednej z rozpatrywanych wielkości
	Uporządkowanie według wartości jednej z uwzględnianych w rozważaniach wielkości
Wykres zależności	Wskaźnik determinacji dla zależności R^2
	Współczynnik korelacji dla zależności r
	Opis funkcji zależności rozpatrywanych wielkości

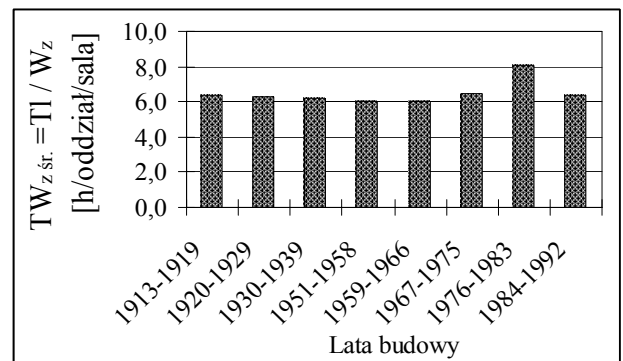
W dalszej części zaprezentowano przykłady wykresów zmian wartości (dla szeregów przedziałowych po wcześniejszym pogrupowaniu danych) związanych z poszczególnymi grupami cech i wykresów zależności pomiędzy różnymi wielkościami, wymienionymi w tab.2. Spoglądając na przedstawione w tab. 2 grupy cech można stwierdzić, że każda z nich ma swoją specyfikę w odniesieniu do różnych funkcjonalnie grup budynków. Wydaje się jednak, że w grupie cech organizacyjnych wspomniana specyfika ma wyjątkowo duże znaczenie.

Jej uwzględnienie wymaga znajomości funkcjonowania danej grupy obiektów. Tak dzieje się w przypadku budynków szkół i powoduje konieczność wprowadzenia do analizy specjalnie skonstruowanych wskaźników. Ich wartości mają charakteryzować wielkości mające pośredni wpływ na zużycie ciepła do ogrzewania. W przypadku budynków edukacyjnych jest to czas trwania zajęć lekcyjnych i czynniki z nim powiązane. Przykładem wspomnianych wielkości są wykresy wartości zmian dwóch współczynników:

- współczynnika zmienowości W_z , określającego stosunek ilości oddziałów w danej szkole do ilości sal lekcyjnych (rys.4). Ilustruje on możliwości lokalowe szkoły w zestawieniu z ilością uczniów;
- współczynnika $TW_z=(TI/W_z)$ określającego ilość godzin zajęć lekcyjnych przypadających na jednostkę współczynnika zmienowości (rys.5). Ilustruje on „efektywność” wykorzystania ww. zdefiniowanych możliwości szkoły.



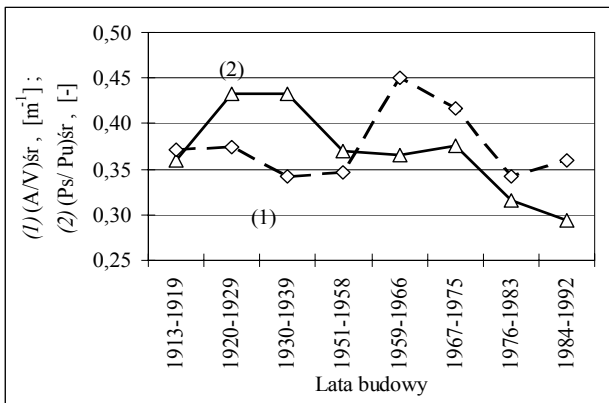
Rys. 4. Średnie wartości współczynnika zmienowości W_z dla budynków szkół
Fig. 4. Average values of W_z coefficient for school buildings



Rys. 5. Średnie wartości współczynnika TW_z dla bud. szkół
Fig. 5. Average values of TW_z coefficient for school buildings

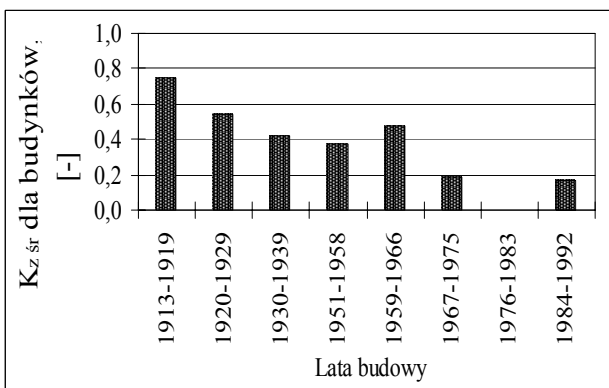
Następną uwzględnioną grupą wielkości, są cechy architektoniczno-budowlane budynków.

Na podstawie wykresów zmian wartości wielkości tworzących tą grupę cech można wnioskować o zmieniających się trendach w projektowaniu i realizacji obiektów w danej grupie funkcjonalnej. Dla budynków szkół ważnym jest na przykład topic wykorzystania przestrzeni obiektu dla celów, którym ma służyć – udział sal lekcyjnych w powierzchni użytkowej szkoły (rys.6). Po porównaniu z przebiegiem zmian modułu powierzchniowego A/V wnioski nasuwają się same i są czytelne dla analizującego wykres.



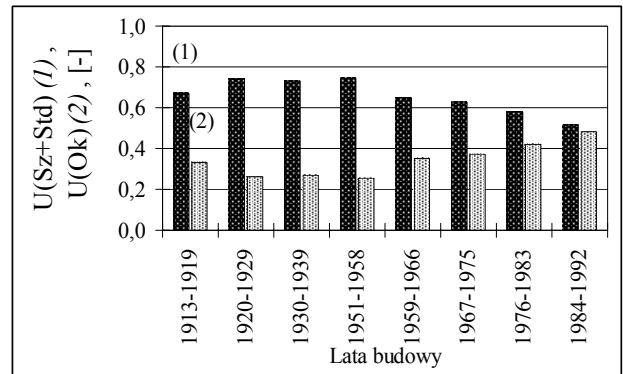
Rys. 6. Średnie wartości wskaźnika (A/V) dla bud. szkół.
Fig. 6. Average values of (A/V) index for school buildings.

Przy starannym podejściu do analizy graficznej informacje uzyskane z analizy wykresów zmian są doskonale zgodne z rzeczywistością. Wiernie odzwierciedlenie rzeczywistej sytuacji pokazuje rys.7, przedstawiający zacienienie drzewami poszczególnych budynków edukacyjnych. Trend malejący jest tutaj w sposób widoczny zaburzony przez obiekty wybudowane w latach 1959-1966. Właśnie w tym okresie dominowały nasadzenia topoli o dużym stopniu zagęszczenia sadzonek i szybkim tempie wzrostu. Efektem tej działalności jest wspomniane zaburzenie trendu występujące na wykresie.



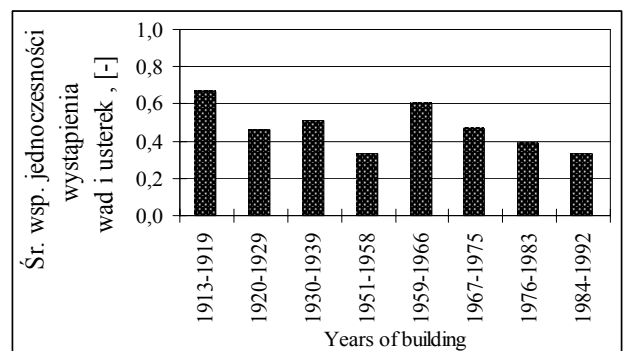
Rys. 7. Średnie wartości wskaźnika K_z dla budynków szkół
Fig. 7. Average values of K_z index for school buildings

Wartości dla pozostałych okresów potwierdzają prostą zależność – im starszy budynek, tym starsza i bujniejsza roślinność wokół niego, a tym samym większa wartość stworzonego specjalnie dla tego fragmentu analizy wskaźnika zacienienia K_z . Podobną zgodność z rzeczywistością odnaleźć można na rys.8. Zaostrzane od pewnego czasu wymagania ochrony cieplnej w odniesieniu do ścian zewnętrznych i stropodachów, przy pozostawianiu przez długi okres analogicznych wymagań dla okien praktycznie na niezmiennym poziomie spowodowało zaprezentowany przebieg zmian udziału strat ciepła przez wymienione przegrody w stratach ciepła z budynku.



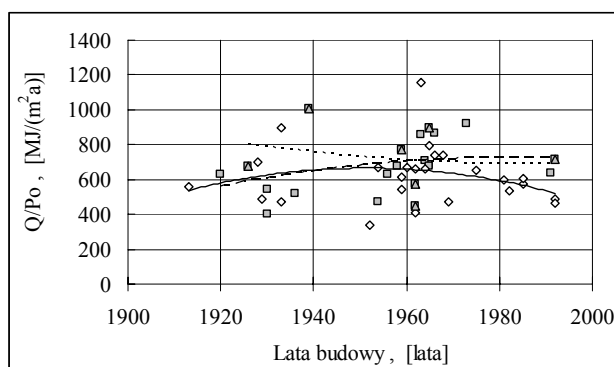
Rys. 8. Udział strat ciepła przez ściany zewnętrzne i stropodachy $U(Sz+Std)$ oraz strat ciepła przez okna $U(Ok)$ w stratach ciepła przez ściany zewnętrzne, stropodachy i okna
Fig. 8. Participations heat losses by outer walls and roofs $U(Sz+Std)$ and $U(Ok)$ at heat losses by outer walls, roofs and windows

Z kolei wykres na rys.9 to próba ilościowego przedstawienia występowania wad usterek w budynkach wzniesionych w różnych okresach. Uwzględniono tutaj defekty mające wpływ na energochłonność ogrzewania pomieszczeń w tych budynkach. Współczynnik ukazujący w sposób ilościowy to zjawisko, przede wszystkim w odniesieniu do intensywności jego występowania w obiekcie stworzono specjalnie na potrzeby tej części analizy.



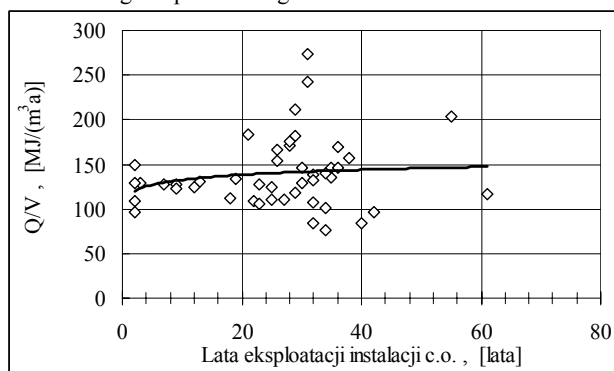
Rys. 9. Średnie wartości współczynnika wystąpienia wad i usterek
Fig. 9. Average values of defect and fault coefficient

Ostatnią analizowaną grupą są wielkości i wskaźniki opisujące ilościowo system ogrzewania i wentylacji, oczywiście pod kątem ich wpływu na zużycie ciepła do ogrzewania. Poniżej zaprezentowano dwa przykładowe wykresy odnoszące się do tej problematyki. Pierwszy (rys.10) to wykres punktowy, z zaznaczonymi liniami trendów, wartości wskaźnika (Q/P_o) dla 3 grup budynków w zależności od stopnia regulacji temperatury ogrzewania. Tego typu wykres może być dobrym narzędziem diagnostycznym przy sprawdzeniu prawidłowości deklarowanego i rzeczywistego funkcjonowania urządzeń i armatury regulacyjnej w rozpatrywanych obiektach.



Rys. 10. Wartości wskaźnika (Q/P_o) dla budynków szkół bez regulacji temperatury ogrzewania, z możliwością regulacji temperatury ogrzewania, z automatyczną regulacją temperatury ogrzewania

Fig. 10. Values of (Q/P_o) index for school buildings without heating temperature regulation, with regulation and with automatic heating temperature regulation

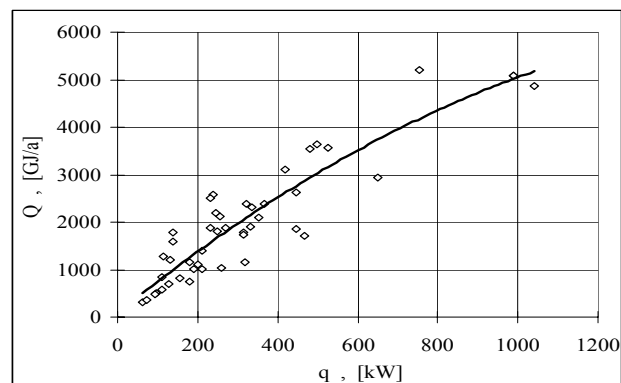


Rys. 11. Wykres zależności pomiędzy (Q/V) dla budynków a okresem eksploatacji instalacji c.o.

Fig. 11. Dependency graph between (Q/V) index and period of central heating system exploitation

W przypadku wykresu na rys.11, jest on doskonałą ilustracją, że statystycznie negatywny wynik badania korelacji - praktyczny brak korelacji pomiędzy przedstawianymi wielkościami, jest wynikiem technicznie pozytywnym. Pośrednio wskazuje on stosunkowo dobry stan instalacji c.o., nie wpływający znacząco na energochłonność ogrzewania. Z kolei statystycznie pozytywny wynik ba-

daną korelacji Q i q (rys.12) może świadczyć o zadawalającej zgodności warunków obliczeniowych (q) z rzeczywistymi warunkami ogrzewania (Q).



Rys. 12. Wykres zależności pomiędzy sezonowym zużyciem ciepła Q a mocą szczytową q

Fig. 12. Dependency graph between seasonal heat consumption Q and heat power q

3. PODSUMOWANIE

Monitorowanie zużycia ciepła w budynkach, o poszerzonym w stosunku do najczęściej stosowanych praktyk w tym zakresie dalsza, właściwa analiza wyników to:

- niezbędne źródło informacji o zużyciu ciepła i istotnych czynnikach je determinujących;
- podstawowe narzędzie efektywnego zarządzania energią, w tym w sposób istotny warunkujące prawidłowość podejmowanych decyzji;
- skuteczna identyfikacja zjawisk pozytywnych i negatywnych dla zużycia ciepła;
- identyfikacja i możliwość upowszechnienia (po modyfikacjach) już istniejących, racjonalnych rozwiązań.

Mając na uwadze wcześniejsze, ogólne zalecenia i zaprezentowane przykłady odnoszące się do zbiorowości budynków edukacyjnych można stwierdzić, że należy wykorzystywać podstawy tworzone coraz częściej dzięki monitorowaniu zużycia ciepła do bardziej zaawansowanych i złożonych analiz.

SELECTED ASPECTS OF HEAT CONSUMPTION MONITORING IN EDUCATIONAL BUILDINGS

Streszczenie: In this paper presented making the most of abilities of heat used for heating monitoring and analysis in buildings groups. This presenting material illustrated many examples for local community of educational buildings.