

Anna LIS, Piotr LIS
Politechnika Częstochowska

OKRESOWOŚĆ EKSPLOATACJI BUDYNKÓW A RACJONALIZACJA GOSPODARKI CIEPŁEM

Okresowość eksploatacji budynku wpływa na zmniejszenie ilości ciepła wymaganej do jego ogrzewania. Racjonalizację zużycia ciepła do ogrzewania budynków w związku z okresowością ich użytkowania prześledzono dla grupy budynków oświatowych. Określono czynniki związane z organizacją pracy placówek oświatowych oraz dokonano analizy możliwości optymalizacji organizacji pracy w celu zwiększenia okresu obniżenia wartości temperatury we wnętrzach.

Słowa kluczowe: zużycie ciepła do ogrzewania budynków, budynki oświatowe, okresowość użytkowania budynków

WPROWADZENIE

Ogrzewanie budynków podczas sezonu grzewczego jest związane z koniecznością dostarczenia takiej ilości ciepła, która zrekompensuje jego straty i zapewni utrzymanie wymaganej temperatury wewnątrz pomieszczeń. Straty ciepła z ogrzewanego budynku są konsekwencją wymiany ciepła pomiędzy budynkiem i jego otoczeniem z powodu różnicy temperatur wewnątrz obiektu θ_i i na zewnątrz θ_e . Okresowość użytkowania budynku może wpłynąć na zmniejszenie wymaganej ilości ciepła dostarczanego przez system ogrzewania, ale jest to możliwe dopiero po zaistnieniu odpowiednich warunków technicznych.

Ogrzewanie pomieszczeń jest procesem zachodzącym w określonym czasie i z określonym natężeniem przy szeregu występujących tutaj wzajemnych powiązaniach. Ilość zużywanego do ogrzewania tych pomieszczeń ciepła jest w głównej mierze zależna od temperatury, jaką chcemy utrzymywać wewnątrz ogrzewanych pomieszczeń, co wiąże się bezpośrednio z funkcją, jaką ma spełniać budynek i jego poszczególne części zgodnie z planowanym przeznaczeniem budynku [1, 2].

Ilość ciepła zużywanego do ogrzewania budynków eksploatowanych okresowo zależy również od okresów w ciągu doby, kiedy pomieszczenia w tych budynkach mogą być ogrzewane do różnej temperatury. Wartość temperatury będzie wyższa, gdy pomieszczenia w budynkach będą eksploatowane, i niższa, kiedy nie są one użytkowane. W tym kontekście pojawia się zagadnienie takiej organizacji pracy, aby przy możliwie jak najlepszym wykorzystaniu czasu odbyły się wszystkie zajęcia (w budynku oświatowym zajęcia lekcyjne i pozalekcyjne) przewidywane do zrealizowania w danym dniu i tygodniu.

Analizę wpływu okresowości eksploatacji budynków na sezonowe zużycie ciepła do ogrzewania przeprowadzono dla grupy budynków oświatowych, głównie szkół podstawowych zlokalizowanych na terenie Częstochowy. Za zasadniczy czynnik decydujący o konieczności ogrzewania budynku i pojawieniu się możliwości czasowego obniżania temperatury w pomieszczeniach uznano czas pracy placówki oświatowej. Wyodrębniono cechy determinujące niezbędny czas pracy:

- czas trwania podstawowych zajęć lekcyjnych - T_l ;
- czas trwania dodatkowych zajęć pozalekcyjnych - T_p .

Na ilość ciepła zużywanego do ogrzewania budynku wpływa dzienny (T_{lp}) i tygodniowy ($T_{lp}(t)$) czas trwania zajęć lekcyjnych i pozalekcyjnych.

1. DZIAŁANIA WARUNKUJĄCE RACJONALIZACJĘ ZUŻYCIA CIEPŁA

Zbiorowość budynków oświatowych to specyficzna grupa obiektów z charakterystyczną funkcją i związaną z nią okresowością użytkowania określoną w ciągu doby przez długość dnia pracy, w ciągu tygodnia przez liczbę dni pracy oraz w ciągu roku kalendarzowego przez czas trwania roku szkolnego. Czas pracy, nawyki eksploatacyjne i specyfika organizacyjna pracy w oświacie w sposób wyraźny mogą wpływać na ilość ciepła zużywanego do ogrzewania użytkowanych przez nią budynków, a tym samym na koszty ogrzewania stanowiące do 75% kosztów zmiennych funkcjonowania placówki oświatowej [1]. Wpływ okresowości eksploatacji budynków oświatowych na zużycie ciepła do ogrzewania można wykorzystać do racjonalizacji gospodarki ciepłem pod warunkiem podjęcia odpowiednich działań w sferze technicznej i organizacyjnej.

Działania techniczne powinny umożliwić regulację parametrów ogrzewania w czasie. Znaczącą rolę w racjonalizacji zużycia ciepła do ogrzewania ma wyposażenie systemu centralnego ogrzewania w automatykę regulacyjną, dostosowującą jego wydajność do potrzeb cieplnych budynku i zmieniających się uwarunkowań. Głównymi elementami automatyki regulacyjnej są urządzenia automatycznej regulacji czasu i temperatury ogrzewania, instalowane w źródle ciepła lub w węźle cieplnym, oraz termostaty. Tego typu rozwiązania zmniejszają zużycie ciepła o około 10÷20% przy okresie zwrotu nakładów mniejszym niż 2 lata. Można stosować bardziej zaawansowane rozwiązania, pozwalające na monitorowanie i sterowanie systemem ogrzewania i tworzące system monitoringu, zarządzania i kontroli konsumpcji energii, w tym także ciepła. Stosowanie tzw. adaptacyjnych układów sterowania ogrzewaniem budynku umożliwia ograniczenie zużycia ciepła o około 23% przy jednoczesnej poprawie komfortu cieplnego. Ponadto wyniki badań wykazały nawet 60% różnice w zużyciu ciepła w prawie identycznych budynkach o różnym stopniu nadzoru nad jego dystrybucją [3, 4].

Realizacja wymienionych działań technicznych zmierza do racjonalizacji zużycia ciepła w ramach istniejącego modelu organizacji pracy placówek oświatowych. Wprowadzanie działań organizacyjnych ma za zadanie zmodyfikowanie tego modelu w celu skrócenia czasu pracy, co umożliwi utrzymywanie niższej temperatury

przez dłuższy czas wewnątrz ogrzewanego obiektu. Z uwagi na oszczędności ciepła z tego tytułu najlepiej, aby przebywanie ludzi w poszczególnych pomieszczeniach było ściśle określone i powtarzalne w czasie.

Przy obniżaniu temperatury należy pamiętać, że w wyniku gwałtownego spadku temperatury powietrza na zewnątrz i zbyt dużego obniżenia temperatury w pomieszczeniach może wystąpić przechłodzenie budynku. W efekcie spowoduje to wzrost zużycia ciepła do ogrzewania w porównaniu do sytuacji przed czasowym obniżaniem temperatury. Warto jednak podejmować tego typu działania, ponieważ stworzenie odbiorcom ciepła możliwości opomiarowania i regulacji jego zużycia przez zainstalowanie liczników, podzielników kosztów i zaworów termostatycznych może przynieść oszczędności od 5÷25% [5].

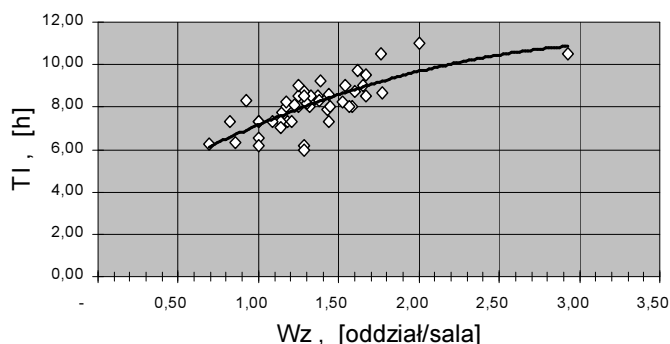
2. SPECYFIKA ORGANIZACJI PODSTAWOWYCH ZAJĘĆ LEKCYJNYCH

Analizie poddano czynniki mogące wpływać na średni dzienny czas trwania zajęć lekcyjnych T_l , a tym samym, przy istnieniu automatyki regulacyjnej, na ilość ciepła zużytego do ogrzewania budynków szkół. W pierwszej kolejności zebrano podstawowe informacje dotyczące liczby oddziałów (klas) w danej placówce oświatowej L_o , liczby sal lekcyjnych L_s , liczby etatów dydaktycznych L_{ed} , liczby uczniów w oddziałach L_d oraz powierzchni sal lekcyjnych P_s . Na podstawie zebranych danych ustalono średnią liczbę uczniów w oddziale $L_{d\bar{s}}$, liczbę uczniów przypadającą na jedną salę lekcyjną D_{ls} , liczbę uczniów przypadającą na 1 m² powierzchni sali lekcyjnej D_{ps} oraz liczbę oddziałów na jeden etat dydaktyczny. Następnie wyznaczono obliczeniowy współczynnik zmianowości W_z . Jego wartość zależy od liczby oddziałów i możliwości lokalowych placówki oświatowej. Dla danej placówki wyrażony jest on ilorazem liczby oddziałów (klas) przez liczbę sal lekcyjnych. Wybrane czynniki związane z organizacją zajęć lekcyjnych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Czynniki związane z organizacją pracy placówek oświatowych

Czynniki związane z organizacją pracy	Oznaczenie	Jednostka	Wartość średnia
średnia liczba uczniów w oddziale	$L_{d\bar{s}}$	os.	23
liczba uczniów na 1 salę lekcyjną	$D_{ls} = L_d/L_s$	os./salę	29,2
liczba uczniów na 1 m ² powierzchni sali	$D_{ps} = L_d/P_s$	os./m ²	0,6
liczba oddziałów na jeden etat dydaktyczny	$O_{ed} = L_o/L_{ed}$	oddz./etat	0,57
czas trwania zajęć lekcyjnych	T_l	h	8,1
czas trwania zajęć lekcyjnych i pozalekcyjnych	T_{lp}	h	9,9
współczynnik zmianowości	$W_z = L_o/L_s$	oddz./salę	1,3
	$T_{wz} = T_l/W_z$	h/oddz./salę	6,1

Wpływ współczynnika zmianowości na czas trwania zajęć lekcyjnych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Zależność czasu trwania zajęć lekcyjnych T_l od współczynnika zmienowości W_z

Współczynnik korelacji dla przedstawionej zależności wyniósł 0,74. Na podstawie wartości współczynnika determinacji stwierdzono, że około 43% zmian wartości zmiennej T_l nie zostało wyjaśnionych zmianami współczynnika zmienowości. Stąd przypuszczenie o istnieniu pewnych rezerw w organizacji zajęć lekcyjnych przy niezmienności wartości W_z , których wykorzystanie może wpłynąć na skrócenie ich czasu. Wielkością pozwalającą zdiagnozować ewentualne możliwości w tym zakresie jest średni dzienny czas trwania zajęć lekcyjnych przypadający na jednostkę obliczeniowego współczynnika zmienowości Tw_z .

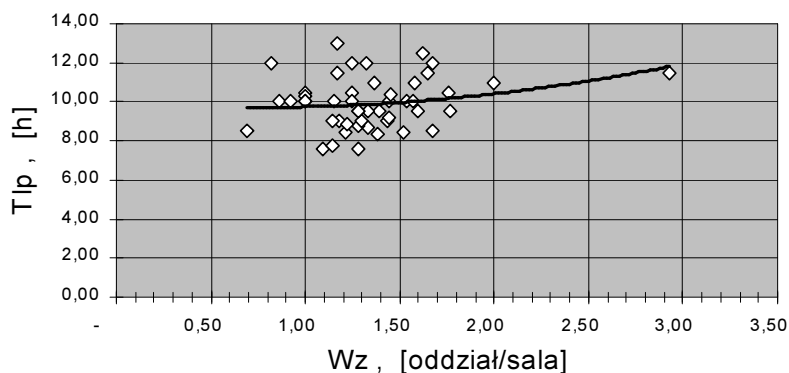
Przeprowadzona analiza potwierdziła istnienie pewnych różnic w wartościach Tw_z w poszczególnych placówkach, które mogą być spowodowane przez czynniki nieuwzględnione przy obliczaniu współczynnika zmienowości. Wpływ mogą mieć tu różnice w liczbie etatów dydaktycznych w poszczególnych placówkach oraz brak optymalizacji organizacji zajęć lekcyjnych w oparciu o istniejące warunki lokalowe. Określono więc średnie obciążenie jednego nauczyciela poprzez wyznaczenie liczby oddziałów przypadających na jeden etat dydaktyczny.

Kolejnym krokiem było zbadanie zależności T_l i wskaźnika Lo/Led . W wyniku przeprowadzenia procedury testowania testem t-Studenta istotności współczynnika korelacji stwierdzono, że omawiane zależności są statystycznie nieistotne. Tak więc jedynym istotnym czynnikiem, który należy brać pod uwagę w tym przypadku jest brak optymalizacji w planowaniu zajęć. Analizując wartości T_lsr , W_zsr i Tw_zsr , stwierdzono istnienie zmiennej efektywności w organizacji zajęć lekcyjnych. Nie pozostaje to bez wpływu na średni czas trwania zajęć lekcyjnych T_lsr prowadzonych w tych jednostkach. Stwierdzono istnienie możliwości optymalizacji organizacji zajęć pod kątem skrócenia czasu pracy placówek oświatowych i obniżania w tym okresie temperatur w ogrzewanych budynkach.

3. SPECYFIKA ORGANIZACJI DODATKOWYCH ZAJĘĆ POZALEKCYJNYCH

Następnie badaniu poddano zajęcia pozalekcyjne prowadzone w placówkach i ich wpływ na średni dzienny czas odbywania zajęć lekcyjnych i pozalekcyjnych T_{lp} . Oceniono zależności pomiędzy czasem trwania zajęć lekcyjnych i pozalekcyj-

nych Tlp oraz współczynnikiem zmienowości Wz (rys. 2). Zanotowano utratę statystycznej istotności pomiędzy tymi zależnościami ($r = 0,22$) w stosunku do zależności przedstawionej na rysunku 1.



Rys. 2. Zależność czasu trwania zajęć lekcyjnych i pozalekcyjnych Tlp od współczynnika zmienowości Wz

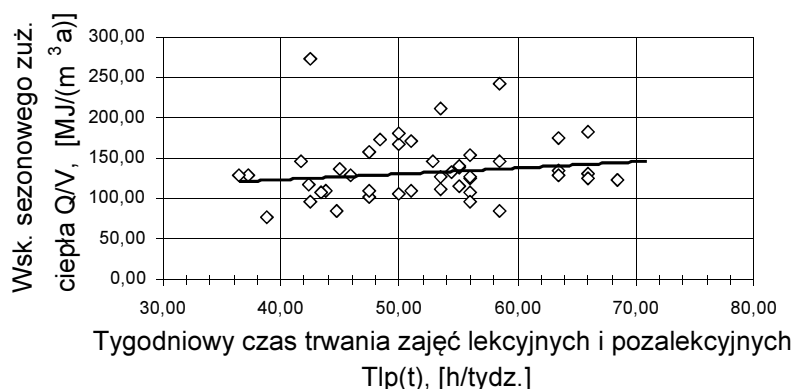
Prześledzono wielkości charakteryzujące zajęcia pozalekcyjne prowadzone w placówkach oświatowych (tab. 2).

Tabela 2. Czynniki związane z organizacją pracy placówek oświatowych dotyczące zajęć pozalekcyjnych

Czynniki związane z organizacją pracy	Oznaczenie	Jednostka	Wartość średnia
tygodniowa liczba godzin zajęć pozalekcyjnych	$Lpg(t)$	h	31,2
liczba dzieci biorących udział w 1 godzinie zajęć pozalekcyjnych	$Ldp(g)$	dzieci/h	8
stosunek liczby dzieci na zajęciach pozalekcyjnych w tygodniu do liczby uczniów pomnożonej przez liczbę dni nauki w tygodniu	$Udp = Ldp(t) / Ld * 5 \text{ dni}$	-	0,4
częstotliwość odbywania zajęć pozalekcyjnych w tygodniu w danej szkole	$Lpr(t)$	-	5,2
$SU = Lpg(t) / \{((Tlp - TI) * (Lpr(t) - Lps)) + Tp(s)\}$		-	3,6

Nie stwierdzono występowania związku pomiędzy dzienną liczbą zajęć pozalekcyjnych a częstotliwością odbywania tego rodzaju zajęć w tygodniu $Lpr(t)$, która przeciętnie wynosi $Lpr(t)_{\text{śr}} = 5,2$. Zajęcia pozalekcyjne odbywające się w soboty stanowią średnio 6,4% ogólnej liczby godzin tego typu zajęć w tygodniu. Przeciętna liczba dzieci biorących udział w godzinie zajęć pozalekcyjnych jest niewielka i pozostaje w dość wyraźnej zależności ($r = 0,53$) ze wskaźnikiem Udp (tab. 2).

Dla zbadania możliwości racjonalizacji organizacji zajęć pozalekcyjnych dokonano analizy wartości wskaźnika SU_{Σ} obliczonego dla poszczególnych placówek (tab. 2). Zróżnicowanie ilości godzin zajęć pozalekcyjnych odbywających się równolegle w tym samym czasie w różnych placówkach świadczy o niewykorzystanych rezerwach organizacyjnych w tym zakresie. Ich wykorzystanie umożliwiłoby skrócenie czasu pracy placówek oświatowych. Potwierdza to pośrednio zależność pomiędzy wskaźnikiem sezonowego zużycia ciepła a tygodniowym czasem trwania zajęć lekcyjnych i pozalekcyjnych przedstawiona na rysunku 3. Mała wartość współczynnika korelacji liniowej $r = 0,12$ świadczy o braku lub niewykorzystywaniu urządzeń do okresowego obniżania temperatury po zakończeniu zajęć.



Rys. 3. Zależność pomiędzy wskaźnikiem sezonowego zużycia ciepła a tygodniowym czasem trwania zajęć lekcyjnych i pozalekcyjnych

Czynnikiem istotnie wydłużającym czas pracy placówek oświatowych są prowadzone tam zajęcia pozalekcyjne. Wykonane analizy wskazują na różną, w poszczególnych placówkach, efektywność wykorzystania czasu i warunków po zakończeniu nauki na przeprowadzenie dodatkowych zajęć. Zaobserwowano również zbyt dużą dowolność w określaniu czasu odbywania zajęć pozalekcyjnych. Różna efektywność organizacji zajęć pozalekcyjnych dowodzi istnienia możliwości wcześniejszego ich zakończenia, a tym samym skrócenia czasu pracy placówek oświatowych. Zmniejszenie tygodniowej różnicy czasu pomiędzy zakończeniem zajęć lekcyjnych a zakończeniem wszystkich zajęć do poziomu około 12 h w 40% badanych placówek pozwoliłoby, tylko z tego tytułu, zmniejszyć czas ogrzewania tych obiektów przeciętnie o 7,5 h w tygodniu. Warty rozważenia jest również postulat reorganizacji zajęć pozalekcyjnych w soboty z uwagi na ich znikomy udział w tygodniowej liczbie godzin tego rodzaju zajęć, wynoszący 6,4%.

Stwierdzono również, że w wielu szkołach najpóźniej kończą się zajęcia sportowe, które odbywają w salach gimnastycznych, stanowiących zwykle wraz z przyległym zapleczem odrębną i integralną część budynku. Ponieważ użytkowana jest wówczas tylko część budynku, nie ma więc konieczności równomiernego ogrzewania całego obiektu. Zajęcia te są też czasami jedyną formą zajęć pozalekcyjnych

prowadzonych w badanych szkołach. Inną możliwością zmniejszenia wartości Tlp jest łączenie grup dzieci z różnych szkół, uczęszczających na tego samego rodzaju zajęcia pozalekcyjne. Rozwiązanie to jest godne rozważenia z powodu małej ilości dzieci biorących udział w jednej godzinie tego typu zajęć ($Ldp(g)_{\text{śr}} = 8$ dzieci przy zakresie od 4 do 14 dzieci). W tym przypadku należy jednak pamiętać, że mała wartość $Ldp(g)$ może być spowodowana również długim czasem trwania jednego rodzaju zajęć pozalekcyjnych z udziałem tej samej grupy uczniów.

PODSUMOWANIE

Nieuwzględnienie w obliczeniach zapotrzebowania na ciepło okresowości użytkowania budynku powoduje często znaczne różnice pomiędzy teoretycznymi założeniami poczynionymi w obliczeniach a praktyką eksploatacyjną. Dla efektywnej analizy tej problematyki wpływ okresowości użytkowania budynków należałoby rozpatrywać zarówno w płaszczyźnie projektowej, jak i eksploatacyjnej [6].

Przedstawiona analiza dotyczyła identyfikacji możliwości skrócenia czasu pracy placówek oświatowych. Umożliwiłoby to zastosowanie i wydłużenie okresowego obniżenia temperatury w ogrzewanych pomieszczeniach, a dzięki temu zmniejszyłoby się zużycie ciepła do ogrzewania budynków szkół. Podstawowym parametrem jest czas pracy szkoły uzależniony od czasu trwania zajęć lekcyjnych i pozalekcyjnych wraz z towarzyszącymi uwarunkowaniami.

Stwierdzono, że średni dzienny czas trwania zajęć lekcyjnych Tl może ulec skróceniu dzięki optymalnemu zaplanowaniu wykorzystania sal lekcyjnych. Zróżnicowanie pod tym względem analizowanej zbiorowości dowodzi funkcjonowania w niektórych szkołach dobrych rozwiązań organizacyjnych, które można upowszechnić w innych placówkach. Przeprowadzenie w krótszym czasie zaplanowanych zajęć lekcyjnych umożliwi wcześniejsze rozpoczęcie zajęć pozalekcyjnych, a to z kolei skróci całkowity czas pracy placówki. Pozwoliłoby to zastosować okresowe obniżanie temperatury do około 16°C w ogrzewanych budynkach i zmniejszyłoby zużycie ciepła, oczywiście pod warunkiem wyposażenia systemów c.o. w urządzenia czasowej regulacji ogrzewania. Modernizacja systemu ogrzewania, zwiększająca z 70 do 95% sprawność regulacji, mogłaby przynieść oszczędności ciepła rzędu 25%, przy czasie zwrotu nakładów $2\div 3$ lat.

Zmiany w organizacji pracy szkół nie wymagają zazwyczaj żadnych nakładów finansowych. Wspomagające i prowadzone równoległe działania w sferze technicznej mają czas zwrotu nakładów wynoszący około 2 lat, przy oszczędności ciepła rzędu $15\div 25\%$, co przy pewnym niedostatku środków finansowych w oświacie ma niebagatelne znaczenie.

LITERATURA

- [1] Lis P., Wybrane aspekty monitorowania zużycia ciepła w budynkach edukacyjnych, *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce* 2007, 2, 195-200.

- [2] Lis A., Ocena poziomu zużycia ciepła w budynkach, *Czasopismo Techniczne* 2009, 5, 157-165.
- [3] Corgnati S.P., Corrado V., Filippi M., A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools, *Energy and Buildings* 2008, 40, 801-809.
- [4] Perez-Lombard L., Ortiz J., Pout Ch., A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings* 2008, 40, 394-398.
- [5] Wolski L., Kamiński A., Efektywność energetyczna - dążenie do zmniejszenia zużycia energii, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 2009, 6, 15-19.
- [6] Košičanová D., Sedláková A., Energy precautions in buildings in dependence on energy consumption of buildings, [w:] *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, pod red. T. Bobki, J. Rajczyka, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2010, 146-150.

THE PERIODICITY OF THE BUILDING'S EXPLOITATION AND THE RATIONALIZATION OF THE HEAT CONSUMPTION

The periodicity of the building's exploitation reduces the amount of heat required for its heating. The rationalization of the energy consumption for building's heating in relation to the periodicity of their use is to be traced to a group of educational buildings. The factors related to the organization of the work of educational institutions were identified. An analysis of the possibilities of optimizing the work organization in order to increase the period in which may be reduced indoors temperature values were done.

Keywords: heat consumption for heating buildings, educational buildings, the periodicity of the buildings exploitation