

Wpływ profilu użytkowania pomieszczenia na zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia w budynku ze stropami grzewczo-chłodzącymi

Influence of usage profile on energy needs for heating and cooling in a building with thermally activated building systems

JOANNA SINACKA, EDWARD SZCZECHOWIAK, PATRYCJA ŻABICKA

DOI 10.36119/15.2019.10.5

System stropów aktywowanych termicznie (TABS) w budynkach biurowych to rozwiązanie energooszczędne wykorzystujące masę termiczną budynku w celu stabilizacji temperatury odczuwalnej w zakresie komfortu cieplnego. Wpływ temperatury promieniowania powierzchni aktywnej na temperaturę operatywną oraz niskie parametry pracy instalacji HVAC umożliwiają zastosowanie odnawialnych źródeł energii. W artykule przedstawiono wyniki obliczeń wykonanych prostą metodą godzinową uwzględniającą dynamikę cieplną strefy budynku z systemem stropu aktywowanego termicznie oraz rozdział sposobu wymiany ciepła na drodze promieniowania i konwekcji (model oporowo-pojemnościowy 14R4C). Analizowane warianty posłużyły do oceny potencjału wykorzystania TABS dla różnych profili użytkowania pomieszczenia biurowego. Porównano analizowane warianty w aspekcie zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia oraz przedstawiono charakterystyczne cykle temperaturowe dla każdego wariantu. *Słowa kluczowe: system stropów aktywowanych termicznie, pojemność cieplna, bilans energetyczny budynku, model 14R4C*

Thermally activated building system (TABS) in office buildings is an energy-saving solution which uses the thermal mass of the building in order to stabilize the operative temperature in terms of thermal comfort. The influence of radiation temperature of activated surface on operative temperature and low operating parameters of the HVAC system enables the use of renewable energy sources. The paper presents the results of calculations made with a simple hourly method taking into account the thermal dynamics of the building zone with a thermally activated building system and the separation of the heat exchange method by radiation and convection (the resistance-capacity 14R4C model). The analysed variants were used to assess the potential of using TABS for different usage profiles. The analysed variants were compared in terms of energy needs for heating and cooling and the characteristic temperature cycles for each variant were presented.

Keywords: thermally activated building system, thermal capacity, building's energy balance, 14R4C model

Wstęp

System stropów aktywowanych termicznie (TABS) w budynkach biurowych to rozwiązanie energooszczędne, stosowane w wielu krajach europejskich. Wykorzystanie masy termicznej budynku pomaga zapewnić komfort cieplny jednocześnie zmniejszając zużycie energii, w porównaniu z powietrznymi systemami klimatyzacyjnymi. Na zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia ma wpływ: temperatura zewnętrzna, promieniowanie słoneczne, rodzaj elementów zacieniaczy, wewnętrzne źródła ciepła, konstruk-

cja przegród budowlanych oraz rodzaj stolarki okiennej i drzwiowej [7]. Natomiast zapewnienie komfortu cieplnego to jeden z najistotniejszych warunków komfortu klimatycznego. Komfort cieplny w aspekcie czynników kształtujących jakość klimatu wewnętrznego w budynkach pasywnych analizowali autorzy artykułu [5].

Zadaniem płaszczyznowych systemów grzewczo-chłodzących, współpracujących z komponentami o wysokiej pojemności cieplnej, jest stabilizacja temperatury operatywnej w zakresie komfortu cieplnego przy obciążeniach grzewczych i chłodniczych zmiennych w czasie. System stro-

pów aktywowanych termicznie wspomaga zjawisko akumulacji ciepła masywnych elementów konstrukcyjnych. Zatopiony w konstrukcji rdzeń zasilany wodą grzewczą bądź chłodzącą aktywuje termicznie elementy żelbetowe [4, 15].

Zastosowanie stropów aktywowanych termicznie redukuje zakres wymagań do spełnienia przez instalację wentylacji. Strumień powietrza nawiewanego obliczany jest według kryterium higienicznego, co zmniejsza wielkość instalacji i eliminuje zjawisko występowania zbyt dużych prędkości powietrza w strefie przebywania ludzi [9].

Tabela 1. Parametry charakterystyczne dla pomieszczenia
Table 1. Characteristic parameters of the office

Parametry	symbol	wartość	jednostka
Szczelność budynku	n_{50}	0.6	h^{-1}
Pojemność cieplna ściany zewnętrznej	$C_{m,SZ}$	22992368	J/K
Pojemność cieplna stropu	$C_{m,s}$	37830240	J/K
Pojemność cieplna przegród wewnętrznych typu lekkiego	$C_{m,SZ}$	2034963	J/K
Współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej	U_{SZ}	0.15	$W/(m^2K)$
Współczynnik przenikania ciepła okien	U_{ok}	0.8	$W/(m^2K)$
Współczynnik przenikania ciepła ścian wewnętrznych	U_{SW}	0.31	$W/(m^2K)$
Powierzchnia podłogi przestrzeni klimatyzowanej	A_f	97.3	m^2
Powierzchnia ściany zewnętrznej (przegroda nieprzezroczysta)	A_{SZ}	34.25	m^2
Powierzchnia całkowita okien	A_{ok}	21.25	m^2
Powierzchnia ścian wewnętrznych	A_{SZ}	87.3	m^2
Strumień powietrza nawiewanego (czas pracy)	V_N	30	$m^3/(h\text{-os})$
Strumień powietrza nawiewanego (poza godzinami pracy)	V_{NF}	30	m^3/h
Zakres temperatury utrzymywanej w godzinach pracy	T_W	20-25	$^{\circ}C$
Zakres temperatury utrzymywanej poza godzinami pracy	T_F	18-29	$^{\circ}C$

Tabela 2. Zmienne w analizowanych wariantach
Table 2. Variables of the variants

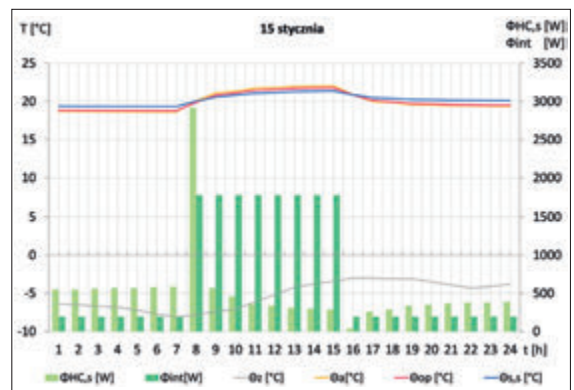
Wariant (W)	Godziny pracy	Strumień ciepła od wewnętrznych źródeł ciepła q_i [W/m^2]	Wskaźnik obciążenia chłodniczego od urządzeń: opis stanowiska pracy [6]
	[h:min]		
bazowy	8:00-16:00	18.3	9,06 W/m^2 : 11,6 m^2 , 1 komputer, 2 monitory; drukarka/10 osób
1a	8:00-18:00	18.3	9,06 W/m^2 : 11,6 m^2 , 1 komputer, 2 monitory; drukarka/10 osób
1b	8:00-12:00 13:00-17:00	18.3	9,06 W/m^2 : 11,6 m^2 , 1 komputer, 2 monitory; drukarka/10 osób
1c	7:00-12:00 14:00-17:00	18.3	9,06 W/m^2 : 11,6 m^2 , 1 komputer, 2 monitory; drukarka/10 osób
2a	8:00-16:00	13.5	5,83 W/m^2 : 15,5 m^2 , 1 komputer, 1 monitor; drukarka/10 osób
2b	8:00-16:00	23.2	11,0 W/m^2 : 7,9 m^2 , 1 komputer, 2 monitory; drukarka/8 osób
2c	8:00-16:00	33.5	18,12 (2,9,0,6) W/m^2 : 5,8 (11,6/2) m^2 , 1 komputer, 2 monitory; drukarka/10 osób

czenia wraz z charakterystyką stanowisk pracy przedstawiono w tabeli 2. Dla przerw obiadowych w wariacie 1b i 1c strumień ciepła od źródeł wewnętrznych jaki został wprowadzony do modelu (6,58 W/m^2) uwzględnia działanie urządzeń w trybie czuwania. Zastosowano ograniczenie dla mocy chłodniczej stropu aktywowanego termicznie równe 35 W/m^2 , a dla mocy grzewczej 30 W/m^2 . Temperatura powietrza nawiewanego w godzinach pracy biura zależy od temperatury zewnętrznej i przyjmuje wartości z zakresu 20-25 $^{\circ}C$, natomiast poza godzinami pracy zakres rozszerzony jest do wartości 18-29 $^{\circ}C$. Gdy temperatura zewnętrzna spełnia założenia temperaturowe dla środowiska wewnętrznego powietrze nawiewane do pomieszczenia nie jest poddawane obróbce termicznej.

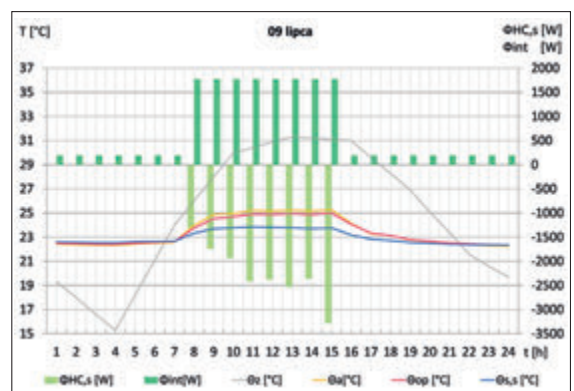
Wyniki analiz

Obliczenia wykonano dla 8760 godzin (rok). Do analizy cykli temperaturowych wybrano dwa charakterystyczne dni: 15 stycznia (okres grzewczy) i 9 lipca (okres chłodniczy). Na rys. 2 i 3 przedstawiono wyniki dla wariantu bazowego pokazujące dobową zmianę temperatury operatywnej (Θ_{op}), temperatury powierzchni wewnętrznej stropu aktywowanego termicznie ($\Theta_{s,s}$), temperatury powietrza w pomieszczeniu (Θ_o) i temperatury powietrza zewnętrzne-

Rys. 2. Cykl temperaturowy dla wybranego dnia sezonu grzewczego w wariacie bazowym; wyjaśnienie symboli w tekście
Fig. 2. Temperature cycle for the selected day of heating season in the base variant; description of symbols in text



Rys. 3. Cykl temperaturowy dla wybranego dnia okresu chłodniczego w wariacie bazowym; wyjaśnienie symboli w tekście
Fig. 3. Temperature cycle for the selected day of cooling season in the base variant; description of symbols in text



go (Θ_z). Charakterystyczne cykle temperaturowe dla różnych godzin użytkowania pomieszczenia pokazano na rys. 4, natomiast na rys. 5 przedstawiono charakterystyczne cykle temperaturowe dla różnych strumieni ciepła zależnych od wewnętr-

nych źródeł ciepła (Φ_{int}). Moc chłodnicza ($\Phi_{HC,s}$) na wykresach przyjmuje wartości ujemne, natomiast moc grzewcza ($\Phi_{HC,s}$) wartości dodatnie. Wyniki obliczeń zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia dla analizowanych wariantów zestawiono w tabeli 3.

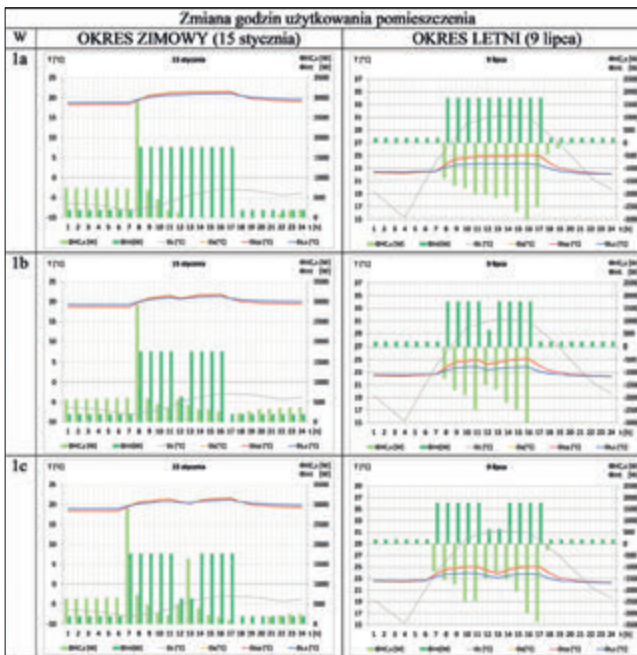
Wnioski

Wykonana analiza potwierdza wpływ profilu użytkowania pomieszczenia na bilans energetyczny budynku. Roczne zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia dla wariantów różniących się godzinami użytkowania pomieszczenia (bazowy, 1a, 1b, 1c) jest z zakresu 12,5-14,0 $kWh/(m^2\cdot a)$. Istotne różnice można zauważyć dopiero, dokonując porównania na poziomie zapotrzebowania na energię użytkową na cele ogrzewania ($Q_{H,nd}$) lub zapotrzebowania na energię użytkową na cele chłodzenia ($Q_{C,nd}$).

Roczne zapotrzebowanie na energię do ogrzewania ($Q_{H,nd}$) spada wraz ze zwiększeniem przerwy (dla 8 godzin pracy). W porównaniu z wariantem bazowym w wariacie 1b (z godzinową przerwą) $Q_{H,nd}$ spadło o 0,7 $kWh/(m^2\cdot a)$, czyli 17%, a w wariacie 1c (z dwugodzinową przerwą) $Q_{H,nd}$ spadło o 2,6 $kWh/(m^2\cdot a)$, czyli 62%. Dla dziesięciogodzinowego cyklu pracy bez przerwy (wariant 1a) rocz-

ne zapotrzebowanie na energię do ogrzewania spadło o 75% (3,13 $kWh/(m^2\cdot a)$).

Zmiana powierzchni stanowiska pracy z 11,6 $m^2/os.$ na 5,8 $m^2/os.$, oznaczająca dwukrotne zwiększenie liczby pracowników, spowodowała eliminację zapotrzebowania



Rys. 4. Charakterystyczne cykle temperaturowe dla różnych godzin użytkowania pomieszczenia; wyjaśnienie symboli w tekście
Fig. 4. Characteristic temperature cycle for different hours of room usage; description of symbols in text
*W – wariant

Tabela 3. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia
Table 3. Heating and cooling energy demand

Wariant	Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania		Zapotrzebowanie na energię do chłodzenia	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]	[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]
BAZOWY (8:00-16:00, 8 osób)	407	4,18	850	8,74
1a (8:00-18:00)	102	1,05	1253	12,88
1b (8:00-12:00, 13:00-17:00)	338	3,48	877	9,02
1c (7:00-12:00, 14:00-17:00)	153	1,58	1081	11,11
3a (6 osób)	1158	11,90	411	4,22
3b (12 osób)	76	0,99	1290	13,26
3c (16 osób)	0,00	0,00	2958	30,4

na energię do ogrzewania, ale jednocześnie nastąpił wzrost rocznego zapotrzebowania na energię do chłodzenia o ponad trzy razy (ponad 21 kWh/(m²a)) w odniesieniu do wariantu bazowego. Porównując wariant 3a z 3b, który również różni się dwukrotnie liczbą osób można zauważyć spadek $Q_{H,nd}$ o 10,9 kWh/(m²a) i wzrost $Q_{C,nd}$ o 9 kWh/(m²a).

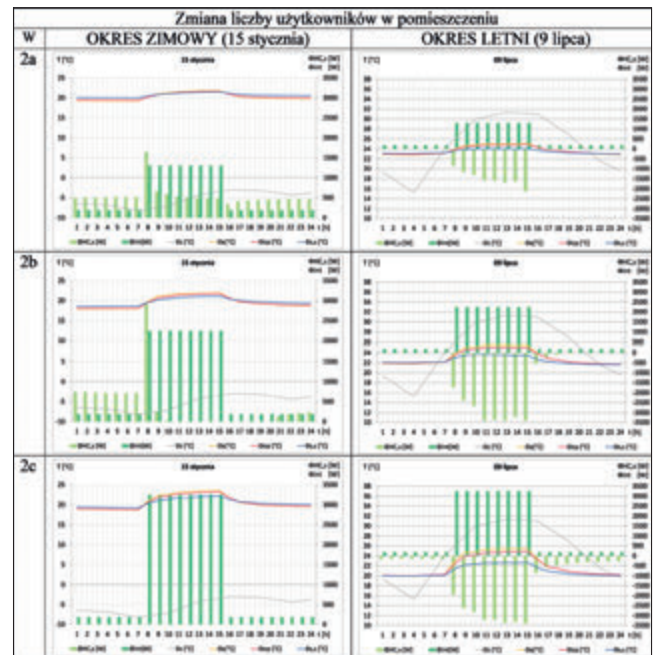
Analizując charakterystyczne cykle temperaturowe dla okresu grzewczego i chłodniczego, można zaobserwować, że temperatura operatywna utrzymywana jest w zakresie komfortu cieplnego, natomiast amplituda temperatury powierzchni stropu aktywowanego termicznie nie przekracza 2°C. Wyjątkiem jest wariant 2c, w którym źródła wewnętrzne odgrywają wiodącą rolę w kształtowaniu warunków temperaturowych. Temperatura powietrza wewnętrznego poza godzinami pracy jest niższa od temperatury operatywnej i temperatury powierzchni stropu, natomiast podczas użytkowania pomieszczenia wzrasta i osiąga najwyższe wartości.

Z uwagi na dobre własności termiczne budynku strumień ciepła od zysków wewnętrznych ma istotny wpływ w bilanso-

waniu stref budynku. Przykładowo dla wariantów 1b i 1c podczas przerwy konieczne jest w okresie grzewczym zwiększenie mocy stropu aktywowanego termicznie, aby utrzymać temperaturę komfortu cieplnego, natomiast w okresie chłodniczym następuje spadek mocy chłodniczej. Analizując charakterystyczne cykle temperaturowe dla różnych strumieni ciepła od wewnętrznych źródeł ciepła można zauważyć w okresie zimowym przesunięcie aktywacji stropu na okres poza godzinami pracy pomieszczenia i skumulowanie w pierwszej godzinie pracy, co jest konsekwencją przyjętego kroku czasowego.

LITERATURA

- [1] Górka A., Odyjas A., „Simulations of floor cooling system capacity”, Applied Thermal Engineering 51 (2013): 84-90
- [2] Nageler P., Schweiger G., Pichler M., Validation of Dynamic Building Energy Simulation Tools based on a Real Test-Box with Thermally Activated Building Systems (TABS); Energy and Buildings 168, 2018, 42-55
- [3] Narowski P., Uproszczona metoda godzinowa obliczania ilości ciepła do ogrzewania i chłodzenia budynków, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 1/2009, 27-32



Rys. 5. Charakterystyczne cykle temperaturowe dla różnych strumieni ciepła od wewnętrznych źródeł ciepła; wyjaśnienie symboli w tekście
Fig. 5. Characteristic temperature cycle for different heat gains; description of symbols in text
*W – wariant

- [4] Pałaszyska K., Bandurski K., Porowski M., Energy demand and thermal comfort of HVAC systems with thermally activated building systems as a function of user profile, E3S Web Conf. Vol. 22, 2017, International Conference on Advances in Energy Systems and Environmental Engineering (ASEE17)
- [5] Radomski B., Bandurski K., Mróz T.M., Rola parametrów komfortu klimatycznego w budynkach pasywnych, INSTAL 10/2017, 27-33
- [6] Sarfraz O., Bach C., Update to office equipment diversity and load factors (ASHRAE 1742-RP); Science and Technology for the Built Environment, 2018, 24, 235-447
- [7] Sinacka J., Ratajczak K., Analysis of selected input data impact on energy demand in office building – case study, MATEC Web of Conferences, 2018, vol. 222, 01015-1-01015-8
- [8] Sinacka J., Szczechowiak E., Modelowanie przepływu ciepła w budynku ze stropami i sufitami grzewczo-chłodzącymi, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 2018, vol. 49/7, 271-278
- [9] Sinacka J., Szczechowiak E., Stropy i sufity grzewczo-chłodzące o dużej pojemności cieplnej, Materiały Budowlane 1/2019, 54-56
- [10] Suszanowicz D., Internal heat gain from different light sources in the building lighting systems, E3S Web of Conferences 19, 01024 (2017), EEMS 2017
- [11] Wojtkowiak J., Amanowicz Ł., Badania wydajności cieplnej aluminiowego sufitowego panelu grzewczo-chłodzącego, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, 2016, 47/10, 413-417
- [12] PN-EN ISO 13790, Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia
- [13] PN-EN ISO 52016-1, Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia, wewnętrzne temperatury oraz jawne i utajone obciążenia cieplne. Część 1: Procedury obliczania
- [14] VDI 2078:2015-06, Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation), Düsseldorf 2015
- [15] www.gov.pl, dostęp z dnia 05.07.2019 r.
- [16] www.rehau.pl, dostęp z dnia 05.07.2019 r.