

Sylwia SZCZEŚNIAK, Aleksandra SIEROTA*

NATĘŻENIE PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W OBLICZENIACH BILANSU CIEPŁA DLA POMIESZCZEŃ

W artykule przedstawiono dwie znane metody obliczeniowe wykorzystywane do określenia strumienia ciepła, pojawiającego się w pomieszczeniu w wyniku promieniowania słonecznego tj. Metodę opisaną przez Jonesa [1] i metodę opisaną przez Pełecha [2]. Określono różnice, jakie dotyczą przyjmowania wartości natężenia promieniowania słonecznego. Z uwagi na powszechnie pojawiające nieścisłości dotyczące przyjmowania wartości natężenia promieniowania słonecznego w metodzie opisanej przez Pełecha [1] dokonano porównania wyników obliczeń dla natężenia promieniowania słonecznego przyjmowanego z danych meteorologicznych (po zewnętrznej stronie okna) oraz z załączników dołączonych do metodologii. Wyniki obliczeń przedstawiono tabelarycznie i graficznie.

1. WSTĘP

Poprawne określenie wartości obciążenia cieplnego pomieszczenia, ściśle związane jest z określeniem wydajności układu klimatyzacyjnego oraz prawidłowego doboru urządzeń wchodzących w jego skład. Jednym z podstawowych parametrów systemów wentylacyjnych i klimatyzacyjnych jest strumień powietrza wentylującego, który dla pomieszczeń o dominujących zyskach ciepła jawnego zależy od:

- ✓ maksymalnej wartości bilansu ciepła,
- ✓ przyrostu temperatury powietrza pomiędzy powietrzem wywiewanym i nawiewanym.

Poprawne wyznaczenie maksymalnej wartości bilansu ciepła dla pomieszczeń nie jest łatwe. Znanych jest kilka metod obliczeniowych, które z większym lub mniejszym przybliżeniem pozwalają na określenie jego wartości. Problem polega na złożoności

* Politechnika Wroclawska, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. K. Norwida 4/6, 50-373 Wrocław, aleksandra.sierota@pwr.edu.pl.

obliczeń oraz konieczności uwzględnienia wielu zmiennych, związanych np.: ze sposobem użytkowania pomieszczeń, a także chwilowych, lokalnych warunków atmosferycznych.

Podstawowymi składnikami bilansu ciepła jawnego są:

- zyski i straty ciepła przez przegrody przezroczyste;
- zyski i straty ciepła przez przegrody nieprzezroczyste;
- zyski ciepła od oświetlenia elektrycznego;
- zyski ciepła jawnego od technologii;
- zyski ciepła jawnego od ludzi;
- statyczne straty ciepła, które muszą być pokryte przez system wentylacyjny.

Bilans ciepła od nasłonecznienia bardzo często stanowi znaczny procent w wartości sumarycznej. Szczególnie dużą wartość udziału zauważa się w pomieszczeniach, których okna stanowią znaczną część przegród zewnętrznych. Niewłaściwe określenie zysków ciepła od nasłonecznienia może skutkować źle obliczonym strumieniem powietrza wentylującego, który decyduje o rzeczywistym przyroście temperatury powietrza w pomieszczeniu, a w konsekwencji o mocy urządzeń chłodniczych. Skutki błędów obliczeniowych odczuwają zarówno użytkownicy pomieszczeń klimatyzowanych jak i inwestorzy (dotyczy to szczególnie kosztów eksploatacji i konserwacji urządzeń).

Z uwagi na trendy panujące w nowoczesnym budownictwie, prawidłowe określenie wartości zysków ciepła od nasłonecznienia ma szczególne znaczenie. Dotychczasowe wzory obliczeniowe zostały opracowane w latach 50, kiedy elewacje i konstrukcje budynków znacznie różniły się od tych, z którymi mamy do czynienia dziś. Budynki wznoszone w minionych wiekach charakteryzowały się większą akumulacyjnością cieplną oraz znacznie mniejszym stopniem przeszklenia. Zmieniła się także konstrukcja samych okien, ich stopień przewodzenia ciepła, czy sposób zabudowy. Zaczęto powszechnie stosować okna z powłokami selektywnymi bądź absorpcyjnymi, rezygnując tym samym z zewnętrznych osłon przeciwsłonecznych.

Obliczając strumień ciepła od nasłonecznienia, można skorzystać z metod opisanych w literaturze [1, 2, 8], jak również wytycznych znajdujących się normach i rozporządzeniach. W niniejszym artykule przedstawiono porównanie dwóch, z kilku najczęściej stosowanych metod obliczeniowych. Wyniki obliczeń, wykonanych w oparciu o metodę wykorzystywaną w Polsce najpowszechniej, opisaną przez Pełecha w [1], zobrazowano na odpowiednich wykresach.

2. SKŁADOWE PROMIENIOWANIA SŁONECZENGO

Wartość promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię Ziemi jest zmienna i zależy od czynników takich jak: odległość Ziemi od Słońca (eliptyczna orbita

Ziemi sprawia, że w styczniu znajduje się ona bliżej Słońca niż w lipcu), orientacja względem stron świata, szerokość geograficzna, kąt nachylenia płaszczyzny, wysokość nad poziomem morza danego obiektu oraz pora dnia (godzina doby).

Część promieniowania słonecznego przenikając przez atmosferę zostaje rozproszona bądź pochłonięta przez cząsteczki powietrza, pary wodnej i pyłu. **Promieniowanie bezpośrednie**, które nie zostało odbite lub pochłonięte przez warstwy atmosfery, w zależności od położenia Słońca dociera do powierzchni pod określonym kątem. **Promieniowanie rozproszone** nie ma określonego kierunku, dlatego nie powoduje cienia, a jego oddziaływanie jest jednakowe niezależnie od rozpatrywanej powierzchni. Z **promieniowaniem odbitym**, bardzo często pomijalnym, mamy do czynienia, gdy dany budynek otoczony jest przez powierzchnię o dużej refleksyjności (woda, budynek o dużej powierzchni przeszklonej charakteryzującej się wysokim współczynnikiem odbicia).

Promieniowanie całkowite jest sumą wymienionych powyżej składowych promieniowania, jednak oddziałuje ono jedynie na płaszczyzny zwrócone w kierunku słońca. Okna znajdujące się od strony nienasłonecznionej, są częściowo lub całkowicie zacienione i poddane są działaniu wyłącznie promieniowania rozproszonego.

3. OKREŚLENIE WARTOŚCI STRUMIENIA CIEPŁA DLA POMIESZCZENIA POWSTAJĄCEGO W WYNIKU PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

3.1. WARTOŚCI NATĘŻENIA PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

W analizie pracy obiektu oraz podczas sporządzania bilansów ciepła, zwykle posługujemy się lokalnymi danymi klimatycznymi, bazującymi na długoletnich pomiarach. Informacje dotyczące natężenia promieniowania słonecznego podawane są w postaci wartości średnich miesięcznych. Podczas symulacji i obliczeń, mających na celu określenie obciążenia cieplnego pomieszczeń, wykorzystuje się dane charakterystyczne dla godzin doby.

Do czasu wprowadzenia w Polsce obowiązku wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynku, nie były dostępne dane dotyczące natężenia promieniowania słonecznego dla wszystkich miesięcy (średnie wartości dla wybranych miesięcy podane były w normie PN-76/B-03420), w tym promieniowania słonecznego. Aktualnie są one powszechnie udostępnione.

Zdarza się, że do wyznaczenia maksymalnej wartości obciążenia cieplnego pomieszczenia przyjmowane są do obliczeń wartości promieniowania słonecznego, udostępnione na stronie Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa. Pamiętać jednak należy, że przyjęta metoda obliczeniowa może mieć wpływ na uzyskane wartości ostateczne. Wybór metody ściśle związany jest z koniecznością przyjmowania odpowiednich wartości natężenia promieniowania słonecznego.

W artykule porównano:

- metodologię, wykorzystywaną do obliczeń dla pomieszczeń klimatyzowanych, opisaną przez Jonesa [1],
- metodologię, wykorzystywaną do obliczeń dla pomieszczeń klimatyzowanych i wentylowanych z możliwością chłodzenia, opartą na niemieckich wytycznych VDI [9] a opisaną w książce Pełecha [2, 3].

Obie metody obliczeniowe bazują na wartości natężenia promieniowania słonecznego i obie uwzględniają promieniowanie całkowite (nasłonecznie) i rozproszone (zacinienie). Istotną różnicą w przyjętych metodach jest jednak miejsce, dla którego określono wartość natężenia promieniowania słonecznego. W metodologii opisaną przez Jonesa [1], rozpatruje się promieniowanie padające na zewnętrzną część okna (od strony powietrza zewnętrznego). Metoda opisana przez Pełecha [2, 3], uwzględnia promieniowanie całkowite i rozproszone, ewentualne odbicie oraz pochłonięcie promieniowania słonecznego przez szybę. W metodzie tej określone są wartości po wewnętrznej stronie okna (w pomieszczeniu). Należy podkreślić, że w przypadku tej metody, ściśle określony jest rodzaj przegrody przezroczystej - okno podwójnie oszklone normalnym szkłem okiennym, dla średnich wskaźników przejrzystości atmosfery, przy nasłonecznieniu trwającym ponad 50% czasu astronomicznego oddziaływania na daną przegrodę. Analityczne porównanie metod obliczeniowych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie porównawcze metod obliczeniowych

opis	W. P. Jones [1]	VDI 2078, Pełech [2]
zyski ciepła w wyniku promieniowania	$Q_R = I_{b,a} \times A_s \times g_b + I_{r,a} \times A \times g_r$	$Q^1_R = [A_s \times I_{c \max} + (A - A_s) \times I_{r \max}] \times b \times s$ $Q^2_R = [A_s \times I_c + (A - A_s) \times I_r] \times b$
zyski ciepła w wyniku przenikania	$Q_P = A_s \times \alpha_w \times (t_{sz} - t_p) + (A - A_s) \times U_{sz} \times (t_z - t_p)$	$Q_P = A_0 \times U_o \times (t_z - t_p)$
zyski ciepła przez przegrody przezroczyste	$Q_{PP} = Q_R + Q_P$	$Q_{PP} = Q_R + Q_P$

opis	W. P. Jones [1]	VDI 2078, Pelech [2]
oznaczenia we wzorach	<p>$I_{b,a}$ - Składowa natężenia promieniowania bezpośredniego słonecznego na powierzchnię pionową, W/m^2;</p> <p>A_s - Nasłoneczniona powierzchnia szyby, m^2;</p> <p>A - Całkowita powierzchnia szyby, m^2;</p> <p>g_b - Współczynnik przepuszczalności promieniowania bezpośredniego,</p> <p>g_r - Współczynnik przepuszczalności promieniowania rozproszonego;</p> <p>$I_{r,a}$ - Natężenie promieniowania rozproszonego słonecznego na powierzchnię pionową, W/m^2;</p> <p>α_w - współczynnik przejmowania ciepła wewnętrznej powierzchni szyby, W/m^2K;</p> <p>α_z - współczynnik przejmowania ciepła zewnętrznej powierzchni szyby, W/m^2K;</p> <p>t_{sz} - temperatura szyby w oknie, $^{\circ}C$;</p> <p>t_p - temperatura powietrza wewnątrz pomieszczenia, $^{\circ}C$;</p> <p>t_z - temperatura powietrza zewnętrznego, $^{\circ}C$;</p> <p>U_{sz} - współczynnik przenikania ciepła dla szyby w oknie, W/m^2K.</p>	<p>I_{cmax} - Maksymalne natężenie promieniowania słonecznego całkowitego w miesiącu obliczeniowym dla danego kierunku ekspozycji okna, przenikającego przez nasłonecznioną część ściany, W/m^2;</p> <p>I_c - Chwilowe natężenie promieniowania słonecznego całkowitego w miesiącu obliczeniowym dla danego kierunku ekspozycji okna, przenikającego przez nasłonecznioną część ściany, W/m^2;</p> <p>A_s - Nasłoneczniona powierzchnia szyby, m^2;</p> <p>A - Całkowita powierzchnia szyby, m^2;</p> <p>I_{rmax} - Maksymalne natężenie promieniowania słonecznego rozproszonego w miesiącu obliczeniowym dla danego kierunku ekspozycji okna, przenikającego przez niasłonecznioną część ściany, W/m^2;</p> <p>I_r - Chwilowe natężenie promieniowania słonecznego rozproszonego w miesiącu obliczeniowym dla danego kierunku ekspozycji okna, przenikającego przez niasłonecznioną część ściany, W/m^2;</p> <p>b - współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego przez okno - uwzględnia gatunek szkła, liczbę szyb oraz zastosowanie osłon przeciwsłonecznych;</p> <p>s - współczynnik akumulacji ciepła w przegrodach otaczających pomieszczenie;</p> <p>A_0 - powierzchnia całego okna, m^2;</p> <p>U_o - współczynnik przenikania ciepła dla okna, W/m^2K;</p> <p>t_p - temperatura powietrza wewnątrz pomieszczenia, $^{\circ}C$;</p> <p>t_z - temperatura powietrza zewnętrznego, $^{\circ}C$.</p>
natężenie promieniowania całkowitego	W przypadku wykorzystania tej metodologii obliczeń, nie jest ono uwzględniane.	Maksymalna wartość, odczytana wprost z tabeli, w danym miesiącu obliczeniowym, dla danego kierunku ekspozycji okna. Promieniowanie całkowite oddziałuje jedynie na nasłonecznioną powierzchnię szyby.

opis	W. P. Jones [1]	VDI 2078, Pelech [2]
natężenie promieniowania bezpośredniego	<p>W tabelach dla typowego roku meteorologicznego dostępna jest wartość tego promieniowania, odniesiona do powierzchni poziomej. Należy wyliczyć składową promieniowania bezpośredniego, prostopadłą do płaszczyzny pionowej (ściany budynku), można to zrobić wykorzystując zależność:</p> $I_{b,a} = I_b \times \cos \alpha \times \cos n$ <p>α - wysokość wzniesienia słońca, n - azymut słoneczny ściany.</p> <p>Promieniowanie bezpośrednie oddziałuje jedynie na nasłonecznioną powierzchnię szyby.</p>	<p>Brak danych odnośnie tego rodzaju promieniowania. W przypadku wykorzystania tej metodologii obliczeń, nie jest ono uwzględniane.</p>
natężenie promieniowania rozproszonego	<p>Wartość odpowiadająca natężeniu promieniowania całkowitego na powierzchnię pionową o orientacji północnej. Promieniowanie rozproszone oddziałuje na całkowitą powierzchnię szyby.</p>	<p>Maksymalna wartość, odczytana wprost z tabeli, w danym miesiącu obliczeniowym, dla danego kierunku ekspozycji okna. Promieniowanie rozproszone oddziałuje na nienasłonecznioną powierzchnię szyby.</p>
uwzględnienie powierzchni szyb	<p>Promieniowanie bezpośrednie oddziałuje jedynie na nasłonecznioną część szyby, a promieniowania rozproszone na całkowitą.</p>	<p>Promieniowanie całkowite oddziałuje na nasłonecznioną część szyby, promieniowanie rozproszone na powierzchnię nienasłonecznioną.</p>
zacienienie od występow okiennych	<p>W obu przypadkach tak samo.</p>	
współczynnik przepuszczalności	<p>Zaleca się by wartość współczynników przepuszczalności odczytywać bezpośrednio z katalogów producentów systemów okiennych. W przypadku braku danych, można posłużyć się wartościami tabelarycznymi, odniesionymi do kąta padania promieniowania oraz typu zastosowanego oszklenia i osłon przeciwsłonecznych.</p>	
	<p>Rozróżnienie współczynników przepuszczalności w zależności od rodzaju promieniowania. Wartość współczynnika przepuszczalności, dla promieniowania rozproszonego, przyjmuje się jako stałą wartość (w zależności od źródła 0,75-0,79). W metodyce brak danych odnośnie ograniczenia promieniowania przez osłony przeciwsłoneczne.</p>	<p>Brak rozróżnienia współczynnika przepuszczalności w zależności od rodzaju promieniowania. Możliwość uwzględnienia kombinacji różnych elementów przeciwsłonecznych poprzez przemnożenie odpowiadających im współczynników.</p>

opis	W. P. Jones [1]	VDI 2078, Pelech [2]
uwzględnienie akumulacji	brak	Współczynnik akumulacji "s" odniesiony do maksymalnej wartości natężenia promieniowania przenikającego do pomieszczenia podczas doby. Uwzględnia nie tylko rodzaj konstrukcji budynku i jego akumulacyjność ale również orientację ściany a także rodzaj zastosowanych osłon przeciwslonecznych. Wartości współczynnika zmieniają się w funkcji czasu - wpływa na przebieg zmienności zysków ciepła od promieniowania słonecznego w ciągu doby. Bez rozróżnienia rodzaju promienia.
uwzględnienie promieniowania ziemi (odbitego od terenu otaczającego)	Współczynnik odbicia (refleksyjność) ziemi zależy od rodzaju powierzchni, wysokości wzniesienia słońca.	Wprowadzenie rozróżnienia wartości natężenia promieniowania całkowitego i rozproszonego w zależności od rodzaju obszaru (obszary pozamiejskie oraz miejskie i przemysłowe). Brak możliwości przyjęcia dokładnej wartości (przykładowo dla domu położonego nad jeziorem).
zyski wynikające z różnicy temperatur	Uwzględnienie wzrostu temperatury powierzchni szyby o dużych zdolnościach absorpcyjnych ciepła. Uwzględnienie przenikania ciepła tylko dla powierzchni szyby.	Przenikanie ciepła uwzględnione dla całej powierzchni okna wraz z ramą okienną, współczynnik przenikania przyjęty dla całego okna

¹ – dla wentylacji z chłodzeniem i klimatyzacji,

² – dla wentylacji bez chłodzenia.

Z uwagi na powyższe na potrzeby artykułu wykonano obliczenia dla określenia ciepła, które pojawia się w pomieszczeniu w wyniku promieniowania słonecznego. Obliczenia wykonano dla trzech dni w roku (21 czerwiec, 23 lipiec oraz 22 wrzesień) traktując te dni, zgodnie z normą VDI2078, jako reprezentatywne.

4. WYNIKI ANALIZY

Obliczenia strumienia ciepła od promieniowania słonecznego przeprowadzono metodą tabelaryczną, wykonano je dla metody opisanej przez Pelecha podstawiając wartości natężenia promieniowania słonecznego uzyskane z danych meteorologicznych, dostępnych na stronie Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa oraz odczytane z załączników dołączonych do metodologii.

4.1. PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA OBLICZENIOWE

Budynek zlokalizowany jest we Wrocławiu (szerokość geograficzna $51^{\circ}06'00''N$ długość geograficzna $17^{\circ}01'59''E$, wysokość nad poziomem morza 124,00 m). Zdolność do akumulowania ciepła budynku (przyjęta według [9]), określona jako średnia (typ III), względna masa budowli $m = 500 \text{ kg/m}^2$. Okno o wymiarach 3,2 x 3,2 m, w ścianie zewnętrznej pomieszczenia, zorientowanej w kierunku południowo-zachodnim. Rama okna o szerokości 0,1 m. Szklone szkłem zwykłym, podwójnym, powierzchnia szyby $9,0 \text{ m}^2$. Okno zlicowane z elewacją - brak węgarzków. Brak osłon przeciwsłonecznych. Współczynnik przenikania ciepła dla okna $U_o=1,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, dla szyby $U_{sz}=5,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, współczynnik przejmowania ciepła wewnętrznej powierzchni szyby $\alpha_w=7,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, współczynnik przejmowania ciepła zewnętrznej powierzchni szyby $\alpha_z=22,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Godziny pracy obiektu 7:00–20:00. Dopuszczalny zakres temperatury powietrza w pomieszczeniu $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$.

4.2. BILANS CIEPŁA OD PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO
DLA WYBRANYCH DNI W ROKU

W tabelach 2, 3 i 4 zestawiono godzinowy przebieg bilansu ciepła od promieniowania słonecznego odpowiednio dla 21 czerwca, 23 lipca i 22 września. W obliczeniach uwzględniono zarówno promieniowanie jak i przenikanie ciepła przez okno. Zastosowana skala szarości ma na celu wyróżnienie godzin, w których występują maksymalne zyski ciepła.

Tabela 2. Godzinowy przebieg wartości strumienia ciepła od promieniowania słonecznego oraz natężenia promieniowania słonecznego dla 21 czerwca

czas	jedn.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t_z	$^{\circ}\text{C}$	19,1	20,9	22,8	24,7	26,2	27,8	28,0	28,4	28,5	28,2	27,6	26,5	25,4	24,
t_p	$^{\circ}\text{C}$	20,0	20,5	21,4	22,4	23,1	23,9	24,0	24,2	24,3	24,1	23,8	23,3	22,7	22,
Q_p^1	W	494	566	632	686	841	121	169	207	229	228	202	164	119	885
Q_p^2	W	522	657	782	935	121	209	304	364	372	349	246	139	475	22
Q_p^3	W	226	298	334	345	361	164	149	129	106	814	555	268	16	4
Natężenie promieniowania															
I_c^1	W/m	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408
I_c^2	W/m	58	73	86	101	131	228	333	399	408	383	269	152	51	2
I_c^3	W/m	252	332	371	381	398	178	161	138	113	85	57	27	0	0
I_r^1	W/m	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
I_r^2	W/m	58	73	86	101	115	130	142	149	146	135	111	77	36	2
I_r^3	W/m	196	332	371	372	379	177	159	137	111	84	57	27	0	0
s		0,15	0,16	0,17	0,18	0,22	0,32	0,45	0,55	0,61	0,61	0,54	0,44	0,32	0,2

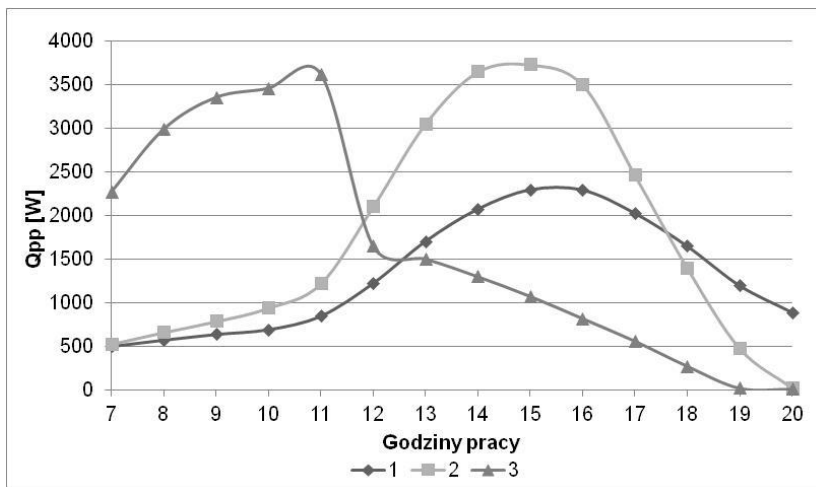
W tabelach 2, 3 i 4 przedstawiono także, wartości nateżenia promieniowania słonecznego całkowitego oraz rozproszonego przyjęte do obliczeń. Pozwala to na określenie wpływu tego promieniowania na ostateczną wielkość bilansu ciepła.

Tabela 3. Godzinowy przebieg wartości strumienia ciepła od promieniowania słonecznego oraz nateżenia promieniowania słonecznego dla 23 lipca

czas	jedn.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t_z	°C	20,4	22,6	24,6	26,1	27,4	28,4	29,3	29,8	30,0	29,9	29,5	28,5	27,0	25,
t_p	°C	20,2	21,3	22,3	23,1	23,7	24,2	24,7	24,9	25,0	25,0	24,8	24,3	23,5	22,
Q_p^1	W	479	552	620	676	837	130	180	219	238	234	210	163	116	883
Q_p^2	W	495	630	764	917	129	227	325	383	387	340	247	131	358	4
Q_p^3	W	208	255	294	368	399	440	452	446	413	398	295	907	16	4
Nateżenie promieniowania															
I_c^1	W/m	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425
I_c^2	W/m	55	70	84	99	140	248	356	420	425	373	271	143	38	0
I_c^3	W/m	232	284	327	406	441	485	497	490	453	437	324	98	0	0
I_r^1	W/m	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
I_r^2	W/m	55	70	84	99	115	131	144	151	148	136	110	72	27	0
I_r^3	W/m	232	284	327	381	389	365	328	276	218	158	200	98	0	0
s		0,14	0,15	0,16	0,17	0,21	0,33	0,46	0,56	0,61	0,60	0,54	0,42	0,30	0,2

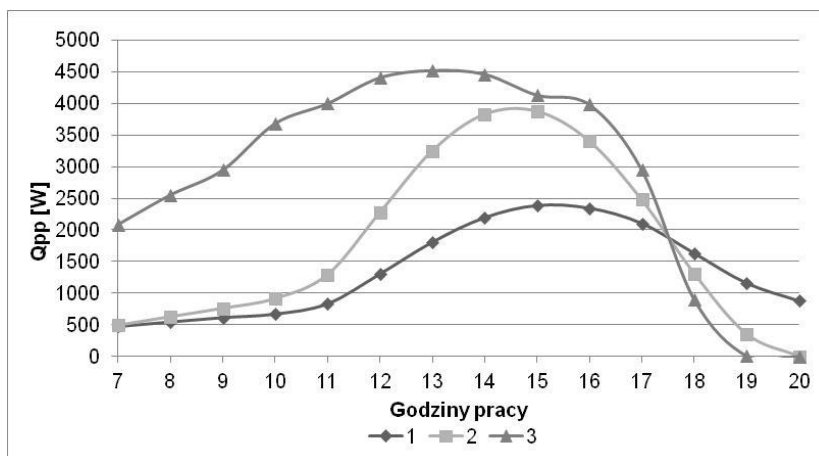
Tabela 4. Godzinowy przebieg wartości strumienia ciepła od promieniowania słonecznego oraz nateżenia promieniowania słonecznego dla 22 września

czas	jedn.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t_z	°C	16,8	18,8	21,0	23,0	24,0	25,0	25,5	25,9	26,0	25,6	24,5	23,3	21,9	20,5
t_p	°C	20,0	20,0	20,5	21,5	22,0	22,5	22,8	23,0	23,0	22,8	22,3	21,7	21,0	20,3
Q_{pp}^1	W	344	423	541	648	1056	1688	2225	2585	2675	2493	1906	1183	994	848
Q_{pp}^2	W	252	432	611	899	1888	3175	4115	4497	4192	3171	1542	127	16	4
Q_{pp}^3	W	1124	1611	2069	2424	2585	2481	2166	1705	1182	508	39	28	16	4
Nateżenie promieniowania															
I_c^1	W/m ²	494	494	494	494	494	494	494	494	494	494	494	494	494	494
I_c^2	W/m ²	28	48	67	97	206	348	452	494	460	347	167	11	0	0
I_c^3	W/m ²	125	179	229	267	284	271	236	184	126	51	0	0	0	0
I_r^1	W/m ²	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148
I_r^2	W/m ²	28	48	67	87	108	128	142	148	140	114	65	3	0	0
I_r^3	W/m ²	125	179	225	254	263	247	212	164	108	51	0	0	0	0
s		0,09	0,10	0,12	0,14	0,23	0,37	0,49	0,57	0,59	0,55	0,42	0,26	0,22	0,19



Rys. 1. Godzinowy bilans ciepła od nasłonecznienia określony dla pomieszczenia dla 21 czerwca; oznaczenia:

- 1 – Q_{pp} obliczone dla wentylacji z chłodzeniem. Natężenie promieniowania słonecznego z metodologii.
- 2 - Q_{pp} obliczone dla wentylacji bez chłodzenia. Natężenie promieniowania słonecznego z metodologii.
- 3 - Q_{pp} obliczone dla wentylacji bez chłodzenia. Natężenie promieniowania słonecznego z danych meteorologicznych



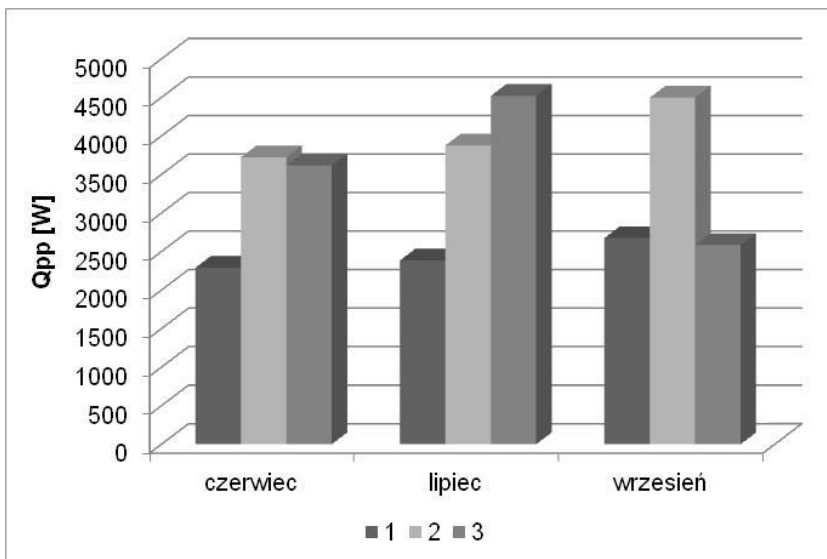
Rys. 2. Godzinowy bilans ciepła od nasłonecznienia określony dla pomieszczenia dla 23 lipca; oznaczenia:

- 1 – Q_{pp} obliczone dla wentylacji z chłodzeniem. Natężenie promieniowania słonecznego z metodologii.
- 2 - Q_{pp} obliczone dla wentylacji bez chłodzenia. Natężenie promieniowania słonecznego z metodologii.
- 3 - Q_{pp} obliczone dla wentylacji bez chłodzenia. Natężenie promieniowania słonecznego z danych meteorologicznych



Rys. 3. Godzinowy bilans ciepła od nasłonecznienia określony dla pomieszczenia dla 22 września; oznaczenia:

- 1 – Q_{pp} obliczone dla wentylacji z chłodzeniem. Natężenie promieniowania słonecznego z metodologii.
- 2 - Q_{pp} obliczone dla wentylacji bez chłodzenia. Natężenie promieniowania słonecznego z metodologii.
- 3 - Q_{pp} obliczone dla wentylacji bez chłodzenia. Natężenie promieniowania słonecznego z danych meteorologicznych.



Rys. 4. Porównanie maksymalnych bilansów ciepła

5. PODSUMOWANIE

Przystępując do wykonywania obliczeń dotyczących bilansu ciepła dla pomieszczeń, należy podjąć decyzję dotyczącą wyboru metody obliczeniowej. Dotyczy to przede wszystkim ciepła docierającego do pomieszczenia przez przegrody przezroczyste.

Zamieszczone w artykule wyniki obliczeń wskazują zależność pomiędzy przyjętą metodą obliczeniową oraz przyjmowanymi wartościami natężenia promieniowania słonecznego. Wartość bilansu ciepła w wyniku promieniowania i przenikania dla metody opisanej w Pełechu [1] i wykorzystywanej do obliczeń pomieszczeń klimatyzowanych i chłodzonych jest znacznie mniejszy od wartości otrzymanych dla pomieszczeń, w których powietrze wentylujące nie jest ochładzane w centrali wentylacyjnej. Jest to słuszne z uwagi na konieczność utrzymania mniejszej wartości przyrostu temperatury powietrza w pomieszczeniu. Daje gwarancję skutecznej wentylacji pomieszczeń nie chłodzonych. Z zamieszczonych w artykule wykresów wynika, że dla obliczeń, w których przyjmowane są wartości promieniowania słonecznego z danych dołączonych do metodologii (norma VDI 2078) wyraźnie kształtuje się wzrost wartości Q_{pp} od czerwca do września, co jest oczywiste, ze względu na kąt padania promieni słonecznych i azymut słońca. Wyniki obliczeń potwierdzają słuszność wyboru września, jako dnia reprezentatywnego dla określania obciążenia cieplnego pomieszczenia ze względu na natężenie promieniowania słonecznego. Obliczenia dla lipca wykonuje się celem określenia bilansu ciepła dla maksymalnej temperatury powietrza zewnętrznego, a następnie dla obliczenia wymaganej mocy chłodnicy. Zmienność wartości Q_{pp} zarówno dla systemów z chłodzeniem jak i bez chłodzenia jest wyraźna i logiczna.

Wyniki obliczeń dla systemu wentylacji bez chłodzenia, gdzie jako wartość natężenia promieniowania słonecznego przyjęto wartości z danych meteorologicznych (niezgodnie z metodologią), wskazują inną tendencję. W tym przypadku bilans ciepła wystarczyłoby określić jedynie dla lipca, w którym wartość natężenia promieniowania słonecznego padającego na przegrodę pionową jest największa. Zależność przedstawiona na wykresach kłóci się jednakże z ogólnym pojmowaniem pozycji Ziemi względem Słońca. Przyjmowanie innych, niż podane w metodologii wartości, może prowadzić do dużych błędów skutkujących błędnym określeniem strumienia powietrza wentylującego, a co za tym idzie także mocy wymienników ciepła, w których następuje ochładzanie i ogrzewanie powietrza wentylującego. Udostępnione dane meteorologiczne, które są wykorzystywane nie tylko dla celów wykonywania certyfikatów, wydają się być niedokładne. W czasie pracy nad artykułem zauważono nieprawidłowe przebiegi dla kierunków wschodnich i zachodnich. Zauważyć można to na rysunku 5, gdzie charakter zmian Q_{pp} jest podobny do strony południowo wschodniej, a nie zachodniej. Biorąc pod uwagę, iż w bilansie ciepła dla pomieszczeń pod uwagę bierze się także inne źródła ciepła, w efekcie otrzymuje się niewłaściwe wartości maksymalne i dobowe.

Praca została sfinansowana ze środków na działalność statutową nr S50532 Katedry Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza.

LITERATURA

- [1] JONES W.P., *Klimatyzacja*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2001.
- [2] PELECH A., *Wentylacja i klimatyzacja – podstawy*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [3] PELECH A., SZCZEŚNIAK S., *Wentylacja i klimatyzacja – zadania z rozwiązaniami i komentarzami*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
- [4] PN-EN ISO 15927-4:2007 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości budynków - Obliczanie i prezentacja danych klimatycznych - Część 4: Dane godzinowe do oceny rocznego zużycia energii na potrzebny ogrzewania i chłodzenia.
- [5] PN-EN 832:2001 Właściwości cieplne budynków - Obliczanie zapotrzebowania na energię do ogrzewania - Budynki mieszkalne.
- [6] PN-B-02025 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego.
- [7] PN-EN ISO 13790:2009 - Energetyczne właściwości użytkowe budynków -- Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- [8] PRZYDRÓŻNY S., FERENCOWICZ J., *Klimatyzacja*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1988.
- [9] VDI 2078 Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume 1994
- [10] WOJTAS K., *Zyski ciepła przez przegrody przezroczyste (cz.1)*, Rynek Instalacyjny, 2010, No. 3, 33–38.
- [11] WOJTAS K., *Zyski ciepła przez przegrody przezroczyste (cz.2)*, Rynek Instalacyjny, 2010, No. 4, 93–99.
- [12] www.mib.gov.pl/2-Wskazniki_emisji_wartosci_opalowe_paliwa.htm.

THE INFLUENCE OF AUXILIARY AIRFLOW IN LAMINAR FLOW SYSTEM ON AIRFLOW VOLUME

The article presents a comparison between the energy consumption for air purification and transport of two ventilation systems. Both systems supply operating rooms with similar geometry and heating load. In one of the operating rooms, standard full ceiling laminar flow ventilation system was used, while in the second one laminar airflow system with auxiliary airflow. For the rooms in question, heat characteristics charts and i-x Molier diagrams with marked thermodynamic changes of purified air are provided. Moreover, the collective specification of energy demand for air purification and transport is presented.