

doi:10.15199/48.2024.08.45

## Analiza parametrów pracy komina słonecznego z nachylnym kolektorem słonecznym

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono badania głównych parametrów pracy instalacji komina słonecznego z kolektorem nachylnym pod kątem  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  oraz  $90^\circ$ . Analizę wykonano dla kolektora słonecznego usytuowanego w czterech głównych oraz czterech pośrednich kierunkach geograficznych. Badania przeprowadzono dla całego roku pracy instalacji w warunkach klimatycznych panujących w Katowicach. W pracy dokonano porównania takich parametrów jak przyrost temperatury powietrza oraz jego prędkość w układzie komina słonecznego z pochylnym kolektorem dla poszczególnych kierunków geograficznych. Najlepsze parametry pracy instalacji można uzyskać dla kolektora zorientowanego w kierunkach: południowym, południowo-wschodnim, południowo-zachodnim.

**Abstract.** The paper presents research of the main operating parameters of a solar chimney installation with a collector inclined at the angle of  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  and  $90^\circ$ . The analysis was performed for a solar collector located in four main and four intermediate geographical directions. The analysis were carried out for the entire year of installation operation in the climatic conditions in Katowice. The work compares parameters such as the increase of air temperature and air speed in the sloped solar chimney system for the individual geographical directions. The best operating parameters of the installation can be obtained with the collector oriented in the following directions: south, south-east, south-west. (**Analysis of the operating parameters in the sloped solar chimney power plant**)

**Słowa kluczowe:** komin słoneczny z pochyłym kolektorem, komin słoneczny, energetyka słoneczna, modelowanie matematyczne.

**Keywords:** sloped solar chimney power plant, solar chimney, solar energy, mathematical modelling.

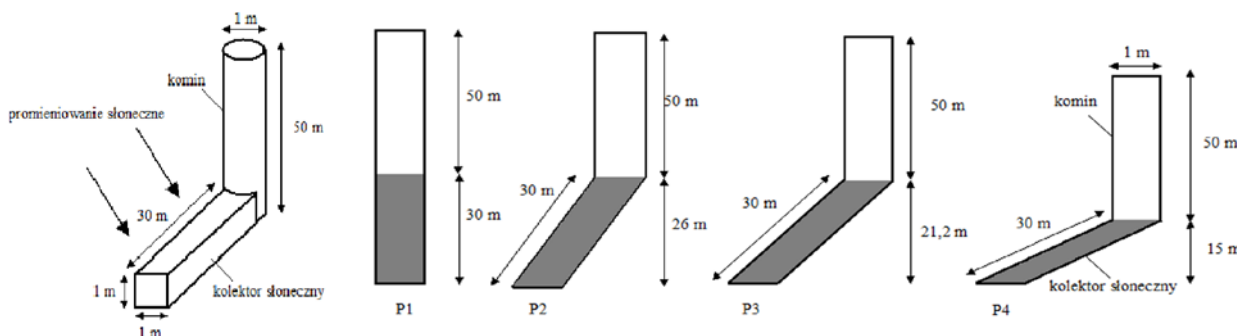
### Wstęp

Energia odnawialna w istotny sposób umożliwia redukcję gazów cieplarnianych oraz zmniejszenie zależności od paliw kopalnych. Jednym z urządzeń pozwalających na wykorzystanie źródeł odnawialnych jest komin słoneczny. Jest to konstrukcja złożona z komina oraz kolektora słonecznego. Na powstający ciąg kominowy ma wpływ wysokość komina oraz różnica gęstości powietrza, które uległo ogrzaniu w kolektorze u jego podstawy i powietrza atmosferycznego u wylotu komina.

Układy komina słonecznego na przestrzeni lat były analizowane pod wieloma aspektami przez badaczy z całego świata. Bilgen i in. [1] badali komin słoneczny z nachylnym kolektorem usytuowanym na zboczu wzgórza dla dużych szerokości geograficznych. Nizetic i in. [2] analizowali komin słoneczny dla klimatu śródziemnomorskiego. Kröger i in. [3] badali wpływ wilgotności powietrza na różnicę ciśnienia uzyskaną w instalacji komina słonecznego. Metodyka obliczeń komina słonecznego została przedstawiona w artykule [4]. Kebabsa i in. [5] badali kolektor słoneczny o nachylnym wlocie. Badaniom poddano także układ komina słonecznego wyposażony w filtry oczyszczające powietrze zewnętrzne [6]. Mały komin słoneczny był badany

eksperymentalnie przez Guzel i in [7]. Arefian i in. [8] poddali analizie także różne systemy magazynowania ciepła w instalacji komina słonecznego. Badaniom poddano 15 układów magazynowania ciepła. Badacze szukają możliwości poprawy efektywności systemu komina słonecznego. W tym celu zastosowano metalowe rury umieszczone pod dachem kolektora [9]. Atia i in. [10] badali różne kształty powierzchni absorbera. Najlepsze rezultaty uzyskano dla absorbera o kształcie prostokątnym. Analizę potencjału wytwarzania energii elektrycznej w kominie słonecznym z nachylnym kolektorem przedstawiono także w pracy [11].

W literaturze przedmiotu niewiele jest prac badawczych poświęconych zagadnieniu usytuowania kolektora w instalacji komina słonecznego z uwzględnieniem kierunków geograficznych [12]. W pracy przeanalizowano układ komina słonecznego z kolektorem umiejscowionym pod kątem  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  oraz  $90^\circ$ . Obliczenia zrealizowano dla czterech głównych kierunków geograficznych: północnego, wschodniego, południowego, zachodniego oraz czterech pośrednich kierunków świata: północno-wschodniego, północno-zachodniego, południowo-zachodniego, południowo-wschodniego.



Rys. 1. Układy komina słonecznego poddane analizie

## Rodzaje analizowanych układów kominia słonecznego

Komin słoneczny z kolektorem umieszczonym pod kątem  $90^\circ$  (P1) do płaszczyzny poziomej zbudowany jest z kolektora słonecznego o powierzchni  $30 \text{ m}^2$  i długości  $30 \text{ m}$  oraz kominia o wysokości  $50 \text{ m}$ . Analizowany układ ma wysokość  $80 \text{ m}$ .

Komin z kolektorem słonecznym położonym pod kątem  $60^\circ$  (P2) do płaszczyzny poziomej jest skonstruowany z kolektora słonecznego o powierzchni  $30 \text{ m}^2$  i długości  $30 \text{ m}$  oraz kominia o wysokości  $50 \text{ m}$ . Instalacja ma wysokość  $76 \text{ m}$ .

Komin z kolektorem słonecznym usytuowanym pod kątem  $45^\circ$  (P3) do płaszczyzny poziomej składa się z kolektora słonecznego o powierzchni  $30 \text{ m}^2$  i długości  $30 \text{ m}$  oraz kominia o wysokości  $50 \text{ m}$ . Instalacja posiada wysokość  $71,2 \text{ m}$ .

Komin z kolektorem słonecznym położonym pod kątem  $30^\circ$  (P4) do płaszczyzny poziomej składa się z kolektora słonecznego o powierzchni  $30 \text{ m}^2$  i długości  $30 \text{ m}$  oraz kominia posiadającego wysokość  $50 \text{ m}$ . Instalacja ma wysokość  $65 \text{ m}$ .

We wszystkich analizowanych przypadkach komin ma średnicę  $1 \text{ m}$ , natomiast kolektor słoneczny ma szerokość  $1 \text{ m}$ . Przekrój kominia jest jednakowy na całej wysokości. Kanał kolektora jest wyposażony w nieprzeźroczyste i adiabatyczne ściany boczne. Transfer energii promieniowania słonecznego odbywa się wyłącznie poprzez powierzchnię dachu kanału. Kanał kolektora oraz komin są szczelne. Nie zachodzi wymiana ciepła pomiędzy powietrzem w kominie i otoczeniem. Dach kolektora jest wykonany ze szkła.

Rysunek 1 przedstawia instalacje poddane analizie.

## Model matematyczny

Temperaturę powietrza w kolektorze i prędkość powietrza w kominie obliczono metodą kolejnych przybliżeń. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z równaniami (1)–(2) i (8)–(26) na podstawie metodologii zaproponowanej w pracy [13].

W pierwszym przybliżeniu została założona średnia temperatura w kolektorze  $T_f$ , natomiast temperaturę szyby kolektora  $T_c$  wyznaczono ze wzoru:

$$(1) \quad T_c = 0,5(T_f + T_a)$$

gdzie:  $T_f$  – średnia temperatura powietrza w kolektorze,  $T_a$  – temperatura otoczenia.

Temperaturę absorbera  $T_A$  obliczono z zależności:

$$(2) \quad T_A = T_f + 5^\circ \text{C}$$

Dla założonej temperatury  $T_f$  dla powietrza suchego przy ciśnieniu  $1013 \text{ kPa}$  odczytano z [14]: współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$ , liczbę Prandla  $Pr$ , kinematyczny współczynnik lepkości  $\nu$  i ciepło właściwe  $c_p$ .

Liczba Nusselta dla kolektora pochylonego dla  $Ra < 10^9$  jest obliczana z formuły [15]:

$$(3) \quad Nu = 0,68 + (0,67 Ra^{\frac{1}{4}}) / [1 + (\frac{0,492}{Pr})^{\frac{9}{16}}]^{\frac{4}{9}}$$

Liczba Nusselta dla kolektora pochylonego dla  $Ra > 10^9$  jest wyznaczana z zależności [15]:

$$(4) \quad Nu = \{0,825 + (0,387 Ra^{\frac{1}{6}}) / [1 + (\frac{0,492}{Pr})^{\frac{9}{16}}]^{\frac{8}{27}}\}^2$$

Liczba Rayleigha  $Ra$  dla przepływu turbulentnego:

$$(5) \quad Ra = \frac{g \beta' \Delta T d^3}{\nu^2} Pr$$

gdzie:  $g$  – przyspieszenie ziemskie,  $\Delta T$  – różnica temperatury pomiędzy absorberem i szybą,  $d$  – odstęp między szybą i absorberem,  $\beta'$  – współczynnik rozszerzalności objętościowej powietrza:

$$(6) \quad \beta' = \frac{2}{T_f + T_c}$$

Liczba Rayleigha  $Ra$  dla przepływu laminarnego:

$$(7) \quad Ra = \frac{g \cos \theta \beta' \Delta T d^3}{\nu^2} Pr$$

gdzie:  $\theta$  – kąt zawarty między płaszczyzną pionową i kolektorem.

W kolejnym etapie obliczono konwekcyjny współczynnik wymiany ciepła  $h_{cl}$ :

$$(8) \quad h_{cl} = \frac{Nu \lambda}{d}$$

gdzie:  $d$  – odległość szyby od absorbera.

Zastępczy współczynnik przejmowania ciepła na drodze promieniowania między szybą i absorberem:

$$(9) \quad h_{r1} = \frac{\sigma (T_A^2 + T_c^2)(T_A + T_c)}{(\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1)}$$

gdzie:  $\varepsilon_A$  – emisyjność absorbera,  $\varepsilon_c$  – emisyjność szyby,  $\sigma$  – stała Stefana–Boltzmana.

Sprawność absorbera  $F'$  jest obliczona z formuły:

$$(10) \quad F' = \frac{2h_{r1}h_{cl} + U_g h_{cl} + h_{cl}^2}{(U_g + h_{r1} + h_{cl})(U_d + h_{r1} + h_{cl}) - h_{r1}^2}$$

gdzie:  $U_g$  – współczynnik strat ciepła przez frontową powierzchnię kolektora:

$$(11) \quad U_g = \frac{1}{\frac{1}{h_{c2}} + h_{r2}}$$

Współczynnik konwekcyjnej wymiany ciepła od zewnętrznej szyby do otoczenia  $h_{c2}$  został wyznaczony według zależności:

Liczba Nusselta  $Nu$ :

$$(12) \quad Nu = 0,68 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

Liczba Reynoldsa  $Re$ :

$$(13) \quad Re = \frac{u_w L}{\nu}$$

gdzie:  $u_w$  – prędkość wiatru.

$$(14) \quad L = \frac{4ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

gdzie:  $a, b$  – długości boków kolektora.

$$(15) \quad h_{c2} = \frac{Nu\lambda}{L}$$

W kolejnym kroku wyznaczono zastępczy współczynnik przejmowania ciepła przez promieniowanie między szybą i nieboskłonem  $h_{r2}$ :

$$(16) \quad h_{r2} = \frac{\sigma\epsilon_c(T_c^4 - T_{sky}^4)}{T_c - T_a}$$

gdzie:  $T_{sky}$  – temperatura nieboskłonu,  $U_d$  – współczynnik strat spodu kolektora:

$$(17) \quad U_d = \frac{\lambda_i}{d_i}$$

gdzie:  $\lambda_i$  – współczynnik przewodności cieplnej izolacji termicznej kolektora,  $d_i$  – grubość izolacji od spodu kolektora.

Zastępczy współczynnik strat  $U_L$ :

$$(18) \quad U_L = \frac{(U_d + U_g)[2h_{r1}h_{c1} + h_{c1}^2] + 2U_gU_dh_{c1}}{2h_{r1}h_{c1} + h_{c1}^2 + U_g h_{c1}}$$

Strumień masowy powietrza  $\dot{m}$  w pierwszym przybliżeniu jest obliczony z zależności:

$$(19) \quad \dot{m} = u_1 A_c \rho_{i,1}$$

gdzie:  $u_1$  – prędkość powietrza założona w pierwszym przybliżeniu,  $A_c$  – przekrój poprzeczny kolektora,  $\rho_{i,1}$  – gęstość powietrza na wlocie do kolektora.

Strumień masowy powietrza  $\dot{m}$  w kolejnych przybliżeniach jest obliczony z równania:

$$(20) \quad \dot{m} = \dot{V} \rho_{i,1}$$

gdzie:  $\dot{V}$  – objętościowe natężenie przepływu powietrza przez komin.

W kolejnym etapie wyznaczono współczynnik odprowadzenia ciepła  $F_r$ :

$$(21) \quad F_R = \frac{\dot{m}c_p}{A_A U_L} \left(1 - \exp\left(-\frac{A_A U_L F'}{\dot{m}c_p}\right)\right)$$

gdzie:  $A_A$  – powierzchnia absorbera,  $c_p$  – ciepło właściwe powietrza,  $F'$  – współczynnik sprawności absorbera.

Moc użyteczna kolektora obliczana jest z formuły:

$$(22) \quad \dot{Q} = A_A F_R [G_\beta(\tau\alpha) - U_L(T_{i,1} - T_a)]$$

gdzie:  $G_\beta$  – całkowita gęstość strumienia energii promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię pochyloną pod kątem  $\beta$ ,  $\tau\alpha$  – współczynnik transmisyjno-absorpcyjny,  $T_{i,1}$  – temperatura na wlocie do kolektora.

Temperatura powietrza na wylocie z kanału kolektora  $T_{i,2}$ :

$$(23) \quad T_{i,2} = T_{i,1} + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}c_p}$$

Drugie przybliżenie temperatury absorbera uzyskiwane jest z zależności:

$$(24) \quad T_A = T_a + \frac{G_\beta(\tau\alpha) - \frac{\dot{Q}}{A_A}}{U_L}$$

Drugie przybliżenie średniej temperatury powietrza jest wyznaczane z formuły:

$$(25) \quad T_f = T_a + \frac{G_\beta(\tau\alpha) - \frac{\dot{Q}}{F' A_A}}{U_L}$$

Drugie przybliżenie temperatury szyby kolektora wyznaczane jest z zależności:

$$(26) \quad T_c = \frac{T_f h_{c1} + T_A h_{r1} + T_a U_g}{h_{c1} + h_{r1} + U_g}$$

Drugie przybliżenie prędkości powietrza uzyskiwane jest z zależności (28) i (30):

Objętościowe natężenie przepływu powietrza przez komin z kolektorem nachylonym:

$$(27) \quad \dot{V} = C_d \frac{A_o}{\sqrt{1 + \left(\frac{A_o}{A_i}\right)^2}} \sqrt{\frac{2gH(T_{i,2} - T_a)}{T_a} + \frac{2gH_{coll}(T_f - T_a)}{T_a}}$$

gdzie:  $g$  – przyspieszenie ziemskie,  $H$  – wysokość komin,  $A_o$  – poprzeczny przekrój wylotu z komin,  $A_i$  – poprzeczny przekrój wlotu do kolektora,  $C_d$  – współczynnik napełnienia  $H_{coll}$  – wysokość kolektora,  $T_f$  – średnia temperatura powietrza [16]:

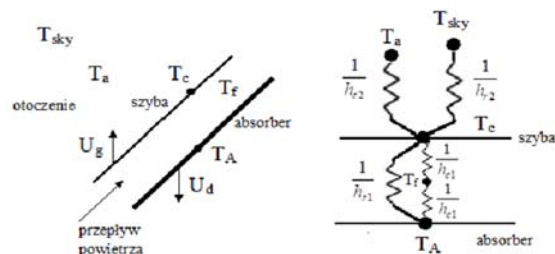
$$(28) \quad T_f = \gamma T_o + (1 - \gamma) T_i$$

$\gamma$  – stała, założono 0,75,  $T_o$  – temperatura na wylocie z kolektora,  $T_i$  – temperatura na wlocie do kolektora

Prędkość powietrza w kanale komin:

$$(29) \quad u = \frac{\dot{V}}{A_{ch}}$$

$A_{ch}$  – poprzeczny przekrój komin.

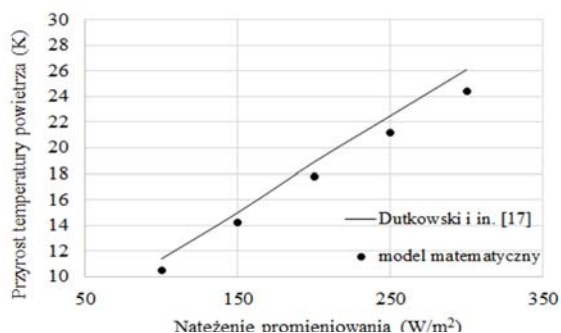


Rys. 2. Straty ciepła z kolektora do otoczenia oraz schemat połączeń oporów cieplnych

Na rysunku 2 przedstawiono straty ciepła z kolektora do otoczenia oraz schemat połączeń oporów cieplnych.

## Walidacja modelu matematycznego

Walidację modelu przeprowadzono dla pionowego powietrznego kolektora dla liniowego wzrostu temperatury powietrza na wylocie z kolektora w zależności od natężenia promieniowania [17]. Wyniki zostały uzyskane przy temperaturze otoczenia 20 °C oraz dla kolektora posiadającego wymiary 1,04x2,08x0,18 m. Na rysunku 3 przedstawiono przyrost temperatury powietrza na wylocie z kolektora w zależności od natężenia promieniowania. Przy natężeniu promieniowania 100 W/m<sup>2</sup> uzyskano przyrost 10,5 K, natomiast Dutkowski i in. 11,4 K, dla 300 W/m<sup>2</sup> w modelowaniu matematycznym przyrost wyniósł 24,4 K, w przypadku Dutkowski i in. jest to 26,1 K. Można zauważyć, że przy niższych natężeniach promieniowania różnica pomiędzy wartościami temperatury wyznaczonymi doświadczalnie i modelem matematycznym jest niewielka, natomiast przy wyższych natężeniach promieniowania różnica ta uległa zwiększeniu.



Rys.3. Przyrost temperatury powietrza na wylocie z kolektora

## Wyniki analizy instalacji komina słonecznego

Przy obliczeniach korzystano z danych klimatycznych dla Katowic udostępnionych przez Ministerstwo Inwestycji i Rozwoju [18]. Obliczenia przeprowadzono dla danych w każdej godzinie doby w ciągu roku kalendarzowego.

Tabela 1. Główne założenia przyjęte do obliczeń:

Przyspieszenie ziemskie, m/s <sup>2</sup>	9,81
Stała Stefana-Boltzmann	5,67·10 <sup>-8</sup>
Współczynnik refleksyjności podłoża	0,2
Współczynnik absorpcji absorbera	0,95
Współczynnik odbicia promieniowania od granicy rozdziálu faz	0,142
Współczynnik ekstynkcji, m <sup>-1</sup>	-20
Grubość szyby kolektora, m	0,004
Współczynnik refrakcji n <sub>1</sub>	1
Współczynnik refrakcji n <sub>2</sub>	1,526
Emisyjność absorbera	0,95
Emisyjność szyby	0,95

Rysunki od 4 do 7 przedstawiają częstotliwość występowania przyrostu temperatury powietrza (ΔT) na wylocie z kolektora w ciągu roku kalendarzowego dla analizowanych przypadków instalacji komina słonecznego oraz poszczególnych kierunków geograficznych.

W układzie P1 najwyższy przyrost temperatury 6,01 – 7,00 K miał miejsce w instalacjach skierowanych w kierunku zachodnim, wschodnim oraz południowym. W układach zorientowanych w kierunku południowo-wschodnim, południowym oraz południowo-zachodnim przyrost temperatury od 3,01 K do 7,00 K występował z największą częstotliwością. W instalacji usytuowanej w kierunku północnym zaobserwowano najniższe przyrosty temperatury od 0,01 K do 3,00 K.

W przypadku instalacji P2 przyrost temperatury 6,01 – 7,00 K miał miejsce w instalacjach zorientowanych

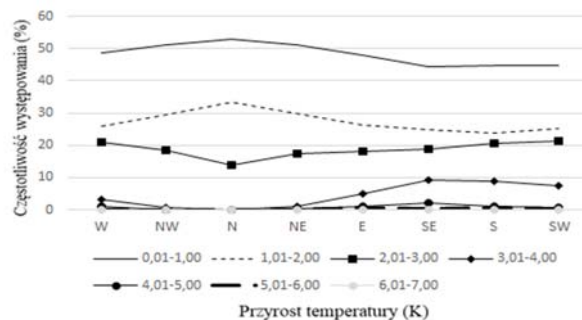
w kierunku południowo-zachodnim, południowym, południowo-wschodnim, wschodnim i zachodnim.

W układzie zwróconym w kierunku północnym występuje najmniejszy przyrost temperatury 0,01 – 4,00 K. We wszystkich układach najczęściej miał miejsce przyrost temperatury od 0,01 K do 2,00 K.

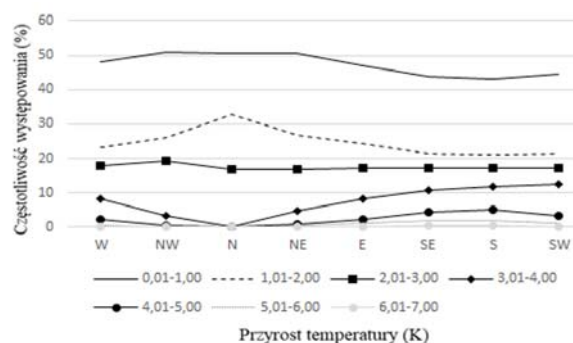
W instalacji P3 przyrost temperatury od 6,01 do 7,00 K wystąpił w układach skierowanych w kierunku zachodnim, wschodnim, południowo-wschodnim, południowym, południowo-zachodnim. Przyrost temperatury z zakresu 1,01 – 2,00 K występował najczęściej w układzie zorientowanym w kierunku północnym. W instalacji usytuowanej w kierunku północnym zakres przyrostu temperatury jest mniejszy i wynosi od 0,01 K do 4,00 K.

W przypadku P4 największy przyrost temperatury do 8 K wystąpił w układzie z kolektorem usytuowanym w kierunku południowym oraz południowo-wschodnim. ΔT od 5,01 K do 6,00 K miał miejsce we wszystkich analizowanych przypadkach z wyjątkiem kierunku północnego, natomiast największa frekwencja tego zakresu temperatury wystąpiła dla układów w kierunku południowo-zachodnim, południowym oraz południowo-wschodnim. Najniższy przyrost temperatury od 0,01 K do 1,00 K wystąpił w badanych układach z częstotliwością 45,51 – 53,03%.

Na rysunku 8 przedstawiono częstotliwość występowania przyrostu temperatury powietrza na wylocie z kolektora w ciągu roku w instalacjach skierowanych w kierunku południowym z kolektorem nachylnym pod kątem 30°, 45°, 60° oraz 90°. W instalacji P1 częstotliwość występowania przyrostu temperatury od 1,01 do 3,00 K jest wyższa niż w przypadku pozostałych układów. Częstotliwość występowania przyrostu temperatury od 0,01 do 1,00 K jest na podobnym poziomie w instalacjach nachylnych pod kątem 45° i 60° oraz 30° i 90°. Frekwencja przyrostu temperatury od 1,01 do 3,00 K ma tendencję wzrostową wraz ze wzrostem nachylenia kolektora. Frekwencja przyrostu temperatury od 3,01 do 7,00 K ma tendencję malejącą wraz ze wzrostem nachylenia kolektora

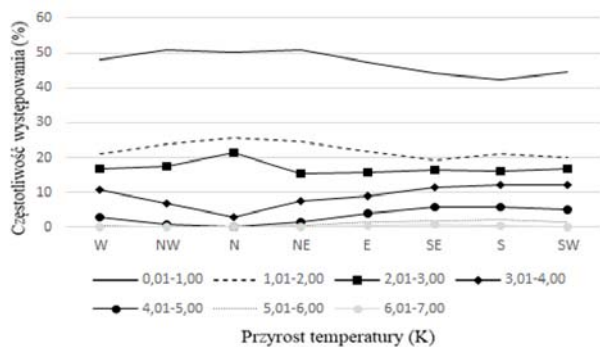


Rys. 4. Częstotliwość występowania przyrostu temperatury w ciągu roku w instalacji z kolektorem nachylnym pod kątem 90°

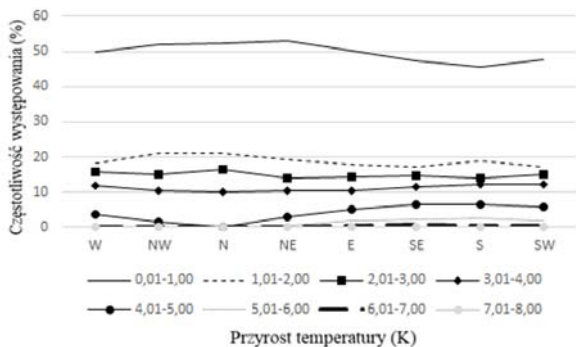


Rys. 5. Częstotliwość występowania przyrostu temperatury w ciągu roku w instalacji z kolektorem nachylnym pod kątem 60°

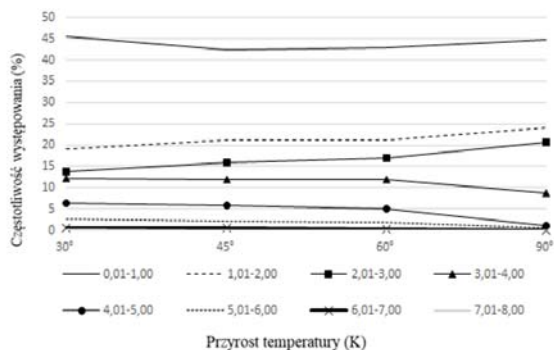




Rys. 6. Częstotliwość występowania przyrostu temperatury w ciągu roku w instalacji z kolektorem nachylnym pod kątem 45°



Rys. 7. Częstotliwość występowania przyrostu temperatury w ciągu roku w instalacji z kolektorem nachylnym pod kątem 30°



Rys. 8. Częstotliwość występowania przyrostu temperatury w ciągu roku w instalacjach skierowanych w kierunku południowym z kolektorem nachylnym pod kątem 30°, 45°, 60° oraz 90°

Na rysunkach od 9 do 12 przedstawiono częstotliwość występowania zakresów prędkości powietrza w kominie słonecznym w ciągu roku kalendarzowego dla badanych instalacji zorientowanych w poszczególnych kierunkach geograficznych.

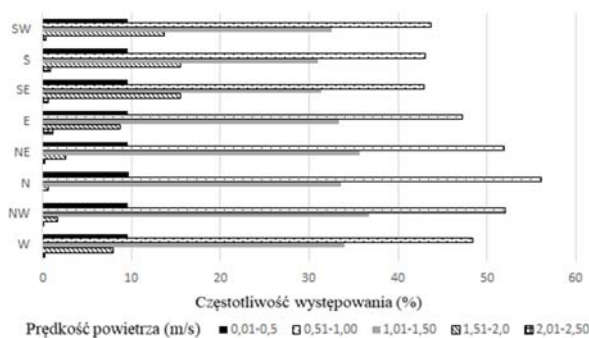
W układzie P1 prędkość powietrza od 2,01 do 2,50 m/s występowała we wszystkich instalacjach z wyjątkiem kierunku północnego. Z największą frekwencją 56,16% występowała prędkość powietrza 0,51 – 1,01 m/s w instalacji zorientowanej w kierunku północnym. Najmniejsza prędkość powietrza 0,01 – 0,5 m/s miała miejsce we wszystkich układach z podobną częstotliwością 9,58 – 9,69%. Prędkość powietrza z zakresu od 1,51 m/s do 2,00 m/s w przypadku instalacji skierowanej na południe występowała z frekwencją 15,48%, natomiast w instalacji usytuowanej w kierunku północnym z częstotliwością 0,59%.

W przypadku instalacji P2 prędkość powietrza 2,01 – 2,50 m/s występowała we wszystkich instalacjach

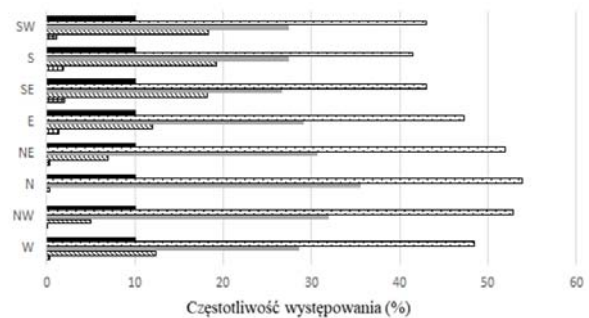
z wyjątkiem kierunku północnego. Prędkość od 1,51 m/s do 2,00 m/s z największą frekwencją występuje w układzie kominia usytuowanym w kierunku południowym, natomiast z najmniejszą w kierunku północnym. Prędkość powietrza 0,51 – 1,00 m/s występowała w analizowanych układach z częstotliwością 41,45 – 53,86%.

W instalacji P3 prędkość powietrza 2,01 – 2,50 m/s występowała we wszystkich instalacjach z wyjątkiem kierunku północnego. Prędkość powietrza 1,51 – 2,00 m/s z największą frekwencją występowała w instalacji usytuowanej w kierunku południowym.

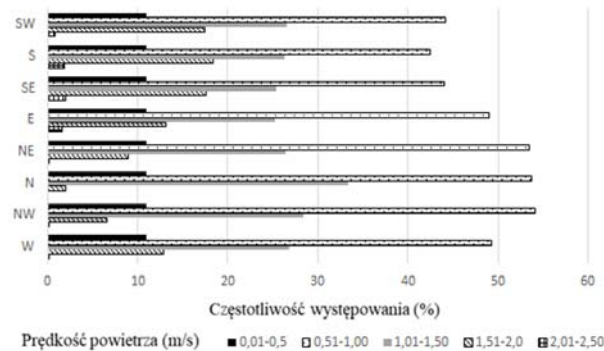
W przypadku instalacji P4 prędkość powietrza 2,01 – 2,50 m/s nie występowała w układach w kierunku północnym, północno-wschodnim, północno-zachodnim. Prędkość z tego zakresu we wszystkich badanych instalacjach występowała z najmniejszą częstotliwością. Największą frekwencję osiągnęła prędkość powietrza z zakresu 0,51 – 1,50 m/s. Najmniejsza prędkość powietrza 0,01 – 0,5 m/s we wszystkich układach pojawiła się z podobną częstotliwością 12,52 – 12,96 %.



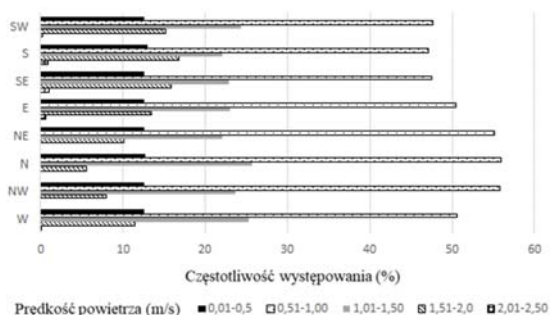
Rys. 9. Częstotliwość występowania prędkości powietrza w ciągu roku w instalacji z kolektorem nachylnym pod kątem 90°



Rys. 10. Częstotliwość występowania prędkości powietrza w ciągu roku w instalacji z kolektorem nachylnym pod kątem 60°



Rys. 11. Częstotliwość występowania prędkości powietrza w ciągu roku w instalacji z kolektorem nachylnym pod kątem 45°



Rys. 12. Częstotliwość występowania prędkości powietrza w ciągu roku w instalacji z kolektorem nachylonym pod kątem 30°

### Podsumowanie

W artykule zaprezentowano główne parametry pracy instalacji komina słonecznego takie, jak przyrost temperatury powietrza na wylocie z kolektora oraz prędkość powietrza w kominie słonecznym. Dokonano porównania częstotliwości występowania w ciągu roku kalendarzowego tych parametrów w instalacjach z kolektorem słonecznym usytuowanym pod kątem 30°, 45°, 60° oraz 90° zorientowanym w ośmiu kierunkach geograficznych. Badania wykazały, że najwyższe przyrosty temperatur powietrza można osiągnąć w układach zorientowanych w kierunkach: południowym, południowo-wschodnim i południowo-zachodnim, natomiast najmniejsze przyrosty temperatur występują w instalacjach usytuowanych w kierunkach: północnym, północno-wschodnim, północno-zachodnim. Częstotliwość występowania przyrostu temperatur w zakresie 2,01 – 7,00 K jest najwyższa w układzie z kolektorem pochylonym pod kątem 45° skierowanym w kierunku południowym. W instalacji z kolektorem nachylonym pod kątem 90° zorientowanej w kierunku północnym występują najniższe przyrosty temperatury.

Największe prędkości powietrza można zaobserwować najczęściej w układach z kolektorem nachylonym pod kątem 45° oraz 60° zorientowanym w kierunkach: południowym, południowo-wschodnim oraz południowo-zachodnim. Najmniejsze prędkości powietrza występują we wszystkich analizowanych instalacjach usytuowanych w kierunku północnym.

**Autorzy:** dr inż. Sylwia Berdowska, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroenergetyki, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: sylwia.berdowska@pcz.pl.

### LITERATURA

- [1] Bilgen E., Rheault J., Solar chimney power plants for high latitudes, *Solar Energy*, 79 (2005), 449-458
- [2] Nizetic S., Ninic N., Klarin B., Analysis and feasibility of implementing solar chimney power plants in the Mediterranean region, *Energy*, 33 (2008), 1680-1690
- [3] Kröger D.G., Blaine D., Analysis of the driving potential of a solar chimney power plant. Research and Development (R&D), *Journal of the South African Institution of Mechanical Engineering*, 15 (1999), 85-94
- [4] Redliński M., Zapałowicz Z.: Uproszczona metodyka obliczeń komina słonecznego, *Polska Energetyka Słoneczna*, 2-4 (2010), 1 (2011), 61-66
- [5] Kebabsa H., Lounici M.S, Lebbi M., Daimallah A., Thermo-hydrodynamic behavior of an innovative solar chimney, *Renewable Energy*, 145 (2020), 2074–2090
- [6] Hachicha A. A., Abo-Zahhad E. M., Oh S., Issa S., Rahman S.M.A., Numerical investigation and optimization of a novel hybrid solar chimney for air pollution mitigation and clean electricity generation, *Applied Thermal Engineering*, 226 (2023), 120271
- [7] Guzel M. H., Unal R. E., Kose F., Experimental study of a micro-scale sloped solar chimney power plant, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 35 (2021), 5773-5779
- [8] Arefian A., Hosseini-Abardeh R., Rahimi-Larki M., Torkfar A., Sarlak H., A comprehensive analysis of time-dependent performance of a solar chimney power plant equipped with a thermal energy storage system, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189 (2024), 114051
- [9] Rezaei L., Saeidi S., Sapi A., Senoukesh M.R. A., Grof G., Chen W.H., Konya Z., Klemes J. J. Efficiency improvement of the solar chimneys by insertion of hanging metallic tubes in the collector: Experiment and computational fluid dynamics simulation, *Journal of Cleaner Production*, 415 (2023), 137692
- [10] Atia A., Bouabdallah S., Ghernaout B., Teggat M., Benchatti T. Applied, Investigation of various absorber surface shapes for performance improvement of solar chimney power plant *Thermal Engineering*, 235 (2023), 121395
- [11] Berdowska S., Analiza potencjału wytwarzania energii elektrycznej w instalacji komina słonecznego z nachylonym kolektorem słonecznym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 100 (2024), Nr 2, 78-83
- [12] Balijepalli R., Chandramohan V.P., Kirankumar K., Development of a small scale plant for a solar chimney power plant (SCPP): A detailed fabrication procedure, experiments and performance parameters evaluation, *Renewable Energy*, 148 (2020), 247-260
- [13] Pluta, Z., Podstawy Teoretyczne Fototermicznej Konwersji Energii Słonecznej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej: Warszawa, Poland, 2006
- [14] Pudlik W., Wymiana i Wymienniki Ciepła; Politechnika Gdańska, Gdańsk, Poland, 2012
- [15] Incopera F.P., DeWitt D.P., Fundamentals of Heat and Mass Transfer John Wiley 1996
- [16] Ong K. S., A mathematical model of a solar chimney, *Renewable Energy*, 28 (2003), 1047-1060
- [17] Dutkowski K., Piątkowski P., Badania eksperymentalne prototypowego, pasywnego powietrznego kolektora słonecznego z pokryciem poliwęglanem komorowym, *Instal*, 3 (2015), 17-23
- [18] Dane do obliczeń energetycznych budynków. Dostępne online: <https://www.gov.pl/web/archiwum-inwestycje-rozwoj/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>