

doi:10.15199/48.2024.02.15

Analiza potencjału wytwarzania energii elektrycznej w instalacji komina słonecznego z nachylonym kolektorem słonecznym

Streszczenie. W pracy zaprezentowano analizę parametrów pracy komina słonecznego z kolektorem położonym pod kątem 30° , 45° , 60° i 90° . Obliczenia przeprowadzono dla kolektora usytuowanego w ośmiu kierunkach geograficznych. Analizę wykonano dla warunków klimatycznych panujących w Katowicach. W pracy przedstawiono skumulowaną ilość energii elektrycznej, którą można uzyskać w poszczególnych miesiącach roku. Dokonano porównania wytwarzania energii elektrycznej w instalacji z pochyłym kolektorem dla poszczególnych kierunków geograficznych oraz instalacji z poziomym kolektorem słonecznym. Instalacja z kolektorem położonym pod kątem 60° w kierunku południowym pozwala na wytworzenie największej ilości energii elektrycznej.

Abstract. The paper presents an analysis of the parameters of the solar chimney with a collector located at the angle of 30° , 45° , 60° and 90° . The calculations were carried out for the collector oriented in eight geographical directions. The analysis was performed for the climatic conditions in Katowice. The work presents the cumulative amount of electricity that can be obtained in each month of the year. A comparison of electricity generation in an installation with an inclined collector for particular geographical directions and an installation with a horizontal solar collector was made. Installation with the collector located at 60° to the south allows for the generation of the largest amount of electricity. (**Analysis of the electricity generation potential in the sloped solar chimney power plant.**)

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

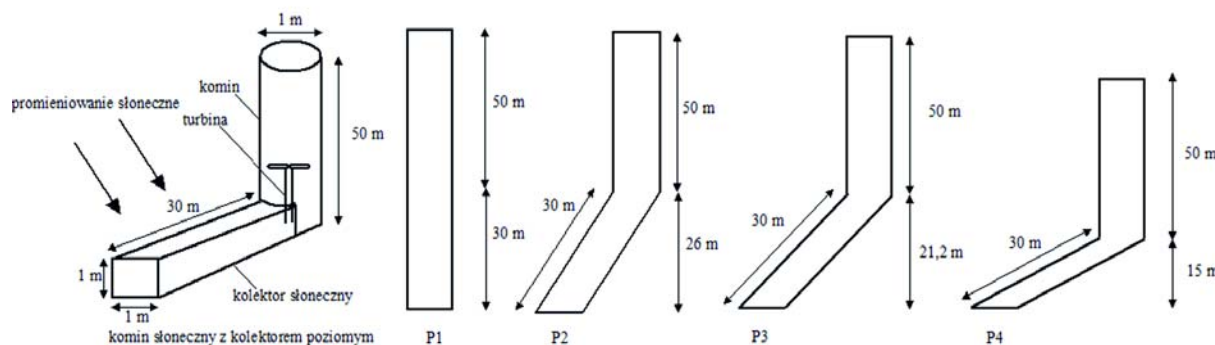
Keywords: sloped solar chimney power plant, solar chimney, solar energy, mathematical modelling.

Wstęp

Z uwagi na coraz większe zapotrzebowanie na energię elektryczną poszukiwane są nowe ekologiczne rozwiązania. Obecnie coraz większą popularność zyskuje energetyka słoneczna, do której można zaliczyć instalację komina słonecznego. Komin słoneczny jest układem złożonym z kolektora słonecznego, komina oraz turbiny wiatrowej. Powietrze wpływające do kolektora jest ogrzewane dzięki promieniowaniu słonecznemu. Podgrzane powietrze, wykorzystując efekt wyporu, płynie do komina, gdzie napędza turbinę wiatrową. Koncepcja kolektora nachylonego pod kątem w elektrowni kominowej została po raz pierwszy przedstawiona przez Bilgena i Rheault [1]. System ten składał się z kolektora o kształcie trójkąta usytuowanego na zboczu góry oraz komina umieszczonego pionowo. Cao i in. [2] zaprojektowali instalację komina słonecznego o mocy 5 MW z kolektorem pod kątem 31° . Układ był analizowany dla północno-zachodnich Chin. Kolektor miał promień wynoszący 607,2 m, a komin wysokość 252,2 m. Prototyp komina słonecznego z nachylonym kolektorem zbudowano w Syrii [3]. Kolektor miał trójkątny kształt o powierzchni $12,5 \text{ m}^2$ i nachylony był pod kątem 35° . Zhou [4] analizował dwusegmentowy nachylony kolektor dla komina słonecznego. Ayadi i in. [5]

badali efekt nachylenia dachu kolektora na wydajność komina słonecznego. Badacze zauważyli, że negatywny kąt dachu kolektora zwiększa wydajność komina słonecznego. Ayadi i in. [6] badali także wpływ wysokości dachu kolektora na wydajność komina słonecznego. Mała wysokość kolektora pozwala wygenerować dodatkową moc. Koonsrisuk [7] poddał analizie system z nachylonym kolektorem i stwierdził, że sprawność instalacji zależy od stosunku powierzchni wlotowej i wylotowej kolektora. Nouar i in. [8]. analizowali wpływ warunków klimatycznych w Algierii na podstawowe parametry pracy komina.

W literaturze mało jest prac badawczych odnoszących się do usytuowania kolektora w instalacji komina słonecznego z uwzględnieniem kierunków geograficznych [9]. Kierując się badaniami [10] w pracy analizie poddano instalację komina słonecznego z kolektorem nachylonym pod kątem 30° i 60° , a także 45° i 90° . Obliczenia przeprowadzono dla ośmiu kierunków geograficznych: północnego, północno-wschodniego, północno-zachodniego, zachodniego, południowego, południowo-zachodniego, południowo-wschodniego, wschodniego.



Rys. 1. Analizowane instalacje komina słonecznego

Warianty instalacji komina słonecznego

Układ komina słonecznego z kolektorem poziomym składa się z kolektora słonecznego o kształcie prostokątnym o długości 30 m i szerokości 1 m usytuowanego poziomo oraz komina o wysokości 50 m i średnicy 1 m. W kominie znajduje się turbina wiatrowa. Powietrze ogrzewane jest w kolektorze słonecznym i następnie, na skutek ciągu kominowego, napędza układ turbiny wiatrowej. Komin ma jednakowy przekrój na całej wysokości. Ściany boczne kanału kolektora są nieprzeźroczyste i adiabatyczne. Transport energii promieniowania słonecznego odbywa się tylko poprzez powierzchnię dachu kanału. Kanał i komin są szczelne. Brak jest wymiany ciepła pomiędzy powietrzem w kominie i otoczeniem. Pokrycie dachu kolektora stanowi szyba wykonana ze szkła. Założono, że wszystkie analizowane nachylone komin słoneczne będą miały takie same wymiary kolektora oraz komina jak układ z kolektorem poziomym.

Komin słoneczny z kolektorem usytuowanym pod kątem 90° (P1) do płaszczyzny poziomej składa się z kolektora słonecznego o powierzchni 30 m² i długości 30 m oraz komina o wysokości 50 m. Instalacja ma wysokość 80 m.

Komin z kolektorem słonecznym umieszczonym pod kątem 60° (P2) do płaszczyzny poziomej zbudowany jest z kolektora słonecznego o powierzchni 30 m² i długości 30 m oraz komina o wysokości 50 m. Instalacja ma wysokość 76 m.

Komin z kolektorem słonecznym umieszczonym pod kątem 45° (P3) do płaszczyzny poziomej zbudowany jest z kolektora słonecznego o powierzchni 30 m² i długości 30 m oraz komina o wysokości 50 m. Instalacja ma wysokość 71,2 m.

Komin z kolektorem słonecznym umieszczonym pod kątem 30° (P4) do płaszczyzny poziomej składa się z kolektora słonecznego o powierzchni 30 m² i długości 30 m oraz komina o wysokości 50 m. Instalacja ma wysokość 65 m.

Rysunek 1 przedstawia schematy analizowanych instalacji.

Model matematyczny

Temperatura powietrza w kolektorze oraz prędkość powietrza w kominie były obliczane metodą kolejnych przybliżeń. Obliczenia były prowadzone zgodnie z równaniami (1)–(4) i (7)–(26) według metodologii podanej w pracy [11].

W pierwszym przybliżeniu założono średnią temperaturę w kolektorze t_f oraz prędkość powietrza w przekroju kolektora v , natomiast temperatura szyby kolektora t_c została obliczona ze wzoru:

$$(1) \quad t_c = 0,5(t_f + t_a)$$

gdzie: t_f – średnia temperatura powietrza w kolektorze, t_a – temperatura otoczenia.

Temperatura absorbera t_A została wyznaczona z równania:

$$(2) \quad t_A = t_f + 5^\circ \text{C}$$

Dla założonej temperatury t_f dla powietrza suchego przy ciśnieniu 1013 kPa odczytano z [12]: współczynnik przewodzenia ciepła λ , liczbę Prandla Pr , kinematyczny współczynnik lepkości ν i ciepło właściwe c_p .

Liczba Reynoldsa Re jest wyznaczona z zależności:

$$(3) \quad Re = \frac{uD_h}{\nu}$$

gdzie: u – prędkość powietrza, D_h – wymiar charakterystyczny.

Liczba Nusselta Nu jest obliczana dla poszczególnych przypadków kolektora. Dla kolektora poziomego dla przepływu turbulentnego:

$$(4) \quad Nu = 0,036Re^{0,8}Pr^{0,33}\left(\frac{D_h}{L}\right)^{0,055}$$

gdzie: L – długość kolektora.

Liczba Nusselta dla kolektora pochylonego dla $Ra < 10^9$ jest wyznaczana z zależności [13]:

$$(5) \quad Nu = 0,68 + (0,67Ra^{\frac{1}{4}}) / [1 + (\frac{0,492}{Pr})^{\frac{9}{16}}]^{\frac{4}{9}}$$

Liczba Nusselta dla kolektora pochylonego dla $Ra > 10^9$ jest wyznaczana z równania [13]:

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

Liczba Rayleigha Ra :

$$(7) \quad Ra = \frac{g\beta'\Delta Td^3}{\nu^2}Pr$$

gdzie: g – przyspieszenie ziemskie, ΔT – różnica temperatury pomiędzy absorberem i szybą, d – odstęp między szybą i absorberem, β' – współczynnik rozszerzalności objętościowej powietrza:

$$(8) \quad \beta' = \frac{2}{T_f + T_c}$$

W następnym kroku wyliczono konwekcyjny współczynnik wymiany ciepła h_{cl} :

$$(9) \quad h_{cl} = \frac{Nu\lambda}{D_h}$$

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

$$(10) \quad h_{r1} = \frac{\sigma(T_A^2 + T_c^2)(T_A + T_c)}{(\frac{1}{\epsilon_A} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1)}$$

gdzie: ϵ_A – emisyjność absorbera, ϵ_c – emisyjność szyby, σ – stała Stefana–Boltzmana.

Sprawność absorbera F' jest wyznaczona z równania:

$$(11) \quad F' = \frac{2h_{r1}h_{cl} + U_g h_{cl} + h_{cl}^2}{(U_g + h_{r1} + h_{cl})(U_d + h_{r1} + h_{cl}) - h_{r1}^2}$$

gdzie: U_g – współczynnik strat ciepła od szyby do otoczenia:

$$(12) \quad U_g = \frac{1}{\frac{1}{h_{c1} + h_{r1}} + \frac{1}{h_{c2} + h_{r2}}}$$

Współczynnik konwekcyjnej wymiany ciepła od zewnętrznej szyby do otoczenia h_{c2} został obliczony zgodnie z równaniami :

Liczba Nusselta Nu :

$$(13) \quad Nu = 0,68Re^{\frac{1}{2}}Pr^{\frac{1}{3}}$$

Liczba Reynoldsa Re :

$$(14) \quad Re = \frac{u_w L}{\nu}$$

gdzie: u_w – prędkość wiatru.

$$(15) \quad L = \frac{4ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

gdzie: a, b – długości boków kolektora.

$$(16) \quad h_{c2} = \frac{Nu\lambda}{L}$$

Następnie obliczono zastępczy współczynnik przejmowania ciepła przez promieniowanie między szybą i nieboskładem h_{r2} :

$$(17) \quad h_{r2} = \frac{\sigma\epsilon_c(T_c^4 - T_{sky}^4)}{T_c - T_a}$$

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

$$(18) \quad U_d = \frac{\lambda_i}{d_i}$$

gdzie: λ_i – współczynnik przewodności cieplnej izolacji termicznej kolektora, d_i – grubość izolacji od spodu kolektora.

Zastępczy współczynnik strat U_L przyjmuje wartość:

$$(19) \quad U_L = \frac{(U_d + U_g)[2h_{r1}h_{c1} + h_{c1}^2] + 2U_g U_d h_{c1}}{2h_{r1}h_{c1} + h_{c1}^2 + U_g h_{c1}}$$

Strumień masowy powietrza \dot{m} jest wyznaczony z równania:

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

gdzie: A_c – przekrój poprzeczny kolektora, $\rho_{i,1}$ – gęstość powietrza na wlocie do kolektora.

W kolejnym kroku obliczono współczynnik odprowadzenia ciepła F_R :

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

gdzie: A_A – powierzchnia absorbera.

Moc użyteczna kolektora jest określona równaniem:

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

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 otrzymywane jest z równania:

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

Drugie przybliżenie średniej temperatury powietrza wyznaczone jest z zależności:

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

Drugie przybliżenie temperatury szyby kolektora jest obliczane z równania:

$$(26) \quad t_c = \frac{t_f h_{c1} + t_A h_{r1} + t_a U_g}{h_{c1} + h_{r1} + U_g}$$

Drugie przybliżenie prędkości powietrza otrzymywane jest z zależności (27), (28), (30):

Objętościowe natężenie przepływu powietrza przez komin z kolektorem poziomym [14]:

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

gdzie: H – wysokość komin, A_o – poprzeczny przekrój wylotu z komin, A_i – poprzeczny przekrój wlotu do kolektora, C_d – współczynnik napelnienia.

Objętościowe natężenie przepływu powietrza przez komin z kolektorem nachylonym:

$$(28) \quad \dot{V} = C_d \frac{A_o}{\sqrt{1 + \left(\frac{A_o}{A_i}\right)^2}} \sqrt{\frac{2gH(T_{i,2} - T_a)}{T_a} + \frac{2gH_{coll}(T_f - T_a)}{T_a}}$$

gdzie: H_{coll} – wysokość kolektora, T_f – średnia temperatura powietrza [15]:

$$(29) \quad T_f = \gamma T_o + (1 - \gamma) T_i$$

γ – stała, założono 0,75, T_o – temperatura na wylocie z kolektora, T_i – temperatura na wlocie do kolektora

Prędkość powietrza w kanale komin:

$$(30) \quad u = \frac{\dot{V}}{A_{ch}}$$

A_{ch} – poprzeczny przekrój komin.

Zgodnie z założeniem, że przekształcane jest maksymalnie 2/3 strumienia powietrza w energię mechaniczną, moc elektryczną instalacji wyznaczono z równania [16]:

$$(31) \quad P_{el} = \frac{2}{3} \Delta P_i \eta_i u A_{ch}$$

gdzie: η_t – sprawność turbogeneratora, ΔP_t – różnica ciśnienia wytworzona w kominie słonecznym [2]:

$$(32) \quad \Delta P_t = g(\rho_0 - \rho_i)H$$

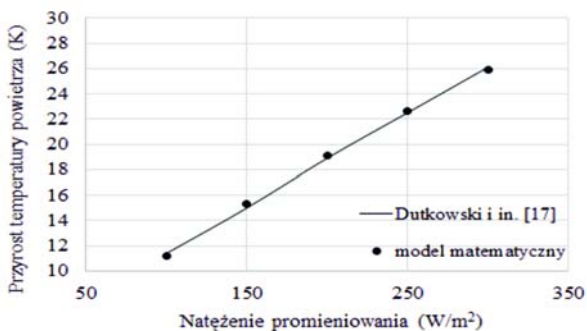
gdzie: ρ_i – gęstość powietrza na wlocie do komina, ρ_0 – gęstość powietrza na wlocie do kolektora.

Różnica ciśnienia wytworzona w kominie słonecznym z nachylnym kolektorem [2]:

$$(33) \quad \Delta P_t = g(\rho_0 - \rho_i)(H + \frac{1}{2}H_{coll})$$

Walidacja modelu matematycznego

Walidację modelu przeprowadzono dla powietrznego kolektora pionowego dla wyznaczonego przez autorów w [17] liniowego wzrostu temperatury powietrza na wylocie z kolektora w zależności od natężenia promieniowania. Wyniki uzyskano przy temperaturze otoczenia 20 °C oraz dla kolektora o wymiarach 1,04x2,08x0,18 m. Rysunek 2 przedstawia przyrost temperatury powietrza na wylocie z kolektora w zależności od natężenia promieniowania. Wyniki uzyskane w modelowaniu matematycznym pokazują dobrą zgodność z rezultatami wyznaczonymi przez autorów w [17]. Przy natężeniu promieniowania 100 W/m² uzyskano przyrost 11,2 K, natomiast Dutkowski i in. 11,4 K, dla 300 W/m² w modelowaniu matematycznym przyrost wyniósł 25,9 K, w przypadku Dutkowski i in. jest to 26,1 K.



Rys.2. Przyrost temperatury powietrza na wylocie z kolektora

Wyniki analizy komina słonecznego

Do obliczeń wykorzystano dane klimatyczne dla Katowic udostępniane przez Ministerstwo Inwestycji i Rozwoju [18]. Obliczenia wykonano dla zmian natężenia promieniowania w każdej godzinie doby.

Tabela 1. Główne założenia przyjęte do obliczeń:

Przyspieszenie ziemskie, m/s ²	9,81
Stała Stefana-Boltzmana	5,67·10 ⁻⁸
Współczynnik refleksyjności podłoża	0,2
Współczynnik absorpcji absorbera	0,95
Współczynnik odbicia promieniowania od granicy rozdziału faz	0,142
Współczynnik ekstynkcji, m ⁻¹	-20
Grubość szyby kolektora, m	0,004
Współczynnik refrakcji n ₁	1
Współczynnik refrakcji n ₂	1,526
Emisyjność absorbera	0,95
Emisyjność szyby	0,95
Sprawność turbogeneratora	0,8

Rysunki od 3 do 6 przedstawiają ilość wytworzonej energii elektrycznej w poszczególnych miesiącach oraz promieniowanie słoneczne padające na nachyloną powierzchnię kolektora dla analizowanych kierunków geograficznych.

We wszystkich przypadkach analizowanych instalacji trend wytwarzania energii jest taki sam jak ilości padającego na kolektor promieniowania słonecznego: największa ilość energii elektrycznej generowana jest wiosną i latem, najmniejsza jesienią i zimą.

Dla P1 najkorzystniejsze kierunki usytuowania kolektora dla wytworzenia energii elektrycznej to kierunek południowo-wschodni, południowy oraz południowo-zachodni. Najmniej energii elektrycznej komin może wygenerować z kolektorem zwróconym w kierunku północnym, północno-zachodnim oraz północno-wschodnim. Komin maksymalną ilość energii elektrycznej może wytworzyć, gdy kolektor jest zwrócony w kierunku południowo-wschodnim: 14,92 kWh, natomiast najmniej przy orientacji kolektora w kierunku północnym: 10,28 kWh. Komin słoneczny w najbardziej korzystnej orientacji może wytworzyć o 45,1% energii elektrycznej więcej w porównaniu z najmniej korzystnym usytuowaniem.

Dla P2 najkorzystniejsze kierunki położenia kolektora dla wytworzenia energii elektrycznej to kierunek południowy, południowo-wschodni oraz południowo-zachodni. Minimalną ilość energii elektrycznej komin może wygenerować z kolektorem zwróconym w kierunku północnym, północno-wschodnim oraz północno-zachodnim. Komin najwięcej energii elektrycznej może wytworzyć, gdy kolektor jest zwrócony w kierunku południowym: 16,68 kWh, natomiast najmniej przy orientacji kolektora w kierunku północnym: 10,55 kWh. Komin słoneczny w najbardziej korzystnej orientacji może wygenerować o 58,2% energii elektrycznej więcej w porównaniu z najmniej korzystnym usytuowaniem.

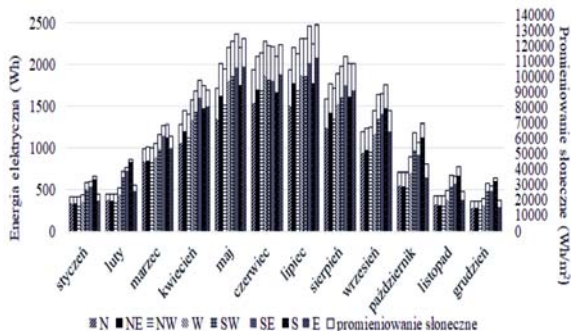
W kwietniu, maju oraz czerwcu maksymalną ilość energii elektrycznej pozwala wytworzyć kolektor zwrócony w kierunku południowym, południowo-wschodnim oraz południowo-zachodnim. W lipcu oraz sierpniu najkorzystniejszym kierunkiem jest południowo-wschodni. Od września do lutego kierunek południowy pozwala na wygenerowanie maksymalnej ilości energii elektrycznej. W ciągu całego roku najmniej energii elektrycznej można wytworzyć przy usytuowaniu kolektora w kierunkach: północnym, północno-wschodnim i północno-zachodnim.

Dla P3 najkorzystniejsze kierunki usytuowania kolektora dla wytworzenia energii elektrycznej to południowy, południowo-wschodni oraz południowo-zachodni. Najmniej energii elektrycznej komin może wygenerować z kolektorem zwróconym w kierunku północnym, północno-wschodnim oraz północno-zachodnim. Komin największą ilość energii elektrycznej może wytworzyć, gdy kolektor jest zwrócony w kierunku południowym: 16,5 kWh, natomiast najmniej przy orientacji kolektora w kierunku północnym: 11,07 kWh. Komin słoneczny w najbardziej korzystnej orientacji może wygenerować o 49,2% energii elektrycznej więcej w porównaniu z najmniej korzystnym usytuowaniem.

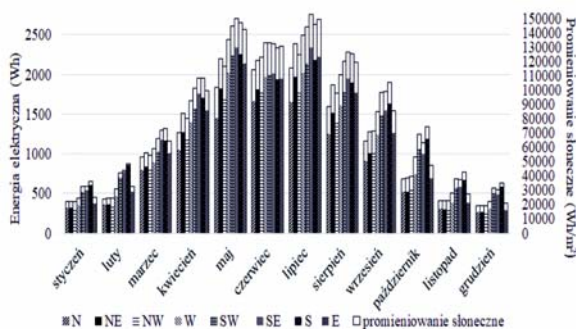
Dla P4 najkorzystniejsze kierunki usytuowania kolektora dla wytworzenia energii elektrycznej to południowy, południowo-wschodni oraz południowo-zachodni. Najmniej energii elektrycznej komin może wygenerować z kolektorem w kierunku północnym, północno-wschodnim oraz północno-zachodnim. Komin najwięcej energii elektrycznej może wytworzyć, gdy kolektor jest zwrócony w kierunku południowym: 15,53 kWh, natomiast najmniej przy orientacji kolektora w kierunku północnym: 11,34 kWh. Komin słoneczny w najbardziej korzystnej orientacji może wytworzyć o 37% energii elektrycznej więcej w porównaniu z najmniej korzystnym usytuowaniem.

Od maja do sierpnia najwięcej energii elektrycznej pozwala wytworzyć kolektor zwrócony w kierunku południowo-wschodnim, od września do lutego w kierunku południowym. W ciągu całego roku minimalną ilość energii

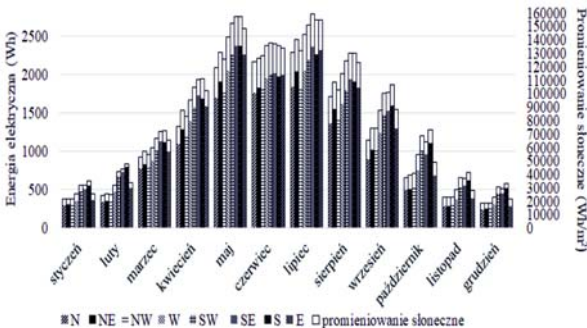
elektrycznej można wytworzyć przy usytuowaniu kolektora w kierunkach: północnym, północno-wschodnim i północno-zachodnim. W czerwcu generowanie energii elektrycznej jest na podobnym poziomie dla każdego z kierunków.



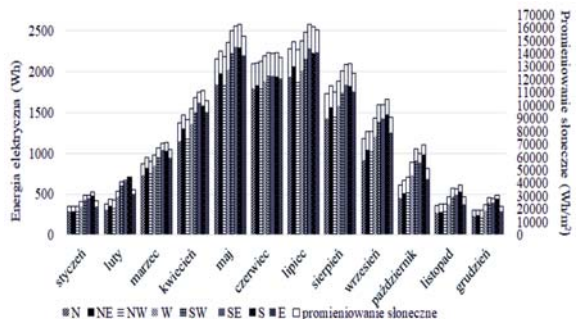
Rys. 3. Promieniowanie słoneczne oraz ilość wytworzonej energii w instalacji z kolektorem nachylonym pod kątem 90°



Rys. 4. Promieniowanie słoneczne oraz ilość wytworzonej energii w instalacji z kolektorem nachylonym pod kątem 60°



Rys. 5. Promieniowanie słoneczne oraz ilość wytworzonej energii w instalacji z kolektorem nachylonym pod kątem 45°



Rys. 6. Promieniowanie słoneczne oraz ilość wytworzonej energii w instalacji z kolektorem nachylonym pod kątem 30°

doi:10.15199/48.2024.02.10Na rysunku 7 przedstawiono procentowe porównanie generowanej energii elektrycznej w ciągu roku dla poszczególnych instalacji w porównaniu z

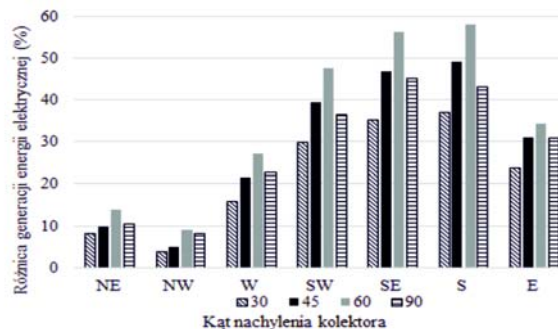
kominem słonecznym z kolektorem usytuowanym w kierunku północnym.

W przypadku układu P1 orientacja kolektora w kierunku północno-zachodnim pozwala na wytworzenie tylko o 8,1% więcej energii, natomiast w kierunku północno-wschodnim o 10,4% więcej. Kierunek południowy pozwala na wytworzenie o 43%, a kierunek południowo-zachodni o 36,5% więcej energii elektrycznej.

Dla układu P2 orientacja kolektora w kierunku północno-zachodnim pozwala na wytworzenie tylko o 8,9%, natomiast w kierunku północno-wschodnim o 13,8% więcej energii elektrycznej. Kierunek południowo-wschodni pozwala na wytworzenie o 56,4% więcej energii elektrycznej, a kierunek południowo-zachodni o 47,7%.

Dla układu P3 orientacja kolektora w kierunku północno-zachodnim pozwala na wytworzenie tylko o 4,8% więcej energii, natomiast w kierunku północno-wschodnim o 9,8% więcej. Kierunek południowo-wschodni umożliwia wytworzenie o 39,4% więcej energii elektrycznej, a kierunek południowo-zachodni o 46,9%.

Dla instalacji P4 orientacja kolektora w kierunku północno-zachodnim pozwala na wytworzenie tylko o 3,7% więcej energii, natomiast w kierunku północno-wschodnim o 8,1%. Kierunek południowo-wschodni umożliwia wytworzenie 35,2% więcej energii elektrycznej, a kierunek południowo-zachodni o 29,8%.



Rys. 7. Porównanie wytwarzanej energii elektrycznej z instalacją z kolektorem zorientowanym w kierunku północnym

Na rysunku 8 przedstawiono procentowe ilości wytworzonej energii elektrycznej w ciągu roku w porównaniu z instalacją z kolektorem poziomym.

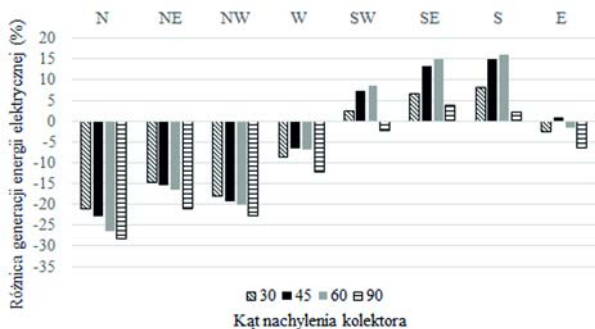
W przypadku instalacji P1 najkorzystniejsze usytuowanie kolektora w kierunku południowo-wschodnim pozwala na uzyskanie o 3,8% więcej energii elektrycznej, natomiast kolektor po stronie południowej pozwala uzyskać o 2,3% energii elektrycznej więcej. Położenie kolektora w pozostałych analizowanych kierunkach umożliwia generowanie mniejszej ilości energii elektrycznej w porównaniu z kolektorem poziomym. Najmniejszą ilość energii elektrycznej układ generuje przy północnej orientacji kolektora.

W przypadku P2 usytuowanie kolektora w kierunkach: południowym, południowo-zachodnim, południowo-wschodnim pozwala na generowanie większej ilości energii elektrycznej w porównaniu z kominem słonecznym z kolektorem poziomym. Najkorzystniejsze usytuowanie kolektora po stronie południowej pozwala na uzyskanie o 16,0% więcej energii elektrycznej. Usytuowanie kolektora po stronie północnej pozwala na wygenerowanie o 26,7% energii mniej.

W przypadku instalacji P3 usytuowanie kolektora w kierunkach: południowym, południowo-zachodnim, południowo-wschodnim, wschodnim umożliwia generowanie większej ilości energii elektrycznej w porównaniu z kominem słonecznym z kolektorem

poziomym. Najkorzystniejsza orientacja kolektora po stronie południowej pozwala na uzyskanie o 14,9% więcej energii elektrycznej. Najmniej korzystne usytuowanie kolektora po stronie północnej pozwala wygenerować o 23% energii elektrycznej mniej.

W przypadku P4 najkorzystniejsze usytuowanie kolektora po stronie południowej pozwala na uzyskanie o 8% więcej energii elektrycznej w porównaniu z kominem słonecznym z kolektorem poziomym. Mniej energii może wytworzyć układ z kolektorem po stronie północnej, północno-wschodniej, północno-zachodniej, zachodniej.



Rys. 8. Porównanie wytwarzanej energii elektrycznej z instalacją z kolektorem poziomym

Podsumowanie

Największą ilość energii elektrycznej instalacja kolumny słonecznej wytwarza w II i III kwartale w roku. W I i IV kwartale najwyższe wartości energii elektrycznej generowane są w układzie zorientowanym w kierunku południowym.

Instalacja z kolektorem pod kątem 30°, 45° i 60° generuje najwięcej energii elektrycznej w układzie zorientowanym w kierunku południowym. W przypadku pionowego kolektora jest to kierunek południowo-wschodni. Największa różnica w wytworzeniu energii elektrycznej między kierunkiem północnym i południowym występuje dla układu pod kątem 60°.

W porównaniu z kolektorem poziomym więcej energii elektrycznej wytwarzają wszystkie cztery analizowane pochylone układy usytuowane w kierunku południowym i południowo-wschodnim.

Ze wszystkich analizowanych układów instalacja z kolektorem położonym pod kątem 60° w kierunku południowym pozwala na wytworzenie największej ilości energii elektrycznej.

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] Cao F., Zhao L., Guo L., Simulation of a sloped solar chimney power plant in Lanzhou, *Energy Conversion and Management*, 52 (2011), 2360-2366
- [3] Kalash S., Naimeh W., Ajib S., Experimental investigation of the solar collector temperature field of a sloped solar updraft power plant prototype, *Solar Energy*, 98 Part A (2013), 70-77
- [4] Zhou X., Thermal performance of curved-slope solar collector, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 150 (2020), 119295
- [5] Ayadi A., Driss Z., Bouabidi A., Abid M.S., Experimental and numerical study of the impact of the collector roof inclination on the performance of a solar chimney power plant, *Energy Buildings*, 139 (2017), 263-276
- [6] Ayadi A., Bouabidi A., Driss Z., Abid M.S., Experimental and numerical analysis of the collector roof height effect on the solar chimney performance, *Renewable Energy*, 115 (2017), 649-662
- [7] Koonsrisuk A., Mathematical modeling of sloped solar chimney power plants, *Energy*, 47 (2012), No. 1, 582-589
- [8] Nouar H., Tahri T., Benyoucef D., Chiba Y., Denai M., Azizi A., Investigation of Climate Effects on the Performance of Solar Chimney Power Plants Using Numerical and Analytical Models: A Case Study for Chlef, Algeria, *Przeгляд Elektrotechniczny*, 97 (2021), Nr 3, 113-118
- [9] 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
- [10] Cao F., Zhao L., Li H., Guo L., Performance analysis of conventional and sloped solar chimney power plants in China, *Applied Thermal Engineering*, 50 (2013), 582-59
- [11] Pluta, Z., Podstawy Teoretyczne Fototermicznej Konwersji Energii Słonecznej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej; Warszawa, Poland, 2006
- [12] Pudlik W., Wymiana i Wymienniki Ciepła; Politechnika Gdańska, Gdańsk, Poland, 2012
- [13] Incopera F.P., DeWitt D.P., Fundamentals of Heat and Mass Transfer John Wiley 1996
- [14] Andersen K.T., Theoretical considerations on natural ventilation by thermal buoyancy, *ASHRAE Transactions*, 101 (1995), 1103-1117
- [15] Ong K. S., A mathematical model of a solar chimney, *Renewable Energy*, 28 (2003), 1047-1060
- [16] Schlaich J., The solar chimney-electricity from the sun, Edition Axel Menges, Stuttgart, 1995
- [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>