

## **ANALIZA EFEKTÓW EKOLOGICZNYCH PRZY WYKORZYSTANIU WODY PODGRZANEJ W KOLEKTORACH PRÓŻNIOWYCH DO NAWADNIANIA WARZYW UPRAWIANYCH W SZKLARNI**

Hubert Latała

*Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** Potrzeby energetyczne związane z podgrzewaniem wody do podlewania warzyw w uprawach pod osłonami można z powodzeniem zapewnić przez użycie kolektorów słonecznych. Wykorzystane ciepło z kolektorów eliminuje użycie konwencjonalnych paliw, a tym samym ogranicza emisję gazów cieplarnianych. W pracy przeanalizowano w jakim stopniu zastosowanie 3 zestawów próżniowych kolektorów słonecznych obniżyło wyrażoną w ekwiwalencie dwutlenku węgla emisję gazów cieplarnianych. Do obliczeń wykorzystano dane pochodzące z upraw papryki, pomidora i ogórka prowadzonych na węglinie mineralnej i w podłożu organicznym. Na podstawie przeprowadzonej analizy wykazano, że w uprawie w podłożu organicznym i proponowanym zestawem kolektorów ograniczenia w emisji gazów cieplarnianych osiągnęły wartość 83%. Natomiast w uprawie na węglinie mineralnej ograniczenia w emisji gazów były większe, osiągając całkowite ograniczenie w uprawie pomidora.

**Słowa kluczowe:** gazy cieplarniane, kolektory słoneczne, nawadnianie

### **Wstęp**

Rolnictwo dostarcza dużych ilości gazów cieplarnianych. Udział CO<sub>2</sub> wydzielanego do atmosfery przez rolnictwo stanowi 15-20% całkowitej emisji tego gazu pochodzącej z działalności ludzi. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie można osiągnąć przez zastosowanie metod, które pozwalają na magazynowanie w glebie, roślinach uprawnych i drzewach większej ilości CO<sub>2</sub>. Takim sposobem może być mniej agresywna uprawa ziemi i ograniczenie wycięcia lasów dla uzyskania nowych terenów uprawnych [Moneo 2009]. Dalszą redukcję emisji gazów cieplarnianych można uzyskać przez zmniejszenie zużycia paliw kopalnych w gospodarstwach rolnych. Na okres od 2007 do 2013 roku Unia Europejska znacznie zwiększyła budżet na badania i rozwój w dziedzinie środowiska, energii i transportu. Decyzja ta umożliwiła wspieranie wdrażania czystych ekologicznie technologii, jak również dalsze pogłębienie wiedzy na temat zmian klimatu i ich skutków. Działania w tym obszarze koncentrują się na wspieraniu rozwoju bardziej zrównoważonych systemów energetycznych, mających na celu sprostanie wyzwaniom w dziedzinie bezpieczeństwa dostaw energii oraz zmian klimatu. Obejmują one w szczególności:

- poprawę efektywności w całym systemie energetycznym; przyspieszenie wzrostu udziału energii ze źródeł odnawialnych w ogólnym zasobie energii; - zmniejszenie emisji związków węgla w procesach wytwarzania energii i – w dalszej perspektywie – znaczące zmniejszenie tych emisji w sektorze transportowym; - zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych [Komisja Europejska 2008]. Do gazów cieplarnianych zaliczamy wymienione w załączniku A do Protokołu z Kioto gazy: dwutlenek węgla, metan, podtlenek azotu, fluorowęglowodory, perfluorowęglowodory i sześćiofluorek siarki. Emisję gazów cieplarnianych (GHG) podaje się również w ekwiwalencie dwutlenku węgla – równoważnik jednego megagrama (1 Mg) dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) lub ilość innego gazu cieplarnianego, stanowiąca odpowiednik 1 megagrama (Mg) dwutlenku węgla, obliczona z wykorzystaniem odpowiedniego współczynnika ocieplenia zdefiniowanego w Decyzji 2/CP.3 Postanowień z Marrakeszu (2002 r.) lub zgodnie z postanowieniami na bieżąco weryfikowanymi zgodnie z art. 5 Protokołu z Kioto.

Jedną z możliwości ograniczenia emisji gazów cieplarnianych jest wykorzystanie kolektorów słonecznych jako alternatywnego źródła ciepła w procesie podgrzewania wody do podlewania warzyw uprawianych pod osłonami. W intensywnej uprawie zapotrzebowanie na wodę przez warzywa ściśle uzależnione jest od warunków klimatycznych wewnątrz, jak i na zewnątrz obiektu. Utrzymanie zawartości wody w podłożu na odpowiednim poziomie gwarantuje właściwy przebieg procesów transpiracji, infiltracji i parowania. Ilość wody niezbędnej dla roślin zależy w głównej mierze od ich transpiracji, na którą największy wpływ ma promieniowanie słoneczne [Joliet i Bailey 1992, Nederchoff i Graff 1993, Stanghellini 1987]. Opierając się na powyższych wynikach badań, jak również na modelu regresji uwzględniającego procesy: infiltracji, transpiracji i parowania [Kurpaska 1998] zapotrzebowanie na wodę przez rośliny papryki, pomidora i ogórka można określić z błędem nie przekraczającym 7,5%. Ciepło niezbędne do podgrzania wody oraz pochodzące z kolektorów słonecznych zależy od zmiennych warunków solarnych w związku, z tym że nie można jednoznacznie określić w jakim stopniu wpłynie to obniżenie emisji gazów cieplarnianych. Biorąc powyższe stwierdzenia pod uwagę postawiono sobie za cel wykonanie analizy sprawdzającej stopień ograniczenia emisji GHG dla wybranych paliw i biomasy w procesie podgrzewania wody do podlewania roślin.

## **Material i metoda**

Obliczenia związane z realizacją postawionego celu wykonano dla szklarniowej uprawy ogórka, pomidora oraz papryki w podłożu organicznym i na wełnie mineralnej. Warzywa te uprawiane były w obiekcie o powierzchni uprawy 600 m<sup>2</sup>. Analiza obejmowała okres 6 miesięcy, w którym monitorowano między innymi poziom natężenia promieniowania słonecznego i temperaturę wody czerpanej ze studni głębinowej. Jej ilość, niezbędną do podlewania, określono na podstawie warunków solarnych, które głównie wpływały na intensywność transpiracji roślin według poniższej zależności [Kurpaska 1998]. Obliczenia

wykonano dla następującej obsady warzyw: papryka 4 szt.·m<sup>-2</sup>, pomidor 2,5 szt.·m<sup>-2</sup> i ogórek 2 szt.·m<sup>-2</sup>.

$$m = r \cdot a \cdot \left( \sum R_z \right)^b \quad [\text{g}] \quad (1)$$

gdzie:

- $r$  – ilość roślin, [szt.],
- $R_z$  – dzienna suma promieniowania słonecznego [kWh·m<sup>-2</sup>],
- $a$  i  $b$  – współczynniki zależne od rodzaju rośliny, (dla papryki odpowiednio 21 i 0,2; pomidora 46 i 0,1; ogórka 35 i 0,2).

Ciepło ( $q_w$ ) niezbędne do podgrzania wyliczonej ilości wody podgrzewanej do temperatury 18°C określono na podstawie równania (2):

$$q_w = m \cdot c_w \cdot (t_w - t_g) \quad [\text{J}] \quad (2)$$

gdzie:

- $c_w$  – ciepło właściwe wody [J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>],
- $t_w$  – temperatura wody podgrzewanej [K],
- $t_g$  – temperatura wody ze studni głębinowej [K].

Wyznaczona w ten sposób ilość ciepła mogła być zapewniona z jednej strony przez spalanie paliw kopalnych (węgiel kamienny, brunatny, koks, gaz ziemny, olej opałowy) i biomasę, a z drugiej przez kolektory słoneczne. Spalanie paliw kopalnych i biomasy związane było z emisją gazów cieplarnianych. Wielkości tych emisji określono przy użyciu ekwiwalentnego stężenia CO<sup>2</sup> na podstawie wartości opałowych (WO) i wskaźników emisji CO<sub>2</sub> (WE) w roku 2006 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2009. Emisję CO<sub>2</sub> ze spalania biomasy (drewna opałowego i odpadów pochodzenia drzewnego, odpadów komunalnych biogenicznych i biogazu) nie wlicza się do sumy emisji ze spalania paliw, zgodnie z zasadami Wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji oraz IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Podejście to jest równoważne stosowaniu zerowego wskaźnika emisji dla biomasy [Climate Change 2008]. Jednak w tej pracy podano dla porównania wielkość emisji CO<sub>2</sub> dla spalanej biomasy.

Drugim sposobem było podgrzewanie wody, do podlewania przez zestawy kolektorów słonecznych i aplikowania jej roślinom. Woda ta, podgrzewana była niezależnie przez trzy zestawy kolektorów słonecznych: I – AP-30 (30 rur próżniowych); II – AP-30 + AP-20 (w sumie 50 rur próżniowych) oraz III – AP-30 + AP-30 (w sumie 60 rur próżniowych). Dla każdego z tych zestawów wyznaczono ciepło ( $q_k$ ), jakie uzyskano z konwersji promieniowania słonecznego w ciągu dnia. Ciepło to obliczono na podstawie masy przepływającego płynu oraz różnicy temperatur na wyjściu ( $t_{wy}$ ) i wejściu ( $t_{we}$ ) z kolektora według zależności (3):

$$q_k = \sum (m_g \cdot c_g \cdot \tau \cdot (t_{wy} - t_{we})) \text{ [J]} \quad (3)$$

gdzie:

$m_g$  – jednostkowe natężenie przepływu czynnika grzewczego [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ],

$c_g$  – ciepło właściwe czynnika grzewczego [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ],

$\tau$  – czas [s],

$t_{wy}$ ,  $t_{we}$  – temperatury czynnika grzewczego na wyjściu i wejściu z kolektora [K].

Wyliczoną ilość ciepła potrzebną do podgrzania wody ze studni głębinowej porównano z dostępnym ciepłem z kolektorów słonecznych. Na tej podstawie wyznaczono w jakim stopniu zastosowane zestawy kolektorów są w stanie zapewnić potrzeby ciepłe, a tym samym obniżyć emisję  $\text{CO}_2$ . Wyznaczenie ograniczenia tej emisji wykonano dla węgla kamiennego, brunatnego, koksu, gazu ziemnego, oleju opałowego i biomasy. Analizę przeprowadzono dla papryki, pomidora i ogórka uprawianych na podłożu organicznym i na wełnie mineralnej w okresie 6 miesięcy.

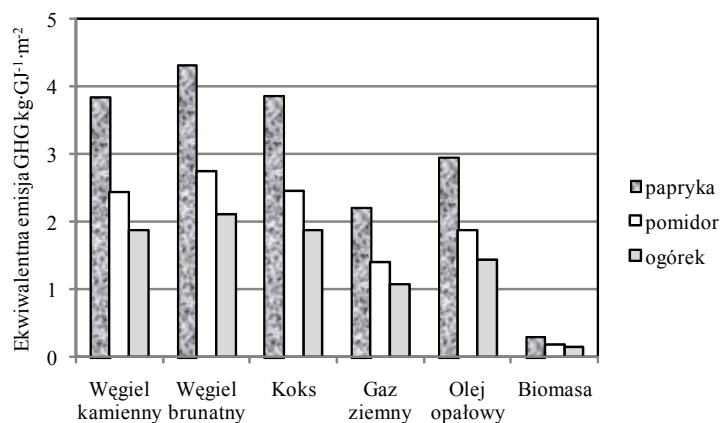
## Wyniki

Efektom spalania paliw kopalnych a tym samym wytworzenie ciepła na potrzeby podgrzania wody do podlewania roślin była emisja gazów cieplarnianych. Ich ilość uzależniona była rodzaju paliwa, podłoża i roślin uprawianych w szklarni. Dla uproszczenia i przejrzystości analizy wielkość emisji GHG podano jako ekwiwalent emisji dwutlenku węgla. Oznacza to, że efekt wywołany przez inne gazy został zredukowany do ilości  $\text{CO}_2$ , która swym działaniem doprowadziłaby do takich samych zmian w środowisku.

Zróżnicowane ilości emisji wynikające ze spalania analizowanych paliw w odniesieniu do poszczególnych warzyw uprawianych na podłożu organicznym wynikają z różnego zapotrzebowania na wodę. Największe ilości emisji  $\text{CO}_2$  na poziomie  $4,3 \text{ kg}\cdot\text{GJ}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  zanotowano dla uprawy papryki (rys. 1.) przy wykorzystaniu jako paliwa węgla brunatnego. Około dwukrotnie mniejsza była emisja GHG w uprawie ogórka i to niezależnie od rodzaju paliwa. Spowodowane to było przez dwukrotnie mniejsze zapotrzebowanie na wodę (rys. 3.). Natomiast ogrzewanie wody do podlewania pomidorów przyczyniło się, w zależności od paliwa, do emisji dwutlenku węgla w zakresie od  $1,4 \text{ kg}\cdot\text{GJ}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  do  $2,7 \text{ kg}\cdot\text{GJ}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ . Na rysunku 1 zaznaczono również ekwiwalentną emisję GHG dla biomasy, ale tylko jako uzupełnienie ze względu na charakter paliwa, które podczas spalania emituje zaabsorbowaną wcześniej ilość  $\text{CO}_2$ .

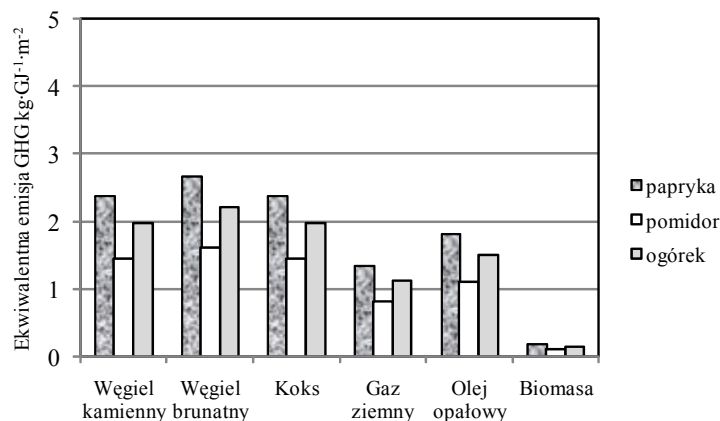
Uprawa warzyw na wełnie mineralnej wymagała generalnie mniejszej ilości wody (rys. 3.) co w efekcie przyczyniło się do mniejszej emisji  $\text{CO}_2$ . Na rysunku 2 przedstawiono emisję gazów cieplarnianych związaną z przygotowaniem wody do podlewania papryki, pomidorów i ogórków uprawianych na podłożu mineralnym. Podgrzewanie wody do podlewania papryki, również dla tego podłoża, wiązało się z największą emisją dwutlenku węgla. Jednak była ona niższa w porównaniu do uprawy papryki na podłożu organicznym dla węgla brunatnego wynosiła  $2,7 \text{ kg}\cdot\text{GJ}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ . Najmniejsza emisja gazów GHG w tej uprawie była dla pomidora – było to około 39% mniej w porównaniu do papryki. Natomiast w uprawie ogórka emisja związana z podgrzewaniem wody była tylko 17% niższa.

Porównując wielkości emisji gazów GHG związanych z podgrzewaniem wody do podlewania warzyw dla upraw na podłożu organicznym i wełnie mineralnej (rys. 1. i 2.) wynika, że dla papryki i pomidora uprawianych na podłożu mineralnym emisja jest mniejsza i wynosi odpowiednio 38% i 40%. Jedynie dla ogórka relacja jest odwrotna. Przy uprawie tego warzywa na podłożu organicznym emisja jest około 5% mniejsza w porównaniu do wełny mineralnej.



Rys. 1. Wielkość ekwiwalentnej emisji gazów cieplarnianych (GHG) dla wybranych paliw kopalnych i biomasy w okresie 6 miesięcy w uprawie roślin na podłożu organicznym

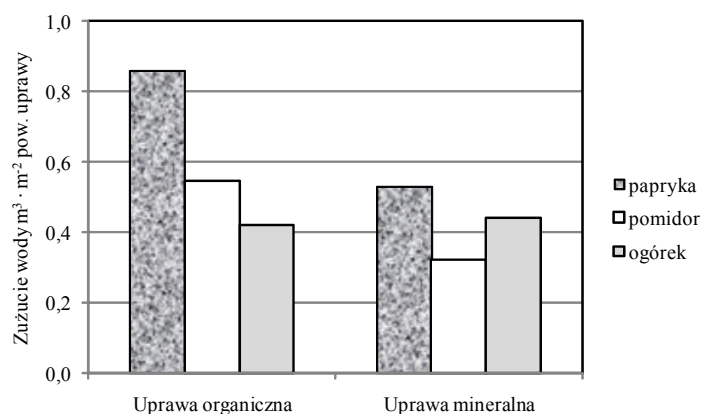
Fig. 1. The volume of equivalent greenhouse gases emission (GHG) for selected mineral fuels and biomass during 6 months for plant growing in organic ground



Rys. 2. Wielkość ekwiwalentnej emisji gazów cieplarnianych (GHG) dla wybranych paliw kopalnych i biomasy w okresie 6 miesięcy w uprawie roślin na podłożu mineralnym

Fig. 2. The volume of equivalent greenhouse gases emission (GHG) for selected mineral fuels and biomass during 6 months for plant growing in mineral ground

Na rysunku 3 przedstawiono zapotrzebowanie na wodę do podlewania dla uprawianych roślin na podłożu organicznym i na wełnie mineralnej. Uprawa papryki i pomidorów na podłożu organicznym wymagała większej ilości wody. Natomiast zapotrzebowanie na wodę dla ogórka dla analizowanych podłoży różniło się jedynie o 5% na korzyść podłoża organicznego.



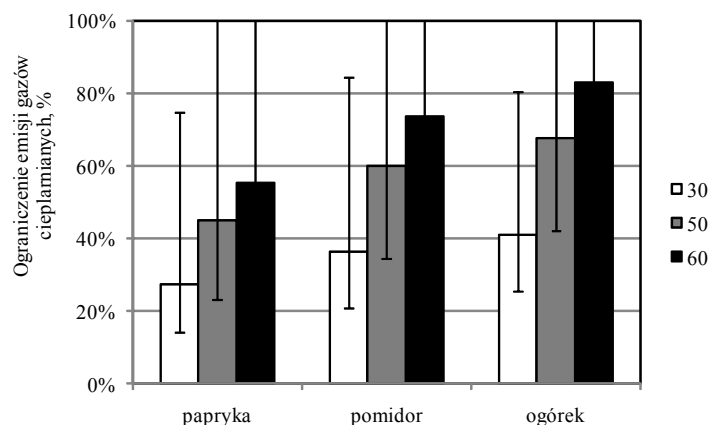
Rys. 3. Zużycie wody do podlewania roślin w  $m^3$  na jeden  $m^2$  powierzchni uprawy w badanym okresie

Fig. 3. Consumption of water for plant watering in  $m^3$  per one  $m^2$  of cultivated area during the examined period

Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych GHG przez substitucję ciepła pochodzącego ze spalania paliw kopalnych ciepłem pochodzącym z konwersji promieniowania słonecznego zależy w głównej mierze od rodzaju zestawu kolektorów słonecznych. W pracy przeanalizowano 3 zestawy kolektorów, które ze względu swoją różną wydajność cieplną wynikającą z ich wielkości były w stanie zapewnić jedynie część potrzeb wynikających z podgrzewania wody do podlewania roślin. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki obliczeń związanych z procentowym ograniczeniem emisji  $CO_2$  jakie uzyskano dla warzyw uprawianych na podłożu organicznym. Użycie kolektora składającego się z 30 rur (zestaw I) nie było w stanie ograniczyć w całości emisji gazów GHG dla założonej do analizy obsady roślin. Pozostałe kolektory 50 (zestaw II) i 60 rurowy (zestaw III) jedynie dla dobrych warunków solarnych były w stanie ograniczyć o 100% emisję  $CO_2$ . Największe ograniczenie emisji gazów GHG osiągnięto przy zastosowaniu zestawu III, dzięki któremu osiągnięto średnio 83% redukcję emisji  $CO_2$  dla uprawy ogórka w analizowanym okresie. W uprawie pomidora i papryki zestaw III był w stanie zapewnić średnią redukcję dwutlenku węgla na poziomie odpowiednio o 74% i o 55%.

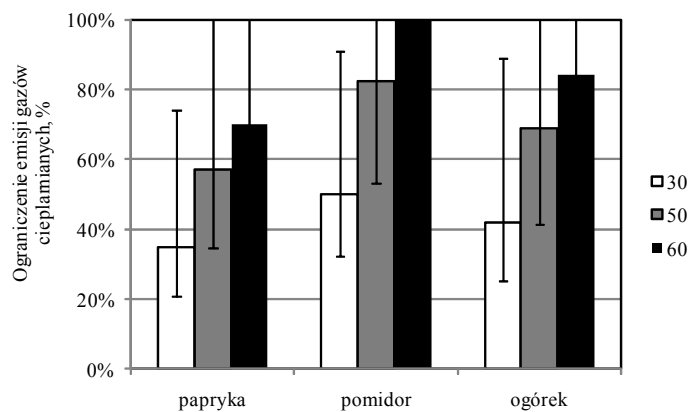
Dla warzyw uprawianych na wełnie mineralnej (rys. 5) również zestaw I nie był w stanie całkowicie ograniczyć emisji gazów cieplarnianych. Wartości średnie były większe tylko dla papryki i pomidora. Ograniczenie emisji dla ogórka w zasadzie było na tym samym poziomie. Zastosowanie zestawu II i III najlepsze efekty w ograniczeniu emisji dwutlenku węgla, odpowiednio na poziomie 83% i 100%, przyniosło w procesie wykorzystania

kolektorów słonecznych do podgrzewania wody do podlewania pomidorów. Dla zestawu II i III uzyskano średnio 27% wzrost ograniczenia emisji GHG dla papryki uprawianej na wełnie mineralnej w porównaniu do uprawy na podłożu organicznym. Dla ogórka ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> pozostało na tym samym poziomie.



Rys. 4. Procentowe ograniczenie emisji gazów cieplarnianych przy użyciu trzech zestawów kolektorów próżniowych (30, 50 i 60 rur próżniowych) w uprawie warzyw na podłożu organicznym

Fig. 4. Percent reduction of greenhouse gas emission resulting from the use of three sets of vacuum collectors (30, 50 and 60 vacuum tubes) for vegetable growing in organic ground



Rys. 5. Procentowe ograniczenie emisji gazów cieplarnianych przy użyciu trzech zestawów kolektorów próżniowych (30, 50 i 60 rur próżniowych) w uprawie warzyw na podłożu mineralnym

Fig. 5. Percent reduction of greenhouse gas emission resulting from the use of three sets of vacuum collectors (30, 50 and 60 vacuum tubes) for vegetable growing in mineral ground

Wpływ efektywnego nawadniania na bilans emisji gazów cieplarnianych wymaga lepszego poznania. Związane jest to nie tylko z gromadzeniem CO<sub>2</sub> w podłożu, czy też emisją N<sub>2</sub>O ze względu na większą wilgotność lub nawożenie, ale również z technicznym osprzętem emitującym CO<sub>2</sub> i przygotowującym wodę do podlewania roślin o odpowiednich parametrach [Bates 2008]. Jednym z takich rozwiązań jest zastosowanie kolektorów słonecznych do podgrzewania wody do podlewania warzyw. Działanie zaproponowane w tej pracy przyniosło wymierne efekty w ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych. Szczególnie dla uprawy pomidora na węglinie mineralnej i zastosowaniem 60 rurowego kolektora słonecznego, którego użycie całkowicie ograniczyło emisję CO<sub>2</sub>. Mniej wydajne zestawy kolektorów tylko w pewnej części mogły ograniczyć emisję GHG i dla poprawy efektów ekologicznych należałoby użyć ich większą ilość.

## Wnioski

1. Największe ilości emisji ekwiwalentnego CO<sub>2</sub> na poziomie 4,3 kg·GJ<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> i 2,7 kg·GJ<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> wyliczono przy wykorzystaniu jako paliwa węgla brunatnego służącego do podgrzania wody do podlewania papryki uprawianej odpowiednio na podłożu organicznym i mineralnym.
2. Na podłożu mineralnym emisja gazów cieplarnianych związana z podgrzewaniem wody jest mniejsza o odpowiednio dla papryki i pomidora o 38% i o 40%. Jedynie dla ogórka relacja jest odwrotna o 5%.
3. Największe ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w uprawie na podłożu organicznym osiągnięto przy zastosowaniu zestawu III kolektorów słonecznych. Umożliwiło to średnio 83% redukcję emisji CO<sub>2</sub> w analizowanym okresie dla uprawy ogórka. W uprawie pomidora i papryki zestaw III był w stanie zapewnić średnią redukcję dwutlenku węgla na poziomie odpowiednio 74% i 55%.
4. Zastosowanie zestawu II i III najlepsze efekty w ograniczeniu emisji dwutlenku węgla, odpowiednio na poziomie 83% i 100%, przyniosło w procesie wykorzystania kolektorów słonecznych do podgrzewania wody do podlewania pomidorów uprawianych na węglinie mineralnej.
5. Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych przy zastosowaniu wszystkich trzech zestawów kolektorów słonecznych do podgrzewania wody do podlewania ogórków uprawianych zarówno na podłożu organicznym jak i na węglinie mineralnej pozostało na tym samym poziomie.

## Bibliografia

- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds.** 2008. *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Joliet O., Bailey B.J.** 1992. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. *Agricultural and Forest Meteorology*. 58. s. 43-62.
- Kurpaska S.** 1998. Modelowe badanie zapotrzebowania na wodę niektórych roślin szklarniowych w funkcji promieniowania słonecznego. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej z. 333*. s. 811-815.

- Moneo M., Iglesias A.** 2009. Udział rolnictwa w wytwarzaniu gazów cieplarnianych. Universidad Politécnica de Madrid – Hiszpania. Dostępny w Internecie 03.2009. [http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2\\_Zmiany\\_klimatu/-\\_Udzia\\_rolnictwa\\_3jt.html](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2_Zmiany_klimatu/-_Udzia_rolnictwa_3jt.html)
- Nederchoff E.M., Graff R.** 1993. Effects of CO<sub>2</sub> on leaf conductance and canopy transpiration of greenhouse grown cucumber and tomato. *Journal of Horticultural Science*. 68, 6. s. 925-937.
- Stanghellini C.** 1987. Transpiration of greenhouse crops an aid to climate management. Ph. D. Wageningen.
- Climate Change 2008. The IPCC 4th Assessment Report. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch). Dostępny w Internecie. 04.2009.
- [http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/brochures/post\\_2012\\_pl.pdf](http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/brochures/post_2012_pl.pdf). Dostępny w Internecie. 23.03.2009.
- Komisja Europejska. 2008. Działania UE przeciw zmianom klimatu. Unia Europejska na czele działań międzynarodowych do roku 2020 i później. Luksemburg : Urząd Oficjalnych Publikacji Wspólnot Europejskich.

## **ANALYSIS OF ECOLOGICAL EFFECTS WHEN USING WATER WARMED UP IN VACUUM COLLECTORS FOR THE PURPOSES OF WATERING VEGETABLES GROWN IN A GREENHOUSE**

**Abstract.** Energy demand for warming up water used for watering vegetables cultivated under covers may be efficiently provided for by solar collectors. Consumed heat from collectors eliminates using of conventional fuels, and thus it reduces emission of greenhouse gases. The work involved analysis of the degree, to which using 3 sets of vacuum solar collectors reduced emission of greenhouse gases expressed in carbon dioxide equivalent. Data obtained from pepper, tomato and cucumber growing in mineral wool and organic ground was used in computations. Completed analysis proved that in case of vegetables grown in organic ground and with use of the proposed set of collectors, reductions in greenhouse gases emission reached 83%. Whereas, in case of plant growing in mineral wool reductions in gas emission were even higher, reaching complete reduction for tomatoes.

**Key words:** greenhouse gases, solar collectors, watering

### **Adres do korespondencji:**

Hubert Latała; e-mail: [Hubert.Latala@ur.krakow.pl](mailto:Hubert.Latala@ur.krakow.pl)  
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
ul. Balicka 116B  
30-149 Kraków