

WPŁYW WILGOTNOŚCI GRUNTU NA AKUMULACJĘ CIEPŁA W TUNELU FOLIOWYM

Kazimierz Rutkowski

Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. Badania przeprowadzono w obiekcie doświadczalnym zlokalizowanym na Wydziale Agrotechnologii Akademii Rolniczej w Krakowie. Przeprowadzono analizę funkcjonalności systemu magazynującego ciepło w okresie wiosennym oraz letnim w zależności od wilgotności gruntu. W wybranych okresach sporządzono bilans energetyczny oraz określono sprawność systemu akumulacji ciepła.

Słowa kluczowe: grunt, akumulacja, bilans ciepła, sprawność systemu

Uzasadnienie badań

W okresie wiosny, w dni słoneczne, przyrost energii jest tak duży, że w ciągu pół godziny wewnątrz tunelu foliowego temperatura powietrza może przekroczyć 50°C [Rutkowski 1996]. Ciepło to może być z powodzeniem magazynowane w gruncie, a następnie dostarczane do systemu korzeniowego jak też otoczenia roślin.

W tunelach nieogrzewanych czas do zachodu słońca jest niezbędny do zgromadzenia pod osłoną zapasu ciepła dostarczonego w wyniku solaryzacji, które w nocy podczas schładzania chroni rośliny przed obniżeniem temperatury. Pojemność cieplna gruntu oraz elementów wyposażenia pozwalają na łagodzenie różnic temperatur występujących po obu stronach przegrody. Jeśli występujący proces akumulacji ciepła zostanie zwiększony to będzie to korzystne dla uprawianych roślin. Magazynowanie energii kompensuje lub znacznie zmniejsza okresowe zachwiania w bilansie energetycznym. Jeżeli czas wytwarzania energii i możliwości jej dostarczenia do odbiorcy nie są spójne z czasem zapotrzebowania na tą energię, wtedy jedynym sposobem zrównoważenia bilansu energetycznego, jest jej akumulacja. Ta potrzeba w pełni zaspakajana jest w okresie letnim, przy mniejszej różnicy temperatur między dniem a nocą, natomiast trudna jest do realizacji w okresie wiosennym i jesiennym, stąd potrzeba zwiększonej akumulacji ciepła [Chwieduk 1998].

Charakterystycznymi wielkościami dla magazynu gruntowego są zmiany temperatury i zawartości wody w glebie ogrzewanej ciepłym powietrzem. Analizę tych zmian w strefie systemu korzeniowego przeprowadzili Kurpaska i Bożek [1999]. W obiektach pod osłonami gdzie często występuje system drenażowy (o odmiennym składzie niż rodzimy grunt) można z powodzeniem wchodzić na większe głębokości z procesem akumulacji ciepła pochodzącego z nadwyżek układu wentylacyjnego. Wykorzystując głębsze warstwy gruntu do akumulacji ciepła eliminujemy niekorzystne oddziaływanie przepływu ciepłego powietrza na przesuszanie gleby o czym informuje wielu autorów [Kurpaska 2000; Rutkow-

ski 2002]. Okres wiosenny, kiedy następuje zagospodarowywanie obiektów pod osłonami przy niekorzystnych temperaturach podłoża oraz zewnętrznych, ale często wysokiej solaryzacji jest tym terminem kiedy w szklarniach i tunelach w ciągu dnia winno się z akumulować jak najwięcej ciepła. Nasuwa się pytanie czy istnieje taka możliwość? Owszem tak, jeśli rodzaj uprawianych roślin nie posiada wysokich wymagań dotyczących promieniowania świetlnego. Przy dobrej organizacji oraz automatycznej regulacji wydaje się to możliwe. Aby uzyskać jak najwięcej informacji na postawione wyżej pytanie na Wydziale Agrotechnologii AR w Krakowie w tunelu doświadczalnym przeprowadzono z tego zakresu szczegółowe badania.

Cel i zakres pracy

Celem badań jest analiza funkcjonalności systemu magazynującego ciepło w okresie wiosennym w zależności od wilgotności gruntu, oraz sprawdzenie zawartości wody w glebie na różnych głębokościach akumulatora glebowego z uwzględnieniem warunków panujących na zewnątrz i wewnątrz tunelu foliowego. Okresowe próbkowanie wilgotności materiału glebowego, przy stałym pomiarze tenzometrycznym pozwalają zbadać zmianę zawartości wody w profilu glebowym.

Obiektem badań był tunel o wymiarach; długość 9 m i szerokość 6 m. Ściany czołowe tunelu pokryte są poliwęglanem o grubości 6 mm, zaś część łukowa pokryta jest folią o grubości 0,18 mm, łączna powierzchnia osłon, wynosi 113 m². Obiekt badawczy był wyposażony w szereg czujników do pomiaru temperatury gruntu, powietrza, wilgotności wewnątrz i na zewnątrz, prędkości wiatru, natężenie promieniowania słonecznego oraz pomiaru wilgotności gleby. Wszystkie parametry były przesyłane przez układ kontrolno-pomiarowy i zapisywane na twardym dysku komputera klasy PC.

Przedmiot i wyniki badań

Badania prowadzone były w trzech okresach pomiarowych. Pierwszy okres pomiarowy obejmował 10 dni od 09.05.2006 do 18.05.2006 roku. Drugim okresem pomiarowym było 7 dni ostatniej dekady maja 2006 roku, tj. od 25.05.2006 do 31.05.2006 roku. Ostatni okres pomiarowy stanowił koniec czerwca i początek lipca

Badania obejmowały system służący do magazynowania i odzysku ciepła, w doświadczalnym tunelu foliowym. Podczas ładowania nagrzane powietrze z górnej części tunelu to jest czerpni znajdującej się w szczycie tunelu foliowego kierowane było przy pomocy wentylatora do rur perforowanych znajdujących się w gruncie tunelu. Czerpnię stanowiły rury aluminiowe o średnicy 200 mm z otworami o średnicy 40 mm umieszczonymi w górnej części każdej z trzech rur. Średnica otworów, przez które było zasysane powietrze wynosiła 4 cm, a ich liczba na długości 8,5 m wynosiła 17. Otwory czerpni znajdowały się w odległości 100 mm od szczytu tunelu foliowego. Powietrze w podłożu rozprowadzane było czterema rurami drenarskimi o średnicy 60 i 100 mm. Łączna powierzchnia magazynu gruntowego zajmowała 21 m². Sterowanie procesem odbywało się automatycznie według zadanych temperatur.

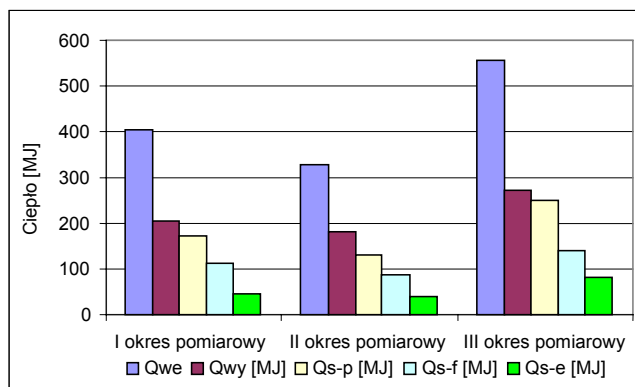
Elementem wykonawczym wyboru rodzaju pracy „akumulacja – rozładowanie” była trójdrogowa przepustnica sterowana automatycznie. Powietrze do podłoża doprowadzone było wentylatorem typu WPO-125 RD90 z maksymalną prędkością obrotową 2845 min^{-1} , wyposażony w silnik o mocy 2,2 kW pracujący w układzie falownika.

Badania cyklu ładowania i rozładowywania magazynu glebowego dla całego okresu badawczego przeprowadzone były przy częstotliwości 25 Hz, odpowiadającej wydajności wentylatora $121 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ i prędkości obrotowej wentylatora $1405 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$. Wybór takiej prędkości i wydajności wentylatora był podyktowany stanem fizycznym podłoża. Stwierdzono, że przy większych prędkościach obrotowych tj. $2000 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ i powyżej tej wartości w przewodach rur perforowanych jest zbyt duże ciśnienie, które powoduje powstanie szczelin w glebie. Masa powietrza zamiast równomiernie rozchodzić się w profilu głębokim wydostaje się tymi kanalikami do wnętrza tunelu. Natomiast przy niższych prędkościach obrotowych tj. $1000 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ maleje ciśnienie w przewodach rur perforowanych i daje to efekt nierównomiernego ogrzania magazynu glebowego, czyli w okolicy wylotu powietrza z rur.

Metodyka obliczeń prezentowanych poniżej wielkości będzie zaprezentowana na międzynarodowej konferencji „Modernizacja Wysokoškolské Vyuky Technických Předmětů” w Hradec Králove i wydana w materiałach konferencyjnych pod tym samym tytułem [Rutkowski 2008].

Przeoglądając wyniki z pomiarów oddziaływania wtłaczanego powietrza na mikroklimat wnętrza tunelu foliowego, wybrano do analizy okresy charakteryzujące się wysokimi temperaturami i dużym nasłonecznieniem w danej porze roku przy prawie bezwietrznych dniach. Okresy te poddano szczegółowej analizie.

Przeprowadzony bilans ciepła umożliwił sporządzenie wykresu (rys. 1) obrazującego średnie wartości wielkości strat poszczególnych strumieni oraz ilości pozyskiwanej energii w poszczególnych okresach badań.



Źródło: obliczenia własne

Rys. 1. Średnie wartości zysku i strat ciepła w magazynie glebowym w objętych analizą okresach pomiarowych

Fig. 1. Average values of heat gain and loss in soil store within measurement periods covered by the analysis

W prezentowanych tabelach oraz rysunkach przyjęto następujące oznaczenia:

- COPc – sprawność procesu magazynowania przy traktowaniu podłoża jako magazynu cyklu ładowania i rozładowywania [%],
- COPp – sprawność procesu magazynowania przy traktowaniu podłoża jako obiektu odniesienia [%],
- Qwe – energia doprowadzona do magazynu gruntowego [MJ],
- Qwy – ciepło zawarte w powietrzu wylotowym z gleby [MJ],
- Qs-p – straty ciepła w glebie [MJ],
- Qs-f – straty przez folie [MJ],
- Qs-e – straty przez ekran [MJ].

Średnia jednostkowa ilość ciepła dostarczonego do magazynu glebowego wynosiła: 48,0 MJ·m⁻³ (w I okresie), 39,0 MJ·m⁻³ (w II okresie) i 66,4 MJ·m⁻³ (w III okresie) objętości magazynu glebowego. Natomiast odzysk nadwyżek promieniowania słonecznego w tych samych okresach (I, II, III okres) wynosił 24,5 MJ·m⁻³, 21,7 MJ·m⁻³ i 32,4 MJ·m⁻³ objętości magazynu glebowego.

Średni przyrost ciepła w glebie (ΔE_s) w I okresie wynosił 3,0 MJ·m⁻³ objętości magazynu glebowego, w drugim 2,1 MJ·m⁻³ objętości magazynu glebowego, a w ostatnim najcieplejszym okresie aż 4,3 MJ·m⁻³ objętości magazynu glebowego. Przyrost ten związany jest z wtłaczanym ciepłem do podłoża, a jego wielkość zależy od ilości ciepła wtłoczonego w poszczególnych okresach badawczych.

W prezentowanym artykule, którego celem było określenie wpływu wilgotności gruntu na właściwości akumulacyjne szczegółowej analizie poddano dwa okresy, w których średnia wartość wilgotności gruntu miała podobne wartości. Wybrane okresy to początek maja zwany dalej wiosennym oraz przełom czerwca i lipca zwany dalej okresem letnim.

W tabeli 1 przedstawiono ilości ciepła wtłaczanego do gruntu oraz pozyskiwanego przy różnych wilgotnościach gruntu w poszczególnych dniach badań. Sprawność systemu akumulacji ciepła w gruncie wyrażono przy pomocy współczynnika COPc – przy traktowaniu podłoża jako magazynu cyklu ładowania i rozładowywania w [%]. Śledząc sprawność systemu zauważa się, że wraz ze spadkiem wilgotności gruntu rośnie sprawność procesu COPc. Należy dodać, że analizowany okres badań to wiosna, gdzie powietrze pozyskiwane z czepni posiada większą wilgotność, szczególnie w początkowej fazie cyklu ładowania akumulatora glebowego. W tym okresie na ścianach czepni widoczne są wykroplenia pary wodnej.

Uzyskane wyniki badań wskazują, że w zależności od pory roku zmienia się współczynnik sprawności COP. W okresie wiosennym, gdzie wilgotność powietrza jest większa sprawność określona współczynnikiem sprawności COP rośnie wraz ze spadkiem wilgotności gleby. W okresie letnim, gdzie średnia wartość wilgotności powietrza jest niższa zauważa się mniejsze oddziaływanie wilgotności podłoża na sprawność procesu akumulacji ciepła.

Wpływ wilgotności gruntu...

Tabela 1. Współczynnik sprawności a wilgotność wagowa gleby w okresie wiosennym
Table 1. Coefficient of efficiency compared to soil humidity by weight in spring

Data pomiaru	Qwe [MJ]	Qwy [MJ]	Średnia wilgotność wagowa	COPc [%]
2006.05.09	355,7	186,2	14,0	52,3
2006.05.10	269,8	143,5	12,3	53,2
2006.05.13	494,9	183,3	11,3	37,0
2006.05.14	394,6	262,7	10,4	66,6
2006.05.15	413,8	231,0	9,9	55,8
2006.05.25	349,3	196,0	6,9	56,1
2006.05.26	274,9	206,9	6,1	75,3
2006.05.29	350,7	260,6	4,5	74,3
2006.05.30	254,0	199,0	3,8	78,3
	361,5	194,5	8,3	54,8

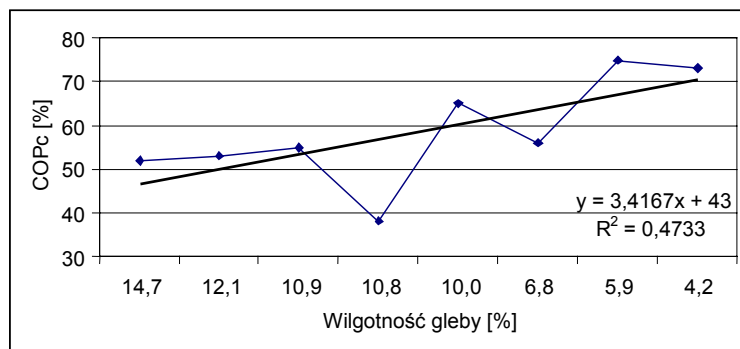
Źródło: obliczenia własne

Śledząc przebieg sprawności systemu w okresie letnim (tab. 2) zauważamy inną tendencję zmian co zobrazowane jest liniami trendu przedstawionych na rys. 2 i 3.

Tabela 2. Współczynnik sprawności a wilgotność wagowa gleby w okresie letnim
Table 2. Coefficient of efficiency compared to soil humidity by weight in summer

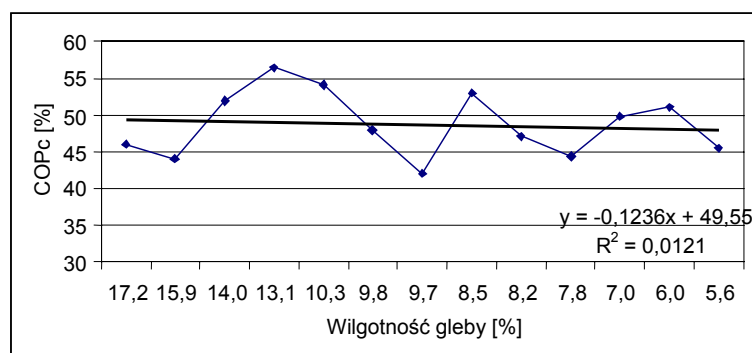
Data pomiaru	Qwe [MJ]	Qwy [MJ]	Średnia wilgotność wagowa	COPc [%]
2006.06.27	646,5	340,6	17,2	46,7
2006.06.28	676,4	316,3	15,9	44
2006.06.29	658,5	353,9	14	51,9
2006.06.30	501,4	276,2	13,1	55,6
2006.07.03	591,9	329,5	10,3	54,2
2006.07.04	503,4	267,2	9,8	48,1
2006.07.05	529,5	205,5	9,7	42,5
2006.07.06	530,3	276,4	8,5	52,1
2006.07.07	515,6	242,7	8,8	47,1
2006.07.10	615,5	254,4	7,8	44,6
2006.07.11	596,9	272,7	7	49,7
2006.07.12	526,5	256,9	6	51
2006.07.13	533,7	228,2	5,6	45,6
Średnia	571,2	278,5	10,3	48,7

Źródło: obliczenia własne



Źródło: obliczenia własne

Rys. 2. Zmiana współczynnika sprawności przy danej wilgotności wagowej gleby okresu wiosennego
 Fig. 2. Coefficient of efficiency change at a given soil humidity by weight in spring



Źródło: obliczenia własne

Rys. 3. Zmiana współczynnika sprawności przy danej wilgotności wagowej gleby okresu letniego
 Fig. 3. Coefficient of efficiency change at a given soil humidity by weight in summer

Wnioski

1. Wilgotność gleby w zakresie 5-17% ma istotny wpływ na sprawność procesu akumulacji ciepła:
 - w okresie wiosennym wraz ze spadkiem wilgotności gleby wzrasta współczynnik sprawności cieplnej (COPc),
 - w okresie letnim (dostarczone powietrze do akumulatora glebowego posiada mniejszą wilgotność) wraz ze spadkiem wilgotności gleby zauważa się spadek współczynnika sprawności cieplnej (COPc),

2. Znacznie większe oddziaływanie na sprawność procesu akumulacji ciepła w glebie ma wilgotność włączanego powietrza (co uwidacznia się w poszczególnych okresach badawczych),
3. Wartość COP_c w zakresie prowadzonych badań wynosiła od 37-78,3%.

Bibliografia

- Chwieduk D.** 1998. Charakterystyka systemów z długoterminowym magazynowaniem energii w gruncie. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja nr 1. s. 30-36 oraz nr 2, s. 29-33.
- Kurpaska S.** 2000. System ogrzewania podłoża ogrodniczego ciepłym powietrzem. Rozprawa habilitacyjna. Kraków. s. 27-34.
- Kurpaska S. Bożek B.** 1999. Modelowanie termo i hydrofizycznych zmian w glebie ogrzewanej powietrzem Acta Agrophysica 22. s. 115-131.
- Rutkowski K. Kuczmierczyk J.** 2002. Problemy eksploatacyjne w ogrzewaniu szklarni. Inżynieria Rolnicza 6. s. 327-330.

THE EFFECT OF SOIL HUMIDITY ON HEAT ACCUMULATION IN A PLASTIC TUNNEL

Abstract. The research was carried out at an experimental facility located at the Faculty of Agricultural Engineering, Agricultural University in Krakow. The researchers carried out a functionality analysis for the system accumulating heat in spring and summer, in relation to soil humidity. An energy balance was prepared and heat accumulation system efficiency was determined over the selected periods.

Key words: soil, accumulation, heat balance, system efficiency

Adres do korespondencji:

Kazimierz Rutkowski; e-mail: rutkowski@tier.ar.krakow.pl
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Akademia Rolnicza w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków