

## PÓLEMPIRYCZNE RÓWNANIE OPISUJĄCE NATURALNE POLE TEMPERATURY GRUNTU W REJONIE BIAŁEGOSTOKU

Beata BIERNACKA\*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki pomiarów naturalnego rozkładu temperatury w podłożu gruntowym od stycznia 2000 do grudnia 2006 r. Badania wykonano w Białymstoku, na dwu stanowiskach różniących się rodzajem powierzchni gruntu. Temperaturę mierzono za pomocą termopar rozmieszczonych na głębokościach od 0 do 5 metrów pod trawnikiem i od 0 do 9,5 m pod parkingiem. Celem prezentowanych badań było określenie na drodze doświadczalnej rozkładów temperatury i określenie półempirycznego równania do obliczania temperatury gruntu na dowolnej głębokości i w określonym dniu cyklu rocznego.

*Słowa kluczowe:* rozkład temperatury, podłoże gruntowe, temperatura gruntu.

### 1. Wprowadzenie

Jedną z metod osiągnięcia komfortu cieplnego w budownictwie pasywnym jest wykorzystanie energii cieplnej gruntu. Znajomość rozkładu temperatury w gruncie jest niezbędna przy określeniu rodzaju, rozmiaru i głębokości ułożenia gruntowych wymienników ciepła współpracujących z pompami ciepła lub schładzających/ogrzewających powietrze wentylacyjne. Dane dotyczące rozkładów temperatury w gruncie dla polskich warunków klimatycznych są rzadko podawane w literaturze. Jedynie pole temperatury w strefie przypowierzchniowej (do głębokości około 1 m) jest dość dobrze rozpoznane z powodu ważnej roli jaką temperatura odgrywa w rolnictwie (Bac i in., 1998; Kapuściński, 1991; Kossowski, 2001; Hanks i in., 1971).

Na rozkład temperatury w gruncie mają wpływ następujące czynniki:

- a) struktura i właściwości fizyczne gruntu: gęstość, ciepło właściwe i przewodność cieplna gruntu, które zależą głównie od rodzaju, struktury i wilgotności gruntu;
- b) oddziaływania klimatyczne (sezonowe) i pogodowe (krótkoterminowe) oraz dobowe – oddziaływanie na powierzchni gruntu poprzez zmiany temperatury, wilgotności i prędkości powietrza (wiatr), opady, promieniowanie słoneczne;
- c) rodzaj pokrycia powierzchni gruntu (np. ziemia roślinna, trawa, płyty chodnikowe, pokrywa śnieżna).

Ze względu na rozkład temperatury w gruncie możemy rozróżnić trzy strefy (Popiel i in., 2001):

- 1) *strefa przypowierzchniowa* – sięgająca do głębokości około 1 m, w której rozkład temperatury szybko reaguje na zmiany pogodowe;

- 2) *strefa płytka* – rozciągająca się od głębokości około 1 m do około 8 m dla suchych iłów lub do głębokości około 20 m dla wilgotnych gruntów piaszczystych; na końcu tej strefy temperatura jest prawie stała i równa w przybliżeniu średniej rocznej temperaturze powietrza atmosferycznego na danym obszarze;
- 3) *strefa głęboka* – poniżej 8 m do 20 m głębokości, gdzie temperatura gruntu jest praktycznie stała i bardzo powoli wzrasta z głębokością wskutek oddziaływania termicznego wnętrza Ziemi, zgodnie z tak zwanym gradientem geotermalnym.

Istniejące programy do symulacji numerycznej pola temperatury w gruncie nie dają wiarygodnych wyników ze względu na trudności określenia właściwości fizycznych gruntu oraz wpływu warunków klimatycznych i pogodowych na powierzchnię gruntu (Krtati i in., 1995). Z tych powodów do określenia temperatury gruntu warto korzystać z równań półempirycznych, np. równania Baggsa (Baggs, 1983 i 1985). Równanie to opisuje naturalny rozkład temperatury gruntu dla warunków klimatycznych Australii. Równanie Baggsa przystosowane przez Popiela i in. (2002) ma następującą postać:

$$T(x,t) = (T_m \pm \Delta T_m) - 1.07k_v A_s \exp\left(-0.00031552 \cdot xa^{-0.5}\right) \times \cos\left[\frac{2\pi}{365}(t - t_o - 0.018335 \cdot xa^{-0.5})\right] \quad (1)$$

gdzie  $a$  jest średnią dyfuzyjnością cieplną gruntu w  $m^2/s$ ,  $A_s$  jest roczną amplitudą średnich miesięcznych temperatur powietrza w  $K$ ,  $k_v$  jest współczynnikiem wegetacji,  $t$  jest numerem kolejnego dnia w roku w dniach,  $t_o$  jest przesunięciem fazowym rocznej

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: blbier@pb.edu.pl

amplitudy gruntu w dniach,  $T(x,t)$  jest temperaturą gruntu na głębokości  $x$  w dniu kalendarzowym  $t$  w °C,  $T_g$  jest stałą temperatura gruntu poniżej strefy płytkiej w °C,  $T_m$  jest średnią roczną temperaturą powietrza w °C,  $\Delta T_m = T_m - T_g$  jest odchyleniem temperatury gruntu poniżej strefy płytkiej w K,  $x$  jest głębokością poniżej powierzchni gruntu w m.

## 2. Stanowiska pomiarowe

Równanie (1) może być stosowane do wyznaczenia średniej temperatury gruntu w rejonie, dla którego wyznaczono współczynniki empiryczne. W celu określenia tych współczynników dla rejonu Białegostoku, zbudowano dwa stanowiska pomiarowe. Pierwsze stanowisko zlokalizowano pod rozległym trawnikiem (punkty pomiarowe do głębokości 5m), drugie pod parkingiem pokrytym płytami betonowymi (punkty pomiarowe do głębokości 9,5m). Na każdym stanowisku zainstalowano termopary typu T w izolacji teflonowej i PCV, o średnicy drutu 0,508 mm. Spoiny w postaci kulki o średnicy 1,0 do 1,5 mm wykonano techniką „iskrową”, a następnie zabezpieczono farbą wodoodporną. Temperaturę na powierzchni gruntu mierzono termoparą wsuwaną poziomo w grunt na głębokości około 3 mm. Do pomiaru temperatury powietrza na obu stanowiskach umieszczono po jednej termoparze na wysokości około 2 m ponad powierzchnią gruntu. Odczytów temperatury dokonywano co 2 tygodnie. Badania przeprowadzono w okresie od stycznia 2000 do grudnia 2006 roku.

Podczas wiercenia otworów pobierano próbki gruntu z różnych głębokości. Na ich podstawie określono rodzaj i oznaczono wilgotność gruntu. Gęstość objętościową gruntu oznaczano laboratoryjnie metodą wyporu hydrostatycznego wody. Badania gruntu wykonano zgodnie z PN-88/B-04481.

Do pomiaru temperatury użyto przenośnego miernika o czułości 0,1 K zasilanego akumulatorkiem.

## 3. Wyniki badań

W tabeli 1 przedstawiono stałe empiryczne oraz dane dotyczące temperatury powietrza występujące we wzorze (1) dla rejonu Białegostoku oraz dla gruntu pod trawnikiem i pod parkingiem. Dane na temat temperatury powietrza ( $T_m$  i  $A_s$ ) uzyskano w stacji meteorologicznej w Białymstoku.

Stałą temperaturę gruntu poniżej strefy płytkiej  $T_g$  ustalono na podstawie pomiarów temperatury gruntu. Potwierdzono, że jej wartość zależy od rodzaju powierzchni gruntu. Stałą temperaturę gruntu pod trawnikiem wyznaczono jako średnią temperaturę na głębokości 5m ( $T_g = 9,6^\circ\text{C}$ ), a pod parkingiem jako średnią temperaturę na głębokości 9,5m ( $T_g = 10,8^\circ\text{C}$ ). Dzięki tym danym ustalono wielkość  $\Delta T_m = T_m - T_g$  dla rejonu Białegostoku

Tab. 1. Stałe empiryczne oraz dane dotyczące temperatury powietrza występujące we wzorze (1) dla rejonu Białegostoku dla gruntu pod trawnikiem i pod parkingiem

Parametr	Trawniki	Parking
$T_m$ [°C]	7,4	7,4
$\Delta T_m$ [°C]	2,2	3,4
$A_s$ [K]	12,1	12,1
$k_v$	0,85	według równania (3)
$t_o$ [dni]	22	18
$a$ [m <sup>2</sup> /s]	$60 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$

Empiryczny współczynnik wegetacji  $k_v$  uwzględnia wpływ promieniowania słonecznego na naturalne pole temperatury gruntu. W przypadku powierzchni gruntu pokrytej trawą współczynnik ten jest stały i wynosi (Popiel i in., 2002)

$$k_v = 0,85 \quad (2)$$

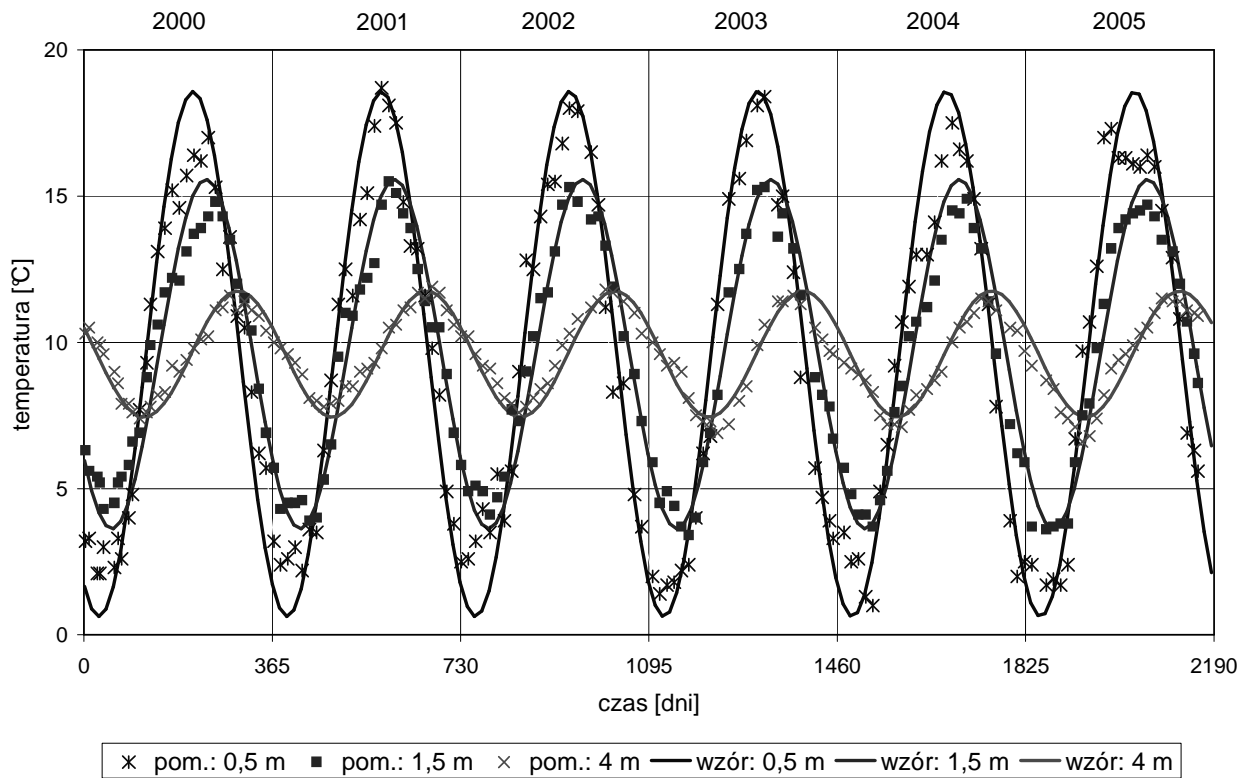
Potwierdziły to badania naturalnego pola temperatury gruntu w Białymstoku (Biernacka, 2006).

W przypadku gołej powierzchni gruntu np. parkingu, współczynnik wegetacji zmienia się w czasie, a jego maksimum przypada na okres najsilniejszego promieniowania słonecznego. Wartość współczynnika  $k_v$  dla gołej powierzchni gruntu dla rejonu Białegostoku opisano następującym równaniem

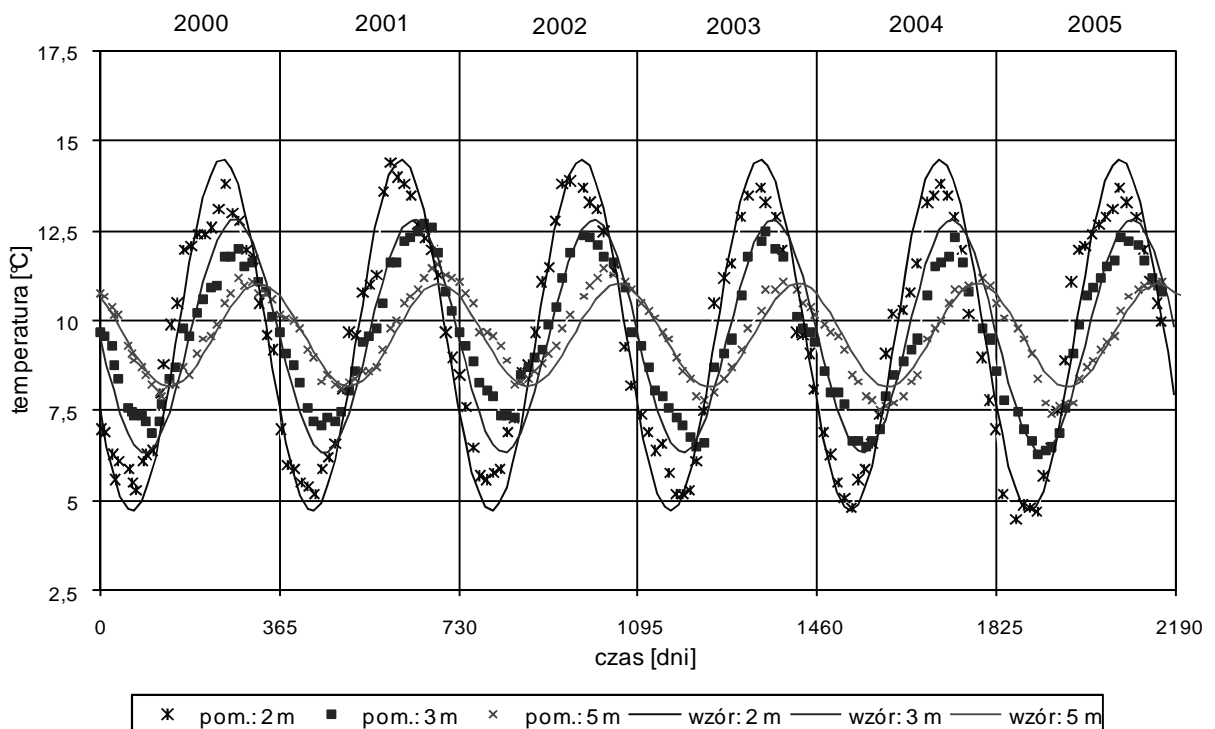
$$k_v = 1 + 0,35 \cdot \exp \left[ -0,5 \cdot \left( \frac{t - 228,90566}{75,713736} \right)^{3,06763} \right] \quad (3)$$

## 4. Porównanie wyników obliczeniowych z wynikami pomiarów

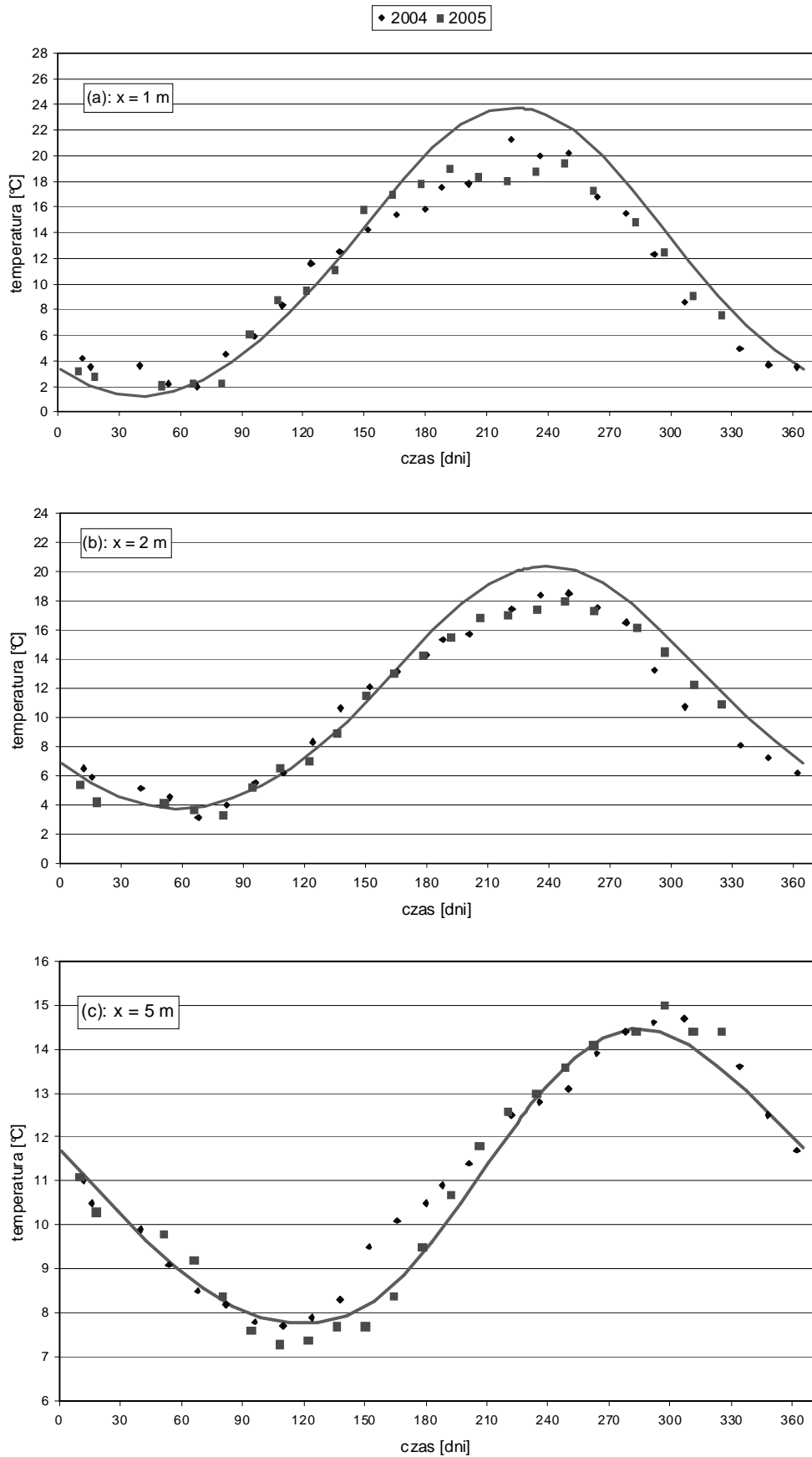
Na rys. 1, 2, 3 pokazano porównanie sezonowych rozkładów temperatury gruntu pod trawnikiem i pod parkingiem na różnych głębokościach z rozkładami obliczonymi z wzoru (1). Wzór daje zadawalające wyniki zarówno dla rozkładów temperatury pod trawnikiem jak i pod parkingiem. Szczególnie dla głębokości poniżej 1 m rozkłady temperatury obliczone z wzoru (1) wykazują dobrą zgodność z danymi eksperymentalnymi.



Rys. 1. Porównanie sezonowych rozkładów temperatury gruntu pod trawnikiem w Białymstoku na głębokościach od 0,5 do 4 m z rozkładami obliczonymi z wzoru (1)



Rys. 2. Porównanie sezonowych rozkładów temperatury gruntu pod trawnikiem w Białymstoku na głębokościach od 2 do 5 m z rozkładami obliczonymi z wzoru (1)



Rys. 3. Porównanie sezonowych rozkładów temperatury gruntu pod parkingiem w Białymstoku z rozkładami obliczonymi z wzoru (1) na różnych głębokościach: a)  $x = 1$  m; b)  $x = 2$  m; c)  $x = 5$  m

## 5. Wnioski

1. Sezonowe wahania temperatury gruntu zależą od głębokości oraz od rodzaju i powierzchni gruntu. Amplituda fali temperatury gruntu maleje wraz z głębokością niezależnie od rodzaju powierzchni gruntu.
2. Stała temperatura gruntu  $T_g$  poniżej strefy płytkiej jest bliska średniorocznej temperaturze powietrza  $T_m$  i zależy również od rodzaju powierzchni gruntu.
3. Wzór półempiryczny (1) jest łatwy w użyciu i daje wyniki bardzo bliskie danych pomiarowych. Wpływ rodzaju powierzchni gruntu na jego temperaturę opisuje empiryczny współczynnik wegetacji  $k_v$ . W przypadku powierzchni gruntu pokrytej trawą jego wartość jest stała i wynosi 0,85. Dla gruntu pod parkingiem wartość współczynnika wegetacji zmienia się w czasie zgodnie z wzorem (3).

## Literatura

- Bac S., Koźmiński C., Rojek M. (1998). Agrometeorologia. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Baggs S.A. (1983). Remote prediction of ground temperature in Australian soils and mapping its distribution. *Solar Energy*, Vol. 30, No. 4, 351-366.
- Baggs S.A. (1985). Australian earth-covered buildings, Appendix A: Analysing a site for ground temperature suitability. *Published by New South Wales University Press*, Kensington NSW Australia.
- Biernacka B. (2006). Badania doświadczalne naturalnego pola temperatury gruntu. *Praca doktorska*, Politechnika Białostocka, Białystok 2006.
- Hanks R.J., Austin D.D., Ondrechen W. T. (1971). Soil Temperature Estimation by a Numerical Method. *Soil*

*Science Society of America Proceedings*, Vol. 35, No. 5, 665-667.

- Kapuściński J. (1991). Próba określenia warunków termicznych gleby temperaturą powietrza. *Roczniki Gleboznawcze*, Vol. 42, No. 1/2, 17-26.
- Kossowski J. (2001). O związku strumienia ciepła w glebie z elementami meteorologicznymi. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, Zeszyt 21.
- Krarti M., Lopez-Alonzo C., Claridge D. E., Kreider J. F. (1995). Analytical Model to Predict Annual Soil Surface Temperature Variation. *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 117, No. 2, 91-99.
- Popiel C. O., Wojtkowiak J., Biernacka B. (2001). Measurements of temperature distributions of soil. *Thermal and Fluid Science*, Vol. 25, 301-309.
- Popiel C. O., Wojtkowiak J., Prętko I. (2002). Effect of surface cover on ground temperature season's fluctuations. *Foundations of Civil and Environmental Engineering*, Vol. 1, No. 2, 151-164.

## SEMI-EMPIRICAL FORMULA FOR THE NATURAL GROUND TEMPERATURE DISTRIBUTION IN BIALYSTOK CITY REGION

**Abstract:** In this paper, temperature distributions measured in the ground since the start of 2000 to the end of 2006 are reported. The measurements were done in Białystok City region for two differently covered ground surface locations. Temperature was measured with thermocouples distributed in the ground at a depth from 0 to 5 m (lawn) and from 0 to 9,5 m (car park). The semi-empirical formula presented in this paper, describes the temperature distributions in the undisturbed ground for Białystok City region.

Praca zrealizowana w ramach pracy statutowej S/WBIŚ/23/08

