

dr inż. Adam BARYŁKA
prof. dr hab. inż. Grzegorz BĄK
Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

BADANIA DOŚWIADCZALNE PRZEPIYU CIEPŁA PRZEZ OBSYPKĘ SCHRONU WYKOPOWEGO W WARUNKACH POŻARU ZEWNĘTRZNEGO

Streszczenie

W referacie przedstawiono wyniki badań modelowych mających na celu rozpoznanie właściwości ochronnych obsypki gruntowej stropu schronu wykopowego przed pożarem zewnętrznym. Termiczne, niestacjonarne oddziaływanie powierzchniowe pożaru symulowano płytą grzejną. Wyniki dotyczą gruntu niespoistego piaszczystego z różną wilgotnością. Badaniu poddano zachowanie osypki gruntowej o typowych grubościach. Przedstawiono koncepcję opracowania wyników według podejścia identyfikacyjnego.

Abstract

The paper presents the results of the model in order to identify the protective properties of the backfill ground floor of the shelter excavation before the fire outside. Thermal, full-surface interaction simulated fire hob. The results relate to non-cohesive sandy soil with different humidity. We studied the behavior of material land with typical thicknesses. The concept of development results by identifying approaches.

1. WSTĘP

Obiekty schronowe realizowane w technologii wykopowej są projektowane i budowane w celu zapewnienia ochrony ludności, zapewnienia technicznych możliwości kierowania państwem przez organy rządowe różnych szczebli, a także ochrony dzieł kultury w sytuacjach kryzysowych [1]. Sytuacje te mogą być powodowane klęskami żywiołowymi, skutkami awarii w zakładach przemysłu, głównie chemicznego, terroryzmem oraz działaniami wojennymi.

Za czynniki oddziaływania na schrony, których źródłem są militarne, niekonwencjonalne środki rażenia, uważa się nadciśnienie fali uderzeniowej podmuchu powietrznego i fali ciśnienia w gruncie, promieniowanie przenikliwe z dalszymi konsekwencjami skażenia radioaktywnego oraz promieniowanie świetlne. To ostatnie może stanowić bodziec energetyczny stanowiący inicjację pożarów naturalnego pokrycia terenowego oraz niszczącej się zabudowy z wewnętrznym obciążeniem pożarowym. Przy odpowiednio dużym zagęszczeniu materiałów i środków palnych może dochodzić do powstania burz ogniowych obejmujących znaczne połacie zurbanizowane. Zagrożenia te są istotne z uwagi na trend urbanistyczny projektowania zielonych osiedli i miast. Bardzo wysokich temperatur należy spodziewać się w strefie epicentralnej. Natomiast rozległość pożarów o mniejszym natężeniu może być bardzo duża. Wielkość obszarów zależy od mocy i rodzaju ładunku wybuchowego oraz sposobu jego detonacji. Również konwencjonalne środki rażenia mogą wywoływać pożary. Szczególnie skuteczne są środki zapalające. Ponadto pożary mogą powstać skutkiem katastrof przemysłowych.

Prawidłowe określenie oddziaływań jest podstawą poprawności procedury projektowania i niezawodnego funkcjonowania wykonanych schronów. W niniejszej pracy skoncentrujemy się na rozpoznaniu wagi oddziaływania na schron wykopowy temperatury wywołanej pożarem zewnętrznym. Nie będzie analizowane przejmowanie ciepła przez czerpnię powietrza. Skoncentrujemy się na obudowie schronu. Podstawowym elementem ochronnym jest wówczas osypka gruntowa i strop obiektu, a drugiej kolejności mogą być również jego ściany. Osobliwością oddziaływania pożaru zewnętrznego jest to, że główny kierunek promieniowania energii cieplej pożaru jest skierowany w przestrzeń powietrzną. Ogólnie uznaje się, że warstwy osypki i stropu schronu powinny być zaprojektowane, aby spełniały warunek koniecznego, 100-krotnego osłabienia promieniowania przenikliwego, patrz Z. Szcześniak praca [3]. Uważa się, że tak zaprojektowane przegrody będą wystarczające z uwagi na zabezpieczenie przeciwpożarowe. W typowych procedurach nie analizuje się szczegółowo potrzeby osłony termicznej przed nagrzewaniem wywołanym pożarem zewnętrznym. Nie szacuje się skutków tego oddziaływania zarówno z uwagi na deformacje konstrukcji schronu oraz ilości energii, która może przenikać do wnętrza obiektu i jednocześnie stanowić obciążenie dla systemu wentylacyjnego czy nawet schładzającego. Jednakże rozwój współczesnych militarnych środków rażenia zmusza do projektowania obiektów odpornych na bojowe środki trujące, biologiczne oraz produkty i efekty pożarów zewnętrznych. Problem jest ważny w przypadku zabezpieczenia przeciwpożarowego hermetyzowanych obiektów budownictwa obronnego (por [5,6]).

2.CEL PRACY

W pracy przedstawiono wyniki pilotowych badań doświadczalnych dotyczących skuteczności osypki gruntowej jako zabezpieczenia przeciwpożarowego. Badaniom poddano typowe osypki o grubości 0,40m oraz 0,60m z piasku grubego. Badania prowadzono dla osypki suchej i wilgotnej w warunkach niestacjonarnego procesu nagrzewania i stygnięcia. Ustalono, że chłonność na wodę próbek gruntu mierzona wilgotnością była równa 11%, co oznaczało, że przy większej wilgotności wykształcała się woda gruntowa w temperaturze pomieszczenia laboratoryjnego, t. j. około 22°C. Podczas badania w wyższych temperaturach stwierdzano, że powstające w skutek nagrzewu ciśnienie porowe wyciskało wilgoć z dolnych części próbki jako wodę. Stąd wyjściową wilgotność gruntu zmniejszono do 5%. W pierwszym etapie badań, z którego są przedstawiane wyniki, przyjęto, że celem jest określenie matematycznej struktury równania opisującego przepływ ciepła wraz z ustaleniem parametrów występujących w tym równaniu na podstawie wyników własnych badań eksperymentalnych. Do interpretacji wyników doświadczalnych zastosowano podejście identyfikacyjne oparte na numerycznym opisie metodą różnic skończonych. W dalszych eksperymentach badaniom będzie również podlegał sposób formułowania wewnętrznego warunku brzegowego na styku osypki i betonowej obudowy schronu oraz przepływu ciepła przez jego strop.

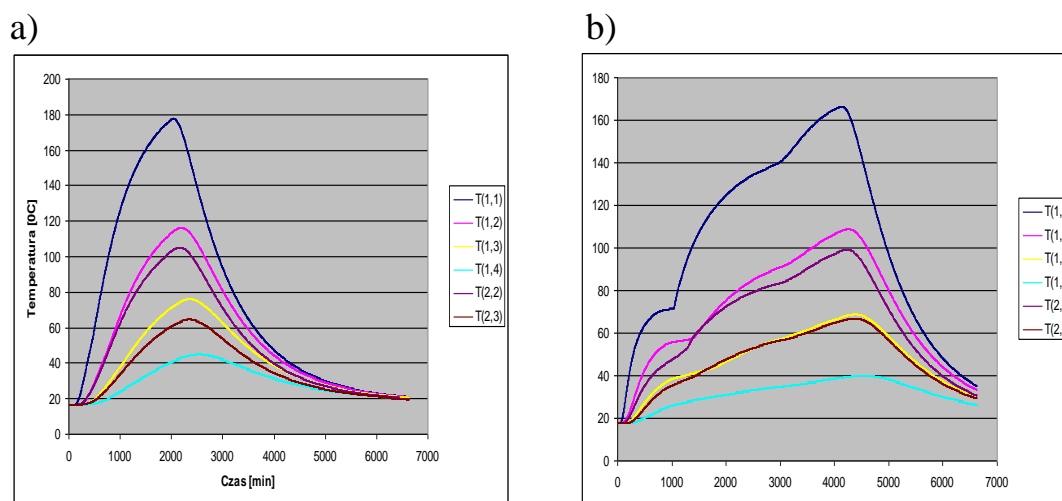
3.WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Stanowisko do badania jest przedstawione na rys.1. Wewnętrzna średnica otuliny, początkowo poliuretanowej, a następnie z wełny mineralnej wynosiła 0,26m. Grubość otuliny była 0,05m. Materiał otuliny z WM zapewniał jej trwałość do 400°C. Wełna była prasowana, bez użycia klejów syntetycznych. Czujniki temperatury typu LB 711 miały zdolność pomiarową do 200°C. Dokładność pomiaru według danych producenta wynosiła $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.



Rys.1 Stanowisko do badania próbki osypki, a) widok ogólny, b) szczegół sposobu nagrzewania gruntu płytą grzejną elektryczną.

Uzyskane wyniki pomiarowe cechowały się dużą regularnością. Zmiany temperatur w węzłach są przedstawione na rys. 3 z rozróżnieniem próbek suchej i wilgotnej.



Rys. 2. Pomierzone temperatury w węzłach, a) piasek suchy, b) piasek wilgotny.

Z wykresów zmienności w czasie temperatur w węzłach pomiarowych próbki z piaskiem wilgotnym wynika, że efekt konwekcji pary wodnej wpływał istotnie na przebieg procesu nagrzewania do temperatury około 70°C w najbliższym położonym węźle (1,1). Dalsze „zachwianie” przebiegu temperatur w tym węźle wynikało z ingerencji w położenie płyty grzejnej, zawieszanej początkowo na wysokości 0,5cm ponad powierzchnią piasku. W miarę nagzewu wysokość ta ulegała zmianie – powiększała się, co skutkowało zmniejszeniem efektywności nagzewu. Z tego powodu zdecydowano o obniżeniu płyty grzejnej przy temperaturze około 138°C .

4. INTERPRETACJE NUMERYCZNE WYNIKÓW POMIARÓW

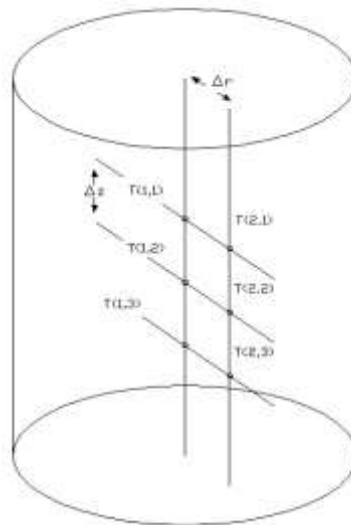
Przedstawimy interpretacje otrzymanych wyników pomiarów w przypadku piasku suchego. Ważne dla tych interpretacji będzie podkreślenie znacznego zakresu temperatur występujących w badaniu. Z tego powodu, nie należy oczekiwać, że ogólne prawa wymiany ciepła mogą tu być zastosowane. W badanych temperaturach zmienia się struktura wewnętrzna materiału badanego, skutkiem czego, wielkości uważane za stałe gubią swoją niezmienniczość. Wykorzystamy, że struktura równania przepływu ciepła powinna obejmować podstawowe zjawiska przewodnictwa według koncepcji Fouriera oraz promieniowania wzorując się na koncepcji Stefana–Boltzmann. Przyjmujemy, że promieniowanie jest inicjowane płytą grzejną, która w okresie czynnym osiągała temperaturę czerwonego żaru. Skutkiem tego była ona źródłem promieniowania i skaleniowe struktury krystaliczne ziaren gruntowych sukcesywnie przekształcały się we wzbudzone źródła ciepła. Wynika stąd, że właściwą formą równania przepływu energii cieplnej może być równanie Fouriera–Kirchhoffa przewodzenia z wewnętrznymi źródłami ciepła

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{q}_V}{\lambda} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

Występującą w (1) gęstość strumienia ciepła \dot{q}_V utożsamimy z gęstością emisji radiacyjnej, bez wyróżniania długości fal. Techniczną, zmodyfikowaną formułę na stosunek gęstości emisji do współczynnika przewodzenia zakładamy w postaci

$$\frac{\dot{q}_V}{\lambda} = F_V(\tau) \left(\frac{T}{100} \right)^n, \dots n = 4.$$

W formule (2) T jest temperaturą bezwzględną a wielkość F_V jest funkcją czasu. Nie jest to wielkość stała z uwagi na ewolucyjny charakter procesu emisyjnego w objętości próbki gruntu i niemonochromatyczny charakter promieniowania. Poprzez różne doświadczenia będziemy poszukiwali formy tej funkcji.



Rys.3. Geometria próbki z węzłami pomiarowymi

Odnosząc powyższe równanie do węzła bazowego (1,2) jest możliwe wnioskowanie o współczynniku wyrównania temperatur oraz funkcji F_V dla analizowanego gruntu i zakresu temperatur. Wymienione wartości będziemy traktować jako parametry, adekwatne do rozważanego zakresu temperatur i rodzaju gruntu. Mając na uwadze cel pracy – wnioskowanie o odporności przeciwpożarowej obsypki gruntowej schronu wykopowego – można uznać, że nie ma potrzeby schodzenia na poziom stałych materiałowych, tzn. współczynnika przewodzenia ciepła, ciepła właściwego, czy wielkości podstawowych dla promieniowania. Nie podejmujemy próby nadania parametrom interpretacji w kategoriach termodynamiki, a jedynie w kategoriach właściwych do matematycznego rozwiązywania problemu.

Wyznaczenie współczynnika wyrównania temperatur można określić z równania Fouriera zapisanego dla węzła bazowego (1,2). Współczynnik ten może być poprawnie określony dla odcinków procesu zdominowanego przewodzeniem, z małym wpływem promieniowania. W rozpatrywanym przypadku odcinki te występowały na samym początku nagrzewu i w zaawansowanej fazie stygnięcia. Wykorzystując równanie () przy zaniedbaniu członu emisyjnego, otrzymamy

$$a = \frac{\partial T}{\partial \tau} \bigg|_{(1,2)} \dots a = \frac{\lambda}{\rho c_w}$$

Wielkości licznika i mianownika mogą być szacowane z odpowiednich schematów różnicowych,

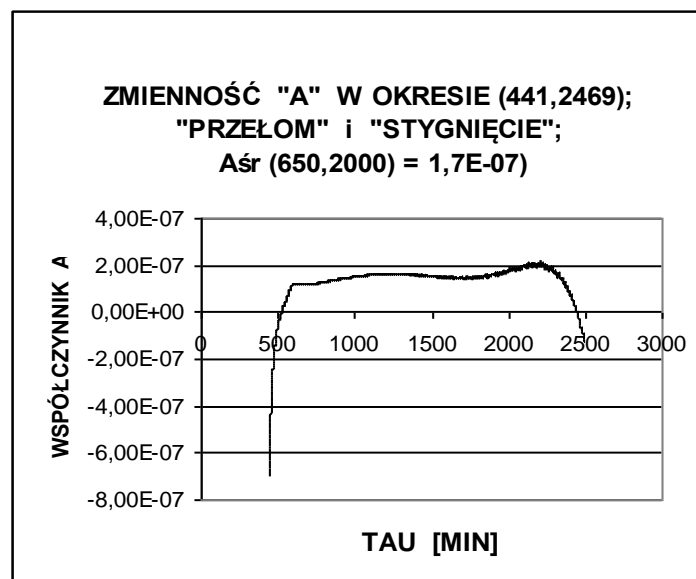
– wartość laplasjanu

$$\nabla^2 T_{(1,2)}^n = 2 \frac{T^n(2,2) - 2T^n(1,2) + T^n(3,2)}{\Delta r^2} + \frac{T^n(1,1) - 2T^n(1,2) + T^n(1,3)}{\Delta z^2},$$

– wartość prędkości zmian temperatury na wydłużonym przedziale czasu $m\Delta\tau$

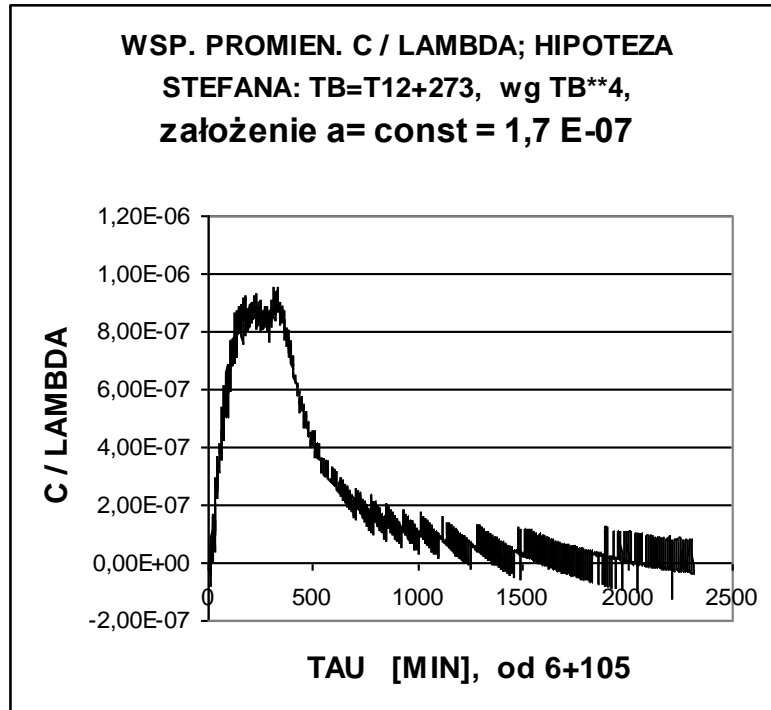
$$\frac{\partial T}{\partial \tau} \bigg|_{(1,2)}^n = \frac{T^{n+m}(1,2) - T^{n-m}(1,2)}{2m\Delta\tau}$$

Na podstawie wyników pomiaru wartość współczynnika a na wspomnianych odcinkach przedstawiono na rys. 4



Rys. 4. Zmienność współczynnika a wyrównania temperatur w fazie stygnięcia.

Średnia wartość a może być oszacowana jako $a = 1,7 \cdot 10^{-7}$. Jest otwartość dobrze wpisująca się w dane literaturowe. Na rys.4 pokazano, że w okresie dominacji promieniowania zaniedbanie członu z promieniowaniem prowadzi do wartości a , które nie mają sensu fizycznego.



Literatura

1. Kostowski E., *Przepływ ciepła*, Politechnika Śląska, Gliwice 1995r.
2. Wiśniewski S., Wiśniewski T.S., *Wymiana ciepła*, WNT, Warszawa 2000.
3. Kosiorek M., Pogorzelski J.A., Laskowska Z., Pilich K., *Odporność ogniowa konstrukcji budowlanych*, Arkady, Warszawa 1988.
4. Pogorzelski J.A., Ostrożnie z niestacjonarnymi badaniami przewodności cieplnej, *Prace ITB – Kwartalnik nr 1/2000*, 38-52
5. Szcześniak Z., Schrony przeznaczone do ochrony dóbr dziedzictwa kulturowego. Referat na XVII Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej na temat: „Ekologiczne i energooszczędne budownictwo oraz mieszkalnictwo wojskowe”, Zakopane, 3-5.09.2003r.