

# PROGNOZA NUMERYCZNA ODDZIAŁYWANIA POŻARU ZEWNĘTRZNEGO NA SCHRON WYKOPOWY

## NUMERICAL FORECAST OF THE IMPACT OF FIRE SHELTER EXCAVATED

dr inż. Adam BARYŁKA

Centrum Rzecznawstwa Budowlanego Sp. z o.o.

prof. dr hab. inż. Grzegorz BĄK

Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

Artykuł recenzowany

### Streszczenie

W referacie przedstawiono zagadnienie oddziaływania rozległego pożaru zewnętrznego na schron osłonięty obsypką gruntową. Ustalono realistyczne warunki początkowe odnośnie rozkładu temperatury w obudowie schronu i przylegającym gruncie. Rozważono stan pełnej hermetyzacji wypełnionego obiektu z konsekwencjami podwyższonej temperatury wewnętrznej. Wyniki numeryczne uzyskano w przypadkach realistycznych sytuacji pożarowych wskazują na zdolności osłonowe obsypki i stropu betonowego oraz powolną ewolucję zaniku pożarowych efektów termicznych w ośrodku gruntowym.

**Słowa kluczowe:** schron wykopowy, stan pełnej hermetyzacji, obsypka gruntowa.

### Summary

The paper presents the problem of the impact of extensive external fire at the shelter screened backfill dirt. It was found realistic initial conditions relating to the temperature distribution in the protective housing and the adjacent ground. Considered state of complete encapsulation of the object filled with the crew and civilians with consequences of temperature increase. Numerical results were obtained in cases of realistic fire situations indicate the ability of shielding backfill and concrete ceiling and a slow evolution of decay fire thermal effects in the center ground.

**Key words:** shelter excavated, the state of complete encapsulation, land filling material

### 1. Wstęp

Analiza prognoz oddziaływania jądrowych środków masowego rażenia wskazuje na ogromne zagrożenie pożarami zewnętrznymi o charakterze masowym. Właściwie każdy rodzaj obszaru, zurbanizowany czy biologicznie czynny, jest podatny na powstanie i rozprzestrzenianie się pożarów po eksplozji jądrowej. Współczesny rozwój aglomeracji miejskich jest ukierunkowany na zwiększanie powierzchni terenów zielonych – parków i zalesień, a przez to zwiększanie pożarowego obciążenia opałowego. Pożary stanowiące zagrożenie wybuchem jądrowym są wynikiem czynników rażenia, którymi są zarówno promieniowanie świetlne, jak i fala uderzeniowa. Promieniowanie świetlne, zwane też radiacją termiczną, ma bardzo krótki okres działania. Trwa od dziesiątych części sekundy to kilkunastu sekund, zależnie od siły wybuchu bomby. Podczas tego okresu jego intensywność może przekroczyć  $1000 \text{ W/cm}^2$ , co jest ponad 7000 razy większe niż maksymalne natężenie światła słonecznego. Temperatury powierzchni, na które pada promieniowanie świetlne, osiągają do  $1000^\circ\text{C}$ . Taka temperatura powoduje zapłon materiałów palnych, a nawet topienie się czy spiekanie powierzchniowe nawet materia-

łów niepalnych. Uszkadzając izolacje wywołuje zwarcia w instalacjach i urządzeniach elektrycznych, uwalnia i zapala gaz oraz inne media użytkowe. Z pewnym opóźnieniem w stosunku do promieniowania świetlnego działa fala uderzeniowa. Niszczy nadciśnieniem obiekty, przemieszcza zniszczone fragmenty i może tworzyć zgrupowane stosy opałowe. Wszystko to powoduje powstanie pożarów powierzchniowych, a nawet burz ogniowych. Według danych niemieckich i rosyjskich, cytowanych w pracy [1], największe temperatury i okresy pożaru wywoływanego militarnymi środkami rażenia są szacowane w przypadkach:

- burzy ogniowej do  $1070^\circ\text{C}$ , przy czym czas pożaru nie przekracza 12 godzin,
- pożaru powierzchniowego od  $770$  do  $870^\circ\text{C}$  z czasem pożaru od 6 do 8 godzin,
- pożaru pojedynczego od  $470$  do  $670^\circ\text{C}$  – 6 do 8 godzin.

Schrony wykopowe przeznaczone jako stanowiska kierowania oraz do ochrony ludności są lokalizowane na obszarach miejskich. Stąd potrzeba rozważania wpływu na załogę i osoby chronione oddziaływania czynników rażenia wybuchów jądrowych, w tym pożarów zewnętrznych. Uważa się, że skutecznym zabezpieczeniem obiektu schronowego przed pożarem zewnętrznym jest jego zabezpie-

czenie przed promieniowaniem przenikliwym. Elementem osłonowym jest obsypka gruntowa i obudowa żelbetowa schronu. Rozwój militarnych środków rażenia wymaga analiz szczegółowych analiz w tym zakresie.

W referacie przedstawiono wyniki analiz numerycznych uzyskanych dla wydłużonego obiektu wykopowego poddanego działaniu rozległego pożaru zewnętrznego. Skoncentrowano się na wyeksponowaniu zdolności osłonowej obsypki i obudowy obiektu schronowego i możliwości prognozowania numerycznego w aspekcie strumienia ciepła przewodzonego poprzez obsypkę i obudowę do wnętrza schronu.

## 2. Przedmiot rozważań

Ukształtowanie obiektu i rozległość pożaru zewnętrznego umożliwiają modelowanie efektów termicznych jako niestacjonarnego transportu ciepła w zagadnieniu dwuwymiarowo przestrzennego. Jego modelem jest płaska tarcza gruntowo – betonowa, rys. 1.



Rys. 1. Model tarczy niejednorodnej.

Numeryczne rozwiązanie zagadnienia poprzedzono ustaleniem warunku początkowego, z uwagi na sytuację pożarową. Przyjęto, że schron jest maksymalnie wypełniony załogą i osobami chronionymi oraz znajduje się w stanie pełnej hermetyzacji. W konsekwencji wnętrze schronu podlega nagrzewaniu. Dopuszcza się zwykle wzrost temperatury wewnętrznej do około 30°C. Jednocześnie jest konieczne określenie rozkładu temperatur poniżej poziomu powierzchni gruntu. Przyjęto, że rozkład ten jest wywołany temperaturą odpowiadającą sezonowi letniemu,  $T_{zew} = 22^{\circ}\text{C}$ . Rozwiązanie numeryczne uzyskano metodą różnicową konsekwentną z uwagi na dyskretyzację przestrzenną i względem czasu. Po 100 000 kroków czasowych – 4,5 dobach, uzyskano stan temperatur w tarczy, który uznano za quasi stacjonarny. Dalszą analizę prowadzono dla oddziaływań pożarowych według profilu zmienności w czasie zgodnego z [3] w okresie trwania największych temperatur pożaru. Za krzywą schładzania środowiska zewnętrznego przyjęto gałąź opadającą według krzywej Gaussa.

$$T_p(\tau) = \left\{ \begin{array}{l} T_{\max} (1 - 0,325) \cdot e^{-0,167\tau} - 0,675 \cdot e^{-0,675\tau} + T_0 \\ T(\tau_{kp}) \cdot e^{b\tau + c\tau^2} + T_{asymp} \end{array} \right\} \quad (1)$$

gdzie:  $\tau$  – czas w minutach liczony od początku pożaru,  
 $\tau_{kp}$  – czas trwania największych temperatur według (1),  
 $T_{\max}$  – największa temperatura pożaru,  $T_{asymp} = 30^{\circ}\text{C}$ .

Analizę ukierunkowano głównie na wyznaczenie rozkładu temperatur w obsypce i stropie oraz mocy cieplnej wnikającej z pożaru do gruntu i do stropu schronu, również do wnętrza pomieszczenia schronowego. Odpowiednie wzory na gęstość strumienia ciepła – jednostkową moc cieplną podano niżej.

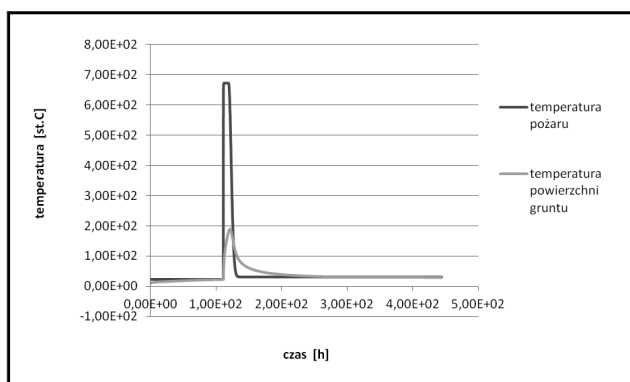
$$\dot{q}_{PO \Rightarrow GR} = \frac{T_p(\tau) - T_2(\tau)}{\frac{1}{\alpha_{PO \Rightarrow GR}} + \frac{\Delta z}{2\lambda_{GR}}}, \quad \dot{q}_{GR \Rightarrow STROP} = \frac{T_{JOB}(\tau) - T_{JOB1}(\tau)}{\frac{\Delta z}{2\lambda_{GR}} + \frac{\Delta z}{2\lambda_{BET}}}, \quad (2)$$

$$\dot{q}_{STROP \Rightarrow WNETRZE} = \frac{T_{JS}(\tau) - T_{JS1}(\tau)}{\frac{\Delta z}{2\lambda_{GR}} + \frac{1}{\alpha_{STROP \Rightarrow WNETRZE}}}$$

## 3. Wyniki analizy numerycznej

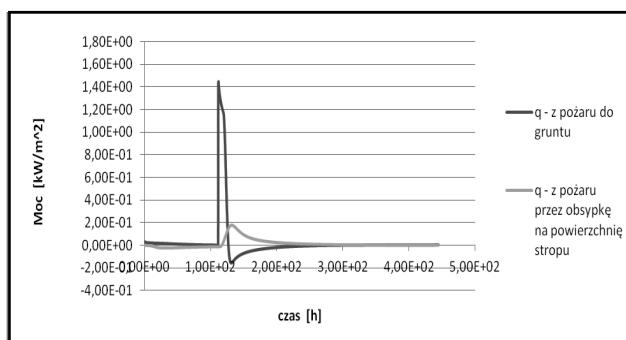
Rozpatrywano obudowę o grubości  $\Delta h = 0,4$  m i wymiarach osiowych elementów składających się na obudowę  $L = 6,00$  m i  $H_0 = 2,80$  m. Przyjęto grubość obsypki gruntovej  $\Delta h_1 = 0,40$  m. W analizie numerycznej stwierdzono, że oddziaływania termiczne obejmowały zasadniczo przypowierzchniowy pas o grubości równej sumie grubości obsypki i stropu obudowy, tzn.: 0,80 m. Rozpatrzono dwa przypadki. W pierwszym rozważano pożar o parametrach: (I)  $\Rightarrow T_{\max} = 650^{\circ}\text{C}$  i o okresie występowania największych temperatur  $\tau_m = 2$  h. W drugim przypadku przyjęto: (II)  $\Rightarrow T_{\max} = 1000^{\circ}\text{C}$  i  $\tau_m = 1,5$  h. W obydwu przypadkach okres pożaru, łącznie z wygaszaniem według założonej krzywej Gaussa(1)<sub>2</sub>, wynosił od 26 do 30 godzin.

Na rysunku 2 podano zmiany w czasie temperatury założonego pożaru zewnętrznego (I) oraz temperaturę powierzchni gruntu. Relację tych temperatur wyznaczono przy założeniu, że współczynnik wyrażający opory cieplne z pożaru zewnętrznego do gruntu wynosił  $\alpha_{PO-GR} = 2,4$  m<sup>2</sup>K/W. Taką wartość ustalono badaniami laboratoryjnymi. Z porównania tych krzywych wynika, że jeszcze podczas wygaszania pożaru temperatura powierzchni gruntu jest większa niż temperatura powietrza. Wskazuje to na występowanie przejściowego okresu wymiany ciepła, w którym uprzednio nagrzany grunt oddaje przejętą energię cieplną i podnosi temperaturę zewnętrzną.



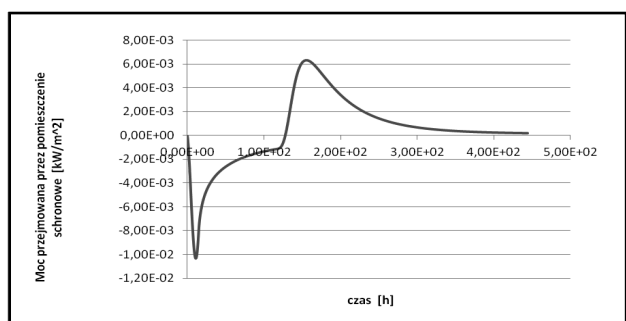
Rys. 2. Zmienność w czasie temperatury pożaru (I) i temperatury na powierzchni gruntu.

Na rys. 3 podano zmienność w czasie gęstości powierzchni strumienia ciepła wnikającego w powierzchnię gruntu w przypadku pożaru o parametrach (I). Wielkość ta jest jednostkową mocą cieplną nagrzewania powierzchni gruntu. Jej wartość największa wynosi  $1,45 \text{ kW/m}^2$ . Druga z zamieszczonych krzywych ilustruje gęstość strumienia ciepła, który dociera do powierzchni zewnętrznej stropu obiektu. Jego największa rzędna wynosi  $0,19 \text{ kW/m}^2$ . Relacja obydwu rzędnych jest miarą zdolności osłonowych obsypki.



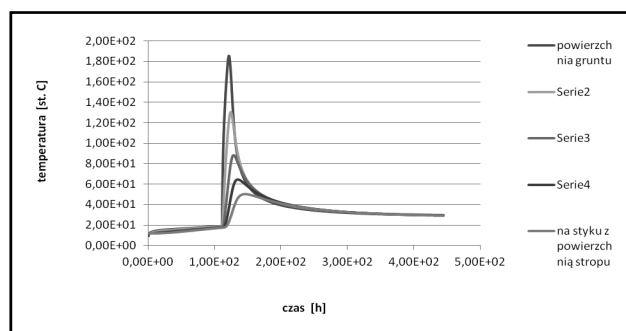
Rys. 3. Zmienność mocy (gęstości strumienia ciepła) przekazanego z pożaru do gruntu.

Gdyby wyznaczyć analogiczną wielkość na granicy sufitu stropu i pomieszczenia schronowego, to krzywa zmienności gęstości strumienia ciepła docierającego poprzez obsypkę i strop betonowy do wnętrza schronu ma przebieg nieprzystawiony na rys. 4.

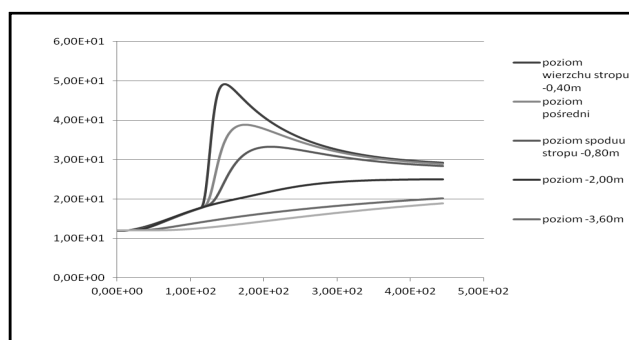


Rys. 4. Zmienność mocy (gęstości strumienia ciepła) przekazanego z pożaru przez obsypkę i strop do wnętrza pomieszczenia schronowego.

Zauważmy, że w rozpatrywanej sytuacji pożarowej osłonę pomieszczeń schronowych przez obsypkę i strop obudowy należy ocenić jako skuteczną. Największa rzędna mocy cieplnej przekazywana do wnętrza pomieszczenia jest wielokrotnie mniejsza niż analogiczna rzędna mocy cieplnej pożaru kierowanego w obsypkę,  $0,0062 \text{ kW/m}^2 < 1,45 \text{ kW/m}^2$ .



Rys. 5. Zmienność w czasie temperatur w obsypce o grubości 0,40m; gradacja położenia warstw co 0,10m.



Rys. 6. Zmienność temperatur w gruncie przyległym do ściany o wysokości 3,60m na poziomie: wierzchu stropu, ..... , spodu stropu, środka ściany i spodu fundamentu.

#### 4. Wnioski i podsumowanie

Prognozą numeryczną wykazano, że typowe zabezpieczenie przed oddziaływaniem pożaru zewnętrznego jest właściwe. Wskazano na możliwość numerycznej analizy tej skuteczności w innych przypadkach. Nie zamieszczono wyników szczegółowych dla sytuacji oddziaływań pożarowych II, ponieważ nie wnoszą one istotnych wniosków w stosunku do przedstawionych. Przy parametrach pożaru (II) –  $1000^\circ\text{C}$ , 1,5h – największa rzędna mocy cieplnej kierowanej do gruntu wynosiła  $2,05 \text{ kW/m}^2$ .

#### Bibliografia

1. Bąk G., Szcześniak Z.: *Schrony Obrony Cywilnej w budynkach użyteczności publicznej*. 49 Konferencja Naukowa KILiW PAN i KU PZITB, Krynica, 2003 r.
2. Kostowski E., *Przepływ ciepła*, WPSŁ, Gliwice, 2000
3. PN-EN: 1991-1-2:2006 *Oddziaływanie pożaru na konstrukcje*.