

## Od redakcji

Zakończył się rok 2004. Ostatni zeszyt (nr 12/2004) „Inżynierii i Budownictwa” został przekazany Czytelnikom przed Świętami Bożego Narodzenia. Zakończyliśmy wydawanie kolejnego rocznika czasopisma. To satysfakcja nie tylko dla redakcji, to – jak oceniamy – satysfakcja również dla naszych Autorów, Czytelników i Sympatyków. Jest bowiem rzeczą oczywistą, że „Inżynieria i Budownictwo” – co zawsze podkreślaliśmy – jest naszym wspólnym dziełem, dziełem wspieranym przez szeroko rozumiane środowisko budowlane. Za to wspieranie składamy serdeczne podziękowania.

Na Święta Bożego Narodzenia i Nowy Rok 2005 otrzymaliśmy wiele przyjaznych i życzliwych dowodów pamięci oraz życzeń trwania i służenia polskiej nauce i technice. Za te dowody serdecznie dziękujemy. Wyrażamy nadzieję, że wspólnym wysiłkiem będziemy mogli skutecznie spełniać przekazane nam życzenia.

Rozpoczynamy kolejny rocznik czasopisma „Inżynieria i Budownictwo”, wydawanego od blisko 67 lat (od lipca 1938 roku). W zeszycie 1/2005 publikujemy obszerną informację na temat trzęsień ziemi, które nawiedziły Polskę północno-wschodnią 21 września 2004 roku, a także ich wpływu na obiekty budowlane. Zamieszczamy artykuły dotyczące problematyki bezpieczeństwa użytkowania torów zjeżdżalni w parku wodnym oraz możliwości uzyskania elementów betonowych lepszej jakości dzięki ich wykonaniu w deskowaniach selektywnie przepuszczalnych. Wyrażamy przekonanie, że Czytelników zainteresują też opracowania dotyczące sposobów tłumienia drgań w kładkach dla pieszych, poparte przykładami zastosowań, badań pomostu aluminiowego, wzmacniania belek żelbetonowych taśmami i matami kompozytowymi z włókien węglowych (CFRP), ograniczenia korozji zbrojenia betonu w wyniku realkalizacji betonu, najnowszych poglądów dotyczących oceny niezawodności obiektów budowlanych, a także problemów projektowania konstrukcji membranowych z tkanin technicznych. Podajemy również informacje na temat konferencji naukowych, wypowiedzi w dyskusji, opracowania dotyczące nagród i wyróżnień PZITB przyznanych w roku 2004, osiągnięć zagranicznych w technice mostowej, a także recenzje książek i inne informacje.

Wyrażamy nadzieję, że zeszyt zainteresuje naszych Czytelników. Tradycyjnie już, prosimy o ewentualne uwagi i propozycje dotyczące realizowanego programu tematycznego.

## Materiały • Elementy • Konstrukcje

**Dr hab. inż. ZBIGNIEW ZEMBATY, prof. PO**

Politechnika Opolska

**Prof. dr hab. inż. ANDRZEJ CHOLEWICKI**

Instytut Techniki Budowlanej

**Dr inż. ROBERT JANKOWSKI**

Politechnika Gdańska

**Dr inż. JAROSŁAW SZULC**

Instytut Techniki Budowlanej

# Trzęsienia ziemi 21 września 2004 r. w Polsce północno-wschodniej oraz ich wpływ na obiekty budowlane

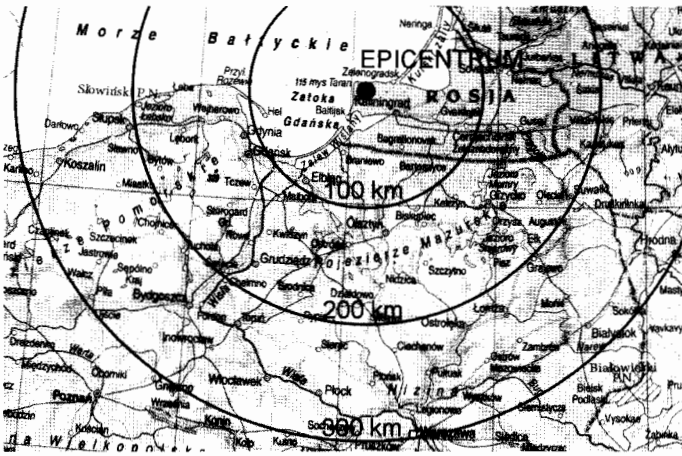
**21 września 2004 roku** północno-wschodnią Polskę nawiedziły dwa trzęsienia ziemi, których epicentra znajdowały się na terenie Obwodu Kaliningradzkiego. Odnotowano różnorodne uszkodzenia obiektów budowlanych na znacznym obszarze i negatywne reakcje mieszkańców województw: pomorskiego, kujawsko-pomorskiego, warmińsko-mazurskiego i podlaskiego. Trzęsienia ziemi były odczuwane również na terenie Litwy, Łotwy, Białorusi oraz Szwecji i Norwegii, a za pomocą czułych przyrządów odnotowano je nawet w USA.

Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie środowisku inżynierskiemu w Polsce wyżej wymienionych zagadnień, między innymi po to, aby uniknąć wadliwej interpretacji wpływu na budowę tych nietypowych dla naszego kraju zjawisk. Należy podkreślić, że obszar dotknięty wstrząsami z 21 września 2004 r. nie podlegał wcześniej takim oddziaływaniom. Dlatego to wydarzenie było zaskoczeniem dla mieszkańców, władz terytorialnych i odpowiednich służb (nadzoru budowlanego). W niniejszym artykule przedstawiono stan wiedzy na temat trzęsień ziemi z 21 września 2004 r. i wstępną ocenę ich wpływu na obiekty budowlane na terenie Polski. Niektóre uszko-

dzone obiekty są przedmiotem dalszych, szczegółowych analiz wykonywanych przez rzeczoznawców budowlanych. Autorzy nie ustosunkowują się zatem do zagadnień szczegółowych i dotyczących dalszego, bezpiecznego eksploataowania tych obiektów.

### Opis zjawiska

21 września 2004 r. o godzinie 13.05 CET (czas środkowo-europejski) miał miejsce pierwszy wstrząs sejsmiczny. Przez amerykańskie służby geologiczne USGS (United States Geological Survey) został on odnotowany jako wstrząs o magnitudzie 4,8 w skali *Richtera*, z epicentrum w pobliżu wybrzeża Bałtyku, w okolicy miejscowości Swietlogorsk (rys. 1) i głębokości ogniska 16 km. Kolejny wstrząs o magnitudzie 5,0 miał miejsce o godzinie 15.32. Jego epicentrum znajdowało się bardzo blisko poprzedniego. Kilkanaście dni później USGS zrewidował swoje wstępne oceny, wyliczając je dokładniej, na odpowiednio 4,8 (o godzinie 13.05) i 4,9 (o godzinie 15.32). Do tak ustalonych danych dodać można wielkości magnitud oszacowanych przez Europejsko-Śródziemnomorskie Centrum Sejsmo-



Rys. 1. Położenie epicentrum wstrząsów sejsmicznych z 21 września 2004 r.

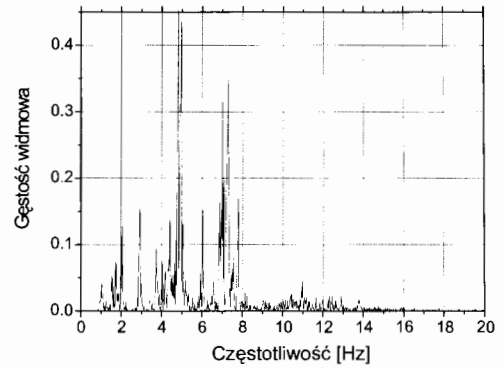
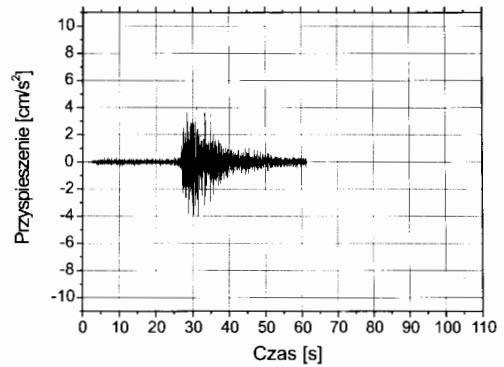
logiczne (EMSC – European-Mediterranean Seismological Centre) we Francji: 4,4 i 5,0 oraz przez Instytut Geofizyki PAN (informacja od dr. Pawła Wiejacza): 5,0 i 5,3.

Tak znaczne różnice w ocenie magnitudy wstrząsów nie należą do rzadkości. Jest to najczęściej spowodowane różnymi, szczegółowymi definicjami magnitudy i różnymi modelami propagacji fal sejsmicznych. Dodajmy w tym miejscu, że magnituda jest charakterystyczną dla danego trzęsienia ziemi miarą jego „wielkości”, niezależną od miejsca jego odbioru. Natomiast używane dalej, w niniejszym artykule, pojęcia tzw. opisowych, dwunastostopniowych intensywności EMS-98, MSK-64 i MM są miarami jego skutków w danym miejscu. Intensywność wstrząsów będzie zatem na ogół największa w epicentrum i jej wielkość będzie maleć w miarę oddalania się od niego. W wypadku analizowanego zjawiska dodatkowym czynnikiem było stosunkowo rzadkie rozlokowanie stacji sejsmologicznych w tym rejonie, powszechnie uważanym za nieaktywny sejsmicznie. USGS ustaliło także głębokość obu wstrząsów, która wyniosła odpowiednio 4,8 i 10 km. Według ustaleń dr. Wiejacza z IGF PAN głębokości obu wstrząsów wyniosły tyle samo, tj. 14,1 km.

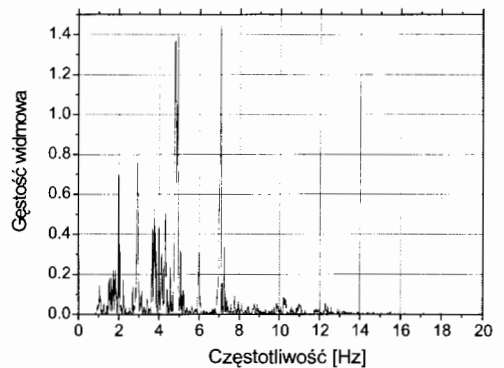
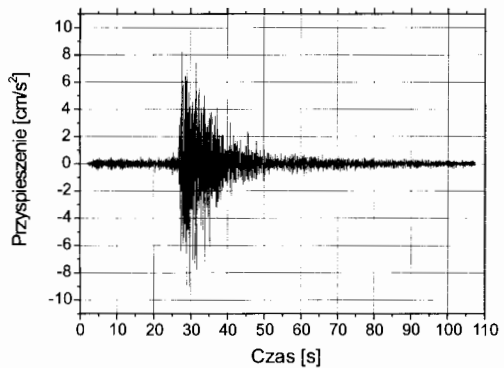
Należy tu także dodać, że po opisanych dwóch silnych wstrząsach miały miejsce także znacznie już słabsze wstrząsy wtórne, z których najsilniejszy wystąpił o godzinie 15.39. Wstrząsy następcze były rejestrowane również 23 września 2004 r. w godzinach 3.00÷5.00, były one jednak odczuwane już tylko przez pojedyncze osoby.

Trzęsienia ziemi zostały zarejestrowane przez różne stacje sejsmologiczne na terenie całej Europy, w tym m. in. przez stację Pułkowo pod St. Petersburgiem, Vasula (Estonia), Obninsk oraz stacje z terenu Norwegii i Szwecji. Jednak bardzo czuła aparatura zarejestrowała te trzęsienia ziemi nawet w USA i Chinach. Także w Polsce zarejestrowano sejsmogramy obu wstrząsów, przy czym najsilniejszy zapis pochodzi ze Stacji IGF PAN z Suwałk. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono przebiegi czasowe przyspieszeń na kierunku N-S, otrzymane na podstawie zapisów prędkości ze stacji sejsmologicznej z Suwałk oraz odpowiadające im gęstości widmowe (spektra *Fouriera*). W przypadku wszystkich zapisów określono maksima pionowe i obliczono maksymalne poziome przyspieszenia (maksima poziome, przestrzenne:  $\max \sqrt{u_x^2(t) + u_y^2(t)}$ ). Odpowiednie wartości maksymalnych przyspieszeń i prędkości zestawiono w tabelicy.

Całkowanie przedstawionych zapisów do przemieszczeń prowadzi do wartości poniżej 0,1 mm. Maksymalne przyspieszenia i prędkości wskazują na wyraźnie większą intensywność wstrząsu drugiego. Wykresy na rys. 2 i 3 przedstawiają specyficzne obrazy przebiegów wstrząsów z odległego (około



Rys. 2. Zapisy przyspieszeń i odpowiednich spektrów *Fouriera* ze stacji sejsmicznej z Suwałk; pierwszy wstrząs z 21 września 2004 r. (godz. 13.05)



Rys. 3. Zapisy przyspieszeń i odpowiednich spektrów *Fouriera* ze stacji sejsmicznej z Suwałk; drugi wstrząs z 21 września 2004 r. (godz. 15.32)

200 km) epicentrum, charakteryzujące się dość długim czasem między nadejściem fal materialnych P (tu: prawie od początku wykresu akcelerogramów) do chwili pojawienia się postaciowych fal S (tu: widoczna po około 26 s silna faza). Na wykresach spektrów *Fouriera* widać, że dominująca energia tych wstrząsów jest skupiona w większości w zakresie do 5 Hz, co jest charakterystyczne w przypadku naturalnych wstrząsów

sejsmicznych. To właśnie drgania pochodzące z tego pasma widma powodują najwięcej uszkodzeń budowli.

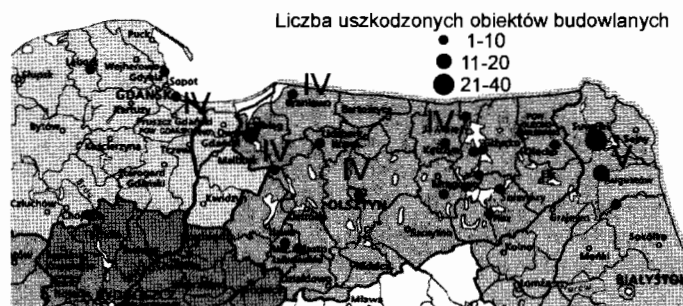
### Skutki wstrząsu w Obwodzie Kaliningradzkim i ocena jego maksymalnej intensywności

Relacje prasowe i bezpośrednie, choć dość nieprecyzyjne informacje z Rosji (informacja z Instytutu Fizyki Ziemi Rosyjskiej Akademii Nauk – prof. *Nikonov*) wskazują, że w Obwodzie Kaliningradzkim wstrząsy spowodowały poważniejsze uszkodzenia 17 obiektów budowlanych oraz drobne, nieszkodliwe uszkodzenia około 2000 tego rodzaju obiektów. Większość tych uszkodzeń dotyczy starej, blisko stuletniej, niemieckiej zabudowy Obwodu Kaliningradzkiego. W tej zabudowie odnotowano wiele przypadków zawalenia się kominów i osunięcia dachówek. Takie właśnie zdarzenia spowodowały trzy przypadki lekkich obrażeń wśród przechodniów. Żadnej katastrofy budowlanej nie odnotowano. Wstrząsy spowodowały jednak panikę wśród mieszkańców Obwodu. Wielu z nich obawiało się wrócić do domów, oczekując kolejnych, być może jeszcze silniejszych wstrząsów. Takie reakcje i opisane wyżej uszkodzenia obiektów budowlanych wskazują, zdaniem strony rosyjskiej, na maksymalną intensywność wstrząsów w skali EMS-98 około VI lub VI+ (ponad sześć, tj. VI+ ≈ 6,5). Skala ta jest unowocześnioną wersją dwunastostopniowej opisowej skali intensywności MSK-64 i nie różni się od niej, gdy do oceny wykorzystuje się uszkodzenia budowli starszych, nie wzmocnianych specjalnie na obciążenia sejsmiczne. Zbliżona do tych skal jest także stosowana w USA skala MM (Modified Mercalli). Należy tu dodać, że uszkodzenia budowli pojawiają się w tych skalach przy intensywności V i powyżej tej wartości. Więcej na temat skal intensywności znaleźć można w innym artykule, który ukazał się niedawno w „Inżynierii i Budownictwie” [7].

Interesującym, choć dość zagadkowym zjawiskiem, jest pojawienie się, bezpośrednio po trzęsieniu ziemi, obsunięcia gruntu na trasie ruchu kolei podmiejskiej w okolicach miejscowości Swietogorsk, czyli bardzo blisko epicentrum wstrząsów. Obsunięcie miało głębokość około 15 m i szerokość około 30 m, co spowodowało uszkodzenie torowiska i sieci trakcyjnej na długości około 60 m. Ruch pociągów między stacjami Swietogorsk-1 i Swietogorsk-2 został wstrzymany. Bez wykonania szczegółowej analizy trudno ocenić, jaki charakter miało to uszkodzenie podłoża. W krajach o bardzo dużej sejsmiczności, jak Chile czy Japonia, podobne efekty występują na skutek tzw. upłynnienia gruntu (liquefaction) (por. np. [1]). Są to jednak zjawiska występujące jedynie podczas wstrząsów o bardzo dużej magnitudzie, na ogół większej od 7. Upłynnieniu gruntu sprzyja długi czas trwania wymuszeń, z jakim często mamy do czynienia podczas największych trzęsień ziemi.

### Uszkodzenia obiektów budowlanych w Polsce północno-wschodniej

Kilka dni po trzęsieniu ziemi autorzy przebywali w miastach Polski północno-wschodniej, aby ocenić zakres uszkodzeń obiektów budowlanych. Na rysunku 4 przedstawiono rozmieszczenie szkód powstałych w wyniku wstrząsów sejsmicznych. Ogółem odnotowano różnorodne uszkodzenia w ponad 100 obiektach budowlanych w 23 miejscowościach w województwach: podlaskim (54), warmińsko-mazurskim (45) i pomorskim (9). Większość tych uszkodzeń powstała w obiektach starych, znajdujących się już wcześniej w złym stanie technicznym. Dokonujący oględzin wielokrotnie mieli trudności w ocenie czy dane uszkodzenie było bezpośrednim efektem trzęsienia ziemi, czy też wstrząsy spowodowały jedynie jego pogłębienie. Najłatwiejsze były sytuacje, gdy w miejscu uszkodzenia znajdował się świeżo odspojony tynk lub podobne ślady. W ocenie skutków wstrząsów wykorzystano także relacje mieszkańców. Najwięcej szkód stwierdzono w Suwałkach, gdzie odczuwalność wstrząsów była największa. Tam też uszkodzenia wystąpiły również w budynkach nowych oraz kilkunastoletnich, znajdujących się w dobrym stanie technicznym. Odnotowane uszkodzenia należą do drobnych niekonstrukcyjnych. Można je podzielić na kilka charakterystycznych grup:



Rys. 4. Liczba odnotowanych uszkodzeń obiektów budowlanych w Polsce północno-wschodniej po trzęsieniach ziemi z 21 września 2004 r. oraz szacowanie intensywności wstrząsów. Skala EMS-98 (MSK-64)

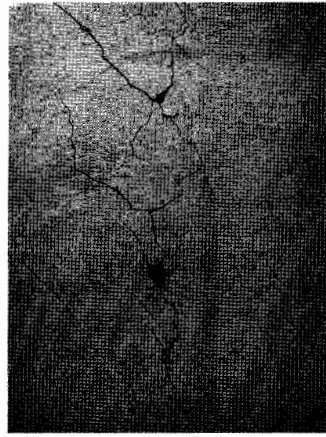
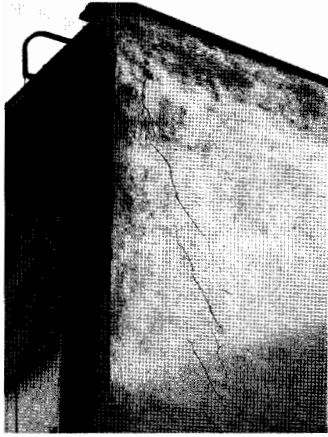
– dwa rodzaje, w ocenie autorów najpoważniejsze, w samej konstrukcji szkieletowej (rys. 5 i 6),  
 – różnorodne pęknięcia i odpadnięcia tynków i wypraw (rys. 7, 8),  
 – zarysowania ścian i innych konstrukcji murowanych z cegły (rys. 8),  
 – pęknięcia wzdłuż nadproży okiennych i drzwiowych (rys. 9),  
 – zarysowania pojawiające się na styku prefabrykatów (np. korytkowych płyt dachowych) oraz pomiędzy płytami stropowymi,  
 – pęknięcia ścian działowych,  
 – odspojenie się stolarki okiennej i drzwiowej,  
 – pęknięcie lub wypadnięcie szyby, osunięcie dachówek itp.



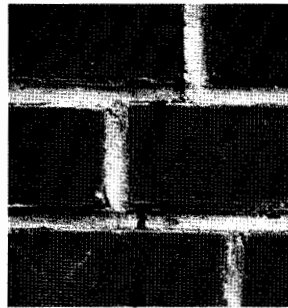
Rys. 5. Suwałki – budynek mieszkalny, tzw. „Hotel Pielęgniarek”; pęknięcie tynku wzdłuż słupa



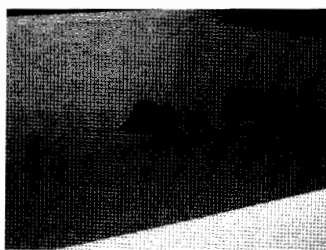
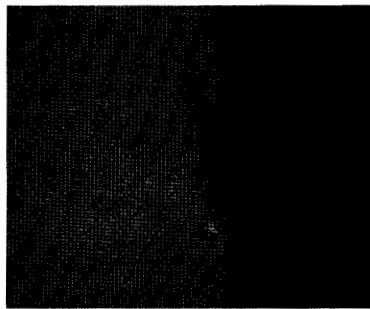
Rys. 6. Suwałki – Szpital Psychiatryczny; zarysowanie poprzeczne belek żelbetonowych



Rys. 7. Suwałki – Szkoła Podstawowa nr 10, ul. Antoniewicza; pęknięcia tynku na ścianie szczytowej

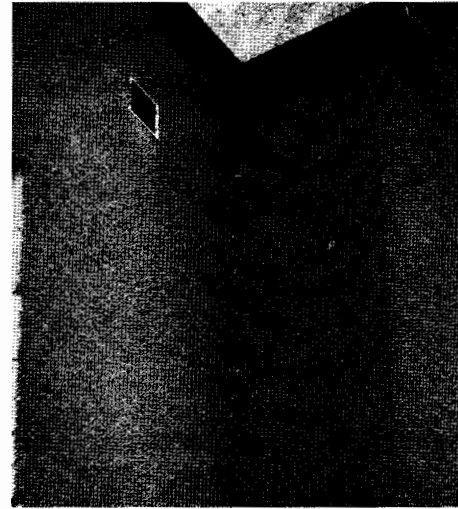


Rys. 8. Suwałki – nowy budynek Szkoły Podstawowej nr 11, ul. Szpitalna; widok ogólny, odpadnięcie tynku oraz pęknięcie muru ceglanoego



Rys. 9. Suwałki – Centrum Edukacji Nauczycieli, ul. Reja – charakterystyczne pęknięcia tynku pomiędzy stropem a nadprożem okiennym

W kilku przypadkach pojawiły się w budynkach pęknięcia tynku, będące efektem ujawnienia się niepotrzebnie otynkowanej dylatacji (rys. 10). Choć takie uszkodzenia są nieszkodliwe, to jednak wywołały one największe zaniepokojenie mieszkańców i najczęściej sensacji w mediach. Pęknięcia te wystąpiły w budynkach niewysokich (kilkukondygnacyjnych), często o nieregularnym przekroju poprzecznym (np. w kształcie litery U), składających się z kilku oddzielnych części (skrzydeł). Uszkodzenia te świadczą o tym, że sąsiednie części konstrukcji pracowały niezależnie wykazując różną odpowiedź podczas trzęsienia ziemi, co doprowadziło do pęknięć i odpadnięcia tynku w miejscach kontaktu. Zdaniem autorów zachowanie takie wynikało przede wszystkim z różnych wartości parametrów dyna-



Rys. 10. Suwałki – budynek mieszkalny, ul. Reja; pęknięcie i odpadnięcie tynku w miejscu dylatacji; efekt, który wywoływał największą negatywnych reakcji mieszkańców

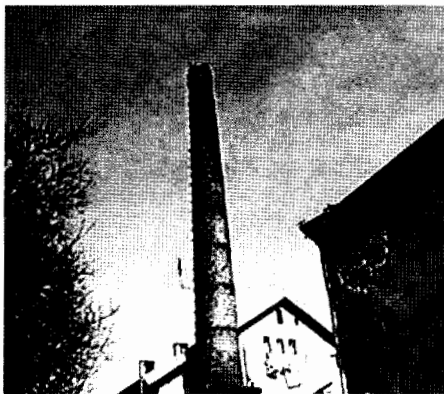
micznych (głównie sztywności i masy) poszczególnych części budynku. Ponadto, z uwagi na fakt, że obiekty te zajmują znaczną powierzchnię, możliwe jest również, iż sąsiednie części budynku wzbudzone były nierównomiernie ze względu na różnice w warunkach gruntowych oraz efekt propagacji fali sejsmicznej (por. np. [3]). W omawianym przypadku były to uszkodzenia nieszkodliwe. Warto jednak nadmienić, że w przypadku dużych trzęsień ziemi różna odpowiedź niezależnych części jednego budynku lub dwóch sąsiednich może prowadzić do destrukcyjnych zderzeń pomiędzy nimi (structural pounding). To niebezpieczne zjawisko może być przyczyną znacznego uszkodzenia budowli lub nawet jej całkowitego zniszczenia (por. [2]).

W Braniewie, miejscowości znajdującej się najbliższej epicentrum po polskiej stronie granicy, uszkodzeniu uległ stary, ceglany komin mleczarni, wysokości 25 m. Komin ten, ze względu na zły stan techniczny, już wcześniej był przeznaczony do rozbioru. Bezpośrednio po trzęsieniu ziemi, nie chcąc ryzykować katastrofy budowlanej, komin rozebrano, ewakuując wcześniej mieszkańców okolicznych budynków. Według relacji nadzoru budowlanego, w wyniku wstrząsów pęknięciu uległa najwyższa położona opaska metalowa ściskająca trzon komina, a także pojawiły się i pogłębiły zarysowania konstrukcji ceglanej. Co ciekawe, najczęściej uszkodzeń odnotowano w górnej części trzonu. Potwierdza to teoretycznie zweryfikowaną kiedyś tezę [8], że komin przemysłowy poddany wpływom sejsmicznym podlegają szczególnym uszkodzeniom w górnej części ich trzonu. Na rysunkach 11 i 12 przedstawiono omawiany komin przed trzęsieniem ziemi oraz w końcowej fazie rozbioru.

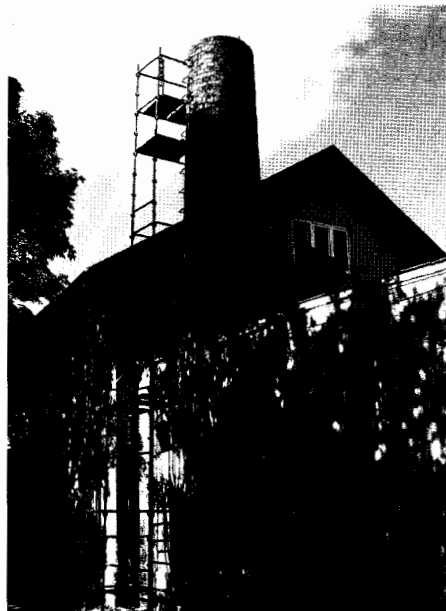
Podobne, co do charakteru, jakkolwiek dotyczące zupełnie innego obiektu budowlanego było „wypadnięcie” gzymsu ze ściany zewnętrznej w jednym z historycznych budynków przy głównej ulicy w Suwałkach.

Innym uszkodzeniem spowodowanym trzęsieniem ziemi było rozszczelnienie instalacji gazowej w budynku mieszkalnym w Kętrzynie, co oczywiście wymagało pilnej interwencji służb gazowniczych. Ponadto uważa się, że wstrząsy sejsmiczne z 21 września były przyczyną naruszenia fundamentu (z kamienia łamanego na zaprawie glinianej) wykonanego pod starym magazynem zbożowym w miejscowości Dąbrówka Mała (gmina Węgorzewo), co najprawdopodobniej było **pośrednią** przyczyną zawalenia się ściany szczytowej tego magazynu 23 września 2004 r. około godziny 6.00 rano (rys. 13).

Innymi, wartymi odrębnej wzmianki, uszkodzeniami zgłoszonymi po trzęsieniu ziemi były pęknięcia wzdłużne w stu-



Rys. 11. Komin mleczarni w Braniewie (widok przed trzęsieniem ziemi)



Rys. 12. Komin mleczarni w Braniewie w końcowej fazie rozbiórki



Rys. 13. Zawalona ściana spichlerza zbożowego w Dąbrówce Małej. Nie ma stuprocentowej pewności, czy zjawisko to można uznać za pośredni efekt wstrząsów sejsmicznych z 21 września 2004 r.

dzienkach rewizyjnych i poprzeczne rurociągów betonowych kolektora burzowego w Braniewie oraz wyciek wody z zaplombowanej studni artezyjskiej w budynku gospodarczym w miejscowości Gutowo (gmina Lubawa). W tych przypadkach jednak trudno jest jednoznacznie stwierdzić, w jakim stopniu uszkodzenia te były spowodowane wstrząsami sejsmicznymi. Wiadomości telewizyjne informowały (w listopadzie) o uszkodzeniach w zabudowach zabytkowego klasztoru Kamedułów położonego na wyspie na jeziorze Wigry w gminie Suwałki. Sprawą zajmują się również rzeczoznawcy budowlani. Rozważa się dwie wersje przyczyn: poszerzenie się istniejących wcześniej uszkodzeń lub powstanie nowych pęknięć.

W grupie budynków wielkopłytowych określonych terminem wysokich (powyżej 5. kondygnacji) nie stwierdzono ani uszkodzeń elementów konstrukcyjnych, ani opisywanych tu powyżej pęknięć, zarysowań, odprysnięć itp. w elementach wykończeniowych.

Typowym poważnym uszkodzeniem w murowanych budynkach ścianowych, powodowanym przez wstrząsy sejsmiczne, są „krzyżujące się” rysy ukośne w pasmach ściennych pomiędzy otworami lub w nadprożach (tzw. krzyże św. Andrzeja). Świeższy rys tego rodzaju w przeglądanych budynkach nie zaobserwowano.

#### Ocena intensywności wstrząsów na terenie Polski

Analizując maksymalne wartości przyspieszeń i prędkości podane w tabelicy można zauważyć, że są to stosunkowo niewielkie wartości. W szczególności maksymalne prędkości nie przekraczające 0,5 cm/s to wartości wielokrotnie mniejsze od rejestrowanych podczas słabych wstrząsów górniczych w LGOM (por. [7, 4]). Wstrząsy górnicze o prędkościach mniejszych niż 0,5 cm/s i przyspieszeniach poniżej 10 cm/s<sup>2</sup> nie wywołałyby w Polkowicach żadnych uszkodzeń obiektów budowlanych. Pojawia się zatem pytanie: dlaczego jednak w Suwałkach odnotowano ich znaczną liczbę? Przyczyn może być kilka:

1. Zapisy z rys. 2 i 3 przedstawiają przebieg drgań gruntu w określonym miejscu w Suwałkach. W innych miejscach wstrząsy mogły być nawet 2 ÷ 3 razy większe (lub mniejsze) ze względu na specyficzną budowę geologiczną miejsca ich odbioru. Warto nadmienić, że tematyki tej dotyczy dział inżynierii sejsmicznej zwany mikrorejonezacją sejsmiczną.

2. Z rysunku 2 i 3 widać wyraźnie, że trzęsienia ziemi trwały stosunkowo długo. Faza silnych wstrząsów podczas pierwszego wstrząsu to około 30 s, a drugiego – nawet ponad 50 s. Silna faza wstrząsów górniczych w LGOM trwa najczęściej 1 ÷ 2 s, a w skrajnych przypadkach dochodzi do 5 ÷ 6 s. Nie ulega wątpliwości, że czas trwania wstrząsów bliski 60 s, nawet

#### Maksymalne przyspieszenia i prędkości wstrząsów z 21 września 2004 r. zarejestrowanych w Suwałkach

Czas	PGA <sub>hor</sub> , cm/s <sup>2</sup>	PGA <sub>z</sub> , cm/s <sup>2</sup>	PGV <sub>hor</sub> , cm/s	PGV <sub>z</sub> , cm/s
13.05	4,3	4,7	0,2	0,1
15.32	10,2	7,0	0,5	0,3

przy niskim poziomie drgań, może spowodować pojawienie się większej liczby uszkodzeń niż przy krótkich, kilkusekundowych wstrząsach.

3. Większość uszkodzeń odnotowanych w Polsce północno-wschodniej podczas trzęsień ziemi 21 września 2004 r. dotyczy obiektów budowlanych znajdujących się w złym stanie technicznym. Takie obiekty podlegają w regionie LGOM skrupulatnie prowadzonej profilaktyce przeciw skutkom wstrząsów górniczych, np. wzmacnianiu (por. [10]).

Analizując odnotowane uszkodzenia obiektów budowlanych i relacje świadków można ocenić, że obszar bezpośrednio na południe w odległości około 100 km od epicentrum (Braniewo, Gdańsk, Elbląg, Olsztyn, Kętrzyn) był poddany wstrząsom o maksymalnej intensywności około IV w skali EMS-98 (MSK-64 lub MM). Natomiast okolice Suwałk i Augustowa, odległe około 200 km od epicentrum, wstrząsom o intensywności V w tych skalach. Może się to wydać dziwne ze względu na dwukrotną różnicę w odległości od epicentrum obu obszarów. Ze względu jednak na charakter propagacji fal sejsmicznych i różnice w budowie geologicznej skorupy ziemskiej na drodze tych fal, nie jest rzadkością, że izosejsty (krzywe wokół epicentrum opisujące miejsca o tych samych intensywnościach) mają kształt eliptyczny, wskazując na kierunek lepszej propagacji fal. Szacowane intensywności zaznaczono na rys. 4. Należy tu dodać, że fale sejsmiczne już od samego źródła rozchodzą się nierównomiernie i jest możliwe, że w okolicach Gdańska i Braniewa mniej szkodliwa w odniesieniu do obiektów budowlanych składowa pionowa mogła dominować w drganiach podłoża.

Najważniejszym wskaźnikiem opisującym destrukcyjny wpływ trzęsienia ziemi na obiekty budowlane jest wykres jego spektrum odpowiedzi. Jest to zależność między okresem drgań własnych oscylatora (układu o jednym stopniu swobody) a wybraną wielkością opisującą odpowiedź tego oscylato-

ra (np. przemieszczeniem, prędkością, przyspieszeniem). Na rysunkach 14 i 15 przedstawiono wykresy przemieszczeniowego i przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi obu wstrząsów z 21 września 2004 r. Z wykresu przemieszczeniowych spektrów odpowiedzi (u góry rys. 14 i 15) można odczytać wyraźne wzmocnienie odpowiedzi przy okresie drgań własnych 1 s w przypadku obu wstrząsów i dodatkowo w drugim wstrząsie pewne (choć mniejsze) wzmocnienie odpowiedzi w przypadku okresu drgań własnych 0,5 s. Okres drgań około 1 s to parametr dynamiczny charakterystyczny w odniesieniu do typowych budynków 11-kondygnacyjnych. W takich budynkach trzęsienie to musiało być zatem szczególnie odczuwalne, co potwierdzają relacje mieszkańców. Z drugiej jednak strony znaczna sztywność przestrzenna budynków wielopłytkowych „chroniła” je przed pojawieniem się nawet „kosmetycznych” uszkodzeń w elementach niekonstrukcyjnych; przemieszczenia do około 0,2 mm (por. spektra na rys. 14 i 15) są nic nie znaczące w tego rodzaju konstrukcjach.

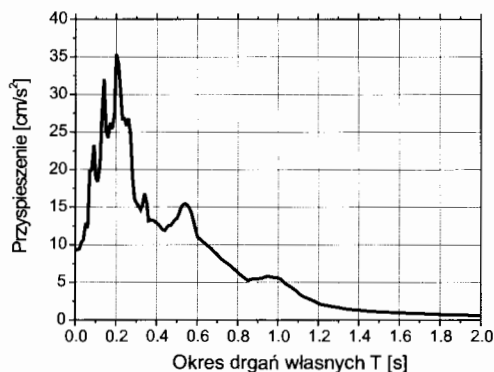
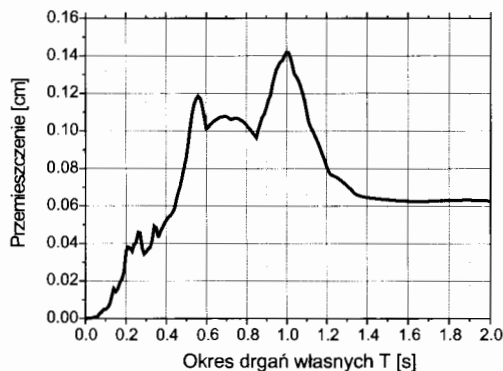
Bardzo charakterystyczne jest porównanie skutków wstrząsów stwierdzonych na obiekty budowlane, którego spektrum odpowiedzi nie ujmuje, jest czas trwania fazy silnych wstrząsów. Dodajmy, że chodzi tu o czas trwania wstrząsów na powierzchni gruntu, a nie czas trwania trzęsienia ziemi w jego ognisku. Parametr ten doczekał się już szczegółowych analiz w inżynierii sejsmicznej (por. np. [6, 9]). Jak to już zauważono, ten czas – bliski jednej minucie – mógł być wystarczająco długi, aby wstrząs miał szczególnie destrukcyjny wpływ na obiekty bu-

dowlane. Tak długi czas silnej fazy wstrząsów to cecha typowa w zapisach trzęsień ziemi z odległych epicentrow. Czy jednak wydłużenie czasu trwania wstrząsów nastąpiło wyłącznie na skutek propagacji fal z odległości 200 km, czy też już w okolicy epicentrum był on długi, trudno jest rozstrzygnąć przy braku zapisów z okolic bliskich epicentrum (informacja z Instytutu Fizyki Ziemi Rosyjskiej Akademii Nauk – prof. *Nikonov*). Wystąpienie opisanych wcześniej uszkodzeń gruntu podobnych do jego upłynienia wskazywałoby jednak na długi czas wymuszeń w strefie epicentralnej.

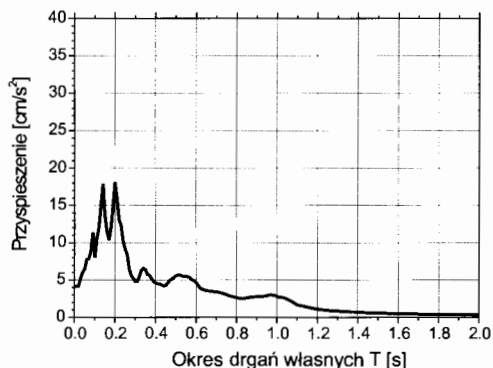
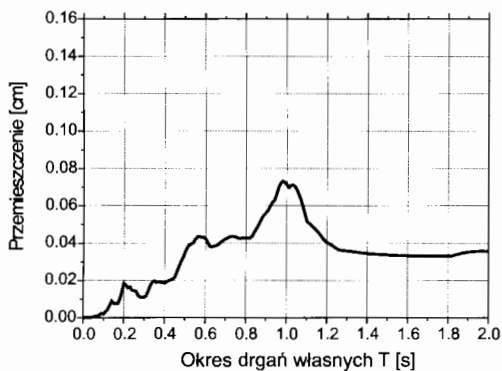
### Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono wstępne podsumowanie informacji na temat trzęsień ziemi z 21 września 2004 r., z epicentrum w Obwodzie Kaliningradzkim, i skutkach wstrząsów na terenie Polski. Skutki te były różnorodne. Przede wszystkim odnotowane uszkodzenia miały charakter **uszkodzeń drobnych, niekonstrukcyjnych**. Nie dziwi, że większość tych drobnych szkód dotyczy obiektów budowlanych w złym stanie technicznym. Dziwić mogą stosunkowo małe prędkości i przyspieszenia, przy których wystąpiły drobne uszkodzenia także obiektów w dobrym stanie technicznym. Wskazuje to, **jak znacznie różnią się od siebie, co do skutków powierzchniowych, nawet najsilniejsze, te niskoczęstotliwościowe wstrząsy górnicze** (tzw. typ II w pracach [4, 5]) i **naturalne trzęsienia ziemi**.

Większość uszkodzeń zauważonych w Suwałkach dotyczyło **żelbetowych lub stalowych budynków szkieletowych**, a nie ścianowych prefabrykowanych. Wynika to z **większej sztywności przestrzennej tych drugich**, zapewniającej podczas drgań mniejsze odkształcenia elementów materiałów wykończeniowych, takich jak tynki, czy elementów drugorzędnych (ściany działowe). Ta korzystna cecha budynków prefabrykowanych, zapewniająca im dobrą odporność na drobne uszkodzenia pod wpływem słabych i średniointensywnych wstrząsów, staje się jednak ich wadą podczas silnych, katastrofalnych trzęsień ziemi, gdy jest potrzebna zdolność obiek-



Rys. 15. Przebiegi spektrów odpowiedzi: przemieszczeniowego i przyspieszeniowego w drugim wstrząsie z 21 września 2004 r. (godz. 15.32), kierunek N-S



Rys. 14. Przebiegi spektrów odpowiedzi: przemieszczeniowego i przyspieszeniowego w pierwszym wstrząsie z 21 września 2004 r. (godz. 13.05), kierunek N-S

tów budowlanych do akumulacji energii wstrząsów w trwałe odkształcenia plastyczne.

Pojawienie się trzęsienia ziemi w Obwodzie Kaliningradzkim uznano za zdarzenie sensacyjne. Ten obszar Europy jest powszechnie uznawany za strefę o bardzo niskiej sejsmiczności (pewne, niepotwierdzone informacje (prasowe) z Obwodu Kaliningradzkiego wspominają o słabych wstrząsach sejsmicznych odnotowanych tam w latach dziewięćdziesiątych, jednak bez żadnego wpływu na obszar Polski). Z większym prawdopodobieństwem można by oczekiwać podobnego zjawiska dochodzącego do Polski z południa, np. z terenu Słowacji. Jedynym wytłumaczeniem trzęsienia wydaje się być jego polodowcowe pochodzenie. Ten charakter wstrząsów sejsmicznych z 21 września 2004 r. mógł być także odpowiedzialny za jego specyficzne, nietypowe cechy, jak szczególnie długi czas trwania czy zagadkowe uszkodzenie gruntu w rejonie epicentrum.

W budownictwie większość ekstremalnych obciążeń analizuje się w skali czasowej 50 lub czasem 100 lat w przypadku budowli monumentalnych. Dotyczy to w szczególności obciążenia wiatrem i śniegiem. Ostatnie powodzie na południu Polski, a w szczególności wielka powódź z 1997 roku wskazują, że czasem trzeba liczyć się z wystąpieniem zjawiska nie spotykanego od 500 czy 1000 lat na danym terenie. Jest więc zatem jedynie kwestią umowy, opartej na kryteriach racjonalności ekonomicznej, w jakim okresie powrotu chcemy analizować potencjalne destrukcyjne wpływy na budowle. Na przykład w projektowaniu elektrowni jądrowych czy szczególnie odpowiedzialnych zapór okres ten wynosi nawet 10 000 lat. W takiej skali czasowej silne zjawiska sejsmiczne występują w dowolnym miejscu na Ziemi. Świadczy o tym analiza historycznych zapisków skutków katastrof naturalnych, które miały miejsce na naszej planecie, w tym także na terenie Polski.

Wstrząs sejsmiczny w obszarze, w którym takie zjawiska nie występują, to ogromne zaskoczenie, zamieszanie i niepokój w funkcjonowaniu aglomeracji; w świetle obserwacji z krótkiej perspektywy czasowej oraz zasłyszanych relacji władze terytorialne i służby im podległe dobrze radziły sobie podczas tej sytuacji wyjątkowej.

Oceny budowlane wytypowanych obiektów powinny być doprowadzone do końca. Być może ujawnią one nowe fakty, które powinny być przedyskutowane ze specjalistami i takie zadanie doradza się do realizacji administracji terenowej.

### Podziękowania

Autorzy niniejszego artykułu pragną podziękować pracownikom i decydom: inspektoratów nadzoru budowlanego, państwowej straży pożarnej, urzędów miejskich oraz centrów

zarządzania kryzysowego w miastach północno-wschodniej Polski za udzieloną pomoc. Szczególne podziękowania należą się Pani inż. *Lucynie Bubrowskiej* i Panu inż. *Mirostawowi Szczęsnemu* z Powiatowego Inspektoratu Nadzoru Budowlanego Miasta Suwałk za życzliwość i pomoc w oględzinach obiektów budowlanych. Słowa podziękowania kierujemy również do dr. *Pawła Wiejacza* z Instytutu Geofizyki PAN w Warszawie za udostępnienie danych ze stacji seismograficznych oraz fachową konsultację niniejszego artykułu.

Z inicjatywą (a także i poleceniami) do działań bezpośrednio po trzęsieniach ziemi wystąpiła również dyrekcja Instytutu Techniki Budowlanej. Omawiane tu prace autorów zostały częściowo wsparte finansowaniem przez ten Instytut.

### PIŚMIENNICTWO

- [1] *Ciesielski R.*: Skutki uplastycznienia gruntu (liquefaction) powstającego przy wpływach sejsmicznych i parasejsmicznych. X sympozjum „Wpływy sejsmiczne i parasejsmiczne na budowle”, Kraków, 27–28 listopada 2003.
- [2] *Jankowski R.*: Non-linear modelling of earthquake induced pounding of buildings. Proc. of XXI International Congress of Theoretical and Applied Mechanics [CD-ROM], Warszawa, 15–21 sierpnia 2004.
- [3] *Jankowski R., Wilde K.*: A simple method of conditional random field simulation of ground motions for long structures. „Engineering Structures”, vol. 22, no. 5, 2000.
- [4] *Zembaty Z.*: Rockburst induced ground motion – a comparative study. „Soil Dynamics & Earthquake Engineering”, vol. 24, no. 1, January 2004.
- [5] *Johnston J. C.*: Rockbursts from a global perspective, in: Induced Seismicity. Edited by Knoll P. Balkema, Rotterdam Brookfield 1992.
- [6] *Triñunac M. D., Brady A. G.*: A study on the duration of strong earthquake ground motion. „Bulletin of the Seismological Society of America”, vol. 65, 1975.
- [7] *Zembaty Z., Chmielewski T.*: Opisowe intensywności trzęsień ziemi i możliwości ich stosowania do oceny wstrząsów górniczych „Inżynieria i Budownictwo”, nr 9/2002.
- [8] *Zembaty Z.*: On the reliability of tower-shaped structures under seismic excitations. „International Journal of Earthquake Engineering & Structural Dynamics”, vol. 15, 1987.
- [9] *Zembaty Z.*: A note on non-stationary stochastic response and strong motion duration. „Earthquake Engineering & Structural Dynamics”, vol. 16, 1988.
- [10] *Cholewicki A.*: Budynki wielkopłytowe podlegające wstrząsom górniczym. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2002.

**Od redakcji.** Autorzy od wielu lat specjalizują się w problematyce inżynierii sejsmicznej i parasejsmicznej, a w szczególności w problematyce oceny skutków wstrząsów górniczych na obiekty budowlane (np. w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym) oraz w zagadnieniach eksportu polskiego budownictwa do krajów leżących na terenach aktywnych sejsmicznie. Profesor *Zbigniew Zembaty* jest przedstawicielem Polski w Europejskim Stowarzyszeniu Inżynierii Sejsmicznej (EAGE).

NOWE KSIĄŻKI • NOWE KSIĄŻKI • NOWE KSIĄŻKI • NOWE KSIĄŻKI • NOWE KSIĄŻKI • NOWE KSIĄŻKI • NOWE KSIĄŻKI • NOWE KSIĄŻKI • NOWE KSIĄŻKI

**Przyporządkowanie określeniom występującym w przepisach techniczno-budowlanych klas reakcji na ogień według PN-EN.** Instrukcja nr 401/2004. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2004, stron 25.

Autorami instrukcji są: dr hab. inż. *Mirostaw Kosiorek*, dr inż. *Andrzej Kolbrecki*. Jej przedmiotem jest przyporządkowanie klas materiałów i wyrobów w zakresie reakcji na ogień, według ustaleń podanych w decyzjach Komisji Europejskiej i normach PN-EN, określeniom używanym w polskich przepisach techniczno-budowlanych.

W instrukcji ujęto określenia stosowane w przepisach techniczno-budowlanych, dotyczące stopnia palności i rozprzestrzeniania ognia, z wyjątkiem: materiałów łatwo zapalnych, których produkty spalania są bardzo toksyczne, gdyż w systemie euroklas (tzn. klas ustalonych decyzjami Komisji Europejskiej) nie uwzględniono toksyczności produktów spalania; rozprzestrzeniania ognia przez ściany zewnętrzne przy działaniu ognia od zewnątrz, gdyż system euroklas jest oparty na założeniach pożaru w pomieszczeniach; rozprzestrzeniania ognia przez przewody i kable elektryczne,

gdyż odpowiednie normy europejskie są w fazie opracowania.

Instrukcja jest przeznaczona dla projektantów, wykonawców, nadzoru budowlanego, rzeczoznawców i inwestorów.

S. P.

\*\*\*

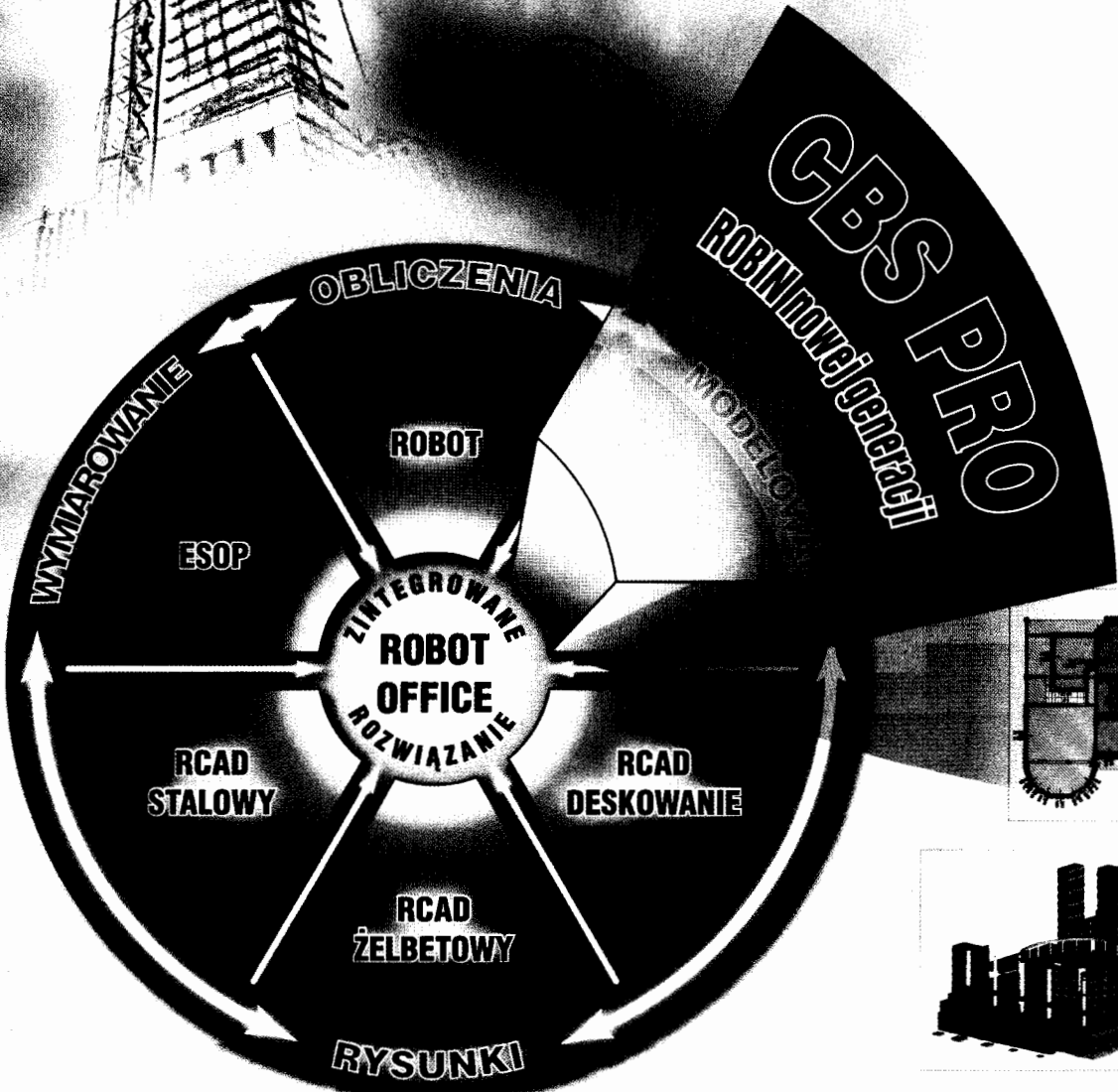
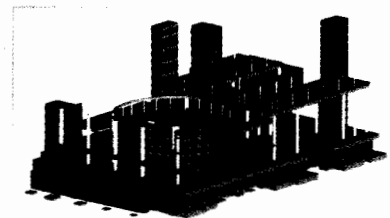
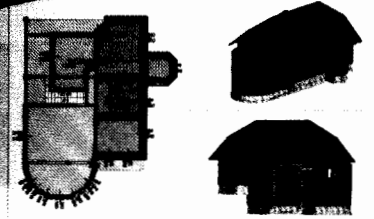
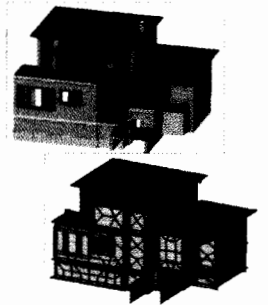
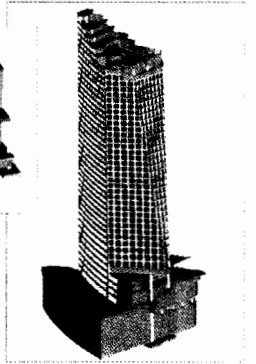
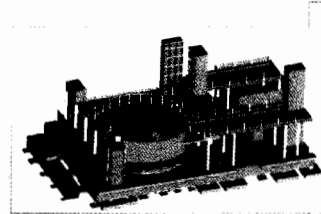
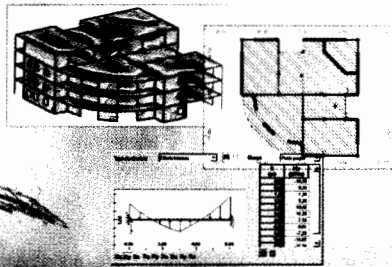
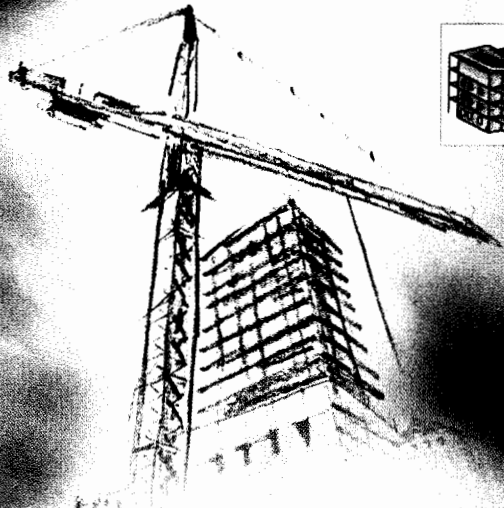
Informację dotyczącą nabycia wydawnictw ITB można uzyskać w Ośrodku Informacji Naukowo-Technicznej ITB – Dział Wydawniczy: 02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel. (0-22) 566-42-08; 843-35-19, fax (0-22) 566-42-82.

1/05

# INŻYNIERIA BUDOWNICTWO



1/2005



 **budma**  
pawilon 15A, stoisko 109

Firma Informatyczna RoboBAT  
ul. Odlewnicza 68  
30-142 Kraków [www.robobat.pl](http://www.robobat.pl) 