

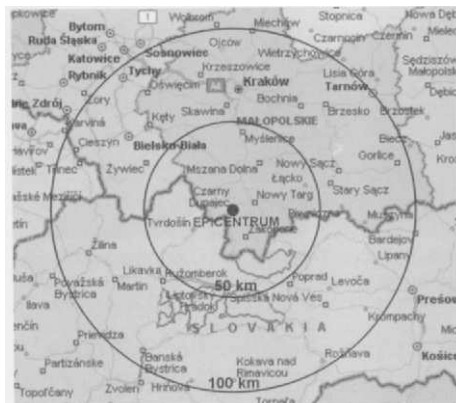
Trzęsienie ziemi 30 listopada 2004 r. na Podhalu oraz jego wpływ na obiekty budowlane

30 listopada 2004 roku, zaledwie dwa miesiące po trzęsieniach ziemi w Obwodzie Kaliningradzkim, których destrukcyjne skutki dotarły na tereny Polski północno-wschodniej [3], wystąpiło trzęsienie ziemi na Podhalu, a jego epicentrum znajdowało się na terytorium Polski. Odnotowano uszkodzenia obiektów budowlanych (głównie pęknięcia ścian i trzonów kominowych) na terenie dwóch powiatów: nowotarskiego i tatrzańskiego.

W artykule podsumowano wiedzę dotyczącą tego trzęsienia ziemi oraz przedstawiono ogólną ocenę uszkodzeń obiektów budowlanych w wyniku wstrząsu. Autorzy artykułu przebywali na terenach dotkniętych trzęsieniem kilka dni po jego wystąpieniu. Przypadki indywidualne uszkodzeń są badane przez lokalnych rzeczoznawców budowlanych w ramach ekspertyz technicznych. Autorzy nie ustosunkowują się zatem do zagadnień szczegółowych i dotyczących dalszego, bezpiecznego eksploataowania opisywanych obiektów.

Opis zjawiska

Trzęsienie ziemi na Podhalu wystąpiło 30 listopada 2004 r. o godzinie 18.18. Charakteryzowało się magnitudą szacowaną przez Instytut Geofizyki PAN oraz Europejsko-Śródziemnomorskie Centrum Sejsmologiczne EMSC we Francji na około 4,7 stopni w skali *Richtera* (4,6 według amerykańskich służb geologicznych USGS – United States Geological Survey). Głębokość ogniska wstrząsu oszacowano na około 10 km. Wstrząs był odczuwalny w Małopolsce, na Górnym Śląsku i Słowacji, w promieniu ponad 100 km od epicentrum, które znajdowało się w okolicach Czarnego Dunajca (rys. 1), około 15 km na południowy zachód od Nowego Targu. Według relacji mieszkańców trzeszczały ściany domów, drgały szyby, przesuwaly się meble, spadały doniczki z kwiatami i inne przedmioty. Po wstrząsie głównym zaobserwowano liczne wstrząsy następne (wtórne). Najsilniejszy z nich, o sile około 3,6 według IGF PAN (4,1 według



Rys. 1. Położenie epicentrum trzęsienia ziemi 30 listopada 2004 r.

EMSC), wystąpił 2 grudnia 2004 r. o godzinie 19.25. Drugi wystąpił 9 grudnia 2004 r. o godzinie 2.09 (około 3 stopni w skali *Richtera*). Kolejny wstrząs sejsmiczny o magnitudzie około 2,6 odnotowano na Podhalu 29 stycznia 2005 r. o godzinie 18.16. Tym razem jednak jego epicentrum znajdowało się w innym rejonie – około 20 km na północ od Nowego Sącza.

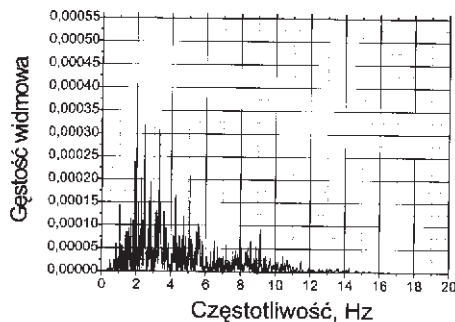
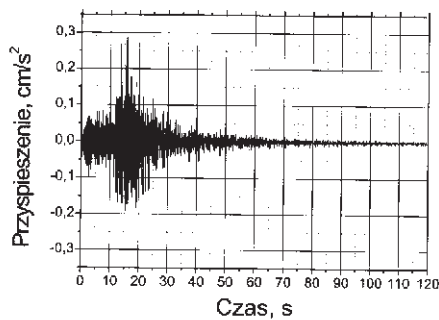
Występowanie trzęsień ziemi na Podhalu nie jest niczym wyjątkowym, gdyż podobne zjawiska obserwowano na tym terenie w przeszłości. Poprzedni podobny wstrząs sejsmiczny o sile około 3,7 stopni w skali *Richtera* miał miejsce 11 września 1995 r. (dwa mniejsze wstrząsy następne wystąpiły 13 października 1995 r.). Zdaniem sejsmologów występowanie trzęsień ziemi na terenie Podhala to wynik ciągłego wypiętrzania się Karpat.

Wstrząs sejsmiczny z 30 listopada 2004 r. został zarejestrowany przez różne stacje sejsmologiczne w całej Europie. Najbliższe epicentrum znajdowała się stacja pomiarowa IGF PAN w Niedzicy. Niestety, aparatura tam zainstalowana znajdowała się za blisko epicentrum i zapisy te uległy uszkodzeniu wskutek przesterowania rejestrowanych sygnałów. Dlatego też niemożliwe jest oszacowanie maksymalnych prędkości (PGV) i przyspieszeń (PGA), umożliwiających bezpo-

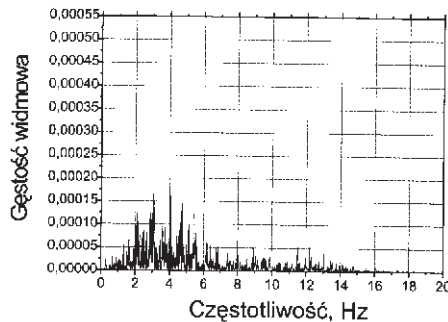
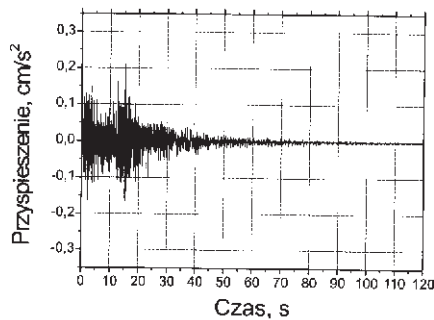
średnią ocenę intensywności wstrząsów blisko epicentrum. Najsilniejszy, prawidłowo zarejestrowany zapis tego trzęsienia ziemi pochodzi ze stacji IGF PAN w Ojcowie, znajdującej się około 90 km od epicentrum. Maksymalne prędkości tam zarejestrowane wyniosły około 0,15 mm/s, a przyspieszenia około 0,3 cm/s². Na rysunkach 2 ÷ 4 przedstawiono przebiegi czasowe przyspieszeń na kierunkach E-W, N-S oraz pionowym (Z), otrzymane na podstawie zapisów prędkości z tej stacji sejsmologicznej, a także odpowiadające im odpowiednie gęstości widmowe (spektra *Fouriera*). Jak widać w przypadku zapisu z Ojcowia, czas trwania silnej fazy wstrząsów wyniósł około 30 s. Z wykresów spektrów *Fouriera* widać, że dominująca energia tych wstrząsów była skupiona w większości w zakresie 2 ÷ 5 Hz, co jest typowe w naturalnych wstrząsach sejsmicznych.

Uszkodzenia obiektów budowlanych na Podhalu i ocena intensywności trzęsienia ziemi

Autorzy artykułu kilka dni po trzęsieniu ziemi ocenili zakres uszkodzeń konstrukcji budowlanych powstałych w jego wyniku. Na rysunku 5 przedstawiono zestawienie liczbowe uszkodzonych budowli w poszczególnych miejscowościach oraz podano szacowane intensywności wstrząsu. Według informacji uzyskanych z Powiatowych Inspektoratów Nadzoru Budowlanego, na obszarze dotkniętym trzęsieniem odnotowano różnorodne uszkodzenia w 35 obiektach budowlanych w 13 miejscowościach na terenie dwóch powiatów: nowotarskiego (23) i tatrzańskiego (12). Zgłoszenia dotyczyły głównie uszkodzeń kominów trzonów kuchennych oraz pęknięć ścian i żarysowań stropów. W wielu przypadkach nadzór budowlany nakazał wstrzymanie użytkowania uszkodzonych części budynków do czasu naprawy. W przypadkach wątpliwych wydano nakazy opracowania szczegółowych ekspertyz technicznych o stanie bezpieczeństwa i ewentualnym wzmocnieniu obiektów, jak również doraźny zakaz ich



Rys. 2. Zapisy przyspieszeń i odpowiednich spektrów Fouriera ze stacji seismologicznej w Ojcowie; trzęsienie ziemi z 30 listopada 2004 r. (kierunek E-W)

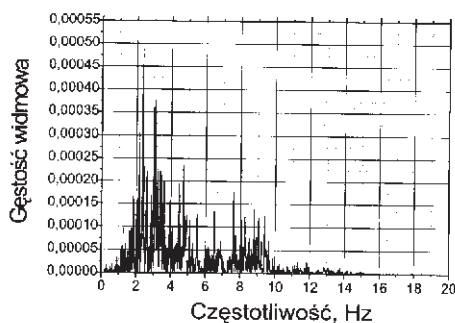
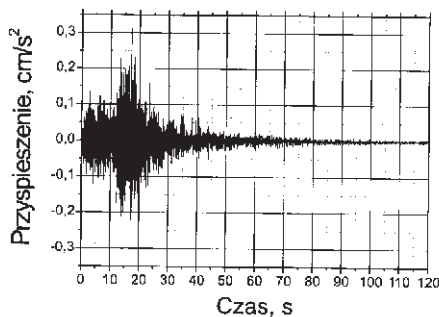


Rys. 4. Zapisy przyspieszeń i odpowiednich spektrów Fouriera ze stacji seismologicznej w Ojcowie; trzęsienie ziemi z 30 listopada 2004 r. (kierunek pionowy)



Rys. 5. Liczba uszkodzonych obiektów budowlanych wskutek trzęsienia ziemi 30 listopada 2004 r. oraz szacowane intensywności wstrząsu (skala EMS-98)

Charakterystyczne uszkodzenia pochodzenia sejsmicznego zaobserwowano w budynku kościoła pod wezwaniem Najświętszej Marii Królowej Polski oraz domu parafialnego w Cichem-Miętustwie. Poważnemu zarysowaniu uległa ściana wieży dzwonnicy kościoła (rys. 8), na której pojawiły się, w wyniku znacznych odkształceń postaciowych, wyraźne pęknięcia w jej górnej części (rysy ukośne od naroża otworu okiennego). Ponadto powstało pęknięcie na styku pomiędzy niską częścią wejścia bocznego a budynkiem głównym kościoła, przechodzące w niebezpieczne pęknięcie nadproża łukowego nad wejściem (por. rys. 8). Zdaniem autorów przyczyną takiego uszkodzenia była odmienna



Rys. 3. Zapisy przyspieszeń i odpowiednich spektrów Fouriera ze stacji seismologicznej w Ojcowie; trzęsienie ziemi z 30 listopada 2004 (kierunek N-S)

szemu uszkodzeniu uległ budynek Zespołu Szkoły Podstawowej i Gimnazjum. W ścianie zewnętrznej oraz w ścianach działowych pojawiły się klasyczne w przypadku konstrukcji murowanych ukośne pęknięcia, tzw. krzyże św. Andrzeja (rys. 6), świadczące o przemiennym charakterze wymuszenia sejsmicznego. Warto wspomnieć, że takie uszkodzenia są typowe przy silnych naturalnych wstrząsach sejsmicznych (np. [1]),



Rys. 6. Skrzypne – budynek Zespołu Szkoły Podstawowej i Gimnazjum; widok ogólny, uszkodzona ściana szczytowa, zarysowania ukośne ściany działowej

użytkowania. Najwięcej uszkodzonych konstrukcji budowlanych (11) stwierdzono w miejscowości Skrzypne położonej w odległości około 10 km od epicentrum wstrząsu. Po kilka zgłoszeń odnotowano w Czarnym Dunajcu oraz w innych okolicznych miejscowościach (Ciche, Zakopane, Biały Dunajec), pojedyncze przypadki uszkodzeń budynków zgłoszono w miejscowościach dalej położonych (Nowy Targ, Krempachy, Czarna Góra).

W samym Skrzypnem najpoważniej-

nie spotykanych na ogół w tej części Europy. Ponadto w budynku pojawiły się zarysowania w poziomych stykach ścian i stropów prefabrykowanych, a więc w miejscach wyjątkowo wrażliwych na oddziaływanie sił od wstrząsów sejsmicznych. W przypadku tego obiektu PINB z Nowego Targu nakazał ograniczenie użytkowania części budynku i jego naprawę w trybie natychmiastowym. W związku z tą decyzją zajęcia szkolne przeniesiono do innych pomieszczeń, a same prace remontowe rozpoczęto już kilka dni po trzęsieniu (rys. 7).



Rys. 7. Skrzypne – prace remontowe w budynku Zespołu Szkoły Podstawowej i Gimnazjum



Rys. 8. Ciche-Miętustwo – kościół; uszkodzona dzwonnica, wejście boczne z pękniętym nadprożem

praca dwóch części konstrukcji podczas trzęsienia ziemi, co było spowodowane znaczną różnicą w ich masie i sztywności (różne częstotliwości drgań). Pęknięcie sklepienia łukowego (portalu) nastąpiło w jego części środkowej, a więc w miejscu najmniejszego przekroju, powodując to, że część nadproża drgała razem z budynkiem głównym kościoła. Ze względu na niebezpieczeństwo zawalenia sklepienia, wejście boczne zostało całkowicie wyłączone z użytkowania. Ponadto w budynku kościoła pojawiły się zarysowania w połączeniach elementów stropu drewnianego (w nawach bocznych), w części sklepienia nad prezbiterium oraz w ścianach zewnętrznych i wewnętrznych. Liczne uszkodzenia wystąpiły również w budynku domu parafialnego znajdującego się w pobliżu kościoła. Najbardziej istotnym uszkodzeniem tego obiektu było pojawienie się ukośnych pęknięć w ścianie zewnętrznej (widocznych po obu stronach ściany) w kształcie krzyża św. Andrzeja, na całej wysokości pierwszej kondygnacji (rys. 9). Zaobserwowano ponadto liczne zarysowania i pęknięcia ścian działowych (por. rys. 9), świadczące o pracy przestrzennej ustroju konstrukcyjnego poddanego poziomym oddziaływaniom i odspojeniu stolarki okiennej, tak charakterystyczne w trzęsieniu ziemi z 21 września 2004 r.

Znaczna część zgłoszonych po trzęsieniu ziemi uszkodzeń dotyczyła kominów trzonów kuchennych w domach jednorodzinnych. Najbardziej ucierpiały górne części kominów, wystające nad połac dachu (rys. 10). W kilku przypadkach doszło nawet do oderwania się tych części i ich upadku na niżej położony dach lub na ziemię obok domu (por. rys. 10). Uszkodzenia takie są typowymi uszkodzeniami powstającymi podczas trzęsień ziemi. Wynikają one ze znacznie mniejszej sztywności poziomej tych elementów budowli, zwiększonych drgań konstrukcji dachów, na których kominy się opierają, oraz, co nie mniej ważne, częstego ich osłabienia wskutek korozji



Rys. 9 Ciche-Miętustwo – dom parafialny; widok ogólny, zarysowania ukośne ściany zewnętrznej – tzw. krzyż św. Andrzeja, pęknięcie ściany działowej

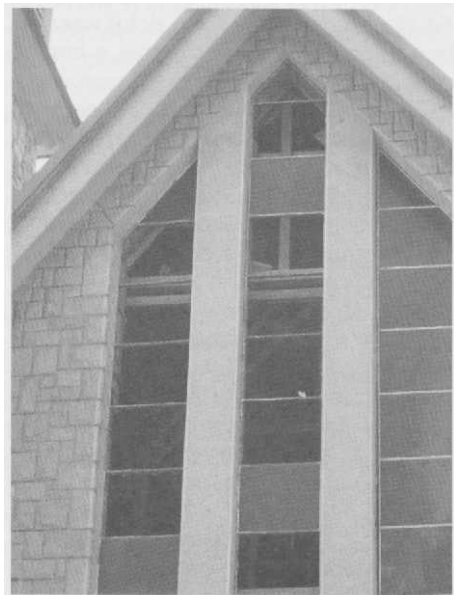
postępującej podczas eksploatacji (duże różnice temperatur i chemicznie agresywne spaliny).

Ponadto wskutek wstrząsu sejsmicznego na Podhalu 30 listopada 2004 r. z wielu dachów spadły dachówki, a także popękały lub wypadły szyby. W ko-



Rys. 10. Uszkodzenia kominów i komin, który spadł na ziemię

ściele w Skrzypnem całkowitemu zniszczeniu uległa większość szyb (w oknach witrażowych) na jednej ze ścian tego budynku (rys. 11). Innym uszkodzeniem było pęknięcie izolatora linii energetycznej średniego napięcia (15kV) w okolicy miejscowości Maruszyna, co spowodowało automatyczne wyłączenie tej linii tuż po wstrząsie i przerwę w dostawie prądu do kilku miejscowości, tj. do Białego Dunajca, Zęba, Bustryka, Bystrzych Nowych, Maruszyny, Szaflar, Bańskiej Niżnej. Zaraz po trzęsieniu ziemi zgłoszono także kilkanaście przypadków wyłączeń na lokalnych liniach niskiego na-



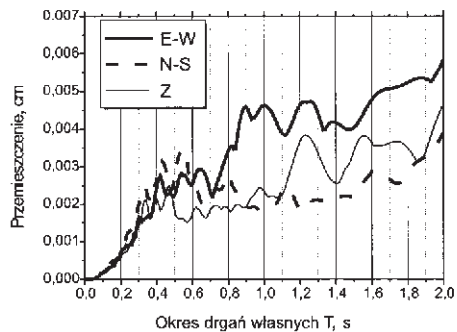
Rys. 11. Skrzypne – uszkodzone szyby w oknach kościoła (po trzęsieniu ziemi)

pięcia wskutek przepalenia się bezpieczników w stacjach transformatorowych. Zdaniem energetyków większość zgłoszonych przypadków spowodowanych było zwarciami przewodów elektrycznych, które mogły zostać wzbudzone do ruchu w czasie wstrząsu sejsmicznego. W kilku przypadkach wyłączenie linii niskiego napięcia było również spowodowane pęknięciem izolatorów tych linii. Potwierdza to wagę sejsmicznej kwalifikacji urządzeń elektroenergetycznych, których ewentualna awaria pogłębia chaos i może skutkować niebezpiecznymi pożarami, szczególnie przy ewentualnych, dodatkowych awariach sieci gazo-

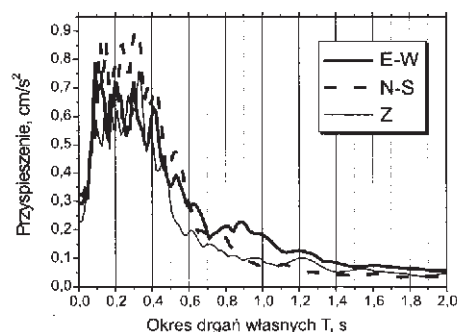
wej. Po analizowanym tu trzęsieniu ziemi z 30 listopada 2004 r. nie zgłoszono żadnych uszkodzeń instalacji gazowej, co odnotowano w przypadku poprzedniego trzęsienia ziemi na terenie Warmii i Mazur (por. [3]). Problematyka sejsmicznej kwalifikacji urządzeń elektroenergetycznych jest ważnym działem inżynierii sejsmicznej. Ze względu na fakt wykonywania w Polsce instalacji elektroenergetycznych na eksport do krajów aktywnych sejsmicznie, także w naszym kraju są wykonywane odpowiednie ekspertyzy tego rodzaju konstrukcji (por. [4]).

Obiektywna ocena maksymalnej intensywności wstrząsów jest utrudniona, gdyż brakuje poprawnych zapisów wymuszeń sejsmicznych z terenu w pobliżu epicentrum, a dysponowano jedynie zapisami z Ojcowa, odległego około 90 km od epicentrum, gdzie zarejestrowane prędkości wyniosły dużo mniej niż 1 mm/s. Analiza zapisów wstrząsów (por. rys. 2 ÷ 4) prowadzi do wniosku, że nie było to bardzo krótkie trzęsienie ziemi, a czas fazy silnych drgań w epicentrum wynosił zapewne powyżej 15 s. Analiza widm *Fouriera* (por. rys. 2 ÷ 4 u dołu) wskazuje na dominowanie wstrząsów o energii z pasma 2 ÷ 5 Hz. Do podobnych wniosków prowadzi analiza odpowiednich przemieszczeniowych i przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi (rys. 12, 13).

Na podstawie oględzin uszkodzeń oraz relacji mieszkańców można ocenić, że intensywność trzęsienia ziemi w Skrzypnem oraz w miejscowościach sąsiednich była największa i mogła wynosić VI w dwunastostopniowej, opisowej skali EMS-98. Skala EMS-98 jest unowocześnioną wersją skali MSK-64 i jest z nią w pełni kompatybilna. Oznacza to, że obecne przypisania do skali EMS-98 są także przypisaniami do skali MSK-64. Przypisania te są także bardzo zbliżone do ocen intensywności w skali MM (Modified Mercalli) popularnej w USA. Problemy podobieństw i różnic między opisowymi skalami intensywności zostały szczegółowo omówione w artykule, który ukazał się w „Inżynierii i Budownictwie” w roku 2002 [2]. O wystąpieniu intensywności VI świadczą przede wszystkim zniszczenia kominów na dachach domów, poważne, krzyżowe uszkodzenia niektórych ścian wykonanych z muru ceglanego, znajdujących się wcześniej w dobrym stanie technicznym, a także zauważone przez naocznych świadków przesunięcia mebli w niskich budynkach. Zauważono np. przesunięcie i wyraźne obrócenie ławek w klasach szkoły w Skrzypnem. Nie można wykluczyć w niektórych miejscach także wyższej intensywności, tj. VI+ (powyżej VI), jednak brak większych budowli w tych okolicach uniemożliwia



Rys. 12. Przebiegi przemieszczeniowych spektrów odpowiedzi; trzęsienie ziemi 30 listopada 2004 r. – stacja sejsmologiczna w Ojcowie (dwa kierunki poziome E-W i N-S oraz kierunek pionowy Z)



Rys. 13. Przebiegi przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi; trzęsienie ziemi 30 listopada 2004 r. – stacja sejsmologiczna w Ojcowie (dwa kierunki poziome E-W i N-S oraz kierunek pionowy Z)

wiarygodne potwierdzenie tego faktu. Należy dodać, że skala EMS-98 przypisuje uszkodzenia kominów na dachach domów do stopnia VII. Ponieważ jednak uszkodzenia kominów nie wystąpiły masowo i brak było innych cech intensywności VII (np. zawalenia się ścian działowych wewnątrz budynków), więc ostatecznie autorzy oceniają maksymalną intensywność na poziomie EMS=VI.

Z kolei, zdaniem autorów, okolice bliskie epicentrum (Czarny Dunajec) były poddane trzęsieniu o intensywności V+ (ponad V), a miejscowości bardziej oddalone, tj. Nowy Targ, Czarna Góra, Zakopane – intensywności IV ÷ V. Szacowane intensywności trzęsienia ziemi z 30 listopada 2004 r. na terenie Podhala przedstawiono na rys. 5.

Podsumowanie i wnioski

W wyniku trzęsienia ziemi na Podhalu 30 listopada 2004 r. uszkodzeniom uległa znaczna liczba obiektów budowlanych. Choć była to relatywnie mniejsza liczba niż na skutek wstrząsów sejsmicznych, które wystąpiły w Polsce północno-wschodniej 21 września 2004 r. (por. [3]), to jednak należy stwierdzić, że częściej były to uszkodzenia poważniejsze, a niektóre z nich nawet o charakterze konstrukcyjnym, jak np. uszkodzenie sklepienia nad wejściem bocznym do

kościół w Cichem-Miętustwie (por. rys. 8) lub poważne uszkodzenie jednej ze ścian budynku domu parafialnego w tej miejscowości (por. rys. 9). Do cech charakterystycznych tego trzęsienia ziemi zaliczyć też można zniszczenie kominów na dachach budynków oraz uszkodzenia urządzeń elektroenergetycznych, które spowodowały natychmiastowe wyłączenia prądu w licznych miejscowościach Podhala. Należy zwrócić uwagę na to, że na Podhalu znaczna część zabudowań to niskie domy jednorodzinne, z których te starsze, słabsze mają najczęściej konstrukcję drewnianą. Tego rodzaju budynki, nawet gdy są w nie najlepszym stanie technicznym, stosunkowo dobrze znoszą wymuszenia typu sejsmicznego. To samo trzęsienie ziemi z epicentrum pod którymś z miast o starej zabudowie (jak np. Suwałki) spowodowałoby z pewnością dużo poważniejsze skutki. Dlatego, zdaniem autorów, obszar w bezpośrednim sąsiedztwie epicentrum był poddany intensywniejszym wstrząsom niż te, które wystąpiły 21 września 2004 r. w Polsce północno-wschodniej. Uznać można, że intensywności te w niektórych miejscach osiągnęły co najmniej VI w skali EMS-98, w innych osiągnęły V lub przekroczyły tę wartość (V+), a w bardziej oddalonych miejscowościach wyniosły IV. Jeśli to trzęsienie ziemi pozostanie jedynie sporadycznym wydarzeniem, o okresie powrotu 10 ÷ 20 lat lub więcej, jak ma to miejsce do tej pory, to nie wydaje się celowe wprowadzanie specjalnych norm sejsmicznych w odniesieniu do tych terenów. Należy jednak pamiętać, że budowle specjalne i monumentalne, jak np. duże zbiorniki wodne czy elektrownie jądrowe, wymagają analizy ryzyka sejsmicznego o znacznie dłuższym okresie powrotu (nawet do 10 000 lat) i takie analizy sejsmiczne obejmować już będą znacznie większe intensywności wstrząsów – być może nawet IX lub X w skali EMS-98. Powtarzające się ostatnio na terenie Polski (np. rejon Podhala) wstrząsy sejsmiczne o średnich lub niewielkich intensywnościach wskazują, że o wpływach tych trzeba jednak pamiętać także w Polsce, np. przez respektowanie pewnych zasad inżynierii sejsmicznej (np. wzmocnienia kominów i ścian szczytowych w domach jednorodzinnych (np. [5])).

Podziękowania

Autorzy artykułu dziękują pracownikom inspektoratów nadzoru budowlanego na terenie Małopolski i Górnego Śląska oraz zakładów energetycznych w Nowym Targu i Zakopanem za udzieloną pomoc. Szczególne podziękowania kierują do inż. *Józefa Gąsienicy* i inż. *Da-*

riusza Mrugały z Powiatowego Inspektoratu Nadzoru Budowlanego w Nowym Targu za pomoc w oględzinach uszkodzonych obiektów budowlanych. Podziękowania kierujemy również do dr. Pawła Wiejacza z Instytutu Geofizyki PAN w Warszawie za udostępnienie danych ze stacji seismologicznej w Ojcowie oraz za fachową konsultację treści artykułu.

PIŚMIENNICTWO

- [1] *Paulay T., Priestley M. J. N.*: Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. John Wiley and Sons, New York 1992.
- [2] *Zembały Z., Chmielewski T.*: Opisowe intensywności trzęsień ziemi i możliwości ich stosowania do oceny wstrząsów górniczych. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 9/2002.
- [3] *Zembały Z., Cholewicki A., Jankowski R., Szulc J.*: Trzęsienia ziemi 21 września 2004 r. w Polsce północno-wschodniej oraz ich wpływ na obiekty budowlane. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 1/2005.
- [4] *Zembały Z., Kowalski M., Hornung P.*: Seismiczna kwalifikacja odłączników wysokiego napięcia. „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 5/2001.
- [5] *Kwiątek J. i inni*: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Rozdz: 11.5 i 11.6 (*Cholewicki A., Szulc J.*). Wydawnictwo GIG, Katowice 1997.