

ZJAWISKA SEJSMICZNE W REJONIE KOPALNI WĘGLA BRUNATNEGO BEŁCHATÓW

UKD 550.348.4:622.332'271.2(438-191.2 Bełchatów)'1979/1980.11.29+311/313''

Opinia publiczna naszego kraju została zbulwersowana trzęsieniem ziemi, jakie miało miejsce w godzinach wieczornych w sobotę 29 listopada ub.r. w rejonie Bełchatowa. Dla osób bliżej zorientowanych niespodzianką była magnituda tego wstrząsu, przekraczająca 4,5 w skali Richtera i rozległość obszaru makrosejsmicznego. Natomiast samo występowanie wstrząsów lokalnych o magnitudach nie przekraczających 3,6 w tej samej skali było już notowane kilkakrotnie w Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów, począwszy od sierpnia 1979 r. Trzeba podkreślić, że uprzednio w czasach historycznych nie notowano wstrząsów sejsmicznych w tym rejonie (16), a wystąpiły one po zawiązaniu prac górniczych w Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów. Dotychczas najsilniejsze wstrząsy w Polsce, indukowane górnictwem podziemnym, charakteryzowały się zbliżonymi wartościami magnitudy. I tak, wstrząs w rejonie Kopalni Węgla Kamiennego „Nowy Wirek” z 1952 r. miał magnitudę 4,2 (9) a wstrząs, który wystąpił 30 września 1980 r. na terenie kopalni „Szombierki” miał magnitudę 4,4. Podobnie, najsilniejszy wstrząs górniczy w Lubieńskim Okręgu Miedziowym, zanotowany 24 marca 1977 r. na pograniczu kopalń „Lubin” i „Polkowice” cechował się magnitudą 4,5 (10).

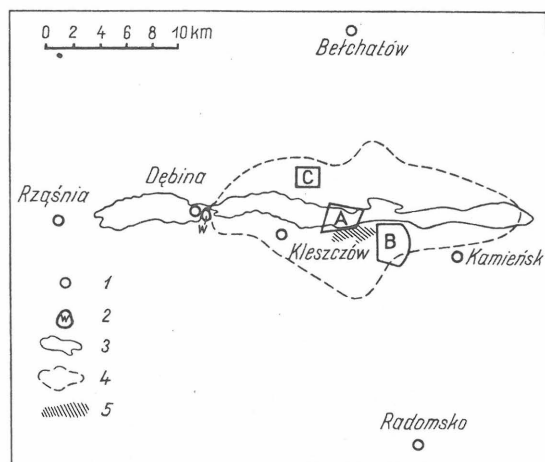
Prowadząc na terenie kopalni Bełchatów w latach 1979–80 badania mające na celu sformułowanie prognozy stateczności skarpy kopalni (13, 18, 19) mieliśmy sposobność dokonania obserwacji skutków powtarzających się wstrząsów oraz przestudiowania wielu materiałów geologicznych z tego terenu. Z inicjatywy kopalni, po wstrząsie z 26.02.1980 r. rozpoczął badania zespół pracowników Instytutu Geofizyki PAN, a Zakłady Badawcze i Projektowe Miedzi CUPRUM podjęły się instalowania aparatur rejestrujących wstrząsy. Zebrane dotychczas dane posłużyły nam do sformułowania geologicznych hipotez tłumaczących powstanie tych wstrząsów, co jest przedmiotem niniejszego artykułu.

Zmiany stanu naprężeń, jakie powoduje urabianie i przemieszczanie nadkładu na zwałowisko są już znaczne. Do 1.01.1981 r. wydobyto z odkrywki nadkład o objętości około 0,16 km³ i złożono tę samą masę na zwałowisko zewnętrzne. Wkop otwierający kopalni ma w chwili obecnej głębokość około 100 m, a zwałowisko ma wysokość około 80 m. Odciążenie powierzchni spowodowane wydobywaniem nadkładu można określić na około 2 MPa, dociążenie spowodowane zwałowiskiem – na około 1,5 MPa. Usytuowanie wkopu w stosunku do strefy węglonośnych zapadlisk, zwałowiska zewnętrznego i elektrowni ilustruje ryc. 1.

Odwadnianie odkrywki przyszłej kopalni rozpoczęto 1.10.1975 r., rozbudowując stopniowo system studni i zwiększając ilość pompowanej wody. Do 15.11.1979 r. wykonano 261 studni, które pompowały wówczas 370 m³/min. Sumaryczną ilość wypompowanej wody do listopada 1979 r. obliczano na 567 mln m³, a zasięg leja depresyjnego z tego okresu, określony obniżeniem zwierciadła wód gruntowych o 1 m (2), przedstawiono na ryc. 1.

Obecnie odwodnienie obniżyło zwierciadło wód gruntowych średnio o około 100 m npm, a w utworach mezozoicznych południowej skarpy maksymalne obniżenie zwierciadła wody sięgnęło 80 m npm, w połowie 1980 r. (19). Zasięg odwodnienia osadów mezozoicznych uwiódznaczono na ryc. 1, według stanu w połowie 1980 r. Wypompowanie tak znacznej ilości wód gruntowych i obniżenie ich zwierciadła musiało spowodować dalsze zmiany stanu naprężeń w górotworze, których oszacowanie jest trudne, choć wydaje się, że zmiany te są mniejsze od odciążenia spowodowanego przemieszczeniem urobku z odkrywki na zwałowisko.

Zmiany stanu naprężeń w strukturze geologicznej spowodowały szereg wstrząsów sejsmicznych. Zjawisk tych w trakcie dokumentowania nie przewidywano w takiej skali i zaskoczyły one zarówno kopalnię, jak i wszystkich, którzy opracowywali materiały geologiczne. Panuje powszechne przekonanie, że zjawisk tych na podstawie rozpoznania, które było wykonane w trakcie dokumentowania nie można było przewidzieć. Można też stwierdzić



Ryc. 1. Szkic rejonu złoża Bełchatów.

1 – ważniejsze miejscowości wymienione w tekście, 2 – wysad solny, 3 – granice złoża węgla brunatnego, 4 – zasięg leja depresyjnego odkrywki „Bełchatów” z dnia 30 IX 1979 r. według J. Bieniewskiego i in. (2), 5 – zasięg odwodnienia skał podłoża mezozoicznego z dnia 30 VI 1980 r. według L. Wysokińskiego i in. (19). A – wkop otwierający, B – zwałowisko zewnętrzne, C – elektrownia.

Fig. 1. Sketch map of the Bełchatów deposit area.

1 – major localities mentioned in the text, 2 – salt dome, 3 – boundaries of brown coal deposit, 4 – extent of depressional cone of the open-cast mine Bełchatów in November 30, 1979 after J. Bieniewski and others (2), 5 – extent of drainage of Mesozoic basement rocks in June 30, 1980 after L. Wysokiński and others (19). A – entering excavation, B – outer heap, C – power plant.

z pełnym przekonaniem graniczącym z pewnością, że wstrząsy te będą się w dalszym ciągu powtarzać. Argumentami za takim przekonaniem są:

- głębokie korzenie struktury Kleszczowa, sięgające podłoża podpermskiego;
- energia wstrząsów, która przekroczyła wielokrotnie wartość spowodowaną zmianami stanu naprężeń, wywołanych pracami górniczymi, co świadczy o uruchomieniu energii nagromadzonej w wyniku regionalnych procesów tektonicznych;
- głębokie położenie ogniska wstrząsu z dnia 29.11.1980 r.; gdyby energia wyzwolona tym wstrząsem rozchodziła się z płytkiego ogniska to zniszczenia w kopalni musiałyby być nieporównywalnie większe od stwierdzonych w rzeczywistości;
- struktura geologiczna strefy zapadlisk, której aktywność neotektoniczną dostrzegało wielu badaczy (1, 3).

BUDOWA GEOLOGICZNA

Rejon belchatowski znajduje się w strefie granicznej pomiędzy synklinorium łódzkim od północy a elewacją radomszczańską na południu, gdzie podłoże podpermskie zanurza się gwałtownie ku północy (15, 17). W tej strefie krzyżują się dwa głębokie rozłamy istniejące w podpermskim podłożu: rzeszowsko-poznański (17) o kierunku NW–SE i świętokrzyski (11) o kierunku WNW–ESE. Rozłamy te nie tylko powodują obniżenie przedpermskiego podłoża w kierunku północnym z 2–3 km na terenie elewacji radomszczańskiej do 5–8 km pod niecką łódzką (15), lecz także wywoływały zmiany miąższości i facji osadów młodszych oraz zaznaczają się na powierzchni podczwartorzędowej jako skomplikowane strefy uskokowe.

Podczas ruchów laramijskich obszar ten został łagodnie sfałdowany w szereg antyklin i synklin o kierunku NW–SE, niekiedy skomplikowanych uskokami podłużnymi i poprzecznymi (4). W starszym trzeciorzędzie struktury te zostały spenepienizowane, już w oligocenie zaznały się ruchy, wypiętrzające strefę metakarpacką, obejmującą elewację radomszczańską (12). Na północnym skłonie tej elewacji, zgodnie z przedłużeniem rozłamu świętokrzyskiego, uaktywniona została strefa uskokowa, na której rozwinęła się strefa zapadlisk Rzęśnia–Kleszczów–Kamieńsk, zwana rowem Kleszczowa lub rowem Belchatowa, wypełniona osadami neogeńskimi zawierającymi potężne osady węglonośne, którą w skrócie będziemy dalej nazywać strefą zapadlisk Kleszczowa.

Permsko-mezozoiczna pokrywa osadowa zbudowana jest na przemian z kruchych i plastycznych osadów. Kruche osady (wapień jury górnej i piaskowce jury środkowej i dolnej) tworzą liczne bloki tektoniczne, których przemieszczenia spowodowane są częściowo przemieszczeniami podścielających osadów plastycznych (iłów, gipsów i soli). Sole cechsztyńskie w rejonie strefy rozłamowej utworzyły wysad solny Dębiny (7, 8, 15) i poduszkę solną stwierdzoną otworem Wieluń 6. Pstre osady ilasto-gipsowe triasu górnego utworzyły wiele nabrzmiń w strefach antyklinalnych, widocznych na przekrojach sporządzonych przez K. Mrozka (15). Ruchy mas solnych trwały znacznie dłużej, o czym świadczy przebijanie się wysadu solnego Dębiny poprzez osady neogeńskie i ścienienie nad nimi osadów czwartorzędowych (6). W rezultacie strefa zapadlisk Kleszczowa ma bardzo skomplikowaną budowę wewnętrzną, a przemieszczenia wzdłuż uskoków rozdzielających bloki odbywały się bez wątpienia w ciągu długiego czasu, co najmniej od początku miocenu do holocenu (1, 3, 14). Dzięki temu w strefie tej zachowane są

osady neogenu i plejstocenu o miąższości dochodzącej miejscami do 500 m, a na współczesnej powierzchni spotyka się wiele zatorfionych owalnych obniżeń.

Omawiana strefa zapadlisk wykazuje asymetrię. Podłoże mezozoiczne w południowym skrzydle jest wyraźnie dźwignięte i opada gwałtownie licznymi drobnymi stopniami ku północy, w skrzydle północnym zaś podłoże mezozoiczne jest słabiej wydźwignięte, średnio znajduje się 50 m niżej i opada mniej wyraźnymi stopniami. Dotychczas układ bloków w obrębie zapadlisk był wielokrotnie przedstawiany w postaci bloków pochylonych do osi rowu (5, 6), jednak szczegółowe badania południowej skarpy w rejonie wkopu otwierającego wykazały, że bloki te mają charakter antytetyczny, tzn. są zrotowane w przeciwną stronę niż zrzucone; w rezultacie podniesieniu ulegają ich północne skrzydła i utrudniają eksploatację (13, 18, 19).

Strefa zapadliskowa Belchatowa jest nadrozłamową strefą uskokową wytworzoną w trzeciorzędzie nad starym rozłamek. W podłożu tej strefy występują plastyczne osady gipsowo-solne cechsztynu na głębokości 3–4 km, a ilasto-gipsowe triasu górnego na głębokości 500–2000 m. Dlatego mogło dojść do migracji tych utworów podczas rozciągania strefy rozłamowej.

ENERGIA WSTRZĄSÓW I ZJAWISKA TOWARZYSZĄCE

Pierwszy wstrząs odczuty w kopalni wystąpił 17.08.1979 r. Zjawisko to interpretowano wówczas jako zawalenie się kawerny krasowej. Wstrząs ten był zanotowany przez obserwatoria sieci krajowej, ale nie był wtedy analizowany. Odszukanie sejsmogramów i określenie jego siły nastąpiło w okresie późniejszym, po wystąpieniu następnych wstrząsów. Listę silniejszych wstrząsów o magnitudach przekraczających 3,0 przedstawia tabela I. Odczuwalne wstrząsy wystąpiły ponadto 21 maja, 13 lipca i 16 października 1980 r. Wszystkie wstrząsy podane w tabeli I zostały zapisane na polskich stacjach sejsmicznych w odległości od około 110 km (Chorzów) do około 220 km (Książ k. Wałbrzycha). Wstrząsy z 17.08.1979, 26.02.1980 i 1.04.1980 r. zostały zarejestrowane przez stacje w krajach sąsiednich (CSRS, NRD, Węgry, Szwecja), natomiast wstrząs z 29.11.1980 r. został zapisany przez wszystkie stacje europejskie i większość stacji światowych.

Wstrząs w dniu 26.02.1980 r. był odczuty m.in. przez L. Wysokińskiego, który bezpośrednio po wstrząsie wraz z J. Kusznerukiem – głównym geologiem kopalni – obserwował zmiany spowodowane w terenie. Trzęsienie to odczute zostało w promieniu około 2–3 km od epicen-

Tabela I
LISTA SILNIEJSZYCH WSTRZĄSÓW PODZIEMNYCH
Z REJONU KOPALNI BELCHATÓW
(O MAGNITUDZIE $M_L \geq 3,0$)

Data	Czas w ognisku GMT	Magnituda M_L
17.08.1979	14 ^h 00 ^m 16 ^s	3,6
26.02.1980	11 01 31	3,5
31.03.1980	23 50 40	3,0
1.04.1980	16 26 23	3,5
29.11.1980	20 42 19	4,6
16.12.1980	17 26 40	3,4

trum, które prawdopodobnie znajdowało się w sąsiedztwie południowo-wschodniego narożnika odkrywki. Wstrząs spowodował zarysowanie się narożnika budynku Oddziału Odwodnienia Kopalni i ruch obrazów w tym budynku. Wstrząsowi towarzyszył słyszalny pomruk. Na otwartej przestrzeni odczuto drganie gruntu jak przy przejeździe ciężkiego pojazdu (wrażenia pomiarowego mierzącego studnie). W odkrywce około 1,5 godziny po wstrząsie stwierdzono na dnie odkrywki rysy o azymucie około 65° , biegnące dwoma liniami odległymi od siebie o około 50 m. Krawędź rysy uskokowej miała w odkrywce maksymalnie wysokość około 6 cm (średnio 2–3 cm). W trakcie wstrząsu utworzyła się rysa na powierzchni południowej skarpy odkrywki aż do naziomu, zinwentaryzowana następnie geodezyjnie przez służbę kopalnianą na powierzchni pochylnej zjazdowej. Po wstrząsie 29.11.1980 r. krawędź tej rysy wykazuje różnice poziomów około 10 cm, choć pomiar geodezyjny po wstrząsie (29.11.) wykazał jedynie około 2,5 cm przemieszczenie wzdłuż tej rysy. Przed wstrząsem w dniu 29.11.1980 r., w godzinach rannych i przedpołudniowych odczuło w sąsiedztwie krawędzi skarpy dwa lekkie wstrząsy. Po wstrząsie z dnia 29.11.1980 r., w dniu 30.11.1980 r. około godziny 12 mgr inż. J. Gębalski, mgr inż. J. Patrzyk, mgr inż. J. Pijas, dr J. Głazek i doc. L. Wysokiński stwierdzili wstępnie na terenie kopalni następujące zniszczenia:

- uszkodzenie budynku odwodnienia, rysy około 0,5–1,0 mm biegnące w kilku miejscach przez całe ściany, spadek 3–4 cegieł z komina (ryc. 2);
- spadnięcie tablicy – schematu kopalni w dyspozytorni;
- świeże przemieszczenia wzdłuż rysy poprzednio rejestrowanej na poziomie 190 m npm. Wyraźne rozluźnienie gruntu wzdłuż tej rysy z widocznymi spękaniem śniegu;
- spękania śniegu w odkrywce, głównie wzdłuż dawnych rejestrowanych rys o azymucie 75° i 54° , na skarpie i w odkrywce (ryc. 3);
- pęknięcie drogowych płyt betonowych na poziomie ok. 140 m w sąsiedztwie przepompowni;



Ryc. 2. Zniszczenie komina budynku Oddziału Odwodnienia Kopalni po wstrząsie z dnia 29 XI 1980 r. Rozluźnienie murów, spadek paru cegieł (ślad spadku widoczny na śniegu pokrywającym dach).
Fot. J. Głazek.

Fig. 2. Chimney on the building of the Mine Drainage Section, destroyed in result of the tremor on November 29, 1980; the walls are loose and a few bricks dropped out on snow covering the roof (see marks on the snow). Photo by J. Głazek.

- liczne ślady na śniegu po spadku pojedynczych brył gruntu zmarzniętego oraz osypania się gruntów sypkich na skarpach odkrywki (ryc. 4);
- zasypianie otworu PW-11-2 na odcinku około 70 m (otwór wiercony był w strefie uskokowej).

Zalecone w dniu 30.11.1980 r. pomiary zwierciadła wody w studniach wykazały znaczne zmiany – maksymalne podniesienie zwierciadła wody w niektórych studniach sięgało do 16 m, w innych maksymalne opadnięcie do 18 m.

Interesujące są wrażenia wiertacza, który w chwili trzęsienia znajdował się wewnątrz odkrywki w barakowozie: „Właśnie skończyłem kolację i siedziałem oparty o ścianę, może zdrzemnąłem się, gdy nagle poczułem, że ktoś przyczepił do barakowozu ciągnik i zaczął silnie nim szarpać. Było kilka szarpnięć trwających może 2 sekundy. Wyskoczyłem natychmiast z barakowozu, aby oduczyć tego kogoś dowcipów. Gdy znalazłem się na zewnątrz przestraszyłem się bo nie było żadnego ciągnika i w odkrywce panowała cisza”.

Wyliczone parametry fizyczne ognisk najsilniejszych wstrząsów z rejonu KWB Bełchatów zawiera tabela II. Niestety z zapisów stacji sejsmicznych położonych w od-



Ryc. 3. Szczeliny widoczne w dnie odkrywki na świeżym śniegu, po wstrząsie z dnia 29 XI 1980 r. Fot. J. Głazek.

Fig. 3. Fissures visible in the fresh snow in the floor of the open-cast mine after the tremor on November 29, 1980. Photo by J. Głazek.



Ryc. 4. Lokalne osuwiska (obrywy) spowodowane wstrząsem z dnia 29 XI 1980 r. na skarpie kopalni. Fot. J. Głazek.

Fig. 4. Local slides in mine escarpment, formed in result of the tremor on November 29, 1980. Photo by J. Głazek.

Tabela II

Data	Moment sejsm. $\cdot 10^{14}$ (N · m)	Promień ogniska (m)	Spadek naprężeń w ognisku (MPa)	Średnie przemieszczenie w ognisku (cm)	Energia sejsm. $\cdot 10^9$ (J)
17.08.1979	1,6	320	2,1	2,9	1,7
26.02.1980	1,55	370	1,3	2,1	1,1
1.04.1980	1,5	350	1,6	2,4	1,3
29.11.1980	21,4	700	2,7	8,4	22,0

głębościach większych od 100 km nie można określić głębokości ognisk wstrząsów. Można tę wielkość jedynie z grubsza oszacować z zależności pomiędzy magnitudą, maksymalną intensywnością i głębokością wstrząsów. Przyjmując, że wstrząsy o magnitudzie 3,5–3,6 były odczuwane z maksymalną intensywnością między 5 i 6° w skali MCS, otrzymujemy średnią głębokość około 3 km. Podobnie dla wstrząsu z 29.11.80 r. o magnitudzie 4,6 otrzymujemy głębokość co najmniej 5 km, jeśli był on odczuwany w epicentrum z intensywnością 7°, przy mniejszej intensywności głębokość byłaby jeszcze większa.

Wartości magnitud silniejszych wstrząsów podane w tabeli I są wartościami średnimi, obliczonymi z zapisów wszystkich polskich stacji seismologicznych. Natomiast na podstawie zapisów na taśmie magnetycznej aparatury szerokopasmowej w Książu przeprowadzono analizę spektralną grupy fal poprzecznych dla wstrząsów najsilniejszych. Dodatkowo, dla wstrząsu z 29.11.80 r. wykorzystano również zapisy stacji Kasperskie Hory w Czechosłowacji, położonej w odległości 475 km od Kopalni Bełchatów. Spektrogramy sejsmiczne zostały obliczone w Instytucie Geofizyki Czechosłowackiej Akademii Nauk w Pradze, przy udziale dr A. Plešinger.

Interpretacja spektrów sejsmicznych pozwoliła określić parametry fizyczne ognisk najsilniejszych wstrząsów (tabela II). Moment sejsmiczny jest najbardziej fizycznie poprawną miarą wielkości wstrząsów. Ognisko było modelowane dyslokacją kołową w promieniu odwrotnie proporcjonalnym do częstości narożnej spektrów sejsmicznych. Z wartości momentu sejsmicznego i rozmiarów ogniska (są to parametry określone niezależnie) oblicza się spadek naprężeń w ognisku, średnie przemieszczenie w ognisku oraz energię sejsmiczną (tabela II).

Wielkość energii oraz momentu sejsmicznego wskazują, że wstrząsy musiały wystąpić na głębokościach rzędu kilku kilometrów, gdyż naprężenie odpowiedzialne za powstanie takich zjawisk nie mogłoby się skumulować na głębokościach mniejszych.

PRZYCZYNY I MECHANIZM WSTRZĄSÓW – HIPOTEZY GEOLOGICZNE

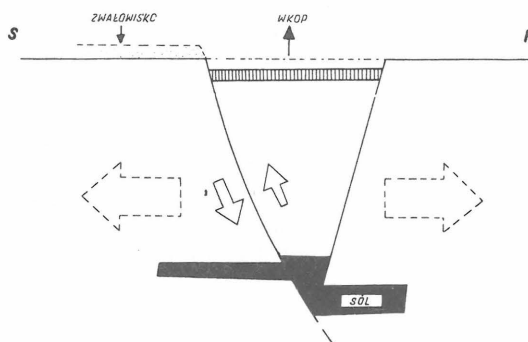
Na podstawie omówionych głównych rysów struktury geologicznej można sformułować trzy hipotezy, które mogą tłumaczyć stwierdzone zjawiska sejsmiczne. Słabe rozpoznanie geologiczne głębszej struktury strefy zapadlisk Kleszczowa (najgłębszy otwór wiertniczy w tej strukturze Geo 2a osiągnął głębokość 1054 m i został zakończony w osadach górnej jury) nie pozwala w obecnej chwili na przesądzenie, która z przedstawionych hipotez jest słuszna. Uzasadnione byłyby trzy hipotezy tłumaczące powstanie wstrząsów.

Hipoteza 1 – płytkie wstrząsy z odciążenia.

Hipoteza ta przyjmuje, że przyczyną wstrząsów są siły sprężyste wynikające z odprężenia materiału, zwłaszcza kruchych wapieni jurajskich. Wapienie wykazują zdolność kumulowania energii sprężystej. W hipotezie tej ognisko wstrząsów byłoby niegłębokie (ok. 500–600 m) i schodziłoby wraz z eksploatacją w dół. Energia wstrząsów powinna nieznacznie wzrastać z obniżaniem ogniska. Ostatni, bardzo silny wstrząs właściwie wykluczył tę hipotezę, ponieważ przy płytkim położeniu ogniska zniszczenia na powierzchni musiałyby być znacznie większe.

Hipoteza 2 – przemieszczenia soli cechsztyńskich.

Hipoteza ta zakłada, że przyczyną wstrząsów są przemieszczenia plastycznych i bardzo łatwo rozpuszczalnych mas soli cechsztyńskich (ryc. 5). Zgodnie z tą hipotezą występowałyby stale głębokie ogniska, na głębokości około 3–4 km. Siła wstrząsów mogłaby być zmienna, a właściwie powinna się zwiększać. Odciążenie wywołane zdjęciem masy nadkładu o objętości 0,16 km³, stanowiące około 4–5% obciążenia geologicznego, liczonego w stosunku do stropu soli cechsztyńskich, wystarcza aby uruchomić proces regionalny. Hipoteza ta wskazuje, że wstrząsy będą występowały nadal i mogą jeszcze nieco narastać, ale mają określone ograniczenia fizyczne wielkości. Skutki występowania takich wstrząsów (zagrożenie sejsmiczne) mogą mieć zasięg regionalny.



Ryc. 5. Ideogram przemieszczeń mas powodujących wystąpienie wstrząsów w rejonie Bełchatowa, zgodnie z hipotezą zakładającą przemieszczenia soli cechsztyńskich.

Fig. 5. Ideogramme of mass translocations which caused tremors in the Bełchatów area, according to the hypothesis assuming translocations of Zechstein salts.

Hipoteza 3 – ognisko w obrębie podpermskiego podłoża w strefie rozłamów: Rzeszów–Poznań lub świętokrzyskiego, albo na ich skrzyżowaniu.

Hipoteza ta zakłada, że ognisko znajduje się głęboko. Trudno określić przyczynę, przewidzieć przebieg i częstość trzęsień oraz ich skutki. Według niej około 1% zmiana stanu naprężeń, wywołana odciążeniem przez zdjęcie nadkładu wystarcza by wyzwolić energię sprężystą skumulowaną w skali regionalnej, w głębokiej strukturze rozłamowej w wyniku procesów tektonicznych.

Przy założeniach hipotez 2 i 3 występuje zagrożenie wstrząsami w skali regionalnej, nie tylko w bezpośrednim sąsiedztwie kopalni i elektrowni. Spodziewać się należy dalszych wstrząsów i obawiać przemieszczeń solanki do góry poszerzonymi przez wstrząsy szczelinami.

Przedstawiono dotychczasowe obserwacje zjawisk sejsmicznych, które od 1979 r. występują w rejonie kopalni węgla brunatnego „Bełchatów” i związane są z odkrywko- wymi robotami górniczymi. Zmiany naprężeń wyzwolone w wyniku wstrząsów są kilkakrotnie większe od wartości zmian naprężeń w podłożu, spowodowanych robotami górniczymi. Uzasadniono, że wstrząsy będą się powtarzać i występować będzie zagrożenie w skali regionalnej.

LITERATURA

1. Baraniecka M.D. — Fazy tektoniczne w czwartorzędzie w środkowej części Niżu Polskiego. [W:] Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce. T. 1. Wyd. Geol. 1975.
2. Bieniewski J., Kleczkowski A.S., Seweryn L. — Hydrogeologiczne warunki i odwadnianie Kopalni Bełchatów. [W:] Przewodnik 52 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Bełchatów. Wyd. Geol. 1980.
3. Biernat S. — Zagadnienia neotektoniki w rejonie Bełchatowa. [W:] Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce. T. 1. Wyd. Geol. 1975.
4. Błaszczewicz A., Cieśliński S., Dąbrowska Z. i in. — Zarys stratygrafii i tektoniki południowej części niecki łódzkiej (rejon Bełchatowa). Kwart. Geol. 1968 nr 2.
5. Ciuk E. — Geologiczne podstawy realizacji inwestycji bełchatowskiej. [W:] Bełchatowskie Zagłębie Węglowe. Sympozjum, Łódź 1975.
6. Ciuk E. — Tektonika rowu Kleszczowa i jej wpływ na warunki powstania złoża węgla brunatnego. [W:] Przewodnik 52 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wyd. Geol. 1980.
7. Dąbrowska Z. — Cechsztyński wysad solny Dębiny jako dowód tektoniki salinarniej w południowej części niecki łódzkiej. Biul. Inst. Geol. 1978 nr 309.
8. Derkacz J. — Trzeciorzęd strefy zapadliskowej Rzęśnia — Kleszczów — Kamieńsk. Prz. Geol. 1968 nr 11.
9. Gibowicz S.J. — Magnitude and energy of subterranean shocks in Upper Silesian. *Studia Geoph. Geodet.* 1963 no 7.
10. Gibowicz S.J., Bober A., Cichowicz A. i in. — Source study of the Lubin, Poland, tremor of 24 March 1977. *Acta Geoph. Pol.* 1979 vol. 27 no 1.
11. Głazek J., Kutek J. — Powaryscyjski rozwój geotektoniczny obszaru świętokrzyskiego. [W:] Przewodnik 48 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Starachowice. Wyd. Geol. 1976.
12. Głazek J., Szykiewicz A. — Kras między Pilicą a Wartą i jego praktyczne znaczenie. [W:] Przewodnik 52 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Bełchatów. Wyd. Geol. 1980.
13. Głazek J., Zapaśnik T. — Uwagi o tektonice rowu Kleszczowa. *Prz. Geol.* 1980 nr 7.

14. Kossowski L. — Budowa geologiczna złoża węgla brunatnego Bełchatów ze szczególnym uwzględnieniem tektoniki podłoża. *Górnictwo Odkrywkowe* 1974 nr 10—11.
15. Mrozek K. — Budowa geologiczna struktur wgłębnych w południowej części synklinorium łódzkiego. Wyd. Geol. 1975.
16. Pagaczewski J. — Katalog trzęsień ziemi w Polsce z lat 1000—1970. *Materiały i Prace Inst. Geof. PAN*, vol. 51, 1972.
17. Pożaryski W. — Tektonika elewacji radomskiej. *Roczn. Pol. Tow. Geol.* 1971 t. 41. z. 1.
18. Wysokiński L., Zapaśnik T., Głazek J. i in. — Prognoza stateczności zboczy wyprofilowanych w utworach podłoża skalnego w odkrywce Bełchatów. Etap I na rok 1980. *Arch. Poltegoru* 1979.
19. Wysokiński L., Głazek J., Zapaśnik T. i in. — Prognoza stateczności zboczy wyprofilowanych w utworach podłoża skalnego w odkrywce Bełchatów. Etap II na rok 1981. *Ibidem* 1980.

SUMMARY

The data on tremors which are occurring in the area of brown coal open-cast mine Bełchatów (Fig. 1) after some progress in mining works has been achieved, are summarized (Tables I and II, Figs 2—4). Three geological hypotheses are analysed:

- 1) a shallow (about 500 m deep) source from disloading;
- 2) source in zone of occurrence of Zechstein salts (at depth of 3—4 km, Fig. 5), related to their creep; and
- 3) deep-seated (at depth of about 5 km) source, related to ancient fracture zone in Permian basement.

The drop in stress related to the recorded tremors is several times greater than that of stresses related to mining works, which seem to support the hypotheses 2) and 3). It seems that the tremors should recur, resulting in seismic hazard on a regional scale.

РЕЗЮМЕ

В статье составлены полученные до сих пор информации по сейсмическим толчкам (таб. I и II, фиг. 2—4), наблюдаемым с 1979 года в районе карьера бурого угля „Белхатув” (фиг. 1), после проведения горных работ. Рассмотрены три геологические гипотезы:

- 1) мелкие очаги с разгрузки (ок. 500 м),
- 2) очаги в зоне нахождения цехштейновых солей (3—4 км, фиг. 5) связаны с их ползучестью,
- 3) глубинные очаги в зоне древнего разлома в подпермском основании (ок. 5 км).

Падение напряжений вызванное наблюдаемыми сейсмическими толчками в несколько раз больше падения напряжений вызванного горными работами, что свидетельствует в пользу гипотез 2 или 3. Предусматривается, что сейсмические толчки будут повторяться и вызывать сейсмическую опасность в региональном масштабе.