



## Korelacja wyników monitoringu geodezyjnego z sejsmicznością indukowaną w czasie eksploatacji ściany VIb-E1 w pokładzie 703/1 w KWK ROW Ruch Rydułtowy

Correlation of geodetic monitoring results with seismicity induced by exploitation of longwall VIb-E1 in seam no. 703/1 in Rydułtowy coal mine

Mgr inż. Mateusz Ćwiękała\*)

**Treść:** Przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w latach 2009-2010 w czasie eksploatacji ściany VIb-E1 w pokładzie 703/1 w KWK Rydułtowy. Dotyczyły one korelacji zmian wysokości terenu w zastabilizowanych punktach obserwacyjnych z zarejestrowanymi silnymi wstrząsami górniczymi. Badania wykazały, że epicentra tych wstrząsów są lokalizowane w otoczeniu tego reperu geodezyjnego, na którym obserwowano w tym czasie największe obniżenia terenu. Wskazuje to na istnienie związku fizycznego i czasowego pomiędzy procesem deformacji warstw skalnych a wstrząsami górniczymi. Badanie te, w sytuacji ich rutynowego prowadzenia, mogą poprawić wyniki oceny zagrożenia sejsmicznego, szczególnie w dobie rozwoju automatycznych systemów ciągłej obserwacji geodezyjnej techniką GNSS.

**Abstract:** This paper presents the results of investigations carried out in 2009-2010 during exploitation of the longwall VIb-E1 in coal seam no. 703/1 in Rydułtowy hard coal mine. They concern the correlation between changes of the terrain height determined in stabilized observation points with the recorded strong mining tremors, observed in 2009-2010 throughout the exploitation area of the longwall VIb-E1 in seam no. 703/1. The results of investigations show that epicenters of the above mentioned tremors were located in the vicinity of the survey points where the largest subsidence was observed at that time. It indicates the existence of physical and temporal relationship between deformations of rock layers and seismic events. These investigations, carried out regularly, may improve the results of seismic risk forecasting, especially in the era of rapid development of automated systems of continuous geodetic observation using the GNSS technique.

### Słowa kluczowe:

sejsmiczność górnicza, osiadanie terenu, eksploatacja ścianowa, zagrożenie tąpnięciami

### Keywords:

mining seismicity, terrain subsidence, longwall exploitation, rockburst hazard

## 1. Wprowadzenie

Problem wykorzystania pomiarów geodezyjnych w aspekcie mian wysokości punktów reperowych zastabilizowanych na powierzchni z sejsmicznością indukowaną eksploatacją ścianową jest przedmiotem badań zrealizowanych w KWK ROW Ruch Rydułtowy podczas eksploatacji ściany VIb-E1 w pokładzie 703/1. Należy podkreślić, że aktywność sejsmiczna w tym rejonie kopalni od początku eksploatacji pokładu 703/1 utrzymywała się na wysokim poziomie.

Ponieważ wstrząsy górotworu towarzyszące eksploatacji pokładów węgla oddziałują nie tylko na podziemne środowisko pracy (wytrobiska, maszyny górnicze i ludzie), ale również na obiekty budowlane i mieszkańców na powierzchni ziemi, ich badanie w celu lepszego rozpoznania stanu zagrożenia jest kluczowe dla bezpieczeństwa pracy i minimalizowania oddziaływań górnictwa na środowisko (Mutke, Stec 1997, Mutke, Chodacki 2010, Uszko i in. 2013, Marcak 2013, Majcherczyk, Olechowski 2007).

Pomiary geodezyjne prowadzone na powierzchni terenu górniczego są znanym narzędziem pomiarowym w zakresie miernictwa górniczego. W sytuacji przemieszczającej się eksploatacji pokładu węgla wybieranego kolejno pojedynczymi

ścianami, pomiary te dobrze dokumentują różne wartości osiadania terenu dla każdej ze ścian (Zych, Piwowarski 2015). Ponadto, w literaturze przedmiotu badań, którego dotyczy tematyka niniejszego artykułu, znane są przypadki zmiany parametru osiadania powierzchni obserwowane w okresie występowania silnych zjawisk sejsmicznych indukowanych eksploatacją górnictwem (Szczerbowski, Jura 2015).

Z fizyki tych zjawisk wynika, że wstrząsy stropowe powstają w wyniku przekroczenia wytrzymałości warstw skalnych określanymi jako wstrząsogenne, co z reguły wiąże się z deformacjami w obrębie takiej warstwy i wywołanym przez ten proces przyrostem naprężeń w tej warstwie (Drzewiecki, Makówka 2013). Deformacje te przenoszą się w kierunku powierzchni, gdzie można je rejestrować i dokumentować na podstawie pomiarów geodezyjnych zlokalizowanych w obszarze ich powstawania w czasie prowadzonej eksploatacji.

Z kolei w przypadku najsilniejszych zjawisk sejsmicznych występujących w strefach uskokowych (tzw. wstrząsy o charakterze regionalnym), może dochodzić do znacznych przemieszczeń mas skalnych na płaszczyźnie uskokowej o dużej rozciągłości (duży promień ogniska wstrząsu). Wówczas możliwy jest mechanizm skokowego osiadania terenu w obszarze epicentralnym, bezpośrednio po zaistnieniu zjawisku sejsmicznego.

\*) PGG SA, KWK ROW Ruch Rydułtowy, Katowice

## 2. Charakterystyka rejonu badań

Powierzchnia obszaru górniczego KWK ROW Ruch Rydułtowy (rys. 1), w obrębie której prowadzone są roboty górnicze, w większości jest silnie zurbanizowana, tylko niewielki jej procent zajmują pola uprawne, nieużytki i lasy. Złoże węgla kamiennego Oddziału KWK ROW Ruch Rydułtowy usytuowane są w zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, w zachodniej i środkowej części niecki jejkowickiej.

Dotychczasowa eksploatacja w rejonie E1 objęła 12 pokładów oznaczonych numerami 604, 612/1-2, 613/3, 615/1-2, 616/2, 620/1, 624, 626/2, 629/12, 630/12, 703/1, 713/1-2 o łącznej miąższości około 18 m. Z uwagi na wpływ licznych zaszciski eksploatacyjnych w postaci wytworzonych resztek, krawędzi eksploatacji w sąsiednich pokładach, a także głębokości eksploatacji (poziom 1200 m), rejon aktualnie eksploatowane charakteryzują się wysokim stanem naprężeń. Do czynników wpływających na wysoką aktywność sejsmiczną w KWK ROW Ruch Rydułtowy zaliczyć należy także mocne skały otaczające pokłady, zwłaszcza grube warstwy piaskowców zalegające powyżej pokładów 626/2, 624 i 616/2 (kompleks o łącznej miąższości ok. 180 m), których dezintegracja powoduje silne wstrząsy stropowe i tąpnięcia. Ponadto, silnie rozwinięta tektonika, a w związku z tym brak możliwości czystego wybierania złoże (pozostają resztki pokładów) oraz grupowanie się krawędzi eksploatacyjnych w pobliżu głównych uskoku, są dodatkowymi czynnikami generującymi wysoką sejsmiczność.

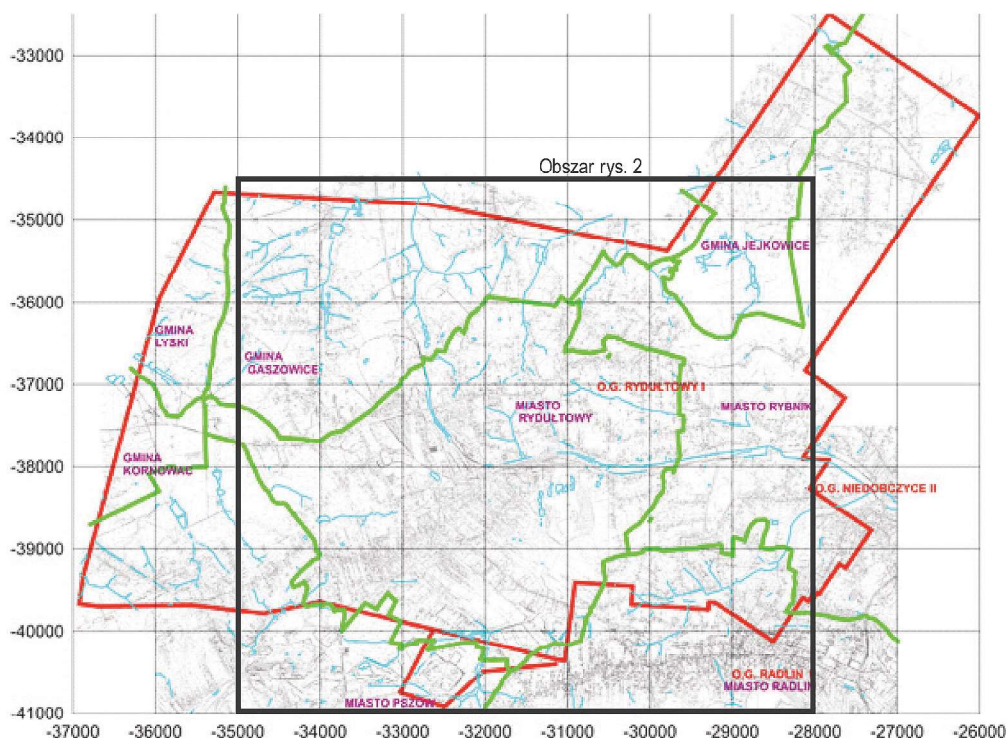
## 3. Monitoring sejsmiczny w rejonie badań

W kopalni Rydułtowy obserwacje sejsmologiczne prowadzone są z wykorzystaniem systemów pomiarowych typu ARAMIS (16-kanalów) oraz ARAMIS M/E (16-kanalów), w oparciu o sieć 28 stanowisk sejsmicznych zlokalizowanych w podziemnych wyrobiskach kopalni (rys. 2).

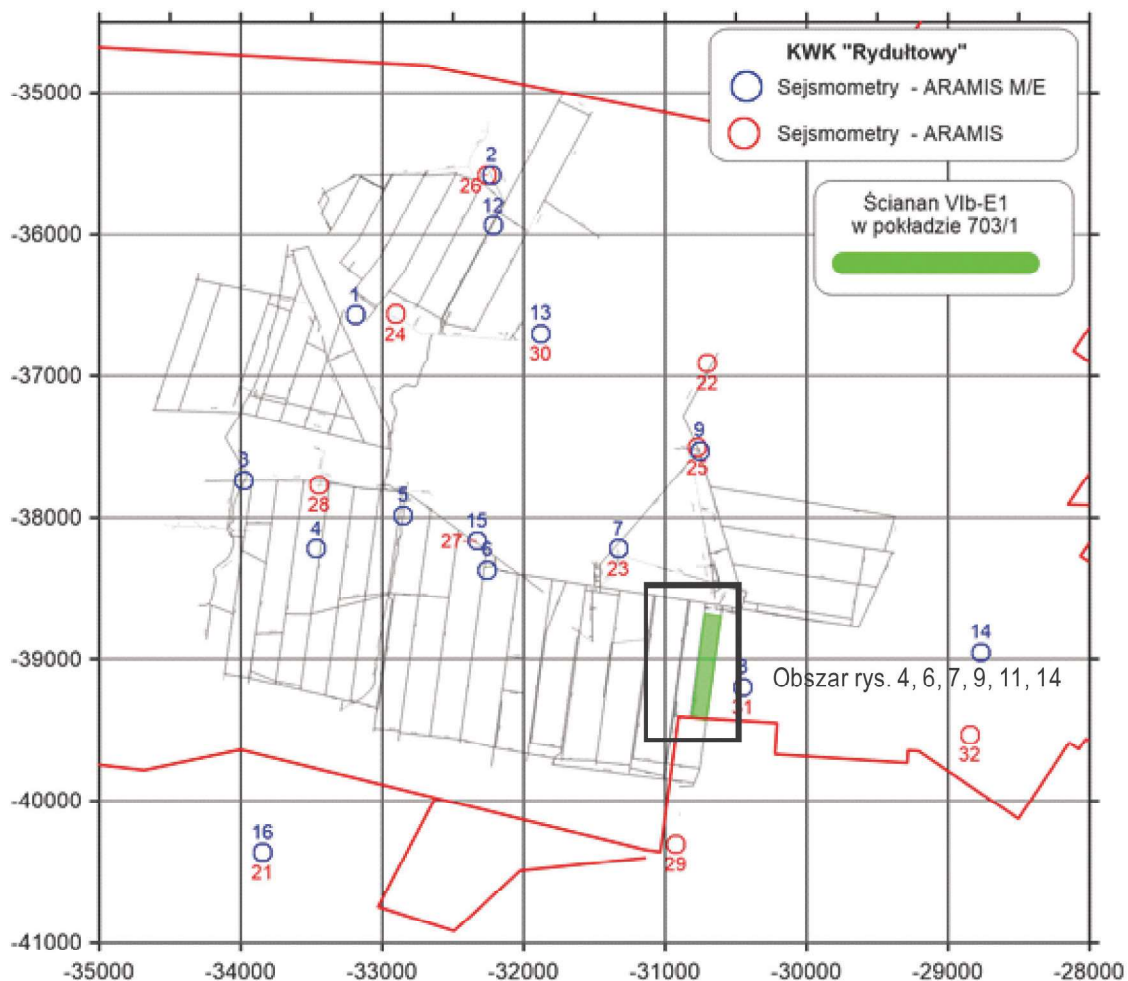
Aparatura ta zapewnia rejestrację zarówno słabych wstrząsów o energii sejsmicznej rzędu  $10^2$  J, jak i zjawisk o wyższej energii, na całym obszarze kopalni. Stanowiska sejsmometrów tworzą odpowiednio skonstruowane podsieci, które obejmują swym zasięgiem wszystkie rejon, pokłady i wyrobiska kopalni, zagrożone występowaniem wstrząsów i tąpnięć.

Eksploatacja pokładu 703/1 ścianą VIb-E1 odbywała się w rejonie oddziaływania krawędzi pokładów 604, 613 oraz 624, zalegających odpowiednio 900, 710, 380 m powyżej pokładu 703/1. Ściana VIb-E1 w pokładzie 703/1 była ścianą podłużną wybieraną z zawałem stropu na pełną miąższość pokładu. Jako kolejna w rejonie E1, prowadzona była wzdłuż zrobów wcześniej wyeksploatowanych ścian w okresie od maja 2009 r. do maja 2010 r. Długość ściany wynosiła 115 m. Prognoza maksymalnej energii sejsmicznej wstrząsów indukowanych eksploatacją pokładu 703/1 w rejonie E1 przewidywała wystąpienie wstrząsów o energii  $1 \cdot 10^7$  J. W trakcie eksploatacji ściany VIb-E1 w pokładzie 703/1 w latach 2009 - 2010 zarejestrowano 2324 wstrząsy o energii od  $10^1$  J do  $10^6$  J (tabela 1) o sumarycznej energii sejsmicznej  $5 \cdot 10^7$  J, w tym 28 wstrząsów o energii rzędu  $10^5$  J oraz 9 o energii rzędu  $10^6$  J.

Sumaryczna energia sejsmiczna wstrząsów, jak i ich liczba w poszczególnych klasach energetycznych (tabela 1), nie wykazywała zależności od wielkości miesięcznego postępu frontu eksploatacji ściany (rys. 3). Zatem liczbę i energię sejsmiczną wstrząsów należy łączyć przede wszystkim z warunkami górniczo-geologicznym i tektonicznymi występującymi w omawianym rejonie (rys. 4). Hipocentra (ogniska) wstrząsów wysokoenergetycznych lokalizowano około 400 m nad pokładem 703/1 w kompleksie piaskowca zameckiego o grubości 68 m, zalegającego poniżej pokładu 626/2. Ponadto, wpływ na poziom aktywności sejsmicznej miało także systematyczne zwiększanie objętości przestrzeni zrobowej, w miarę jak postępowala eksploatacja pokładu 703/1 oraz naruszanie pierwotnie wytworzonego stanu równowagi naprężeń w rejonie głównych dyslokacji uskoku, znajdujących się w rejonie ściany VIb-E1.



Rys. 1. Mapa terenu górniczego KWK ROW Ruch Rydułtowy  
Fig. 1. Map of the mining area ROW Ruch Rydułtowy coal mine



Rys. 2. Rozmieszczenie stanowisk sejsmicznych w KWK ROW Ruch Rydułtowy

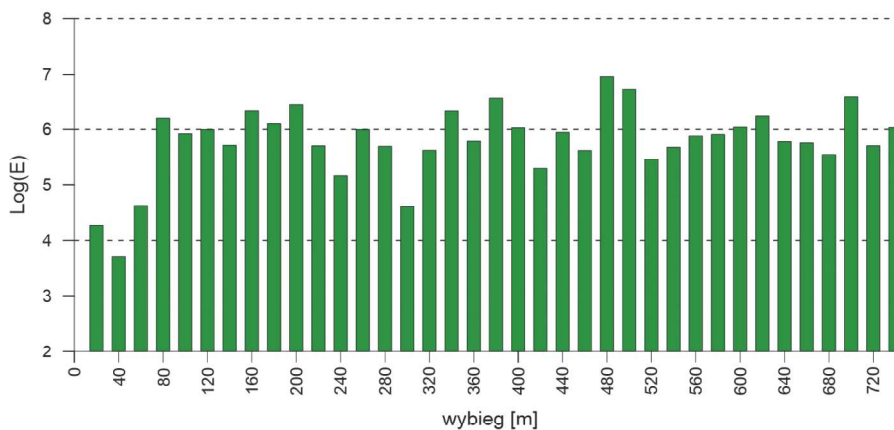
Fig. 2. Location of seismic stations in ROW Ruch Rydułtowy coal mine

Tabela 1. Wstrząsy zarejestrowane podczas eksploatacji pokładu 703/1 ścianą Vib-E1

Table 1. The number of tremors registered during exploitation of the longwall Vib-E1 in the coal seam no. 703/1

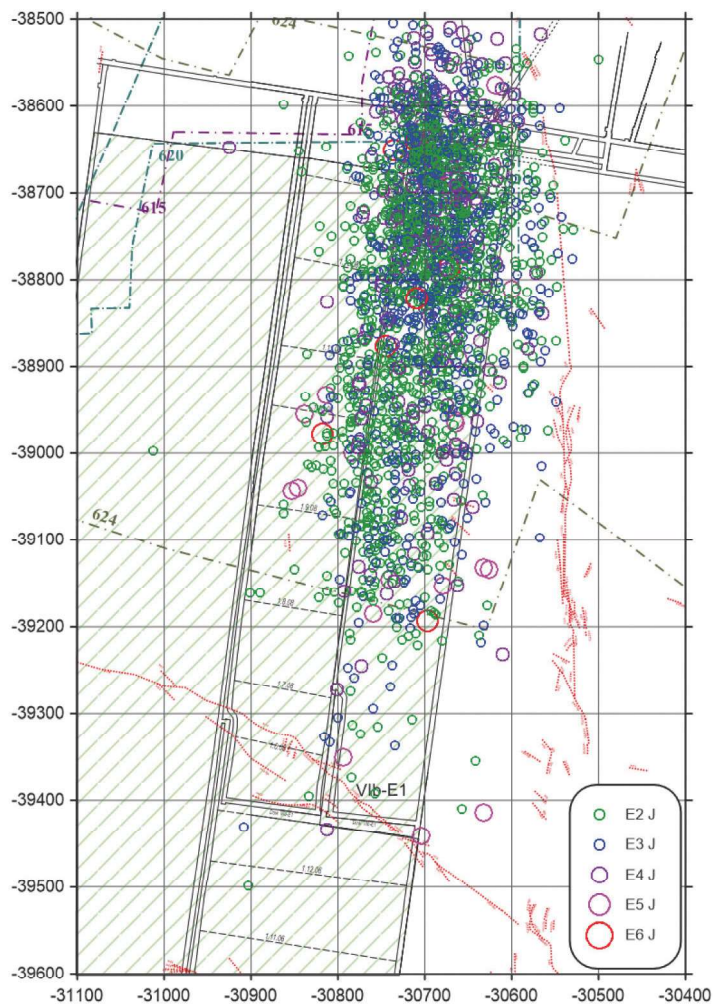
Rok	Lp.	Miesiąc	Postęp [m]	Liczba wstrząsów								Miesięczna energia sumaryczna [J]	
				E2[J]	E3[J]	E4[J]	E5[J]	E6[J]	E7[J]	E8[J]	Razem		
2009	1	V	8,8	1	0	1	0	0	0	0	0	2	1,8E+04
	2	VI	47,8	6	1	2	2	0	0	0	0	11	5,8E+05
	3	VII	100,5	3	13	4	9	1	0	0	0	30	5,3E+06
	4	VIII	76,8	26	14	3	5	2	0	0	0	50	5,8E+06
	5	IX	69,3	65	31	5	3	0	0	0	0	104	1,7E+06
	6	X	40,5	16	13	3	1	1	0	0	0	34	2,7E+06
	7	XI	35,3	44	14	0	1	1	0	0	0	60	4,2E+06
	8	XII	89,3	277	123	16	3	1	0	0	0	420	1,2E+07
2010	9	I	54,3	120	62	14	0	2	0	0	0	198	5,5E+06
	10	II	74,3	271	212	76	1	0	0	0	0	560	3,2E+06
	11	III	100,5	309	214	61	2	1	0	0	0	587	7,1E+06
	12	IV	36,8	125	98	20	1	0	0	0	0	244	1,7E+06
	13	V	2,5	21	3	0	0	0	0	0	0	24	8,9E+03
<b>Suma:</b>				<b>1284</b>	<b>798</b>	<b>205</b>	<b>28</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2324</b>	<b>5,0E+07</b>





Rys. 3. Sumaryczna energia wstrząsów na 20 m postępu w trakcie eksploatacji pokładu 703/1 ścianą V1b-E1

Fig. 3. Total energy of seismic tremors during 20 m of exploitation progress of the longwall V1b-E1 in the seam 703/1



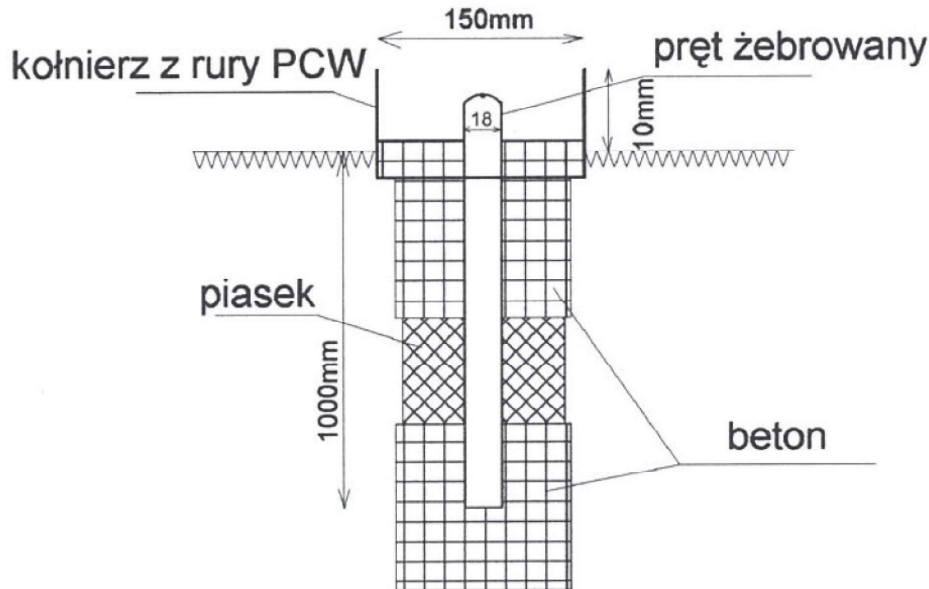
Rys. 4. Wstrząsy zarejestrowane podczas eksploatacji pokładu 703/1 ścianą V1b-E1

Fig. 4. Map of the epicenters of seismic tremors registered during exploitation of the longwall panel no. V1b-E1 in the seam no. 703/1

**4. Okresowy monitoring geodezyjny na powierzchni w rejonie ścian V1b-E1**

Na terenie górniczym kopalni wykonano stabilizację 281 punktów obserwacyjnych, zgodnie z projektem przedstawio-

nym na (rys. 5). Lokalizacja tych punktów została dostosowana do projektowanej eksploatacji.

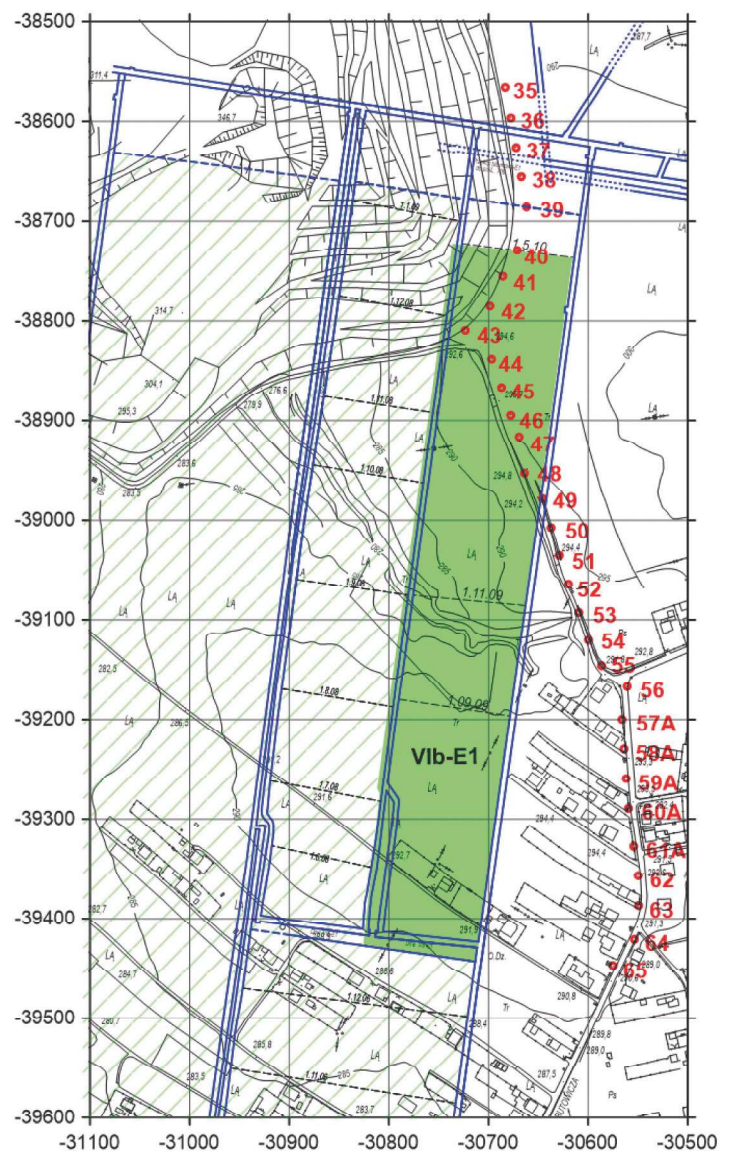


Rys. 5. Projekt stabilizacji punktu obserwacyjnego  
Fig. 5. Scheme of the designed geodetic observation points

Wykorzystując przedmiotową sieć geodezyjnych punktów obserwacyjnych wykonano 3 cykle pomiarowe - w lipcu 2009 r. - we wrześniu 2009 r. - w listopadzie 2009 r., a kolejne pomiary prowadzono w latach następnych aż do 2015 r. Każdy cykl pomiarowy był podzielony na dwa etapy:

- pomiary wysokościowe metodą niwelacji precyzyjnej II klasy na zasadach określonych w Instrukcji technicznej G-2 Wysokościowa osnowa geodezyjna,
- pomiary sytuacyjne z zachowaniem kryteriów dokładnościowych w zakresie parametrów dalmierza elektrooptycznego  $\pm 2+2$  ppm (2 mm +2 mm/km), centrowanie instrumentu i luster na statywach z wykorzystaniem pionowników optycznych  $\pm 0,3$  mm.

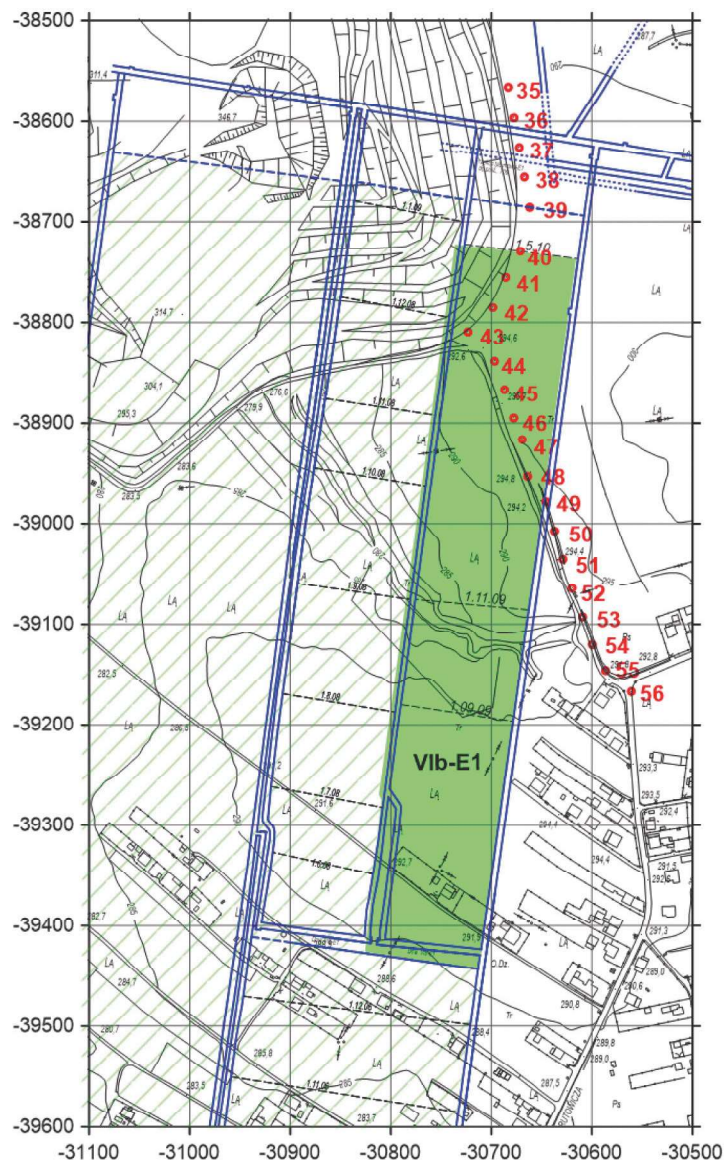
Pomiary wysokościowe sieci punktów obserwacyjnych wykonano za pomocą niwelatorów kodowych Trimble oraz pary łat inwarowych. Niwelację w kierunku głównym i powrotnym realizowano wg programu „TPPT”. Stosowano automatyczną rejestrację obserwacji. Pomiary zostały nawiązane do punktu geodezyjnej osnowy II klasy, znajdującego się w filarze ochronnym dla Zakładu Górniczego. Łączna długość ciągów niwelacyjnych wyniosła około 30 km. Pomiary sytuacyjne wykonano instrumentem Trimble S8-1 z kompletem luster do pomiarów precyzyjnych. Kąty mierzono w dwóch położeniach lunety i w dwóch repetycjach z jednoczesnym pomiarem długości.



Rys. 6. Sieć punktów obserwacyjnych na tle wybiegu ściany Vib-E1 w pokładzie 703/1

Fig. 6. Grid of observation points above the longwall Vib-E1 in the coal seam no. 703/1





Rys. 7. Wybrane do analizy punkty obserwacyjne na tle wybiegu ściany Vib-E1 w pokładzie 703/1

Fig. 7. Selected observation points for analysis above the longwall Vib-E1 in the coal seam 703/1

Ocenę wpływu prowadzonej eksploatacji pokładu 703/1 ścianą Vib-E1 na osiadanie powierzchni przeprowadzono na podstawie analizy zmian wysokości punktów obserwacyjnych pomiędzy kolejnymi cyklami pomiarowymi (tabela 2). W tym celu wykorzystano uzyskane wyniki zmiany wysokości z wyodrębnionych 22 punktów powierzchniowych ponumerowanych kolejno od 35 do 56 (rys. 7) zastabilizowanych na linii obserwacyjnej biegnącej z północy na południe wzdłuż wybiegu ściany Vib-E1 (rys. 6). Podczas analizy rozpatrywano trzy etapy zaawansowania eksploatacji ściany Vib-E1, przy czym każdy z etapów odpowiadał kolejnym cyklom pomiarowym wykonywanym na linii obserwacyjnej:

- etap I (do 240 m wybiegu ściany) - 2 cykl pomiarowy wykonany we wrześniu 2009 r,
- etap II (od 240 do około 340 m wybiegu ściany) - 3 cykl pomiarowy, wykonany w listopadzie 2009 r,
- etap III (od 340 do około 700 m wybiegu ściany) - 4 cykl pomiarowy, wykonany w maju 2010 r.

1 cykl pomiarowy (tzw. pomiar zerowy) wykonano na początkowym etapie eksploatacji ściany Vib-E1 w lipcu 2009 r.

Przeanalizowano również aktywność sejsmiczną rejestrowaną pomiędzy kolejnymi cyklami pomiarowymi (rys. 8), pod kątem jej związku z mierzonymi zmianami przemieszczeń pionowych w wybranych punktach obserwacyjnych.

## 5. Wyniki monitoringu sejsmicznego i geodezyjnego

Wyniki prowadzonego monitoringu wskazały na istnienie zależności pomiędzy osiadaniami terenu wyznaczonymi dla trzech okresów czasowych w trakcie eksploatacji ściany Vib-E1 w pokładzie 703/1 a sejsmicznością zarejestrowaną w tych samych okresach czasowych. Zależności te opisano szczególnie dla poszczególnych etapów okresowego monitoringu geodezyjnego.

### Etap I

W pierwszym etapie analizie poddano 240-metrowy wybieg ściany Vib-E1 w pokładzie 703/1, od momentu rozpoczę-

**Tabela 2. Zestawienie wysokości punktów w układzie Kronsztadt'86 pomierzone w kolejnych cyklach pomiarowych z wyliczonymi przemieszczeniami pionowymi**

**Table 2. Comparison of vertical coordinates of the observation points in the Kronsztadt'86 system measured in subsequent measurement cycles with calculated vertical displacements**

Lp	Nr punktu	Rzędne				Przemieszczenia pionowe			
		Kronsztadt' 86	Kronsztadt' 86	Kronsztadt' 86	Kronsztadt' 86	wrzesień 2009	listopad 2009	maj 2010	całkowite
		Cykl 1	Cykl 2	Cykl 3	Cykl 4	Cykl2-Cykl 1	Cykl3-Cykl 2	Cykl 4-Cykl 3	Cykl 4-Cykl 1
		lipiec 2009	wrzesień 2009	listopad 2009	maj 2010				
[m]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		
1	35	291,0558	291,0487	291,0348	291,0137	-7,1	-13,9	-21,1	-42,1
2	36	292,5428	292,5356	292,5219	292,4958	-7,2	-13,7	-26,1	-47
3	37	293,7359	293,7221	293,7077	293,6846	-13,8	-14,4	-23,1	-51,3
4	38	294,5995	294,5879	294,5744	294,541	-11,6	-13,5	-33,4	-58,5
5	39	295,4407	295,4257	295,4113	295,3761	-15	-14,4	-35,2	-64,6
6	40	296,4896	296,4733	296,4586	296,4135	-16,3	-14,7	-45,1	-76,1
7	41	296,1704	296,1525	296,1372	296,0786	-17,9	-15,3	-58,6	-91,8
8	42	294,9369	294,9171	294,8995	zasypany	-19,8	-17,6		
9	43	293,6520	293,6305	293,6077	zasypany	-21,5	-22,8		
10	44	293,9299	293,9085	293,8877	293,796	-21,4	-20,8	-91,7	-133,9
11	45	294,5332	294,5108	294,4901	294,3988	-22,4	-20,7	-91,3	-134,4
12	46	294,6428	294,6196	294,5979	294,5086	-23,2	-21,7	-89,3	-134,2
14	48	294,4538	294,4312	294,4093	294,3239	-22,6	-21,9	-85,4	-129,9
15	49	293,7386	293,7166	293,6971	293,6015	-22	-19,5	-95,6	-137,1
16	50	293,9387	293,9164	293,8989	293,8312	-22,3	-17,5	-67,7	-107,5
17	51	294,0851	294,0625	294,0466	293,9861	-22,6	-15,9	-60,5	-99
18	52	293,6693	293,6451	293,6305	293,5225	-24,2	-14,6	-108	-146,8
19	53	292,0272	292,0062	291,9942	291,9467	-21	-12	-47,5	-80,5
20	54	291,7054	291,6854	291,6757	291,6342	-20	-9,7	-41,5	-71,2
21	55	292,053	292,0337	292,0263	291,9898	-19,3	-7,4	-36,5	-63,2
22	56	292,6543	292,6366	292,6302	292,6039	-17,7	-6,4	-26,3	-50,4

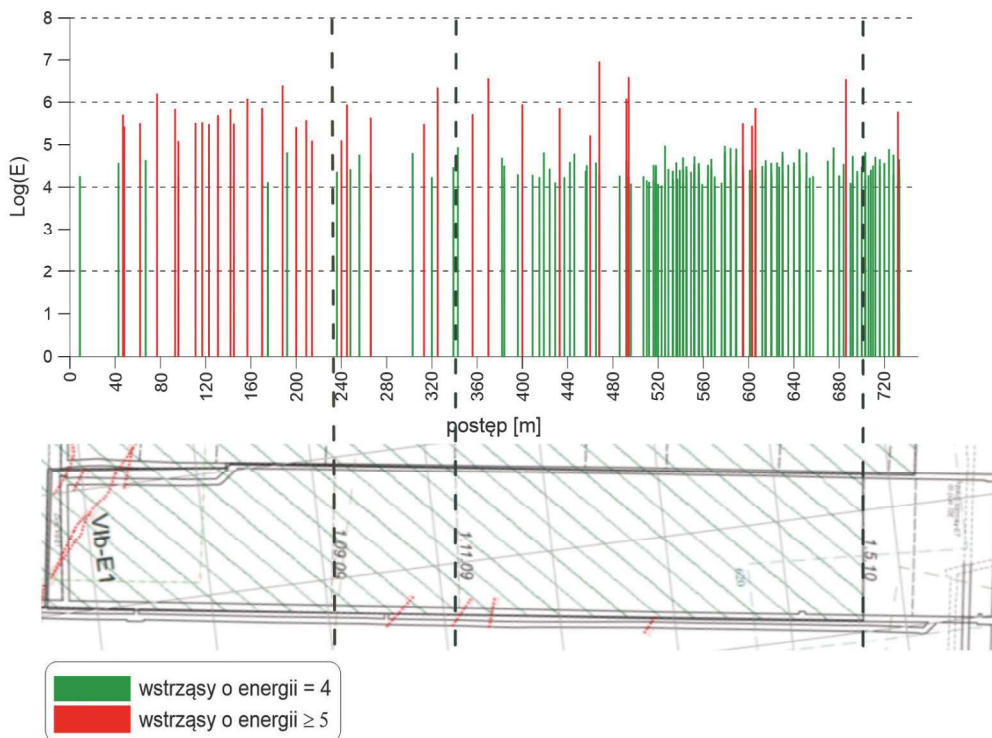
cia eksploatacji do września 2009 r., czyli do dnia wykonania 2 cyklu pomiarowego. W analizowanym okresie z rejonu ściany zarejestrowano 93 wstrząsy górotworu o energii sejsmicznej rzędu od  $10^2$  do  $10^6$  J, w tym 19 wstrząsów wysokoenergetycznych o energii sejsmicznej  $E \geq 10^5$  J (rys. 9). Maksymalna energia wstrząsu w tym okresie wyniosła  $2,5 \cdot 10^6$  J.

Wstrząsy wysoko - jak i niskoenergetyczne były bezpośrednio związane z prowadzoną eksploatacją, tj. występowały systematycznie w pobliżu przesuwanego się frontu ściany VIb-E1, przy czym większa ich liczba wystąpiła na wybiegu ściany na odcinku od 100 do 300 m. W chwili wykonywania powierzchniowych pomiarów geodezyjnych (2 cykl pomiarowy) front ściany znajdował się w odległości poziomej około 150 m do zastabilizowanej na powierzchni linii obserwacyjnej. Analiza lokalizacji ognisk wstrząsów wysokoenergetycznych dla tego etapu eksploatacji pokładu 703/1 ścianą VIb-E1 (rys. 9) wykazała, iż wstrząsy rejestrowane w trakcie początkowych 240 m postępu występowały zarówno na wybiegu ściany, w rejonie oddziaływania krawędzi pokładu 624 (zalegającego około 380 m nad pokładem 703/1), jak i w części już wyeks-

ploatawanej sąsiednią ścianą VIa-E1 pokładu 703/1. Spośród wszystkich zarejestrowanych wstrząsów wysokoenergetycznych tylko 6 z nich zostało zlokalizowanych bezpośrednio w zasięgu linii geodezyjnych punktów obserwacyjnych (rys. 9).

Wykonane na tym etapie pomiary geodezyjne pozwoliły na określenie przebiegu obniżenia na zastabilizowanej linii obserwacyjnej po 2 cyklu pomiarowym (rys. 10). Wskazuje on, że największe zmiany wysokości w tym etapie eksploatacji mieściły się w przedziale od -20 do -24 mm i zostały pomierzone w punktach od 43 do 54, zlokalizowanych w obrysie parceli ściany VIb-E1 lub jej bliskiej odległości. Maksymalne obniżenie zostało zmierzone na punkcie 52 (-24,2 mm). Na pozostałych z wymienionych punktów, które znajdowały się w odległości około 200 m od frontu ściany oraz w zasięgu lokalizowanych ognisk wstrząsów wysokoenergetycznych (4 wstrząsy), wielkości pomierzonych obniżenia wynosiły: -22,4 mm dla punktu 45, -23,2 mm dla punktu 46, -23,2 mm dla punktu 48 oraz -22 mm dla punktu 49.





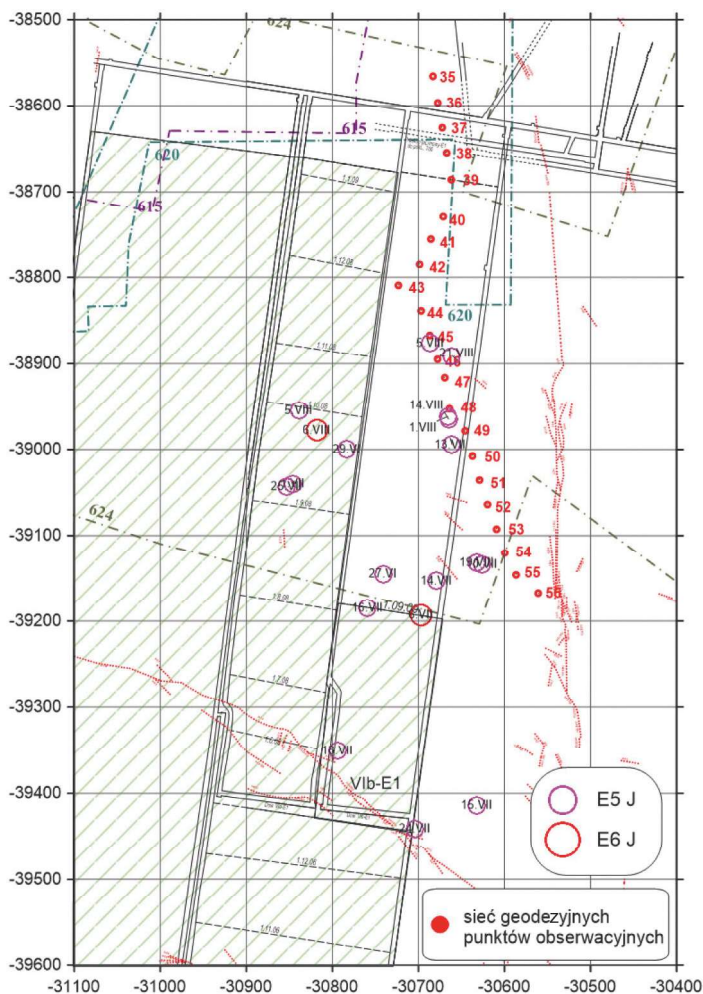
Rys. 8. Aktywność sejsmiczna w trakcie postępu ściany V1b-E1 w pokładzie 703/1 rejestrowana pomiędzy kolejnymi cyklami pomiarowymi pionowej deformacji terenu

Fig. 8. Distribution of seismic energy during mining of longwall V1b-E1 in the seam no. 703/1 between measurement cycles of the subsidence

**Etap II**

Kolejny 3 cykl pomiarowy wykonany został w listopadzie 2009 r. Analizie poddano 100-metrowy wybieg jaki ściana V1b-E1 uzyskała od ostatniego wykonywanego pomiaru geodezyjnego na linii obserwacyjnej we wrześniu 2009 r. Uzyskany postęp od rozpoczęcia eksploatacji pokładu 703/1 do listopada 2009 r., czyli dnia wykonania 3 cyklu pomiarowego wyniósł ok. 340 m. W analizowanym okresie z rejonu ściany zarejestrowano 138 wstrząsów górotworu o energii sejsmicznej rzędu od  $10^2$  do  $10^6$  J, w tym 5 wstrząsów wysokoenergetycznych (rys. 11). Maksymalna energia w tym okresie wyniosła  $2,2 \cdot 10^6$  J. Epicentra wstrząsów wysokoenergetycznych zlokalizowano w obszarze linii obserwacji geodezyjnych, tj. około 200 m przed frontem ściany na dzień 01.11. 2009 r.

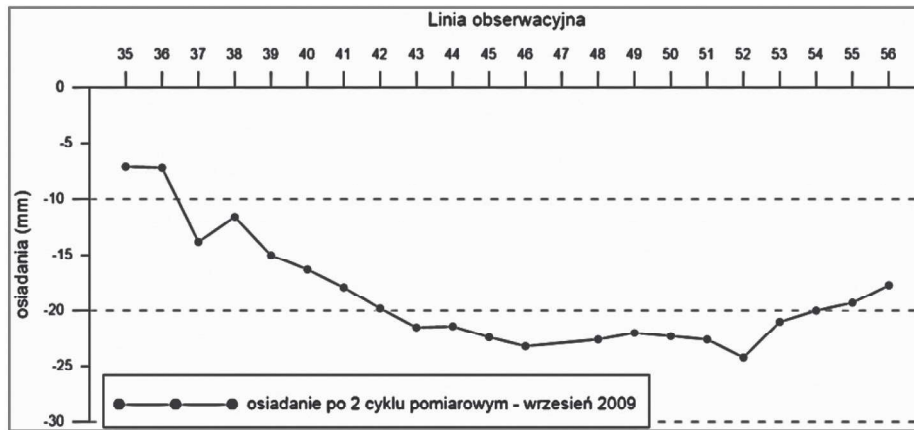
Rejestrowane w tym etapie wstrząsy górotworu o energii sejsmicznej rzędu od  $10^2$  do  $10^4$  J występowały regularnie w pobliżu przesuwanego się frontu eksploatacyjnego ściany V1b-E1. Podobnie jak w I etapie, wstrząsy były lokalizowane na wybiegu ściany, w odległości do 200 m od jej frontu. Wstrząsy wysokoenergetyczne zarejestrowane w okresie pomiędzy



Rys. 9. Wstrząsy wysokoenergetyczne zarejestrowane podczas eksploatacji pokładu 703/1 ścianą V1b-E1 do dnia 1.09.2009 (2 cykl pomiarowy)

Fig. 9. Map of high-energy tremors registered in the longwall V1b-E1 in the seam no. 703/1 up to 1 September 2009 (2nd measurement cycle)





Rys. 10. Osiadania punktów pomiędzy 2 i 1 cyklem pomiarowym w zastabilizowanej linii obserwacyjnej (2 cykl pomiarowy - wrzesień 2009)

Fig. 10. Subsidence of points between 2nd and 1st measurement cycle in stabilized observation points (2nd measurement cycle – September 2009)

cyklami pomiarowymi 2 i 3 lokalizowano w odległości od 200 do 500 m od frontu ściany VIb-E1 (rys. 11), w zasięgu oddziaływania krawędzi pokładu 620 zalegającego ok. 470 m nad pokładem 703/1.

Wykonane po 3 cyklu pomiarowym (rys. 12) pomiary osiadania punktów na geodezyjnej linii obserwacyjnej wykazały, że pomierzone największe zmiany wysokości na tym

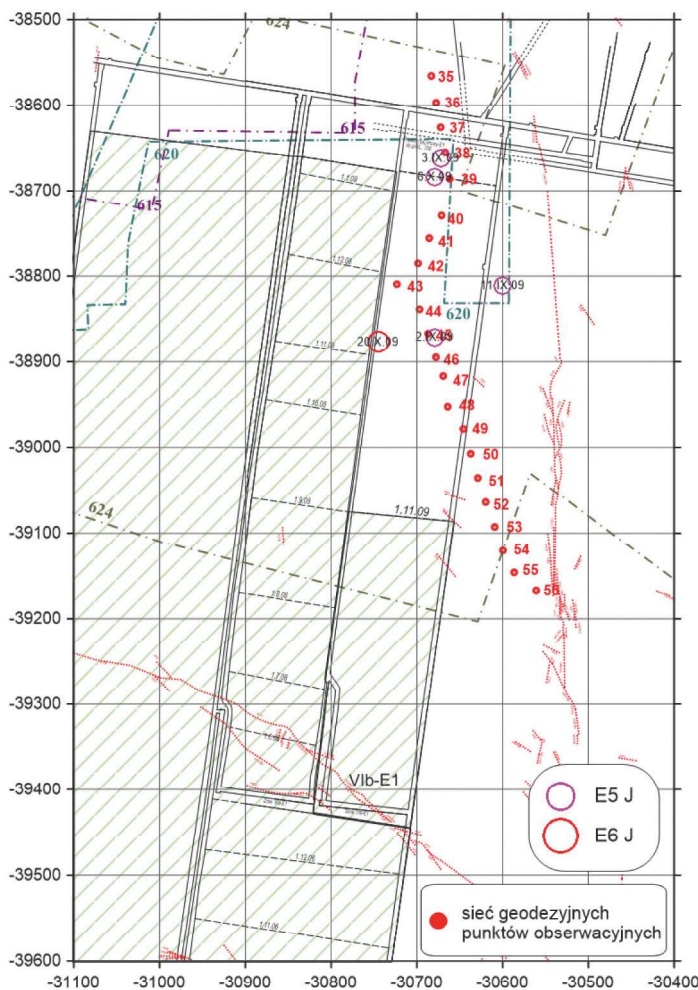
etapie eksploatacji (od 2 cyklu pomiarowego) mieściły się w przedziale od -20,7 do -22,8 mm. Miały one miejsce w punktach od 43 do 48, zlokalizowanych w obrysie parceli ściany VIb-E1, a także w bliskiej odległości od lokalizowanych na wybiegu ściany ognisk wstrząsów wysokoenergetycznych oraz strefy wpływu krawędzi pokładu 620 (rys. 11). Maksymalne osiadanie terenu zostało pomierzone na punkcie 43 (-22,8 mm). W pozostałych z wymienionych punktów wielkości pomierzonych osiadań wynosiły: -20,8 mm dla punktu 44, -20,7 mm dla punktu 45, -21,7 mm dla punktu 46 oraz -21,9 mm dla punktu 48. Na tym etapie eksploatacji najmniejsze osiadania pomierzono w punktach od 53 do 56, zlokalizowanych nad niewybraną częścią pokładu 703/1 i poza obrysem parceli ściany VIb-E1, a także w punktach od 35 do 42 zainstalowanych w odległości ok. 300 m od frontu ściany na jej wybiegu. Wyniki pomiarów osiadań terenu w okresie pomiędzy 2 i 3 cyklem pomiarowym potwierdza analiza całkowitego osiadania punktów linii obserwacyjnej wykonana po 3 cyklu pomiarowym. Potwierdzają one, że największe osiadania wystąpiły w punktach do 43 do 51, a najmniejsze na wybiegu ściany poza linią planowanego zakończenia eksploatacji pokładu 703/1 ścianą VIb-E1 (rys. 13).

### Etap III

4 cykl pomiarowy wykonany został w maju 2010 r. Analizie poddano najdłuższy 360-metrowy wybieg jaki ściana VIb-E1 uzyskała od ostatniego wykonywanego pomiaru geodezyjnego. Uzyskany postęp ściany od momentu rozpoczęcia jej eksploatacji do 1 maja 2010 r., czyli do dnia wykonania 4 cyklu pomiarowego wyniósł ok. 700 m. W analizowanym okresie z rejonu ściany zarejestrowano 2093 wstrząsy górotworu o energii sejsmicznej rzędu od  $10^2$  do  $10^6$  J, w tym 13 wstrząsów wysokoenergetycznych (rys. 14). Maksymalna energia wstrząsu w tym okresie wyniosła  $9,1 \cdot 10^6$  J.

Rys. 11. Wstrząsy wysokoenergetyczne zarejestrowane podczas eksploatacji pokładu 703/1 ścianą VIb-E1 do dnia 1.11.2009 (3 cykl pomiarowy)

Fig. 11. Map of high-energy tremors registered in the longwall VIb-E1 in the seam no. 703/1 up to 1 November 2009 (3rd measurement cycle)



Wstrząsy górotworu o energii sejsmicznej rzędu od  $10^2$  do  $10^4$ J, podobnie jak w całym okresie eksploatacji ściany VIb-E, lokalizowane były na wybiegu ściany w pobliżu przesuwanego się frontu eksploatacyjnego. Rejestrowane w tym okresie wstrząsy wysokoenergetyczne zostały zlokalizowane w odległości od 60 do 380 m od frontu ściany, na linii planowanego zakończenia biegu ściany, w rejonie oddziaływania krawędzi pokładu 620 (rys. 14).

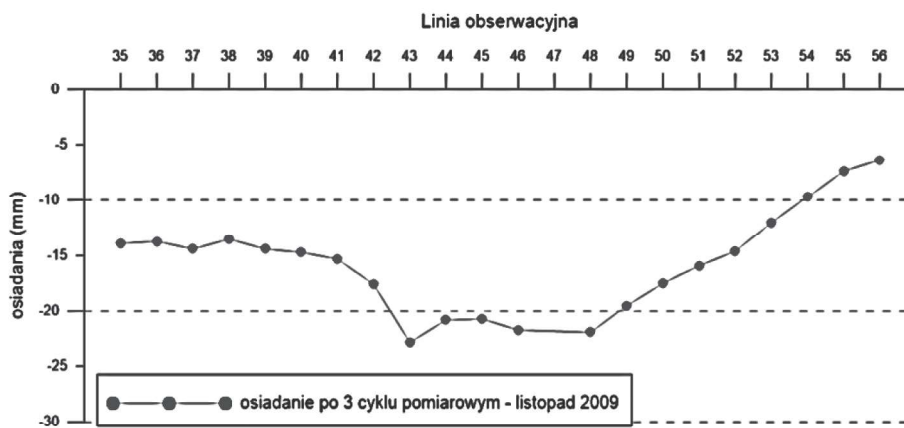
Analiza wyników po 4 cyklu pomiarowym pokazała, że największe zmiany mierzonych wysokości na końcowym etapie eksploatacji mieściły się w przedziale od -33,4 do -108 mm i dotyczą punktów obserwacyjnych od 38 do 52 (rys. 15). Największe obniżenia powierzchni terenu zostały pomierzone w punktach znajdujących się w zasięgu wpływu deformacji bezpośrednio związanej z eksploatacją; -108 mm (punkt 52), -95,6 mm (punkt 49), -85,4 mm (punkt 48), -89,3 mm (punkt 46), -91,3 mm (punkt 45). W pozostałych z wymienionych punktów wielkości pomierzonych obniżen wynosiły: -91,7 mm (punkt 44), -58,6 mm (punkt 41), -45,1 mm (punkt 40), -35,2 mm (punkt 39), -33,4 mm (punkt 38). Obniżenia w tej grupie punktów, na co wskazuje analiza graficzna, związane były zarówno z grupą krawędzi pokładów zalegających za pokładem 620 oraz 615, jak również z sejsmicznością indukowaną podczas eksploatacji ściany VIb-E1 w pokładzie 703/1. Lokalizacja zarejestrowanych wstrząsów

wysokoenergetycznych, w większości występowała w promieniu ok. 100 m od linii zakończenia ściany i w bezpośrednim zasięgu zastabilizowanej na powierzchni geodezyjnej linii obserwacyjnej.

## 6. Dyskusja wyników

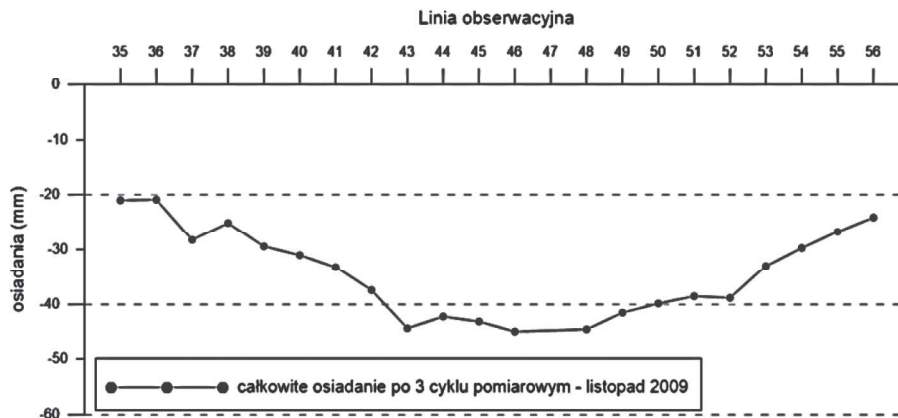
Pomiary geodezyjne wykonane na linii obserwacyjnej zastabilizowanej na terenie górniczym kopalni Rydułtowy na bieżąco umożliwiały obserwację rzeczywistego wpływu prowadzonej eksploatacji pokładu 703/1 ścianą VIb-E1 na deformacje powierzchni terenu. Analiza lokalizacji ognisk wstrząsów indukowanych przez tę eksploatację, w tym zjawisk wysokoenergetycznych, na tle dokonywanej w tym czasie eksploatacji, umożliwiła korelację tych dwóch parametrów. Polegała ona na porównaniu obniżen terenu, pomierzonych w czterech cyklach czasowych, z położeniem epicentrow tych wstrząsów w stosunku do geodezyjnej linii obserwacyjnej.

Uzyskane wyniki pokazały (rys. 16), że największe osiadania mierzone były w punktach znajdujących się za frontem ściany VIb-E1 w zasięgu deformacji powierzchni terenu związanej z dokonaną już eksploatacją: punkty (po 4 cyklu pomiarowym) 52(-108 mm), 49(-95,6 mm), 48(-85,4 mm), 46(-89,3 mm), 45(-91,3 mm). Zmiany wysokości pomierzo-



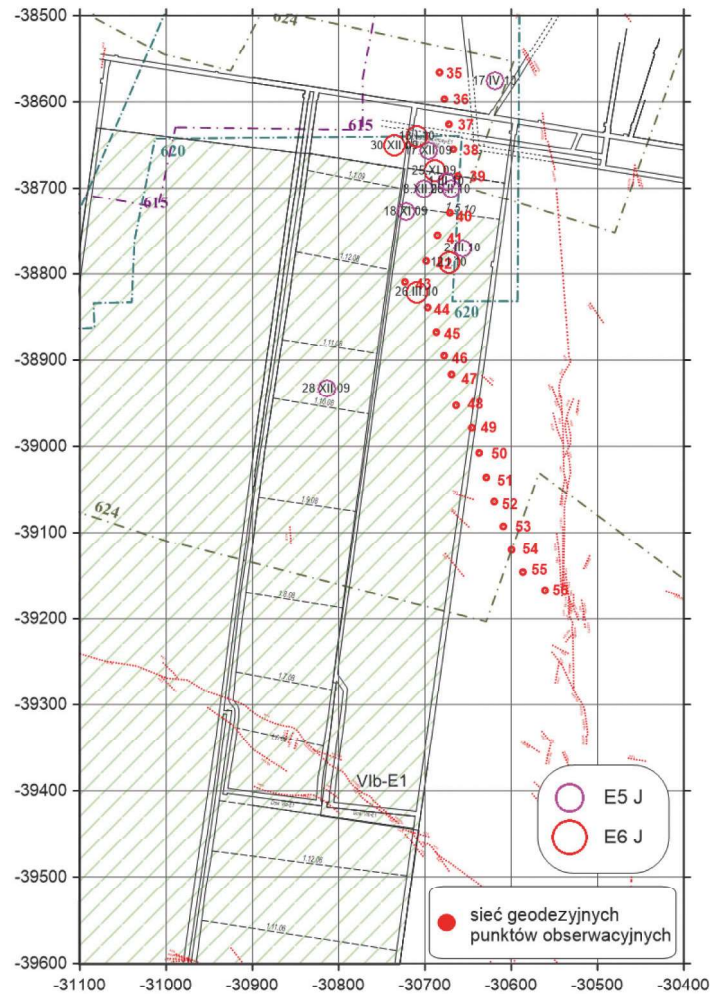
Rys. 12. Osiadania punktów pomiędzy 3 i 2 cyklem pomiarowym w zastabilizowanej linii obserwacyjnej (3 cykl pomiarowy - listopad 2009 r.)

Fig. 12. Results of subsidence measurements in stabilized observation points, difference between 3rd (November 2009) and 2nd measurement cycle (September 2009)



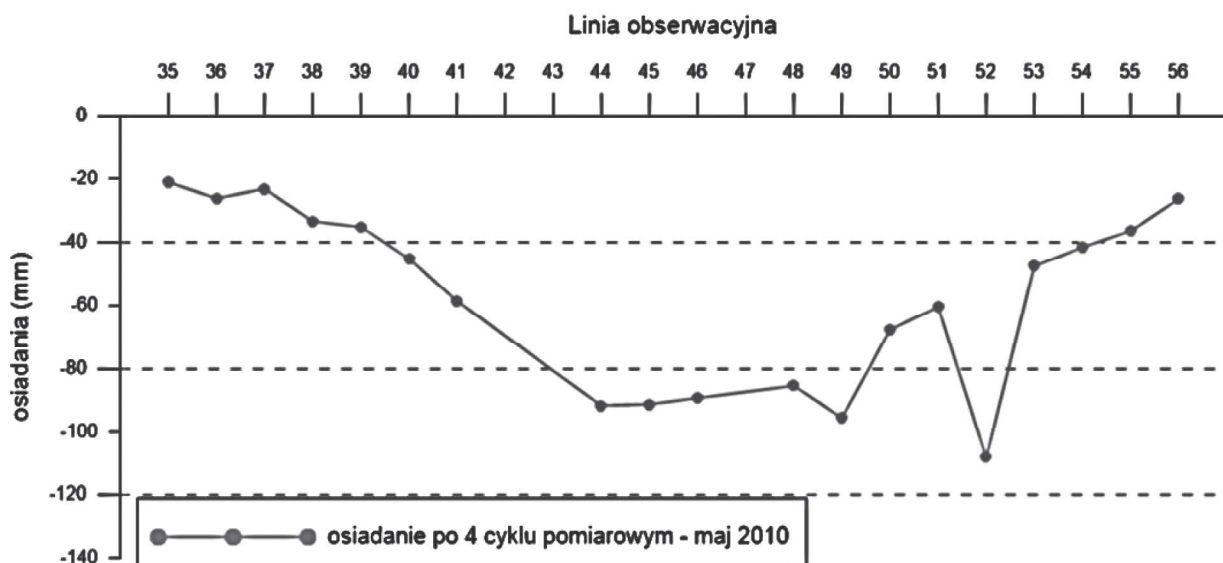
Rys. 13. Całkowite osiadanie punktów w zastabilizowanej linii obserwacyjnej - pomierzona różnica pomiarów pomiędzy cyklem 3 (listopad 2009 r.) a cyklem pomiarowym 1 (lipiec 2009 r.)

Fig. 13. Results of total subsidence measurements in stabilized observation points, difference between 3rd (November 2009) and 1st measurement cycle (July 2009)



Rys. 14. Wstrząsy wysokoenergetyczne zarejestrowane podczas eksploatacji pokładu 703/1 ścianą V1b-E1 do dnia 1.5.2010 (4 cykl pomiarowy)

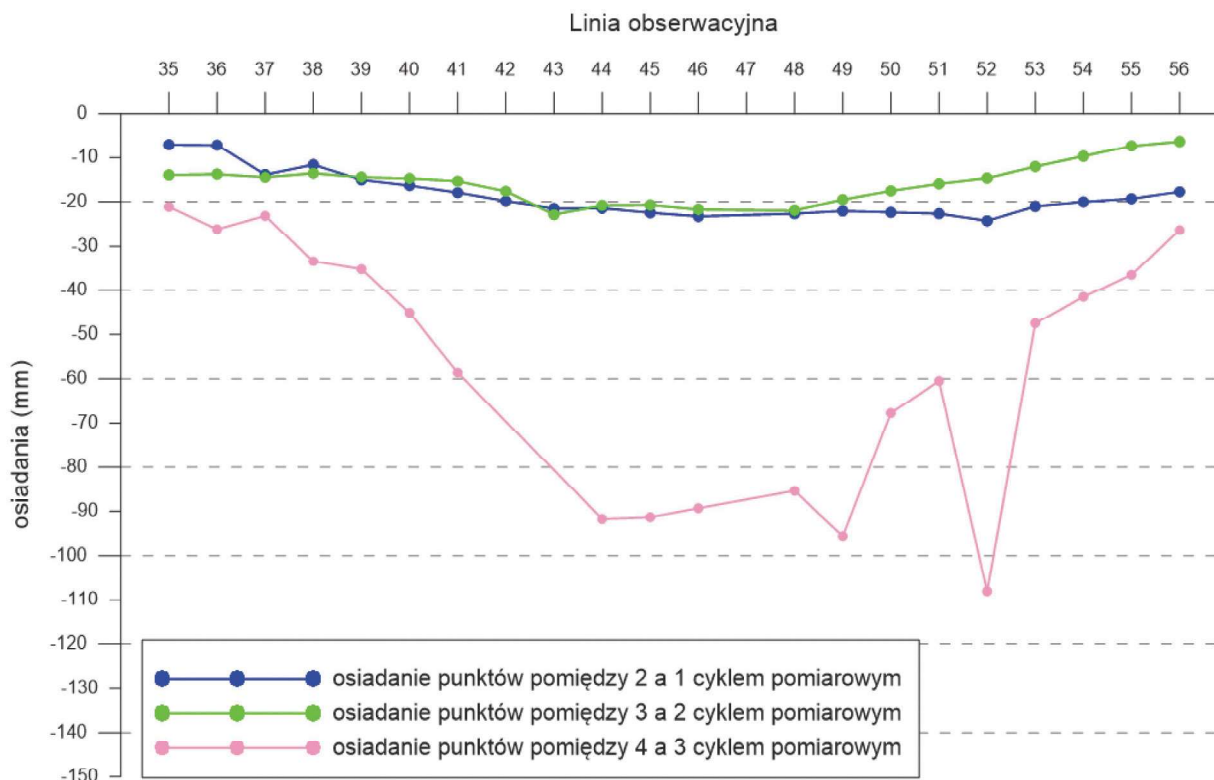
Fig. 14. Map of high-energy tremors registered in the longwall V1b-E1 in the seam no. 703/1 up to 1 May 2010 (4th measurement cycle)



Rys. 15. Osiadania punktów pomiędzy 4 i 3 cyklem pomiarowym w zastabilizowanej geodezyjnej linii obserwacyjnej (4 cykl pomiarowy - 1.05.2010 r.)

Fig. 15. Results of subsidence measurements in stabilized observation points (4th measurement cycle – 1 May 2010)





Rys. 16. Wyniki pomiarów osiadania punktów w zastabilizowanej linii obserwacyjnej pomiędzy kolejnymi cyklami pomiarowymi (różnica osiadania pomiędzy 2 a 1 cyklem pomiarowym, 3 a 2 cyklem i 4 a 3 cyklem pomiarowym)

Fig. 16. Results of subsidence measurements in stabilized observation points between subsequent measurement cycles (difference between 2nd and 1st, 3rd and 2nd, 4th and 3rd measurement cycle)

ne były również w punktach będących w bliskiej odległości od lokalizowanych na wybiegu ściany ognisk wstrząsów wysokoenergetycznych: punkty (po 2 cyklu pomiarowym) 43(-22,8 mm), 44(-21,4 mm), 45(-20,7 mm), 46(-21,7 mm), 48(-22,6 mm). W miejscach tych położone były epicentra ognisk wstrząsów o energiach sejsmicznych rzędu  $10^5$  J do  $10^6$  J. W miarę rozwoju eksploatacji w rejonie tych właśnie punktów obserwacyjnych miał miejsce wzrost osiadań i jednocześnie wzrost liczby wstrząsów wysokoenergetycznych o epicentrach zlokalizowanych w pobliżu tych punktów.

## 7. Podsumowanie

W pierwszym etapie pomiarów geodezyjnych deformacje na punktach pomiarowych osiągnęły rząd 10-20 mm i rejestrowano wówczas w tym obszarze tylko pojedyncze wstrząsy wysokoenergetyczne. W chwili osiągnięcia maksymalnych osiadań, w czasie pomiędzy 3 i 4 cyklem pomiarowym, 80-108 mm na punktach od 44 do 52, monitorowano większą liczbę wstrząsów wysokoenergetycznych, tj. o energii sejsmicznej  $E \geq 10^5$  J (13 wstrząsów).

Wyniki pomiarów geodezyjnych wyraźnie wskazują na istnienie jakościowej korelacji pomiędzy wzrostem osiadania terenu nad ścianą eksploatacyjną i aktywnością sejsmiczną górotworu, przejawiającą się wzrostem liczby wstrząsów wysokoenergetycznych i ich energii sejsmicznej.

## Literatura

- DRZEWIECKI J., MAKÓWKA J. 2013 - A model of rock mass fracturing ahead of the longwall face as a consequence of intensity of exploitation. *Acta Geodyn. Geomater.*, Vol. 10, No. 2 (170), 137-145, 2013. DOI: 10.13168/AGG.2013.0013.
- MARCAK 2013 - Cycles in mining seismicity. *J Seismol* (2013) 17:961-974. DOI 10.1007/s10950-013-9365-4.
- MUTKE G., STEC K. 1997 - Seismicity in the Upper Silesian Coal Basin, Poland: Strong regional seismic events. *Proc. 4th Int. Symp. - Rockbursts and Seismicity in Mines*, (eds. Gibowicz, S.J. and Lasocki S.), Rotterdam- A.A. Balkema, s. 213-217.
- MUTKE G., CHODACKI J., 2010 - Charakterystyka parametrów drgań od najsilniejszych wstrząsów regionalnych w GZW w aspekcie kryteriów oceny intensywności w oparciu o skalę GSIGZW. *Prace Naukowe GIG. Wstrząsy górnicze charakterystyka parametrów drgań oraz kryteria oceny wpływu na obiekty budowlane* – pod redakcją G. Mutke i T. Tatara. „Górnictwo i Geologia”. nr 4, s. 65-80.
- SZCZERRBOWSKI Z., JURA J. 2015 - Mining induced seismic events and surface deformations monitored by gps permanent stations. *Acta Geodyn. Geomater.*, Vol. 12, No. 3 (179), 237-248. DOI: 10.13168/AGG.2015.0023.
- USZKO M., BARAŃSKI A., KOWAL T., MUTKE G. 2013 - Zagrożenia naturalne w kopalniach Kompanii Węglowej SA. The natural threats in the mines of the Coal Company SA. Część II. Oddziaływanie wstrząsów górniczych na powierzchnię (Part II Influence of mining tremors on surface infrastructure) „Wiadomości Górnicze”. nr 12, s.708-720.
- ZYCH J., PIWOWARSKI W. 2015 - Propozycja prognozowania deformacji powierzchni spowodowanych eksploatacją dwóch ścian w górotworze nienaruszonym. „Przeгляд Górnictwa” nr 3.
- MAJCHERCZYK T., OLECHOWSKI S. 2007 - Analiza aktywności sejsmicznej zaistniałej podczas eksploatacji pokładu 703/1 ścianą VI-E1 w KWK „Rydułtowy-Anna”. *Górnictwo i Geologia*. Górnictwo i Geologia 2007. GIG. Katowice.

Artykuł wpłynął do redakcji – październik 2018  
Artykuł akceptowano do druku 17.12.2018