

*Wiesław Chylek**

AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNA GÓROTWORU PODZAS PROWADZENIA EKSPLOATACJI POKŁADÓW TĄPIĄCYCH W KWK „WESOŁA”

1. Wstęp

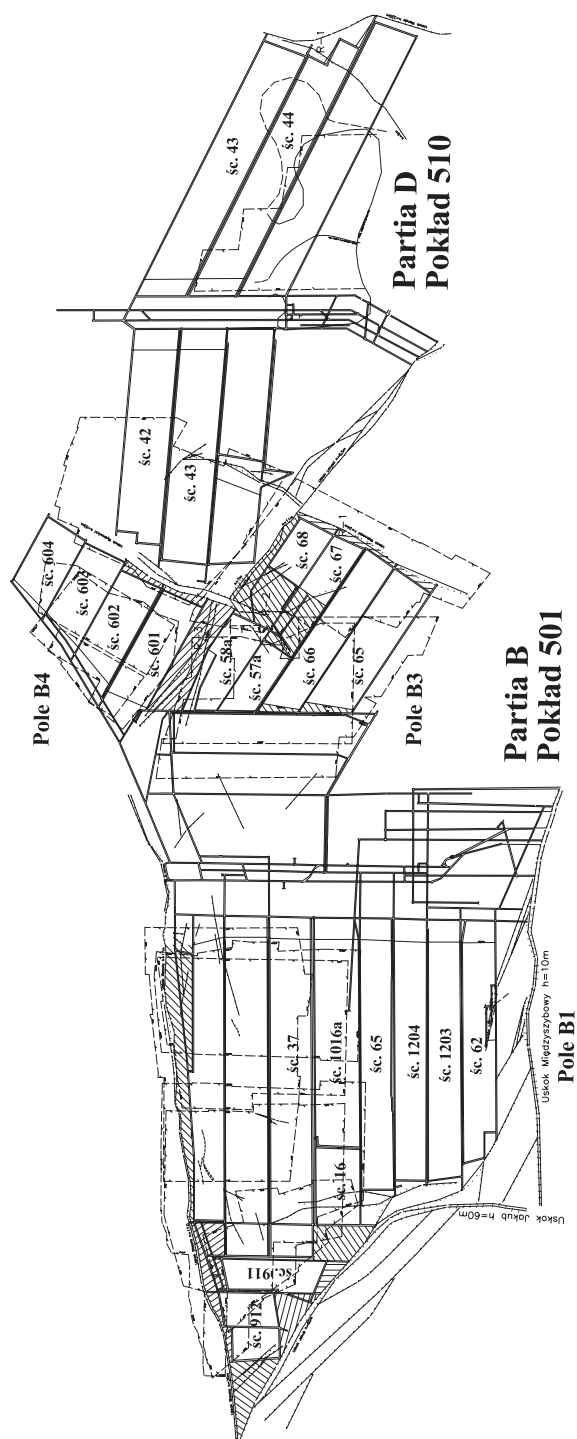
Jednym z głównych czynników decydujących o możliwości zastosowania w konkretnej sytuacji geologiczno-górnicznej określonego systemu eksploatacji są zagrożenia naturalne, kreujące określone bariery i nakładające na dobierany sposób prowadzenia robót górniczych odpowiednie wymogi. Odnosząc się do skali przejawów zagrożeń naturalnych w kopalniach polskich, można wykazać, iż aktualnie zagrożeniem wiodącym jest zagrożenie tąpnięciami.

Ze wszystkich zagrożeń towarzyszących działalności górniczej stopień zagrożenia tąpnięciami jest trudny do sprecyzowania; trudny do ustalenia jest również ilościowy stan przygotowania górotworu do tąpnięcia. Wynika to z wieloprzyczynowości tych zdarzeń: parametrów geotechnicznych skał i wyrobisk, trudno mierzalnego stanu naprężenia w górotworze, wzajemnego oddziaływania robót górniczych na siebie czy wreszcie różnego rodzaju zaburzeń geologicznych. Często też bezpośrednią przyczyną tąpnięcia jest załamywanie się grubych i monolitycznych warstw skalnych zalegających w znacznej odległości od wyrobisk.

Od lat podejmowane są liczne prace naukowo-badawcze i techniczne w celu wyjaśnienia przyczyn tąpnięć, ich prognozowania i zwalczania. Jednak mechanizm powstania i przebiegu tąpnięć nie został jeszcze w pełni poznany.

W niniejszej pracy zajęto się analizą aktywności sejsmicznej górotworu podczas prowadzenia eksploatacji pokładów zaliczanych do zagrożonych tąpnięciami na przykładzie Kopalni Węgla Kamiennego „Wesoła”. Kopalnia „Wesoła” wybiera ścianę w skłonnych do tąpnięć pokładach 501 w partii B i 510 partii D (rys. 1). Pokład 501 eksploatowany jest systemem ścianowym z zawalem stropu od 1979 r. Eksploatacja warstwy przystropowej pokładu 510 jest prowadzona od 1997 r.

* Katowicki Holding Węglowy S.A., Kopalnia Węgla Kamiennego „Wesoła”



Rys. 1. Położenie ścian i pokładów zaliczonych do zagrożonych tąpnięmami w KWK „Wesoła”

2. Warunki górnictwo-geologiczne

Pokład 501 występuje na całym obszarze partii B. Jego miąższość waha się od 2,7 m do 6,75 m. Głębokość zalegania pokładu wynosi 700÷820 m. Nachylony jest on pod kątem 6° w kierunku północno-południowym. W stropie pokładu 501 występują naprzemianległe warstwy łupków piaszczystych i piaskowców, poniżej zalega pokład 418. W spągu występują łupki ilaste i piaszczyste oraz piaskowce o miąższości do kilkudziesięciu metrów, a poniżej pokład 510. Wytrzymałość R_c piaskowców zalegających w rejonie pokładu 501 waha się w granicach od 42,1 MPa do 48,5 MPa (średnio 43,7 MPa), łupków piaszczystych – w granicach od 31,3 MPa do 48,4 MPa (średnio 38,9 MPa), a łupków ilastych – od 21,1 MPa do 40,2 MPa (średnio 34,0 MPa). Wytrzymałość węgla z pokładu 501 na ściskanie jest równa $R_c = 27,2$ MPa.

Pokład 510 zalega na całym obszarze partii D. Jego miąższość waha się od 6,8 m w części wschodniej do 12,6 m w części południowo-zachodniej. Zalega on na głębokości od około 600 m do około 850 m. Nachylenie pokładu 510 w partii D wynosi od 4° do 8° w kierunku południowo-zachodnim. Według profili uzyskanych z otworów badawczych wykonanych z wyrobisk w pokładzie 510, bezpośrednio w stropie pokładu występują przeważnie warstwy piaskowca o miąższości od 1,5 m do 25,3 m, a lokalnie bezpośrednio w stropie pokładu – łupki ilaste o miąższości od 0,9 m do 3,0 m oraz łupki piaszczyste o miąższości od 0,3 m do 10,8 m. Bezpośrednio w spągu występują łupki ilaste i piaszczyste, lokalnie z przerostami węglowymi. Wartości parametrów wytrzymałościowych pokładu 510 oraz warstw otaczających przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Wytrzymałość na ściskanie warstw skalnych zalegających w otoczeniu pokładu 510

Rodzaj skały	R_c [MPa]
Węgiel	24,5÷37,3
Piaskowiec	28,2÷55,9
Łupek piaszczysty	33,6÷64,3
Łupek ilasty	39,4÷41,2

3. Sejsmiczność w rozpatrywanym rejonie

Pokłady 501 i 510 zaliczone zostały przez Okręgowy Urząd Górniczy (OUG) w Katowicach do III stopnia zagrożenia tąpnięciami. Na stan zagrożenia tąpnięciami pokładów 501 oraz 510 w partii B wpływają następujące czynniki:

- duża głębokość zalegania pokładów wynosząca od 700 do 820 m;
- występowanie w stropie pokładów grubych i zwięzłych, miejscami jednorodnych ław piaskowcowych;
- silnie zdyslokowanie złoża uskokami;
- wytworzone krawędzie eksploatacyjne i resztki pokładów 414, 405/2, 404/5.

Przeprowadzone dotychczas liczne pomiary geotomograficzne nie wskazują jednoznacznie na istotny wpływ krawędzi na stan naprężeń w pokładzie 501.

W tabelach 2–5 przedstawiono zestawienia energii wstrząsów w poszczególnych polach pokładu 501.

TABELA 2

Zestawienie energii wstrząsów w polu B1 pokładu 501

Wyrobisko	E2	E3	E4	E5	E6	Wyzwolona energia na tonę wydobytego węgla [J/tonę]
ściana 65	1375	428	82	2	1	7,40
ściana 62	1440	257	50	1	1	3,37
ściana 16	200	326	57	–	–	5,96
ściana 1016a	846	850	96	–	–	5,37

TABELA 3

Zestawienie energii wstrząsów w polu B2 pokładu 501

Wyrobisko	E2	E3	E4	E5	E6	Wyzwolona energia na tonę wydobytego węgla [J/tonę]
ściana 62	2107	507	195	9	1	1,14

TABELA 4

Zestawienie energii wstrząsów w polu B3 pokładu 501

Wyrobisko	E2	E3	E4	E5	E6	Wyzwolona energia na tonę wydobytego węgla [J/tonę]
ściana 65w	876	852	91	3	–	10,98
ściana 66w	620	598	100	7	2	28,89

TABELA 5

Zestawienie energii wstrząsów w polu B4 pokładu 501

Wyrobisko	E2	E3	E4	E5	E6	Wyzwolona energia na tonę wydobytego węgla [J/tonę]
ściana 604	40	8	1	–	–	0,43
ściana 603	40	8	1	–	–	0,27
ściana 602	3	4	1	–	–	0,20
ściana 601	52	53	4	–	–	2,29

Najwięcej wstrząsów zarejestrowano w polu B1 (tab. 2) i tam również wystąpiło pięć tąpnięć. Dotychczasowa eksploatacja w polu B1 charakteryzowała się bardzo dużą liczbą wstrząsów na wybiegu ścian, niewielką w zrobach oraz małą podatnością górotworu na

konwencjonalne zabiegi profilaktyczne. W polu B1 zarejestrowano 6012 wstrząsów o sumarycznej energii 1,95E7 J. Energetyczny wskaźnik na 1 tonę wydobytego węgla wynosił od 3,37 J/tonę do 7,40 J/tonę. Średnia wyzwolona energia w przeliczeniu na jeden wstrząs – 3,24E3 J.

W polu B2 zarejestrowano 2819 wstrząsów o sumarycznej energii 1,32E7 J. Energetyczny wskaźnik na jedną tonę wydobytego węgla wyniósł 1,14 J/tonę (tab. 3). Eksploatacja ścianą 62 w polu B2 charakteryzowała się występowaniem dużej liczby wstrząsów, z których prawie połowę zlokalizowano w zrobach. Sumaryczna energia wstrząsów w zrobach była wyższa niż na wybiegu. Średnia wyzwolona energia w ścianie 62 w przeliczeniu na jeden wstrząs wynosiła 4,63E3 J. Wysoka podatność górotworu na konwencjonalne zabiegi profilaktyczne – wyzwolone energie sejsmiczne po strzelaniach wstrząsowych są rzędu E4 i E5 J. Wyżej wymieniona aktywność związana ze ścianą poprzeczną (ściana 62) była charakterystyczna dla tego sposobu eksploatacji i odmienna niż dla ścian podłużnych.

W polu B3 w trakcie eksploatacji dwóch ścian w pokładzie 501 zarejestrowano 3149 wstrząsów o sumarycznej energii 1,49E7 J. Energetyczny wskaźnik na jedną tonę wydobytego węgla był najwyższy ze wszystkich rejonów wydobywczych i wynosił 10,89 J/tonę dla ściany 65 i 28,89 J/tonę dla ściany 66 (tab. 4). Jak widać, zwiększał się wraz z powierzchnią wybrania pola. Najwyższa była również energia w przeliczeniu na jeden wstrząs – 4,73E3 J.

W polu B4 w trakcie eksploatacji czterech ścian w warstwie przystropowej pokładu 501 zarejestrowano 187 wstrząsów o sumarycznej energii 5,29E5 J. Energetyczny wskaźnik na jedną tonę wydobytego węgla był najniższy ze wszystkich pól w partii B i wyniósł od 0,20 J/tonę do 2,29 J/tonę (tab. 5). Zaobserwowano wzrost liczby wstrząsów oraz wyzwolonej energii w trakcie eksploatacji ostatniej ściany w tym polu. Wyzwolona energia w polu B4 w przeliczeniu na jeden wstrząs wynosi 2,83E3 J. W trakcie eksploatacji ścian w polu B4 aktywna profilaktyka tapaniowa była stosowana w niewielkim zakresie.

W trakcie drażenia wyrobisk korytarzowych zdecydowanie najwyższą aktywność partii B zarejestrowano w polu B1. Było to związane głównie z prowadzeniem chodników wzdłuż zrobów uprzednio wyeksploatowanych ścian. Chodniki często prowadzono z „płotem węglowym” o grubości do 10 m. Najwyższą aktywność sejsmiczną zarejestrowano w trakcie drażenia chodnika Va, chodnika IIIa, chodnika VIa i przecinki ściany 1016a. W trakcie drażenia wyrobisk korytarzowych w polu B1 wystąpiły dwa tąpnięcia, w tym jedno w następstwie wykonanego strzelania wstrząsowego. W trakcie drażenia chodników udostępniających nowe pola, gdzie nie było sąsiedztwa zrobów wyeksploatowanych ścian, rejestrowana aktywność sejsmiczna była na niskim poziomie lub wcale nie rejestrowano zjawisk sejsmicznych. W trakcie drażenia wyrobisk korytarzowych bardzo przydatna dla określenia stanu zagrożenia tapaniami była również metoda wierceń małośrednicowych, którą w przeciwieństwie do ścian wykorzystywano z dużym efektem.

Pokład 510 w warstwie przystropowej zaliczony jest do III stopnia zagrożenia tapaniami. Czynnikiem zwiększającym stan zagrożenia tapaniami pokładu 510 partii D w warunkach kopalni „Wesoła” są:

- duża głębokość zalegania pokładów wynosząca do 800 m;
- występowanie w stropie zwiezłego piaskowca o łącznej grubości dochodzącej do 110 m;
- znaczna miąższość pokładów 501 i 510 wynosząca łącznie około 14 m, przy przeróście łupku między nimi przeważnie od 0,3 do 4,0 m, a niekiedy dochodzącym do 30 m.

W kopalni „Wesoła” w partii D wybrano dotychczas 3 ściany z zawałem stropu systemem podłużnym. Według obliczeń wykonanych przez GIG w partii D należy się spodziewać wstrząsów sejsmicznych o maksymalnych energiach: D wschód – 2E6 J; D zachód – 3E6 J.

W trakcie robót przygotowawczych i eksploatacji ścianowej w pokładzie 510 w partii D zarejestrowano około 800 wstrząsów sejsmicznych o sumarycznej energii około 5,5E6 J. Zdecydowaną większość z tych wstrząsów zarejestrowano w trakcie eksploatacji ścian 43, 42 i 44 (tab. 6). W trakcie prowadzonych robót przygotowawczych w partii D aktywność sejsmiczna była bardzo niska, zarejestrowano w sumie kilkadziesiąt wstrząsów o energiach rzędu E2 i E3 J.

Najwyższą aktywność zarejestrowano w trakcie eksploatacji pokładu ścianą 44, tj. 61 wstrząsów rzędu E4 J i 2 wstrząsy rzędu E5 J. Część tych wstrząsów była silnie odczuwalna na powierzchni.

TABELA 6

Aktywność sejsmiczna ze ścian w pokładzie 510, partia D

Nr ściany	Pokład/Partia	Lata eksploatacji	Suma wstrząsów	Suma energii [J]
ściana 43	510/D	1997–1998	9	1,46E4
ściana 42	510/D	1998–1999	141	2,80E5
ściana 44	510/D	1999–2000	616	4,73E6
Razem			766	5,06E6

4. Metodyka badań

W niniejszym rozdziale zajęto się poszukiwaniem zależności intensywności energii sejsmicznej poszczególnych rzędów (ΣE_2 , ΣE_3 , ΣE_4 , ΣE_5 , ΣE_6) oraz energii sumarycznej (ΣE_c) od pola powierzchni dokonanej eksploatacji ścian i partii złoża. W tym celu wykorzystano wskaźnik intensywności energii sejsmicznej definiowany jako iloraz energii i pola powierzchni dokonanej eksploatacji. W warunkach kopalń rud miedzi [1] wskaźnik ten został nazwany ogólnym wskaźnikiem zagrożenia dynamicznymi przejawami ciśnienia górotworu:

$$W_{ie} = \frac{E}{A},$$

gdzie:

W_{ie} — wskaźnik intensywności energii sejsmicznej [J/m^2],

E — energia sejsmiczna [J],

A — pole powierzchni dokonanej eksploatacji [m^2].

Dla kolejno eksploatowanych ścian w pokładzie 501 (partia B) oraz 510 (partia D) obliczono wartości wskaźnika intensywności energii sejsmicznej dla poszczególnych klas energetycznych (E2, E3, E4, E5, E6) oraz energii sumarycznej (E_c). Wyniki obliczeń zestawiono w tabelach 7–17, na podstawie których sporządzono wykresy wymienionych zależności

(rys. 2–12). Ponadto ujęto w formie zależności statystycznej związek pomiędzy powierzchnią dokonanej eksploatacji, a obliczonym wcześniej wskaźnikiem intensywności energii sumarycznej dla eksploatacji poszczególnych ścian i partii:

$$W_{ie} E_c = f(A),$$

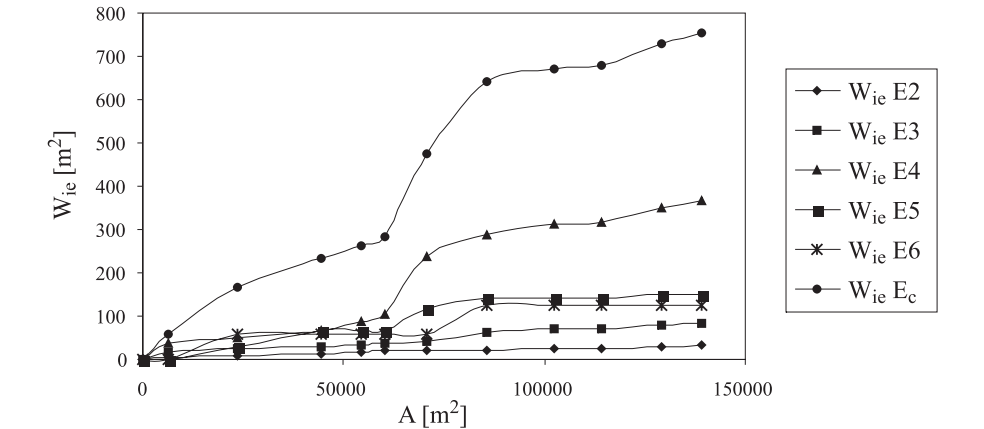
gdzie:

$W_{ie} E_c$ — wskaźnik intensywności energii sumarycznej [J/m²],
 A — pole powierzchni dokonanej eksploatacji [m²].

Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunkach 13–23.

TABELA 7
Wartości wskaźnika intensywności energii przypadające na pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 62

Pow. [m ²]	$W_{ie} E2$	$W_{ie} E3$	$W_{ie} E4$	$W_{ie} E5$	$W_{ie} E6$	$W_{ie} E_c$
6250	4,688	17,92	36,8	0	0	59,408
23 500	8,5256812	23,601159	48,973913	28,985507	57,971014	167,73843
44 500	13,382824	27,696398	67,5453416	67,080745	57,971014	233,45272
54 250	17,259747	34,2605	88,0581621	67,080745	57,971014	264,22195
60 250	19,526414	36,427167	103,058162	67,080745	57,971014	284,22195
70 750	21,212128	43,379548	237,343876	114,69979	57,971014	474,69814
85 750	22,645461	63,446214	288,010543	141,36646	124,63768	640,03148
102 250	25,106067	69,50682	311,040846	141,36646	124,63768	671,60723
114 250	26,939401	71,75682	315,207513	141,36646	124,6376	679,85723
129 250	29,692734	78,823487	349,874179	148,03313	124,6376	731,19057
139 000	32,902991	83,849128	366,284436	148,03313	124,6376	755,80595



Rys. 2. Wykres zmiany wskaźnika intensywności energii w funkcji zwiększającego się pola powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 62

TABELA 8

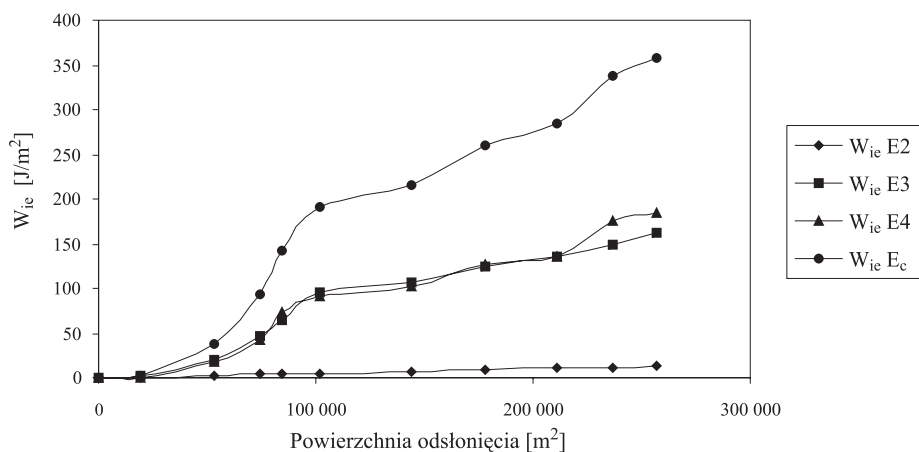
Wartości wskaźnika intensywności energii przypadające na pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 16 i 1016a

Pow. [m ²]	W_{ie} E2	W_{ie} E3	W_{ie} E4	W_{ie} E5	W_{ie} E6	W_{ie} E _c
19 475	0	1,64313222	0	0	0	1,64313222
53 300	1,59053954	18,9971603	16,8514412	0	0	37,3563621
74 300	3,93339668	47,1400174	42,565727	0	0	93,5468383
84 300	3,93339668	65,1400174	72,565727	80	0	221,546838
101 900	5,35385123	95,2536538	90,1793633	80	0	270,978656
143 900	7,16337504	107,158416	101,84603	80	0	296,454847
177 900	9,83984563	123,923122	125,669559	80	0	339,396023
210 900	10,7792396	136,347364	136,57865	80	0	363,638448
236 900	11,5100088	148,655056	175,424804	80	0	415,561525
256 900	12,5100088	161,655056	184,924804	80	0	439,061525

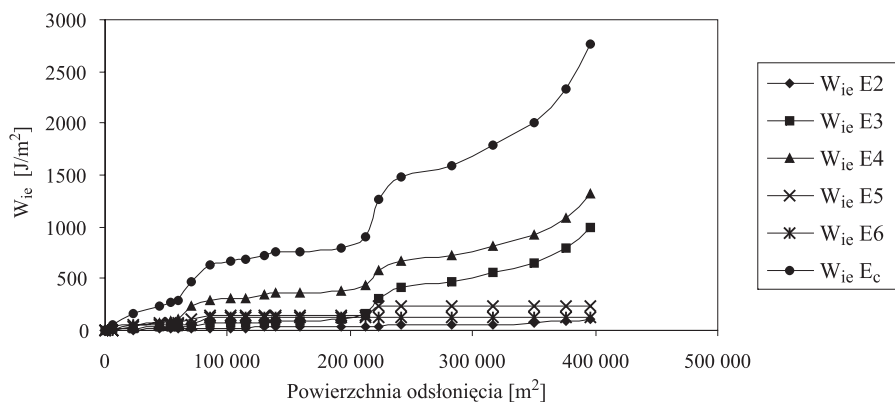
TABELA 9

Wartości wskaźnika intensywności energii przypadające na pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w partii B1

Pow. [m ²]	W_{ie} E2	W_{ie} E3	W_{ie} E4	W_{ie} E5	W_{ie} E6	W_{ie} E _c
6250	4,688	17,92	36,8	0	0	59,408
23 500	8,52568116	23,6011594	48,973913	28,9855072	57,9710145	167,738435
44 500	13,382824	27,6963975	67,5453416	67,0807453	57,9710145	233,45272
54 250	17,2597471	34,2605001	88,0581621	67,0807453	57,9710145	264,221951
60 250	19,5264138	36,4271667	103,058162	67,080745	57,9710145	284,538618
70 750	21,212128	43,3795477	237,343876	114,699793	57,9710145	474,833856
85 750	22,6454614	63,4462144	288,010543	141,36646	124,637681	640,167189
102 250	25,1060674	69,5068204	311,040846	141,36646	124,637681	671,742947
114 250	26,9394008	71,7568204	315,207513	141,3664	124,637681	679,992947
129 250	29,6927341	78,8234871	349,874179	148,033126	124,637681	731,32628
139 000	32,9029905	83,8491281	366,284436	148,033126	124,637681	755,941665
158 475	32,9029905	85,4409125	366,284436	148,03312	124,637681	757,636145
192 300	34,4994428	103,77055	383,135877	148,03312	124,637681	794,413676
213 300	39,4042047	161,389598	435,99302	148,03312	124,637681	909,794629
223 300	39,4042047	300,389598	576,99302	228,033126	124,637681	1269,79463
240 900	46,7337502	409,480507	674,720293	228,033126	124,637681	1483,94236
282 900	51,5670835	467,099555	726,86315	228,033126	124,637681	1598,53759
316 900	60,3317894	554,746613	815,098444	228,033126	124,637681	1783,18465
349 900	70,0287591	657,776916	918,128747	228,033126	124,637681	1998,94223
375 900	83,4902976	800,084609	1087,35952	228,033126	124,637681	2323,94223
395 900	101,490298	1000,08461	1317,35952	228,033126	124,637681	2771,94223



Rys. 3. Wykres zmiany wskaźnika intensywności energii w funkcji zwiększającego się pola powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 16 i 1016a

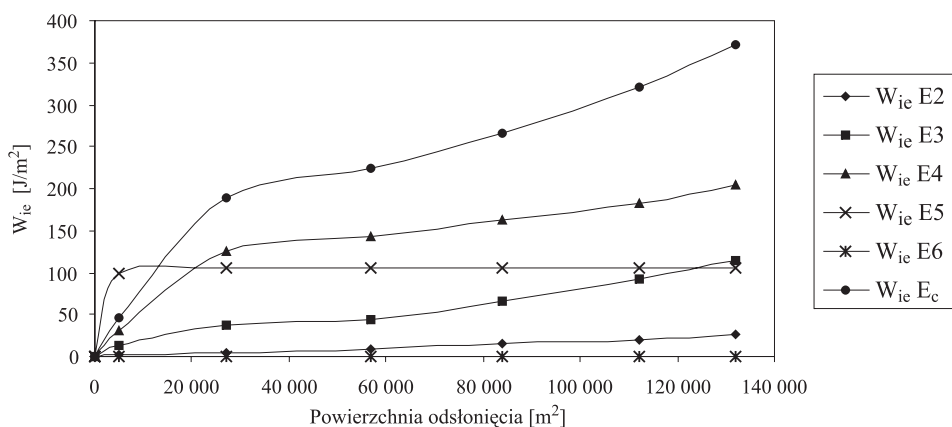


Rys. 4. Wykres zmiany wskaźnika intensywności energii w funkcji zwiększającego się pola powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w partii B1

TABELA 10

Wartości wskaźnika intensywności energii przypadające na pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 65

Pow. [m ²]	$W_{ie} E2$	$W_{ie} E3$	$W_{ie} E4$	$W_{ie} E5$	$W_{ie} E6$	$W_{ie} E_c$
5000	1,94	36,5636364	30	100	0	46,2
27 000	5,29909091	44,8969697	125	104,545455	0	489,7909091
57 000	8,21242424	65,156229	143	104,545455	0	223,1242424
84 000	14,8790909	91,9419432	161,888889	104,545455	0	266,8279461
112 000	19,7362338	113,441943	183,31746	104,545455	0	321,8279461
132 000	26,3862338	113,441943	204,31746	104,545455	0	371,8279461

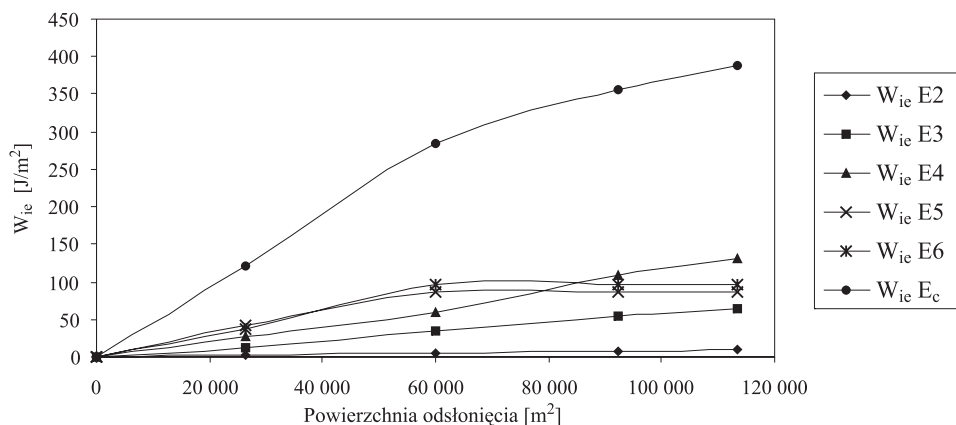


Rys. 5. Wykres zmiany wskaźnika intensywności energii w funkcji zwiększającego się pola powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 65

TABELA 11

Wartości wskaźnika intensywności energii przypadające na pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 66

Pow. [m ²]	$W_{ie} E2$	$W_{ie} E3$	$W_{ie} E4$	$W_{ie} E5$	$W_{ie} E6$	$W_{ie} E_c$
26 250	1,9466545	13,295155	27,04745	41,9045	38,095	122,28495
60 000	5,3213976	34,657664	59,93564	86,348	97,353	283,46671
92 250	7,9879996	53,882004	109,54684	86,348	97,353	355,12389
113 250	9,7022836	63,881994	130,02301	86,348	97,353	387,31433

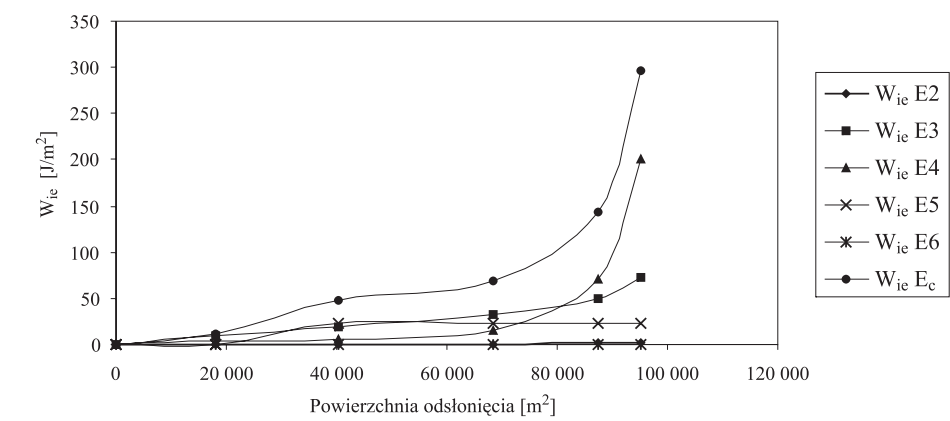


Rys. 6. Wykres zmiany wskaźnika intensywności energii w funkcji zwiększającego się pola powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 66

TABELA 12

Wartości wskaźnika intensywności energii przypadające na pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 67/68

Pow. [m ²]	W_{ie} E2	W_{ie} E3	W_{ie} E4	W_{ie} E5	W_{ie} E6	W_{ie} E _c
18 112	0	8,9443463	3,3127208	0	0	12,257067
40 162	0	19,465888	6,487324	22,675737	0	48,628949
68 512	0,3738977	31,987934	14,600199	22,675737	0	69,637768
87 412	1,2945326	48,972061	70,684855	22,675737	0	143,62719
95 287	1,9929453	71,829204	200,20866	22,675737	0	296,70655

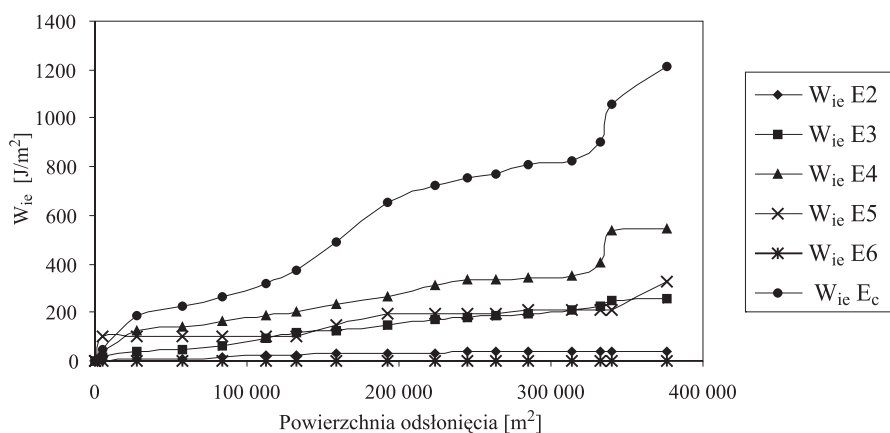


Rys. 7. Wykres zmiany wskaźnika intensywności energii w funkcji zwiększającego się pola powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 67/68

TABELA 13

Wartości wskaźnika intensywności energii przypadające na pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w polu B3

Pow. [m ²]	W_{ie} E2	W_{ie} E3	W_{ie} E4	W_{ie} E5	W_{ie} E6	W_{ie} E _c
5000	5,2990909	14,2	30	100	0	46,2
27 000	8,2124242	36,563636	125	104,54545	0	189,79091
57 000	14,879091	44,89697	143	104,54545	0	223,12424
84 000	19,736234	65,156229	161,88889	104,54545	0	266,82795
112 000	26,386234	91,941943	183,31746	104,54545	0	321,82795
132 000	28,329091	113,44194	204,31746	104,54545	0	371,82795
158 250	31,706869	126,77528	231,36508	146,45022	0	492,62795
192 000	34,373535	148,10861	264,25397	190,89466	0	653,93165
224 250	36,087821	167,33342	313,86637	190,89466	0	725,43553
245 250	36,087821	177,33342	334,34256	190,89466	0	757,626
263 362	36,087821	186,16734	337,65528	190,89466	0	769,77265
285 412	36,087821	197,05169	340,82989	213,5704	0	806,50734
313 762	36,475828	209,39737	348,94276	213,5704	0	827,3539
332 662	37,375299	226,32859	405,02742	213,5704	0	901,26924
340 537	38,137204	249,18573	534,55123	213,5704	0	1054,4121
375 887	39,212168	543,03779	543,03779	329,55342	0	1217,0146

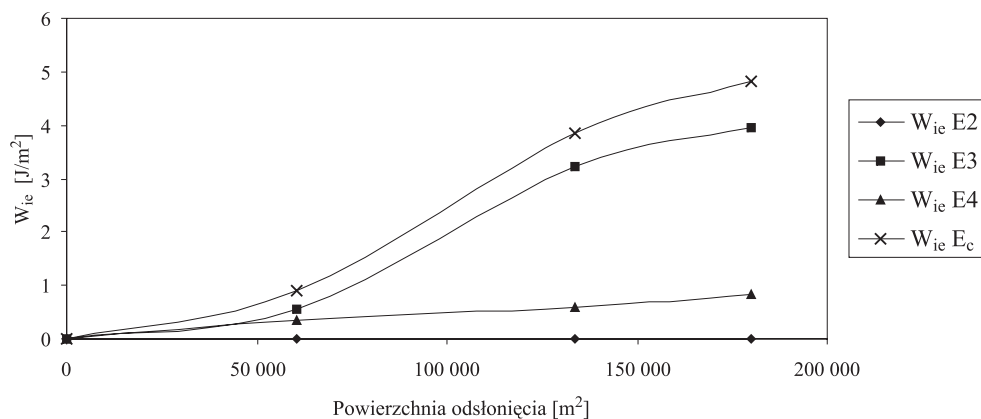


Rys. 8. Wykres zmiany wskaźnika intensywności energii w funkcji zwiększającego się pola powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w polu B3

TABELA 14

Wartości wskaźnika intensywności energii przypadające na pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 42

Pow. [m ²]	$W_{ie} E2$	$W_{ie} E3$	$W_{ie} E4$	$W_{ie} E_c$
60 350	0,009942	0,5468103	0,3314002	0,8881524
133 850	0,0153842	3,2134769	0,603509	3,8323701
180 050	0,0153842	3,9710527	0,8199592	4,8063961

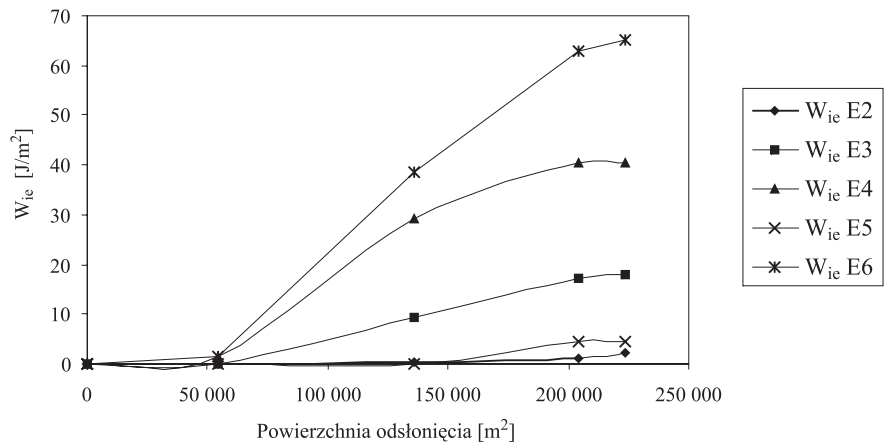


Rys. 9. Wykres zmiany wskaźnika intensywności energii w funkcji zwiększającego się pola powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 42

TABELA 15

Wartości wskaźnika intensywności energii przypadające na pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 44

Pow. [m ²]	W_{ie} E2	W_{ie} E3	W_{ie} E4	W_{ie} E5	W_{ie} E _c
54 350	0	0	1,4719411	0	1,4719411
136 050	0,3488372	9,3390453	29,011721	0	38,699603
204 450	1,0549776	17,043724	40,269031	4,3859649	62,753697
223 450	2,2076091	18,096355	40,269031	4,3859649	64,95896

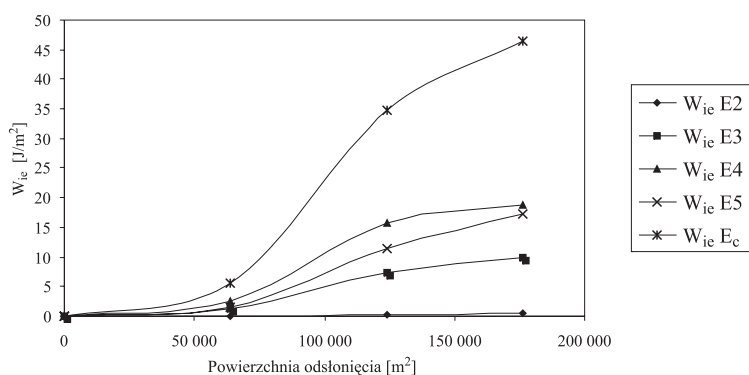


Rys. 10. Wykres zmiany wskaźnika intensywności energii w funkcji zwiększającego się pola powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 44

TABELA 16

Wartości wskaźnika intensywności energii przypadające na pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 03

Pow. [m ²]	W_{ie} E2	W_{ie} E3	W_{ie} E4	W_{ie} E5	W_{ie} E _c
63 840	0,0219298	1,20614035	2,6629073	1,566416	5,4573935
124 320	0,2236494	7,27426204	15,725077	11,487051	34,710039
175 980	0,4636804	9,82943045	18,82225	17,294252	46,409613

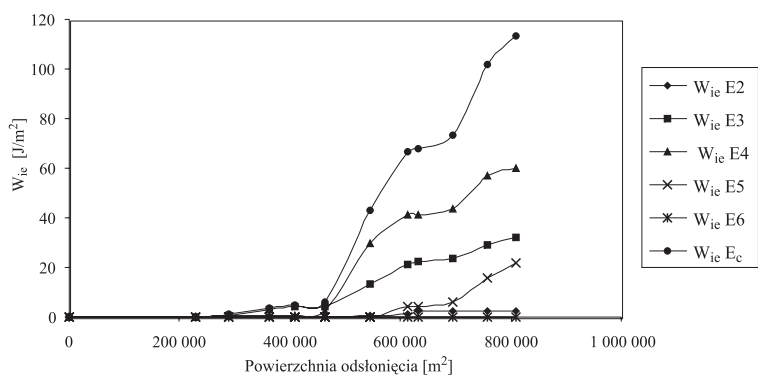


Rys. 11. Wykres zmiany wskaźnika intensywności energii w funkcji zwiększającego się pola powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 03

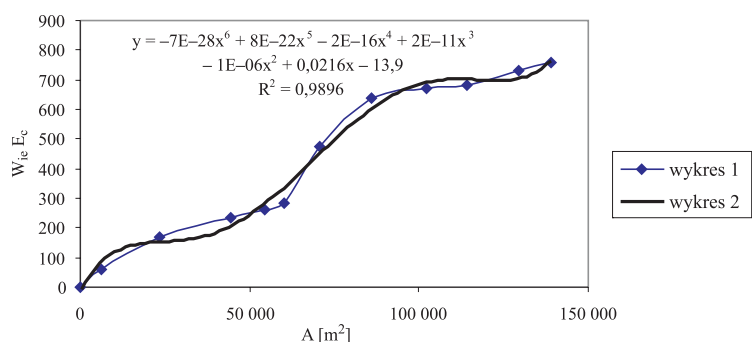
TABELA 17

Wartości wskaźnika intensywności energii przypadające na pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w partii D

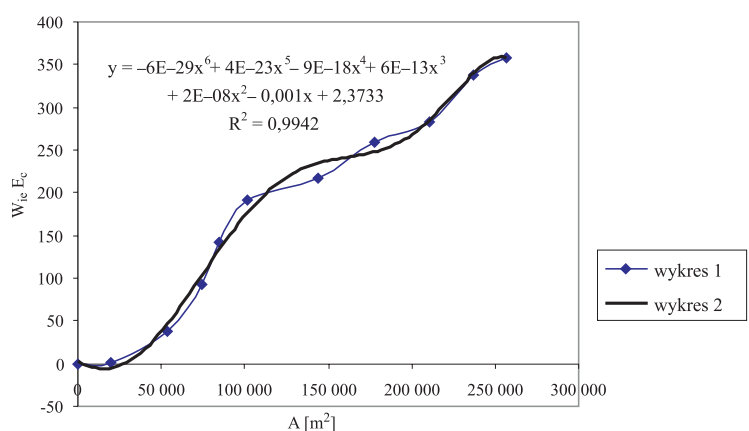
Pow. [m ²]	$W_{ie} E2$	$W_{ie} E3$	$W_{ie} E4$	$W_{ie} E5$	$W_{ie} E6$	$W_{ie} E_c$
228 500	0,0021882	0,05689278	0	0	0	0,059081
288 850	0,0121302	0,60370305	0,3314002	0	0	0,9290064
362 350	0,0175724	3,27036972	0,603509	0	0	3,8677819
408 550	0,0175724	4,02794548	0,8199592	0	0	4,8418079
462 900	0,0175724	4,02794548	2,2919003	0	0	6,313749
544 600	0,3664096	13,3669908	29,83168	0	0	43,192574
613 000	1,0725499	21,1155288	41,08899	4,3859649	0	66,584387
632 000	2,2146552	22,1681604	41,08899	4,3859649	0	67,637018
695 840	2,2459835	23,4212932	43,751897	5,952381	0	73,119475
756 320	2,4443962	29,3736741	56,814067	15,873016	0	102,05466
807 980	2,6766842	31,8901279	59,91124	21,680217	0	113,47549



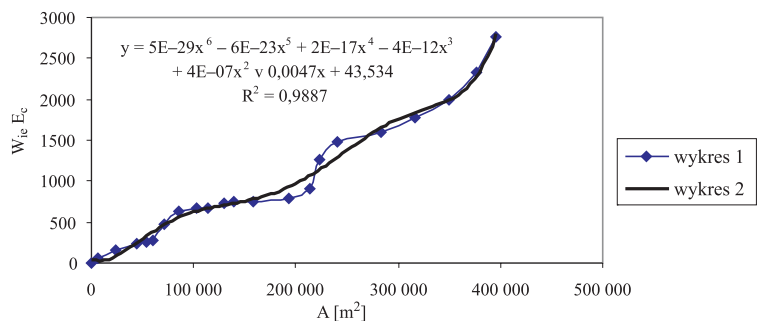
Rys. 12. Wykres zmiany wskaźnika intensywności energii w funkcji zwiększającego się pola powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w partii D



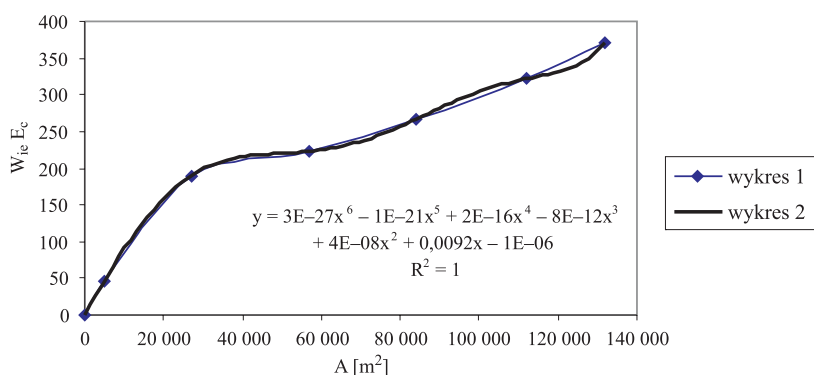
Rys. 13. Wykres 1 – zmiana energii całkowitej w funkcji wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 62; wykres 2 – zależność statystyczna energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 62



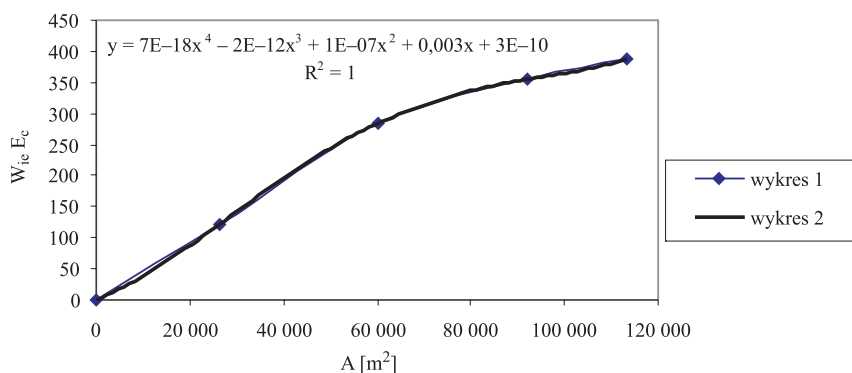
Rys. 14. Wykres 1 – zmiana energii całkowitej w funkcji wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 16 i 1016a; wykres 2 – zależność statystyczna energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 16 i 1016a



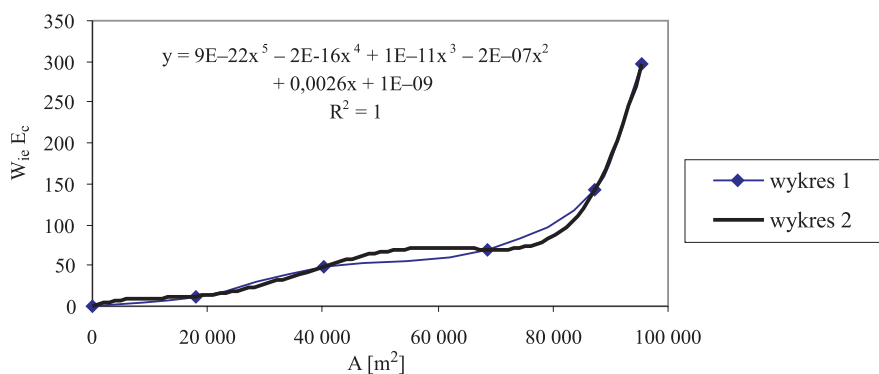
Rys. 15. Wykres 1 – zmiana energii całkowitej w funkcji wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w partii B1; wykres 2 – Zależność statystyczna energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w partii B1



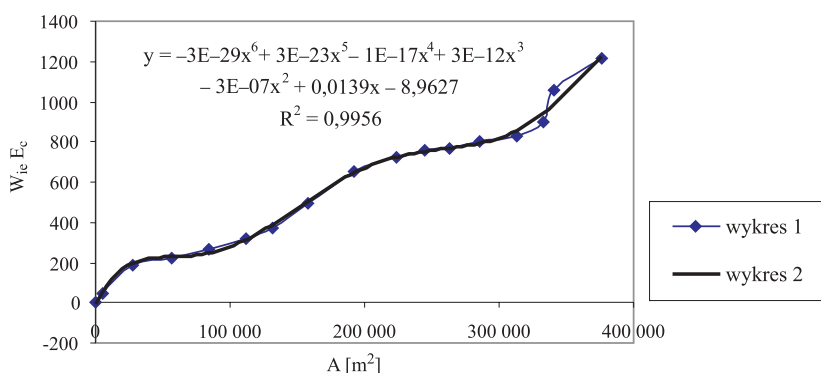
Rys. 16. Wykres 1 – zmiana energii całkowitej w funkcji wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 65; wykres 2 – zależność statystyczna energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 65



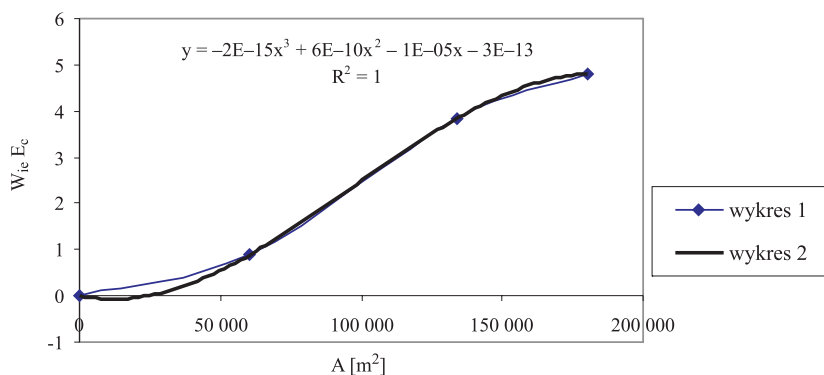
Rys. 17. Wykres 1 – zmiana energii całkowitej w funkcji wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 66; wykres 2 – zależność statystyczna energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 66



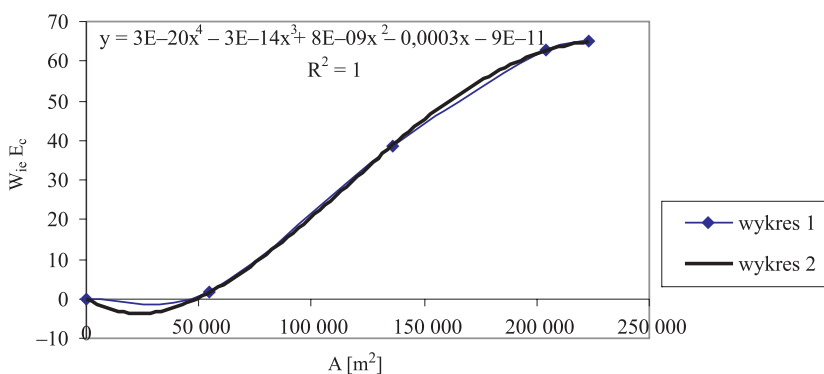
Rys. 18. Wykres 1 – zmiana energii całkowitej w funkcji wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 67/68; wykres 2 – zależność statystyczna energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 67/68



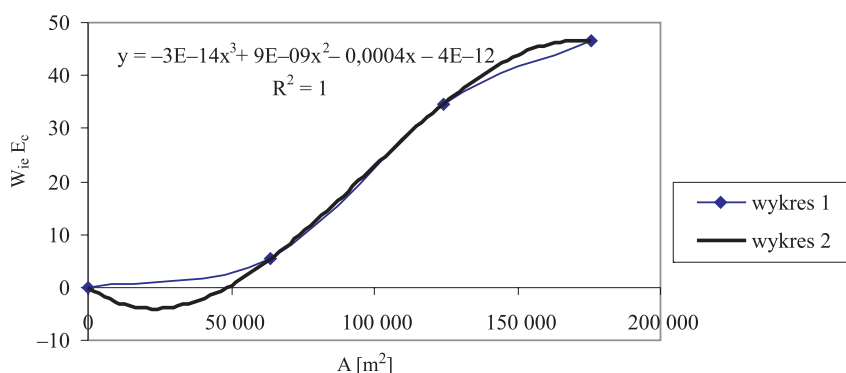
Rys. 19. Wykres 1 – Zmiana energii całkowitej w funkcji wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w polu B3; wykres 2 – zależność statystyczna energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w polu B3



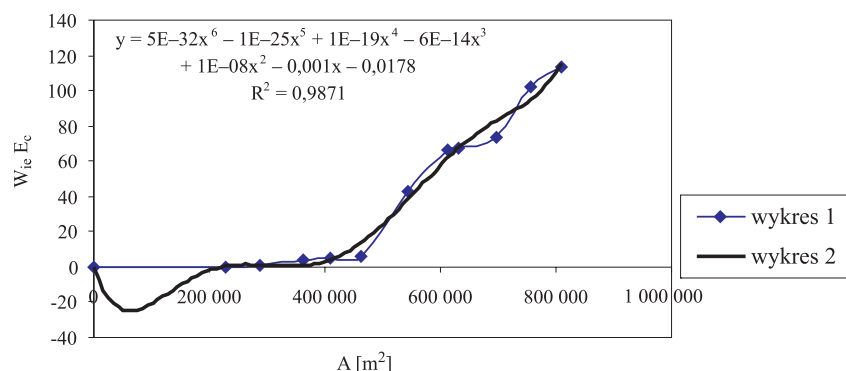
Rys. 20. Wykres 1 – zmiana energii całkowitej w funkcji wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 42; wykres 2 – zależność statystyczna energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 42



Rys. 21. Wykres 1 – zmiana energii całkowitej w funkcji wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 44; wykres 2 – zależność statystyczna energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 44



Rys. 22. Wykres 1 – zmiana energii całkowitej w funkcji wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 03; wykres 2 – zależność statystyczna energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 03



Rys. 4.23. Wykres 1 – zmiana energii całkowitej w funkcji wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w partii D; wykres 2 – zależność statystyczna energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ścian w partii D

5. Analiza otrzymanych wyników

Eksploracja ściany 62 i 1016a w pokładzie 501 pole B1 była prowadzona w następujących warunkach górniczo-geologicznych:

- głębokość eksploatacji: do 820 m;
- miąższość pokładu: od 3,7 do 4,5 m;
- występowanie w stropie zwężłej ławy piaskowca: około 24 m;
- wybieg ściany: około 1300 m;
- zdyslokowanie złoża uskokami o zrzutach: od 1,1 m do 2,0 m;
- krawędzie eksploatacyjne pokładów: 405/2, 404/5, 414;
- eksploatacja prowadzona systemem ścianowym podłużnym do granic (po wzniosie) na całą miąższość pokładu.

Podczas eksploatacji ściany 62 w polu B1 przeważały wstrząsy średnioenergetyczne E4 [J], których wskaźnik intensywności energii W_{ie} wynosił 366,28 J/m². Wskaźnik intensywności energii wstrząsów niskoenergetycznych rzędu E2 i E3 [J] wyniósł odpowiednio 32 i 83 J/m². Natomiast wskaźnik intensywności energii całkowitej $W_{ie} E_c = 755$ J/m² (tab. 7). Całkowity wskaźnik intensywności energii wstrząsów o energii E4 [J] stanowi około 50% $W_{ie} E_c$. Po przekroczeniu powierzchni 60 250 m² następuje nagły wzrost wskaźnika intensywności energii E4 i E_c [J] (rys. 2). Mniej widoczna jest zmiana wskaźników dla pozostałych klas energetycznych.

Zależność statystyczną energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 62 opisuje równanie:

$$y = -7E - 28x^6 + 8E - 22x^5 - 2E - 16x^4 + 2E - 11x^3 - 1E - 6x^2 + 0,0216x - 13,9,$$

$$R^2 = 0,9896.$$

Podczas eksploatacji ściany 16 i 1016a dominowały wstrząsy średnio- i wysokoenergetyczne (rys. 3, tab. 8). Graniczna powierzchnia pola dokonanej eksploatacji dla tej ściany wynosi 74 300 m², po przekroczeniu wyżej wymienionej wartości zauważamy nagły przyrost wskaźnika intensywności energii całkowitej (rys. 3).

Zależność statystyczną energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 16 i 1016a opisuje równanie:

$$y = -6E - 29x^6 + 4E - 23x^5 - 9E - 18x^4 + 6E - 13x^3 + 2E - 8x^2 - 0,001x - 2,3733,$$

$$R^2 = 0,9942.$$

Graniczne pole powierzchni dokonanej eksploatacji dla pola B1 (ściana 62, 1016a) wynosi 213 300 m² przy wskaźniku intensywności energii całkowitej wynoszącym 909,794 J/m² (tab. 9). Dla wskaźników intensywności energii w poszczególnych klasach energetycznych pole powierzchni dokonanej eksploatacji pozostaje niezmiennie i wynosi 213 300 m² przy następujących wartościach wskaźników intensywności energii:

- dla E4 [J] – 435 J/m²,
- dla E3 [J] – 161 J/m²,
- dla E2 [J] – 39 J/m².

Zależność statystyczną energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla partii B1 opisuje równanie:

$$y = 5E - 29x^6 - 6E - 23x^5 + 2E - 17x^4 - 4E - 12x^3 + 4E - 7x^2 - 0,0047x - 43,534,$$

$$R^2 = 0,9887.$$

Eksploatacja ściany 65, 66 i 67/68 w pokładzie 501 pole B3 była prowadzona w następujących warunkach górnictwo-geologicznych:

- głębokość eksploatacji: do 720 m;
- miąższość pokładu: około 3,4 m;
- wybieg ściany: około 400 m;

- występowanie w stropie zwięzłej ławy piaskowca: około 20 m;
- eksploatacja prowadzona systemem ścianowym podłużnym do granic (po wzniosie) na całą miąższość pokładu;
- eksploatacja w sąsiedztwie uskoków o zrzutach około 30 m (w skrzydle zrzuconym).

Podczas eksploatacji ściany 65 graniczna powierzchnia dokonanej eksploatacji wynosi 57 000 m². Wskaźnik intensywności energii E_c dla tej powierzchni wyniósł 223,12 J/m², dla E4 jest to 143 J/m², natomiast dla E3 [J] wskaźnik ten osiąga wartość 44,89 J/m² (tab. 10, rys. 5).

Zależność statystyczną energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 65 opisuje równanie:

$$y = 3E - 27x^6 - 1E - 21x^5 + 2E - 16x^4 - 8E - 12x^3 + 4E - 8x^2 - 0,0092x - 1E - 6,$$

$$R^2 = 1.$$

Kolejną ścianą eksploatowaną w tym polu była ściana 66. Po przekroczeniu pola powierzchni dokonanej eksploatacji 6000 m² widzimy wzrost wskaźnika intensywności energii wstrząsów E_c (rys. 6). Po przekroczeniu granicznego pola powierzchni dokonanej eksploatacji następuje nagły wzrost wskaźników intensywności E_c i wskaźników energii w poszczególnych klasach energetycznych z wyjątkiem E4 [J]. $W_{ie} E_c$ dla wyżej wymienionego pola wyniósł 283,61 J/m² (tab. 11).

Zależność statystyczną energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 66 opisuje równanie:

$$y = 7E - 18x^4 - 2E - 12x^3 + 1E - 7x^2 - 0,003x + 3E - 10,$$

$$R^2 = 1.$$

Eksploatacja ściany 67/68 przebiegała w kilku etapach i była bardzo uciążliwa ze względu na zagrożenie tapaniami, co wpłynęło na pozostawienie resztki. Graniczna powierzchnia pola dokonanej eksploatacji dla tej ściany wyniosła 68 512 m²; po przekroczeniu tej wielkości obserwuje się nagły wzrost wskaźnika intensywności energii wstrząsów E4 [J], który zaczyna przewyższać wskaźnik wstrząsów E3 [J] (tab. 12, rys. 7).

Zależność statystyczną energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 67/68 opisuje równanie:

$$y = 9E - 22x^5 - 2E - 16x^4 - 1E - 11x^3 - 2E - 7x^2 - 0,0026x + 1E - 9,$$

$$R^2 = 1.$$

Analiza wskaźników intensywności energii dla pola B3 widoczna jest na rysunku 8. Można zauważyć tutaj dwa miejsca, w których następuje znaczny wzrost W_{ie} zarówno energii całkowitej, jak i energii poszczególnych rzędów, których suma daje wskaźnik intensywności energii całkowitej. Eksploatacja w polu B3 od samego jej początku charakteryzuje się równomiernym przyrostem wskaźników intensywności poszczególnych energii aż

do momentu, w którym powierzchnia pola dokonanej eksploatacji wyniosła 132 000 m². Wówczas zauważamy nagły wzrost W_{ie} energii całkowitej od 371,82 J/m² dla wyżej wymienionej powierzchni do 653,93 J/m² dla powierzchni 192 000 m² (tab. 13). Następnie obserwujemy systematyczne i w miarę regularne przyrosty wskaźników do miejsca, w którym wartość $W_{ie} E_c = 806,50$ J/m² odpowiada polu powierzchni 285 412 m². Po przekroczeniu tej wartości nastąpił gwałtowny przyrost $W_{ie} E_c$ spowodowany w głównej mierze znacznym natężeniem występowania wstrząsów o energii E4 i E5 [J] (rys. 8).

Zależność statystyczną energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla pola B3 opisuje równanie

$$y = 3E - 29x^6 + 3E - 23x^5 - 1E - 17x^4 + 3E - 12x^3 + 3E - 7x^2 - 0,0139x - 8,9627,$$

$$R^2 = 0,9956.$$

Kolejną analizowaną partią górotworu jest partia D pokład 510, w której eksploatowane były ściany 42, 44 i 03. Eksploatacja tych ścian prowadzona była w następujących warunkach górniczo-geologicznych:

- głębokość eksploatacji: do 700 m;
- miąższość pokładu: od 6,8 do 12,6 m;
- zdyslokowanie złoza uskokami o zrzucie: około 2,5 m;
- wybieg ścian: około 1200 m;
- występowanie w stropie związanej ławy piaskowca: około 25 m;
- eksploatacja pierwszej warstwy odprężającej;
- eksploatacja prowadzona systemem ścianowym podłużnym od granic (na upad);
- pokład silnie pofałdowany (antykliny, synkliny);
- wymycia pokładu.

Podczas eksploatacji ściany 42 nagły wzrost wskaźnika intensywności E_c obserwujemy po przekroczeniu 60 350 m² pola powierzchni dokonanej eksploatacji (rys. 9). Spowodowane to było między innymi nagłym wzrostem emisji energii sejsmicznej objawiające się generowaniem wstrząsów o energii E3 [J]. Dlatego nastąpił również nagły wzrost wskaźnika intensywności energii E3 [J] od 0,888 J/m² do 3,8 J/m² dla powierzchni 180 050 m² (tab. 14, rys. 9). Wpływało to bardzo korzystnie na prowadzenie eksploatacji pokładu zaliczonego do trzeciego stopnia zagrożenia tąpnięciami.

Zależność statystyczną energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 42 opisuje równanie:

$$y = -2E - 15x^3 + 6E - 10x^2 - 1E - 5x - 3E - 13,$$

$$R^2 = 1.$$

Podczas eksploatacji ściany 44 przeważały wstrząsy o energii E4 [J]. Wartość wskaźnika intensywności energii E4 [J] dla powierzchni 54 350 m² wynosi 1,471 J/m², następnie gwałtownie wzrasta do poziomu 62,753 J/m² przy powierzchni dokonanej eksploatacji równej 204 450 m² (tab. 15, rys. 10). Jednak inaczej niż to było w przypadku eksploatacji ściany 42 widać dominację wstrząsów o energii rzędu E4 [J], co już nie jest obojętne dla przebiegu eksploatacji.

Zależność statystyczną energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 44 opisuje równanie:

$$y = 3E - 20x^4 - 3E - 14x^3 + 8E - 9x^2 - 0,0003x - 9E - 11,$$

$$R^2 = 1.$$

Podczas eksploatacji ściany 03 (tab. 16, rys. 11) powierzchnia dokonanej eksploatacji 63 840 m² jest progiem, którego przekroczenie objawia się nagłym wzrostem wskaźników intensywności energii poszczególnych rzędów, przy czym poziom emitowanej energii wzrasta o jeden stopień w porównaniu ze ścianą 44. Występują wstrząsy o energiach E5 i E4 [J].

Zależność statystyczną energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla ściany 03 opisuje równanie:

$$y = -3E - 14x^3 + 9E - 9x^2 - 0,0004x - 4E - 12,$$

$$R^2 = 1.$$

Rysunek 12 przedstawia zależność funkcyjną wskaźników intensywności energii całkowitej i energii poszczególnych rzędów dla eksploatacji ścian w partii D. Eksploatacja w wyżej wymienionej partii przebiegała bardzo spokojnie do momentu, w którym pole powierzchni dokonanej eksploatacji osiągnęło wartość 462 900 m², wówczas to wzrosła znacznie liczba wstrząsów E4 [J] i E3 [J], co bezpośrednio wpływa na zachowanie się wskaźników intensywności energii; przykładowo wartość W_{ie} E4 dla wymienionych powierzchni wyniosła 6,31 J/m² przy zwiększaniu powierzchni 613 000 m² wzrosła do 66,58 J/m².

Zależność statystyczną energii całkowitej od wielkości powierzchni dokonanej eksploatacji dla partii D opisuje równanie

$$y = -5E - 32x^6 - 1E - 25x^5 + 1E - 19x^4 - 6E - 14x^3 + 1E - 8x^2 - 0,001x - 0,0178,$$

$$R^2 = 0,9871.$$

Powyższe zależności statystyczne są słuszne dla dodatnich części wykresów.

6. Wnioski

Aktywność sejsmiczna górotworu zależy w dużym stopniu od warunków górniczo-geologicznych, w jakich prowadzi się eksploatację oraz od sposobu jej prowadzenia. Na przykładzie Kopalni Węgla Kamiennego „Wesoła” pokazano wpływ czynników górniczo-geologicznych na zmianę aktywności sejsmicznej górotworu podczas eksploatacji pokładów zagrożonych tąpnięciami.

Otrzymane wyniki badań pozwalają sądzić, że istnieje związek pomiędzy polem powierzchni dokonanej eksploatacji a intensywnością energii wyzwanej przez górotwór. Na podstawie tego związku widać silną zależność aktywności od tej powierzchni, a przy ok-

reślonych powierzchniach dokonanej eksploatacji wielkość ta może wskazać na zagrożenie tąpnięciami. W miarę powiększania się wyeksploatowanej powierzchni pola lub ściany następuje wyraźny wzrost energii sejsmicznej. Zastosowany wskaźnik intensywności energii W_{ie} pozwala w przejrzysty sposób pokazać miejsca (pola powierzchni dokonanej eksploatacji), po których przekroczeniu następuje intensywny wzrost aktywności sejsmicznej.

W przypadku KWK „Wesoła” maksymalne wartości wydatku energetycznego wystąpiły po przekroczeniu powierzchni 6 ha podczas eksploatacji ścian i około 20 ha dla poszczególnych partii górotworu. Jeżeli sformułowane stwierdzenia i wnioski zostaną potwierdzone w praktyce, możemy wskaźnik intensywności energii uznać za wiarygodny, a jego stosowanie za wskazane.

Eksploatację pokładu 501 i 510 prowadzono w podobnych warunkach górniczo-geologicznych, którymi są:

- duża głębokość eksploatacji,
- zdyslokowanie złoża uskokami,
- sąsiedztwo zrobów,
- występowanie w stropie zwięzłej ławy piaskowca,
- duży wybieg ściany.

Warunki górniczo-geologiczne różnicujące eksploatację w poszczególnych pokładach to:

- krawędzie i zaszczości eksploatacyjne,
- prowadzenie eksploatacji do i od granic (po wzniosie i na upad),
- prowadzenie eksploatacji na całą miąższość pokładu (501) oraz I warstwy odprężającej (510).

Na podstawie powyższego można stwierdzić, że niekorzystnym czynnikiem górniczym wpływającym na aktywność sejsmiczną górotworu są krawędzie i resztki eksploatacyjne oraz prowadzenie eksploatacji do granic (po wzniosie) systemem ścianowym podłużnym z zawalem stropu.

Zagrożenie tąpnięciami stanowi skomplikowany i trudny do rozwiązania problem zarówno naukowy, jak i inżynierski. Sądzę, że przedstawione tutaj wnioski i stwierdzenia, będące wynikiem przeprowadzonych analiz, mogą być podstawą do dalszych badań aktywności sejsmicznej górotworu oraz zjawiska tąpnięć. Jest to niezmiernie ważne nie tylko ze względów naukowych, ale przede wszystkim ze względu na ludzi narażonych na utratę zdrowia, a nawet życia.

LITERATURA

- [1] Butra J., Kunysz N., Mrozek K.: Ocena wpływu głębokości eksploatacji na występowanie zjawisk dynamicznych w kopalniach rud miedzi. Materiały konferencyjne, Karłów 1998
- [2] Dubliński J., Konopno W.: Tąpnięcia. Katowice, Główny Instytut Górnictwa 2000
- [3] Marcak H., Zuberek W.: Geofizyka górnicza. Katowice, Śląskie Wydawnictwo Techniczne 1994
- [4] Tajduś A., Flisiak J., Cala M.: Kompleksowy projekt eksploatacji pokładów zagrożonych tąpnięciami w KHW S.A. „Wesoła” na lata 2001–2006. Kraków, AGH 2000 (materiały niepublikowane)
- [5] Tajduś A., Flisiak J., Cala M.: Określenie warunków prowadzenia dalszej eksploatacji ściany 67/68 w pokładzie 501 KWK „Wesoła” obejmujące etapy II–IV. Kraków, Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki AGH 1999 (materiały niepublikowane)