



MAREK MARCISZ*

Stopień zuskokowania złóż węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Wprowadzenie

Uskoki zalicza się do jednych z głównych naturalnych źródeł zagrożeń, spotykanych podczas eksploatacji złóż kopalni, a ich oddziaływanie na warunki wydobycia (i racjonalną gospodarkę złożem kopaliny) jest bardzo zróżnicowane (Drzewiecki 2011; Janowski, Olchawa i Serafiński 2013; Markiewicz, Suchan i Tomanik 2007; Probiez 1977; Pozzi i Probiez 1994). Zwykle utrudniają one eksploatację, powodując przerwanie ciągłości złoża i zmuszając do zmiany układu wyrobisk górniczych, a o stopniu utrudnienia wydobycia i zagrożeniach decyduje m.in. charakter (w szczególności udział składowej przesuwczej) i wzajemny układ uskoków.

W ujęciu całych złóż/obszarów górniczych zuskokowanie wpływa na parametry techniczno-ekonomiczne eksploatacji (wydajność pracy, koszt własny wydobycia, liczbę wyrobisk przygotowawczych), generuje straty kopaliny spowodowane zuskokowaniem oraz określa stopień/możliwość mechanizacji wydobycia (Kempa, Makowski i Probiez 1983; Nieć 1982, 2012; tab. 1).

W złożach pokładowych uskoki o zrzutach większych od miąższości pokładu stanowią zwykle granice pól ścianowych, a uskoki o zrzutach mniejszych od miąższości pokładu (szczególnie w przypadkach kiedy zrzut jest mniejszy od połowy grubości pokładu) utrudniają prowadzenie wydobycia. Odnosząc powyższe stwierdzenia do klasyfikacji uskoków według wielkości zrzutu (tab. 2) uskoki bardzo duże ($h > 200$ m) i duże ($20 < h < 200$ m)

* Dr hab. inż., prof. nzw. P.Śl., Instytut Geologii Stosowanej, Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice; e-mail: marek.marcisz@polsl.pl

Tabela 1. Wpływ uszkodzenia złożeń na parametry techniczno-ekonomiczne eksploatacji, straty węgla i możliwość mechanizacji wydobycia, według Garber i in. 1979 za Niece 1982

Table 1. Influence of deposit faulting on the technic-economic parameters of exploration, coal losses and possibilities of mining mechanization, according to Garber et al. 1979 after Niece 1982

W_U [$m^2 \cdot 10^{-4}$]	Typ tektoniki	Parametry techniczno-ekonomiczne eksploatacji (w jednostkach względnych)			Straty węgla spowodowane zuskokowaniem [%]	Możliwy stopień mechanizacji wydobycia
		wydajność pracy	koszt własny wydobycia	liczba wyrobisk przygotowawczych		
$W_U < 50$	prosta	$W_p = 1,00$	$k = 1,00$	$n = 1$	$S < 5$	możliwa całkowita mechanizacja
$50 \leq W_U \leq 150$	średnio skomplikowana	$0,65 < W_p < 0,90$	$1,00 < k \leq 1,40$	$1,10 \leq n \leq 1,15$	$5 \leq S \leq 20$	ograniczone możliwości mechanizacji
$150 < W_U \leq 250$	skomplikowana	$0,50 \leq W_p < 0,75$	$1,40 < k \leq 1,75$	$1,50 \leq n \leq 2,50$	$20 \leq S \leq 30$	możliwa mechanizacja tylko w niektórych mniej zaburzonych częściach złożeń
$W_U > 250$	bardzo skomplikowana	$W_p < 0,50$	$k > 1,75$	$n > 2,50$	$S > 30$	mechanizacja niemożliwa przy obecnym stanie techniki i organizacji prac wydobywczych

stanowią zwykle granice poszczególnych części (partii) złoża, uskoki drobne ($h < 2$ m) i bardzo drobne ($h < 0,3$ m) nie mają wpływu na przebieg eksploatacji, uskoki o $h < 0,1$ m są niezauważalne i często klasyfikuje się je jako spękania. Jest to bezpośrednim powodem uwzględniania przy ilościowej analizie tektoniki uskoków rozpoznanych robotami górniczymi o długości nie mniejszej niż 20 metrów i zrzucie większym bądź równym 0,5 metra.

Tektonika (wyrażona m.in. wskaźnikiem zuskokowania W_U) może również stanowić punkt wyjścia do podziału złóż węgla kamiennego na grupy (tab. 3, Nieć 1986).

W odniesieniu do epigenetycznych złóż kopalin stosuje się również klasyfikację wyróżniającą trzy grupy zaburzeń tektonicznych, gdzie ich rola w każdym z przypadków jest inna i gdzie szczególnego znaczenia nabiera zróżnicowanie (odróżnienie) uskoków:

- ◆ powstałych wcześniej niż mineralizacja – przedłożowe (przedmineralizacyjne), spełniające pozytywną rolę w formowaniu się złóż, stwarzając warunki do ich powstania w postaci tworzenia się szczelin umożliwiających krążenie roztworów i wytrącanie się substancji mineralnej,

Tabela 2. Klasyfikacja uskoków według wielkości zrzutu, za Nieć 1982

Table 2. Faults classification after the throw value, after Nieć 1982

Wielkość zrzutu uskoku [m]		Wielkość uskoku
$h > 200$	większa od wysokości poziomu eksploatacyjnego	bardzo duży
$20 < h < 200$	mniejsza od wysokości poziomu eksploatacyjnego, większa od wysokości piętra eksploatacyjnego	duży
$2 < h < 20$	mniejsza od wysokości piętra eksploatacyjnego, większa od wysokości wyrobisk udostępniających i przygotowawczych	średni
$h < 2$	mniejsza od wysokości wyrobisk udostępniających i przygotowawczych, w złożach pokładowych również od wysokości wyrobisk eksploatacyjnych	mały (drobny)

Tabela 3. Grupy złóż w zależności od ich tektoniki, za Nieć 1986

Table 3. Groups of deposits depend on the tectonics, after Nieć 1986

Tektonika	Kryterium kwalifikacyjne	Grupa		
		I	II	III
Regionalna	$W_U [m/m^2 \cdot 10^{-4}]$, dla uskoków o $h > 10$ m	$W_U < 15$	$W_U < 15$	$W_U > 15$
Pokładowa*	$W_U [m/m^2 \cdot 10^{-4}]$, dla uskoków o $h < 10$ m	$W_U < 25$	$25 < W_U < 50$	$W_U > 50$
	udział procentowy pól pomiarowych 10000 m ² (o wymiarach 100 × 100 metrów)	> 70	50–70	< 50

* W przypadku rozpoznania złoża w kategorii A dotyczyć może poszczególnych pokładów.

- ◆ utworzonych jednocześnie z mineralizacją – współczesne z formowaniem się złożeń (śródminalizacyjne), współdziałające w kształtowaniu i rozwoju złoża oraz różnicowaniu jego budowy, decydujące o zróżnicowaniu jakości kopaliny,
- ◆ późniejsze – pozłożowe, prowadzące do skomplikowania budowy złoża w postaci przerwania jego ciągłości, zmiany ułożenia przestrzennego, rozbicia na bloki, przemieszczenia różnych jego elementów (części), umożliwiające głębokie wnikanie wód powierzchniowych, sprzyjające zawodnieniu i wietrzeniu złoża (Gruszczyk 1984; Nieć 1982, 2012).

Te powszechnie stosowane klasyfikacje uskoków (szczególnie dla potrzeb praktyki górniczej) nie ujmują i nie rozwiązują jednak problemów i zagadnień częstości ich występowania w masywie skalnym (Nieć 1982, 2012; Pałys 1973). W praktyce górniczej niezbędne są zatem wskaźniki określające trudności eksploatacyjne wynikające z napotykanym w trakcie prowadzenia robót górniczych uskoków (dyslokacji tektonicznych), stanowiące jednocześnie gospodarcze kryterium wykorzystania złoża kopaliny (Głogowska i Warzecha 2013; Górecki 1979, 1986; Sermet 2008).

Ujęcie statystyczne problemu, mające na celu określenie i ustalenie kryteriów ilościowej oceny stopnia zuskokowania złóż/obszarów górniczych, obejmuje wyznaczenie trzech głównych parametrów charakteryzujących natężenie deformacji nieciągłych: gęstości liniowej uskoków G_{UL} , gęstości powierzchniowej uskoków G_{UP} oraz syntetycznego wskaźnika zuskokowania W_U (Kempa, Makowski i Probierz 1979).

Pierwsze badania nad rozwiązaniem przedmiotowego problemu podjął na początku lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku Bratasz (Bratasz 1971). Rezultaty jego prac, odnośnie ilościowej oceny gęstości sieci uskoków, zastosowali dla kopalń rybnickich i jastrzębskich Kempa, Makowski, Pozzi i Probierz (Kempa, Makowski i Probierz 1979, 1983; Pozzi i Probierz 1994), a dla kopalń N i NW części zagłębia Chudzicka (Chudzicka 1980). Wyniki tych badań pozwoliły określić sześć stopni komplikacji tektonicznej złóż/obszarów górniczych (tab. 4).

Tabela 4. Stopnie komplikacji tektonicznej złóż/obszarów górniczych, za Chudzicka 1980; Głogowska i Warzecha 2013; Kempa, Makowski i Probierz 1979, 1983

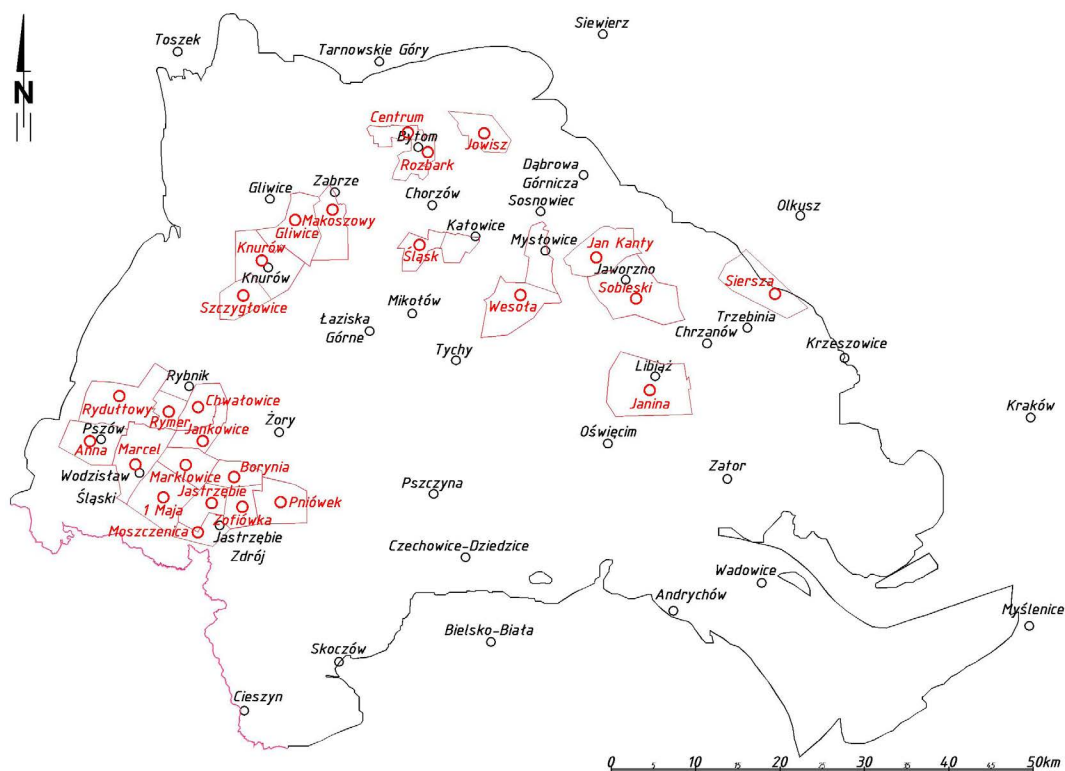
Table 4. Degrees of tectonic complication of deposits/mining areas, after Chudzicka 1980; Głogowska and Warzecha 2013; Kempa, Makowski and Probierz 1979, 1983

W_U [$m/m^2 \cdot 10^{-4}$]	Stopień komplikacji tektonicznej	
$0 < W_U \leq 10$	I	nieskomplikowane
$10 < W_U \leq 30$	II	bardzo słabo skomplikowane
$30 < W_U \leq 50$	III	słabo skomplikowane
$50 < W_U \leq 70$	IV	średnio skomplikowane
$70 < W_U \leq 80$	V	silnie skomplikowane
$W_U > 80$	VI	bardzo silnie skomplikowane

W historii wypracowywania standardów określających stopień zuskokowania, w naturalny sposób pojawiła się sposobność zastosowania technik komputerowych, mających na celu zmniejszenie praco- i czasochłonności obliczeń. W późniejszych, nowszych badaniach wykorzystywano już zatem w tym celu zarówno istniejące programy komputerowe, jak i tworzone dedykowane temu aplikacje (Pozzi i Lewandowski 1996; Probierz i Marcisz 1999). Techniki informatyczne służyły i pozwalają zarówno na rewizję wcześniejszych badań (Pozzi i Lewandowski 1996; Probierz, Marcisz i Sobolewski 2012), jak i ich rozszerzenie na nowe złoża (Probierz i Marcisz 1999; Probierz i Miodoński 2004) również poza granicami GZW (Chrabaczewska i Zaczek 2004).

Badania, obejmujące zagadnienia tektoniki zagłębia górnośląskiego, prowadzono również dla określenia możliwości podziemnego składowania CO₂ (Urych, Chećko i Jureczka 2009), prognozy zagrożeń tąpnięciami (Pilecka 2005) czy porównań cech geometrii różnoskalowych obiektów tektonicznych (w tym badania fraktalności, analiza fraktalnej sieci uskokuwej, Teper i Idziak 1996).

W pracy zestawiono całość dostępnych literaturowo doświadczeń, dotyczących określenia stopnia zuskokowania złóż/obszarów górniczych w granicach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW).



Rys. 1. Szkic lokalizacji obszaru badań

Fig. 1. Sketch of the situation of the study area

1. Dane źródłowe i metodyka badań

Materiał źródłowy do przeprowadzenia badań stanowią dane pozyskane z powszechnie dostępnej literatury (Chudzicka 1980; Kempa, Makowski i Probierz 1979, 1983; Pozzi i Lewandowski 1996; Pozzi i Probierz 1994; Probierz i Marcisz 1999; Probierz i Miodoński 2004), następnie uzupełnione i zaktualizowane.

Badania obejmują 26 złóż/obszarów górniczych występujących w granicach GZW (rys. 1, tab. 5 i 6).

Zakres analiz jest bardzo różny, od jednego do kilku pokładów¹, w odniesieniu do poszczególnych złóż/obszarów górniczych: Anna (pokłady: 718, 723), Centrum (pokłady: 509, 510),

Tabela 5. Gęstość liniowa uskoków G_{UL} złóż/obszarów górniczych GZW

Table 5. Lineal density of the faults in deposits/mining areas of the USCB

Złoże	Średnia G_{UL} [uskoków/m · 10 ⁻³]			
	W-E (90–270°)	N-S (0–180°)	NW-SE (315–135°)	NE-SW (45–225°)
I Maja	2,5	4,5	2,0	4,6
Anna	8,4	5,4	9,4	8,9
Borynia	5,8	5,6	4,2	5,6
Centrum	1,3	0,7	0,7	0,9
Chwałowice	1,5	4,8	3,0	3,9
Jan Kanty	3,2	3,2	2,8	2,6
Janina	2,0	2,1	2,0	2,1
Jankowice	2,4	3,5	3,2	4,1
Jastrzębie	5,9	3,1	4,7	4,8
Knurów	0,2	0,5	0,3	0,5
Makoszowy	1,3	0,8	0,9	0,9
Marcel	6,9	4,0	6,0	6,4
Markłowice	4,9	3,2	4,0	3,7
Moszczenica	6,5	4,9	4,9	4,6
Pniówek	3,0	3,9	2,6	4,3
Rydułtowy	4,3	5,5	4,5	5,3
Rymer	1,9	5,0	3,7	3,8
Siersza	2,2	1,6	1,9	1,1
Sobieski	3,7	2,6	3,0	2,0
Śląsk	4,1	5,8	3,7	5,0
Zofiówka	4,5	5,2	4,1	5,5
Średnia	3,6	3,6	3,4	3,8

¹ W rozumieniu wyeksploatowanych części danego pokładu.

Tabela 6. Procentowy udział powierzchni złóż/obszarów górnictwa GZW o określonym przedziale wartości G_{UP} oraz wskaźnika W_U Table 6. Percentage of surface of deposits/mining areas of USCB with determined interval of values of surface density G_{UP} and faulting index W_U

Złoże	Średnia G_{UP} [$m^2 \cdot 10^{-4}$]					Średni W_U [$m^2 \cdot 10^{-4}$]	Stopień komplikacji tektonicznej	
	0	0–100	100–300	300–500	>500			
1 Maja	43,5	37,3	18,5	0,7	0,0	58,4	IV	średnio skomplikowane
Anna	21,7	30,4	38,0	9,3	0,5	131,4	VI	bardzo silnie skomplikowane
Borynia	30,7	38,9	29,1	1,3	0,0	82,9	VI	bardzo silnie skomplikowane
Centrum	86,4	7,6	5,8	0,2	0,0	14,2	II	bardzo słabo skomplikowane
Chwałowice	58,3	17,4	23,4	0,9	0,0	58,7	IV	średnio skomplikowane
Jan Kanty	72,9	10,3	15,7	0,9	0,2	41,1	III	słabo skomplikowane
Janina	74,0	10,6	14,8	0,5	0,1	37,6	III	słabo skomplikowane
Jankowice	55,5	24,3	19,2	1,0	0,0	53,2	IV	średnio skomplikowane
Jastrzębie	45,7	20,6	32,3	1,4	0,0	80,4	VI	bardzo silnie skomplikowane
Jowisz	59,7	22,8	15,9	1,5	0,0	42,3	III	słabo skomplikowane
Knurów	92,4	4,3	3,2	0,0	0,0	9,9	I	nieskomplikowane
Makoszowy	90,1	4,0	5,7	0,2	0,0	11,2	II	bardzo słabo skomplikowane
Marcel	32,8	32,7	32,3	1,9	0,3	90,0	VI	bardzo silnie skomplikowane
Markłowice	58,4	22,1	19,5	0,0	0,0	50,0	III	słabo skomplikowane
Moszczenica	26,7	42,5	29,6	1,2	0,0	85,3	VI	bardzo silnie skomplikowane
Pniówek	57,2	20,9	20,4	1,5	0,0	56,9	IV	średnio skomplikowane
Rozbark	48,9	24,8	26,2	0,1	0,0	50,9	IV	średnio skomplikowane
Rydułtowy	52,5	19,7	26,3	1,5	0,0	70,2	V	silnie skomplikowane
Rymer	25,4	43,0	27,7	3,8	0,1	82,6	VI	bardzo silnie skomplikowane
Siersza	78,9	8,2	11,7	0,7	0,5	32,8	III	słabo skomplikowane
Sobieski	72,1	10,8	16,1	0,9	0,1	41,7	III	słabo skomplikowane
Sośnica						2,2	I	nieskomplikowane
Szczygłowice						1,4	I	nieskomplikowane
Śląsk	41,4	28,1	27,3	3,2	0,0	72,8	V	silnie skomplikowane
Wesoła	78,6	12,2	8,5	0,4	0,0	22,5	II	bardzo słabo skomplikowane
Zofiówka	36,5	38,8	27,6	2,0	0,1	73,1	V	silnie skomplikowane
Średnia	55,8	22,2	20,6	1,5	0,1	52,1	IV	średnio skomplikowane

Janina (pokład 118), Jastrzębie (pokłady: 415/1, 415/2, 417/1, 417/2, 502/1, 505/1), Jan Kanty (pokład 301), Jowisz (pokład 510), Knurów (pokłady: 501, 502/1, 502/2, 504 dw, 504 gw, 507, 510, 510/1), Makoszowy (pokłady 358/1, 401, 405/1, 501), Rozbark (pokład 419), Siersza (pokład 301), Sobieski (pokład 301), Śląsk (pokłady 416, 502), Wesola (pokład 334), Zofiówka (pokłady 410, 502/1). Wiele danych jest ponadto niedostępnych, zastrzeżonych, celowo nieujawnionych, bądź niemożliwych do zidentyfikowania. Świadczą o tym nazwy analizowanych złóż/obszarów górniczych, które w większości są historyczne i dotyczą zlikwidowanych lub nieczynnych (gdzie nie prowadzi się wydobycia) kopalń węgla kamiennego. W obecnym szeroko pojmowanym aspekcie dostępności informacji geologicznej, pozyskiwanie nowych danych jest co najmniej utrudnione.

Metodyka badań została zaprezentowana w pracach Bratasza (Bratasz 1971) oraz Kempy, Makowskiego i Proberza (Kempa, Makowski i Proberz 1979, 1983), gdzie zdefiniowano podstawowe parametry pozwalające na ilościową ocenę występowania deformacji nieciągłych (uskoków) w masywach skalnych. Opiera się ona na wyznaczeniu metodami statystycznymi gęstości liniowej G_{UL} i gęstości powierzchniowej G_{UP} uskoków oraz syntetycznego wskaźnika zuskokowania W_U , przy uwzględnieniu uskoków rozpoznanych robotami górniczymi o długości nie mniejszej niż 20 metrów i zrzucie większym bądź równym 0,5 metra.

Gęstość liniowa uskoków G_{UL} , zgodnie ze wzorem 1, zdefiniowana jest jako częstość występowania uskoków wzdłuż różnie zorientowanych linii pomiarowych (dla czterech podstawowych kierunków: W-E, N-W, NW-SE i NE-SW, odległych od siebie o sto metrów, tab. 4).

$$G_{UL} = \frac{n}{l} \quad (1)$$

- ↪ G_{UL} – gęstość liniowa uskoków [uskoków/m·10⁻³],
 n – liczba uskoków,
 l – długość linii pomiarowej [m].

Parametr ten nie przedstawia jednak stopnia natężenia deformacji nieciągłych w poszczególnych częściach złoża/obszaru górniczego, wobec czego oblicza się gęstość powierzchniową uskoków G_{UP} rozumianą jako sumaryczna długość uskoków przypadających na jednostkę powierzchni równą 10 000 m² (tab. 5). Stosunek ten wyraża zależność zapisana wzorem 2.

$$G_{UP} = \frac{l_U}{F} \quad (2)$$

- ↪ G_{UP} – gęstość powierzchniowa uskoków [m/m²·10⁻⁴],
 l_U – sumaryczna długość wszystkich uskoków występujących w obrębie wydzielonej powierzchni pomiarowej [m],
 F – pole powierzchni pomiarowej [m].

Przyjęta w analizach jednostka powierzchni równa 10 000 m² odpowiada polu pomiarowemu o wymiarach 100 × 100 metrów, co odpowiadało z kolei minimalnej powierzchni, która brana była pod uwagę przy ścianowej technologii wydobycia.

Na podstawie uprzednio obliczonej gęstości powierzchniowej oblicza się wskaźnik zuskokowania W_U , będący syntetyczną miarą/oceną stopnia zaangażowania tektonicznego obszaru (tab. 5, wzór 3).

$$W_U = \frac{\sum_{i=1}^n G_{UP}}{i} \quad (3)$$

- ↵ W_U – wskaźnik zuskokowania [$m/m^2 \cdot 10^{-4}$],
 G_{UP} – wskaźnik gęstości powierzchniowej uskoków w polu jednostkowym,
 i – liczba pól jednostkowych.

Zestawione w tabelach 4 i 5 wartości omówionych parametrów, wyznaczone dla poszczególnych złóż/ obszarów górniczych, posłużyły do wykreślenia map ich zmian. Mapy wykonano za pomocą kombinacji programu AutoCAD 2013 firmy Autodesk oraz programu Surfer 11 firmy Golden Software przy zdeklarowaniu, wielokrotnie już sprawdzonej ([Probiez i Marcisz 2010a, 2010b, 2011, 2015](#)), metody konturowania (kreślenia izolinii) *Radial Basis Function – multiquadric* ([Buhmann 2004; Sarra 2006; Sarra i Kansa 2010; Schaback 2007; Wright G.B. 2003](#)), zaimplementowanej w tym programie. Wyniki uzyskanego obrazu zmienności interpolowano i ekstrapolowano do granic poszczególnych złóż/obszarów górniczych wyznaczających obszar badań.

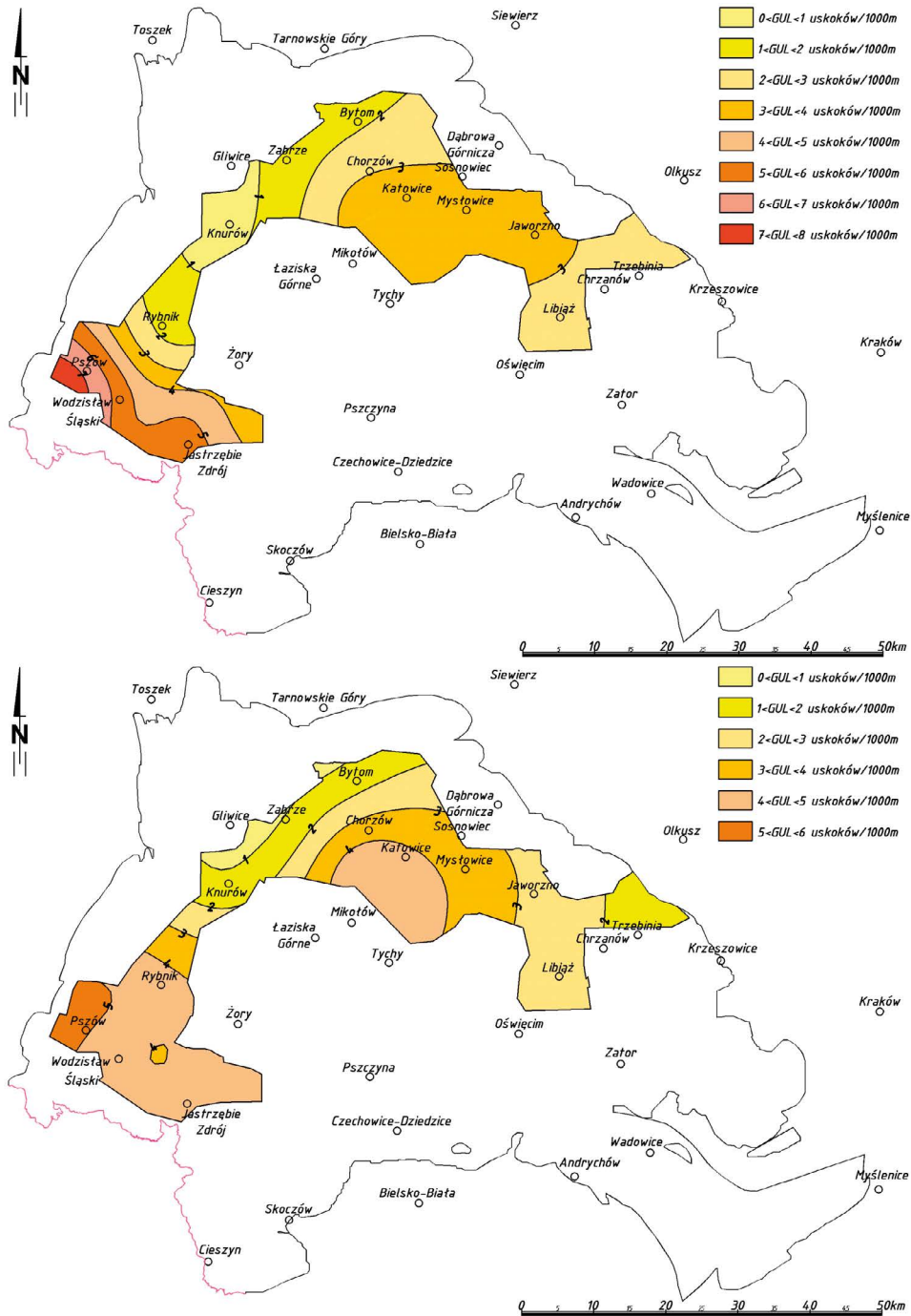
3. Wyniki badań

Wartości gęstości liniowej uskoków G_{UL} wyznaczone dla złóż/obszarów górniczych GZW dla wszystkich czterech badanych kierunków (W-E, N-W, NW-SE i NE-SW) zestawiono w tabeli 5. Zmiany wartości G_{UL} w granicach obszaru badań przedstawiono natomiast na mapach (rys. 2).

Jak wynika z danych zawartych w tabeli 5 średnia wartość G_{UL} w kierunku W-E zmienia się w granicach od 0,2 uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$ w złożu Knurów do 8,4 uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$ w złożu Anna (średnio 3,6 uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$). Wartości G_{UL} wykazują tendencję wzrastającą z kierunku N i NW w kierunku na SW.

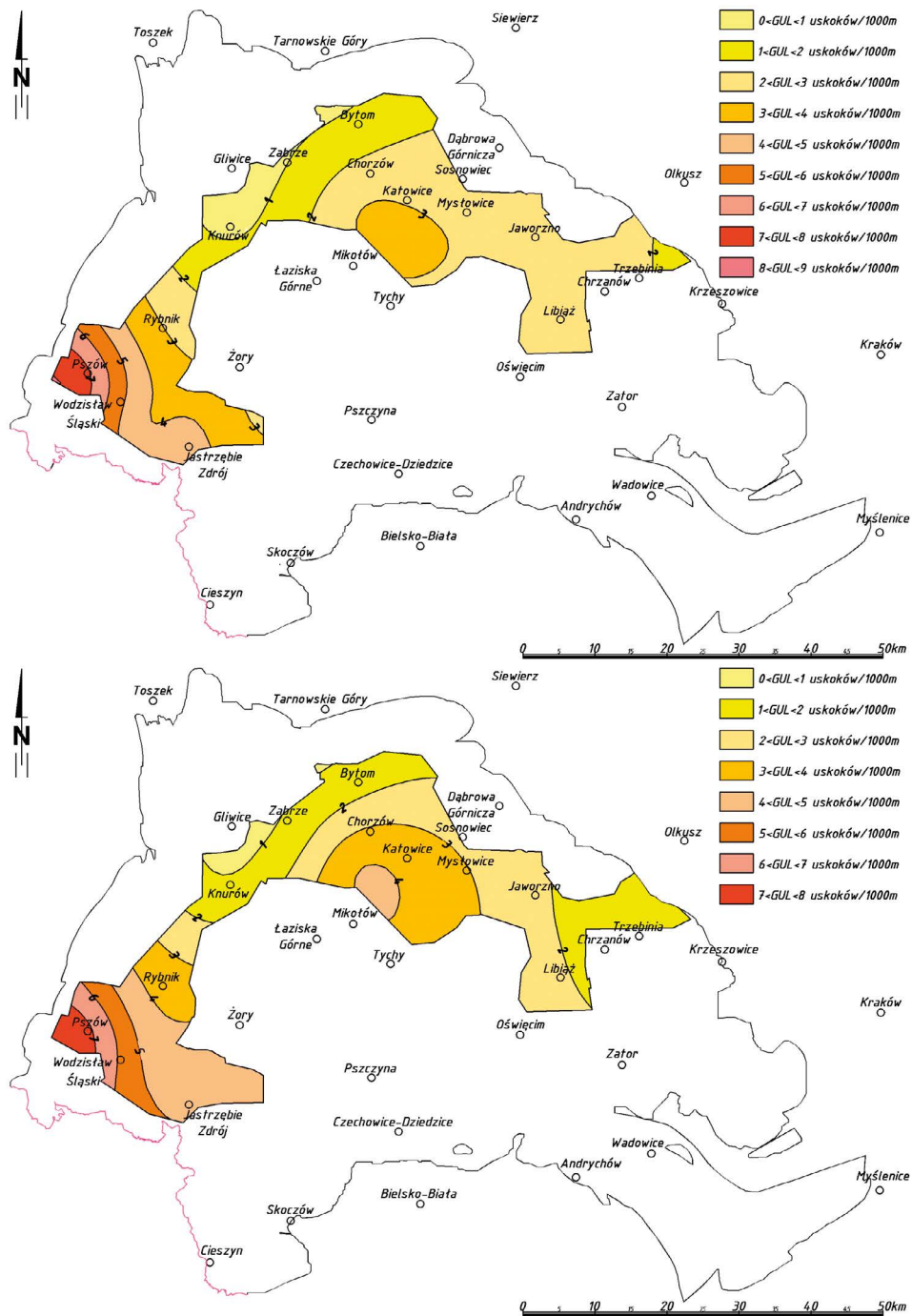
Zróznicowanie wartości G_{UL} dla kierunku N-S jest najmniejsze spośród wszystkich analizowanych od 0,5 uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$ w złożu Knurów do 5,8 uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$ w złożu Śląsk (średnio 3,6 uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$). Wartości G_{UL} , podobnie jak w poprzednim przypadku, wykazują tendencję wzrastającą z kierunku N i NW w kierunku na SW.

Największe zróżnicowanie wartości G_{UL} występuje w kierunku NW-SE, a jego wartość waha się od 0,3 uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$ w złożu Knurów do 9,4 uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$ w złożu Anna



Rys. 2. Mapa zmian wartości gęstości liniowej uskoków G_{UL} w GZW w kierunkach, od góry: W-E i N-S

Fig. 2. The map of variability of lineal density G_{UL} values in the USCBA in following directions, from the top: W-E and N-S



Rys. 2. Mapa zmian wartości gęstości liniowej uskoków G_{UL} w GZW w kierunkach, od góry: NW-SE i NE-SW

Fig. 2. The map of variability of lineal density G_{UL} values in the USCBC in following directions, from the top: NW-SE and NE-SW

(średnio $3,4$ uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$). Wartości G_{UL} , tak jak dotychczas, wykazują tendencję wzrastającą z kierunku N i NW w kierunku na SW.

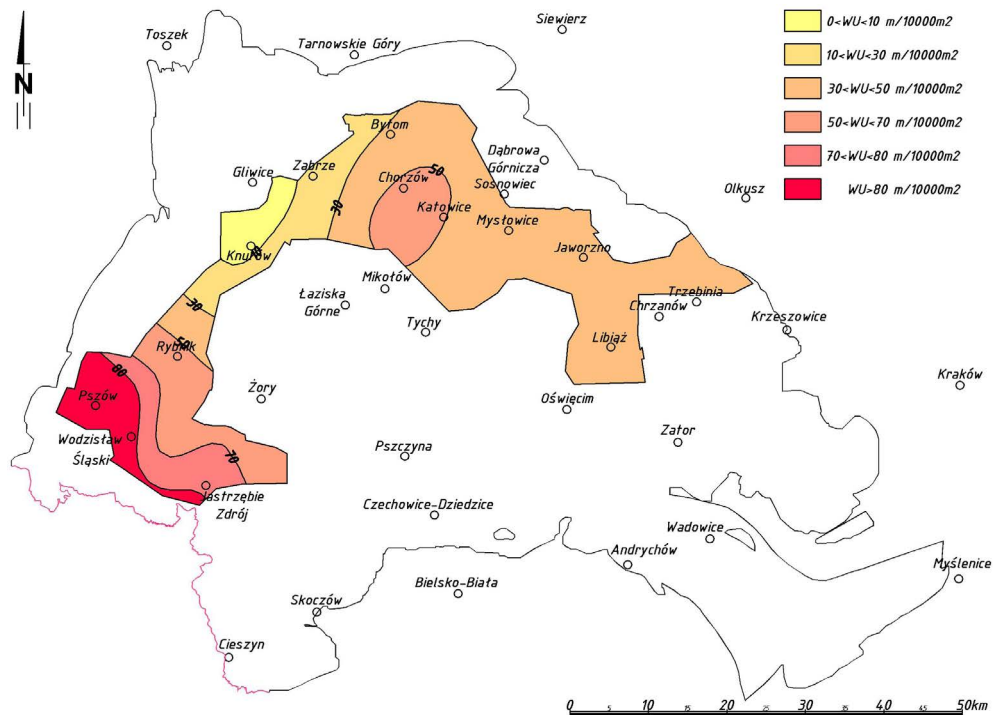
Zróżnicowanie wartości G_{UL} w kierunku NE-SW jest większe niż dla kierunków W-E i S-N oraz mniejsze aniżeli dla kierunku NW-SE. Wartości G_{UL} zmieniają się w granicach od $0,5$ uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$ w złożu Knurów do $8,9$ uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$ w złożu Anna (średnio $3,8$ uskoków/ $m \cdot 10^{-3}$). Tendencja wzrastająca z kierunku N i NW w kierunku na SW nie ulega zmianie również i w tym przypadku.

Uzyskane wartości G_{UL} nie pozwalają, jak już wspomniano, na ilościową ocenę stopnia zuskokowania złóż/obszarów górniczych, określaną na podstawie W_U , wyznaczanego z kolei na podstawie wyników obliczeń G_{UP} .

Procentowy udział powierzchni złoża/obszaru górniczego o określonym przedziale wartości G_{UP} oraz wartości syntetycznego wskaźnika W_U zestawiono w tabeli 6. Rozkład zmian wartości wskaźnika W_U w granicach obszaru badań przedstawiono natomiast na mapie (rys. 3).

Najwięcej, od 21,7% (złoże Anna) do 92,4% (złoże Knurów), zajmuje powierzchnia, na której nie stwierdzono występowania uskoków. Jej wartość średnia dla GZW wynosi 55,8%.

Wartości parametru z przedziału $0 < G_{UP} < 100 \text{ m}^2 \cdot 10^{-4}$ występują na powierzchni średnio 22,2% przy wahaniach od 4,0 % (złoże Makoszowy) do 43,0% (złoże Rymer).



Rys. 3. Mapa zmian wartości wskaźnika zuskokowania W_U w GZW

Fig. 3. The map of variability of the faulting index W_U values in the USCB

Powierzchnia o $100 < G_{UP} < 300 \text{ m/m}^2 \cdot 10^{-4}$ zajmuje od 3,2% (złoże Knurów) do 38,0 (złoże Anna), średnio 20,6%.

Procent powierzchni o $G_{UP} > 300 \text{ m/m}^2 \cdot 10^{-4}$ jest nieznaczny (dla $300 < G_{UP} < 500 \text{ m/m}^2 \cdot 10^{-4}$ wynosi on średnio 1,5%, natomiast $G_{UP} > 500 \text{ m/m}^2 \cdot 10^{-4}$ występuje incydentalnie) i nie wpływa istotnie na wielkość i wartości W_U .

Wartości wskaźnika W_U w granicach obszaru badań zmieniają się w bardzo szerokim zakresie: od $1,4 \text{ m/m}^2 \cdot 10^{-4}$ w złożu Szczygłowice do $131,4 \text{ m/m}^2 \cdot 10^{-4}$ w złożu Anna. Wartość średnia tego parametru dla obszaru badań wynosi $W_U = 52,1 \text{ m/m}^2 \cdot 10^{-4}$. Wartości W_U wykazują wyraźną tendencję wzrastającą z kierunku N i NW w kierunku na SW.

Na podstawie wyznaczonych wartości W_U określono stopień komplikacji złóż/obszarów górniczych GZW (tab. 4 i 6), który zmienia się w pełnym zakresie: od nieskomplikowanych (I stopień, złoża: Knurów, Sośnica, Szczygłowice) do bardzo silnie skomplikowanych (VI stopień, złoża: Anna, Borynia, Jastrzębie, Marcel, Moszczenica, Rymer). Cały obszar badań, na podstawie średniej wartości $W_U = 52,1 \text{ m/m}^2 \cdot 10^{-4}$, zaliczono do IV, średniego stopnia komplikacji tektonicznej.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono zestawienie wyników badań nad stopniem zuskokowania złóż/obszarów górniczych GZW prowadzonych od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Rezultaty tych prac obejmują analizę gęstości uskoków oraz wyznaczenie syntetycznego wskaźnika zuskokowania dla 26 złóż/obszarów górniczych występujących w granicach GZW.

Znajomość wartości określających stopień zuskokowania wykorzystywana jest w praktyce górniczej do określania geologiczno-górniczych warunków eksploatacji, natomiast wyznaczone kierunki ich zmienności pozwalają minimalizować trudności prowadzenia robót górniczych związanych z występowaniem uskoków.

Analiza gęstości liniowej uskoków pozwala na dokładniejsze ukierunkowanie i prowadzenie wyrobisk przygotowawczych (i eksploatacyjnych) poprzez dostosowanie kierunków tych wyrobisk do stwierdzonych kierunków strukturalnych, co z kolei pozwala na zmniejszenie liczby wyrobisk i kosztów własnych wydobycia oraz zwiększenie wydajności pracy.

Wyniki badań wykazały, że wartości minimalne G_{UL} występują w granicach złoża Knurów, natomiast wartości maksymalne w granicach złoża Anna. Obraz zmian wartości G_{UL} jest bardzo zbliżony w odniesieniu do wszystkich czterech badanych kierunków: W-E, N-W, NW-SE i NE-SW, wykazując wyraźną tendencję wzrastającą z kierunku N i NW w kierunku na SW.

Gęstość powierzchniowa uskoków (będąca ilościową charakterystyką nieciągłości masywu skalnego) może być wykorzystywana przy rozwiązywaniu problemów wyznaczania wielkości deformacji powierzchni terenu wywołanych eksploatacją górnictwem.

Wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że procent powierzchni o $G_{UP} > 300 \text{ m/m}^2 \cdot 10^{-4}$ jest nieznaczny i nie ma istotnego wpływu na wielkość i wartości wskaźnika zuskokowania.

Wartość wskaźnika zuskokowania pozwala na dokonanie porównania złóż/obszarów górniczych pod względem trudności eksploatacyjnych spowodowanych uskokami, jak również warunkuje możliwość (określa stopień) stosowania mechanizacji wydobywania.

Przy wykazanej zmienności wartości wskaźnika W_U od 1,4 do $131,4 \text{ m/m}^2 \cdot 10^{-4}$ wykazują one wyraźną tendencję wzrastającą z kierunku N i NW w kierunku na SW. Warunkuje to występowanie w granicach GZW złóż od nieskomplikowanych (I stopień) do bardzo silnie skomplikowanych (VI stopień).

LITERATURA

- Bratasz, T. 1971. Ocena gęstości sieci nieciągłych dyslokacji tektonicznych. *Przegląd Górniczy* 8, s. 288–290.
- Buhmann, M.D. 2004. *Radial Basis Functions: Theory and Implementations*. Cambridge University Press.
- Chrabaczewska, E. i Zaczek, F. 2004. Analiza zalegania pokładu rud miedzi kopalni „Rudna”. *Prace Naukowe Instytutu Górniczego Politechniki Wrocławskiej* nr 106, s. 3–12.
- Chudzicka, B. 1980. Próba klasyfikacji stopnia zuskokowania złóż węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Przegląd Górniczy* 11, s. 544–547.
- Drzewiecki, J. 2011. Wpływ parametrów uskoku na zasięg jego oddziaływania. *Górnictwo i Geoinżynieria*, z. 2, s. 183–190.
- Głogowska, M. i Warzecha, R. 2013. Prognoza zuskokowania górotworu niezagospodarowanego złoża węgla kamiennego w sąsiedztwie czynnej kopalni. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 2, s. 66–73.
- Górecki, J. 1979. Górnicza klasyfikacja uskoków jako punkt wyjścia do oceny stopnia zuskokowania złóż węgla kamiennego. *Spraw. z Pos. Kom. Nauk Geol. PAN* t. XXIII/1, Kraków.
- Górecki, J. 1986. Ocena stopnia zaangażowania tektonicznego złóż węgla kamiennego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, s. *Górnictwo* z. 149, s. 261–272.
- Gruszczak, H. 1984. *Nauka o złożach*. Warszawa: Wyd. Geologiczne.
- Janowski, A., Olchawa, M. i Serafiński, M. 2013. Aktywność sejsmiczna w strefach zuskokowanych i w sąsiedztwie dużych dyslokacji tektonicznych w oddziałach kopalni KGHM Polska Miedź S.A. *CUPRUM* nr 4, s. 57–69.
- Kempa, S., Makowski, A. i Probiez, K. 1979. Próba określenia wskaźnika częstości występowania uskoków w kopalniach południowej części ROW. *Przegląd Górniczy* nr 4, s. 148–153.
- Kempa, S., Makowski, A. i Probiez, K. 1983. Zuskokowanie Rybnickiego Okręgu Węglowego. *Przegląd Górniczy* nr 11–12, s. 443–449.
- Markiewicz, A., Suchan, J. i Tomanik, R. 2007. Eksploatacja górnicza a zuskokowanie spągowej partii utworów cechsztyńskich w kopalni „Rudna” KGHM Polska Miedź SA. *Górnictwo i Geoinżynieria* z. 3/1, s. 395–406.
- Nieć, M. 1982. *Geologia kopalniana*. Warszawa: Wyd. Geologiczne.
- Nieć, M. 1986. Dokładność i strategia rozpoznawania złóż węgla kamiennego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, s. *Górnictwo* z. 149, s. 71–86.
- Nieć, M. 2012. *Metodyka dokumentowania złóż kopalni stałych*. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- Pałys, J. 1973. Hydrogeologiczna klasyfikacja uskoków w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym z punktu widzenia ich przechodzenia poziomymi wyrobiskami górniczymi. *Przegląd Górniczy* nr 5, s. 175–180.
- Pilecka, E. 2005. Wstępna analiza związku wysokoenergetycznej sejsmiczności indukowanej z lineamentami na obszarze GZW. *Miesięcznik WUG Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* nr 6, s. 64–66.
- Pozzi, M. i Lewandowski, T. 1996. Komputerowy program do określenia stopnia zuskokowania złoża. *Prace naukowe GIG*, Katowice 1996. *VI Konferencja Problemy geologii w ekologii i górnictwie podziemnym*, Ustroń.
- Pozzi, M. i Probiez, K. 1994. Zmienność stopnia zuskokowania złoża z głębokością w obszarze kopalni „Jastrzębie” (GZW). *Mat. XVII Sympozjum Geologia formacji węglonośnych Polski*. Kraków: Wyd. AGH, s. 101–104.
- Probiez, K. 1977. Tektonika południowego skrzydła siodła głównego między uskokami: Zuzanna, Książęcy i Przemsa. *Przegląd Geologiczny* t. 25, z. 6, s. 301–307.

- Probierz, K. i Marcisz, M. 1999. Zuskokowanie pokładów 358/1 i 401 w obszarze górniczym KWK Makoszowy. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo* z. 241, s. 201–215.
- Probierz, K. i Marcisz, M. 2010a. Estimation of the hard coal quality in a deposit in view of national and international standards. *Archiwum Górnictwa* t. 55, nr 4, s. 847–863.
- Probierz, K. i Marcisz, M. 2010b. Changes of coking properties with depth of deposition in coal seams of Zofiówka monocline (SW part of Upper Silesian Coal Basin, Poland)”. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 26, z. 4, s. 71–87.
- Probierz, K. i Marcisz, M. 2011. Trafność szacowania jakości węgla kamiennego na przykładzie wybranych pokładów złoża Pniówek. *Przegląd Górniczy* t. 66, nr 7–8, s. 166–170.
- Probierz, K. i Marcisz, M. 2015. The effect of the petrographic composition on the variation of CRI and CSR indices in the Pniówek deposit in the SW part of the Upper Silesian Coal Basin (Poland). *Archiwum Górnictwa* t. 60, nr 2, s. 625–644.
- Probierz, K., Marcisz, M. i Sobolewski, A. 2012. *Od torfu do węgla koksowych monokliny Zofiówki w obszarze Jastrzębia (południowo-zachodnia część Górnośląskiego Zagłębia Węglowego)*. Zabrze: Wyd. IChPW.
- Probierz, K. i Miodoński, G. 2004. Ilościowa ocena deformacji nieciągłych w obszarze górniczym kopalni „Śląsk” (Górnośląskie Zagłębie Węglowe). *Mat. XXVII Sympozjum Geologia formacji węglonośnych Polski*. Kraków: Wyd. AGH, s. 163–170.
- Sarra, S.A. 2006. Integrated Multiquadric Radial Basis Function Approximation Methods. *Computers and Mathematics with Application* t. 51 i 8, s. 1283–1296.
- Sarra, S.A. i Kansa E.J. 2010. *Multiquadric radial basis function approximation methods for the numerical solution of partial differential equations*. Tech Science Press.
- Schaback, R. 2007. A Practical Guide to Radial Basis Functions. Electronic resource, pdfs.semanticscholar.org
- Sermet, E. 2008. Geologiczne uwarunkowania eksploatacji złóż kopalni węglanowych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 24, z. 4/4, s. 341–347.
- Teper, L. i Idziak, A. 1996. Fractal Dimension of Faults Network in the Upper Silesian Coal Basin (Poland): Preliminary Studies. *Pure and Applied Geophysics* t. 147, z. 2, s. 239–247.
- Urych, T., Chečko, J. i Jureczka, J. 2009. *Analiza stref tektonicznych [W:] Wójcicki, A. red.: Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich planami monitorowania*. Raport merytoryczny, Warszawa: PIG-PIB.
- Wright, G.B. 2003. *Radial Basis Function Interpolation: Numerical and Analytical Developments*. PhD thesis, University of Colorado, Department of Applied Mathematics.

STOPIEŃ ZUSKOKOWANIA ZŁÓŻ WĘGLA KAMIENNEGO GÓRNOŚLĄSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

Słowa kluczowe

Górnośląskie Zagłębie Węglowe, węgiel kamienny, gęstość liniowa,
gęstość powierzchniowa, wskaźnik zuskokowania

Streszczenie

W pracy zestawiono wyniki badań nad stopniem zuskokowania złóż/obszarów górniczych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego prowadzonych od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Rezultaty tych prac obejmują analizę gęstości uskoków oraz wyznaczenie wskaźnika zuskokowania dla 26 złóż/obszarów górniczych występujących w granicach GZW.

Ujęcie statystyczne problemu obejmuje trzy główne parametry charakteryzujące skomplikowanie tektoniczne złóż węgla kamiennego w granicach obszarów górniczych: gęstość liniową G_{UL} , gęstość powierzchniową G_{UP} oraz syntetyczny wskaźnik zuskokowania W_U . Zestawienie wartości tych parametrów, dla poszczególnych złóż/obszarów górniczych, posłużyło do wykreślenia map ich zmian, natomiast wyniki uzyskanego obrazu zmienności interpolowano i ekstrapolowano do granic poszczególnych złóż/obszarów górniczych wyznaczających obszar badań.

Wyniki badań wykazały, że wartości G_{UL} zmieniają się w granicach od 0,2 do 9,4 uskoków/m \cdot 10 $^{-3}$ i dla wszystkich czterech badanych kierunków: W-E, N-W, NW-SE i NE-SW, wykazują wyraźną tendencję wzrastającą z kierunku N i NW w kierunku na SW.

W odniesieniu do analiz G_{UP} stwierdzono, że procent powierzchni o $G_{UP} > 300$ m/m 2 ·10 $^{-4}$ jest nieznaczny i nie ma istotnego wpływu na wielkość i wartości wskaźnika zuskokowania.

Wartości wskaźnika W_U wahają się od 1,4 do 131,4 m/m 2 ·10 $^{-4}$ (średnia dla obszaru badań: $W_U = 52,1$ m/m 2 ·10 $^{-4}$) wykazując wyraźną tendencję wzrastającą z kierunku N i NW w kierunku na SW. Warunkuje to występowanie w granicach GZW złóż od nieskomplikowanych (I stopień) do bardzo silnie skomplikowanych (VI stopień).

DEGREE OF FAULTING OF HARD COAL DEPOSITS OF UPPER SILESIA COAL BASIN

Key words

Upper Silesian Coal Basin, hard coal, lineal density, surface density, faulting index

Abstract

The paper presents the results of research on the degree of faulting of deposits/mining areas of the Upper Silesian Coal Basin having been carried out since the 1970s. The results of these works are comprised of an analysis of the density of faults and an of the faulting index for 26 deposits/mining areas in the borders of the USCB.

The statistical presentation of the problem includes three main parameters that characterize the tectonic complication of hard coal deposits in the borders of mining areas: lineal density G_{UL} , surface density G_{UP} and synthetic faulting index W_U . The comparison of values of these parameters for particular deposits/mining areas was used for drawing up maps of their changes, whereas the results of the obtained view of variability have been interpolated and extrapolated to the borders of the entire basin.

The results of the research showed that the values of G_{UL} vary between 0.2 and 9.4 of faults/m·10 $^{-3}$ and for all four analyzed directions: W-E, N-W, NW-SE i NE-SW, indicate a significant growing tendency in the following directions: N and NW and in SW.

According to an analysis of G_{UP} , it was stated that the largest part of the study area is occupied by the area in which there are no faults and the percentage of surface with $G_{UP} > 300$ m/m 2 ·10 $^{-4}$ is insignificant and does not have an essential influence on the rate and value of the faulting index.

W_U varies between 1.4 and 131.4 m/m 2 ·10 $^{-4}$ (average for USCB: $W_U = 52.1$ m/m 2 ·10 $^{-4}$) and indicates a significant increasing tendency in the directions: N and NW as well as in the direction of SW. This determines the occurrence of USCB deposits of extreme different grade of tectonic complication in the borders: from not complicated (I grade) to very strongly complicated (VI grade).