

# Głębokość eksploatacji a poziom generowanej wydobywaniem aktywności sejsmicznej w kopalniach węgla kamiennego w latach 2005-2020

Depth of exploitation and the level of seismic activity generated by mining in hard coal mines in 2005-2020



Adam Mirek<sup>\*)</sup>



Grażyna Dzik<sup>\*)</sup>



Adam Blaszczyk<sup>\*)</sup>

**Treść:** W polskim górnictwie węgla kamiennego obserwowana jest od lat 90. XX w. stała tendencja zmniejszania się rocznego wydobycia. Maleje również liczba eksploatowanych ścian, a zawężający się poziom zasobów bilansowych powoduje konieczność sięgania po złoża zalegające w coraz trudniejszych warunkach geologicznych i górniczych. Oznacza to wielokrotnie konieczność projektowania eksploatacji w zasięgu: oddziaływania zaszłości eksploatacyjnych (krawędzi, resztek, filarów) oraz na coraz większych głębokościach. Uwarunkowania te wpływają na poziom aktywności sejsmicznej związanej z prowadzoną eksploatacją. W artykule przedstawiono analizę głębokości eksploatacji prowadzonej w polskich kopalniach węgla kamiennego na tle ogólnego poziomu wydobycia węgla oraz aktywności sejsmicznej generowanej eksploatacją, w obszarach Górnośląskiego i Lubelskiego Zagłębia Węglowego w latach 2005-2020, z interwałem 5-letnim. Wydzielono cztery rejony w GZW, uwzględniając strukturę geologiczną tego obszaru, oraz jeden rejon dla LZW. Poziom zagrożenia sejsmicznego, obrazowany głównie liczbą wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu, pomimo spadającego systematycznie wydobycia oraz zmniejszającej się liczby wyrobisk eksploatacyjnych, ma od roku 2005 wyraźną tendencję rosnącą. Ma to swoje uzasadnienie w sięganiu po złoża w trudniejszych warunkach geomechanicznych, w tym przede wszystkim, zalegające na coraz większych głębokościach.

**Abstract:** Since the 1990s, the Polish hard coal mining industry has witnessed a steady trend of decreasing annual mining outputs. The number of exploited longwalls is also decreasing, and diminishing balance-sheet resources make it necessary to use deposits that are in increasingly difficult geological and mining conditions. This often means that it is necessary to design mining operations aimed to exploit mining remains (edges, remains, pillars) and go to greater depths for mining. These conditions affect the seismic activity level associated with exploitation. The article presents an analysis of the depth of exploitation conducted by the longwall system against the background of the overall level of coal extraction and seismic activity generated by exploitation, in the areas of Upper Silesian Coal Basin and Lublin Coal Basin in 2005-2020, with 5-year intervals. 4 areas were distinguished, considering the geological structure of Upper Silesian Coal Basin and 1 area for Lublin Coal Basin. The level of seismic hazard, illustrated mainly by the number of high-energy of tremors, despite the systematically declining extraction and the decreasing number of mining excavations, has had a clear growing tendency since 2005. This is justified in reaching for deposits in more difficult geomechanically conditions, including those located at ever greater depths.

## Słowa kluczowe:

głębokość eksploatacji, aktywność sejsmiczna, wydobycie

## Keywords:

Key Words: depth of exploitation, seismic activity, extraction

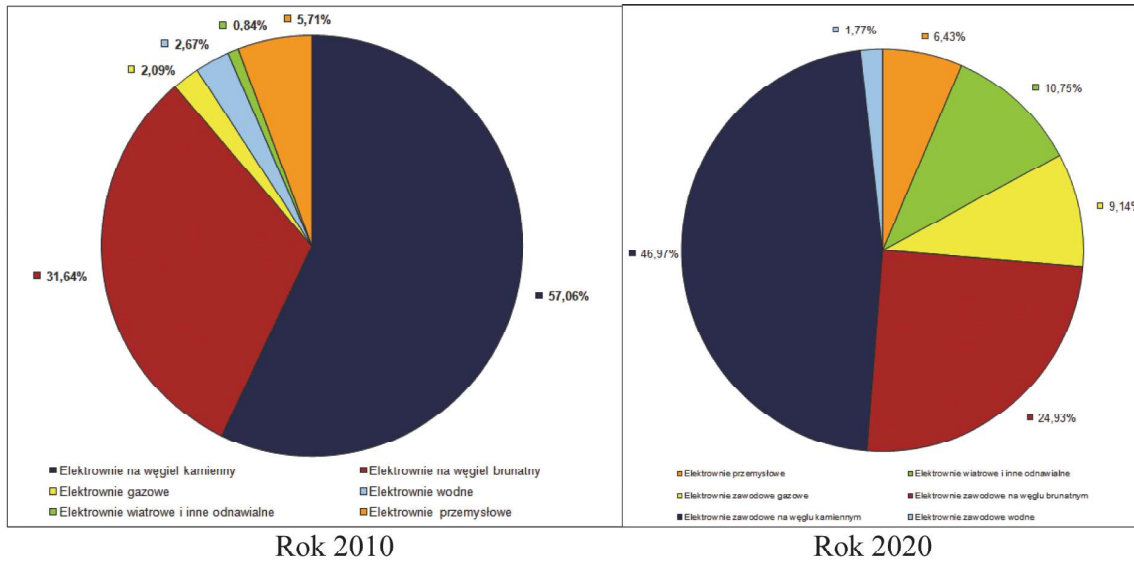
## 1. Wprowadzenie

Procesowi wydobycia węgla kamiennego w podziemnych zakładach górniczych towarzyszą zagrożenia: dla zatrudnionej załogi, dla ruchu zakładu górniczego oraz dla infrastruktury na powierzchni terenu górniczego. Dla podziemnego gór-

nictwa węgla kamiennego charakterystyczne są następujące zagrożenia naturalne: metanowe, sejsmiczne (tąpnięciami), wybuchem pyłu węglowego, wyrzutami gazów i skał, wodne oraz zagrożenie pożarowe, które ujmowane jest poza grupą zagrożeń naturalnych.

Zauważalna jest spadkowa tendencja dotycząca ogólnego wydobycia węgla kamiennego w Polsce, która wynika z kilku, występujących wspólnie, czynników. Wymienić tu należy

<sup>\*)</sup> Wyższy Urząd Górniczy, Katowice



Rys. 1. Procentowy udział w krajowej produkcji energii elektrycznej poszczególnych grup elektrowni według rodzajów paliw (Raport 2010, 2020)

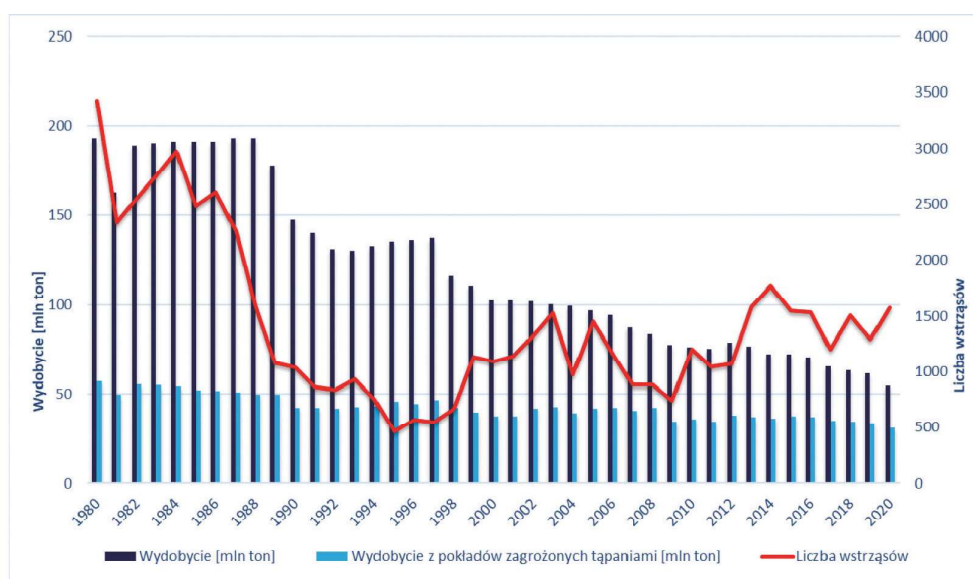
Fig. 1. Percentage share in the national electricity production of individual groups of power plants by fuel type (Raport 2010, 2020)

postępujące ograniczenie dostępności złóż, konieczność funkcjonowania górnictwa w warunkach gospodarki rynkowej, a przede wszystkim duży nacisk na redukcję emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczenie powietrza. O tym, jak zmienia się struktura produkcji energii elektrycznej według rodzaju nośników energii, świadczy porównanie danych za lata 2010 i 2020 (rys. 1).

Istotne zmniejszenie udziału węgla kamiennego jako nośnika energii, pomimo tego, że surowiec ten pozostaje nadal podstawowym źródłem energii elektrycznej, wiąże się z ograniczeniem wydobycia, a nie bez znaczenia jest także fakt zmniejszania się w ostatnich latach poziomu całkowitej produkcji energii elektrycznej w Polsce.

Generalnie poziom zagrożeń towarzyszących wydobyciu węgla, związany bezpośrednio z procesem eksploatacji, uzależniony jest od wielkości wydobycia węgla. Z tego ogólnego

stwierdzenia należałoby wnioskować, że wraz ze spadkiem wydobycia węgla kamiennego poziom wszystkich tych zagrożeń powinien również spadać. Wniosek taki byłby błędny, gdyż dla każdego z powyższych zagrożeń istnieją czynniki, oprócz wielkości wydobycia, które wpływają na poziom występowania tego zagrożenia. Do tych czynników należą m.in. prędkość i postęp robót górniczych, rodzaj pokładów (tąpące/nietąpące), właściwości geomechaniczne i fizyko-chemiczne górotworu, zaszczości eksploatacyjne, itp. Celem analiz było zatem podjęcie próby, na podstawie dostępnych danych statystycznych, określenia zmian poziomu zagrożenia sejsmicznego (i powiązanego z nim bezpośrednio zagrożenia tąpnięciami), uwzględniając spadkową tendencję całkowitego wydobycia węgla, wskazując jednocześnie na znaczenie jednego z czynników wpływających na poziom zagrożenia tąpnięciami, tzn. głębokości prowadzonej eksploatacji.



Rys. 2. Liczba wstrząsów wysokoenergetycznych ( $\geq 1 \cdot 10^5$  J) w kopalniach węgla kamiennego na tle wydobycia ogólnego oraz z pokładów zagrożonych tąpnięciami w latach 1980-2020

Fig. 2. Number of high energy tremors ( $\geq 1 \cdot 10^5$  J) in hard coal mines against the background of general extraction and from deposits at risk of rockbursts in 1980-2020

Parametrem, który trafnie charakteryzuje poziom zagrożenia sejsmicznego w poszczególnych rejonach eksploatacji, a także w skali całego górnictwa węglowego, jest liczba występujących wstrząsów wysokoenergetycznych - umownie tą nazwą określane są wstrząsy o energiach rzędu  $10^5$  J i wyższych. Dane dotyczące liczby zarejestrowanych wysokoenergetycznych wstrząsów gromadzone są w sposób systematyczny od roku 1980, a kształtowanie się tego parametru w poszczególnych latach przedstawione zostało na wykresie (rys.2). Ujęto na nim również, w celu prowadzonej analizy, wielkość wydobycia węgla w poszczególnych latach, a także wielkość wydobycia pochodzącego z pokładów węgla zagrożonych tąpnięciami.

Bardzo wyraźna i stała jest tendencja zmniejszania się ogólnego poziomu wydobycia węgla w poszczególnych latach. Nie tak wyraźny, natomiast jest stały trend zmniejszania się wydobycia z pokładów zagrożonych tąpnięciami. Co charakterystyczne, udział wydobycia z pokładów zagrożonych tąpnięciami w ogólnym wydobyciu zwiększa się. O ile jeszcze w roku 2000 węgiel z pokładów zagrożonych tąpnięciami stanowił około 37,2% ogólnego wydobycia, to w roku 2020 było to już 56,6%. Najistotniejsze wydaje się być zobrazowanie na tle wydobycia liczby zarejestrowanych wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu. Tutaj tendencja jest rozbieżna - liczba silnych wstrząsów generowanych działalnością górnictwem zwiększa się, pomimo spadającego wydobycia.

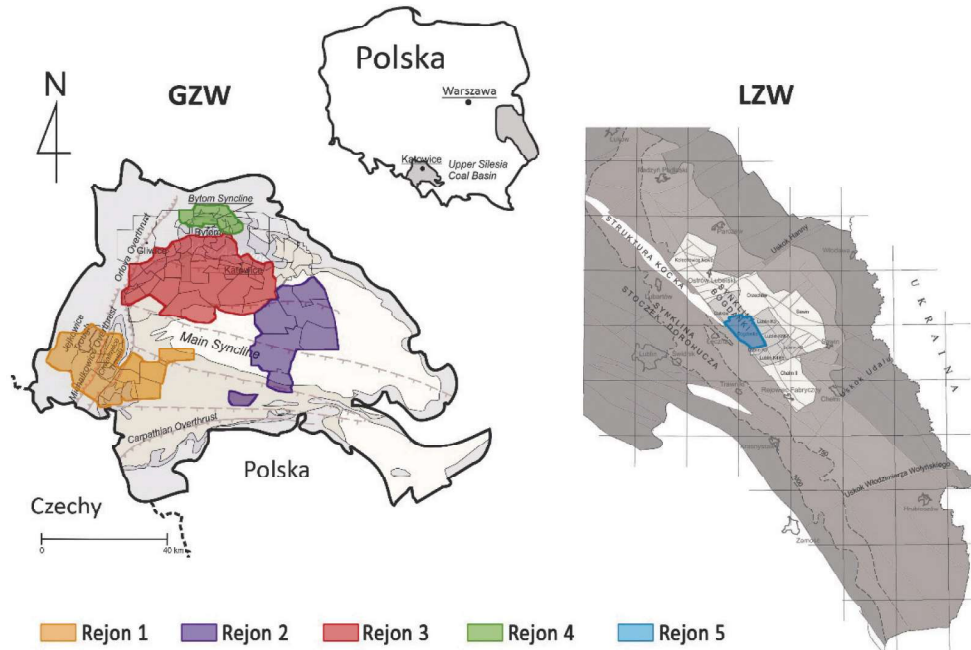
Doświadczenia polskiego górnictwa w dziedzinie związku eksploatacji węgla z generowaną sejsmicznością obejmują wiele dziesięcioleci, a od lat 70. ubiegłego wieku, dzięki zastosowaniu specjalistycznej aparatury, zagrożenie to może być analizowane ilościowo, oceniane, prognozowane, może też być realizowana profilaktyka tego zagrożenia. Doświadczenia te wskazują jednoznacznie na znaczenie głębokości eksploatacji, jako parametru istotnego przy ocenie potencjalnego zagrożenia tąpnięciami. Stwierdzenie to znalazło swoje przełożenie również na przepisy regulujące ruch podziemnych zakładów górniczych, gdzie zawarty został wymóg dokonywania, przy prowadzeniu robót górniczych na głębokościach większych niż 400 m, oceny możliwości wystąpienia zagrożenia tąpnięciami (Rozporządzenie ME 2016). Ponadto stosowana powszechnie w zakładach górniczych instrukcja określania potencjalnego stanu zagrożenia tąpnięciami wyrobisk górniczych, wśród najistotniejszych czynników kształtujących stan zagrożenia tąpnięciami wymienia głębokość prowadzenia robót (Instrukcja GIG 2012).

Czynników, od których zależy poziom zagrożenia tąpnięciami jest jednak znacznie więcej, zarówno tych pochodzenia naturalnego (budowa geologiczna złoża, zwłaszcza skał występujących w stropie eksploatowanego złoża, występowanie zaburzeń w zaleganiu złoża - uskoków, fałdów, wycieniń, parametry wytrzymałościowe pokładu i skał otaczających, naturalna skłonność górotworu do nagłego wyładowania skumulowanej energii), jak również pochodzenia górnictwa (zaszłości eksploatacyjne - krawędzie pokładów sąsiednich, pozostawione resztki, filary ochronne i oporowe, ponadto technologia robót górniczych, koncentracja wydobycia) (Mirek i in. 2018) Uwarunkowania geologiczne polskiego górnictwa węgla kamiennego nie są jednorodne. Inaczej w poszczególnych rejonach prowadzonej eksploatacji ukształtowany jest górotwór, inaczej też przedstawiają się wartości skłonności do tępnięć. Podejmując próbę określenia związku sejsmiczności generowanej eksploatacją górnictwem z głębokością, na jakiej jest ona prowadzona, dla uwzględnienia różnorodności warunków geologicznych stworzono umowny podział na 5 rejonów eksploatacyjnych.

## 2. Uwarunkowania geologiczne w wytypowanych rejonach

Dane, na podstawie których wykonano analizy parametrów niezbędnych do obliczeń, uzyskano z zakładów górniczych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) oraz Lubelskiego Zagłębia Węglowego (LZW). Na obszarze GZW - niecki górnośląskiej wydzielono przy uwzględnieniu geologii, cztery rejon, natomiast piąty rejon stanowią złoża LW Bogdanka S.A. na obszarze LZW (rys. 3). Budowa geologiczna głównego zagłębia węglowego jakim jest w Polsce GZW, odróżnia się od budowy geologicznej LZW, wykazując większy stopień skomplikowania pod względem tektonicznym - występuje tu szereg uskoków o dużych zrzutach od kilkudziesięciu do kilkuset metrów, jak również duża sieć uskoków o mniejszych zrzutach, niejednokrotnie duże (do kilkunastu stopni) nachylenia pokładów węgla, zróżnicowane miąższości warstw węglonośnych, ale również duże miąższości nadkładów skał osadowych sięgające kilkudziesięciu metrów (Pilecka 2005, Idziak i in., 1999; Zdanowski 2007, 2011, Ciosmak 2012). Powierzchnia GZW wynosi ok. 5600 km<sup>2</sup>. Granice zagłębia przyjmuje się jako zasięg występowania spągu węglonośnych utworów karbońskich (serpuchow - baszkir - moskow). Północno-wschodnia granica zagłębia ma charakter dysjunktywny i przebiega wzdłuż uskoków rowu tektonicznego Sławkowa, zachodnia granica zaznacza się nasunięciem dolnego karbonu (serpuchow) na karbon górny (baszkir), południowa granica przechodzi pod neogenem i płaszczowinami Karpat Zachodnich. Niecka górnośląska charakteryzuje się słabo rozwiniętą tektoniką fałdową, a najsilniejsze zaburzenia tektoniczne notuje się na jej obrzeżach. Strefa tektoniki fałdowej biegnie wzdłuż zachodniej granicy niecki górnośląskiej, gdzie występują nasunięcia o przebiegu zbliżonym do południowego. Środkowa część niecki zbudowana jest z warstw górnokarbońskich leżących prawie poziomo, co związane jest z występowaniem w podłożu niecki masywu krystalicznego. Na terenie niecki występują liczne uskoki, utworzone głównie podczas fałdowań alpejskich, obejmując zarówno karbon jak i nadkład. Niecka główna, jako rozległa synklina o upadzie warstw do 10°, położona jest w centralnej części GZW. Występują tu liczne równoleżnikowe rowy i zręby o dużych amplitudach zrzutu, od strony północnej przechodzi w strukturę antyklinalną - siodło główne. Siodło główne składa się z grupy kopuł i rozciągnięć, a w kierunku północnym przechodzi w strukturę synklinalną - nieckę bytomską, gdzie upady warstw są podobne jak w siodle głównym.

Powierzchnia LZW wynosi 6950 km<sup>2</sup>. Łączna powierzchnia złóż, w których prowadzona jest/będzie eksploatacja wynosi 211,58 km<sup>2</sup>, natomiast złoża „Bogdanka” stanowi zaledwie 1,11% całości. Na obszarze LZW są obecnie zagospodarowane złoża: Bogdanka, Nadyrbie i Stefanów, zlokalizowane na wschód od miasta Łęczna, w osiowej partii synkliny Bogdanki. Kopalnia LW „Bogdanka” S.A. znajduje się w stabilnej strefie tektonicznej, gdzie warstwy mają układ zbliżony do platformowego o niewielkim kącie upadu osiającym wartość do około 5°. Obszar LZW cechuje się wydłużoną formą o kierunku NW-SE, płaskim dnem i asymetrycznych skrzydłach. Kąty upadku na skrzydle NE są niewielkie, zapadając w kierunku SW, a na skrzydle NW pod większymi kątami 5-20°, gdzie w części szczytowej antykliny Kocka zwiększają się do 75°. Synklina Bogdanki przechodzi w antyklinę Kocka w kierunku SW (Zdanowski 1999). Budowa geologiczna LZW charakteryzuje się układem warstw, dla którego możemy wyróżnić pokrywę mezozoicko-kenozoicką (utworu czwartorzędu, kredy górnej, jury, stropu karbonu), kolejno formację węglanową, o dużej zmienności



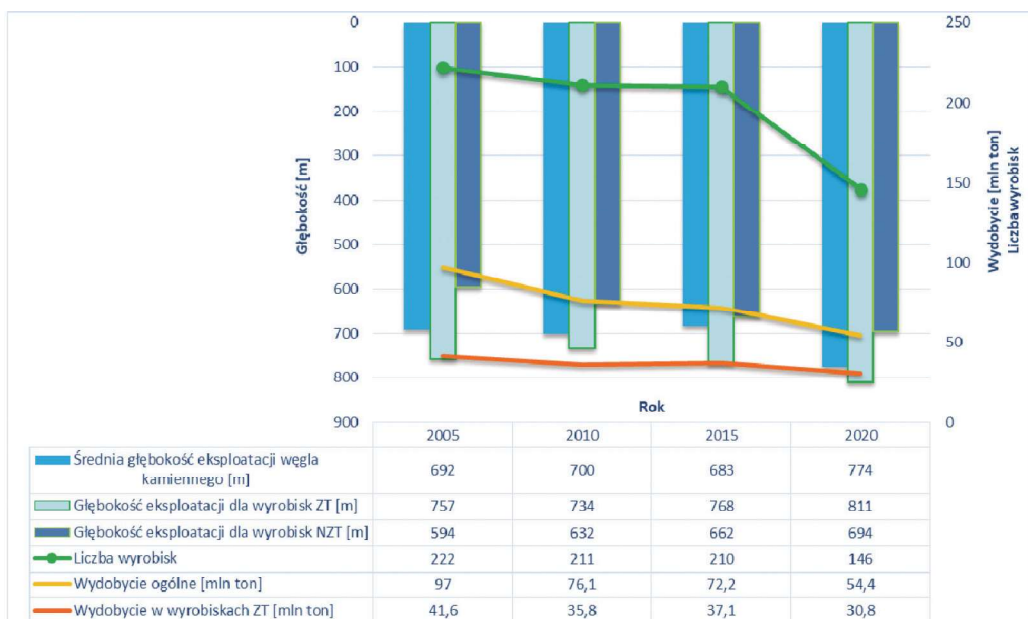
Rys. 3. Mapy strukturalne rejonów eksploatacji węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i Lubelskiego Zagłębia Węglowego wybranych do analiz (Mendecki i in., 2019, Zdanowski 1999)

Fig. 3. Structural maps of hard coal mining regions of the Upper Silesian Coal Basin and the Lublin Coal Basin selected for analysis (Mendecki i in., 2019, Zdanowski 1999)

facjalnej karbonu, oraz podłoże karbonu z warstwami dewonu, utworami syluru, ordowickimi, kambryjskimi, osadowymi skałami prekambriu oraz krystalicznymi utworami prekambriu. Formacja węglanowa posiada rynny erozyjne, wychodnie pokładów węgla i ławic piaskowcowych, oraz dużą ilość warstw ilastych w środkowym karbonie, a w spągu - warstwy piaskowcowe. Złoże Bogdanki znajduje się w obszarze sztywnego podłoża, na którym warstwy karbonu nie podlegały deformacjom ciągłym (Zdanowski 2007, 2011).

### 3. Analiza głębokości prowadzonej eksploatacji na tle wydobywania i aktywności sejsmicznej w GZW i LZW

Analizie poddano pozyskane dane ze wszystkich czynnych kopalni węgla kamiennego z obszaru GZW i LZW, prowadzących eksploatację w latach 2005-2020, z 5-letnim interwałem. Dla GZW wytypowano cztery rejonu: Rejon 1 – rejon południowo-zachodniej części GZW – okręg rybnicki,



Rys. 4. Głębokość eksploatacji dla wyrobisk zagrożonych i niezagrażonych tąpnięciami oraz średnia głębokość eksploatacji [m] w kopalniach węgla kamiennego na tle wydobywania ogólnego [mln ton] wraz z liczbą wyrobisk eksploatowanych w latach 2005, 2010, 2015 i 2020

Fig. 4. Depth of exploitation for workings at risk and with no risk and the average depth of exploitation [meters] in hard coal mines compared to the total excavation [million tonnes] together with the number of excavations operated in 2005, 2010, 2015 and 2020

Rejon 2 - południowo-wschodniej części niecki głównej, Rejon 3 - siodła głównego, Rejon 4 - niecki bytomskiej. Całość obszaru Lubelskiego Zagłębia Węglowego stanowi Rejon 5.

Eksploatacja węgla kamiennego w Polsce w 2020 r. prowadzona była w 21 zakładach górniczych (dalej: ZG), w 2015 r. - w 31 ZG, w 2010 r. - w 30 ZG, a w 2005 r. - w 33 ZG. Na obszarze GZW eksploatacja koncentruje się na obrzeżach zagłębia, w obrębie niecki głównej i siodła głównego oraz niecki bytomskiej (rys. 3). Średnia głębokość wydobycia węgla kamiennego w obszarze GZW wahała się w latach 2005-2020 od 643 do 732 m ppt. Zagospodarowanie niecki głównej wiązało się z eksploatacją na większych głębokościach niż w pozostałej partii GZW z uwagi na występujący nadkład na skałach węglonośnych w postaci grubych warstw utworów młodszych. Inaczej wygląda sytuacja w przypadku pokładów węgla w utworach karbońskich eksploatowanych w LZW, które zalegają prawie poziomo pod warstwami jury i kredy, a stropy pokładów węgla w większości tworzą ilowce, ale również piaskowce i mułowce. Średnia głębokość wydobycia węgla kamiennego w LZW w latach 2005-2020 wynosiła 866 m ppt. Jak przedstawia rysunek 4, średnia głębokość eksploatacji węgla kamiennego w Polsce wahała się od 632 do 774 m ppt. Eksploatacja pokładów niezagrożonych tąpnięciami (Rozp. MŚ 2021) odbywała się na mniejszych głębokościach tzn. od 594 do 694 m ppt., zwiększających się z czasem. Głębokość wydobycia węgla kamiennego z pokładów zagrożonych tąpnięciami (Rozp. MŚ 2021) zawierała się w granicach od 700 do 811 m ppt. (rys. 4) Wykres na rysunku 4 uwzględnia też liczbę wyrobisk eksploatacyjnych w poszczególnych latach gdzie odnotowano spadek liczby tych wyrobisk, przy czym największy spadek dotyczy interwału czasowego z lat 2015-2020: z 210 w roku 2015 do 146 w roku 2020. Spadek liczby wyrobisk eksploatacyjnych jest niewątpliwie związany ze spadkiem wydobycia węgla. Charakterystyczny wydaje się być fakt, że ogólny spadek wydobycia (wynoszący ok. 44% - z 97 mln ton w roku 2005 do 54,4 mln ton w roku 2020) jest znacznie intensywniejszy, niż spadek wydobycia z pokładów zagrożonych tąpnięciami (wynoszący ok. 26% - z 41,6 mln ton w roku 2005 do 30,8 mln ton w roku 2020).

Zakresem analizy objęty również został parametr sumy energii wstrząsów i liczby zjawisk sejsmicznych o energiach  $\geq$

$1 \cdot 10^5$  J w odniesieniu do wydobycia. Energia charakteryzuje się zasadniczo wzrostem wartości, a najmniejszą wartość sumy energii zanotowano w 2005 r. -  $2 \cdot 10^9$  J (rys. 5). Notuje się tu tendencję odwrotną, czyli wraz ze spadkiem wydobycia węgla rośnie suma energii rejestrowanych zjawisk.

Kontynuując rozważania w odniesieniu do wydobycia, należy zestawić je również z liczbą wstrząsów sejsmicznych zaistniałych w kopalniach węgla kamiennego. Rysunek 6 przedstawia tendencję wzrostową aktywności sejsmicznej na tle spadającej wartości wydobycia. Szczególnie wyróżnia się maksimum liczby zjawisk zarejestrowanych w kopalniach węgla kamiennego - w roku 2020 r. były to 1573 zdarzenia.

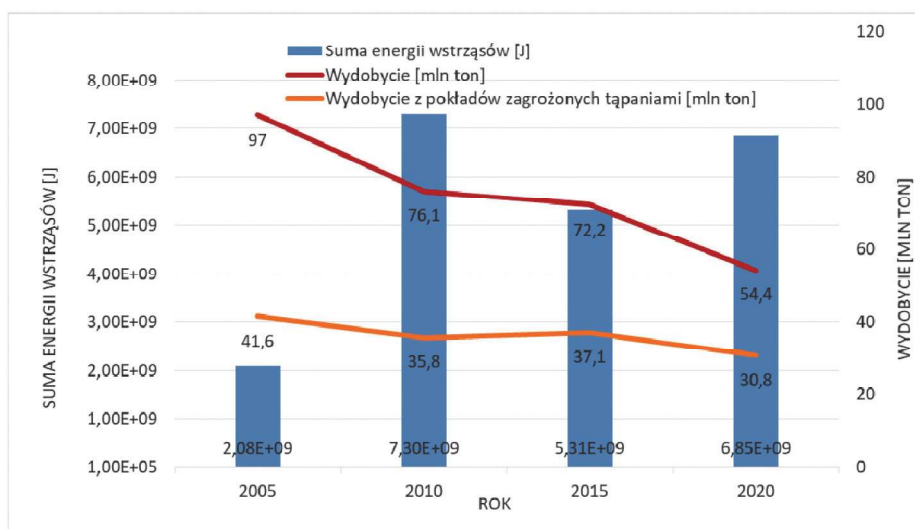
Uwzględniając w artykule najważniejszy parametr analiz, czyli średnią głębokość eksploatacji dla kopalń węgla kamiennego, jego wartości przedstawiono na rysunku 7 na tle liczby wstrząsów, które zarejestrowano w latach 2005-2020. Głębokość wydobycia złóż węgla kamiennego wyraźnie rośnie, osiągając w 2020 r. średnią wartość 766 m ppt. Natomiast z kształtu wykresu wynika, że liczba wstrząsów na przestrzeni analizowanych 15 lat wzrosła. Taka tendencja utrzymuje się od ok. 1995 r. (rys. 2)

Przedstawiając natomiast średnią głębokość wydobycia złożeń w kopalniach węgla kamiennego w stosunku do oddanej energii przez górotwór w analizowanych 15 latach notuje się nieznaczne wahania wartości sumy energii wstrząsów, nieprzekraczającej mniej niż 1GJ (Rys. 8), przy stałym obniżaniu głębokości wydobycia z pokładów.

Wykresy rys. 7 i 8 pozwalają zauważyć, iż przy stale zmniejszającej się głębokości wydobycia węgla, widoczny jest stały wzrost liczby wstrząsów, przy wahałej się, aczkolwiek systematycznie wzrastającej, sumie energii oddanej przez wstrząsy zaistniałe w górotworze.

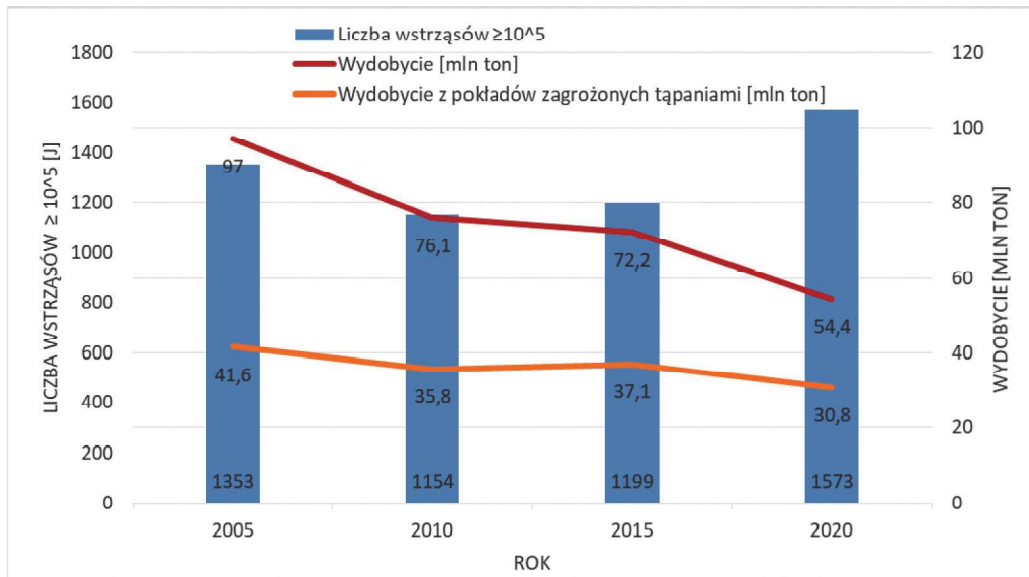
#### 4. Szczegółowa analiza głębokości prowadzonej eksploatacji na tle sumy energii wstrząsów sejsmicznych w badanych rejonach

W wyodrębnionych rejonach eksploatacyjnych analizie poddano zbiór danych uzyskanych za okres 15 lat w interwałach 5-letnich, tzn. uwzględniono lata: 2005, 2010, 2015 i 2020.



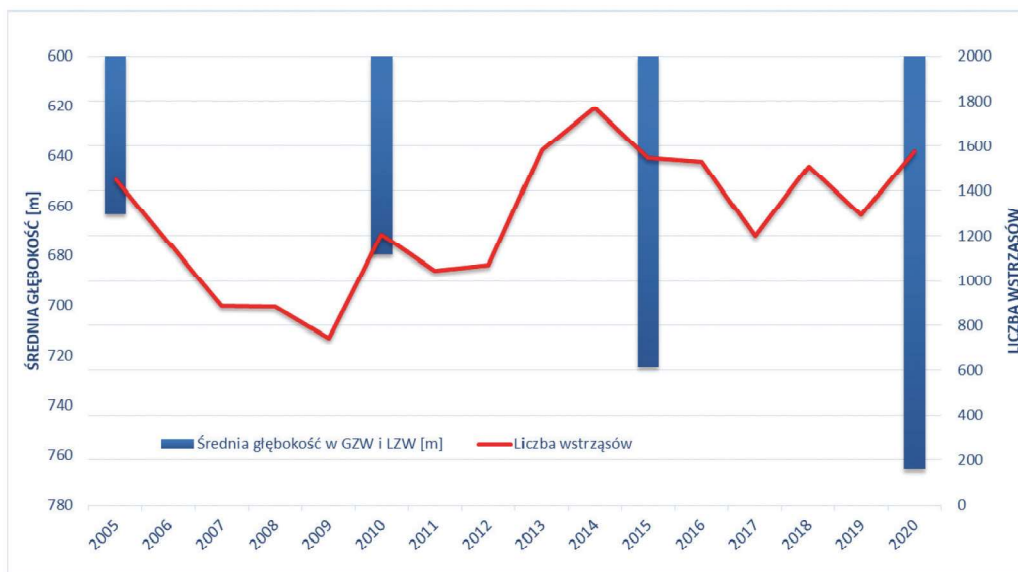
Rys. 5. Suma energii wstrząsów sejsmicznych [J] w kopalniach węgla kamiennego GZW i LZW na tle wydobycia ogólnego oraz z pokładów zagrożonych tąpnięciami w latach 2005, 2010, 2015, 2020

Fig. 5. The sum of the energy of seismic tremors [J] in the coal mines of the GZW and LZW against the background of general extraction and from seams hazardous by rockbursts in 2005, 2010, 2015 and 2020



Rys. 6. Liczba wstrząsów sejsmicznych  $\geq 1 \cdot 10^5$  [J] w kopalniach węgla kamiennego GZW i LZW na tle wydobywania ogólnego oraz z pokładów zagrożonych łąpaniami w latach 2005, 2010, 2015, 2020

Fig. 6. The sum of the number of seismic tremors  $\geq 1 \cdot 10^5$  [J] in hard coal mines of the GZW and LZW against the background to general extraction and from seams hazardous by rockbursts in 2005, 2010, 2015 and 2020



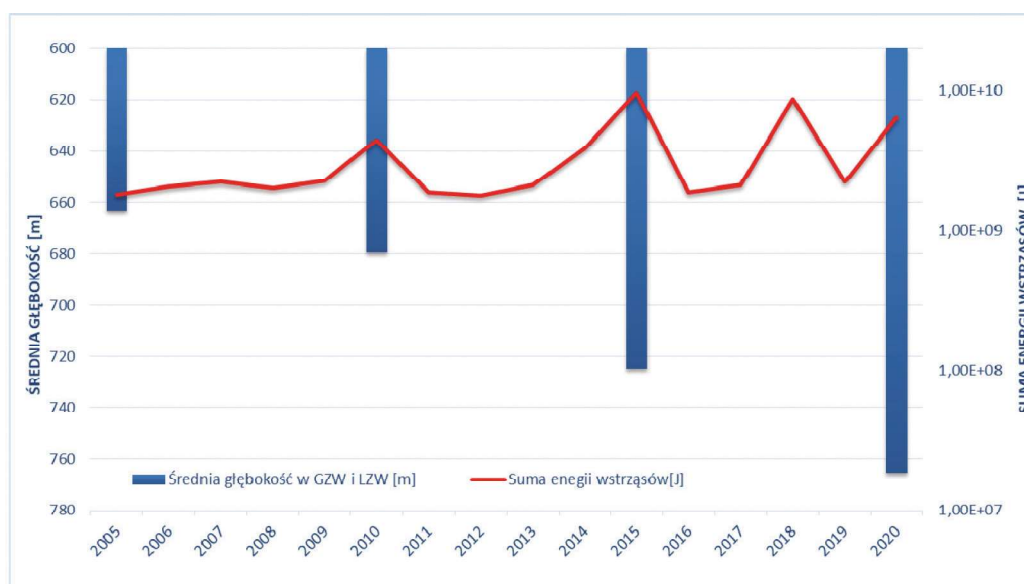
Rys. 7. Średnia głębokość eksploatacji [m ppt.] w kopalniach węgla kamiennego GZW i LZW na tle liczby wstrząsów, które wystąpiły w latach 2005-2020

Ryc. 7. Average depth of exploitation [meters b.g.l.] in hard coal mines of the GZW and LZW against the background to the number of seismic tremors in 2005-2020

W Rejonie 1 (Okręg Rybnicki) liczba czynnych kopalń malała w analizowanym okresie od dziesięciu do czterech (rys.3). W roku 2020 były to kopalnie: KWK Borynia-Zofiówka, KWK Jastrzębie-Bzie, KWK ROW, KWK Pniówek. Liczba wyrobisk eksploatacyjnych w tym okresie również spadała od 75 do 56 ścian rocznie (rys. 14). W latach 2005-2015 rejon ten charakteryzował się stabilną liczbą wyrobisk eksploatacyjnych, która jest wyraźnie niższa w roku 2020. Natomiast głębokość wydobywania stale rosła, osiągając w 2020 r. wartość maksymalną 1203 m ppt. (w KWK ROW Ruch Rydułtowy). Była to druga największa głębokość eksploatacji zanotowana w całym analizowanym obszarze GZW i LZW. Średnie

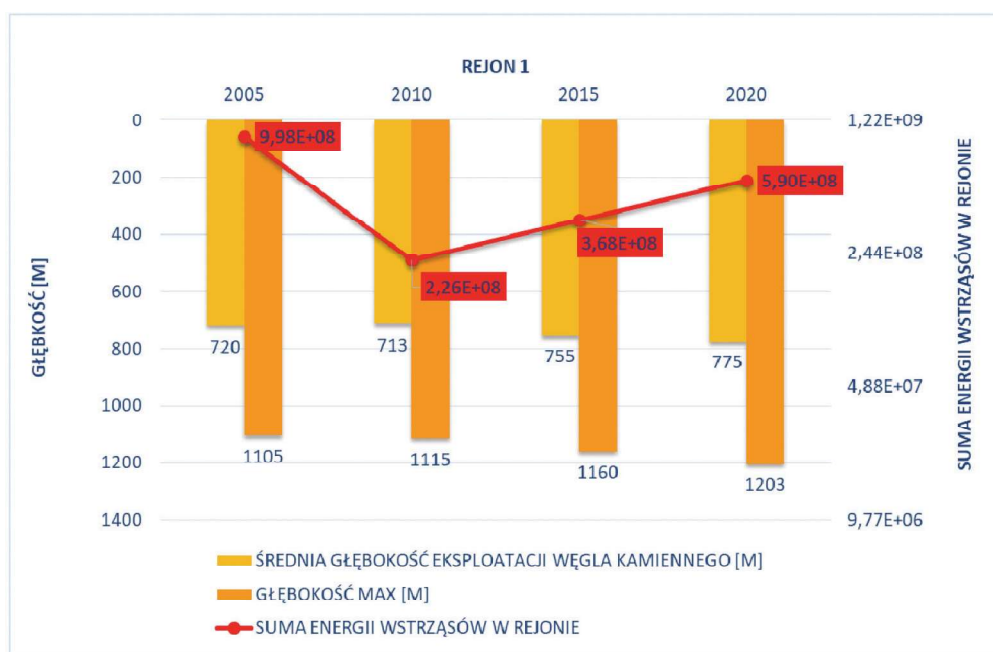
wartości głębokości w Rejonie 1 wahały się od 713 do 775 m ppt. (rys. 9).

Rejon 1 charakteryzował się umiarkowaną aktywnością sejsmiczną wyrażoną liczbą wstrząsów wysokoenergetycznych ( $\geq 1 \cdot 10^5$  J). Wyraźnie największą liczbę zjawisk odnotowano w roku 2005 - 511 (była to w roku 2005 najwyższa liczba zarejestrowanych wstrząsów wysokoenergetycznych spośród wszystkich analizowanych rejonów eksploatacyjnych). Kolejne analizowane lata przyniosły spadek poniżej 200 wstrząsów, by w roku 2020 wzrosnąć do 275. Suma energii oddawanej przez górotwór w czasie wystąpienia przedstawionych zjawisk wahała się od  $2,26 \cdot 10^8$  J do  $9,98 \cdot 10^8$  J, z zauważalną tendencją wzrostową od 2010 r. (rys. 9)



Rys. 8. Średnia głębokość eksploatacji [m ppt.] w kopalniach węgla kamiennego GZW i LZW na tle sumy energii wstrząsów [J] zarejestrowanej w latach 2005-2020

Ryc. 8. Average depth of exploitation [m b.g.l.] in hard coal mines of the GZW and LZW against the background to the sum of the energy of seismic tremors [J] in 2005-2020



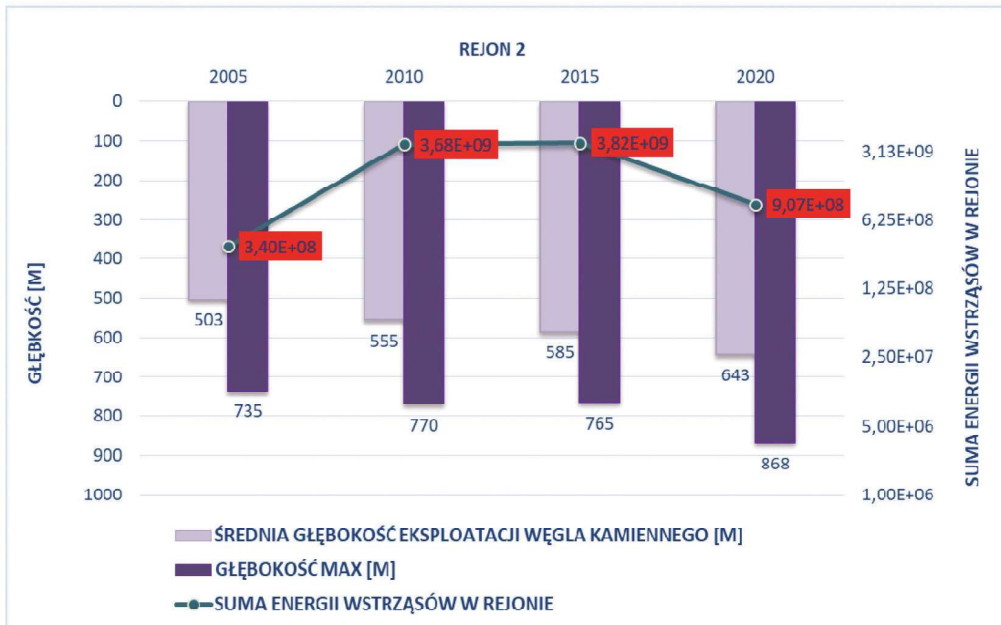
Rys. 9. Średnia głębokość eksploatacji węgla kamiennego dla kopalń w obszarze południowo-zachodniej części GZW wraz z maksymalną głębokością eksploatacji na tle sumy energii wstrząsów w rejonie 1

Fig. 9. The average depth of hard coal mining in the south-west area parts of the GZW together with the maximum depth of exploitation compared to the sum of the energy of the shocks in the region no. 1

W Rejonie 2 (południowo-wschodniej części niecki głównej) analizowano dane dotyczące, w poszczególnych latach, od 7 do 5 czynnych kopalń węgla kamiennego, położonych w tym rejonie. W roku 2020 były to kopalnie: KWK Piast-Ziemowit, KWK Silesia, ZG Brzeszcze, ZG Janina, ZG Sobieski. Liczba wyrobisk eksploatacyjnych malała od 34 do 28 (rys. 14). Maksymalna głębokość eksploatacji w latach 2005-2015 wahała się w granicach 735-770 m ppt., a w 2020 r. nastąpił wyraźny wzrost maksymalnej głębokości eksploatacyjnych złóż, która wyniosła 868 m ppt. Rejon 2

charakteryzuje się najmniejszymi średnimi głębokościami wydobywania węgla kamiennego spośród analizowanych rejonów, tj. od 503 do 643 m ppt.

Liczba wstrząsów zarejestrowanych w Rejonie 2 charakteryzuje się tendencją wzrostową, tak samo jak suma wydzielonej energii wstrząsów wysokoenergetycznych. Liczba wstrząsów w latach 2005-2020 zawierała się w przedziale od 367 do 734, a eksploatacja wyrobisk spowodowała oddanie przez górotwór energii o wartościach między  $3,4 \cdot 10^8$  J -  $3,68 \cdot 10^9$  J. Wyniki pokazują, że suma energii wstrząsów między



Rys. 10. Średnia głębokość eksploatacji węgla kamiennego dla kopalń w obszarze południowo wschodniej części niecki głównej wraz z maksymalną głębokością eksploatacji na tle sumy energii wstrząsów w rejonie 2

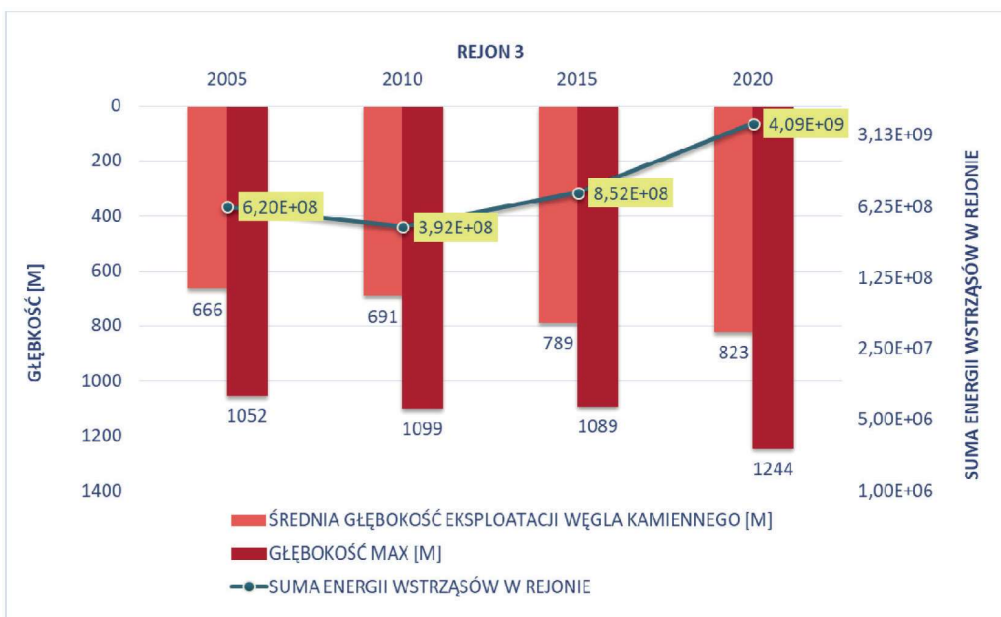
Fig. 10. The average depth of hard coal mining in the south – eastern part of the Main Basin together with the maximum depth of mining compared to the sum of the energy of the shocks in the region no. 2

2010 a 2015 jest maksymalna i osiągnęła wartości ok.  $3 \cdot 10^9$  J. Parametr sumy energii wstrząsów zachowuje się anomalnie w ostatnim analizowanym roku (2020), gdy następuje spadek tej wartości w stosunku do poprzednich lat, przy wzroście liczby zdarzeń (rys. 10).

W Rejonie 3 (siodło główne), obszarze centralnym GZW, funkcjonowała największa liczba czynnych kopalń węgla kamiennego w analizowanych latach, tj. od trzynastu w roku 2005 do ośmiu w roku 2020. W roku 2020 w rejonie tym wydobyte prowadzono w kopalniach: KWK Murcki-Śtaszic, KWK Wujek, KWK Mysłowice-Wesoła, KWK

Ruda, KWK Bolesław-Śmiały, KWK Budryk, KWK Knurów-Szczygłowice, KWK Sośnica. Liczba wyrobisk eksploatacyjnych malała od 100 do 48 (rys. 14). W Rejonie 3 eksploatacja pokładów węgla odbywała się na średnich głębokościach wynoszących od 666 m do 823 m ppt. Maksymalną głębokość wydobywania, która stanowi największą spośród całego analizowanego materiału, osiągnięto w 2020 r. - 1244 m ppt. (KWK Budryk).

Liczba wstrząsów w okresie 2005-2020 w Rejonie 3 była zróżnicowana. Szczególnie wyróżnia się rok 2010, w którym odnotowano najmniej wstrząsów wysokoenergetycznych



Rys. 11. Średnia głębokość eksploatacji węgla kamiennego dla kopalń w obszarze siodła głównego wraz z maksymalną głębokością eksploatacji na tle sumy energii wstrząsów w rejonie 3

Fig. 11. The average depth of hard coal mining in the Main Siodło area along together with the maximum depth of mining compared to the sum of the energy of the shocks in the region no. 3



(164), w porównaniu z pozostałymi latami, gdzie wartości wahały się od 411 do 457 wstrząsów (rys. 14). Natomiast wyraźnie zauważalny jest przyrost wartości sumy energii wstrząsów wysokoenergetycznych oddanej przez górotwór, gdzie w roku 2020 notuje się prawie o rząd większą sumę energii niż w roku 2015, tzn.  $4,09 \cdot 10^9$  J (rys. 11). Jest to szczególna sytuacja ze względu na spadek liczby eksploatowanych wyrobisk o ponad 50% w całym analizowanym okresie. W przypadku Rejonu 3 związek rozwoju sejsmiczności ze zwiększającą się głębokością eksploatacji jest bardzo wyraźny.

W Rejonie 4 (niecka bytomska) eksploatację prowadzono w zaledwie trzech kopalniach (w roku 2020 były to kopalnie: Bobrek-Piekary, EKO-Plus i Siltech), wydobywających węgiel kamienny, położonych na granicy GZW w północnej części jego obszaru. Liczba eksploatowanych wyrobisk wahała się w granicach od 6 do 16 (rys. 14). W roku 2020 notuje się najniższą liczbę wyrobisk eksploatacyjnych. Średnie wartości głębokości eksploatacji ulegały w poszczególnych latach wahaniom. W roku 2015 notuje się tu maksymalną głębokość wydobywania na poziomie 980 m ppt, a jednocześnie w roku tym średnia głębokość eksploatacji była najniższa - 547 m ppt, przy wysokiej liczbie wyrobisk eksploatacyjnych. Na takie dane wpłynąć mogło wydobywanie prowadzone systemem chodników eksploatacyjnych przez ZG Siltech i ZG EKO-Plus, realizowane na umiarkowanej głębokości.

Rejon 4 charakteryzuje się dość niską liczbą wstrząsów wysokoenergetycznych, co związane jest m.in. ze stosunkowo małą liczbą wyrobisk eksploatacyjnych. Pomijając anomalną wartość 279 wstrząsów wysokoenergetycznych w roku 2010, wynikającą z wysokiej aktywności rejestrowanej w kopalni Bobrek-Centrum, średnio w latach 2005, 2010 i 2020 wystąpiło 47 wstrząsów.

Interesująca wydaje się być korelacja pomiędzy liczbą wyrobisk eksploatacyjnych a sumaryczną energią wstrząsów generowanych eksploatacją. W roku 2010, w porównaniu

z rokiem 2005, wystąpił znaczny wzrost sumarycznej energii wstrząsów (rys. 12), przy czym podobna była liczba wyrobisk eksploatacyjnych. Natomiast w roku 2015, gdy liczba wyrobisk znacznie wzrosła, odnotowano wyraźny spadek (o ponad rząd wielkości) sumarycznej energii. Anomalia ta mają prawdopodobnie swoje źródło zarówno w niewielkiej liczbie, jak i w charakterze zakładów górniczych wliczonych do Rejonu 4. Jak już wspomniano, uwzględniono tu m.in. zakłady górnicze: Siltech i EKO-Plus, prowadzące eksploatację systemem chodników wydobywczych, traktowanych w analizie jako wyrobiska eksploatacyjne, podobnie jak ściany np. w kopalni Bobrek-Piekary. Stąd wydaje się, że dla Rejonu 4 znacznie bardziej miarodajna jest korelacja pomiędzy wielkością wydobywania a sumaryczną energią wstrząsów.

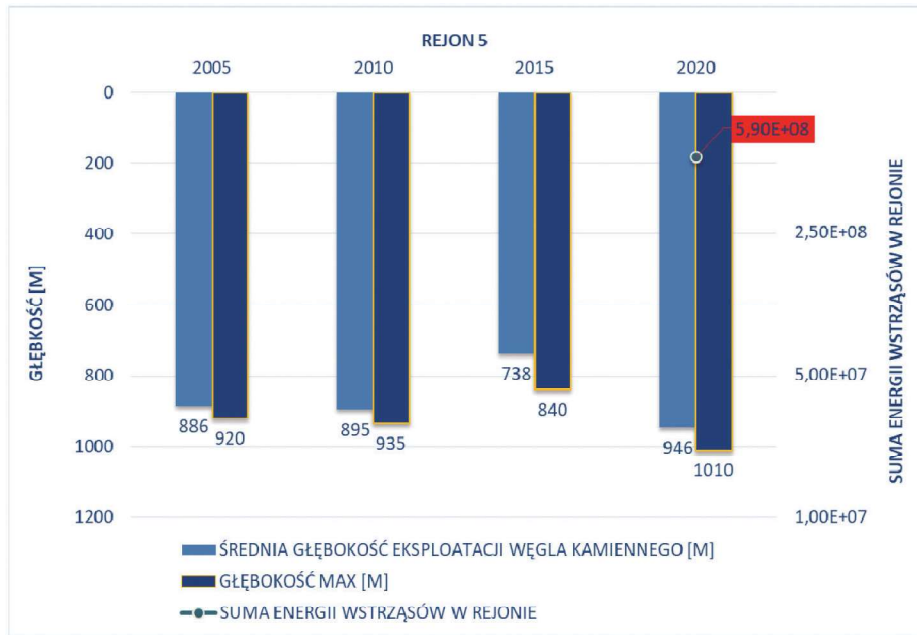
W Rejonie 5 (Lubelskie Zagłębie Węglowe) funkcjonuje jeden zakład górniczy (od rozpoczęcia tu eksploatacji), tzn. LW Bogdanka S.A., zlokalizowany w centralnym rejonie obszaru LZW. Liczba eksploatowanych wyrobisk wynosiła od 4 do 10 w analizowanych interwałach czasowych, gdzie w odróżnieniu od pozostałych rejonów, wyraźnie widoczny jest przyrost liczby eksploatowanych ścian (o 100% w porównaniu roku 2020 do roku 2005) (rys. 14). Głębokość maksymalną osiągnięto w 2020 r. i wyniosła 1010 m ppt., natomiast średnia głębokość wydobywania wahała się od 738 do 946 m ppt.

Obserwacja zjawisk sejsmicznych, realizowana za pomocą aparatury powierzchniowej, wraz z określeniem ich energii odbywa się od roku 2019. Analizowane dane z roku 2020 wskazują na aktywność sejsmiczną na porównywalnym poziomie jak np. w Rejonie 4 obszaru GZW. Suma energii wstrząsów wynosiła tu bowiem  $5,9 \cdot 10^8$  J (rys. 13), a liczba zarejestrowanych zjawisk sejsmicznych wyniosła 80. Ze względu na wcześniejszy brak danych nie ma możliwości odniesienia parametrów dotyczących aktywności sejsmicznej do poprzednich lat.



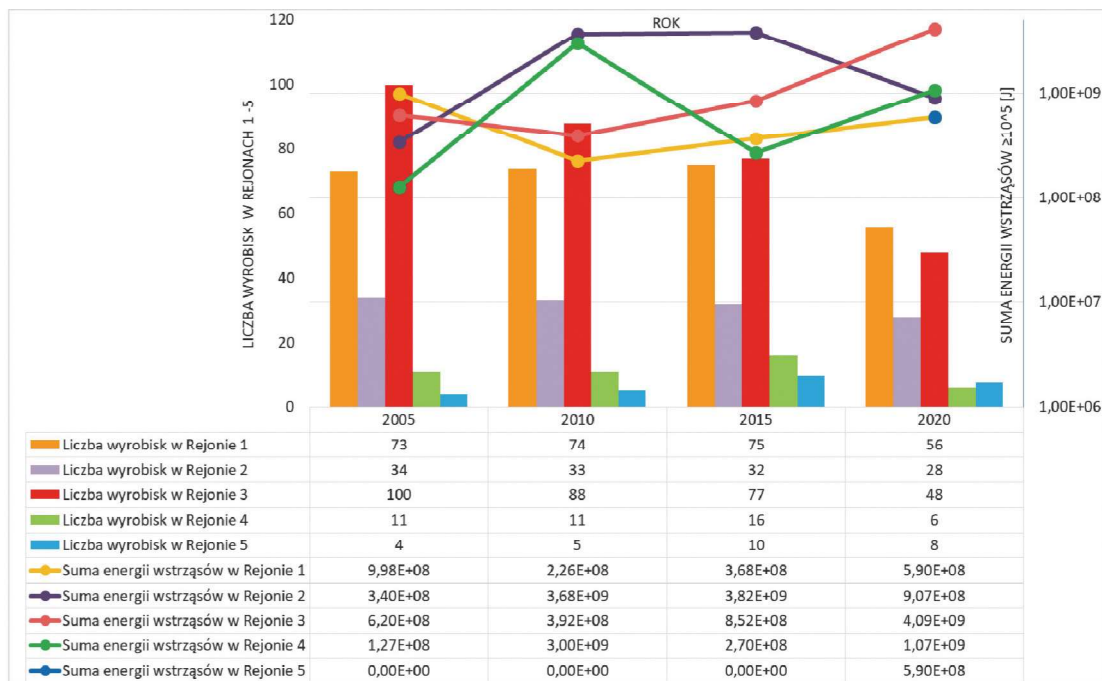
Rys. 12. Średnia głębokość eksploatacji węgla kamiennego dla kopalń w obszarze niecki bytomskiej wraz z maksymalną głębokością eksploatacji na tle sumy energii wstrząsów w rejonie 4

Fig. 12. The average depth of hard coal mining in the Bytom Basin area together with the maximum depth of mining compared to the sum of the energy of the shocks in the region no. 4



Rys. 13. Średnia głębokość eksploatacji węgla kamiennego dla kopalń w obszarze Lubelskiego Zagłębia Węglowego (Rejon 5) wraz z maksymalną głębokością eksploatacji na tle sumy energii wstrząsów w rejonie 5

Fig. 13. The average depth of hard coal mining in the Lublin Coal Basin area together with the maximum depth of mining compared to the sum of the energy of the shocks in the region no. 5



Rys. 14. Liczba wyrobisk eksploatacyjnych na tle sumy energii wstrząsów oddanej przez górotwór w Rejonach 1 - 5

Fig. 14. The number of workings excavating against the background of the sum of the rock mass energy given up by tremors in Regions 1 - 5

## 5. Podsumowanie i wnioski

Poziom wydobycia węgla kamiennego w Polsce, jak i powiązana z nim liczbą wyrobisk eksploatacyjnych cechuje bardzo wyraźna tendencja spadkowa, mająca swoje uzasadnienie zarówno w uwarunkowaniach geologiczno-górnictwowych, jak i ekonomicznych, przy coraz większym zaangażowaniu w proces redukcji emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczenia powietrza.

W ogólnym wydobyciu węgla kamiennego zauważalny jest rosnący udział wydobycia z pokładów zagrożonych tąpnięciami. W roku 2000 było to 37,2% ogólnego wydobycia, a w roku 2020 - już 56,6%. Złoże podlegające eksploatacji coraz częściej zlokalizowane jest w trudniejszych - pod względem zagrożenia tąpnięciami - parcelach (w sąsiedztwie uskóków, w byłych filarach ochronnych), a przede wszystkim zalegające głębiej.

Tendencja schodzenia coraz głębiej z eksploatacją węgla jest charakterystyczna dla wszystkich, wydzielonych dla potrzeb analizy, rejonów eksploatacyjnych - czterech wyodrębnionych w obrysie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i piątego, obejmującego Lubelskie Zagłębie Węglowe. Średnia głębokość eksploatacji dla polskich kopalń wzrosła z 692 m ppt. w roku 2005 do 774 m ppt. w roku 2020. Wyższe wartości przyjmują średnie głębokości eksploatacji z pokładów zagrożonych tapaniami - od 757 m ppt. w roku 2005 do 811 m ppt. w roku 2020. Największe głębokości prowadzonej eksploatacji przekroczyły już 1200 m.

Poziom zagrożenia sejsmicznego - obrazowany głównie liczbą wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu, pomimo spadającego systematycznie wydobywania, ma od roku 2005 wyraźną tendencję rosnącą. Ma to swoje uzasadnienie w sięganiu po złoża w trudniejszych warunkach geomechanicznych, w tym przede wszystkim zalegające na coraz większych głębokościach. Najwyraźniej taka tendencja występuje w rejonach siodła głównego i południowo-wschodniej części niecki głównej, jak również, w odniesieniu do okresu lat 2010-2020 - rejonu południowo-zachodniej części GZW. Anomalie względem tej tendencji wykazuje rejon niecki bytomskiej, natomiast analiza taka w odniesieniu do LZW wymaga uzyskania danych dotyczących sejsmiczności z dłuższego okresu czasu.

Z uwagi głównie na postępujące wyeksploatowanie złóż nieuniknione jest projektowanie dalszej - przyszłej eksploatacji z pokładów zalegających coraz głębiej. Postęp techniki i technologii wydobywania umożliwi takie rozwiązania, aczkolwiek jest ono obciążone coraz większym poziomem zagrożeń charakterystycznych dla kopalń węgla kamiennego - gazowych, wodnego, klimatycznego oraz - w największym zakresie - sejsmicznego i tapaniami.

## Literatura

- IDZIAK A., TEPER L., ZUBEREK W.M. 1999 - Sejsmiczność a tektonika Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, Prace Naukowe UŚ w Katowicach, r. 1793, Wyd. UŚ,
- Instrukcja** GIG nr 22 „Zasady stosowania metody kompleksowej i metod szczegółowych oceny stanu zagrożenia tapaniami w kopalniach węgla kamiennego”, zał. nr 1 „Metoda rozeznania górniczego określania potencjalnego stanu zagrożenia tapaniami wyrobisk górniczych”, Katowice 2012 r.,
- MENDECKI M, WOJTECKI Ł., ZUBEREK W.M. 2019 - Case studies of seismic Energy release ahead of underground coal mining before strong tremors, Wyd. Pure and Applied Geophysics, doi.org/10.1007/s00024-019-02144-0.

MIREK A., RAWICKI Z., DZIK G. 2018 - Minimizing hazards caused by high energy tremors with the use of geophysical observations and apply of appropriate rock burst prevention to increase safety in underground coal mines, Conference materials: 25th World Mining Congress 2018, Kazahstan, wmc2018.org.

PILECKA E. 2005 - Wstępna analiza związku wysokoenergetycznej sejsmiczności i indukowanej z lineamentami na obszarze GZW, Mat. Symp. Warszaty 2005 „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, s. 447-456,

**Raport** roczny Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A. – Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, 2010 i 2020.

**Rozporządzenie** Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. z 2017 r. poz. 1118, z późn. zm.).

**Rozporządzenie** Ministra Środowiska z dnia 29 stycznia 2013 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych (Dz. U. z 2021 r. poz. 1617).

ZDANOWSKI A. 1999 - Atlas geologiczny Lubelskiego Zagłębia Węglowego, Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

ZDANOWSKI A. 2007 - Rozpoznanie złóż węgla kamiennego i boksytów w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. Biul. Państw. Inst. Geol., 422: 35-50.

ZDANOWSKI A. 2011 - Zasoby węgla kamiennego w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. Przegląd Górniczy, 7-8: 153-159.

Artykuł wpłynął do redakcji w styczniu 2022

Artykuł akceptowano do druku 28.02.2022

## Informacje o autorach

Adam Mirek, dr inż. geolog górniczy - geofizyk, absolwent (1981 r.) Wydziału Geologiczno-Poszukiwawczego Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Zajmuje stanowisko Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego. Bogate doświadczenie i wiedza pozwalają mu na rozwiązywanie multidyscyplinarnych problemów, z którymi mierzy się górnictwo w Polsce. wug@wug.gov.pl

Grażyna Dzik, mgr geofizyk, absolwentka Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego. Jest głównym specjalistą w Departamencie Górniczym w Wyższym Urzędzie Górniczym, zajmując się zagadnieniami związanymi z górnictwem podziemnym, odkrywkowym i otworowym. g.dzik@wug.gov.pl

Adam Błaszczuk, mgr inż., absolwent Wydziału Górniczego Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Specjalista w zakresie zwalczania zagrożenia tapaniami. Obecnie jest pracownikiem Wyższego Urzędu Górniczego, zajmującym stanowisko Z-cy Dyrektora Departamentu Górniczego. Zajmuje się m.in. zagadnieniami związanymi z zagrożeniami naturalnymi w górnictwie. a.blaszczuk@wug.gov.pl