

Możliwości wykorzystania pogórnich niecek obniżeniowych do oszacowania objętości pustek w zrobach poeksploatacyjnych

Possibilities of application of post-mining subsidence troughs in estimation of cavity capacities in post-exploitation caves



*Prof. dr hab. inż. Edward Popiołek**



*Dr hab. inż. Zygmunt Niedojadło
prof. AGH**



*Dr inż. Paweł Sopata**



*Dr inż. Tomasz Stoch**

Treść: W publikacji opisano nowe metody monitoringu pogórnich niecek obniżeniowych, pozwalające dokładnie wyznaczyć ich objętości, a także przyrosty w czasie (GPS-RTK, InSAR, Skaning Laserowy). Pozwala to na oszacowanie objętości pustek powstających po wybraniu złoża, możliwych do wykorzystania do lokowania odpadów. Zaproponowaną metodykę oparto na porównywaniu objętości niecki obniżeniowej z objętością wybranego złoża, przy uwzględnieniu strat złoża i w nawiązaniu do systemu eksploatacji. Proponowaną metodykę zilustrowano na przykładzie eksploatacji rud miedzi w LGOM. Podano kryteria wyboru zrobów możliwych do wykorzystania.

Abstract: This paper describes the latest monitoring methods of post-mining subsidence troughs which allow to accurately determine their capacities and increase in time (GPS-RTK, InSAR, laser scanning). It allows to estimate the capacities of cavities formed after exploitation of deposits, which could be potentially used as waste storage. The proposed methodology is based on the comparison of the capacity of a subsidence trough with the capacity of an exploited deposit taking into consideration the deposit losses and the exploitation system. The proposed methodology is illustrated on the example of copper ore exploitation in Głogowski Legnica Copper District (LGOM). This paper presents the criteria for selection of caves which could be possibly used for this purpose.

*) AGH w Krakowie

Key words:

niecki obniżeniowe, lokowanie odpadów w zrobach, monitoring terenu górniczego

Słowa kluczowe:

subsidence troughs, waste storage in caves, mining area monitoring

1. Wprowadzenie

Eksploatacja złóż surowców mineralnych metodą podziemną prowadzi do powstania pustek w górotworze, których wynikiem jest tworzenie się na powierzchni terenu nieck obniżeniowych nazywanych również nieckami osiadań.

Przez wiele lat obserwacje pogórnich obniżzeń terenu prowadzono poprzez zakładanie i cykliczny pomiar linii obserwacyjnych, realizujących monitoring powierzchni w przestrzeni 2D. Dopiero w ostatnich latach wykorzystuje się nowe techniki pomiarowe (pomiar GPS-RTK, interferometria radarowa InSAR, skanery lotnicze i naziemne). Pozwalają one wyznaczać niecki obniżeniowe w przestrzeni 3D i 4D. Stwarza to nowe i dokładniejsze możliwości wyznaczania objętości niecek i szacowania na tej drodze procesu wypełniania pustek poeksploatacyjnych w górotworze, a w szczególności oceny objętości pustek w zrobach.

Dokładna i wiarygodna informacja o rozmiarach pustek stwarza realne możliwości ich wykorzystania do składowania odpadów, a także magazynowania substancji lotnych i płynnych.

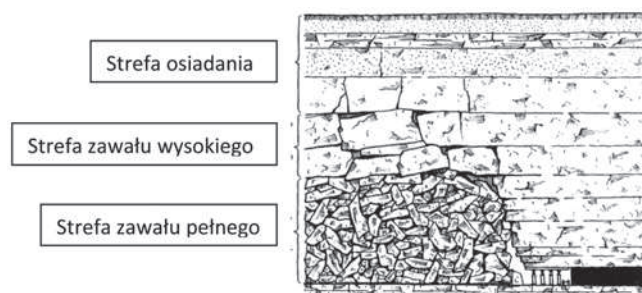
Dotychczasowe doświadczenia z wykorzystania pustek poeksploatacyjnych nie są zbyt obszerne i pochodzą głównie z górnictwa węglowego, gdzie ulokowano wiele milionów ton skały płonej, pyłów elektrowniowych i odpadów poflotacyjnych. Często napotymano barierę wskutek małej dokładności oszacowania rzeczywistych pustek i możliwości ich wypełniania.

Zdaniem autorów interesujących rezultatów wypełniania pustek można spodziewać się w funkcjonującym już blisko 45 lat Legnicko-Głogowskim Zagłębiu Miedziowym. Stąd rozważany w pracy problem przedstawiono na przykładzie tego rejonu górniczego.

2. Systemy eksploatacji a możliwości istnienia pustek w górotworze

Badania mechanizmu tworzenia się zawału i jego charakteru prowadzone są w górnictwie węglowym od wielu lat. Wymienić tu należy prace Znańskiego [12, 13], Lisowskiego

[4] i Ropskiego [8]. Podsumowanie tych prac zawiera praca Staronia [11]. Wszyscy autorzy w tworzeniu zawału wyróżniają 3 strefy (rys. 1), z których tylko dwie dolne mogą zawierać pustki międzybryłowe, możliwe do lokowania odpadów.



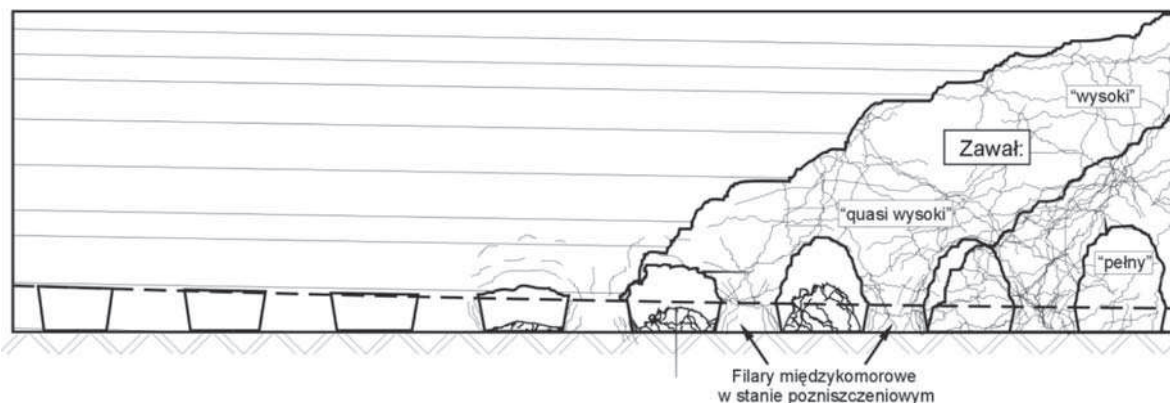
Rys. 1. Strefy zawału według Ropskiego
Fig. 1. Caving areas according to Ropski

Istotnym są stwierdzenia, że strefa pełnego zawału sięga przeciętnie 1-2 grubości wybieranego pokładu, a strefa zawału wysokiego wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Znaczący w tym udział mają własności skał stropowych.

W górnictwie miedziowym badania górotworu prowadzono głównie w aspekcie zagrożenia tapaniami [5]. Stwierdzono jednak, że skały węglanowe w strefie złoża klasy I (wskaźnik stateczności $L_1 < 15$) wykazują zdolność do doszczelniania zrobów i nie będą występowały pustki drożne.

W LGOM stosowane są prawie wyłącznie systemy eksploatacji komorowo-filarowe o różnych odmianach, głównie w zależności od miąższości złoża. W ostatnich latach systemy zawałowe zastępowane są systemami z ugięciem stropu, charakteryzujące się wyróżnieniem fazy rozcinki złoża na filary, a następnie fazy likwidacji (ugięcia stropu) prowadzącej do powstawania niewielkich filarów pracujących w stanie podkrytycznym (rys. 2).

System z ugięciem stropu prowadzi do powstania gruzowiska z potencjalnie większych brył i występowaniem pustek możliwych do wykorzystania.



Rys. 2. Schemat tworzenia się zawału w systemach filarowo-komorowych z ugięciem stropu
Fig. 2. Diagram of caving creation in the room and pillar systems with roof deflections

Podsumowując rozważania można przyjąć, że rejonami przydatnymi do lokowania odpadów będą pola eksploatacyjne w złożach o grubości powyżej 3 m, eksploatowane systemem 2-fazowym z ugięciem stropu nie później niż 10 lat wstecz. W złożach o grubości 2-3 m oraz eksploatowane dawniej niż 10 lat możliwości wykorzystania pustek należy oceniać sceptycznie [7].

3. Monitoring niecek obniżeniowych

3.1. Metody klasyczne

Pomiary geodezyjne realizowane w celu określania obniżen powierzchni na terenach górniczych obejmują głównie precyzyjne pomiary niwelacyjne, które wykonywane są głównie na zastabilizowanych trwale punktach linii obserwacyjnych lub punktach rozproszonych. Spełnienie opracowanych zasad [6], dotyczących lokalizacji i sposobu nawiązania linii pomiarowych nie zawsze bywa możliwe. Sposób przebiegu linii często determinuje zagospodarowanie terenu, a prawidłowe nawiązanie wysokościowe do punktów stałych (stabilnych) wymaga zazwyczaj prowadzenia długich ciągów niwelacyjnych. Tak zrealizowana sieć umożliwia pozyskiwanie informacji punktowych i z tego powodu często nie daje pełnego i dokładnego obrazu obniżen na całym obszarze objętym wpływami górniczymi. Generowanie map obniżen terenu, na których uwidocznione zostają niecki obniżeniowe, wymaga wtedy interpolacji lub ekstrapolacji punktowych wyników na całą powierzchnię oddziaływania eksploatacji. W praktyce, w przypadku poprowadzenia tylko jednej linii obserwacyjnej, ekstrapolacja obniżen jest bardzo utrudniona, a jeśli linia nie biegnie w osi lub nad centrum pola eksploatacji, może okazać się niewykonalna. Dodatkowym utrudnieniem jest nieregularny kształt pól eksploatacji, jak np. przy eksploatacji rud miedzi w LGOM, gdzie mogą wystąpić problemy nawet z oszacowaniem maksymalnej wartości obniżen. W aspekcie dokładności w punktach pomiarowych metody klasyczne należy zaliczyć jednak do najdokładniejszych. Zmiany wysokości punktów trwale stabilizowanych można określać w zakresie submilimetrowym.

3.2. Metoda GPS-RTK

Satelitarny pomiar GPS prowadzony w czasie rzeczywistym (RTK - Real-Time Kinematic) to jedna z nowoczesnych technologii pomiarów geodezyjnych. Charakteryzuje ją niemal natychmiastowe otrzymanie wyników, w postaci przestrzennych współrzędnych punktów obserwowanych, praktycznie bez konieczności wykonywania obliczeń w postprocessingu. Prowadzenie pomiaru GPS-RTK wymaga wykorzystania minimum dwóch odbiorników GPS. Jeden pracuje jako stacja referencyjna, która prowadząc pomiar w trybie ciągłym ustalonej dokładnie pozycji, wysyła informacje – poprawki – korygujące pozycję drugiego odbiornika – stacji ruchomej (ROVER), wyznaczającej współrzędne punktów obserwowanych. Obecnie rolę referencji można powierzyć nowoczesnej sieci stacji referencyjnych ASG-EUPOS, które są rozmieszczone równomiernie na terenie całej Polski i pracują w trybie ciągłym.

Do określenia przestrzennej pozycji anteny odbiornika niezbędny jest sygnał z co najmniej 4 satelitów. Niewystarczająca liczba dostępnych (widocznych) satelitów uniemożliwia wykonanie pomiaru, podobnie jak brak łączności między odbiornikami: referencyjnym i ruchomym. Przyczyną tego typu zakłóceń są głównie niekorzystne warunki terenowe, związane z przesłonięciem linii horyzontu.

Pomiar metodą GPS-RTK jest obciążony relatywnie niewielkim błędem wyznaczenia pozycji (w zakresie pojedynczych centymetrów, zarówno sytuacyjnie: $\pm 2-5$ cm, jak i wysokościowo: $\pm 3-6$ cm).

Metodą tą można realizować pomiary zarówno na liniach obserwacyjnych [9] (jak w opisanym wcześniej przypadku pomiarów klasycznych) lub w sieci stabilizowanych bądź niestabilizowanych punktów rozproszonych [2]. W przypadku pomiarów opartych na punktach rozproszonych możliwe jest opracowanie Numerycznych Modeli Terenu (NMT).

Różnicowe opracowanie dwóch NMT tego samego terenu, wygenerowanych z pomiarów wykonanych w określonym przedziale czasu umożliwia pozyskiwanie informacji o zmianach wysokościowych powierzchni terenu, tym samym o utworzeniu się w tym czasie przestrzennych niecek obniżeniowych.

3.3. Interferometria Satelitarna InSAR

Wykorzystanie metody Satelitarnej Interferometrii Radarowej InSAR w badaniu zmian powierzchni terenu pod wpływem prowadzonej eksploatacji górniczej pozwala na pozyskiwanie informacji o charakterze przestrzennym bez konieczności prowadzenia jakichkolwiek prac w rejonach występowania deformacji [10]. Odpowiedniej jakości obraz interferogramu, który powstaje ze złożenia dwóch zdjęć radarowych tego samego obszaru, wykonanych przez satelity w określonym przedziale czasu, umożliwia interpretację powierzchniowego rozkładu niecek obniżeniowych [3]. Okresowe niecki obniżeniowe uzyskuje się w układzie współrzędnych cyfrowej mapy terenu i mapy górniczej. Rezultat ten zapewnia wyznaczenie granic aktualnego zasięgu oddziaływania eksploatacji górniczej. Cyfrowa digitalizacja widocznych na interferogramie barwnych prążków prowadzi do uzyskania warstwicowej mapy przyrostów obniżen. Wykorzystując dostępne techniki komputerowe, w postaci programów graficznych 3D, można modelować przestrzenne obrazy niecek obniżeniowych, które wystąpiły w okresie pomiędzy wykonaniem wspomnianych dwóch zdjęć radarowych. Dokładność danych wysokościowych, uzyskanych z metody InSAR jest relatywnie wysoka i szacunkowo wynosi (w warunkach Polski) od ± 5 mm do ± 8 mm [10].

3.4. Skanowanie laserowe lotnicze

Metoda skaningu laserowego jest obecnie jedną z najszybciej rozwijających się metod pomiarów. Technikę pomiaru laserowego można sprowadzić do zasady laserowego pomiaru odległości z pokładu lecącego samolotu do powierzchni terenu. Lotniczy skaningu laserowy wykorzystuje dalmierz laserowy, który działa przede wszystkim w zakresie podczerwieni. Stosuje on impulsową metodę pomiaru, co pozwala mu próbować z częstością od kilku do kilkudziesięciu punktów na sekundę. Za pomocą zwierciadła (obrotowego lub wahadłowego) lub światłowodu dalmierz kieruje promienie światła na teren w płaszczyźnie poprzecznej do kierunku lotu. W tym samym czasie współpracuje z nim GPS, dzięki któremu można określić położenie samolotu w momencie wysłania impulsu, a także iteracyjny system nawigacyjny INS, który pozwala na określenie aktualnego nachylenia kątownego platformy, na której zamontowana jest optyczna głowica skanująca. Dzięki połączeniu tych trzech systemów pomiarowych otrzymuje się informacje o położeniu, z którego dokonano pomiaru odległości, odległość oraz jej kierunek w przestrzeni. Takie działanie pozwala na wyznaczenie przestrzennego położenia punktu (współrzędnych x, y, z), od którego odbił się promień lasera [1]. Ogromną zaletą pomiaru laserowego jest duża

liczba danych o relatywnie wysokiej dokładności. Pomiar jest możliwy niezależnie od warunków oświetleniowych oraz atmosferycznych. Kolejną zaletą jest możliwość rejestrowania kilku odbić pojedynczego impulsu laserowego, co pozwala na wyznaczenie pośrednich wysokości. Pierwsze odbicie wskazuje na obiekty, które znajdują się ponad powierzchnią terenu (drzewa, budynki, itd.), ostatnie obrazuje rzeczywistą powierzchnię terenu. Dokładność wygenerowania NMT metodą skaningu laserowego przy uwzględnieniu gęstości punktów oraz skuteczności usuwania danych znajdujących się ponad powierzchnią terenu wynosi (błąd średni) $m_p = \pm 0,15 \div 0,25$ m. Podobnie jak w przypadku pomiarów GPS-RTK wyznaczenie niecek obniżeniowych polega na różnicowym opracowaniu dwóch NMT tego samego terenu.

4. Metoda szacowania objętości pustek w wybranym złożu przez porównanie objętości niecki i wybranego złoża

4.1. Założenia metody

Oszacowanie rzeczywistej pojemności pustek poeksploatacyjnych jest trudne z uwagi na brak możliwości bezpośredniej obserwacji przestrzeni objętej zawalem. Nie jest możliwe zatem wykonywanie jakichkolwiek pomiarów umożliwiających analityczne wyznaczenie objętości pozostałej po zawale pustki. W tej sytuacji przyjęto, że możliwe jest jedynie oszacowanie wielkości pustki pozostałej po zawale poprzez analizę skutku jaki zawal wywołał na powierzchni terenu. Dla weryfikacji proponowanej metody należało zatem wytypować rejon, w którym możliwe jest wyizolowanie całkowitej niecki obniżeniowej, odpowiadającej eksploatacji dokonanej w danym rejonie, spełniającej kryteria doboru pól eksploatacyjnych przydatnych do lokowania odpadów (rozdz. 2). Z punktu widzenia rzetelności wykonywanej analizy należało zidentyfikować niecki nad rejonami o różnej miąższości wybieranego złoża.

Po szczegółowej analizie aktualnego stanu deformacji dla terenów górniczych LGOM oraz dokonanej eksploatacji złoża rud miedzi wytypowano jeden rejon dający możliwość wykonania weryfikacji według proponowanej metody, prowadzącej do oszacowania najbardziej prawdopodobnej pojemności pustek w zrobach poeksploatacyjnych w nawiązaniu do wywołanych przez eksploatację złoża obniżen terenu.

4.1.1. Lokalizacja rejonu wybranego do analizy

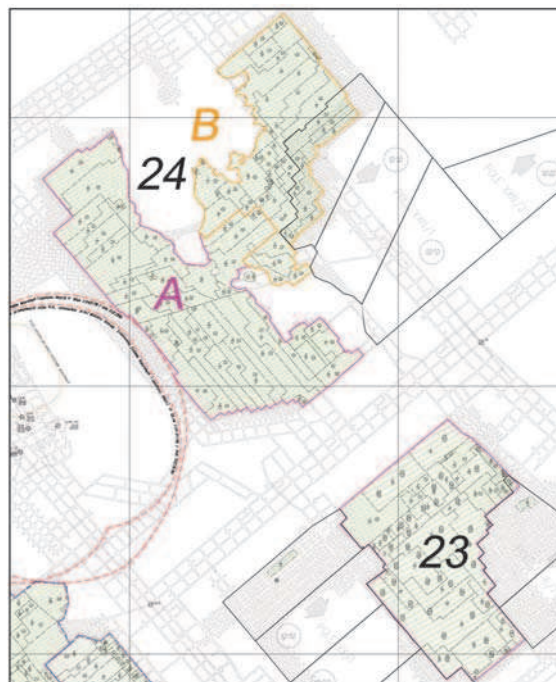
W wybranym do analizy rejonie (rys. 3) znajdują się dwa pola: 23 i 24. Pierwsze eksploatowane jest od roku 2004 i nadal przy wysokości furty od 3,2 m do 9,6 m, natomiast drugie wybierano od 2000 r. do 2008 r. przy wysokości furty od 2,0 m do 5,8 m.

W analizowanym rejonie stosowano w zasadzie dwa systemy eksploatacji: system z ugięciem stropu jednowarstwowy dla złoża do 7 m miąższości (pola G-24/3, G-24/4) oraz system z częściową podsadzką suchą dla złoża powyżej 7 m miąższości (fragmenty pola G-6/7).

Pola eksploatacyjne w większości spełniają ogólne kryteria doboru pól do lokowania odpadów z wyjątkiem północnej części pola XXIII/1, gdzie lokalnie miąższość złoża spada do poziomu 2 – 3 m.

4.1.2. Obliczenie objętości pustki po wybraniu złoża

Dokonana eksploatacja w wybranym rejonie została podzielona na trzy pola oznaczone numerami 23, 24A i 24B (rys. 3). Zróżnicowanie obejmuje przede wszystkim wysokość furty eksploatacyjnej oraz system eksploatacji. Na podstawie



Rys. 3. Rejon wybrany do analizy pojemności pustek w zrobach poeksploatacyjnych

Fig. 3. Region selected for the analysis of cavity capacities in post-exploitation caves

mapy eksploatacji obliczono powierzchnię rzutu poziomego wydzielonych parcel eksploatacyjnych. Następnie dla każdego pola wyznaczono średnią wysokość furty eksploatacyjnej. To pozwoliło na obliczenie nominalnej wartości objętości pustki poeksploatacyjnej, to znaczy takiej, która powstałaby po wyeksploatowaniu całej przestrzeni pola eksploatacyjnego. Ze względu na stosowanie systemu filarowo-komorowego do eksploatacji złoża rud miedzi, powstała nie osiąga nominalnej objętości ze względu na pozostawienie w wyrobisku tzw. filarów resztkowych, zapewniających częściowe podparcie stropu. Należy zatem uwzględnić pewną stratę objętości związaną z objętością filarów resztkowych. Zależy ona przede wszystkim od wysokości wyrobiska. Filary resztkowe mają zwykle kształt stożka. Im większa wysokość wyrobiska tym większe filary resztkowe i większa ich objętość. Współczynnik straty, czyli niewybranego złoża (w tabeli 4.1 określony jako Strata 1), według danych dotyczących wykorzystania złoża udostępnionych w O/ZG „Rudna” może przyjmować następujące wartości szacunkowe:

- 10 – 11%, dla złoża o miąższości do 3 m,
- 14 – 15 %, dla złoża o miąższości 3 – 7 m,
- 22 – 23 %, dla złoża o miąższości powyżej 7 m.

Objętość pustki poeksploatacyjnej dla wszystkich trzech pól została oszacowana po uwzględnieniu wartości straty objętości na rzecz pozostawionych filarów resztkowych (tab.1) Sumaryczna wartość pustki stanowiła bazę do porównania z niecką powierzchniową zarejestrowaną nad analizowanymi polami eksploatacji.

4.1.3. Wyznaczenie objętości niecki pogórnicy

W warunkach kopalń LGOM występuje wielkopowierzchniowa niecka wywołana odwodnieniem wodonośnych warstw górotworu przez roboty górnicze [5]. Z tego względu konieczne było uzyskanie danych o stanie wielkopowierzchniowej niecki obniżeniowej w analizowanym rejonie, a następnie

Tabela 1. Objętości pustek poeksploatacyjnych dla pól przyjętych do analizy
Table 1. Capacity of post-exploitation caves for the fields selected for the analysis

Nr pola	g_{sr}	P, m ²	V _n , m ³	Strata I %	Strata objętości m ³	Objętość pustki V1
23	6.2	373 242	2 314 100	15%	347 115	1 966 985
24A	3.4	481 075	1 635 655	14%	228 992	1 406 663
24B	2.3	245 790	565 317	11%	62 185	503 132
Razem		1 100 107	4 515 072		638 292	3 876 781

usunięcie tego wpływu z aktualnego stanu deformacji powierzchni terenu według wzoru

$$W_{g\ddot{o}rn} = W^{calc} - W^{odw}$$

W celu wyznaczenia objętości niecki pogórnicznej, wywołanej dokonaną eksploatacją górnictwem w obszarze porównawczym (testowym), wykonano następujące czynności:

- opracowano numeryczny model całkowitej niecki obniżeniowej dla analizowanego obszaru,
- wykonano numeryczny model wielkopowierzchniowej niecki obniżeniowej odpowiadającej okresowi oddziaływania eksploatacji górnictwem w analizowanym obszarze [7],
- przeprowadzono operację odjęcia numerycznego modelu obniżen odwodnieniowych od numerycznego modelu obniżen całkowitych, otrzymując w wyniku model przestrzenny obniżen górnictwem.

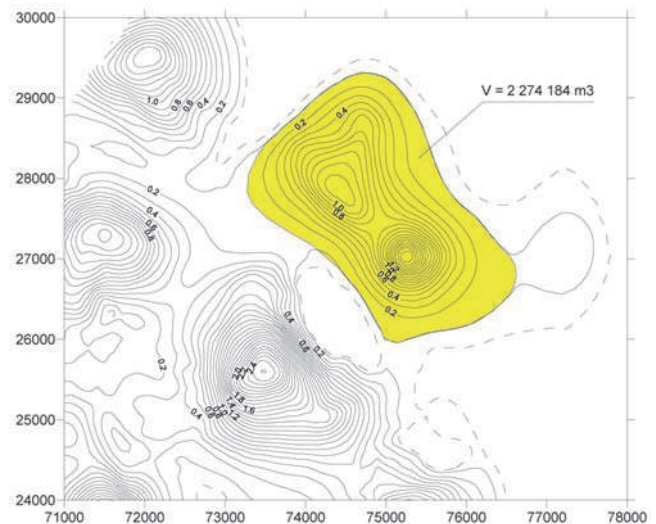
Obliczenia objętości niecki powierzchniowej, zawierającej jedynie wpływ eksploatacji górnictwem, dokonano na modelu numerycznym przy wykorzystaniu modułu Volume programu Golden Software Surfer v.8. Obliczoną objętość prezentuje tabela 2 i rysunek 4.

4.2. Ustalenie współczynnika redukcji pustek poeksploatacyjnych

Otrzymane w wyniku obliczeń objętości pustki oraz niecki powierzchniowej w obszarze testowym porównano ze sobą, obliczając współczynnik redukcji pustki podziemnej. Współczynnik ten uwzględnia wszystkie elementy składające się na proces deformacji zachodzący w skałach stropowych, górotworze i na powierzchni terenu, a zatem:

- konwergencję (zaciskanie) pustki poeksploatacyjnej,
- wytwarzanie się w wyrobisku gruzowiska skalnego (zawału),
- rozluźnianie skał nadkładu,
- ugięcie skał nadległych oraz powierzchni terenu i wytworzenie niecki obniżeniowej.

Współczynnik redukcji pustki poeksploatacyjnej wynikający z obliczeń dla analizowanego obszaru wynosi w zależności od metody obliczeniowej **0,55** lub **0,59**. Oznacza to, że



Rys. 4. Niecka obniżeniowa (górnictwem) nad polami eksploatacji wybranymi do analizy

Fig. 4. Subsidence (mining) trough over exploitation fields selected for the analysis

około 60% objętości pustki poeksploatacyjnej ujawniło się na powierzchni terenu w postaci niecki obniżeniowej. Można zatem stwierdzić, że nieco ponad 40% objętości pierwotnej pustki poeksploatacyjnej pozostaje jeszcze niezaciśnięte w postaci porowatego gruzowiska zawałowego i hipotetycznie jest możliwe np. do lokowania odpadów.

4.3. Oszacowanie stopnia wypełnienia zrobów z obniżen maksymalnych

Do wyznaczenia współczynnika redukcji pustek poeksploatacyjnych można również wykorzystać wartości maksymalnych obniżen terenu w centrum niecek obniżeniowych. Jak wykazano na podstawie obserwacji wykonanych nad polem testowym, porównanie obniżenia maksymalnego W_{max} z miąższością złoża g_{sr} pozwala uzyskać współczynnik

Tabela 2. Porównanie pierwotnej objętości zrobów do objętości niecki obniżeniowej i wyznaczenie współczynnika redukcji pustki w obszarze testowym

Table 2. Comparison of the original capacity of caves with the capacity of subsidence trough and determination of reduction co-efficient of the cavity in the test-field

Przyp.	Powierzchnia pól ekspl. m ²	g_{sr} m	Objętość nominalna pustki (P· g_{sr}) m ³	Strata I (filary resztkowe) m ³	Obj. rzecz. pustki m ³	Objętość niecki obniżeniowej m ³	Stopień redukcji pustki V_{niecki} / V_{pustki}	Pozostała objętość pustki w zrobach
1	1 100 107	4.0	4 515 072	638 292	3 876 781	2 274 184	0.59	0.41
2	1 100 107	4.0	4 515 072	407 062	4 108 010	2 274 184	0.55	0.45

redukcji pustek poeksploatacyjnych za mały w stosunku do wyznaczonych z niecek obniżeniowych i należy go powiększyć o około 50%. Dokładność takiego szacowania należy uznać za niewielką.

5. Próba wykorzystania metody w wybranym rejonie LGOM

Na podstawie wykonanych i opisanych w poprzednich rozdziałach analiz sformułowano ostateczne kryteria wyboru rejonów i pól eksploatacyjnych, które mogą być wykorzystane w LGOM do zorganizowanego lokowania odpadów poflotacyjnych w zrobach poeksploatacyjnych. Kryteria te przedstawiają się następująco:

1. Okres eksploatacji do 5 lat wstecz.
2. Pola eksploataowane systemem z ugięciem stropu, ewentualnie rejon o grubym złożu eksploataowane z podsadzką częściową (lokowaniem kamienia).
3. Wysokość wyrobiska eksploatacyjnego nie mniejsza niż 3,0 m.
4. Pola o objętości (V2) poniżej 100 000 m³ uznano za ekonomicznie nieprzystdatne.

Dla ilustracji proponowanej metody, w oparciu o powyższe kryteria, dokonano wyboru pól eksploatacyjnych z obszaru największej kopalni w LGOM, a mianowicie z O/ZG „Rudna”. W tabeli 3 zestawiono następujące informacje o wybranych polach:

- objętość nominalną pustki poeksploatacyjnej,
- objętość rzeczywistą pustki poeksploatacyjnej ze względu na pozostawione filary resztkowe (V1),
- objętość zredukowaną ze względu na postępujący proces deformacji górotworu (V2),
- objętość pustki pozostała w gruzowisku zawałowym (tylko dla pól spełniających kryteria wyboru).

Do oszacowania końcowej pojemności zrobów górniczych wytypowanych pól przyjęto następujące współczynniki określające zmniejszenie objętości nominalnej pustki:

1. Współczynnik **strata 1**, związany z ograniczeniem objętości przez pozostawione w wyrobisku filary resztkowe, który wynosi od 10% do 23% w zależności od miąższości złoża (patrz rozdz. 4.1.2).
2. Współczynnik **strata 2**, wprowadzający poprawkę na proces poeksploatacyjnego zaciskania się wyrobiska i przemieszczenia pionowe górotworu oraz powierzchni terenu; przyjęto równy 0,4 w oparciu o wynik analizy w rozdziale 4.
3. Wprowadzono również współczynnik **strata 3**, pozwalający na oszacowanie praktycznej pojemności zrobów w odniesieniu do lokowania płynnych odpadów poflotacyjnych. Przyjęto go w wysokości od 0,5 do 0,7, uzależniając od miąższości eksploataowanego złoża. Oparto się tu na doświadczeniach i eksperymentach z górnictwa węgla kamiennego.

Jak pokazuje tabela 3 łączna pojemność zrobów pogórnicznych hipotetycznie możliwych do wykorzystania na obszarze górniczym „Rudna I” wynosi szacunkowo około 3,9 mln m³.

Przyjmując, co znajduje pewne uzasadnienie, że możliwe jest wykorzystanie zrobów po eksploatacji w ostatnich 10 latach, pojemność zrobów wzrasta blisko 2-krotnie.

6. Podsumowanie i wnioski

W rozważaniach nad możliwościami wykorzystania pustek pozostałych w złożu i jego otoczeniu podstawową informacją jest znajomość ich objętości, przy czym interesują nas najbardziej pustki, w których możliwe będzie lokowanie odpadów np. z flotacji rudy. Autorzy uznali, że informacje te można uzyskać wykorzystując monitoring obniżeń powierzchni terenu nad polami eksploatacji.

Jak wykazano w pracy, możliwe jest wykorzystanie nie tylko klasycznych metod geodezyjnych, ale również nowych technik pozyskiwania informacji o zmianach terenu.

Tabela 3. Dane dla pól eksploatacyjnych sprzyjających lokowaniu odpadów w O.G. „Rudna I”

Table 3. Data on exploitation fields fostering waste storage in O.G. “Rudna I”

O/ZG „RUDNA”							
nr pola	Objętość m ³	Strata 1 filary resztkowe	V1 m ³	Strata 2 niecka	V2 m ³	Strata 3 chłonność zawału	Pojemność zrobów
12B-C-E	787 604	0.15	669 463	0.4	401 678	0.5	200 839
12D	381 159	0.14	327 797	0.4	196 678	0.7	137 675
13A-B-C-D	530 639	0.22	413 899	0.4	248 339	0.5	124 170
13E-F	340 152	0.23	261 917	0.4	157 150	0.5	78 575
14	80 010	0.15	68 009	0.4	40 805	0.5	20 403
16A	591 463	0.15	502 743	0.4	301 646	0.6	180 988
17	201 584	0.22	157 236	0.4	94 341	0.5	47 171
18A-B	424 244	0.14	364 850	0.4	218 910	0.6	131 346
19A	1 881 575	0.14	1 618 154	0.4	970 892	0.7	679 625
20A	268 032	0.14	230 507	0.4	138 304	0.6	82 983
20B	240 797	0.22	187 821	0.4	112 693	0.5	56 346
20C	909 956	0.14	782 562	0.4	469 537	0.7	328 676
20F	2 333 416	0.22	1 866 733	0.4	1 120 040	0.5	560 020
22A-B-C-E	1 142 674	0.14	982 700	0.4	589 620	0.7	412 734
23	2 314 100	0.15	1 966 985	0.4	1 180 191	0.5	590 096
24	872 804	0.14	750 611	0.4	450 367	0.7	315 257
25	1 466 750	0.14	1 261 405	0.4	756 843	0.7	529 790
SUMA	13 300 207		11 151 986		6 691 192		3 946 901

Przykład z obszaru kopalń LGOM wykazał, że możliwe jest oszacowanie sumarycznej objętości pustek możliwych do wykorzystania przy lokowaniu odpadów poflotacyjnych.

Literatura

1. *Kurczyński Z.*: Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi. t 2, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2006.
2. *Hejmanowski R., Sopata P., Stoch T., Wójcik A.*: Aktualizacja rzeźby terenu górniczego oparta na pomiarach GPS-RTK. „Przeгляд Górnicy” 2012, nr 8.
3. *Krawczyk A., Sopata P., Stoch T.*: Ocena możliwości wykorzystania InSAR do monitoringu deformacji wywołanych eksploatacją ściany 335 pokładu 209 kopalni ZG „Sobieski”. „Przeгляд Górnicy” 2012, nr 8.
4. *Lisowski A.*: Kierunek eksploatacji ścian zawałowych. Prace GIG, Komunikat nr 2001, Katowice 1959.
5. Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Lublin 2007.
6. *Popiołek E.*: Ochrona Terenów Górniczych. Wydawnictwa AGH. Kraków 2009.
7. *Popiołek E., Mazurkiewicz M.*: Ocena pojemności starych zrobów zawałowych, w tym osadników, klarowników i innych zbiorników podziemnych. Opracowanie Stowarzyszenia Naukowego im. Stanisława Staszica w Krakowie. Kraków 2011.
8. *Ropski S.*: Stan pełnego i wysokiego zawału oraz strefy osiadania stropu za ścianą na podstawie pomiarów w KWK „Wesoła” („Lenin”) w pokładzie 329. Prace Komisji Nauk Technicznych PAN, z.3, 1966.
9. *Sopata P.*: Wykorzystanie metody GPS-RTK do pomiarów przemieszczeń powierzchni terenów górniczych. „Przeгляд Górnicy” 2012, nr 7.
10. *Sopata P.*: Wykorzystanie Satelitarnej Interferometrii Radarowej InSAR w badaniach i prognozowaniu pogórnich zmian powierzchni terenu. Wydawnictwa AGH, s. Rozprawy doktorskie, Monografie. Kraków 2013.
11. *Staroń T.*: Eksploatacja pokładów węgla z zawałem stropu w sąsiedztwie pól pożarowych. Wydawnictwo Śląsk. Katowice 1979.
12. *Znański J.*: Przemieszczanie górotworu w otoczeniu przodka ścianowego. „Przeгляд Górnicy” 1958, nr 11.
13. *Znański J.*: Podziemna Eksploatacja złóż. Wydawnictwo Śląsk. Katowice 1964.