

Marian Poniewiera¹
Krzysztof Sokalla²
Magdalena Wróbel³
Lucyna Juzek⁴

Projektowanie filara ochronnego szybu na podstawie modelu złoża

Designing of the shaft safety pillar based on numerical mineral deposit model

Streszczenie: W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania Numerycznego Modelu Złoża do projektowania filara ochronnego dla szybu wentylacyjnego w przykładowym pokładzie węgla na podstawie danych z otworów.

Summary: The paper presents the possibility of use Numerical Deposit Model to design of the safety pillar for the ventilation shaft in an exemplary coal seam, based on the data from the boreholes.

Słowa kluczowe: filar ochronny, Numeryczny Model Złoża, powierzchnie TIN

Keywords: safety pillar, Numerical Mineral Deposit Model, TIN surfaces

1. Wstęp

W wielu zakładach górniczych dokumentacja geologiczno-miernicza, w tym mapy górnicze, sporządzana jest w formie numerycznej. Ciągłe udoskonalanie technologii informatycznych w dziedzinie projektowania inżynierskiego daje coraz to nowe możliwości wykorzystania tych map w procesach planowania eksploatacji oraz przewidywania jej negatywnych skutków.

Numeryczny Model Złoża (NMZ), zawierający informacje o jego przestrzennym usytuowaniu oraz właściwościach, może stanowić bazę do projektowania eksploatacji. Tworzą go powierzchnie TIN obrazujące poszczególne parametry złoża, takie jak: spąg pokładu, jego

¹ Marian Poniewiera, Politechnika Śląska, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 2a, tel. (032) 237 29 90, Marian.Poniewiera@polsl.pl

² Krzysztof Sokalla, Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. - KWK "Krupiński", 43-267 Suszec, ul. Piaskowa 35, tel. (032) 756 63 45, ksokalla@krupinski.jsw.pl

³ Magdalena Wróbel, Geo-Lisp Aleksandra Poniewiera, 44-213 Książenice, ul. Smółki 32a, m.wrobel@geolisp.pl

⁴ Lucyna Juzek, KWK Borynia-Zofiówka-Jastrzębie, 44-335 Jastrzębie-Zdrój, ul. Rybnicka 6, tel. (032) 756 3448 ljuzek@jasmos.jsw.pl

miąższość, zapozielenie, zasiarczenie itp. Pod pojęciem powierzchni TIN (Triangulated Irregular Network) należy rozumieć powierzchnię zbudowaną z nieregularnej siatki trójkątów. Współrzędne Z punktów odpowiadają wielkości modelowanego parametru. Wśród zalet NMZ można wymienić: łatwość aktualizacji i edycji danych, możliwość tworzenia różnorodnych raportów, wykresów, przekrojów, wykonania różnych wariantów rozwiązań dla opracowywanego zagadnienia. [1], [2]

W niniejszym artykule autorzy starali się przybliżyć możliwość wykorzystania Numerycznego Modelu Złoża do wyznaczania granic filara ochronnego dla projektowanego szybu wentylacyjnego. Numeryczny Model Złoża został utworzony na podstawie dokumentacji geologicznej. Do jego utworzenia wykorzystano program AutoCAD Civil 3D wraz z nakładką Geolisp autorstwa Mariana Poniewiery.

2. Stan prawny

Filary ochronne w obszarach górniczych kopalń węgla kamiennego wyznacza się m.in. dla wyrobisk pionowych tj. szybów jako obiektów podstawowych, niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania zakładu górniczego. W wyznaczonych granicach wydobyć kopaliny może być zabronione lub dozwolone po spełnieniu określonych warunków.

Zgodnie z obowiązującym stanem prawnym wskazanie przebiegu granicy filara ochronnego dla obiektów powierzchniowych i podziemnych wymagane jest podczas sporządzania projektu zagospodarowania złoża, a także, w określonych przypadkach, podczas sporządzania miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego.

Projekt zagospodarowania złoża należy sporządzić w formie opisowej, graficznej i tabelarycznej. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów zagospodarowania złóż, w części opisowej projektu należy umieścić informacje o projektowanych granicach filarów ochronnych wraz z uzasadnieniem ich przebiegu oraz wskazaniem chronionych obiektów. Należy także określić warunki, po spełnieniu których złoże może być ewentualnie eksploatowane w granicach ustanowionego filara ochronnego. Granice projektowanych filarów ochronnych należy wnieść także w części graficznej projektu. [5]

Artykuł 104 ustawy Prawo geologiczne i górnicze nakłada na gminy obowiązek uwzględnienia obszarów i terenów górniczych w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy oraz w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego. Plan ten może w szczególności określać „obiekty lub obszary, dla których

wyznacza się filar ochronny, w granicach którego ruch zakładu górniczego może być zabroniony bądź może być dozwolony tylko w sposób zapewniający należytą ochronę tych obiektów lub obszarów”. [6]

Obowiązek wyznaczenia filarów ochronnych oraz nadzór nad tym, aby eksploatacja nie przekraczała ustalonych granic jest zadaniem służby mierniczej zakładu górniczego, wykonywanym w zakresie obsługi mierniczej (Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych). [4]

Zasady wyznaczania filarów ochronnych w podziemnym górnictwie węgla kamiennego zostały określone w instrukcji wydanej przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach pt.: „Wyznaczanie filarów ochronnych dla obiektów na powierzchni, szymbów i szymbików w granicach obszarów górniczych kopalń węgla kamiennego”. [3]

3. Założenia przyjęte w projekcie

Przy wyznaczeniu filara ochronnego dla projektowanego szymbu przyjęto następujące założenia:

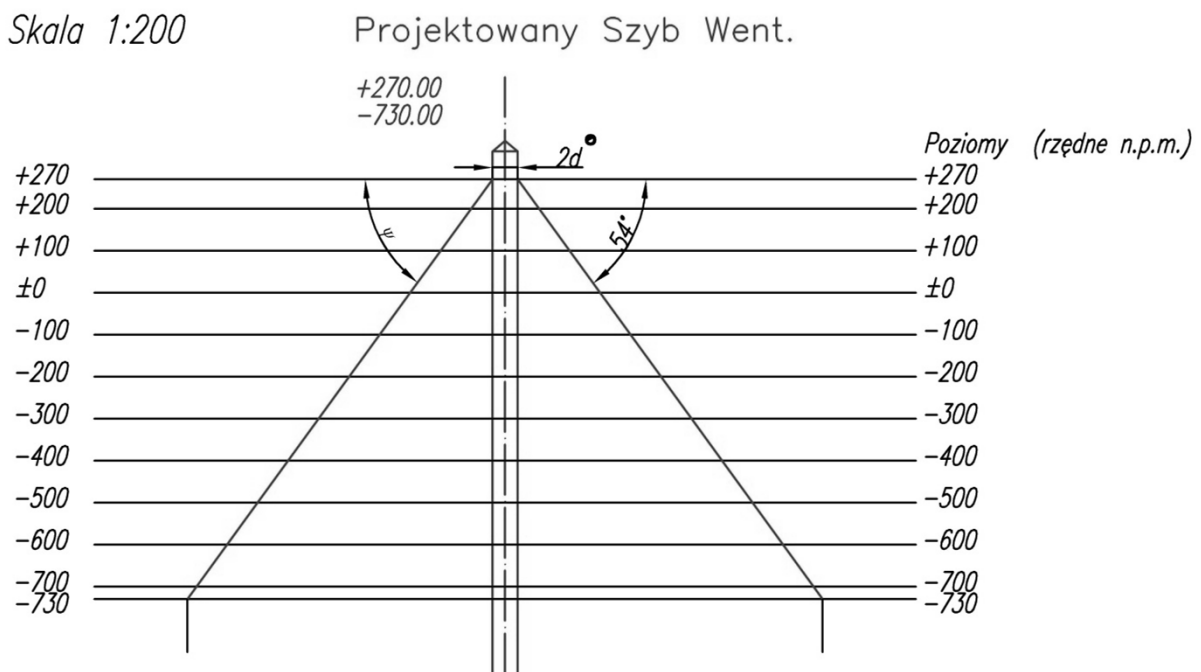
- brak pełnego rozpoznania złoża,
- typowe warunki propagacji wpływów ($\text{tg}\beta = 2,0$),
- odporność obiektów określona jest kategorią odporności,
- pokład nachylony do 10° ($\alpha < 10^\circ$).

W takim przypadku instrukcja [3] zakłada stożkowy kształt filara i zaleca wyznaczenie powierzchni ograniczających filar ochronny pod kątami Ψ zasięgu dopuszczalnych wpływów eksploatacji od zrębu szymbu. Wartość kąta Ψ uzależniona jest od kategorii odporności szymbu, która z kolei zależy od: przeznaczenia szymbu, warunków hydrologicznych w rejonie szymbu, dopuszczalnych ściskających odkształceń pionowych górotworu $\varepsilon_{z \text{ dop}}$ oraz dopuszczalnych uszkodzeń. Przyjęto założenie, że w rejonie, w którym ma znajdować się szymb wentylacyjny panują korzystne warunki hydrogeologiczne, dopuszczalne uszkodzenia szymbu mogą mieć postać zarysowania muru lub jego powierzchniowego złuszczenia. Natomiast wartości dopuszczalnych ściskających odkształceń pionowych górotworu $\varepsilon_{z \text{ dop}}$ wynoszą: dla obudowy z cegły 2,0 mm/m, dla obudowy z betonu 1,0 mm/m. Projektowany szymb ma kategorię

odporności $1s^5$, dla której wartość kąta zasięgu dopuszczalnych wpływów wynosi $\Psi = 54^\circ$.⁶ Przyjęto, że wielkość promienia strefy ochronnej „d” wokół projektowanego szybu wynosi 30 m a wartość wykładnika n 0,5.

4. Wyznaczenie promieni filara

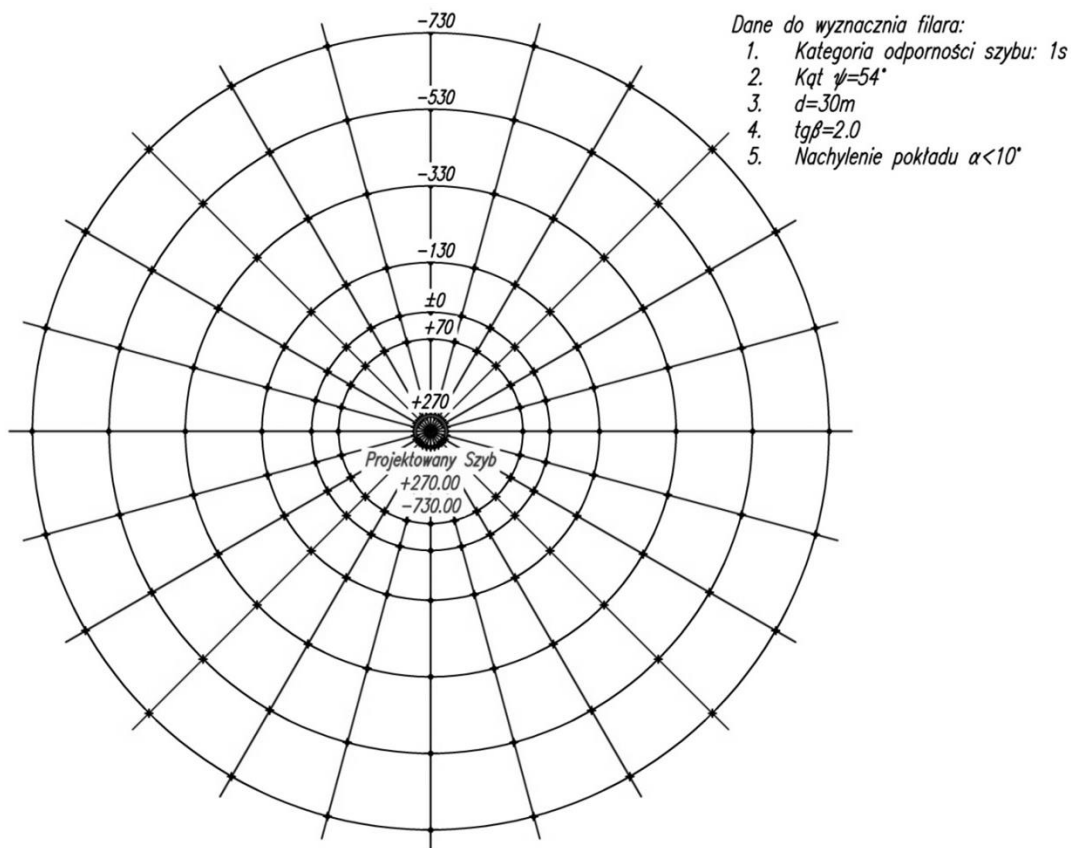
Kształt filara określono metodami graficznymi. Sporządzono przekrój pionowy zawierający projektowaną oś szybu. Zasięg wpływów eksploatacji wyznaczono na podstawie kąta Ψ z uwzględnieniem promienia strefy ochronnej „d”. Przekrój pionowy projektowanego filara szybu wentylacyjnego, sporządzony w skali 1 : 200, przedstawia rysunek 1. Na rysunku 2 pokazano rzut poziomy projektowanych warstw filara szybu na poszczególnych poziomach.



Rys. 1 Przekrój pionowy projektowanego filara szybu

⁵ Wartość odczytana z tablicy 3 instrukcji [3].

⁶ Wartość odczytana z tablicy 4 instrukcji [3].



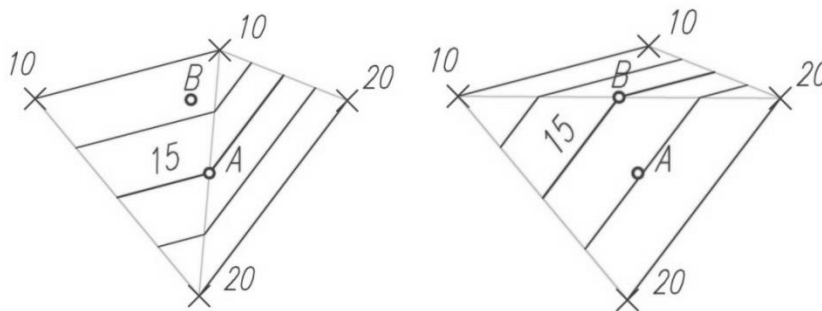
Rys. 2 Rzut poziomy projektowanych warstw filara szybu

5. Tworzenie Numerycznego Modelu Złoża w programach AutoCAD Civil 3D i Geolisp

Numeryczny model złoża jest tu rozumiany jako szereg powierzchni trójkątów (Triangulated Irregular Network). Powierzchnie TIN tworzone są na podstawie obiektów mapy numerycznej, takich jak: koty wysokościowe, punkty osnowy, otwory geologiczne, warstwy itp. Można do nich również dołączyć dane pobrane z plików tekstowych czy chmury punktów otrzymanej ze skaningu laserowego. Należy w nich uwzględnić linie nieciągłości, które wymuszają triangulację wzdłuż swojego biegu. W przypadku powierzchni są to ważniejsze uskoki i osie fałdu. W systemie Geolisp istnieją narzędzia umożliwiające wprowadzenie uskoku do NMZ, obliczenie ich rzutu czy utworzenie powierzchni TIN odwzorowującą dany uskok. [2]

Linie budujące trójkąty w powierzchni TIN powstają poprzez automatyczne połączenie punktów leżących blisko siebie, co może być przyczyną błędów w tworzonym modelu. Istniejące powierzchnie TIN powinno się ręcznie edytować, np. poprzez: zmianę przebiegu krawędzi trójkątów, dodanie, usunięcie czy zmianę położenia punktów, wygładzenie i uproszczenie powierzchni. Do definicji powierzchni można dodać także obwiednie

w postaci zamkniętych wieloboków, które wpływają na sposób wyświetlania trójkątów. Na rysunku 3 pokazano wpływ zmiany krawędzi trójkątów na przebieg warstwic.



Rys. 3 Wpływ budowy trójkątów na interpolację warstwic

Każdą powierzchnię TIN można przedstawić w postaci mapy warstwicowej o dowolnej wielkości skoku, mapy hipsometrycznej, siatki trójkątów itd. AutoCAD Civil 3D daje wiele możliwości doboru sposobu wyświetlania każdego elementu powierzchni, tworzenia własnych stylów opisów, tabel itp.

Mając utworzone dwie powierzchnie TIN można obliczyć objętość między nimi. Powierzchnie objętościowe TIN mogą być wykorzystane, np. do obliczania zasobów węgla kamiennego, wyznaczenia średniej wartości parametrów jakościowych, umożliwiając wyznaczenie miejsca przecięcia się dwóch powierzchni.

6. Wykorzystanie Numerycznego Modelu Złoża do wyznaczania granicy filara ochronnego w dowolnym pokładzie

Do określenia przebiegu granicy filara ochronnego niezbędne jest utworzenie dwóch powierzchni TIN. Jedna obrazuje spąg analizowanego pokładu, druga – stożkowy kształt filara.

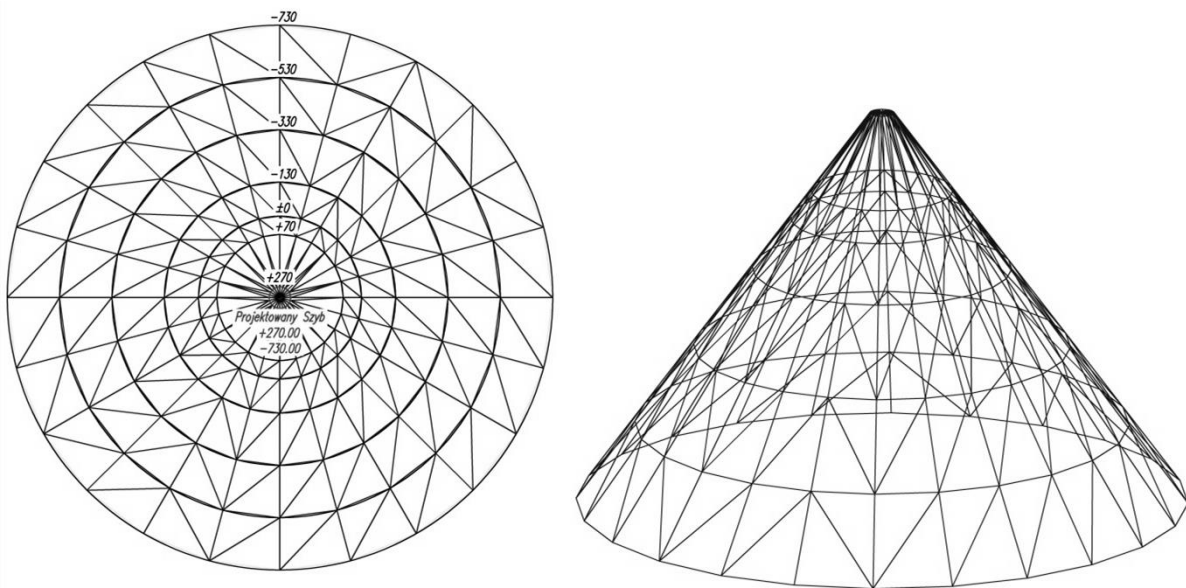
Granicę filara ochronnego należy wyznaczyć odrębnie w każdym pokładzie. Wykorzystana do tego celu mapa pokładu została sporządzona w oparciu o dokumentację geologiczną.

Opisane w dalszej części artykułu czynności zostały wykonane w programach AutoCAD Civil 3D i Geolisp.

6.1. Powierzchnia obrazująca stożkowy kształt filara

Mając wyznaczone warstwyce obrazujące filary szybu na poszczególnych poziomach przystąpiono do tworzenia powierzchni TIN filara ochronnego. W analizowanym przypadku powierzchnię TIN można było utworzyć wykorzystując izoliny lub punkty na nich wyznaczone. Warstwyce muszą mieć nadaną wysokość (polilinie 2d dla których określono poziom lub polilinie 3d) a punkty określoną współrzędną Z. Otrzymano powierzchnię w kształcie ściętego stożka. Wysokość płaszczyzny ograniczającej stożek od góry jest równa wielkości zrębu szybu (+270 m), wysokość płaszczyzny ograniczającej stożek od dołu odpowiada najniższemu poziomowi (-730 m).

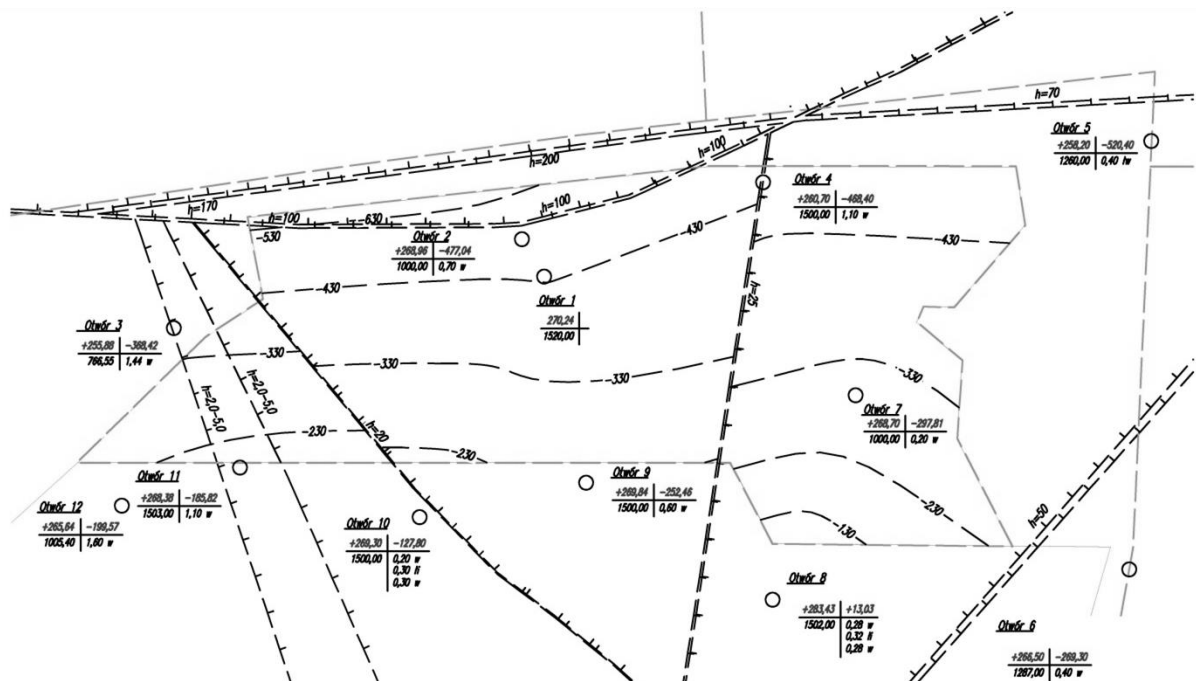
Widok przestrzenny powierzchni TIN projektowanego filara przedstawia rysunek 4.



Rys. 4 Powierzchnia TIN projektowanego filara, rzut z góry i boku

6.2. Utworzenie powierzchni spągu analizowanego pokładu

Na rysunku nr 5 przedstawiono obiekty wykorzystane do zbudowania powierzchni spągu pokładu: otwory geologiczne wiercone z powierzchni, uskoki oraz warstwyce spągu. Linie nieciągłości i izoliny mogły zostać uwzględnione w tworzonej powierzchni po sprawdzeniu poprawności ich utworzenia: uskoki powinny mieć uzupełnione dane dodatkowe (informacje) o wartości zrzutu, warstwyce – mieć określoną wysokość. Z otworów do rysunku wstawiono punkty, których współrzędne X i Y pokrywały się z punktem wstawienia otworu, natomiast wartość współrzędnej Z odpowiadała wielkości spągu pokładu.



Rys. 5 Dokumentacja geologiczna wykorzystana do utworzenia powierzchni spągu pokładu

W omawianym przykładzie należało utworzyć powierzchnię TIN obrazującą spąg pokładu nachylonego do 10° , ze strefą uskokuwą o zrzucie uskoku $h = 100$ m i nachyleniu płaszczyzny uskokuwej 45° . Należy zwrócić uwagę, że płaszczyzny przyuskokowe tworzą powierzchnię nieregularną. Przyjęto sposób postępowania opisany poniżej.

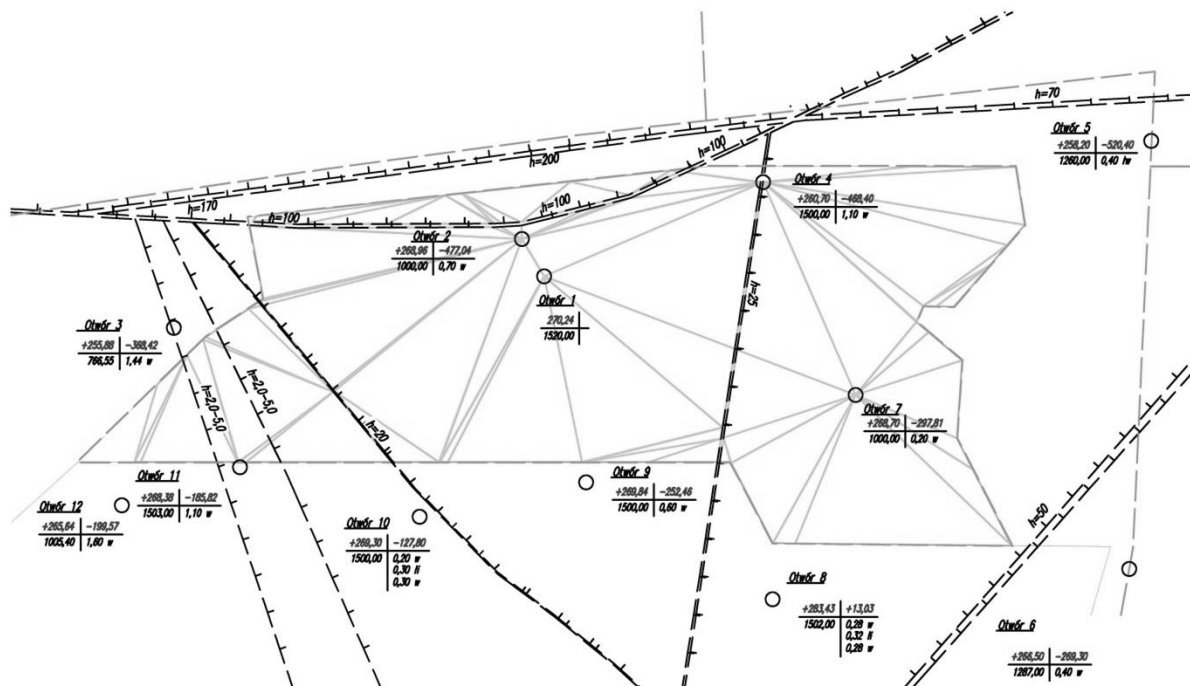
Pracę rozpoczęto od zdefiniowania zamkniętych obszarów, przesuniętych względem siebie. Założono, że przesunięcie jednego z nich było równe 0, natomiast pozostałe były przesuwane względem niego o wielkość zrzutu uskoku. Dla każdego z utworzonych obszarów zbudowano powierzchnie TIN, których wartość Z odpowiadała wielkości przesunięcia. Następnie, wykorzystując wstawione wcześniej na podstawie otworów geologicznych punkty oraz powierzchnie przesunięć, wykonano powierzchnię TIN obrazującą analizowany spąg pokładu „sprzed tektoniki”.

Powierzchnia powinna pokrywać cały analizowany obszar, dlatego przedłużono ją (wygładzono) wykorzystując metodę optymalnej predykcji (krigingu). Metoda ta wymaga istnienia modelu ciągłości lub zależności przestrzennej (w postaci kowariancji lub semiwariogramu) a także próbki danych powierzchni. Na ich podstawie wyznaczany jest statystyczny trend i wykonywana interpolacja oraz ekstrapolacja punktów.

Następnie do utworzonej powierzchni wprowadzono uskoki. W wyniku tych działań otrzymano osobne powierzchnie obrazujące poszczególne obszary oraz jedną wspólną uwzględniającą uskoki.

Do utworzenia powierzchni spągu można również wykorzystać istniejące warstwicę.

Na rysunku 6 przedstawiono powierzchnię spągu pokładu zwizualizowaną za pomocą siatki trójkątów.



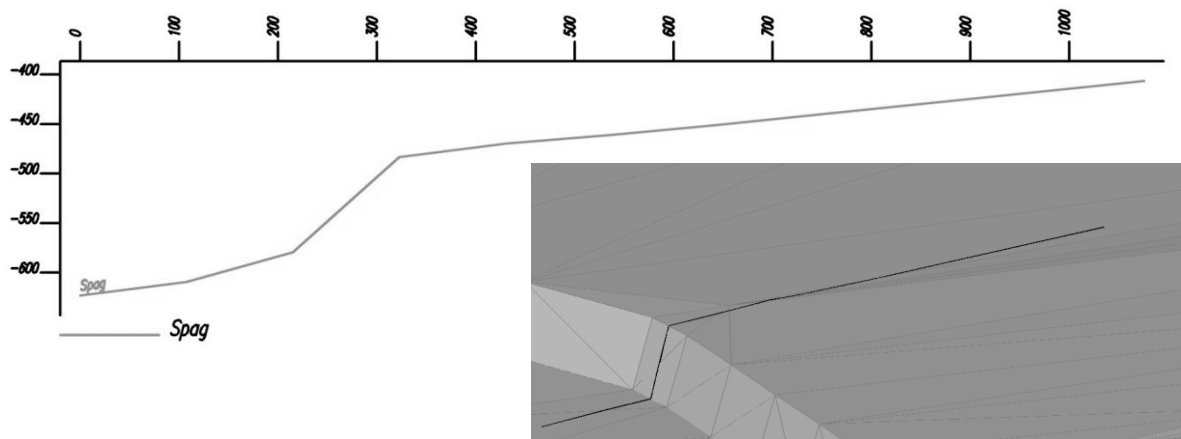
Rys. 6 Powierzchnia TIN spągu pokładu uwzględniająca uskoki

Po utworzeniu powierzchni spągu trzeba sprawdzić, czy została ona wykonana prawidłowo.

Przytrzymując wskaźnik myszy wewnątrz powierzchni TIN w programie AutoCAD Civil 3D uzyskujemy informację o wysokości wskazanego punktu. Patrząc w pobliżu kolejnych otworów geologicznych porównano wysokość spągu otworów z wysokością spągu w wynikowej powierzchni TIN. Wartości te były zbliżone – co oznacza, że powierzchnia TIN spągu została utworzona poprawnie. System Geolisp zawiera procedury, które liczą różnicę między otworem i powierzchnią i zaznaczają miejsca, gdzie ta wartość jest większa od założonej.

Kolejną kontrolę stanowiło wygenerowanie warstwic i sprawdzenie ich przebiegu. Czynność ta pozwoliła na wyeliminowanie z rysunku błędów grubych – punkty o błędnej wysokości wymuszają powstawanie dodatkowych warstwic. Szczególną uwagę zwrócono na izolinie położone w pobliżu uskoków.

Poprawność utworzenia powierzchni spągu zweryfikowana została także poprzez wygenerowanie przekrojów przez górotwór. Na rysunku 7 pokazano wykres wykonany dla dowolnej linii. Punkty pośrednie przekroju zostały obliczone na podstawie przecięć linii przekroju z powierzchnią TIN spągu pokładu.



Rys. 7 Przekrój przez górotwór

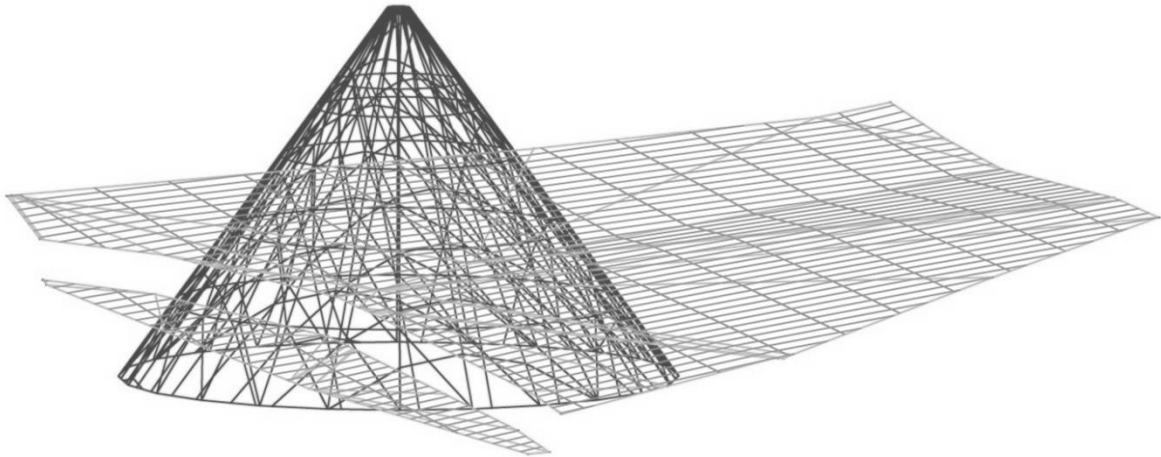
6.3. Wyznaczenie granic filara

Granice filara ochronnego dla projektowanego szybu można wyznaczyć kilkoma metodami. W kolejnych rozdziałach opisano dwie z nich, wykorzystujące utworzone wcześniej powierzchnie spągu pokładu i filara szybu. Granica filara, niezależnie od tego, którą metodą została wyznaczona, przebiegała w ten sam sposób.

6.3.1. Utworzenie powierzchni objętościowej i wyznaczenie granic filara

Jedną z metod wyznaczenia przebiegu granicy filara ochronnego jest utworzenie powierzchni objętościowej TIN. Powierzchnia ta jest wypadkową powierzchni bazowej i porównawczej. Wysokość każdego punktu powierzchni objętościowej stanowi różnicę między współrzędną Z powierzchni porównawczej a współrzędną Z powierzchni bazowej wyznaczoną dla tego samego punktu.

Jako powierzchnię bazową w projekcie wybrano powierzchnię filara szybu, jako powierzchnię porównawczą – spągu pokładu. W celu wyznaczenia przebiegu granicy filara wyodrębniono z powierzchni objętościowej warstwice (polilinie) o wysokości równej 0.0. Wyznaczają one miejsce przecięcia się powierzchni filara szybu i spągu pokładu. Taki sposób wyznaczenia przebiegu filara szybowego pozwala bardzo dokładnie opisać jego przebieg, szczególnie w przypadku gdy pokład jest nachylony i ma nieregularny przebieg (wygięcia, uwypuklenia). Przecięcie powierzchni spągu pokładu z powierzchnią filara szybu wentylacyjnego w strefie uskoku o zrzucie $h = 100$ m przedstawia rysunek 8.

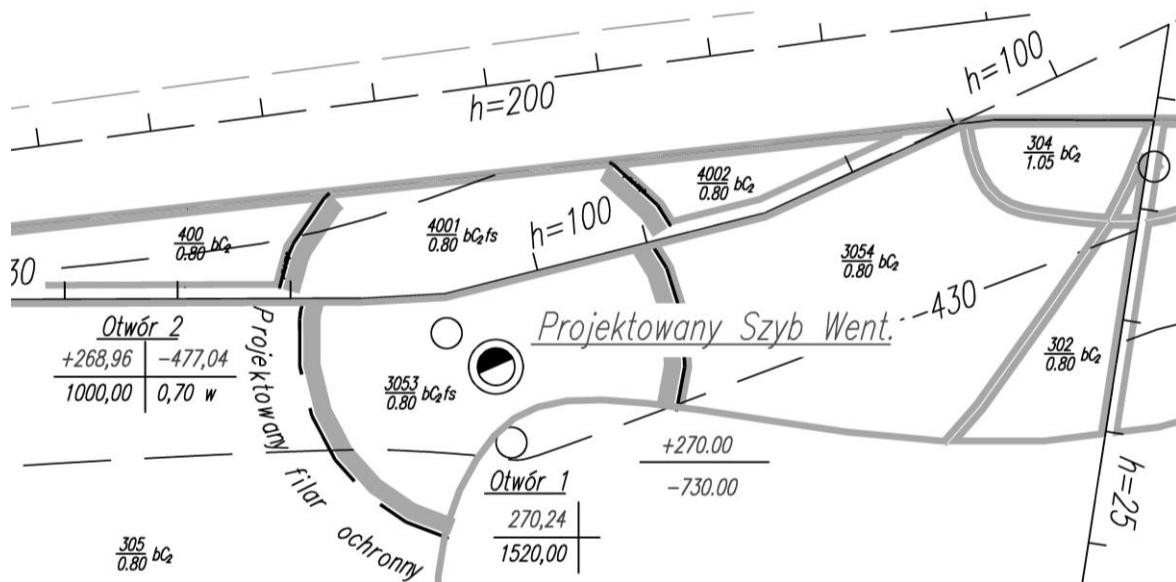


Rys. 8 Wizualizacja numeryczna bryły projektowanego filara szybu wraz z numerycznym modelem spągu pokładu w strefie uskokowej

6.3.2. Obliczenie minimalnej odległości między powierzchniami

Drugą metodą zastosowaną do ustalenia przebiegu granicy filara ochronnego było obliczenie minimalnej odległości między powierzchniami spągu i filara. Wykorzystano polecenie `_MinimumDistBetweenSurfaces`. W efekcie wyznaczono najkrótszą odległość pionową między powierzchniami TIN. Wynik otrzymano w postaci polilinii 3d.

Na rysunku 9 pokazano przebieg filara ochronnego na mapie.



Rys. 9 Wyznaczony filar ochronny dla szybu

7. Podsumowanie i wnioski

Z punktu widzenia prawidłowego funkcjonowania zakładu górniczego ustalenie przebiegu filara ochronnego dla szybu jest niezwykle istotne. Zgodnie z obowiązującym stanem prawnym w jego granicach eksploatacja może być zabroniona lub dozwolona po spełnieniu uwarunkowań określonych w projekcie zagospodarowania złoża.

Wskazanie przebiegu granicy filara ochronnego jest zadaniem służby mierniczej zakładu górniczego. Zasady jego wyznaczania w podziemnym górnictwie węgla kamiennego określa instrukcja Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach. Dopuszcza ona dwa sposoby wyznaczania filarów ochronnych, wybór metody uzależniony jest od stopnia rozpoznania warunków ochrony obiektów i warunków geologiczno-górnictwowych analizowanego rejonu kopalni.

W omawianym w artykule przypadku, ze względu na słabe rozpoznanie złoża, wykorzystano metodę, w której powierzchnie ograniczające filar ochronny wyznaczone są pod kątami Ψ zasięgu dopuszczalnych wpływów opowiadających odporności chronionych obiektów. Kształt filara wyznaczono na przekroju pionowym zawierającym projektowaną oś szybu, na podstawie przyjętej wartości kąta zasięgu dopuszczalnych wpływów. Mając wyznaczone punkty o znanych wysokościach i izolinie poziomów utworzono powierzchnię TIN obrazującą stożkowy kształt filara.

Powierzchnię TIN spągu pokładu utworzono na podstawie mapy dokumentacji geologicznej. Do jej utworzenia wykorzystano istniejące na mapie obiekty, to jest: otwory geologiczne wiercone z powierzchni, izoliny spągu oraz uskoki. Granice filara ochronnego dla projektowanego szybu wyznaczono dwoma metodami. W obu przypadkach przebieg granic był taki sam.

W artykule pokazano możliwość wykorzystania Numerycznego Modelu Złoża do ustalenia przebiegu filara ochronnego dla szybu wentylacyjnego. Model ten jest tworzony w oparciu o dokumenty kartograficzne oraz wyniki pomiarów geodezyjnych i geologicznych, co umożliwia jego wykorzystanie w procesie planowania eksploatacji oraz przewidywania jej skutków. Tworząc przestrzenny model złoża należy pamiętać o uwzględnieniu w tworzonych powierzchniach TIN (wchodzących w jego skład) linii nieciągłości zaburzających przebieg tych powierzchni. Równie istotne jest wykonanie kontroli utworzonego modelu.

Zastosowanie Numerycznego Modelu Złoża do wykonywania zadań projektowych ułatwia i przyspiesza pracę. Umożliwia także uwzględnienie danych przestrzennych w projektowanych obiektach. Pozwala na szybkie wykonanie różnego rodzaju obliczeń,

wykresów, przekrojów, raportów. Dodatkowym atutem NMZ jest możliwość stworzenia wielu wariantów tego samego rozwiązania, co stanowi dodatkową kontrolę poprawności wykonania zadania projektowego.

Ciekawym rozwiązaniem będzie dokonanie wyznaczenia filara ochronnego upadowych z powierzchni, które dla wielu nowych inwestorów będzie podstawowym udostępnieniem złóż kopalin wg. doniesień mediów. Zagadnienie to autorzy będą się starali rozszerzyć w kolejnych publikacjach.

Literatura

- [1] Mertas J., Poniewiera M.: Współczesne funkcje kartografii górniczej. [W:] Mat. nauk. konf. „X Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych”. Kraków 2009.
- [2] Poniewiera M.: Model numeryczny złoża węgla kamiennego i jego praktyczne zastosowania. Wiad. Gór. 2010 R. 61 nr 7/8, s. 458-465.
- [3] Wyznaczanie filarów ochronnych dla obiektów na powierzchni, szybów i szybików w granicach obszarów Górniczych kopalń węgla kamiennego, Instrukcja nr 3, wyd. GIG Katowice 1996 r.
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. 2002 nr 139 poz. 1169).
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów zagospodarowania złóż (Dz. U. 2012, poz. 511).
- [6] Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. 2011 Nr 163 poz. 981)