Górnictwo i Geoinżynieria • Rok 33 • Zeszyt 1 • 2009

*Andrzej Batog**, *Maciej Hawrysz**

OPTYMALIZACJA SZEROKOŚCI PASÓW OCHRONNYCH PRZY ODKRYWKOWEJ EKSPLOATACJI KOPALIN POSPOLITYCH

1. Wstęp

W ciągu ostatnich, co najmniej dziesięciu lat, w kraju występował stały wzrost ilości inwestycji budowlanych, w tym związanych z budową autostrad, modernizacją sieci dróg krajowych oraz magistralnych szlaków kolejowych. Towarzyszył temu bezprecedensowy wzrost zapotrzebowania na kruszywa budowlane, które to zapotrzebowanie często nie znajdowało pełnego pokrycia u krajowych producentów. Dla niektórych kopalń istotna część obszaru udokumentowanego złoża jest wyłączona z eksploatacji w wyniku ustanowienia przez przepisy prawne relatywnie dużych stref ochronnych dla np. cieków wodnych, sieci elektroenergetycznych i telekomunikacyjnych, bądź innych obiektów, których zmiana lokalizacji lub likwidacja nie jest możliwa. W przypadku niektórych z tych obiektów np. linii energetycznych, masztów telekomunikacyjnych technicznie możliwe jest udostępnienie do eksploatacji uwięzionego w filarze ochronnym części złoża z zachowaniem stateczności zarówno chronionych obiektów jak i zbocza końcowego wyrobiska.

W niniejszym artykule zostały przedstawione przykłady wyznaczenia zasięgu takich stref ochronnych dla słupów i masztów przy zastosowaniu metod inżynierskich.

2. Uwarunkowania przy wyznaczaniu zredukowanych stref ochronnych

Wymiary filarów ochronnych winny być wyznaczane na podstawie wyników analizy stateczności oraz przemieszczeń skarpy projektowanego filara ochronnego oraz fundamentów masztu linii energetycznych lub wieży telekomunikacyjnych w fazie eksploatacji i po jej zakończeniu. Obliczenia przemieszczeń można przeprowadzić za pomocą programów wykorzystujących metodę elementów skończonych.

* Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska, Wrocław

Obciążenia uwzględniane przy obliczeniach to stosunkowo niewielkie siły pionowe przy relatywnie dużych siłach poziomych oraz momentach obracających, sprowadzonych do podstawy fundamentu a wywołanych przez obciążenie wiatrem. Masywne fundamenty są z reguły głęboko posadowione, a grunt zasypowy zalegający nad fundamentem stanowi dodatkowe obciążenie pionowe. W przypadku występowania w podłożu fundamentów złożonych warunków gruntowych należy uwzględnić przy sporządzeniu schematów obliczeniowych położenie dominujących kierunków wiatrów.

W przypadku wyznaczania wymiarów filarów ochronnych dla typowych słupów energetycznych posadowionych na standardowych fundamentach niezbędne do obliczeń parametry techniczne słupów i fundamentów można przyjmować ze specjalistycznych katalogów [2].

W przypadku podwodnej eksploatacji złoża należy uwzględnić zmiany warunków wodnych podczas formowania filara ochronnego oraz ich wpływ na skarpę zbocza końcowego wyrobiska.

W celu minimalizacji spodziewanych przemieszczeń fundamentów masztu można dodatkowo rozpatrywać schematy obliczeniowe, w których uwzględnia się składowanie wewnętrzne nadkładu w wyrobisku, jeśli jest to technicznie możliwe lub przewidziane w Planie Ruchu Zakładu Górniczego (PRZG). W taki sposób można uzyskać dodatkową przyporę filara ochronnego.

Kształt bezpiecznych profili zbocza końcowego (stałego) odkrywki można przyjmować zgodnie z wytycznymi podanymi w [4], opartymi na metodzie *Fp* Masłowa. Do obliczeń stateczności dla nadkładu złożonego z gruntów spoistych zaleca się przyjmować wartości parametrów wytrzymałości długotrwałej na poziomie 60% wytrzymałości doraźnej a dla złoża uśrednione parametry wytrzymałości długotrwałej na poziomie 90% wytrzymałości doraźnej.

3. Schematy obliczeniowe

W analizie prowadzonej za pomocą metody elementów skończonych proces obliczeniowy powinien składać się z trzech etapów.

W pierwszym modelowany jest stan wyjściowy — zbocze eksploatacyjne wyrobiska wraz z fundamentem obciążonym ciężarem własnym słupa i gruntu zasypowego. Stan naprężeń dla takiego schematu traktowany jest jako początkowy, czyli niepowodujący przemieszczeń.

W drugim etapie należy zamodelować eksploatację złoża prowadzącą do uformowania bezpiecznego profilu skarpy końcowej wyrobiska. W obliczeniach proces ten należy podzielić na kilka kroków obliczeniowych, w których usuwane są kolejne partie nadkładu oraz złoża, zgodnie z przewidzianym postępem robót w PRZG.

W trzecim etapie fundament obciążany jest siłami wynikającymi z obciążenia masztu wiatrem. W przypadku typowych masztów kratowych o przekroju prostokątnym dla wyznaczenia wielkości całkowitego obciążenia wiatrem p według normy [3] można wykorzystać dane techniczne masztów zawarte w specjalistycznych katalogach [2].

4. Kryteria oceny wyników analiz numerycznych

Eksploatacja złoża prowadząca do uformowania filara ochronnego wokół masztów lub słupów prowadzi do wystąpienia przemieszczeń ich fundamentów. Stosunkowo niskie słupy, wysokości do ok. 15 m na nośnym podłożu są zazwyczaj posadowione na pojedynczym masywnym fundamencie. W przypadku podłoży słabonośnych oraz masztów wysokich, każda z podpór jest posadowiona na osobnym fundamencie o przekroju kołowym lub kwadratowym. Podpory bliżej położone krawędzi wyrobiska i na kierunku zgodnym z najczęściej wiejącymi wiatrami doznają większych przemieszczeń niż pozostałe. Wynikłe z tego przemieszczenia masztu (słupa) o wysokości H odniesione do wychylenia wierzchołka ich trzonu x od pionu nie powinny przekroczyć wartości wynikającej z warunku:

$$x \leq \frac{H}{100}$$

Dla oceny stateczności zbocza końcowego wyrobiska z projektowaną szerokością pasa ochronnego dla istniejącego obiektu, zaleca się przyjmować zgodnie ze stosowaną praktyką w górnictwie [1] następujące wymagane wartości wskaźników stateczności:

— dla skarp eksploatacyjnych (ruchomych) $F_{WYMAG} = 1{,}05$,
— dla skarp końcowych (stałych) $F_{WYMAG} = 1{,}15$, przy przyjęciu parametrów wytrzymałości długotrwałej.

W przypadku wodnego kierunku rekultywacji wyrobiska po zakończeniu eksploatacji złoża skarpy filarów ochronnych winny dodatkowo spełniać wymogi dotyczące zapasu stateczności stawiane ziemnym budowlom hydrotechnicznym, zgodnie z [5].

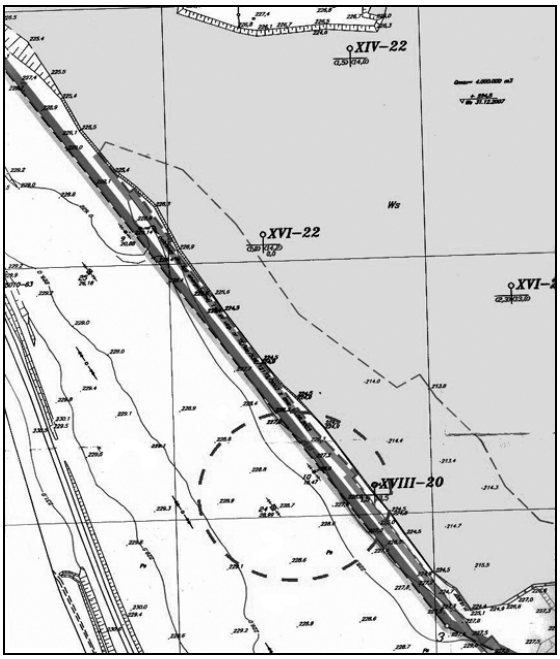
5. Przykłady obliczeniowe

5.1. Redukcja zasięgu strefy ochronnej linii energetycznej

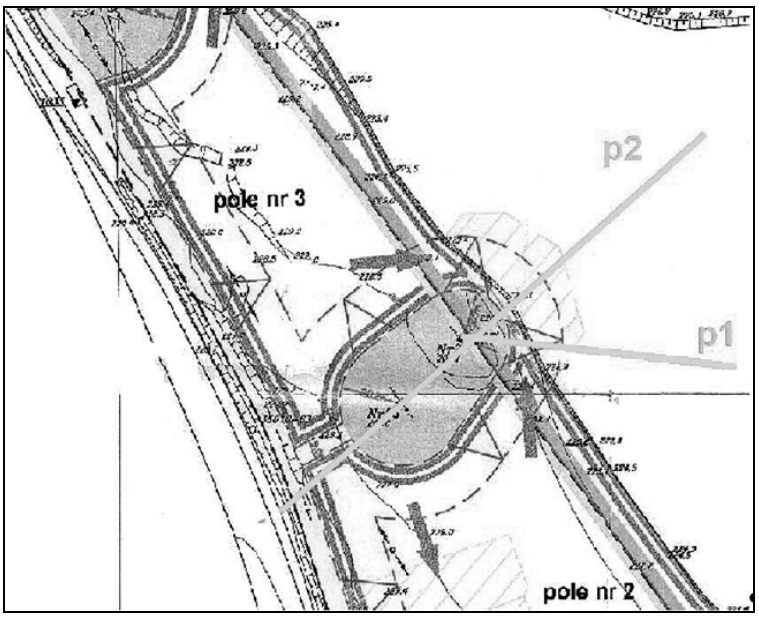
Ciekawym przykładem jest propozycja zmiany kształtu filara ochronnego dla dwu linii energetycznych 110 kV przebiegających równolegle do jednej z krawędzi wyrobiska. Aktualny zasięg strefy ochronnej jest pokazany na rysunku 1. Odległość pomiędzy słupami wynosi ok. 230÷250 m, zatem ekonomicznie uzasadnione są analizy możliwości prowadzenia podwodnej eksploatacji złoża pomiędzy filarami ochronnymi słupów energetycznych.

Rozważony kształt filara ochronnego dla wybranej pary słupów oraz lokalizację przekrojów obliczeniowych pokazano na rysunku 2. W przekroju $p1$ obliczenia wykonano dla zadania osiowo-symetrycznego, natomiast w przekroju $p2$ dla zadania płaskiego.

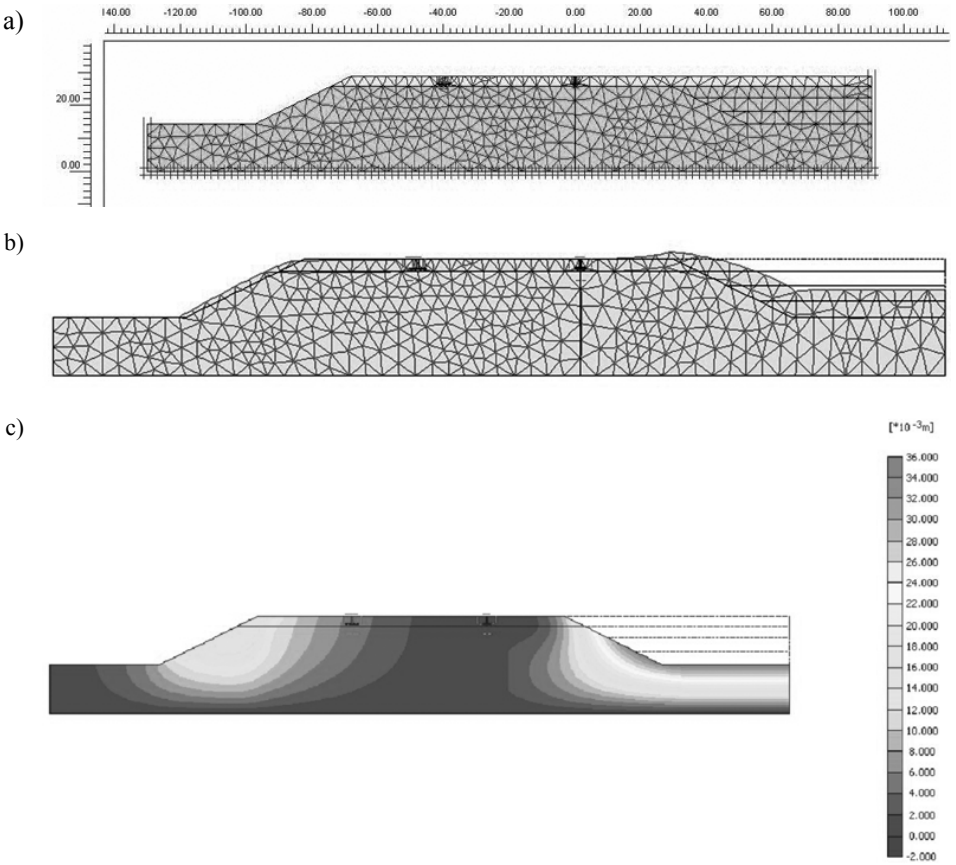
Na rysunku 3 pokazano wybrane wyniki analizy numerycznej deformacji skarp filara, a w tabeli 1 zestawiono przykładowe wyniki oceny jego stateczności. Wartości wskaźnika stateczności FSL określono stosując metodę redukcji wytrzymałości na ścinanie.



Rys. 1. Lokalizacja przykładu obliczeniowego



Rys. 2. Propozycja uformowania filara ochronnego słupów energetycznych, lokalizacja przekrojów obliczeniowych



Rys. 3. Analiza przemieszczeń filara ochronnego w przekroju *p*2:
a) model obliczeniowy — podział na warstwy obliczeniowe i elementy skończone;
b) zdeformowana siatka elementów skończonych (skala skażona) — po zakończeniu formowania filara ochronnego; c) rozkład przemieszczeń — po zakończeniu formowania filara ochronnego

TABELA 1

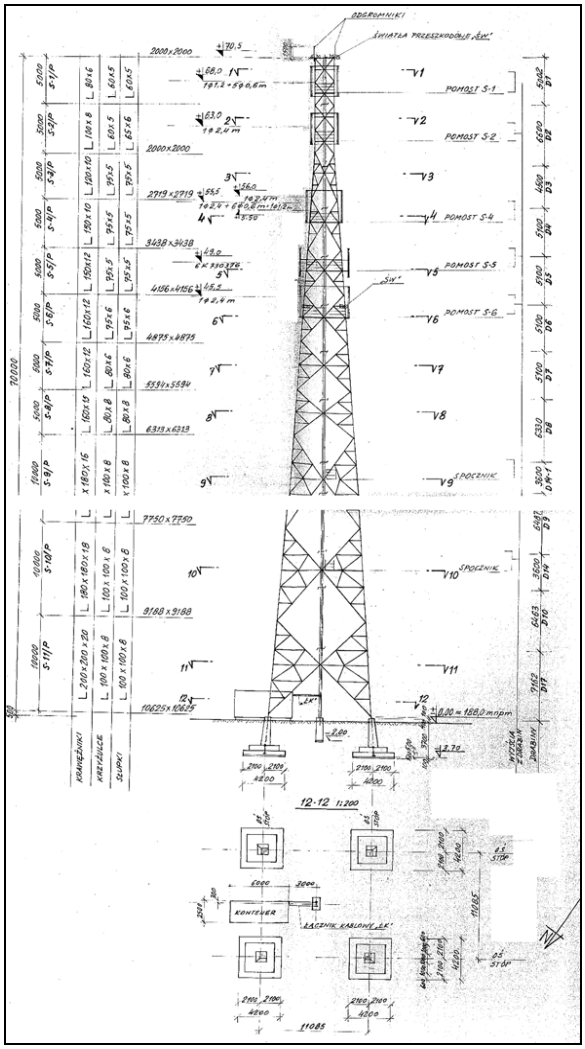
Porównanie wielkości przemieszczeń oraz wartości wskaźnika stateczności

Rozwiązanie	Przemieszczenia, [cm]				Minimalna wartość wskaźnika stateczności F_{SL}
	górna krawędź skarpy		dolna krawędź skarpy		
	poziome	pionowe	poziome	pionowe	
osiowo-symetryczne	–0,5	0,9	0,3	3,0	1,71
płaskie	–0,3	1,9	0,6	3,2	1,65

Jak można zauważyć, wartości bezpieczniejsze (gorsze) uzyskano w warunkach płaskiego stanu odkształcenia. Dla obu schematów obliczeniowych spełnione są przedmiotowe kryteria.

5.2. Redukcja zasięgu strefy ochronnej wieży bazowej telefonii komórkowej

Na rysunku 4 pokazano schemat wieży bazowej telefonii komórkowej, o wysokości 70 m, zlokalizowanej w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska piaskowni (rys. 5). Złoże eksploatowane na „sucho” tzn. powyżej zwierciadła wód podziemnych.



Rys. 4. Schemat wieży stacji bazowej

Fundamenty wieży są posadowione na drobno- i gruboziarnistych gruntach niespoistych wykształconych w postaci luźnych i średnio zagęszczonych piasków drobnych, pospółek i żwirów o średnim stopniu zagęszczenia $I_D = 0{,}46$.

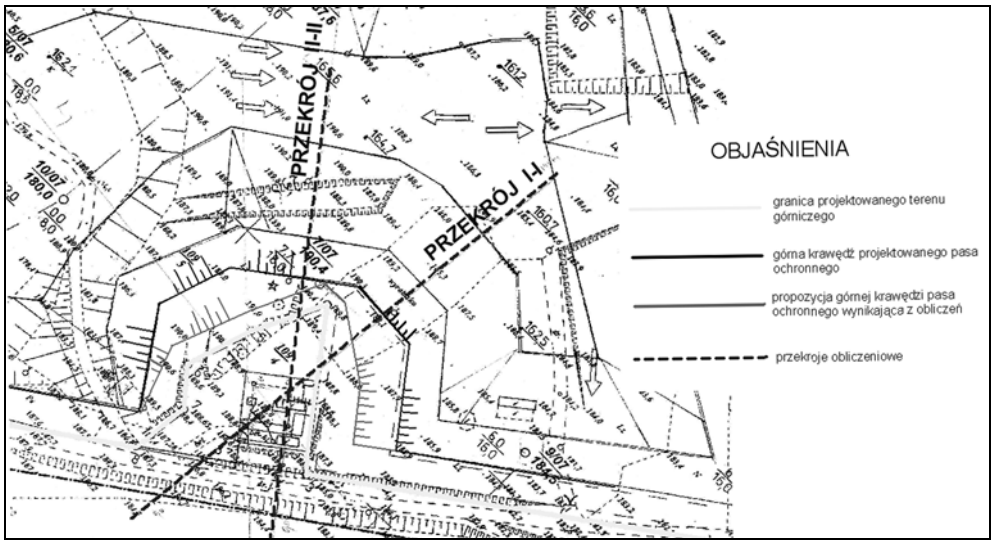
Ze względu na dominujące kierunki wiatrów przyjęto do obliczeń dwa przekroje, których lokalizację podano na rysunku 5:

— przekrój I–I poprowadzony poprzecznie do podstawy wieży,
— przekrój II–II poprowadzony prostopadle do podstawy wieży.

Rys. 5. Wieża stacji bazowej

Z przeprowadzonych obliczeń stateczności wynika, że nachylenie bezpieczne skarpy końcowej w nadkładzie może być zmienne od 1 : 1,1 przy miąższości warstwy 4 m, do 1 : 2 dla miąższości nadkładu powyżej 6 m. Nachylenie skarpy w złożu można przyjąć stałe, wynoszące 1 : 1,5.

Wyniki obliczeń przemieszczeń fundamentów wieży wykazały, iż dla rozważanego kształtu filara ochronnego, pokazanego na rysunku 6, nie zostaną przekroczone dopuszczalne wielkości wychylenia trzonu wieży od pionu. Granica pasa ochronnego (górnej krawędzi wyrobiska) może przebiegać w odległości nie mniejszej niż 18 m od zewnętrznego obrysu stopy fundamentowej wieży.



Rys. 6. Propozycja uformowania filara ochronnego wieży bazowej, lokalizacja przekrojów obliczeniowych

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono przykłady optymalizacji szerokości pasów ochronnych dla niektórych obiektów inżynierskich zlokalizowanych w sąsiedztwie wyrobisk odkrywkowych kopalń kruszyw budowlanych.

Omówiony problem jest szczególnie istotny dla kopalń, w których złoża wyczerpują się, a pasy ochronne zostały ustanowione zgodnie z normą PN-G-02100:1998. Górnictwo odkrywkowe. Szerokości pasów ochronnych wyrobisk odkrywkowych.

LITERATURA

[1] *Dmitruk S., Suchnicka H.*: Geotechniczne zabezpieczenie wydobycia, PWr Wrocław, 1976
[2] Katalogi PTPiREE słupów energetycznych i fundamentów
[3] PN-77/B-02011 Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie wiatrem
[4] *Potts D., Zdravković L.*: Finite element analysis In geotechnical engineering. Thomas Telford Publishing. London, 2001
[5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 86 poz. 579)