

Piotr KOŁODZIEJCZYK, Jan PĘCIAK, Marek WESOŁOWSKI
Politechnika Śląska, Gliwice

PROMIENIE ZASIĘGU WPLYWÓW GŁÓWNYCH W ŚWIETLE BADAŃ MODELOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono metody wyznaczania promienia zasięgu wpływów głównych w górotworze dla przypadku modeli teoretycznych, jak i numerycznych. Dla tych celów zbudowany został model numeryczny eksploatacji w górotworze z uwzględnieniem warstwowej budowy ośrodka. Artykuł zawiera jakościowe oraz ilościowe porównanie wartości promieni zasięgu wpływów głównych w górotworze wyznaczone dla modelu numerycznego z modelami teoretycznymi.

RADIUSSES OF MAIN RANGE INFLUENCES OF MODEL RESEARCHES

Summary. The article presents methods of marking radius main ranges effects in rock mass for both theoretical and numerical models. For these aims there has been constructed a numerical model of exploitation in rock mass concerning stratified building of the model. The article contains qualitative and quantitative comparison of values of radius main's range effects in rock mass determine for the numerical model together with theoretical ones.

1. Wprowadzenie

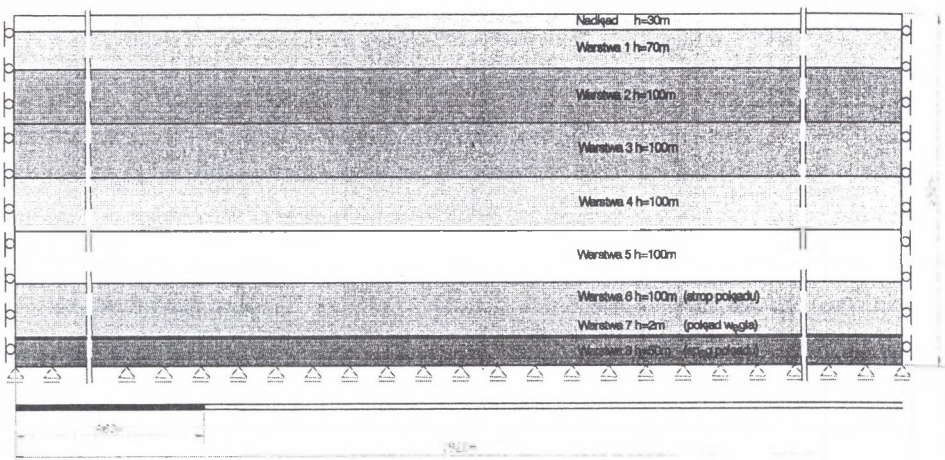
Podziemna eksploatacja górnicza prowadzi do powstania zmian zarówno na powierzchni terenu, jak i wewnątrz górotworu. Zmiany te objawiają się przede wszystkim w procesach deformacji górotworu, stanowiącego nadkład dla eksploatowanego pokładu. Jednym z podstawowych parametrów, opisujących zaistniałe zmiany na powierzchni terenu, jest promień zasięgu wpływów głównych. Odpowiednikiem tego parametru, służącym do opisu zmian zachodzących w warstwach głębiej zalegających, jest promień oddziaływania eksploatacji $r(z)$.

Wpływ eksploatacji podziemnej na górotwór, stanowiący bezpośredni nadkład dla wybieranego pokładu węgla, można wyznaczyć na podstawie wzorów teoretycznych, pod warunkiem że znany jest promień zasięgu wpływów głównych na powierzchni oraz że niecka osiadań ma charakter ustalony. W takim przypadku wartość promienia zasięgu wewnątrz górotworu określa się na zasadzie geometrycznych proporcji.

W przedstawionej poniżej pracy podjęto próbę wyznaczenia promienia zasięgu eksploatacji $r(z)$ wewnątrz górotworu stosując numeryczne metody obliczeniowe. Wybór takiej metody uzasadnić należy możliwościami nowoczesnych programów komputerowych, mogących uwzględnić znacznie większą liczbę czynników, do których zalicza się także warstwową budowę górotworu.

2. Model górotworu

Dla celów praktycznej oceny przydatności poszczególnych modeli do wyznaczenia wpływu eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu zbudowano płaski model górotworu o wymiarach 1920 m x 652 m (L x H). Powyższy model obejmuje swym zasięgiem pokład węgla o miąższości 2 m. W stropie pokładu zamodelowano sześć kolejnych warstw skalnych górotworu karbońskiego o grubościach od 70 m do 100 m oraz jedną warstwę o miąższości 30m stanowiącą warstwę nadkładową. Spąg przeznaczanego do eksploatacji pokładu zamodelowano jako warstwę skalną o grubości 50 m. Schemat tarczy modelowej przedstawia rys.1.



Rys.1. Schemat tarczy płaskiej górotworu
Fig.1. Schema of disk flat rocky composition

Każda z wymienionych wyżej warstw stanowi ośrodek ekwiwalentny dla zbiorczego pakietu skalnego o zadanej miąższości. Budowa modelu górotworu umożliwia przypisanie każdej warstwie oddzielnego modelu mechanicznego, którego dobór określono wariantowo w zależności od przykładu obliczeniowego.

W modelu górotworu poprowadzono symulację eksploatacji górniczej w pokładzie węgla ze średnim dobowym postępowaniem określonym na 5 m/dobę. Symulowana eksploatacja górnicza z podsadzką hydrauliczną prowadzona będzie w prawym skrzydle modelu górotworu na wybiegu ok. 1440 m. Rozwiązanie takie pozwoli na sprowadzenie rozpatrywanego zagadnienia do tzw. półpłaszczyzny.

W celu przeprowadzenia obliczeń wyodrębnione w tarczy warstwy podzielone zostały siatką prostokątnych oraz trójkątnych elementów, których wymiary zależne są od przypisanego miejsca w modelu.

Skrajnym węzłom siatki elementów znajdującym się na bocznych krawędziach tarczy przyporządkowano możliwość przemieszczania się jedynie w kierunku pionowym odpowiadającym osi Z. Węzły znajdujące się na dolnej krawędzi modelu mają możliwość przemieszczania się jedynie w kierunku poziomym opisanym przez układ współrzędnych jako kierunek X. Pozostałe węzły siatki mają swobodę przemieszczeń w obrębie płaszczyzny XZ.

Założono, że pionowe naprężenie pierwotne w tarczy górotworu wynika z ciężaru warstw nadległych i jest uzależnione od gęstości objętościowej poszczególnych warstw ośrodka. Poziome naprężenie pierwotne w tarczy górotworu zgodnie z powszechnie stosowanym rozwiązaniem stanowi ułamek naprężenia pionowego pierwotnego, którego wartość zależna jest od współczynnika Poissona.

3. Promień zasięgu wpływów głównych

Jednym z parametrów charakteryzujących końcowe stadium ruchów górotworu jest promień oddziaływania eksploatacji wewnątrz górotworu $r(z)$, zwany inaczej promieniem rozproszenia wpływów głównych w górotworze.

Punktem wyjścia dla określenia zależności promienia zasięgu wpływów głównych w górotworze była zależność W. Budryka [1], która w późniejszym okresie podlegała wielu modyfikacjom. Autorami tych modyfikacji byli między innymi S. Knothe [4], D. Krzysztoń [7] oraz B. Drzęzła [2]. Zależności te stanowiąc będą w dalszej części pracy materiał porównawczy, stąd też poniżej przedstawiona zostanie ich skrótowa charakterystyka.

Wartość promienia zasięgu wpływów głównych $r(z)$ wyznaczona na podstawie zależności geometrycznych Budryka zmienia się według zależności:

$$r(z) = r_p \left(\frac{z}{H} \right)^n \quad (1)$$

gdzie:

- $r(z)$ - promień zasięgu wpływów głównych w górotworze,
- r_p - wartość promienia zasięgu wpływów głównych na powierzchni,
- z - pionowa odległość od eksploatowanego pokładu,
- n - parametr.

Według tego autora wartość stosowanego we wzorze parametru n jest ściśle powiązana z tangensem kąta zasięgu wpływów głównych na powierzchni i jest równa:

$$n = \sqrt{2\pi} \operatorname{tg} \beta \quad (2)$$

Podstawiając do powyższej zależności wartość $\operatorname{tg} \beta \geq 2$ (wartości obserwowane w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym) otrzymujemy

$$n \geq 5$$

Późniejsze badania wykazały, że wyznaczana na podstawie zależności (2) wartość parametru n jest znacznie zawyżona.

Weryfikacji parametru n dokonała D. Krzysztoń [7] prowadząc badania na ośrodkach sypkich. W oparciu o prowadzone przez siebie badania stwierdziła ona, że wartość parametru n jest nieznacznie mniejsza od jedności, toteż dla celów praktycznych zaproponowała przyjmowanie $n=1$. Podobną wartość parametru n proponuje przyjąć S. Knothe [4].

Przyjęcie do obliczeń wartości $n=1$ oznacza, że promień oddziaływania eksploatacji w górotworze zmienia się liniowo według zależności:

$$r(z) = \frac{z}{\operatorname{tg} \beta} \quad (3)$$

Dalsze prace nad wartością parametru n prowadzone przez B. Drzęźle [2] wykazały, że dla rzeczywistych ośrodków skalnych wartość parametru n jest mniejsza od jedności, przy czym wyznaczone na drodze badań modelowych, rozważań teoretycznych oraz z pomiarów terenowych wartości tego parametru mieściły się w przedziale

$$n=0.45 \div 0.7$$

Jednocześnie dla prowadzonych obliczeń autor ten zaleca przyjmowanie wartości

$$n=0.665$$

którą to wartość wykorzystano w dalszej części do wyznaczenia promienia zasięgu wpływów w górotworze.

Jednocześnie B. Drzęźła zaproponował weryfikację wzoru W. Budryka, w efekcie której zależność promienia zasięgu wpływów głównych od głębokości w górotworze przybiera postać:

$$r(z) = r_p \left(\frac{z + z_0}{H + z_0} \right)^n \quad (4)$$

gdzie:

z_0 - dodatkowy parametr opisany zależnością:

$$z_0 = \frac{Hm}{1-m}; \quad m = (1 - \exp(-0,0548(fg\beta)^{-1,962}))^{\frac{1}{n}}$$

Prace nad wartością parametru n prowadzone były również przez innych badaczy.

Poniżej zestawiono ważniejsze prace oraz odpowiadające im wielkości parametru n :

J. Gromysz [3] - $n=0.61$,

A. Kowalski i inni [6] - $n=0.73$,

Jakościowo nowe rozwiązanie zaproponował A. Kot [5], który na podstawie modeli z materiałów ekwiwalentnych wyznaczył następujące zależności:

$$r(z) = 548 \left(\frac{z}{H} \right)^{0.405} \quad - \quad \text{dla górotworu nienaruszonego,}$$

$$r(z) = 407 \left(\frac{z}{H} \right)^{0.344} \quad - \quad \text{dla górotworu naruszonego.}$$

W przypadku wyznaczania modeli numerycznych promień zasięgu wpływów głównych $r(z)$ na poszczególnych głębokościach wyznaczany jest z zależności Budryka-Knothe'go:

$$r(z) = \frac{W(z)_{\max}}{T(z)_{\max}} \quad (5)$$

gdzie:

$r(z)$ - promień zasięgu wpływów eksploatacji na głębokości z ,
 $W(z)_{\max}$ - osiadania maksymalne na głębokości z ,
 $T(z)_{\max}$ - maksymalne nachylenia na głębokości z .

Na podstawie przedstawionej powyżej zależności wyznaczone zostały wartości promieni zasięgu wpływów głównych wewnątrz górotworu, ustalonego ośrodka skalnego. Wyniki obliczeń zestawione zostały w tabeli 1, natomiast graficzną interpretację otrzymanych wartości promieni zasięgu eksploatacji $r(z)$ przedstawiono na rys.2. Celem porównania wyznaczone zostały przebiegi $r(z)$ na podstawie zależności W. Budryka, D. Krzysztóń oraz B. Drzęźli.

Ponieważ stosowanie zależności (4) wymaga znajomości promienia zasięgu wpływów głównych w stropie wyrobiska, jako r_0 przyjęto wartość promienia wyznaczoną z badań

modelowych (model 2 liniowo-sprężysty warstwowo ortotropowy). Model ten stanowił jednocześnie podstawę do wyznaczenia pozostałych parametrów ($tg\beta=2.34$ oraz $r_p=254.41m$), które wykorzystane zostały w zależności W. Budryka.

Tabela 1

Wartości promienia $r(z)$ dla poszczególnych modeli numerycznych i teoretycznych

Lp.	Warstwa w modelu	H [m]	$r(z)$				
			Model 1	Model 2	Krzysztoń	Budryk	Drzęźła
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Powierzchnia terenu	0	600.00	256.41	256.42	256.41	256.41
2	Spąg nadkładu	30	596.32	243.10	242.79	189.84	247.84
3	Warstwa 1	100	578.86	232.80	212.97	88.09	227.23
4	Warstwa 2	200	560.21	206.84	170.38	23.82	196.01
5	Warstwa 3	300	504.32	170.82	127.78	4.41	162.05
6	Warstwa 4	400	395.83	137.52	85.19	0.41	124.00
7	Warstwa 5	500	239.20	82.61	42.59	0.007	78.68
8	Strop pokładu	600	48.18	27.25	0	0	5.47

Model 1 - Układ ośrodków S-P-K oraz ośrodka lepko-sprężystego

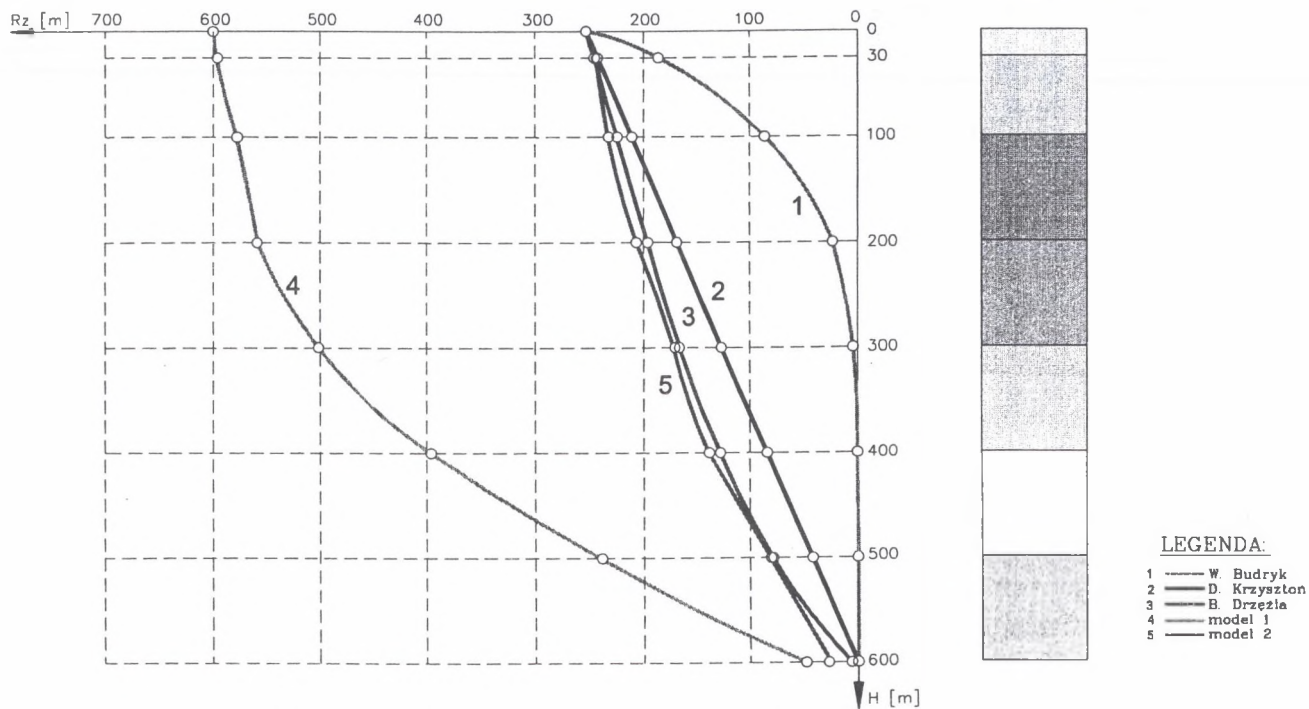
Model 2 - Model liniowo-sprężysty warstwowo ortotropowy

Przystępując do oceny przedstawionych powyżej zależności promienia zasięgu wpływów głównych w górotworze, należy zauważyć, iż w przypadku modelu pierwszego (układ ośrodka sprężysto-plastyczno-kruchego oraz ośrodka lepko-sprężystego) wartość promieni $r(z)$ na poszczególnych poziomach jest ok. dwukrotnie większa od wartości wyznaczanych na podstawie zależności analitycznej. Należy w tym miejscu podkreślić, że wartość $tg\beta$ wyznaczona dla powierzchni terenu oscyluje w granicach 1.

Znacznie korzystniej prezentuje się model drugi (model liniowo-sprężysty warstwowo ortotropowy). Wyznaczony na podstawie maksymalnych nachyleń i osiadań promień zasięgu wpływów głównych w górotworze jest jakościowo oraz ilościowo zbliżony do wartości wyznaczonych na podstawie zależności B. Drzęźli.

Oceniając pozostałe teoretyczne zależności promienia zasięgu wpływów głównych należy stwierdzić, że znacznie odbiegają one od zależności wyznaczonych na podstawie badań modelowych. Szczególnie dotyczy to wyznaczonych promieni na podstawie zależności W. Budryka, dla których w znacznej części ośrodka (do ok. 300 m nad eksploatowanym pokładem) wartość $r(z)$ jest zbliżona do zera. Ponadto opierają się one na założeniu, że wartość promienia zasięgu wpływów głównych dla stropu pokładu jest równa zero, czego nie potwierdziły badania modelowe.

Przebieg $r(z)$ wyznaczony na podstawie badań D. Krzysztoń wprawdzie wartościowo jest bardziej niż zależność W. Budryka zbliżona do badań modelowych, jednak liniowa zależność pomiędzy $r(z)$ a głębokością nie jest w stanie uwzględnić różnic w budowie warstwowej ośrodka.



Rys.2. Promienie zasięgu wpływów głównych wyznaczone dla poszczególnych modeli numerycznych i teoretycznych
 Fig.2. Radiuses of main range influences of models numerical and theoretical

4. Wnioski

Zastosowane w pracy modele stanowią wyidealizowane ośrodki skalne, w których nie uwzględniono nieciągłości wynikającej z geologicznej budowy górotworu. Oceniane zatem wartości promienia zasięgu wpływów w górotworze mogą być nieco zawyżone w stosunku do ich rzeczywistych wartości. Pomimo to w przypadku modelu stanowiącego kombinację ośrodków lepko-sprężystego oraz sprężysto-plastyczno-kruchego otrzymane wielkości $r(z)$ świadczą o niemożności odwzorowania końcowego stadium ruchów górotworu. Znacznie korzystniej na tym tle prezentuje się model liniowo-sprężysty, w którym zastosowano ortotropową budowę poszczególnych warstw.

Oceniając jakościowe przebiegi poszczególnych modeli należy zauważyć, że zastosowane modele numeryczne są zbieżne z modelem teoretycznym zaproponowanym przez B. Drzęźłę. Pewne odstępstwa od wzoru B. Drzęźli wynikają z warstwowej budowy górotworu, a pozostałe modele Budryka-Knothe'go oraz D. Krzyszoń znacznie odbiegają od otrzymanych wyników.

LITERATURA

1. BUDRYK W.: Wyznaczanie wielkości poziomych odkształceń terenu. Arch. Górn. i Hutn. T.I. z.1.
2. DRZEŹŁA B.: Filary szybowe – wyznaczenie, skutki pozostawienia i zasady wybierania. Materiały konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej 1996. S.91-105.
3. GROMYSZ J.: Rozkład przemieszczeń pionowych w górotworze w otoczeniu ścianowego wyrobiska eksploatacyjnego. Praca doktorska (niepublikowana) AGH, Kraków 1977.
4. KNOTHE S.: Wyznaczanie wpływów eksploatacji w filarach szybowych. Przegląd Górniczy 1969 nr 7-8.
5. KOT A.: Wpływ czynników geologiczno-górnich na kształtowanie się wskaźników deformacji powierzchni i parametry teorii S. Knothe'go i T. Kochmańskiego. Materiały konferencyjne. Komisja Ochrony terenów górniczych PAN, Katowice 1981.
6. KOWALSKI A.: Określenie zmienności parametru promienia zasięgu wpływów głównych w górotworze $r(z)$ teorii Budryka-Knothe'go na podstawie badań geodezyjnych przemieszczeń pionowych punktów górotworu. Praca doktorska (niepublikowana), Katowice 1984.
7. KRZYSZOŃ D.: Parametr zasięgu niecek osiadania w ośrodku sypkim. Arch. Górn. T.IV, z.1.

Abstract

In the paper shown dependence of radius main range influences in rock mass appointed on the basic of numerical models of rocky centres. In the paper one used two independent model variants, which was the basic of definite values of radius ranges on each depths in rock mass. As comparative material one used uniyersally practical dependence Budryk-Knothe, D. Krzysztoń and B. Drzęźła.

Analysis of results of computer simulation shown, that at use of numerical models exists possibility qualitative and quantitative estimations of phenomenon occurrences in real rock.