

Jan BIAŁEK¹

Politechnika Śląska, Gliwice

OPIS OBRZEŻA I AKTYWACJI ZROBÓW ZAIMPLEMENTOWANY W PROGRAMACH KOMPUTEROWYCH SERII EDN, EDBJ²

Streszczenie. W pracy przedstawiono własności operatorowych wzorów (4) i (6) opisujących profil niecki obniżeniowej z uwzględnieniem obrzeża eksploatacyjnego, zastosowanych w programach komputerowych autora do prognozowania deformacji terenu górniczego. Wzory te opisują występujące w praktyce efekt aktywacji zrobów położonych obok eksploatowanej parceli w tym samym pokładzie, czyli aktywację boczną, oraz efekt aktywacji zrobów położonych w pokładzie sąsiednim. Uwzględnienie tych efektów jest konieczne przy szczegółowej analizie wyników obserwacji.

DESCRIPTION OF THE BORDER AND ACTIVATION OF ABANDONED WORKINGS IMPLEMENTED IN COMPUTER PROGRAMS OF THE SERIES EDN AND EDBJ

Summary. The paper presents the operating properties of equations (4) and (6) describing the profile of subsidence trough, allowing for mining edge, applied in the author's computer programs for the prediction of mining deformations. The equations describe the effect involving the activation of goafs located in the vicinity of the mining lot being mined in the same bed, that is lateral activation, and the effect involving the activation of goafs located in the neighboring bed. The effects mentioned above must be taken into consideration when carrying out a detailed analysis of observation results.

¹ Dr hab. inż. Profesor Politechniki Śląskiej bialek@zcus.polsl.gliwice.pl

¹ PhD. DSc(Eng) Professor of Sil.Inst.Technology bialek@zcus.polsl.gliwice.pl

² Edukacyjną wersję programów EDBJ1, EDBJ2 można pobrać ze strony internetowej autora:

² The educational version of the programs EDBJ1, EDBJ2 can be taken from the author's

internet page: <http://rg6.gorn.polsl.gliwice.pl/bialek>

1. Różnice kształtu pomierzonego i teoretycznego profilu niecki obniżeniowej

Wszystkie geometryczno - całkowe teorie opisujące deformacje górotworu i powierzchni wskutek podziemnej eksploatacji górniczej opisują te wpływy w sposób liniowy. Liniowość tę można rozumieć na dwa sposoby:

- wzory opisują liniową zależność pomiędzy wielkością wpływów a grubością wybieranego pokładu (wysokością furty eksploatacyjnej), np. dla dwukrotnie grubszego pokładu otrzymamy dwukrotnie większe wpływy (obniżenie, odkształcenie itp.),
- druga liniowa własność wzorów wynika wprost z podstawowej własności całek oznaczonych – jeśli rozważać wpływy eksploatacji dwóch parcel S_1 i S_2 , to otrzymamy zależność:

$$w(S_1+S_2) = w(S_1) + w(S_2) \quad (1)$$

Zgodnie z zależnością (1) obniżenia (dotyczy to również wszystkich wskaźników deformacji) obliczone dla eksploatacji po obszarze $S = S_1 + S_2$ są równe sumie obniżeń obliczonych odrębnie dla pól S_1 i S_2 .

Własność określona wzorem (1) bywa nazywana zasadą liniowej superpozycji wpływów.

Wynika z niej również, że w przypadku gdy obszary S_1 i S_2 są dostatecznie duże i na prostoliniowej krawędzi łączącej te obszary obliczone obniżenie osiąga wartość $w(S_1+S_2) = ag$, to obniżenie obliczone w tym punkcie odrębnie dla tych pól musi być dwukrotnie mniejsze, czyli $w(S_1) = w(S_2) = 0.5ag$.

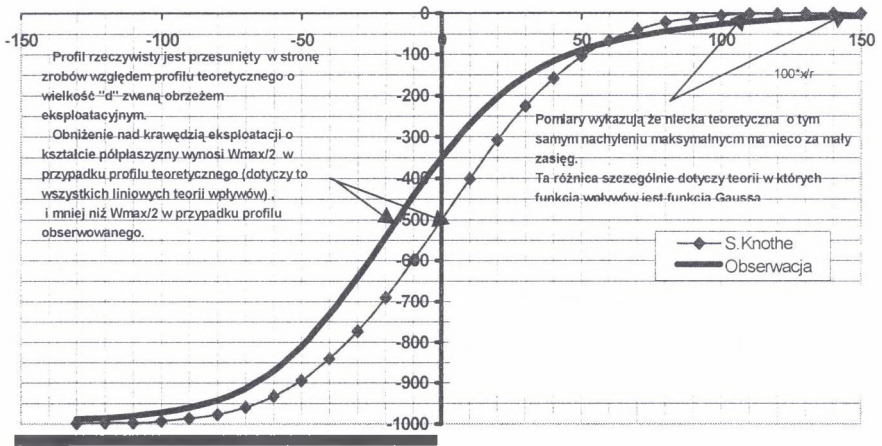
Można zatem powiedzieć, że liniowość teorii sprawia, że nad krawędzią eksploatacji obliczone obniżenie osiąga wartość $w = 0.5w_{\max}$. Profil teoretyczny niecki (rys.1) jest symetryczny względem punktu położonego na tym profilu nad krawędzią eksploatacji.

Pomiary geodezyjne wykazują na dwie wyraźne różnice między profilem teoretycznym a profilem rzeczywistym. Pokazano je na rys.1.

Obserwowane obniżenie nad krawędzią eksploatacji jest znacznie mniejsze od $0.5w_{\max}$. Profil niecki obniżeniowej jest asymetryczny względem punktu położonego nad krawędzią eksploatacji. Obniżenie o wielkości $0.5w_{\max}$ występuje nad zrobami w odległości "d" od krawędzi eksploatacji. Odległość "d" jest nazywana obrzeżem eksploatacyjnym³. Przyczyną

³ Powyższa rozbieżność obserwacji z teorią dotyczy będzie wszystkich liniowych teorii wpływów, do których możemy zaliczyć teorię T. Kochmańskiego, teorię W. Budryka – S. Knothego, teorię J. Litwiniszyna i

tej rozbieżności jest występowanie wspornika skał stropowych, który sprawia, że obniżenie stropu w rejonie krawędzi eksploatacyjnych jest mniejsze niż $w_{max}=ag$ oraz zmiany objętości górotworu w rejonie krawędzi eksploatacyjnej spowodowane odkształceniami postaciowymi o znacznych wielkościach, które powodują zmiany objętościowe górotworu.



Rys. 1. Różnice między rzeczywistym a teoretycznym profilem niecki obniżeniowej według S. Knothe

Fig. 1. Differences between true profile of subsidence trough and theoretical profile acc. S. Knothe

Teoretyczny profil obniżenia opisywany wzorami S. Knothe [7], J. Litwiniszyna, S. Szpetkowskiego [14] za pomocą całki z funkcji Gaussa, charakterystyczny dla ośrodka sypkiego, cechuje się nieco za krótkim zasięgiem w stosunku do profilu pomierzonego. Wynika to z własności funkcji Gaussa. Błąd ten staje się szczególnie wyraźny, gdy próbujemy usunąć drugi z wymienionych błędów przesuwając o wielkość „d” w kierunku zrobów krawędź teoretyczną względem krawędzi rzeczywistej. Skrócenie zasięgu może również wynikać z podwyższenia wartości $tg\beta$, gdy chcemy prawidłowo opisać maksymalne wartości nachylenia niecki obniżeniowej. Wymienione odstępstwa profilu teoretycznego od wyników obserwacji nie mają istotnego znaczenia praktycznego w przypadku większości rutynowych prognoz deformacji, są natomiast istotne w przypadku szczegółowych prognoz, w których dowiezujemy się do wyników obserwacji, prognoz, w których przedmiotem analizy

wynikające z niej wzory S. Szpetkowskiego. Ponadto dotyczy ona również grupy rozwiązań wyprowadzonych dla ośrodka liniowo sprężystego w których założono przemieszczeniowe warunki brzegowe na brzegu pół przestrzeni (rozwiązanie 3 wymiarowe) lub pół płaszczyzny sprężystej (rozwiązanie 2 wymiarowe), w postaci funkcji progowej. Rozwiązania takie podali między innymi Berry – Sales , H. Gil , F. Dymek .

są niepełne niecki obniżeniowe, analiz wyników obserwacji wykonywanych w celu wyznaczenia parametrów teorii itp.

2. Możliwość automatycznej operatorowej modyfikacji profilu niecki obniżeniowej zaimplementowana w programach EDN1, EDN2, EDBJ1, EDBJ2

Dotychczasowe sposoby operatorowego opisu asymetrycznego profilu niecki obniżeniowej

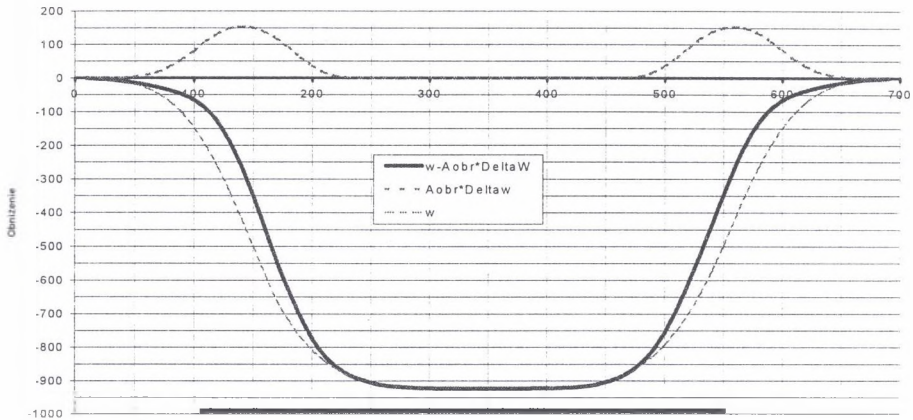
Stosownie do występowania dwóch przyczyn obserwowanej asymetrii wpływów istnieją dwie metody opisu tej asymetrii, tj. *metoda geometryczna* i *metoda operatorowa*. Pojęciowo najprostsza jest metoda geometryczna.

W metodzie geometrycznej profil niecki obniżeniowej można modyfikować przez odpowiednią manipulację danymi opisującymi eksploatację górniczą, np. wprowadzając do obliczeń kontury parcel przesunięte o wielkość obrzeża w stronę zrobów. Opcja automatycznego przesunięcia krawędzi eksploatacyjnej w stronę zrobów jest zaimplementowana w programach B. Drzęźli [4], które rozpatrują końcowe deformacje terenu górniczego. W programach autora [2], gdzie rozpatrywana jest zmienna w czasie geometria zrobów eksploatacyjnych, zastosowano drugą z wymienionych metod, tzw. metodę operatorową, która nie wymaga ingerencji w geometrię pola eksploatacyjnego.

Problem doskonalenia opisu profilu niecki obniżeniowej w celu uzyskania lepszej zgodności prognozy z obserwacją bez ingerencji w geometrię zrobów posiada bogatą literaturę. Wymienić tu należy prace B. Dżegniuka [3], S. Grenia [5] i J. Zycha [15]. Autorzy ci przyjmowali pewne funkcje delinearizujące w postaci odpowiednich operatorów, których argumentami były liniowe funkcje wpływów T. Kochmańskiego [8] lub S. Knothego [7].

Zagadnienie desymetryzacji profilu niecki obniżeniowej wskutek zmian objętości ośrodka stochastycznego było rozważane przez J. Litwiniszyna i A. Smolarskiego [10]. W celu uzyskania równania profilu niesymetrycznej niecki obniżeniowej autorzy rozwiązują nieliniowe równanie różniczkowe, przyjmując, głównie ze względu na prostotę obliczeń, że nieliniowy przyrost $\Delta \varepsilon_z$ jest zależny od kwadratu nachyleń. Założenie to znajduje potwierdzenie w wynikach badań modelowych [7]. Problemem opisu obrzeża zajmowali się również W. Piwowarski [12] i S. Szpetkowski [14].

Postać wzorów opisujących obniżenia zastosowane w programach komputerowych



Rys. 2. Operatorowy sposób uwzględnienia obrzeża zastosowany w programach komputerowych
 Fig. 2. Operator method to allow for the border, applied in computer programs

W użytkowanych od 1987 roku programach komputerowych **EDN1**, **EDN2** [2] jest zaimplementowany operatorowy sposób modyfikacji profilu niecki obniżeniowej, nawiązujący jednak do zagadnienia wzrostu objętości górotworu wskutek odkształceń spowodowanych eksploatacją górnictwem. Istota zastosowanego opisu polega na przyjęciu założenia, że obniżenie W możemy obliczać jako sumę wpływów liniowych w obliczonych np. wzorami S. Knothe'go lub T. Kochmański'ego i pewnej nieliniowej poprawki Δw . Zilustrowano to na rys. 2.

$$W = w + \Delta w(\gamma, w) \quad (2)$$

Poprawka Δw jest tu funkcją odkształcenia γ i liniowego (w sensie liniowej superpozycji wpływów) obniżenia w . Odkształcenie γ jest uproszczoną formą odkształcenia oktaedrycznego γ_{oct} , odgrywającego istotną rolę w wytrzymałości materiałów. Autor w pracy [1] pokazał, że odkształcenie oktaedryczne może być argumentem funkcji opisującej zmiany objętościowe górotworu deformowanego eksploatacją górnictwem.

Wzór na odkształcenie oktaedryczne γ_{oct} przy pominięciu ruchów poziomych i zastosowaniu do opisu jego składowych wzoru S. Knothe'go ma postać [1]:

$$\gamma^2 \approx \gamma_{\text{oc}}^2 \approx \frac{4}{3} \varepsilon_z^2 + T_x^2 + T_y^2 \approx \left[A_2 \cdot r \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right]^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \quad (3)$$

Odształcenie γ ma następujące własności:

- Jest niezmiennikiem obrotu względem pionowej osi z.
- Osiąga maksymalną wartość nad krawędzią eksploatacji (odkształcenie pionowe ε_z jest kilkakrotnie mniejsze od nachylenia maksymalnego T) i maleje do wartości zerowej w pewnej odległości od krawędzi eksploatacji.

W programach EDN1, EDN2 zastosowano następujący operatorowy wzór opisujący asymetryczny profil niecki obniżeniowej:

$$W = w + \Delta w = w(r_{2..}) + A_1 \cdot \left(\sqrt{2[r_1 \cdot \gamma(r_{1..})]^2 + w(r_{2..})^2} + w(r_{2..}) \right), \quad (4)$$

gdzie:

$w(r_{1..})$ i $w(r_{2..})$ – obniżenia (nad pokładem posiadają znak (-)) obliczone ze wzoru S. Knothego przy przyjęciu promieni rozproszenia wpływów $r=r_1$ i $r=r_2$.

$$r_1 = 0.7071 r_2; \quad (4a)$$

$$r_2 = \left(\frac{h}{tg \beta} \right) \cdot (1 - 0.82696 \cdot A_1 - 2.8736 \cdot (A_1)^2 + 5.878 \cdot (A_1)^3) \quad (4b)$$

$\gamma(r_1)$ – odkształcenie obliczone ze wzoru (3) przy założeniu, że promień rozproszenia wpływów $r=r_1$, natomiast parametr $A_2=0.275$;

A_1 (lub A_{obr}) – parametr ujmujący asymetrię profilu niecki obniżeniowej. Jego wielkość za J. Zychem [15] jest zdefiniowana jest jako stosunek wielkości poprawki desymetryzującej profil nad krawędzią pełnej niecki obniżeniowej do maksymalnej wielkości obniżenia pełnej niecki obniżeniowej.

$$A_1 = \frac{-\Delta w(x=0)}{W_{\max}} = \frac{0.5W_{\max} - W(x=0)}{W_{\max}} \approx d/r, \quad (5)$$

gdzie:

$W_{\max}=ag$ - maksymalne obniżenie pełnej niecki obniżeniowej,

$W(x=0)$ - pomierzone lub obliczone wzorem (4) obniżenie pełnej niecki obniżeniowej nad krawędzią eksploatacji.

Opisywany na wstępie wzór (4) dobrze opisuje obniżenia wtedy, gdy obrzeże d nie przekracza wartości $d < 0.15r$ lub odpowiednio $d < 0.075h$ (h -głębokość eksploatacji). Obrzeże o tej wielkości występuje w warunkach górotworu naruszonego lub mało związłego

i nienaruszonego, dlatego autor prowadził dalsze prace nad opracowaniem wzoru, który pozwalałby na opis obniżenia w warunkach górotworu zwięzłego, gdy obrzeże przekracza średnią wartość $0.15r$.

Wynikiem tych prac [1] [13] jest wzór (6) stosowany w nowej serii programów EDBJ, opisujący obniżenia W_k :

$$W_k = (1 - a_w)w(r_1) + a_w w(r_2) - A_l \left(2 + \frac{A_3}{2}\right) \frac{w(r_1)[r_1 \gamma(r_1)]^2}{A_3 [0.5w(r_1) + 0.5w(r_2)]^2 + [r_1 \gamma(r_1)]^2}, \quad (6)$$

gdzie:

$A_l = A_{obr}$, $w(r_1)$, $w(r_2)$ – obniżenie obliczone wzorem S. Knothego z zastosowaniem promieni r_1 , r_2 ; $A_3 = 6.667$;

$\gamma(r_1)$ – zgodnie ze wzorem (3) dla $A_2 = 0.25$;

$$a_w = 0.4 - 1.25 A_l; \quad r_1 = \frac{h}{tg \beta} F(A_l); \quad r_2 = 2 r_1$$

Tablica 1

| | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A_l | 0 | 0,050 | 0,100 | 0,150 | 0,200 | 0,250 | 0,300 |
| $F(A_l)$ | 0,800 | 0,844 | 0,916 | 1,003 | 1,099 | 1,200 | 1,303 |

Własności wzorów opisujących asymetryczny profil niecki obniżeniowej zastosowanych w programach EDN1, EDN2, EDBJ1, EDBJ2

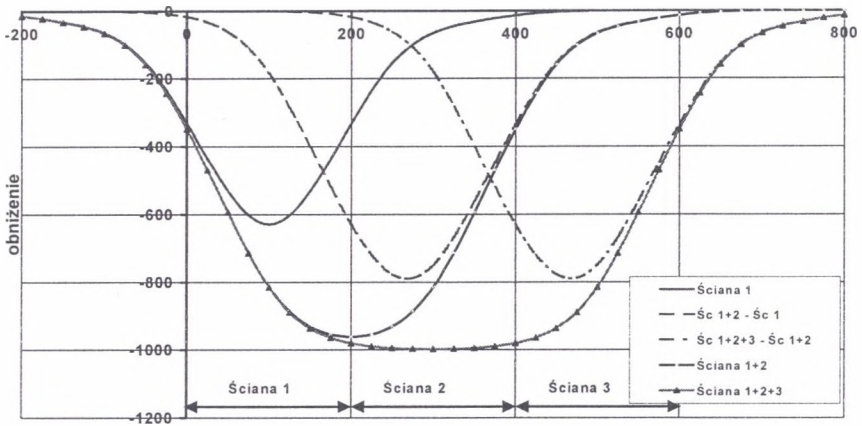
Wzory (4) i (6) posiadają następujące własności:

- Dla $A_l = 0$ (brak obrzeża) wzór (4) redukuje się do klasycznej postaci proponowanej przez S. Knothego.
- Parametr A_l zwany też w instrukcji programów parametrem A_{obr} lub A_{obr} może przybierać wartość $0 < A_{obr} < 0.15$ wzór (4) lub $0 < A_{obr} < 0.3$ wzór (6).
- Poprawka Δw występująca we wzorach (3) i (6) jest proporcjonalna do maksymalnego obniżenia w_{max} . Umożliwia to jej obliczanie również w przypadku sumowania wpływów dowolnej ilości parcel różniących się grubością eksploatacyjną g i niezbyt mocno różniących się głębokością (dopuszcza się maksymalne różnice głębokości o ok. 50%).

- Wielkości promieni rozproszenia wpływów r_1 , r_2 są w ten sposób funkcyjnie uzależnione od parametru A_1 i promienia $r=h/tg\beta$, że maksymalne nachylenie występujące w rejonie krawędzi eksploatacji jest takie samo jak w klasycznym wzorze S. Knothego [7]. Dzięki temu stosując wzory (3) i (6) można korzystać z całego dotychczasowego dorobku w zakresie wyznaczania parametru $tg\beta$ na podstawie geodezyjnych pomiarów obniżeń.

3. Nieliniowe efekty opisywane wzorami (3) i (6)

Opis obrzeża i aktywacji bocznej



Rys. 3. Nieliniowe sumowanie obniżeń spowodowanych eksploatacją kolejnych trzech pól ścianowych o tej samej szerokości

Fig. 3. Non-linear summation of subsidence cases effected by mining of three subsequent longwall fields of the same width

Na rys.3 pokazano wynik nieliniowego sumowania obniżeń spowodowanych eksploatacją kolejnych trzech pól ścianowych o tej samej szerokości 200m. Do uzyskania wyników pokazanych na tym rysunku przyjęto następujące parametry:

głębokość eksploatacji $h=400m$.; $tg\beta=2$ –parametr teorii S. Knothego

Maksymalne obniżenie stropu $w_{max}=a \cdot g=1000mm$

$A_1=0.15$, co oznacza, że będzie opisywany efekt obrzeża o szerokości $d \approx 0.15 \cdot r=30m$.

Programy EDN1, EDBJ1 pozwalają na obliczanie przyrostów deformacji w dowolnie zadanym przedziale czasu.

Z uwagi na nieliniowość wzorów (4) i (6), aby obliczyć przyrost obniżeń spowodowany eksploatacją ściany 2 należało obliczyć obniżenia dla połączonych pól ścianowych 1+2 i odjąć od nich obniżenia wynikające z eksploatacji ściany 1, co możemy symbolicznie zapisać:

$$W(\text{ściany 1})=W(\text{ścian 1+2})-W(\text{ściany 1})$$

Podobnie, aby obliczyć obniżenia spowodowane eksploatacją ściany 3, należy obliczyć obniżenia dla połączonych pól ścianowych 1+2+3 i odjąć od nich obniżenia obliczone dla połączonych pól ścianowych 1+2, co symbolicznie zapisujemy:

$$W(\text{ściany 2})=W(\text{ścian 1+2+3})-W(\text{ścian 1+2})$$

Z rys. 3 widać, że przyrosty obniżeń od eksploatacji kolejnych ścian istotnie różnią się między sobą.

Najmniejszy przyrost obniżeń spowodowało wybranie pola ściany 1 wybranej w pierwszej kolejności. Przy obliczaniu wzorami (4) lub (6) wpływów ściany 1 automatycznie został uwzględniony efekt obrzeża ze wszystkich stron pola ścianowego. Aby osiągnąć taki sam efekt metodą geometryczną należałoby przyjąć do obliczeń zmniejszone pole ścianowe przez przesunięcie krawędzi do środka o 30 m. W efekcie obliczone obniżenie jest podobne do obniżenia spowodowanego wybraniem pola ścianowego o szerokości $L=200\text{ m}-2\cdot 30\text{ m}=140\text{ m}$.

Przy eksploatacji ściany 2 i ściany 3 wystąpiły maksymalne obniżenia jak dla pola ścianowego o szerokości 200m. Profile obniżeń są przesunięte względem ściany 2 i ściany 3 w lewo o ok. 60m. Dzieje się tak dlatego, że w przypadku eksploatacji ściany 2 aktywacji ulega przylegająca do niej część zrobów ściany 1, które przy ocenie wpływów ściany 1 nie była uwzględniana. Następuje rozszerzenie wpływów nad zroby ściany już wybranej ściany 1 (*aktywacja boczna*), natomiast od strony nie wybranej ściany 3 występuje efekt obrzeża, przesuwający wpływy w lewo o ok. 30m. Podobnie jest z wpływami ściany 3. Gdyby policzyć programem EDN1 lub EDBJ1, wpływy ściany 2 osobno, nie wprowadzając do komputera danych o ścianach 1 i 3, to uzyskalibyśmy nad polem ściany 2 identyczny obraz wpływów jak dla ściany 1.

Programy EDN1 i EDN2, EDBJ1, EDBJ2 rozpatrują wpływy w czasie. Aby uzyskać wyodrębnienie wpływów kolejnych ścian jak na rys. 2 konieczne było opisanie ich w czasie jako prowadzonych odrębnie w kolejnych latach. W tab. 2 zestawiono dane do programów EDN1 lub EDBJ1, którymi posłużono się do wykonania obliczeń; wyniki pokazano na rys. 3.

Tablica 2

Dane do programu EDN1 lub EDBJ1 zastosowane do wykonania obliczeń pokazanych na rys. 3

```
'dane opisujące eksploatacje 3 ścian zastosowane do wykonania obliczeń z rys.3'
'poklad1' 'sc1' 400 0.8 1250 4 80.0101 1 1105 80.1230
200 -500
200 500 ściana 1 H=400m wybieg 1000 długość śc.200m ag=1000mm
0 500 Eksploatacja w 1980r
0 -500
'poklad1' 'sc2' 400 0.8 1250 4 81.0101 1 1105 81.1230
400 -500
400 500 ściana 2 H=400m wybieg 1000 długość śc.200m ag=1000mm
200 500 Eksploatacja w 1981r
200 -500
'poklad1' 'sc3' 400 0.8 1250 4 82.0101 1 1105 82.1230
600 -500
600 500 ściana 3 H=400m wybieg 1000 długość śc.200m ag=1000mm
400 500 Eksploatacja w 1982r
400 -500

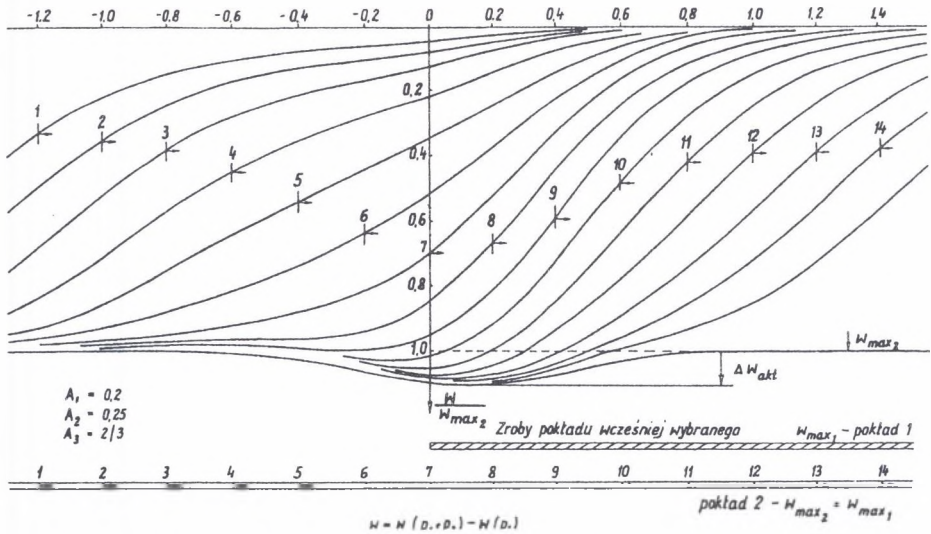
'Dane sterujące do programu EDN1 (EDBJ1) do wykonania obliczeń z rysunku 3'
1 -Ilość czytanych zbiorów z parcelami
'3SCIANY' 1 Nazwa pliku z parcelami, Ilość wyodrębnionych grup parcel
1 3 2 0 0.4 1 -Jpoc Jkonc tgb0 dtgb/dz B/r Aeks
1 Ilość plików z punktami obliczeniowymi
'punktyob' 1 100 Nazwa pliku, czytać punkty Od do
0 Ilość plików danych opisujących nadkład (tu nie opisano nadkl.)
280 75 0.7 0.15 0 0 1.0 1 Wys_pow. Grub.nadkl. Wsp._k Aobr C1*r C2 Trel Arel
5 -Ilość czasookresów obliczeniowych
80.0101 80.1230 -okres eksploatacji 1 ściany
81.0101 81.1230 -okres eksploatacji 2 ściany
82.0101 82.1230 -okres eksploatacji 3 ściany
80.0101 81.1230 -okres eksploatacji ścian 1+2
80.0101 82.1230 -okres eksploatacji ścian 1+2+3
```

Opis aktywacji zrobów w pokładzie wyżej leżącym

Wzór (6) oraz wzór (4) (nieco gorzej) opisują proces aktywacji zrobów w pokładach sąsiednich. Dotyczy to części zrobów wzdłuż krawędzi eksploatacyjnych.

Na rys. 4 pokazano obliczone programem EDBJ1 przy zastosowaniu wzoru (6) profile niecek obniżeniowych w obecności zrobów pokładu wyżej leżącego. Kolejne profile odpowiadają kolejnym położeniom krawędzi eksploatacyjnej względem krawędzi w pokładzie wyżej leżącym. Widać, że zgodnie ze wzorem (6) w obecności krawędzi blisko

leżącego pokładu o tej samej grubości może nastąpić wzrost obniżeń nawet o kilkanaście procent wartości ag.



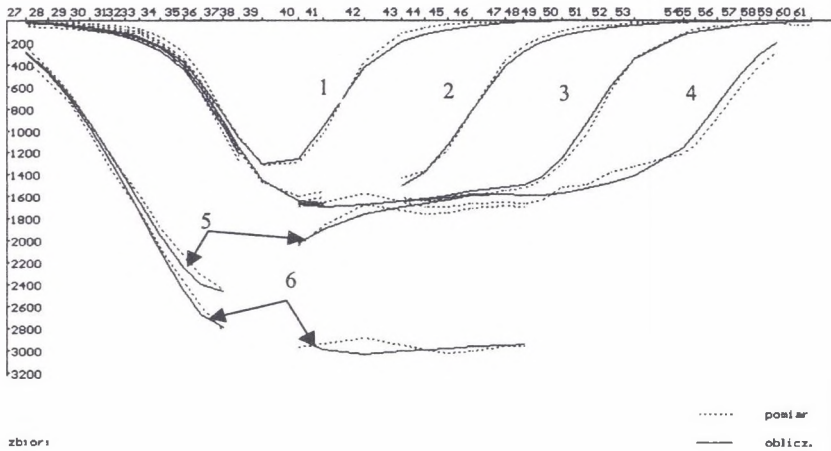
Rys. 4. Wpływ aktywacji zrobów w pokładzie wyższym na kształt niecki obniżeniowej

Fig. 4. Influence of the activation of abandoned workings in the upper bed on the shape of subsidence trough

Czy zjawiska opisane powyżej są obserwowane w praktyce?

Pozytywnej odpowiedzi na to pytanie dostarcza literatura dotycząca problemu aktywacji zrobów: A. Kot, [9], K. Opałka [11] oraz prezentowane dalej porównanie wyników pomiarów geodezyjnych z wynikami obliczeń dla linii 1a KWK "Chwałowice" (rys.5). Punkty obserwacyjne tej linii były poddane wpływowi eksploatacji 3 pokładów (354, 356 i 360). Aproksymację wyników pomiarów wzorem (6) charakteryzował błąd średni dla 6 cykli pomiarowych mniejszy niż 1,6% maksymalnych obniżeń przy zachowaniu warunku stałości wyznaczonych parametrów a , A_1 , $\text{tg}\beta$. Pokazane na rys.5 cykle 1-4 obrazują wpływy eksploatacji kolejnych 4 ścian w pokładzie 354.

Na przykładzie obniżeń w tych cyklach pomiarowych widać wyraźnie, że obniżenia przebiegają zgodnie z opisem pokazanym w rozdziale 3.1, w którym omawiano problem wpływu obrzeża i aktywacji bocznej na wielkość obniżeń.

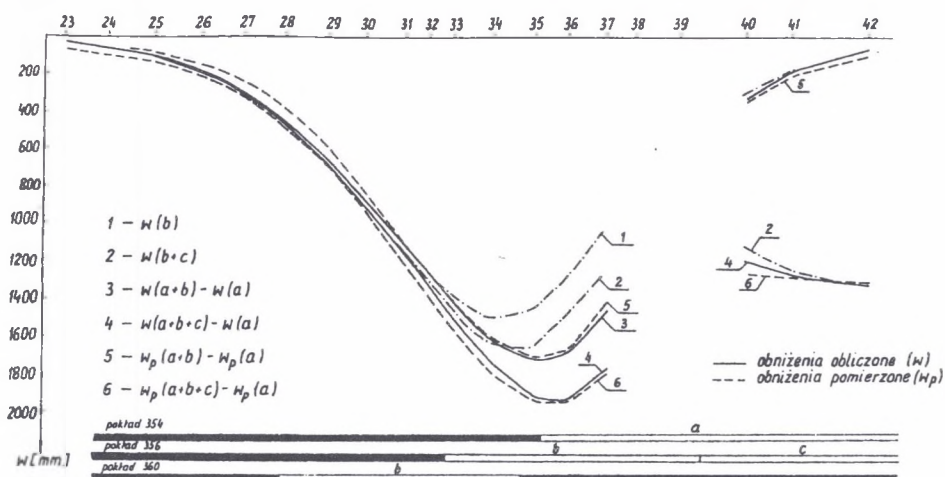


Rys. 5. KWK "Chwałowice", linia 1a –obniżenia pomierzone i teoretyczne obliczone wzorem (6) dla eksploatacji w 3 pokładach. Wyznaczone wspólne dla 3 pokładów parametry teorii – $\text{tg}\beta=2.23$; $a=0.99$; $A_{\text{obr}}=0.150(d\cong 0.65h)$ błąd średni=50mm

Fig. 5. Coal Mine 'Chwałowice', line 1a – subsidence measured and theoretically calculated with the equation (6) for the mining in three beds. Determined theory parameters common for three beds - $\text{tg}\beta=2.23$; $A_{\text{obr}}=0.150(d\cong 0.65h)$, mean error = 50mm

Cykle 5 i 6 obrazują wpływy eksploatacji w pokładach 356 i 360. Widać, że obliczenia prognostyczne dla tych cykli są zgodne z wynikami pomiarów geodezyjnych.

Gdyby jednak obliczyć przyrost deformacji w okresie pomiędzy cyklami 4-5 i 4-6 bez uwzględnienia obecności zrobów w pokładzie 354, to uzyskamy znaczną rozbieżność pomiędzy pomiarem a prognozą. Wyniki takiej analizy pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Przyrost obniżeń punktów linii 1a KWK „Chwałowice” w okresie cykli pomiarowych 4-5 i -6

- 1,2 - Obliczone przyrosty obniżeń w okresach 4-5 oraz 4-6 bez uwzględnienia obecności zróbów pokładu 354; widać znaczny błąd opisu obniżeń
- 3,4 - Obliczone przyrosty obniżeń w okresach 4-5 oraz 4-6 z uwzględnieniem obecności zróbów pokładu 354; duża zgodność obliczeń z obserwacją
- 5,6 - Pomierzone przyrosty obniżeń w okresach pomiędzy cyklami 4-5 oraz 4-6

Fig. 6. Subsidence increase of the points of line 1a of Coal Mine 'Chwałowice' covering the measurement cycles 4-5 and 4-6

4. Podsumowanie

Wzory (4), (6) autora zastosowane w programach komputerowych serii EDN, EDBJ opisują obniżenie W terenu górniczego z uwzględnieniem obrzeża eksploatacyjnego. Są one zbudowane jako suma obniżeń liniowych w i nieliniowej poprawki $A_1 \cdot \Delta w(\gamma, w)$.

$$W = w + A_1 \cdot \Delta w(\gamma, w) \quad (2')$$

Część liniowa w jest opisywana wzorem S. Knothego (wzór (4)) lub jego liniową kompozycją (wzór (6)), natomiast nieliniowa poprawka $A_1 \cdot \Delta w(\gamma, w)$ zmniejszająca wartość obniżenia w rejonie krawędzi eksploatacyjnych umożliwia opis efektu obrzeża i aktywacji starych zróbów.

Argumentem poprawki $\Delta w(\gamma, w)$ jest wyrażenie γ stanowiące uproszczoną formę odkształcenia oktaedrycznego, które w sposób ogólny opisuje deformacje wnętrza górotworu,

szczególnie w rejonie krawędzi eksploatacyjnych. Opis obniżeń uzyskiwany wzorem o postaci (2') jest nieliniowy w tym sensie że nie spełnia zasady superpozycji wpływów (1).

W szczególności obniżenie spowodowane eksploatacją pola S_2 w obecności starego pola S_1 musimy obliczać jako różnicę pomiędzy obniżeniem całkowitym $W(S_2+S_1)$ (spowodowanym starą i nową eksploatacją) a obniżeniem spowodowanym starą eksploatacją.

$$W(S_2)=W(S_2+ S_1)- W(S_1)$$

W konsekwencji wzory te (w szczególności wzór (6)) umożliwiają również opis aktywacji bocznej, czyli aktywacji części starych zrobów w tym samym pokładzie, przylegających do nowej eksploatacji oraz opisu aktywacji zrobów w pokładach sąsiednich.

Pokazany przykład z linii obserwacyjnej 1a KWK "Chwałowice" pokazuje, że opis ten jest wysoce zgodny z obserwacją.

Pewną uciążliwością w zakresie wykonania prognozy wpływów spowodowanych eksploatacją S_2 jest konieczność wprowadzenia do komputera obok danych o eksploatacji projektowanej S_2 również danych o eksploatacji dokonanej S_1 .

LITERATURA

1. Białek J.: Opis nieustalanej fazy obniżeń terenu górniczego z uwzględnieniem asymetrii wpływów końcowych: Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z.194, Gliwice 1991.
2. Białek J.: Komputerowy system prognozowania deformacji terenu górniczego –jego rozwój i zastosowanie. V Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych. Prace GIG, s. Konferencje, nr 30, 1999r.
3. Dżegniuk B.: Niektóre efekty nieliniowe w procesie osiadania nad eksploatacją górniczą. Zeszyty Naukowe AGH, s. Geodezja, z.34, Kraków 1975.
4. Drzęźła B.: Opis programów do prognozowania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej - aktualny stan oprogramowania. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 165, Gliwice 1989.
5. Greń K.: Próba ujęcia asymetrii wpływów eksploatacji górniczej przy poziomym zaleganiu pokładów. PAN Oddz. w Krakowie. Prace Komisji Górniczo -Geodezyjnej. Geodezja, z. 29, 1981r.
6. Knothe S.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, t. I, z.1, 1953.

7. Knothe S.: Badania modelowe przemieszczeń w ośrodku sypkim i możliwości zastosowania otrzymanych wyników do zagadnień przemieszczeń górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. *Archiwum Górnictwa* tom. XV, z.1, 1970.
8. Kochmański T.: Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. PAN, Warszawa 1956.
9. Kot A., Opałka K.: Sposób uwzględnienia aktywacji starych zrobów w metodach prognozowania wpływów eksploatacji górniczej. *Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo*, z.158,1989.
10. Litwiniszyn J., Smolarski A.: A Contribution to Mechanics of a Quasi - Stochastic Bodies. *Bull. Acad. Pol. Sci. Ser. Techn. Volume X, No 6*, 1962.
11. Opałka K.: Wpływ aktywacji eksploatacji dokonanych na kształtowanie się wskaźników deformacji powierzchni. Praca doktorska niepublikowana. *Pol. Śl.* 1983.
12. Piwowarski W.: Opis przemieszczeń pionowych aktywnego procesu deformacji górotworu w warunkach eksploatacji górniczej. *Zeszyty Naukowe AGH, s. Geodezja*, z. 106, Kraków 1989.
13. Praca zbiorowa wykonana pod kierunkiem J. Białka: Czasoprzestrzenny model opisu deformacji terenu górniczego uwzględniający zmiany objętości deformowanego górotworu i wpływy dalekie. Sprawozdanie z realizacji grantu KBN nr.9 T12A 027 09, Gliwice 1998.
14. Szpetkowski S.: Kształtowanie się deformacji na powierzchni pod wpływem wybierania poziomych złóż pokładowych w świetle badań profilu ostatecznej niecki osiadania. *Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej PAN, Górnictwo 7*, Kraków 1969.
15. Zych J.: Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu. *Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo*, z. 164, Gliwice 1987.

Recenzent: Dr inż. Piotr Trzcionka

Abstract

The paper presents the properties of operator equations (4) and (6), which describe the profile of subsidence trough, applied in the author's computer program for the prediction of mining area deformation. The said equations, based on S.Knothe equation, enable to describe the shift of influence towards abandoned workings observed in practice (border effect) and they also better describe so called far influences taking place at the distance of $0.4h \div 0.8h$ from the mining edge. Furthermore, the equations describe the activation effect of abandoned workings located next to the lot being mined in the same bed, a so called lateral activation, as well as the activation effect of abandoned workings located in the neighboring bed, which is taking place in practice. The said effects must be taken into account when analyzing in detail the results of observation. The paper also contains complete numerical data for the program which were applied to carry out prediction calculations described in the paper.