

Geodezja i geoinformatyka XXI wieku

**XXI Jesienna Szkoła Geodezji
im. Jacka Rejmana**

Polanica Zdrój, 1–3 października 2009 r.



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej · Wrocław 2009

Organizatorzy konferencji

Politechnika Wrocławska

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

Instytut Górnictwa

Zakład Geodezji i Geoinformatyki

Stowarzyszenie Geodetów Polskich Oddział we Wrocławiu

Patronat

Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Główny Geodeta Kraju

JM Rektor Politechniki Wrocławskiej

Marszałek Województwa Dolnośląskiego

Barbara KUDRYCKA

Jolanta ORLIŃSKA

Tadeusz WIĘCKOWSKI

Marek ŁAPIŃSKI

Komitet naukowy

Edward OSADA (przewodniczący), Henryk BRYŚ, Stefan CACON, Adam CHRZANOWSKI,
Jerzy GAŹDZICKI, Anna SZOSTAK-CHRZANOWSKI, Józef WOŹNIAK

Redaktor naukowy

Walter BARTELMUS

Komitet organizacyjny

Andrzej DUDEK (przewodniczący), Józef WOŹNIAK (sekretarz), Janusz CIEŚLA,
Tadeusz GŁOWACKI, Wojciech MILCZAREK, Helena Klaudia SZCZEPANIK,
Tadeusz WIŚNIEWSKI

Opracowanie redakcyjne, skład i łamanie

Jarosław GOGOLEWSKI

Artykuły przyjęto do druku po zrecenzowaniu

Wydrukowano na podstawie dostarczonych materiałów

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki, zarówno w całości,
jak i we fragmentach, nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny,
fotograficzny i inny bez zgody wydawcy i właścicieli praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009

OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

<http://www.oficyna.pwr.wroc.pl>; e-mail: oficwyd@pwr.wroc.pl

ISSN 0324-9670

Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej. Zam. nr 1039/2009.

*metoda elementów skończonych, górnictwo,
aktywność uskoku tektonicznych*

Ewa SUDOŁ, Wojciech MILCZAREK*
Stefan CACON*, **

MONITOROWANIE AKTYWNOŚCI STREF PRZYUSKOKOWYCH NA WYBRANYCH OBSZARACH GÓRNICZYCH LGOM I WZWK

W pracy podjęto próbę oceny wpływu eksploatacji rud miedzi oraz rewitalizacji górotworu na aktywność stref przyuskokowych. Przeprowadzone analizy dotyczyły dwóch obszarów badań: wybranego rejonu Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) oraz fragmentu nieistniejącego już Wałbrzyskiego Zagłębia Węgla Kamiennego (WZWK).

W przedmiotowych analizach wykorzystano rezultaty pomiarów geodezyjnych. Skonfrontowano przebieg linii kontrolno-pomiarowych z budową geologiczno-tektoniczną oraz prowadzoną eksploatacją górnictw. Przedstawiono założenia do modelowania zjawiska przy użyciu metody elementów skończonych oraz opisano pierwsze wyniki modelowania numerycznego.

1. WPROWADZENIE

Obszary współczesnej lub prowadzonej w przeszłości eksploatacji górnictwa narażone są na występowanie deformacji powierzchni terenu. Skomplikowana budowa geologiczna, spotęgowana dodatkowo występowaniem licznych zaburzeń tektonicznych i spękań struktury, jest jedną z przyczyn nieregularnego charakteru osiadania terenu na obszarach górnictwa.

Badania związane z modelowaniem i prognozowaniem deformacji powierzchni terenu prowadzone są od ponad 100 lat. W Polsce najbardziej popularną metodą predykcji wskaźników deformacji jest teoria Budryka-Knothego [4]. W ostatnim okresie wykorzystywane są również analizy modeli strukturalnych z zastosowaniem metody elementów skończonych (MES). Słuszność wyboru tej metodyki potwierdzają badania

* Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, 50-051 Wrocław, pl. Teatralny 2, e-mail: ewa.kozłowska@pwr.wroc.pl, wojciech.milczarek@pwr.wroc.pl

** Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, 50-365 Wrocław, pl. Grunwaldzki 24, e-mail: cacon@up.wroc.pl stefan.cacon@pwr.wroc.pl

przeprowadzone w Polsce m. in. przez Walaszczyka i in. [10], Tajdusia [9], Pietruszkę [7]. Numeryczne metody MES wykorzystane zostały m. in. do interpretacji osiadań terenu w kopalni potasu i soli w New Brunswick w Kanadzie wywołanych zmianami hydrologicznymi [8].

Metoda Elementów Skończonych (MES, ang. FEM, finite-element method) jest metodą obliczeń fizycznych opierającą się na podziale obszaru (tzw. dyskretyzacja, ang. mesh), najczęściej powierzchni lub przestrzeni, na skończone elementy uśredniające stan fizyczny ciała i przeprowadzaniu faktycznych obliczeń dla węzłów tego podziału [11].

Przez lata naukowcy prowadzili badania nad skonstruowaniem prostych modeli fizycznych, które pozwoliłyby na prawidłowy opis zachowania się górotworu w rejonie eksploatacji i były użyteczne do modelowania numerycznego [9]. Początkowo stosowano model sprężysty, gdzie górotwór traktowano jako jednorodny, kolejno jako uwarstwiony opisywany modelem sprężystym w obrębie warstw lub jako sprężysty „nie przenoszący rozciągań”. Obecnie najczęściej stosowany jest model sprężysto-plastyczny z warunkiem plastyczności Druckera–Pragera [2]. Właściwości sprężyste materiału charakteryzują stałe materiałowe: moduł Younga oraz współczynnik Poissona, natomiast plastyczne opisują stałe materiałowe: kohezja oraz kąt tarcia wewnętrznego.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA OBSZARÓW BADAŃ

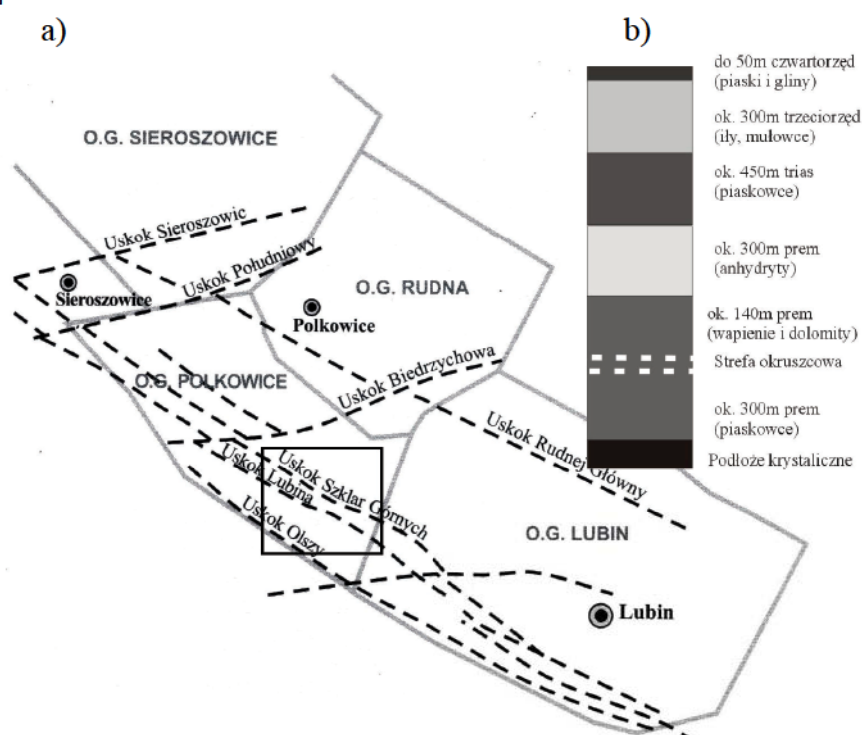
Przeprowadzone analizy dotyczą dwóch obszarów badań: wybranego rejonu Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego oraz fragmentu dawnego już Wałbrzyskiego Zagłębia Węgla Kamiennego (rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja obszaru LGOM oraz WZWK
Fig. 1. Location of research areas' LGOM and WZWK

2.1. LEGNICKO-GŁOGOWSKI OKRĘG MIEDZIOWY

W wybranym obszarze badań złożę rudy miedzi monokliny przedsudeckiej związane jest z cechsztyńską formacją miedzionośną. Struktura monokliny ukształtowała się w czasie ruchów kimeryjskich i laramijskich. W jej obrębie znajduje się wiele szerokopromiennych struktur antyklinalnych, z których część jest związana ze zróżnicowanym ukształtowaniem podłoża przedpermskiego lub z ruchami bloków podłoża (rys. 2b). Miąższość skorupy ziemskiej w obszarze bloku zmienia się w granicach 32–34 km [5].



Rys. 2. Przebieg uskoku tektonicznych a), uproszczony profil geologiczny b)
(opracowanie własne na podstawie [6])

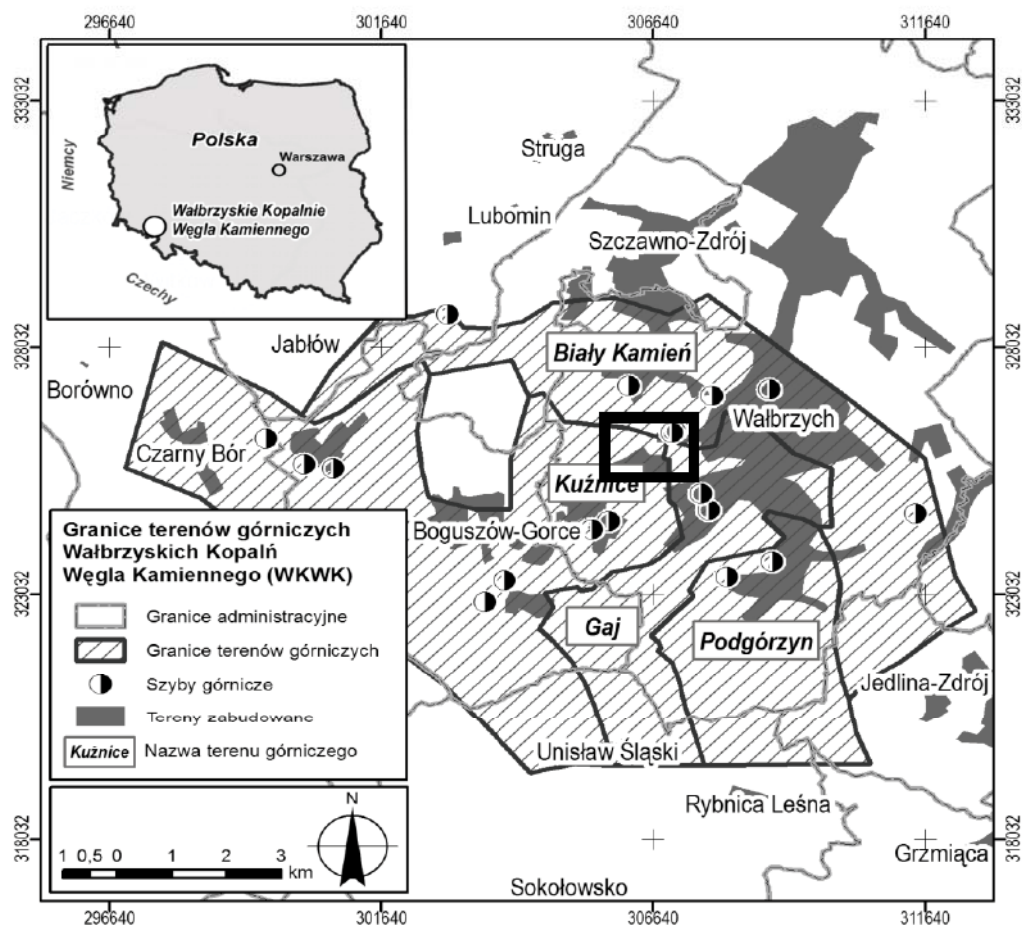
Fig. 2. Tectonic of LGOM area a), schematic geological cross-section b)

Na górnicze warunki eksploatacji duży wpływ na zaangażowanie tektoniczne złoża. Obszar monokliny przedsudeckiej jest silnie zaburzony dyslokacjami tektonicznymi (rys. 2a). Wyróżnić można dwa zasadnicze kierunki biegu uskoku strefy środkowej Odry spełniających rolę dominującą. Są między innymi uskoki Olchy, Główny Lubina, Południowy Lubina, Środkowy Lubina, Szklar Górnych). W kierunku W–E przebiegają m. in. uskoki Biedrzychowa, uskoki Polkowice oraz uskoki Kłopotowa.

2.2. WAŁBRZYSKIE ZAGŁĘBIE WĘGLA KAMIENNEGO

Analizowanym obszarem w obrębie nieistniejącego już Wałbrzyskiego Zagłębia Węgla Kamiennego (WZWK) był filar ochronny szybu Julia i Zakładu Koksownicze-

go nr 3. Tereny górnicze WKWK (rys. 3) obejmowały powierzchnię ok. 90 km², w obrębie których funkcjonowały trzy kopalnie: „Thorez”, „Wałbrzych” oraz „Victoria” (stan na lata 1980–1996).

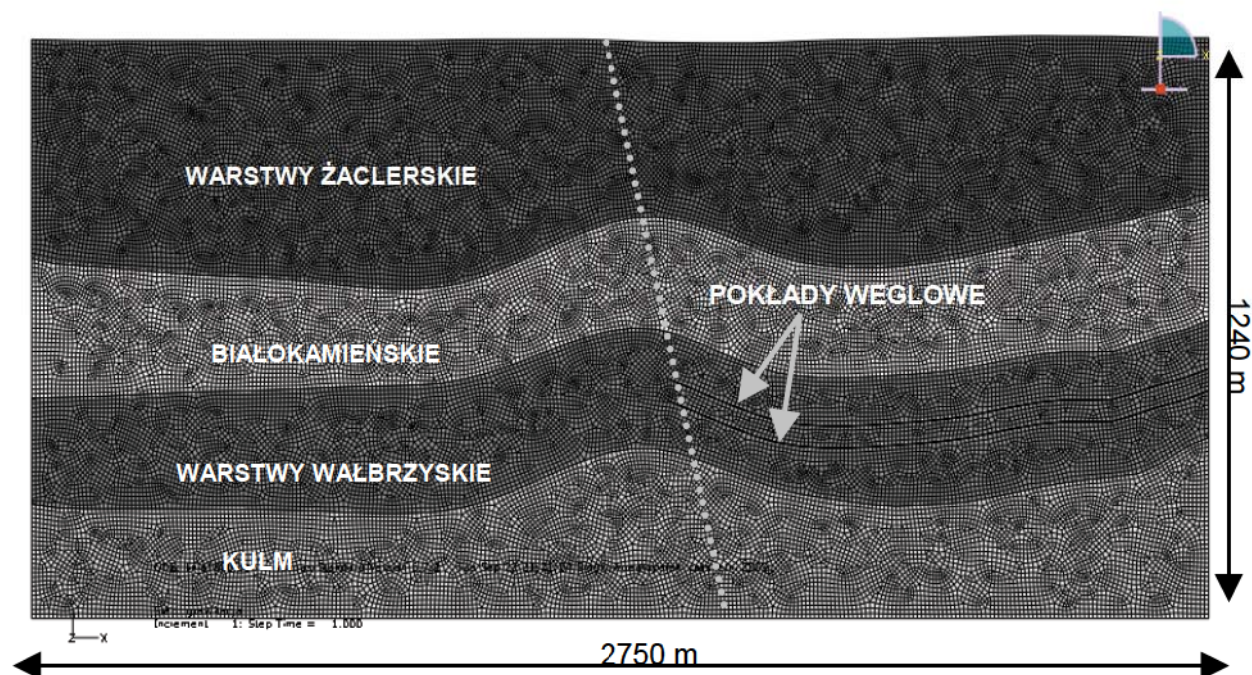


Rys. 3. Lokalizacja obszaru badań w Wałbrzyskim Zagłębiu Węgla Kamiennego [1]

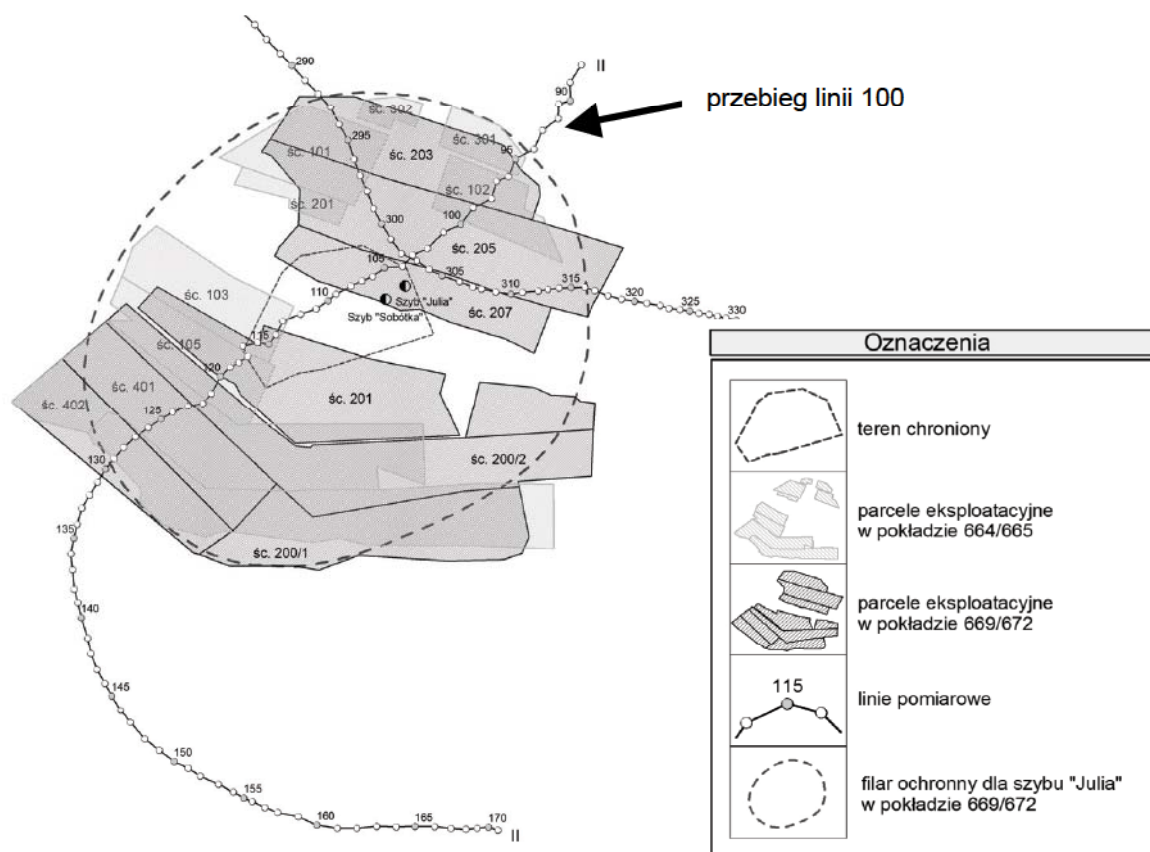
Fig. 3. Location of research area [1]

Budowa geologiczną obszaru zagłębia tworzy niecka wałbrzyska, wchodząca w skład depresji śródsudeckiej. Pod względem litologicznym w obrębie filara ochronnego wyróżnia się, pomijając utwory czwartorzędowe, osady dolnokarbońskie, warstwy górnego karbonu i dolnego permu. Osady górnokarbońskie w których zalegają pokłady węglowe będące przedmiotem eksploatacji tworzą warstwy: wałbrzyskie, białokamińskie oraz żaclerskie (rys. 4). Na podstawie dokumentacji geologiczno-górnicznej obszaru WKWK, opracowano profil geologiczny przebiegający bezpośrednio pod linią 100 (rys. 4), wykorzystany w przedmiotowych analizach numerycznych. Profil ten składa się z pięciu warstw geologicznych, wliczając w to pokłady węglowe.

W tzw. schyłkowym okresie eksploatacji, przypadającym na lata 1980–1996 eksploatowane były pokłady 664/665 oraz 669/672. Wydobywanie węgla prowadzono systemem na zawał, z wyjątkiem dwóch ścian, które eksploatowano systemem z podszatką hydrauliczną [3].

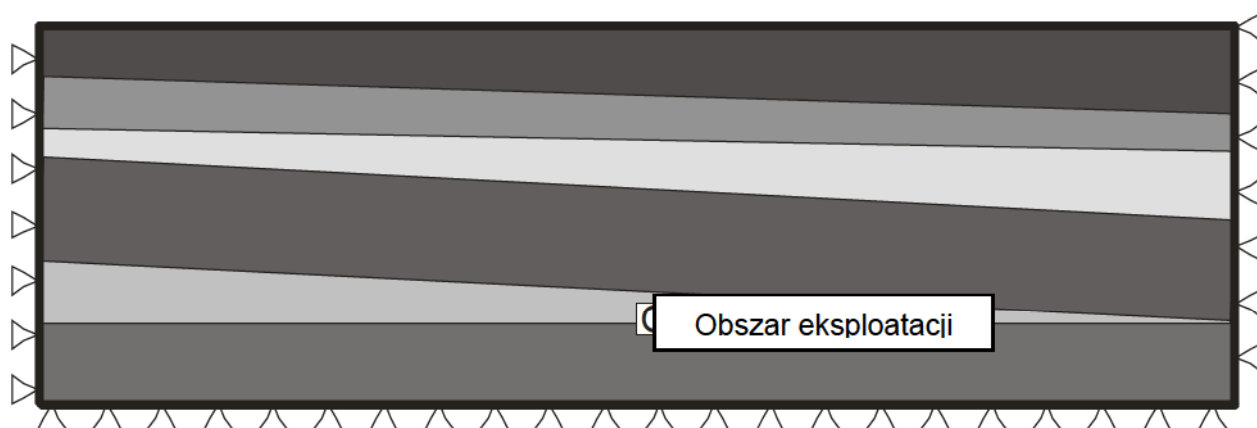


Rys. 4. Profil geologiczny przyjęty do obliczeń MES z podziałem na poszczególne warstwy geologiczne
 Fig. 4. Geological cross-section used to FEM analysis



Rys. 5. Lokalizacja eksploatowanych ścian w pokładach 664/665 oraz 669/672
 wraz z przebiegiem linii niwelacyjnych [3]

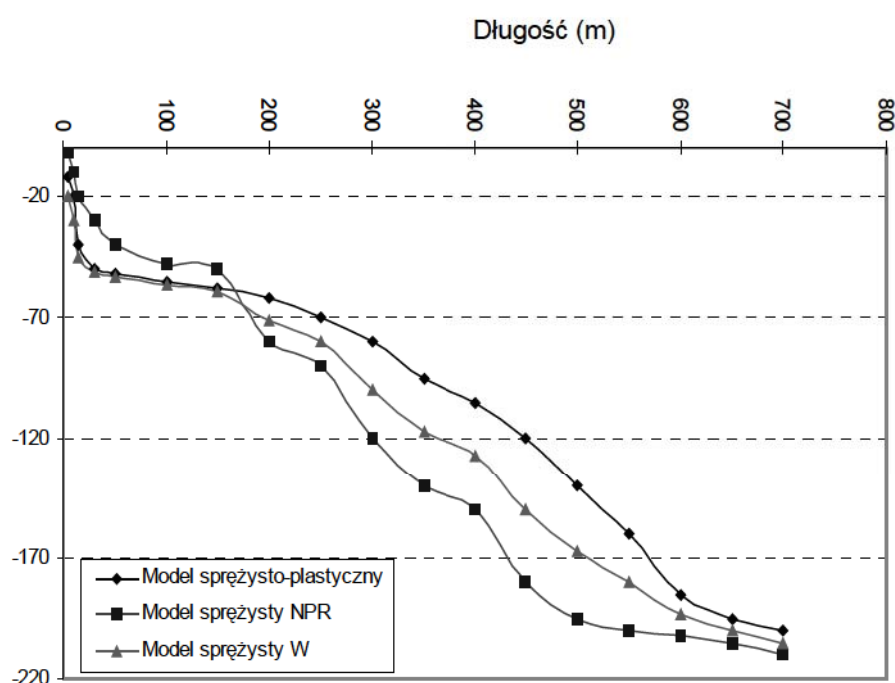
Fig. 5. Location of selected minig area and precise leveling [3]



Rys. 7. Schemat modelu obliczeniowego

Fig. 7. Schema of analysis region

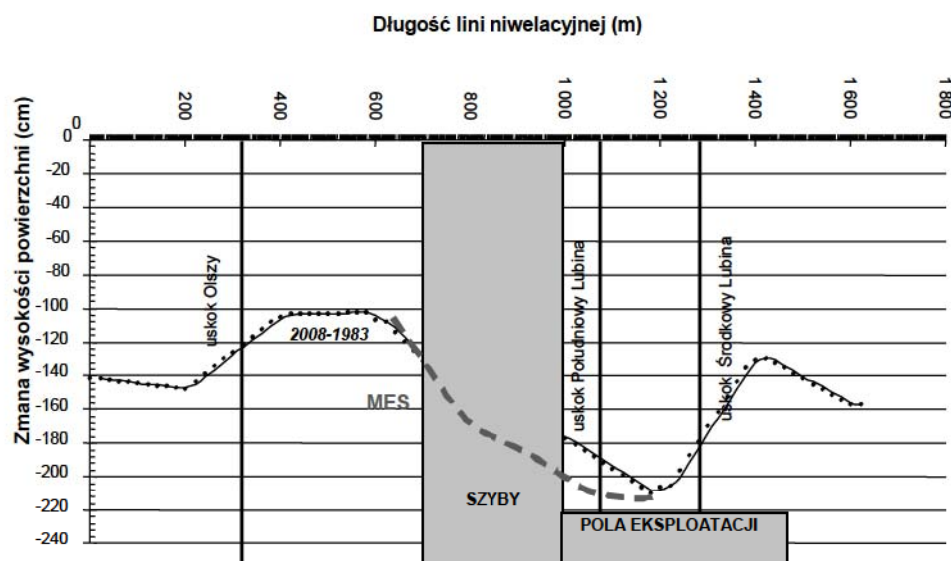
W wyniku obliczeń numerycznych, przeprowadzonych oddzielnie dla każdego z modeli górotworu, uzyskano wartości przemieszczeń pionowych powierzchni terenu. Osiadania terenu uzyskane przy wykorzystaniu modelu sprężystoplastycznego i modelu sprężystego z górotworem uwarstwionym (W) osiągnęły zbliżone wartości przemieszczeń pionowych terenu do niecki wyznaczonej z wykorzystaniem pomiarów niwelacyjnych. Wynik uzyskany z zastosowaniem modelu sprężystego „nie przenoszącego rozciągań” (NPR) natomiast lepiej odzwierciedla nieregularne osiadania powierzchni terenu (rys. 8).



Rys. 8. Porównanie wyników analizy MES przy zastosowaniu różnych modeli

Fig. 8. Comparison results of FEM analysis

Wstępne wyniki modelowania numerycznego odbiegają od rzeczywistych wartości. Wielkości osiadań wyznaczone podczas modelowania są wyższe niż uzyskane z wykorzystaniem pomiarów niwelacyjnych. Różnica pomiędzy zmianą wysokości reperów uzyskaną z pomiarów niwelacyjnych, a wartością obliczona numerycznie przekracza 10 cm (rys. 9). Główna przyczyna tych rozbieżności może wynikać z faktu, że obszar LGOM charakteryzuje duża niejednorodność, zarówno pod względem rodzaju skał jak i tektoniki obszaru.



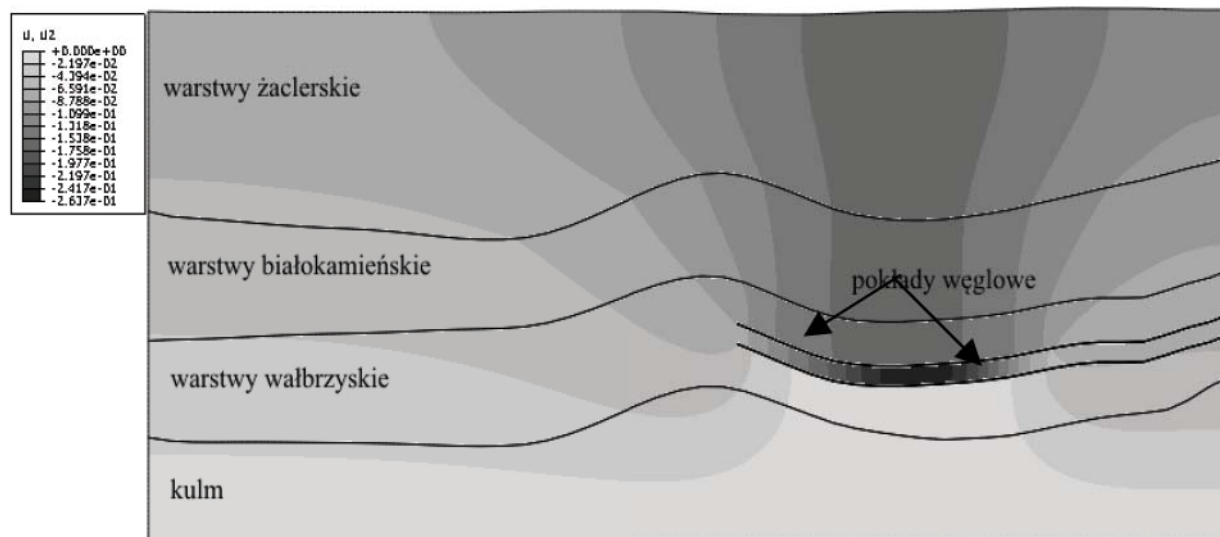
Rys. 9. Porównanie wyników analizy osiadania terenu i MES

Fig. 9. Comparison results of FEM analysis

3.2. WAŁBRZYSKIE ZAGŁĘBIE WĘGLOWE

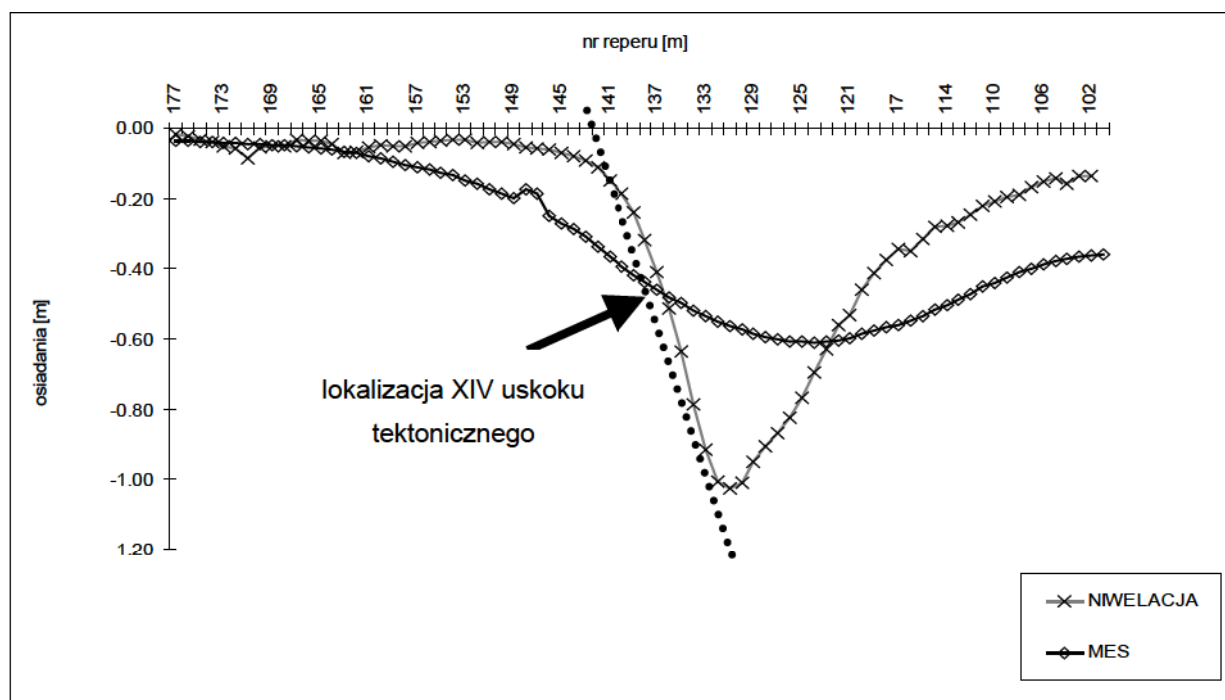
Przeprowadzone obliczenia na fragmencie WZWK wykonano w płaskim stanie odkształcenia, przyjmując parametry geotechniczne poszczególnych utworów geologicznych z dokumentacji geologiczno-górnictwej złoża kopalni „Thorez”. W analizach pominięto warunki wodne oraz warunki tektoniczne. Przyjęto sprężystoplastyczny model dla profilu geologicznego opisany modelem Druckera–Pragera [2]. Założono występowanie jedynie obciążenia wywołanego ciężarem własnym poszczególnych utworów geologicznych budujących profil. Obliczenia dla filaru ochronnego przeprowadzono w środowisku ABAQUS Dassault Systèmes. Analizy numeryczne na profilu 100 podzielono na dwa kroki obliczeniowe. Pierwszy krok (**GEOSTATIC*) uwzględniał stan profilu przed przystąpieniem do eksploatacji pokładów węglowych. Drugi (**STATIC*) odzwierciedlał okres eksploatacji węgla przypadający na lata 1980–1980. Wybór tego przedziału czasowego w analizach był nieprzypadkowy. Związane to było z zasięgiem i przebiegiem eksploatowanych ścian w stosunku do przebiegu linii

niwelacyjnej nr 100 rejestrującej wpływ wydobycia węgla na powierzchnię terenu. Umożliwiło to na weryfikację otrzymanych wyników MES z wynikami pomiarów geodezyjnych.



Rys. 10. Graficzna reprezentacja wyników analiz MES, okres eksploatacji 1980–1988

Fig. 10. Schema of FEM analysis results, period exploitation 1980–1988



Rys. 11. Wyniki obliczeń MES oraz wyniki niwelacji na linii 100 w latach 1980–1988

Fig. 11. Comparison results of FEM analysis and leveling line in 1980–1988

Weryfikując otrzymane wyniki MES z wynikami z pomiarów geodezyjnych nie stwierdzono korelacji. Rozbieżności związane są z budową tektoniczną obszaru. Na rysunku 11 przedstawiono, obok wyników, również przebieg uskoku tektonicznego nr XIV, będącego główną strukturą tektoniczną w obrębie profilu.

Otrzymane wyniki ukazują konieczność uwzględnienia w założeniach do obliczeń tego typu struktur tektonicznych. W przypadkach, kiedy dostatecznie dobrze znane są warunki geologiczno-tektoniczne możliwym jest wykonanie prostszego (z wykluczeniem uskoku) pod względem przyjętych założeń modelu. Otrzymane dla takiego przypadku wyniki zweryfikowane z np. wynikami z pomiarów geodezyjnych mogą dostarczyć informacji o ewentualnej aktywności tektonicznej. Należy zaznaczyć, że takie podejście do obliczeń jest akceptowe we wczesnych etapach prowadzonych badań. Ewentualne rozbieżność wyników zrodzą konieczność uwzględnienia pominiętych wcześniej elementów strukturalnych analizowanego górotworu. Niemniej jednak na etapie wstępnych prac, tego typu podejście umożliwić może zweryfikowanie tezy o aktywności struktur tektonicznych.

WNIOSKI

Badania modelowe potwierdzają przydatność stosowania metody elementów skończonych do monitorowania stref przyuskokowych na obszarach górniczych. Przeprowadzone obliczenia numeryczne pokazują uniwersalność metody elementów skończonych zarówno w modelowaniu deformacji górniczych powstających w trakcie prowadzonej eksploatacji (LGOM) jak i na obszarach, gdzie zakończono prace górnicze (WZWK). Na obu rejonach badań występują liczne uskoki tektoniczne wymagające odpowiedniego podejścia do obliczeń, gdyż przyczynami niedokładności modeli numerycznych są przede wszystkim zbyt duża generalizacja parametrów geotechnicznych oraz mała dokładność w odzwierciedleniu struktury geologiczno-tektonicznej.

Publikacja współfinansowana jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

LITERATURA

- [1] BLACHOWSKI J., *System informacji geograficznej wałbrzyskich kopalń węgla kamiennego podstawą zwiększenia efektywności i wiarygodności badań deformacji powierzchni terenów pogórniczych*, Górnictwo i geologia X, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2008.
- [2] HELWANY S., *Applied Soil Mechanics with ABAQUS Applications*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2007.

- [3] JELEŃSKI A., ZAWORA J., *Filar ochronny szybu Julia i Zakładu Koksowniczego nr 3*, [w:] KOWALSKI A. (red.), *Eksploatacja górnicza a ochrona powierzchni. Doświadczenia z walbrzyjskich kopalń*, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2000.
- [4] KNOTHE S., *Prognozowanie wpływu eksploatacji górnicznej*, Wyd. Śląsk, Katowice 1984.
- [5] MIZIERSKI W., *Geologia Polski dla geografów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- [6] Monografia KGHM Polska Miedź SA, Lubin 1996.
- [7] PIETRUSZKA K., *Geodetic inspections of mining areas in regions affected by the storage of waste in underground mining pits*, FIG Working Week 2007, Hong Kong SAR, China 13–17 May, 2007.
- [8] SZOSTAK-CHYZANOWSKI A., CHYZANOWSKI A., MASSIERA M., *Use of deformation monitoring results In solving geomechanical problems – case studiem*, Elsevier, Engineering Geology 79, 2005.
- [9] TAJDUŚ K., *Określenie wartości parametrów odkształceniowych górotworu uwarstwionego w rejonie wpływów eksploatacji górnicznej*, praca doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, 2008.
- [10] WALASZCZYK J., BARNAT A., HACHAJ S., *Fizyczny model obliczeniowy MES w odniesieniu do warunków górniczno-geologicznych LGOM*, XXII Zimowa Szkoła Mechniki Górotworu, Wrocław 1999.
- [11] ZAGRAJEK T., KRZESIŃSKI G., MAREK P., *Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji*, Warszawa 2006.

MONITORING OF FAULTS ACTIVITY ON SELECTED LGOM AND WZWK MINING AREA'S

The article presents results of calculations of rock mass surface vertical movements using FEM method on selected LGOM (Legnica-Głogów Copper Region) and WZWK (Walbrzych Hard Coal Mines) mines. Deformation analysis of mines area includes geometrical analysis and physical interpretation. The most critical problem in modeling and predicting deformations is to obtain real characteristics of material because of very different rock – mass properties and tectonic activity.

This paper present the method of interpretation of physical finite element method's modeling by using precise leveling. The analysis permits to identify the deformation mechanism and to verify the in-situ parameters and explain the cause of deformation in case of irregular behavior of area.

Artykuł opiniowała prof. dr hab. inż. Anna Szostak-Chrzanowski.