

MAREK CAŁA
JERZY FLISIAK
STANISŁAW RYBICKI
Akademia Górniczo-Hutnicza

Modelowanie oddziaływania odkrywkowej eksploatacji w kopalni Bełchatów na wysad solny Dębiny

STRESZCZENIE: Złoże węgla brunatnego Bełchatów, występujące w skomplikowanej strukturze tektonicznej zwanej rowem Kleszczowa, dzieli się na część wschodnią (pole Bełchatów) i zachodnią (pole Szczerców), które rozdziela wysad solny w rejonie Dębiny. Prowadzona obecnie eksploatacja odkrywkowa węgla w polu Bełchatów zbliża się sukcesywnie do granic wysadu. Istnieje obawa, że prowadzenie eksploatacji w bezpośrednim sąsiedztwie wysadu może wpłynąć na jego zachowanie się, przejawiające się jako zaburzenie pierwotnego stanu równowagi i deformacje, związane z dużą plastycznością soli. Skutki tych zaburzeń mogłyby mieć poważne konsekwencje bieżące polegające na pogorszeniu warunków stateczności skarp i zboczy, oraz długofalowe, wynikające np. z odprężenia górotworu i powstania spękań, a w efekcie wywołać zmiany migracji wód mogących nawet ługować wysad solny. W pracy zamieszczono wyniki numerycznego modelowania metodą różnic skończonych stanu naprężeń i deformacji wysadu, które są wstępną próbą oceny zachodzących w nim procesów.

1. Wstęp

Złoże węgla brunatnego Bełchatów, występujące w skomplikowanej strukturze tektonicznej zwanej rowem Kleszczowa, dzieli się na część wschodnią (pole Bełchatów) i zachodnią (pole Szczerców), które rozdziela wysad solny w rejonie Dębiny. Prowadzona obecnie eksploatacja odkrywkowa węgla w polu Bełchatów zbliża się sukcesywnie do granic wysadu. Z kolei od jego strony zachodniej rozpoczęto już budowę nowej odkrywki Szczerców. Docelowa głębokość odkrywek, jedna z większych w Europie, wyniesie około 280 m, a ich spąg znajdować się będzie około 120 m poniżej rzędnej stropu wysadu. Istnieje obawa, że znaczne odciążenie górotworu wskutek wykonania obu głębokich odkrywek w bezpośredniej bliskości wysadu, może wpłynąć na zaburzenie pierwotnego stanu równowagi i deformacje, związane z dużą plastycznością soli. Skutki tych zaburzeń mogą mieć poważne konsekwencje bieżące polegające na pogorszeniu warunków stateczności skarp i zboczy, oraz długofalowe, wynikające np. z odprężenia górotworu i powstania spękań, a w efekcie wywołać zmiany migracji wód mogących nawet ługować wysad solny.

Celem niniejszego opracowania jest numeryczna analiza zachowania się wysadu solnego Dębiny podczas zbliżania się doń zbocza zachodniego odkrywki „Bełchatów”. Analizę stanu naprężenia, przemieszczenia i wyężenia przeprowadzono w przekroju geologicznym 18W-E, poprowadzonym przez środkową część wysadu prostopadle do

krawędzi zbocza zachodniego. Obliczenia numeryczne przeprowadzono w płaskim stanie odkształcenia.

Wszystkie obliczenia dla potrzeb niniejszej pracy przeprowadzono za pomocą programu Metody Różnic Skończonych FLAC v. 4.0, przyjmując sprężysto-plastyczny model ośrodka z warunkiem plastyczności Coulomba-Mohra. W obliczeniach nie uwzględniono oddziaływania budowanej odkrywki „Szczerców”, której zbocze wschodnie zbliży się do wysadu za kilkadziesiąt lat.

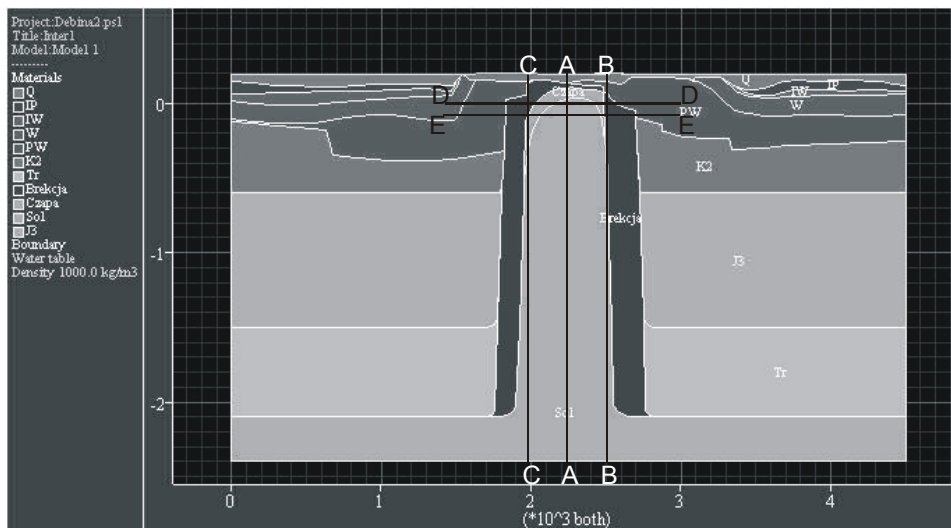
Prezentowane wyniki numerycznego modelowania stanu naprężeń wysadu są próbą wstępnej oceny takich procesów.

2. Charakterystyka budowy geologicznej, tektoniki i warunków hydrogeologicznych w rejonie wysadu solnego Dębiny

Budowa geologiczna i tektonika rejonu wysadu solnego zostały dotychczas wstępnie rozpoznane zarówno w wyniku badań geofizycznych jak i wierceń. Interpretacja wyników tych badań nie jest dotychczas jednoznaczna, zwłaszcza odnośnie zarysu i kształtu wysadu oraz budowy geologicznej jego najbliższego otoczenia [1, 5].

W niniejszej pracy budowę geologiczną w rejonie wysadu określono na podstawie przekrojów 18W-E i SW-NE sporządzonych przez POLTEGOR [7]. Przekroje te obejmują interpretację budowy geologicznej do głębokości rozpoznania otworami badawczymi tj. do głębokości około 300 do 700 metrów. Dla celów modelowania zachowania się całego wysadu solnego przyjęto większe głębokości, aż do pokładu solnego, z którego wychodzi wysad. Dane na temat wglębnej budowy są tylko przybliżone i oparte na przesłankach regionalnej budowy geologicznej [1, 6, 9]. Przyjęto, że utwory kredowe w otoczeniu wysadu solnego zalegają przeciętnie do głębokości około 800 metrów (rzędna około 600 m npm), pod nimi występują utwory jury do głębokości około 1700 metrów (rzędna około 1500 m npm), a pod utworami jurajskimi zalegają osady triasu do przeciętnej głębokości około 2300 metrów (rzędna około -2100 m npm). Poniżej występują utwory permu i przyjęto, że rozpoczyna je pokład solny. Dolną granicę modelu przyjęto na głębokości 2400 m. Założono również, że cały wysad solny aż do pokładu solnego otoczony jest spękanymi i zaburzonymi uskokowo skałami mezozoicznymi naruszonymi wskutek piętrzenia wysadu i że jest to brekcja, tak jak stwierdzono to w górnej części wysadu nad utworami czapy iłowo-gipsowej i wokół wysadu w strefie, do której sięga rozpoznanie otworami badawczymi. W modelu geometrycznym, dla potrzeb obliczeń numerycznych, wyodrębniono następujące kompleksy geologiczne (rys. 1):

1. Kompleks 1 - sól kamienna. Na podstawie danych wiertniczych można stwierdzić, że w wysadzie (w jego górnej części) przeważają cechszyńskie sole kamienne średnio i grubokrystaliczne z przerostami anhydrytów i zanieczyszczeniami ilastymi. Oprócz nich występują też sole średnio i drobnokrystaliczne z cienkimi przewarstwieniami szarych iłowców. Strop wysadu soli występuje na głębokości około 160 - 220 m ppt.
2. Kompleks 2 - czapa iłowo-gipsowa. Stanowią ją produkty wietrzenia i rozmywania soli, głównie włókniste i grubokrystaliczne gipsy oraz iłowce, w stropie czapy wymieszane z fragmentami wapieni, margli i mułowców mezozoicznych.



Rys. 1. Przekrój przez wysad z wydzielonymi kompleksami geologicznymi

3. Kompleks 3 – brekcja. Są to utwory stanowiące otulinę czapy ilowo-gipsowej zarówno nad wysadem, jak i wokół niego, zbudowane z brekcji skał mezozoicznych - margle, wapień, piaskowce, mułowce [9].
4. Kompleks 4 - utwory triasu (głównie piaskowce i wapień).
5. Kompleks 5 - utwory jury (głównie wapień i margle).
6. Kompleks 6 - utwory kredy (iłowce, mułowce, wapień, piaskowce).
7. Kompleks 7 - utwory podwęglowe trzeciorzędu PW (piaski, mułki, przewarstwienia węgla).
8. Kompleks 8 - pokład węgla W (węgiel brunatny z cienkimi przewarstwieniami ilasto-piaszczystymi).
9. Kompleks 9 - utwory ilasto-węglowe trzeciorzędu IW (iły, mułki, przewarstwienia węgla).
10. Kompleks 10 - czwartorzęd + kompleks ilasto-piaszczysty trzeciorzędu Q + Ip (piaski, iły, mułki, gliny zwałowe).

Utworom poszczególnych kompleksów przypisano określone właściwości geomechaniczne na podstawie badań prób laboratoryjnych lub oszacowań, w niektórych przypadkach weryfikowanych na podstawie dotychczasowych obliczeń numerycznych [5, 11], których wartości zamieszczono w tabeli 1.

Obecny stan i prognozę zmian warunków hydrogeologicznych w rejonie wysadu oparto na opracowaniach [10, 12]. Aktualnie zwierciadło wód podziemnych w linii przekrojów 18W-E w rejonie bariery wokół wysadu solnego "Dębiny" znajduje się na rzędnej około +120 m npm tj. na głębokości około 80 metrów pod powierzchnią terenu. Dalej w kierunku wschodnim od wysadu solnego zwierciadło to nieco się obniża do rzędnej około +90 ÷ +80 m npm wskutek drenującego oddziaływania odkrywki. W samej odkrywce zalega nieco poniżej jej spągu.

Tabela 1. Własności wydzielonych kompleksów geologicznych

Nazwa kompleksu	Gęstość objętościowa ρ [kg/m ³]	Wsp. odkształcalności podłużnej E[MPa]	Wsp. odkształcalności poprzecznej ν	Kąt tarcia wewnętrznej ϕ [°]	Spójność c[kPa]
Kompleks 1	2120	7600	0.25	55.9	4370
Kompleks 2	2140	397	0.49	24	121
Kompleks 3	2300	630	0.49	23.5	116
Kompleks 4	2700	10000	0.33	23	2000
Kompleks 5	2470	7700	0.37	24.5	1814
Kompleks 6	1870	2700	0.37	24	1323
Kompleks 7	2300	60	0.49	14	200
Kompleks 8	1500	250	0.49	17	200
Kompleks 9	1800	100	0.49	13.6	108
Kompleks 10	2000	70	0.49	13	90

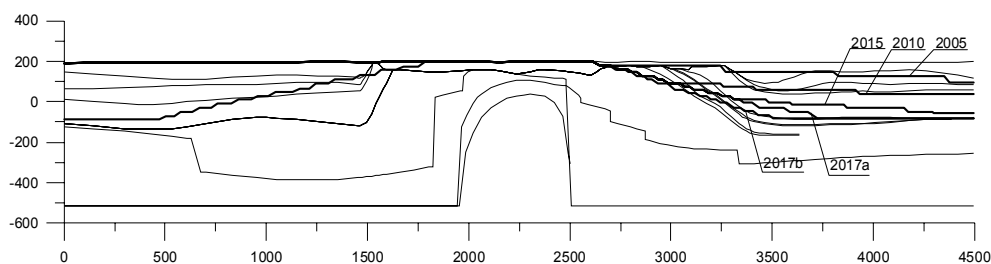
W roku 2010, tj. w połowie okresu do zakończenia eksploatacji w polu "Bełchatów" i w roku 2019. W chwili planowanego zakończenia eksploatacji, zwierciadło wód podziemnych na wschód od wysadu obniży się odpowiednio do rzędnej około -20 ÷ 30 m

npm w rejonie wysadu i około ± 0 m npm w pobliżu odkrywki (rok 2010), a pod koniec okresu oraz obniży się do rzędnej około $-90 \div 30$ m npm w rejonie wysadu i około -80 m npm w pobliżu odkrywki. Do obliczeń numerycznych można w pewnym uproszczeniu przyjąć, że zwierciadło wód podziemnych pomiędzy odkrywką, a wysadem solnym przebiega poziomo na rzędnej $+95$ m npm (głębokość około 100 m) aktualnie (2003 r), na rzędnej ± 0 m npm (głębokość około 195 m) w roku 2010 i na rzędnej -80 m npm (głębokość około 275 m) w roku 2019 tj. w ostatnim roku eksploatacji.

Dla przyjętego modelu numerycznego obecność wody w górotworze należy uznać za dodatkowe obciążenie skał (strefa zawodnienia sięga prawdopodobnie do głębokości około 2000 m do pokładu solnego) i uwzględnić to obciążenie poprzez przyjęcie gęstości objętościowych skał jak dla warunków pełnego nasycenia wodą (ρ_{sr}).

3. Opis modeli numerycznych

Głównym celem przeprowadzonych obliczeń numerycznych była ocena wpływu położenia zachodniego zbocza odkrywki Bełchatów na wysad solny i jego otoczenie. W tym celu zbudowano 4 modele numeryczne, uwzględniające projektowane położenie zbocza zachodniego w przekroju 18W-E w latach 2005, 2010, 2015 i 2017 (rys. 2). Dla roku 2017, w którym planuje się osiągnięcie docelowego kształtu zbocza, zbudowano dodatkowy, piąty model, w którym uwzględniono alternatywny, bardziej stromy profil, którego kąt nachylenia powiększono z 14.21° (przypadek a) do 17.38° (przypadek b). Dla porównania przeprowadzono obliczenia stanu naprężeń i deformacji, jakie panowały w górotworze przed rozpoczęciem eksploatacji w kopalni Bełchatów (stan pierwotny).



Rys. 2. Położenie zbocza zachodniego w poszczególnych modelach numerycznych

Obliczenia przeprowadzono w płaskim stanie odkształcenia zakładając, że jedyne obciążenie wywołane jest przez ciężar własny utworów. Analizowane modele stanowią tarcze o wymiarach 4500×2600 m, w których środkowych częściach zlokalizowany jest wysad (rys. 1). Budowę geologiczną, położenie zwierciadła wody oraz własności wytrzymałościowe i odkształceniowe przyjmowano zgodnie z informacjami zawartymi w rozdziale 2 (rys. 1). Na bocznych krawędziach tarczy przyjęto przemieszczeniowe warunki brzegowe w postaci zerowych wartości przemieszczeń poziomych a na dolnej krawędzi założono zerowe wartości przemieszczeń pionowych. Tarcza modelowa obciążona została tylko siłami ciężkości.

Jak wspomniano wcześniej do obliczeń wykorzystano program FLAC v. 4,0 bazujący na metodzie różnic skończonych. Przyjęto sprężysto-plastyczny model ośrodka z

warunkiem plastyczności opisywanym zmodyfikowaną hipotezą Coulomba-Mohra [2, 3, 4].

4. Analiza wyników obliczeń

Dla oceny wpływu postępującej eksploatacji na wysad i jego otoczenie dla każdego modelu sporządzono mapy izol linii poszczególnych składowych tensora naprężeń i odkształceń oraz składowych wektora przemieszczeń. Analizowano również zasięg stref plastycznych w górotworze. Wykorzystując uzyskane wyniki obliczeń sporządzono wykresy zmienności tych wielkości w trzech przekrojach pionowych (rys. 1):

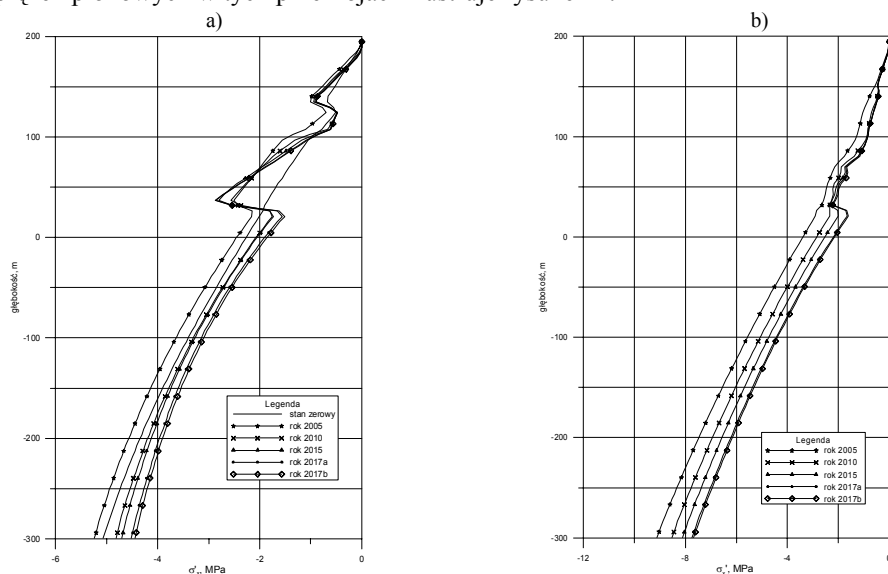
- A-A – przekrój przebiegający przez środek wysadu,
- B-B – przekrój przebiegający w pobliżu wschodniej (sąsiadującej ze zboczem) granicy wysadu,
- C-C – przekrój przebiegający w pobliżu zachodniej (sąsiadującej z projektowaną kopalnią Szczerców) granicy wysadu,

oraz dwa przekroje poziome:

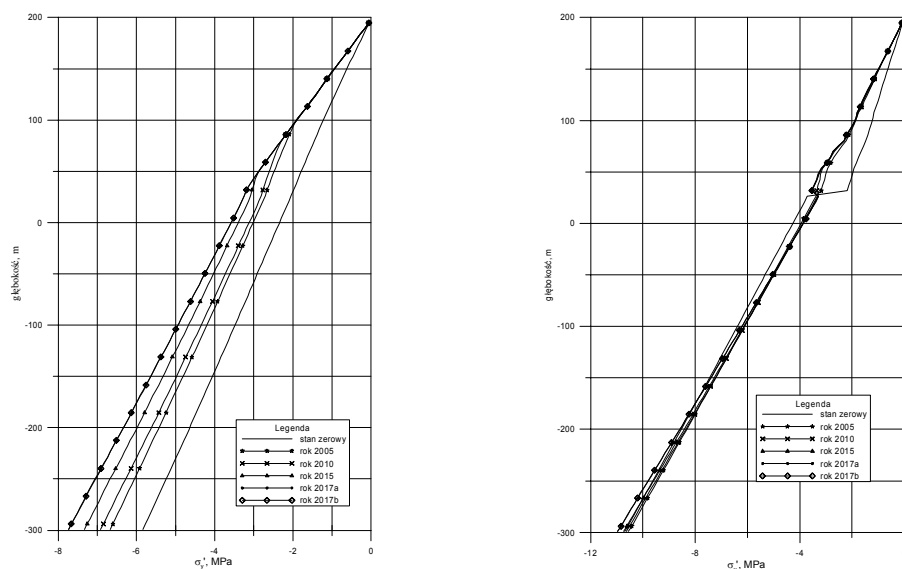
- D-D – zlokalizowany na poziomie 0.0 m npm,
- E-E – zlokalizowany na poziomie -100.0 m npm.

Na wykresach tych porównano wyniki uzyskane dla poszczególnych stanów zaawansowania eksploatacji ze stanem zerowym (pierwotnym), jaki istniał w górotworze przed rozpoczęciem wydobywania.

Przykładowe wyniki obliczeń efektywnych naprężeń poziomych dla górnej części przekroju A-A przedstawiono na rysunku 3a, a dla przekroju B-B na rysunku 3b. Rozkład naprężeń pionowych w tych przekrojach ilustruje rysunek 4.



Rys. 3. Rozkład naprężeń poziomych. a) w przekroju A-A, b) w przekroju B-B



a) b)
Rys. 4. Rozkład naprężeń pionowych. a) w przekroju A-A, b) w przekroju B-B

Analiza wyników modelowania wskazuje, że jeszcze przed zbliżaniem się frontu eksploatacji, w wysadzie i w jego otoczeniu, panował złożony stan naprężeń, co spowodowane było skomplikowaną budową geologiczną i tektoniką. Stan ten ulegać będzie dalszym zaburzeniom, rosnącym w miarę zbliżania się zbocza zachodniego do wysadu. Szczególnie dotyczy to poziomych naprężeń efektywnych, których bezwzględna wartość w przekroju B-B (rys. 3b), na poziomie 0.0 m npm, zmniejszy się od pierwotnej wartości 4.2 MPa do wartości 3.4 MPa dla stanu eksploatacji w 2005 roku (spadek o 19%). Postęp eksploatacji wywołuje dalszy spadek tych naprężeń, które w 2017 roku zmniejszą się do wartości 2.16 MPa (spadek o 49% w porównaniu ze stanem pierwotnym). W przekroju A-A (rys. 3a), zlokalizowanym w środku wysadu, stopień zaburzenia naprężeń poziomych jest znacznie mniejszy. Eksploatacja wg stanu na rok 2005 powoduje niewielki wzrost tych naprężeń, których bezwzględna wartość rośnie od 2.27 MPa do 2.45 MPa (o ok. 8%). Dalsze prowadzenie eksploatacji powoduje spadek naprężeń poziomych do wartości 1.86 MPa w 2017 roku (o 18%).

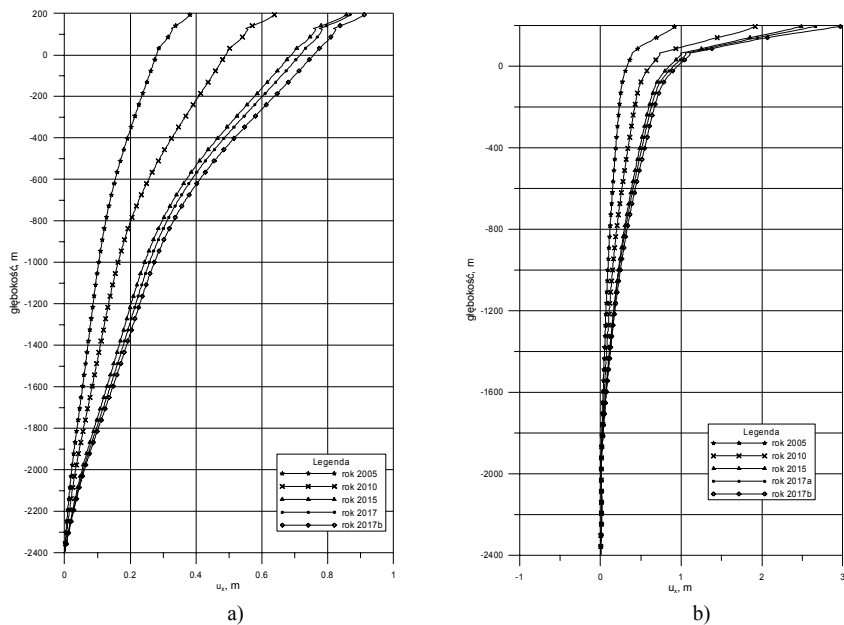
Efektywne naprężenia pionowe w przekroju B-B (rys. 4b) w niewielkim stopniu zależą od postępu frontu eksploatacji. Na poziomie 0.0 m npm ich wartość dla 2017 roku maleje od 4.27 MPa do 3.8 MPa (o 11%). W przekroju tym nieco większe zmiany zaobserwować można w utworach trzecio i czwartorzędowych, zalegających powyżej wysadu. W przekroju A-A postęp eksploatacji powoduje wzrost bezwzględnych wartości naprężeń pionowych. W porównaniu ze stanem zerowym, na poziomie 0.0 m npm, wzrastają one od 2.35 MPa do 3.58 MPa w 2017 roku (o ok. 52%). Reasumując można stwierdzić, że prowadzenie eksploatacji przyczyni się do istotnej zmiany stanu naprężenia w wysadzie solnym i jego otoczeniu. Zmiany te prowadzą głównie do zmniejszenia naprężeń (odprężenia) i w największym stopniu dotyczą wysadu oraz rejonów sąsiadujących ze zboczem zachodnim kopalni. Może to w konsekwencji prowadzić do powiększania stref uplastycznienia górotworu, rozwierania się istniejących i powstawania nowych szczelin lub innego typu nieciągłości oraz pogorszenia warunków stateczności zbocza zachodniego.

Przykładowe wyniki obliczeń przemieszczeń poziomych w przekroju A-A przedstawiono na rysunku 5a, a w przekroju B-B na rysunku 5b. Rozkład przemieszczeń pionowych w tych przekrojach ilustruje rysunek 6.

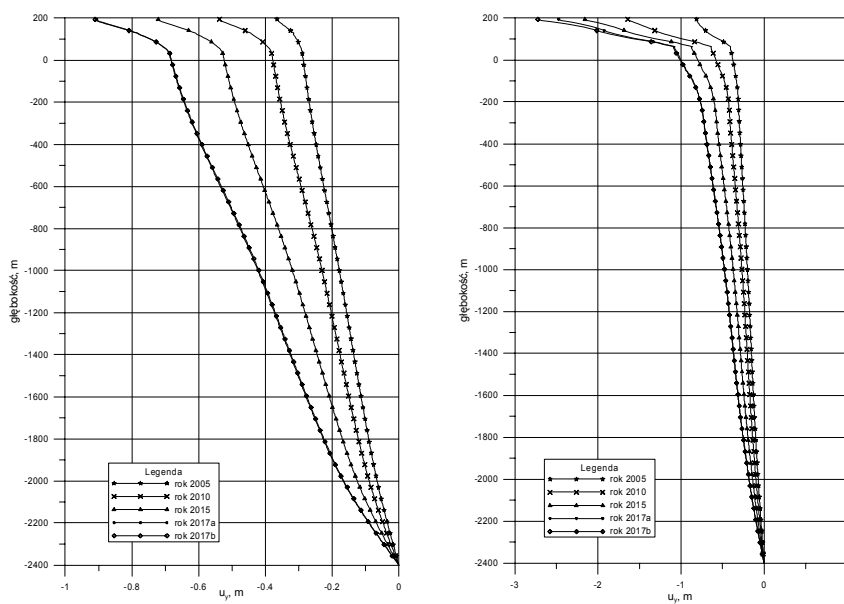
Analiza wyników obliczeń wskazuje, że eksploatacja w latach 2005-2017 wywołuje w modelu istotne zmiany pola przemieszczeń. Największe zmiany przemieszczeń, zarówno poziomych jak i pionowych, występują w utworach czwartorzędu oraz utworach podwęglowych trzeciorzędu. Przemieszczenia poziome w rozpatrywanych przekrojach są skierowane do odkrywki. Przemieszczenia pionowe w przekrojach A-A, B-B i C-C są ujemne, co oznacza osiadanie górotworu.

W przekroju A-A (rys. 5a) przemieszczenia poziome rosną w miarę postępu eksploatacji. Największe ich wartości występują na powierzchni terenu, gdzie w 2017 roku wynoszą około 0.9 m. W rejonie górnej części wysadu dochodzą do około 0.78 m. W przekroju B-B (rys. 5b) przemieszczenia poziome są znacznie większe i na powierzchni terenu dochodzą do 3 m, a w górnej części wysadu do 0.95 m. Jeszcze większe przemieszczenia poziome obserwowane są w rejonie zbocza zachodniego, gdzie ich wartość w przekroju D-D przekracza 5 m.

W przekroju A-A (rys. 6a) maksymalne wartości przemieszczeń pionowych na powierzchni wynoszą około -0.9 m a w górnej części wysadu około -0.7 m. W przekroju B-B (rys. 6b) przemieszczenia te są większe i dochodzą do około -2.75 m na powierzchni terenu oraz do -0.72 m w górnej części wysadu.



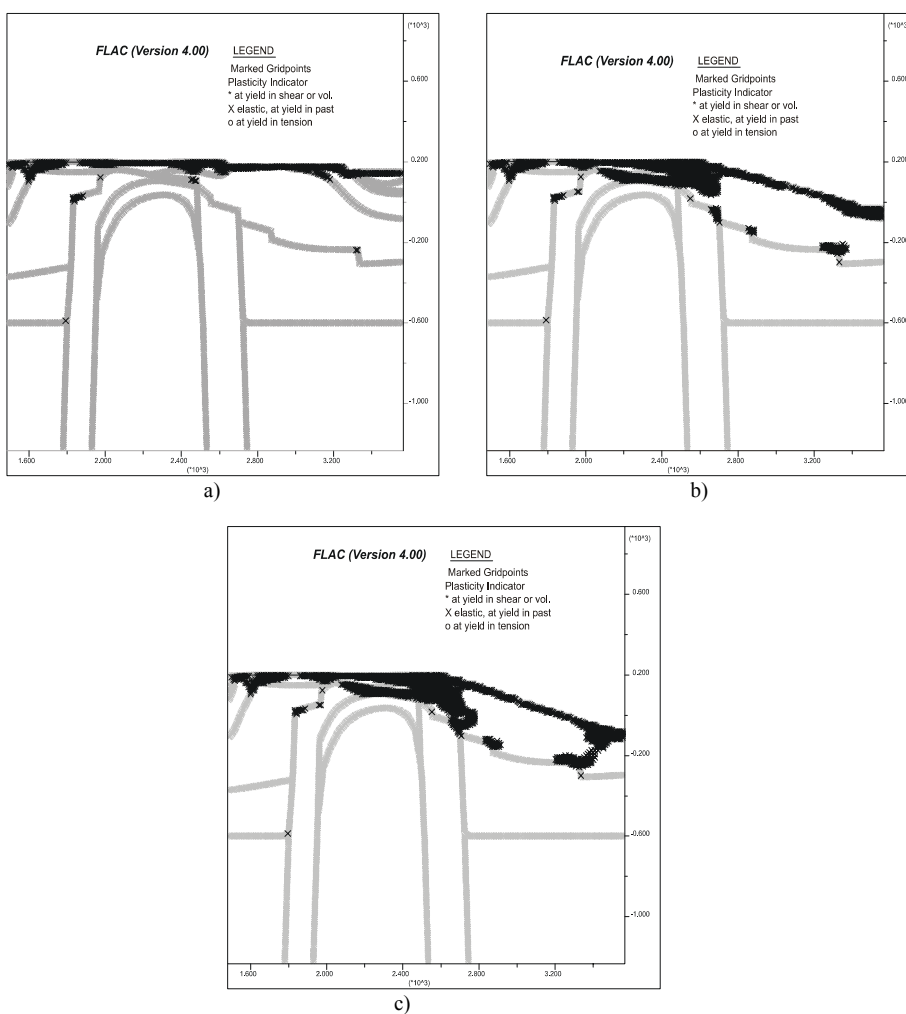
Rys. 5. Rozkład przemieszczeń poziomych. a) w przekroju A-A, b) w przekroju B-B



a) b)
Rys. 6. Rozkład przemieszczeń pionowych. a) w przekroju A-A, b) w przekroju B-B

Podsumowując można stwierdzić, że największe przemieszczenia i odkształcenia występują w utworach czwartorzędu oraz utworach podwęglowych trzeciorzędu. Przemieszczenia poziome mogą, po zakończeniu eksploatacji w rejonie wysadu, przyjmować wartości nawet powyżej 5 m. Przemieszczenia pionowe w tych rejonach mogą osiągać wartości rzędu -2 m. W dolnych partiach odkrywki, począwszy od rzędnej 75 m n.p.m i niżej, mogą występować przemieszczenia pionowe o znaku dodatnim (wypiętrzania). Mogą one osiągać wartości dochodzące do 1.25 m. Wartości przemieszczeń występujące w wysadzie są znacznie mniejsze i nie przekraczają 1 m.

Przykładowe wyniki obliczeń stanu wyężenia górotworu dla eksploatacji w 2005 roku przedstawiono na rysunku 7a, dla stanu eksploatacji w 2017 roku wg wariantu a na rysunku 7b, a wg wariantu b na rysunku 7c.



Rys. 7. Rozwój stref uplastycznienia górotworu: a) 2005 rok, b) 2017 rok - wariant a, c) 2017 rok - wariant b

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że na skutek eksploatacji zaplanowanej do roku 2005 (rys. 7a) strefy uplastycznienia o niewielkim zasięgu pojawiają się w rejonie zboczy eksploatacyjnych. Strefa uplastycznienia o największym zasięgu pojawia się w rejonie najwyższej leżącej skarpy i obejmuje swym zasięgiem utwory czwartorzędowe zalegające powyżej wysadu. Dla stanu eksploatacji na rok 2010 zasięg stref uplastycznienia w otoczeniu wysadu ulega powiększeniu. Obejmują one w niewielkim stopniu utwory podwęglowe trzeciorzędu w rejonie najwyższego piętra eksploatacji. Strefy uplastycznienia pojawiają się także w warstwie brekcji tektonicznej bezpośrednio ponad czapą iłowo-gipsową. Dalsza eksploatacja (stan zaawansowania na rok 2015) powoduje istotne powiększenie zasięgu stref uplastycznienia w utworach podwęglowych. Nie zmienia się natomiast zasięg stref uplastycznienia w warstwie brekcji tektonicznej, bezpośrednio ponad czapą iłowo-gipsową. Eksploatacja w roku 2017 wg wariantu *a* (rys. 7b) nie powoduje istotnego powiększenia zasięgu stref uplastycznienia w porównaniu ze stanem z roku 2015. Eksploatacja według wariantu *b* (zbocze o większym nachyleniu) powoduje znaczny wzrost zasięgu stref uplastycznienia w utworach podwęglowych trzeciorzędu, w rejonie najwyższego piętra eksploatacji. Strefy uplastycznienia sięgają aż do brekcji tektonicznej po wschodniej stronie wysadu. Nie zachodzą natomiast zmiany w zasięgu stref uplastycznienia w warstwie brekcji tektonicznej bezpośrednio ponad czapą iłowo-gipsową.

Reasumując można stwierdzić, że eksploatacja w latach 2005-2017 nie będzie miała wpływu na stan wyżeżenia wysadu solnego. Niepokoić może tylko gwałtowny wzrost zasięgu stref uplastycznienia w utworach podwęglowych trzeciorzędu, aż do objęcia uplastycznieniem brekcji tektonicznej po wschodniej stronie wysadu, szczególnie przy przyjęciu docelowego kształtu zbocza wg wariantu *b*. Może to powodować osłabienie i propagację spękań płaszcza brekcji otulającego wysad (jest on chroniony od prawej strony praktycznie tylko warstwą brekcji – czapa iłowo-gipsowa od tej strony praktycznie zanika) oraz przyczynić się do pogorszenia warunków stateczności zbocza zachodniego.

5. Podsumowanie

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, że prowadzenie eksploatacji w kopalni Bełchatów spowoduje istotne zmiany w stanie naprężenia, odkształcenia i wyżeżenia w wysadzie Dębiny oraz w jego otoczeniu. Zmiany te polegać będą głównie na postępującym odprężeniu górotworu, przejawiającym się znacznym spadkiem naprężeń poziomych, powstawaniu znacznych przemieszczeń poziomych oraz propagacji stref uplastycznienia. Procesy te mogą być przyczyną istotnych zmian w szczelności hydraulicznej skał otaczających wysad. Mogą również przyczynić się do pogorszenia warunków stateczności zbocza zachodniego kopalni Bełchatów, a w przyszłości również zbocza wschodniego odkrywki Szczerców. Zagadnienie wpływu wysadu na warunki stateczności zboczy będzie przedmiotem odrębnych rozważań.

Należy podkreślić, że w prezentowanej pracy nie zajmowano się zagadnieniami reologicznymi, które ze względu na dużą plastyczność soli wywierają niewątpliwie istotny wpływ na przebieg procesów w górotworze. Uwzględnienie tych zagadnień, wymagające przeprowadzenia badań własności reologicznych soli oraz doboru właściwego modelu reologicznego, będzie przedmiotem dalszych prac w tej dziedzinie.

Praca wykonana została w ramach badań własnych nr 10.10.100.676 oraz grantu badawczego nr 5 T12A 022 24.

Literatura

1. Dąbrowska Z.: Cechsztyński wysad solny Dębiny jako dowód tektoniki salinarnej w południowej części niecki łódzkiej. *Biul. Inst. Geol.* nr 309; 121-134. 1978.
2. FLAC v. 4.0a. *Users manual*. Itasca Consulting Group. Minneapolis 2000.
3. FLAC v. 4.0b. *Optional features*. Itasca Consulting Group. Minneapolis, 2000.
4. FLAC v. 4.0c. *Theory and background*. Itasca Consulting Group. Minneapolis, 2000.
5. Flisiak J., Rybicki S.: Numeryczne modelowanie zachowania się wysadu solnego Dębiny w warunkach oddziaływania odkrywkowej eksploatacji złoża węgla brunatnego Bełchatów. *Przegląd Geologiczny*, vol. 45, nr 10, 1997.
6. Gotowała R.: Tektonika Rowu Kleszczowa na tle geologii regionu Bełchatowa. Praca doktorska. Wrocław, marzec 1999 (maszynopis).
7. Kossowski L., Olszewski B.: Reinterpretacja budowy geologicznej złoża Bełchatów w rejonie linii przekrojowych 42-70NS część III. Arch. „Poltegor” Wrocław, 1992 (niepublikowane).
8. Hoek E.: *Rock Engineering*. 2000.
9. Nieć M., Szewczyk E., Barwicz-Piskorz W., Krysiak Z., Szybista A., Zapalowicz-Bilan B.: Opinia naukowa w sprawie interpretacji geologicznej wysadu solnego Dębina. Etap II. Arch. Zakładu Kartografii AGH. Kraków, 1994 (niepublikowane).
10. Szczepańska J. i Zespół: Opracowanie warunków utrzymania dopuszczalnej jakości wód podziemnych w strefie wysadu solnego "Dębina" przy zachowaniu bezpieczeństwa robót górniczych - Pole Bełchatów. *Fund. Nauka i Tradycje Górnicze*. Kraków, listopad 2001 (niepublikowane).
11. Szymański J.: Zabezpieczenie eksploatacji w rowie II rzędu. Prognoza warunków geologiczno-inżynierskich. Poltegor. Wrocław, grudzień 2001 (maszynopis).
12. Zdechlik R.: Wpływ odwodnienia KWB "Bełchatów" na zmiany warunków hydrogeologicznych w rejonie wysadu solnego Dębina. Praca doktorska. Kraków, 2003 (maszynopis).

Numerical modelling of salt dome Dębiny interaction with excavation of open pit Bełchatów.

ABSTRACT: The deposit of Bełchatów Lignite Mine is divided on two parts (east – field Bełchatów and west – field Szczerców) with salt dome Dębiny placed between these parts. Due to the fact that excavation in Bełchatów field draws near to salt dome, its stability may be disturbed. That may be mainly connected with high salt plasticity. The effects of these disturbance may result in slope stability problems, stress relief in rock mass, crack propagation and fracture opening (what may lead to salt leaching). This paper shows the results of numerical modelling with Finite Difference Method code FLAC. Numerical calculation results allowed to formulate the initial description of processes generated by open pit excavation.