

Marek Cala, Danuta Flisiak, Jerzy Flisiak, Stanislaw Rybicki

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

## **Zagrozenia wynikajace z procesów reologicznych w wysadzie Debiny w swietle modelowania numerycznego**

### **Streszczenie**

Złoże węgla brunatnego Belchatów, występujące w skomplikowanej strukturze tektonicznej zwanej rowem Kleszczowa, dzieli się na część wschodnią (pole Belchatów) i zachodnią (pole Szczerców), które rozdziela wysad solny w rejonie Debiny. Prowadzona obecnie eksploatacja odkrywkowa węgla w polu Belchatów zbliża się sukcesywnie do granic wysadu. Prowadzenie eksploatacji w bezpośrednim sąsiedztwie wysadu może spowodować 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 odprezienia górotworu i prowadzące do powstania spekan, a w efekcie niekorzystnych zmian warunków migracji wód. W pracy zamieszczono wyniki numerycznego modelowania metoda różnic skończonych stanu naprężeń i deformacji wysadu, które są wstępna próba oceny zachodzących w nim procesów po zakończeniu eksploatacji w kopalni Belchatów.

### **1. Wprowadzenie**

Złoże węgla brunatnego Belchatów, występujące w skomplikowanej strukturze tektonicznej zwanej rowem Kleszczowa, dzieli się na część wschodnią (pole Belchatów) i zachodnią (pole Szczerców), które rozdziela wysad solny w rejonie Debiny. Prowadzona obecnie eksploatacja odkrywkowa węgla w polu Belchatów zbliża się sukcesywnie do granic wysadu. Z kolei od jego strony zachodniej rozpoczęto już budowę nowej odkrywki Szczerców. Docelowa głębokość odkrywek wyniesie około 280 m, a ich spąg znajdować się będzie około 120 m poniżej rzędnej stropu wysadu. Znaczne odciążenie górotworu wskutek wykonania 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 odprezienia górotworu i powstania spekan, które w efekcie wywołać mogą zmiany w warunkach migracji wód mogących nawet lęgować wysad solny.

W niniejszym referacie przedstawiono wyniki analiz numerycznych zachowania się wysadu solnego Debiny po zakończeniu eksploatacji w kopalni Belchatów. Analizie stanu naprężeń, przemieszczenia i wyteżenia przeprowadzono w przekroju geologicznym 18W-E, poprowadzonym przez środkową część wysadu, prostopadle do krawędzi zbocza zachodniego. Obliczenia numeryczne przeprowadzono w płaskim stanie odkształcenia.

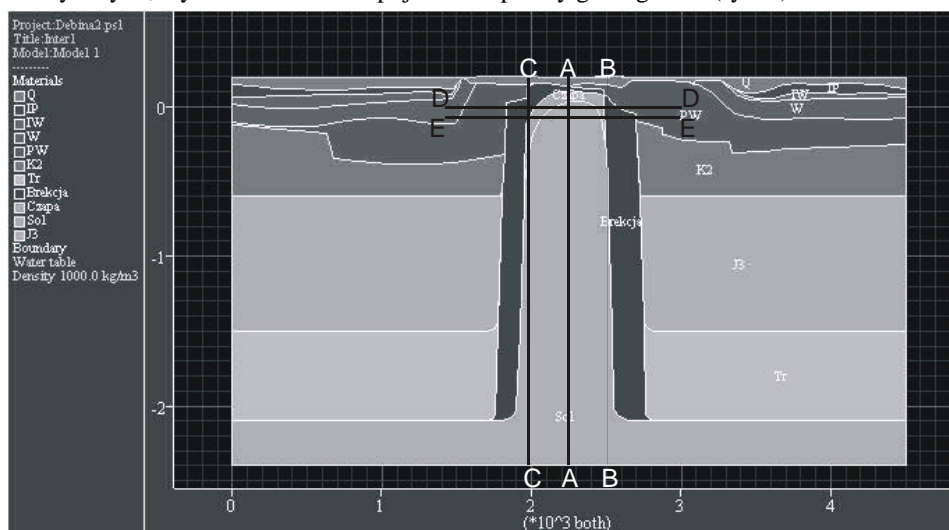
Wszystkie obliczenia dla potrzeb niniejszej pracy przeprowadzono za pomocą programu Metody Różnic Skonczonych FLAC v. 4.0, przyjmując, dla wszystkich kompleksów z wyjątkiem soli, sprężysto-plastyczny model osrodka z warunkiem plastyczności Coulomba-Mohra (FLAC, 2000a,b,c). Przyjęto, że sól wysadu Debiny zachowuje się zgodnie ze sprężysto-lepkim modelem Maxwella.

W obliczeniach nie uwzględniono oddziaływania budowanej odkrywki „Szczerców”, której zbocze wschodnie zbliży się do wysadu za kilkadziesiąt lat. Prezentowane wyniki numerycznego modelowania stanu naprężeń i przemieszczeń w otoczeniu wysadu, po zakończeniu eksploatacji pola Belchatów, są próbą wstępnej oceny takich procesów.

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

Budowa geologiczna i tektonika rejonu wysadu solnego zostały dotychczas wstępnie rozpoznane zarówno w wyniku badań geofizycznych jak i wiercen. Interpretacja wyników tych badań nie jest jednoznaczna, zwłaszcza odnośnie zarysu i kształtu wysadu oraz budowy geologicznej jego najbliższego otoczenia (Dąbrowska, 1978; Gotowała, 1999).

W niniejszej pracy budowę geologiczną w rejonie wysadu określono na podstawie przekrojów 18W-E i SW-NE sporządzonych przez POLTEGOR (Szymanski, 2001). Przekroje te obejmują interpretacje budowy geologicznej do głębokości rozpoznania otworami badawczymi tj. do głębokości od 300 do 700 metrów. Dla celów modelowania zachowania się całego wysadu solnego przyjęto większe głębokości, aż do pokładu solnego, z którego powstał wysad. Dane na temat wglębnej budowy są tylko przybliżone i oparte na przesłankach regionalnej budowy geologicznej (Dąbrowska, 1978; Kossowski i Olszewski, 1992; Niec i inni, 1994; Szczepanska i inni, 2001). W modelu geometrycznym, dla potrzeb obliczeń numerycznych, wyodrębniono następujące kompleksy geologiczne (rys. 1):



Rys. 1. Przekrój przez wysad z wydzielonymi kompleksami geologicznymi  
Fig.1. Cross-section through the dome with identified geological complexes

1. Kompleks 1 - sól kamienna. Strop wysadu soli występuje na głębokości około 160 - 220 m ppt.
2. Kompleks 2 - czapa ilowo-gipsowa. Stanowią ją produkty wietrzenia i rozmywania soli, głównie włókniste i grubokrystaliczne gipsy oraz ilowce, w stropie czapy wymieszane z fragmentami wapieni, margli i mulowców mezozoicznych.
3. Kompleks 3 – brekcja. Są to utwory stanowiące otuliny czapy ilowo-gipsowej zarówno nad wysadem, jak i wokół niego, zbudowane z brekcji skal mezozoicznych - margle, wapień, piaskowce, mulowce (Szczepanska i inni, 2001).
4. Kompleks 4 - utwory triasu (głównie piaskowce i wapień).
5. Kompleks 5 - utwory jury (głównie wapień i margle).
6. Kompleks 6 - utwory kredy (ilowce, mulowce, wapień, piaskowce).
7. Kompleks 7 - utwory podwęglowe trzeciorzędu PW (piaski, mulki, przewarstwienia węgla).
8. Kompleks 8 - pokład węgla W (węgiel brunatny z cienkimi przewarstwieniami ilasto-piaszczystymi).
9. Kompleks 9 - utwory ilasto-węglowe trzeciorzędu IW (iły, mulki, przewarstwienia węgla).
10. Kompleks 10 - czwartorzęd + kompleks ilasto-piaszczysty trzeciorzędu Q + Ip (piaski, iły, mulki, gliny zwalowe).

Utworom poszczególnych kompleksów przypisano właściwości geomechaniczne, których wartości zamieszczono w tabeli 1. Zostały one określone na podstawie badań prób laboratoryjnych lub oszacowań, w niektórych przypadkach weryfikowanych na podstawie obliczeń numerycznych (Flisiak i Rybicki, 1997; Szymanski, 2001).

Obecny stan i prognozy zmian warunków hydrogeologicznych w rejonie wysadu oparto na opracowaniach Szymanskiego (2001) i Zdechlika (2003).

Tabela 1.

Własności wydzielonych kompleksów geologicznych  
Mechanical properties of the identified geological complexes

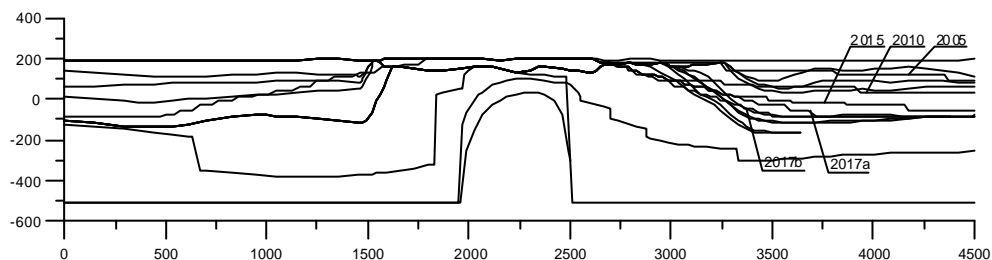
Nazwa kompleksu	Gęstość objętościowa ? [kg/m <sup>3</sup> ]	Wsp. odkształcalności podłużnej E[MPa]	Wsp. odkształcalności poprzecznej ?	Kąt tarcia wewnętrzznego f [°]	Spójność c[kPa]
Kompleks 1	2120	7600	0.25	55.9	4370
Kompleks 2	2140	397	0.49	24	121
Kompleks 3	2300	630	0.49	23.5	116
Kompleks 4	2700	10000	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

Dla przyjętego modelu numerycznego obecność wody w górotworze należy uznać za dodatkowe obciążenie skal (strefa zawodnienia sięga prawdopodobnie do głębokości około 2000 m do pokładu solnego). Obciążenie to uwzględniano poprzez przyjęcie gęstości objętościowych skal jak dla warunków pełnego nasycenia wodą ( $\rho_{\text{sat}}$ ).

### 3. Analiza wpływu eksploatacji w latach 2005-2017 na stan napreżenia, przemieszczenia i wyteżenia w otoczeniu wysadu Debiny

Szczegółowa analiza wpływu eksploatacji w latach 2005-2017 na stan napreżenia, przemieszczenia i wyteżenia w otoczeniu wysadu Debiny zamieszczono w pracy (Cala i inni, 2004). W tym celu zbudowano 4 modele numeryczne, uwzględniające planowane 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 kat nachylenia powiększono z  $14.21^{\circ}$  (przypadek a) do  $17.38^{\circ}$  (przypadek b). Dla porównania przeprowadzono obliczenia stanu napreżenia i deformacji, jakie panowały w górotworze przed rozpoczęciem eksploatacji w kopalni Belchatów (stan pierwotny). W obliczeniach dla rozpatrywanego okresu nie uwzględniano efektów reologicznych.

Do obliczeń numerycznych przyjęto w uproszczeniu, że aktualnie (2003 r) zwierciadło wód podziemnych pomiędzy odkrywką a wysadem solnym przebiega poziomo na rzędnej +95 m npm (głębokość około 100 m), w roku 2010 zostanie obniżone do rzędnej  $\pm 0$  m npm (głębokość około 195 m) a w roku 2017, tj. w ostatnim roku eksploatacji, do rzędnej -80 m npm (głębokość około 275 m).



Rys. 2. Położenie zbocza zachodniego w poszczególnych modelach numerycznych  
Fig.2. Western slope location for selected numerical models

Obliczenia przeprowadzono w płaskim stanie odkształcenia zakładając, że jedyne obciążenie wywołane jest przez ciężar własny utworów. Analizowane modele stanowią tarcze o wymiarach 4500x2600 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.

Dla oceny wpływu postępującej eksploatacji na wysad i jego otoczenie dla każdego modelu sporządzono mapy izolinii poszczególnych składowych tensora napreżenia 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 A-A, B-B i C-C oraz dwóch przekrojach poziomych D-D i E-E (rys. 1). W nich to porównywano wyniki uzyskane dla poszczególnych

stanów zaawansowania eksploatacji ze stanem zerowym (pierwotnym), jaki istniał w górotworze przed rozpoczęciem wydobywania.

Analiza wyników modelowania wskazuje, że jeszcze przed zbliżeniem się frontu eksploatacji, w wysadzie i w jego otoczeniu, panuje złożony stan napreżeń wywołany skomplikowaną budową geologiczną i tektoniką. Stan ten ulegać będzie dalszym zaburzeniom, rosnącym w miarę zbliżania się zbocza zachodniego do wysadu. Szczególnie dotyczy to poziomych napreżeń efektywnych, których bezwzględna wartość w przekroju B-B, na poziomie 0.0 m n.p.m., zmniejszy się od pierwotnej wartości 4.2 MPa do wartości 2.16 MPa w roku 2017 (spadek o 49% w porównaniu ze stanem pierwotnym). W przekroju A-A postęp eksploatacji powoduje wzrost bezwzględnych wartości napreżeń pionowych. W porównaniu ze stanem zerowym, na poziomie 0.0 m n.p.m., 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 napreżenia w wysadzie solnym i jego otoczeniu. Zmiany te prowadzi głównie do zmniejszenia napreżeń (odpreżenia) i w największym stopniu dotyczy 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.

Eksploatacja w kolejnych latach wywołuje największe przemieszczenia i odkształcenia 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 odkrywk, począwszy od rzędnej 75 m n.p.m. i niżej, mogą występować przemieszczenia pionowe o znaku dodatnim (wypietrzania). Mogą one osiągać wartości dochodzące do 1.25 m. Wartości przemieszczeń występujące w wysadzie są znacznie mniejsze i nie przekraczają 1 m.

Eksploatacja w latach 2005-2017 raczej nie będzie miała wpływu na stan wyteżenia 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 spekan w brekcji otulającej wysad (jest on chroniony od prawej strony praktycznie tylko warstwa brekcji – czapa ilowo-gipsowa od tej strony praktycznie zanika) oraz przyczynić się do pogorszenia warunków stateczności zbocza zachodniego.

Podsumowując, można stwierdzić, że prowadzenie eksploatacji w kopalni Belchatów spowoduje istotne zmiany w stanie napreżenia, odkształcenia i wyteżenia w wysadzie Debiny oraz w jego otoczeniu. Zmiany te polegają będą głównie na postępującym odpreżeniu górotworu, przejawiającym się znacznym spadkiem napreżeń poziomych, powstawaniu znacznych przemieszczeń poziomych oraz propagacji stref uplastycznienia. Procesy te mogą być przyczyną istotnych zmian w szczelności hydraulicznej skal otaczających wysad. Mogą również przyczynić się do pogorszenia warunków stateczności zbocza zachodniego kopalni Belchatów, a w przyszłości również zbocza wschodniego odkrywki Szczerców.

#### **4. Analiza stanu napreżenia, przemieszczenia i wyteżenia w otoczeniu wysadu Debiny po zakończeniu eksploatacji w kopalni Belchatów, z uwzględnieniem procesów reologicznych**

W poprzednich rozważaniach nie uwzględniono aspektów reologicznych zachodzących zjawisk, które ze względu na dużą plastyczność soli wywierają niewątpliwie istotny wpływ na przebieg procesów w górotworze.

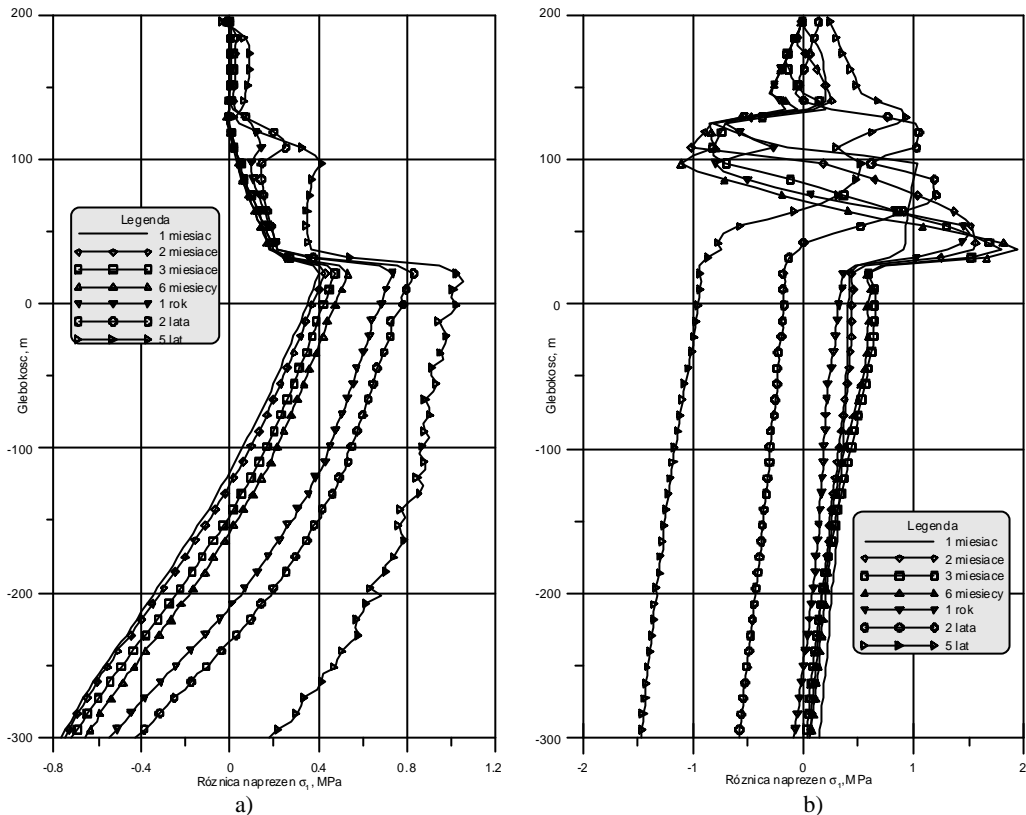
Celem opisanych poniżej obliczeń numerycznych było znalezienie odpowiedzi na pytanie, jak zmienia się stan naprężenia, przemieszczenia i wyteżenia w otoczeniu wysadu Debina wraz z upływem czasu. Jako wyjściowy przyjęto stan po zakończeniu eksploatacji w kopalni „Belchatów”, czyli stan na rok 2017. Dla obliczeń przyjęto, że sól wysadu Debiny zachowuje się zgodnie ze sprężysto-lepkim modelem Maxwella.

W obliczeniach rozpatrzono dwa modele różniące się od siebie współczynnikiem lepkości według Maxwella. Jak dotychczas, dla soli z wysadu Debiny, przeprowadzono zaledwie jedną próbę pełzania z odciażeniem (Flisiak i Klisowski, 2004), w wyniku której określono, że współczynnik lepkości wynosi  $\eta_k = 2.69 \times 10^{14}$  Pa·s. Taka wartość współczynnika lepkości znacznie odbiega od lepkości określanych dla soli kamiennych z innych złóż cechsztyńskich. Przykładowo, przeciętna wartość współczynnika lepkości dla soli z Mogilna wynosi  $\eta_k = 1.05 \times 10^{17}$  Pa·s, zaś dla soli z Sieroszowic  $\eta_k = 2.7 \times 10^{16}$  Pa·s (Flisiak i Klisowski, 2004). W związku z tak dużym zróżnicowaniem wartości współczynnika lepkości, przekraczającym kilka rzędów wielkości, zdecydowano się przeprowadzić obliczenia dla dwóch skrajnych jego wartości. I tak w modelu 1 przyjęto współczynnik lepkości równy  $\eta_k = 1.05 \times 10^{17}$  Pa·s, zaś w modelu 2 -  $\eta_k = 2.69 \times 10^{14}$  Pa·s. Dla obu modeli obliczenia przeprowadzono w następujących okresach:

- wariant 1 - 1 miesiąc po zakończeniu eksploatacji,
- wariant 2 - 2 miesiące po zakończeniu eksploatacji,
- wariant 3 - 3 miesiące po zakończeniu eksploatacji,
- wariant 4 - 6 miesięcy po zakończeniu eksploatacji,
- wariant 5 - 1 rok po zakończeniu eksploatacji (stan na rok 2018),
- wariant 6 - 2 lata po zakończeniu eksploatacji (stan na rok 2020),
- wariant 7 - 5 lat po zakończeniu eksploatacji (stan na rok 2022).

Wyniki obliczeń analizowano w tych samych przekrojach jak w rozdziale 3. Ze względu na ogromną ich objętość poniżej zamieszczono tylko wykresy niektórych składowych tensora naprężenia i odkształcenia w wybranych przekrojach.

Na rys. 3a i 3b pokazano rozkład zmian naprężeń głównych  $\sigma_1$  w przekroju A-A dla modelu 1 i modelu 2. Dla modelu 1, w którym przyjęto większą wartość współczynnika lepkości, można zaobserwować wzrost wartości naprężeń  $\sigma_1$  w miarę upływu czasu. Największy wzrost wartości naprężeń występuje w wysadzie solnym. Przykładowo na poziomie -80 m npm (docelowa największa głębokość odkrywki) naprężenia  $\sigma_1$  po okresie 1 miesiąca przyjmują wartości 0.11 MPa, zaś po upływie 5 lat rosną do wartości 0.88 MPa (wzrost o 700%). W miarę upływu czasu naprężenia w wysadzie rosną i zmieniają znak z ujemnych na dodatnie, czyli przechodzą od wartości sciskających do rozciągających. Zupełnie inaczej sytuacja przedstawia się dla modelu 2, dla którego przyjęto niższe wartości współczynnika lepkości. W wysadzie solnym następuje spadek wartości naprężeń głównych  $\sigma_1$ . Na poziomie -80 m npm naprężenia  $\sigma_1$  po okresie 1 miesiąca przyjmują wartości 0.35 MPa, zaś po upływie 5 lat spadają do wartości -1.1226 MPa (spadek o ponad 400%). W miarę upływu czasu naprężenia w wysadzie spadają i zmieniają znak z dodatnich na ujemne, czyli przechodzą od wartości rozciągających do sciskających.



Rys.3. Wykres zmian naprezeń głównych  $\sigma_1$  w przekroju A-A: a) model 1, b) model 2  
 Fig. 3. Distribution of differences of principal stress  $\sigma_1$  in cross-section A-A: a) model 1, b) model 2

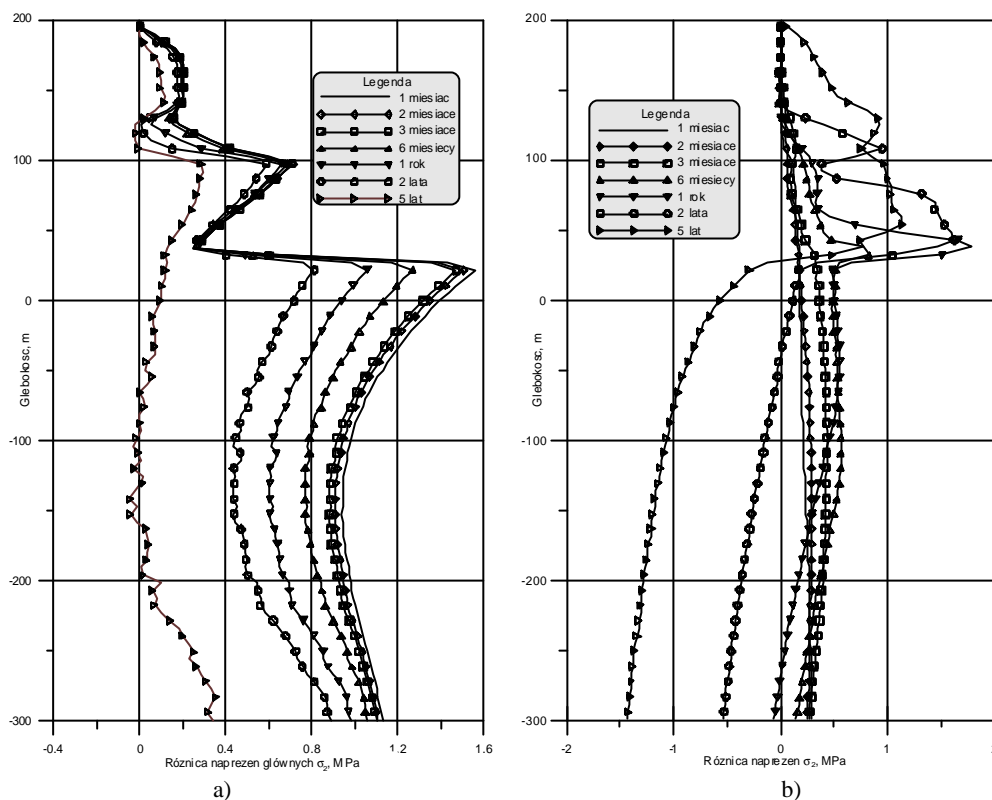
Na rys. 4a i 4b pokazano rozkład zmian naprezeń głównych  $\sigma_2$  w przekroju A-A dla modelu 1 i modelu 2. Tutaj z kolei można zaobserwować spadek wartości naprezeń zarówno dla modelu 1 jak i dla modelu 2.

Dla modelu 1, na poziomie -80 m npm napreżenia  $\sigma_2$  po okresie 1 miesiąca przyjmują wartości 1.021 MPa, zaś po upływie 5 lat spadają do wartości 0.001 MPa. Dla modelu 2, na poziomie -80 m npm napreżenia  $\sigma_2$  po okresie 1 miesiąca przyjmują wartości 0.43 MPa, zaś po upływie 5 lat spadają do wartości -0.99 MPa (spadek o ponad 300 %).

Podsumowując można stwierdzić, że wartości naprezeń głównych  $\sigma_1$  bardzo silnie zależą od przyjętego do obliczeń współczynnika lepkości. Przyjęcie w modelu 1 większej wartości współczynnika lepkości powoduje wzrost wartości naprezeń  $\sigma_1$  w miarę upływu czasu, zaś założenie niższej wartości współczynnika wywołuje spadek wartości naprezeń  $\sigma_1$ . Z kolei napreżenia  $\sigma_1$  spadają z upływem czasu, zarówno dla modelu 1 jak i dla modelu 2.

Różnica wyników analiz dla modeli 1 i 2 jest jeszcze lepiej widoczna w rozkładach przemieszczeń poziomych i pionowych w wysadzie solnym.

Na rys. 5a i 5b pokazano zmienność przemieszczeń poziomych w przekroju A-A. Dla modelu 1 można zaobserwować niewielki wzrost wartości przemieszczeń poziomych w miarę upływu czasu. Największy wzrost wartości przemieszczeń występuje w wysadzie solnym na poziomie około -80 m npm, co odpowiada docelowej, największej głębokości odkrywki.



Rys.4. Wykres zmian naprężeń głównych  $\sigma_2$  w przekroju A-A: a) model 1, b) model 2  
 Fig. 4. Distribution of differences of principal stress  $\sigma_2$  in cross-section A-A: a) model 1, b) model 2

Przemieszczenia poziome po okresie 1 miesiąca przyjmują wartości około 0.001 m, zaś po upływie 5 lat rosną do wartości do wartości 0.17 m. Największe dodatnie (w stronę odkrywki Belchatów) przemieszczenia poziome występują w modelu 2 na poziomie -200 m npm. Są one równe 3.26 m (19 razy większe niż dla modelu 1).

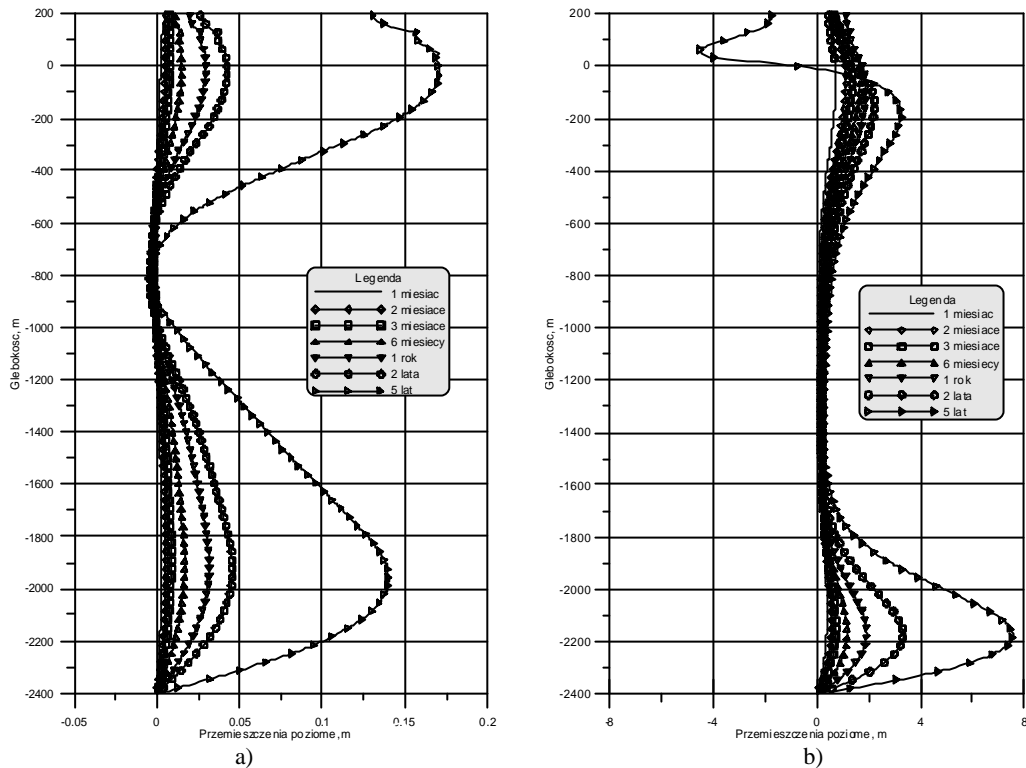
Z kolei w utworach czwartorzędowych, występujących bezpośrednio powyżej czapy, występują przemieszczenia ujemne (w stronę planowanej odkrywki Szczerców). Osiągają one maksymalne wartości równe -4.5 m na poziomie około 50 m npm.

Na rys. 6a i 6b pokazano rozkład zmian przemieszczeń pionowych w przekroju A-A dla modelu 1 i modelu 2. Dla modelu 1 można zaobserwować spadek wartości przemieszczeń pionowych w miarę upływu czasu. Największy spadek wartości występuje na poziomie 100 m npm, gdzie przemieszczenia osiągają wartości rzędu -0.66 m po upływie 5 lat. Zupełnie inny rozkład przemieszczeń występuje w modelu 2. Maksymalne przemieszczenia pionowe występują mniej więcej w połowie przyjętej wysokości wysadu (na poziomie -1200 m npm) i osiągają bardzo duże wartości rzędu 33.8 m po upływie 5 lat.

Widac wyraźnie, że przyjęcie odmiennych wartości współczynnika lepkości w obu modelach obliczeniowych daje w efekcie diametralnie różne wyniki.

Przyjęcie większego współczynnika lepkości (model 1) prowadzi do wystąpienia w wysadzie ujemnych przemieszczeń pionowych, dodatnich przemieszczeń poziomych od strony odkrywki Belchatów oraz ujemnych przemieszczeń poziomych od strony odkrywki Szczerców.





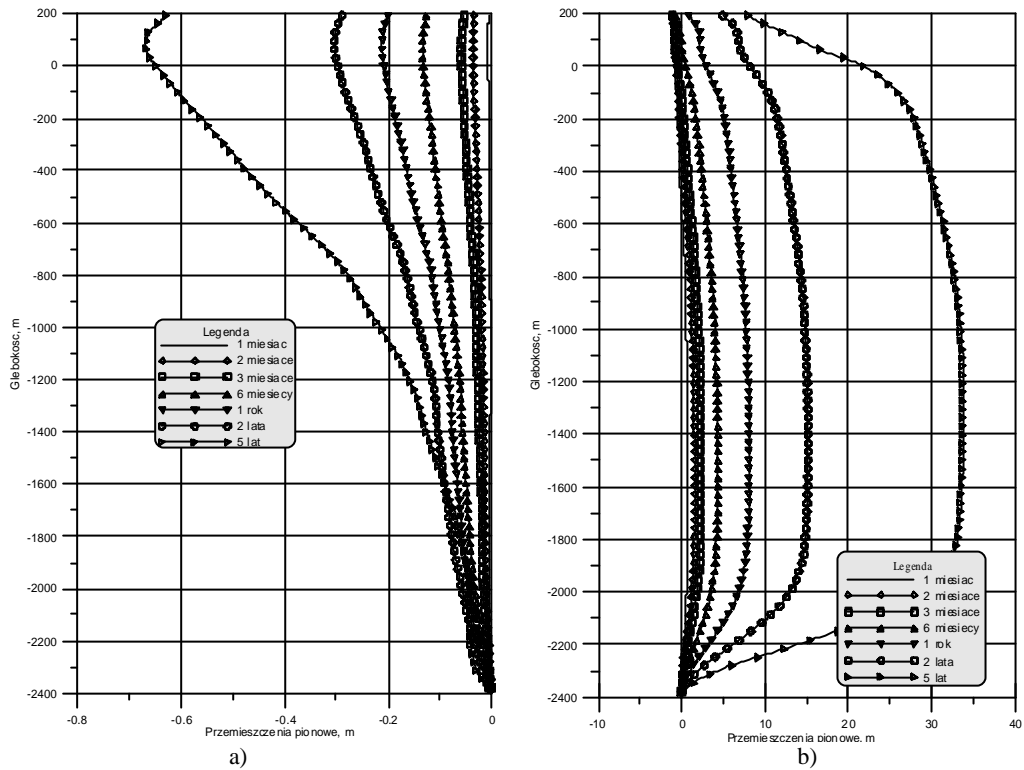
Rys.5. Wykres zmian przemieszczeń poziomych w przekroju A-A: a) model 1, b) model 2  
 Fig. 5. Distribution of differences of horizontal displacements in cross-section A-A: a) model 1, b) model 2

Wysad jest więc zaciskany i „rozpycha” się na obie strony. Proces ten najintensywniej zachodzi mniej więcej w połowie wysokości wysadu. Należy także zauważyć, że przemieszczenia poziome w kierunku odkrywki Belchatów przyjmują wartości około 0.41 m i są większe o około 30 % od przemieszczeń poziomych w kierunku odkrywki Szczerców.

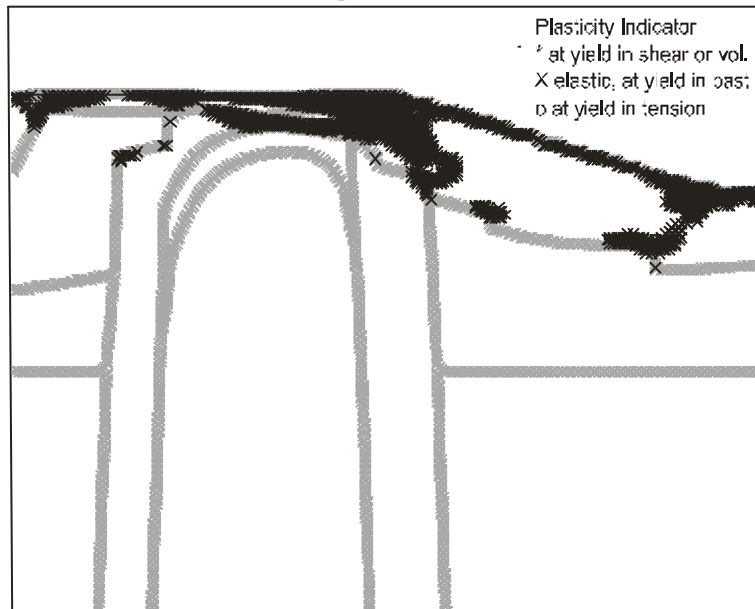
Przyjęcie o wiele mniejszego współczynnika lepkości (model 2) prowadzi do wystąpienia w wysadzie dodatnich przemieszczeń pionowych oraz przemieszczeń poziomych o dokładnie przeciwnych zwrotach niż w modelu 1. Niska lepkość soli powoduje, że wysad solny jest wyciskany do góry i przemieszcza się pionowo z lekkim odchyleniem w stronę odkrywki Belchatów. Uzyskane wartości przemieszczeń poziomych i pionowych, dochodzące do kilkudziesięciu metrów, wydają się jednak być mocno zawyżone.

Na rys. 7 pokazano rozkład stref uplastycznienia dla stanu po zakończeniu eksploatacji odkrywki Belchatów. Strefy uplastycznienia obejmują swym zasięgiem utwory czwartorzędowe zalegające powyżej wysadu oraz utwory podwęglowe trzeciorzędu. Pojawiają się one także w warstwie brekcji tektonicznej, bezpośrednio ponad czapa ilowo-gipsowa oraz po wschodniej stronie wysadu.

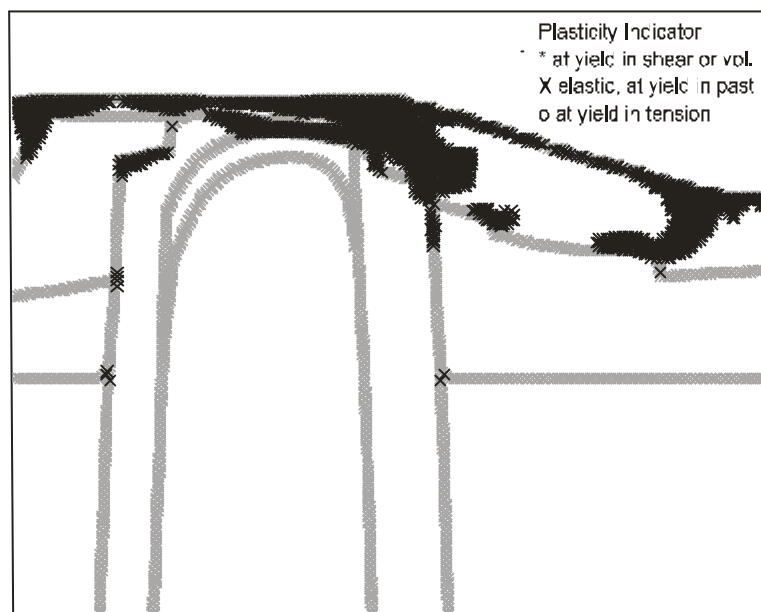
Rys. 8 przedstawia rozkład stref uplastycznienia dla modelu 1 po upływie 5 lat. Zasięg stref uplastycznienia nie zmienia się w sposób istotny. Można zauważyć niewielki wzrost zasięgu stref uplastycznienia w utworach podwęglowych trzeciorzędu oraz w rejonach kontaktu brekcji tektonicznej z innymi utworami. Rozkład stref uplastycznienia dla modelu 2 po upływie 5 lat



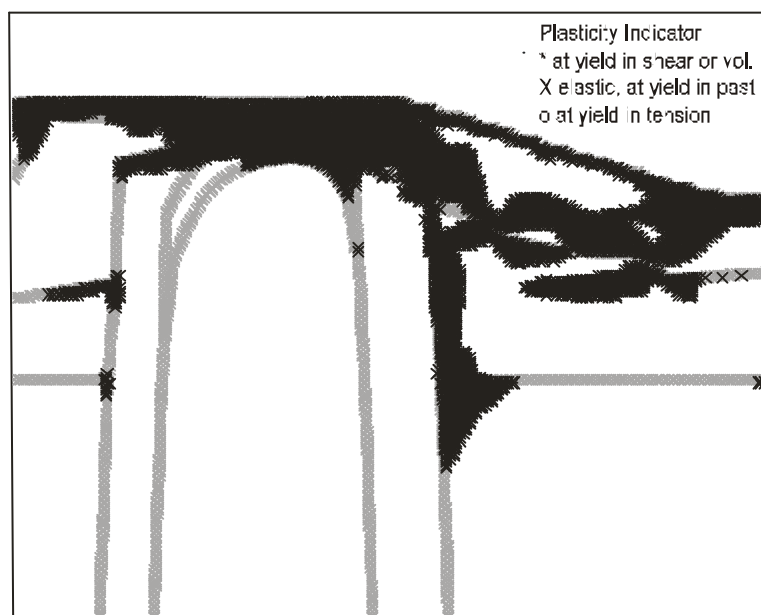
Rys.6. Wykres zmian przemieszczeń pionowych w przekroju A-A: a) model 1, b) model 2  
 Fig. 6. Distribution of differences of vertical displacements in cross-section A-A: a) model 1, b) model 2



Rys. 7. Rozkład stref uplastycznienia w roku 2017 (koniec eksploatacji odkrywki Belchatów)  
 Fig. 7. Distribution of plasticity indicators in (end of Belchatow field excavation)



Rys. 8. Rozkład stref uplastycznienia 5 lat po zakończeniu eksploatacji (model 1)  
Fig. 8. Distribution of plasticity indicators 5 years after the end of excavation (model 1)



Rys. 9. Rozkład stref uplastycznienia 5 lat po zakończeniu eksploatacji (model 1)  
Fig. 9. Distribution of plasticity indicators 5 years after the end of excavation (model 1)

pokazuje rys.9. Widac wyraźnie znaczacy wzrost zasięgu stref uplastycznienia w otoczeniu wysadu. Można zaobserwować, że mają one większy zasięg w utworach podwęglowych

trzeciorzędu, szczególnie w sąsiedztwie zbocza odkrywki. Strefy uplastycznienia obejmują także prawie całą czapę ilowo-gipsowa od strony zbocza odkrywki Belchatów. Pojawiają się one także w utworach kredy i jury w bezpośrednim sąsiedztwie brekcji tektonicznej. Gwałtowny wzrost zasięgu stref uplastycznienia, szczególnie w otoczeniu brekcji tektonicznej, może powodować osłabienie i propagację spekan płaszcza brekcji otulającego wysad.

Widac wyraźnie, że zastosowanie do obliczeń niskiej wartości współczynnika lepkości prowadzi do wystąpienia dużych przemieszczeń wysadu (wyciskanie wysadu), co z kolei powoduje znaczący wzrost zasięgu stref uplastycznienia w utworach otaczających wysad.

## **5. Podsumowanie**

Przedstawione w referacie symulacje numeryczne, uwzględniające czynnik czasu w zachowaniu się wysadu solnego Debiny, dały wyniki odmienne zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym. Trudno jest na obecnym etapie stwierdzić, który z nich jest bardziej prawdopodobny. Dla uzyskania wiarygodnych prognoz zachowania się wysadu w miarę upływu czasu, należałoby niewątpliwie przeprowadzić szerzej zakrojone badania laboratoryjne własności reologicznych soli z wysadu (dotychczasowe symulacje numeryczne były oparte o dane z próby krótkotrwałego pelzania dla zaledwie jednej próbki soli). W tym celu konieczne jest dokonanie odwiertów i pobranie odpowiedniej ilości prób.

Celowe wydaje się także prowadzenie pomiarów przemieszczeń powierzchni terenu oraz wewnątrz górotworu w otoczeniu wysadu. Powinno to pozwolić na wypracowanie systemu ciągłej kontroli ruchów górotworu w otoczeniu wysadu. Umożliwi to także budowę znacznie bardziej wiarygodnych modeli numerycznych, które będą musiały w przyszłości uwzględnić wpływ odkrywki Szczerców na zachowanie się wysadu.

*Praca wykonana została w ramach grantów badawczych nr 5 T12A 022 24 oraz 5 T12A 017 22*

## **Literatura**

- [1] Cala M., Flisiak J., Rybicki S. 2004. Modelowanie oddziaływania odkrywkowej eksploatacji w kopalni Belchatów na wysad Debiny. Materiały XXVII Zimowej Szkoły Mechaniki Górotworu.
- [2] Dąbrowska Z.: 1978. Cechsztyński wysad solny Debiny jako dowód tektoniki salinarnej w południowej części niecki łódzkiej. Biul. Inst. Geol. nr 309; 121-134.
- [3] FLAC v. 4.0a. 2000. Users manual. Itasca Consulting Group. Minneapolis
- [4] FLAC v. 4.0b. 2000. Optional features. Itasca Consulting Group. Minneapolis.
- [5] FLAC v. 4.0c. 2000. Theory and background. Itasca Consulting Group. Minneapolis.
- [6] Flisiak D., Klisowski R. 2004. Wstępna ocena własności deformacyjnych soli kamiennej z wysadu Debiny. XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu. Str. 63-72.
- [7] Flisiak J., Rybicki S. 1997. Numeryczne modelowanie zachowania się wysadu solnego Debiny w warunkach oddziaływania odkrywkowej eksploatacji złoża węgla brunatnego Belchatów. Przegląd Geologiczny, vol. 45, nr 10.
- [8] Gotowała R.. 1999. Tektonika Rowu Kleszczowa na tle geologii regionu Belchatowa. Praca doktorska. Wrocław, marzec 1999 (maszynopis).
- [9] Kossowski L., Olszewski B. 1992. Reinterpretacja budowy geologicznej złoża Belchatów w rejonie linii przekrojowych 42-70NS część III. Arch. „Poltegor” Wrocław, 1992 (niepublikowane).
- [10] Niec M., Szewczyk E., Barwicz-Piskorz W., Krysiak Z., Szybista A., Zapalowicz-Bilan B. 1994. Opinia naukowa w sprawie interpretacji geologicznej wysadu solnego Debina. Etap II. Arch. Zakładu Kartografii AGH. Kraków (niepublikowane).

- [11] Szczepanska J. i Zespól. 2001. Opracowanie warunków utrzymania dopuszczalnej jakości wód podziemnych w strefie wysadu solnego "Debina" przy zachowaniu bezpieczeństwa robót górniczych - Pole Belchatów. Fund. Nauka i Tradycje Górnicze. Kraków (niepublikowane).
- [12] Szymanski J. 2001. Zabezpieczenie eksploatacji w rowie II rzędu. Prognoza warunków geologiczno-inżynierskich. Poltegor. Wrocław (maszynopis).
- [13] Zdechlik R. 2003. Wpływ odwodnienia KWB "Belchatów" na zmiany warunków hydrogeologicznych w rejonie wysadu solnego Debina. Praca doktorska. Kraków (maszynopis).

### **Geotechnical hazards from rheological processes in the salt dome Debiny in the light of numerical modeling**

The deposit of Belchatów Lignite Mine is divided on two parts (east – field Belchatów and west – field Szczerców) with salt dome Debiny placed between these parts. Due to the fact that excavation in Belchatów field draws near to salt dome, its stability may be disturbed. That may be mainly connected with high salt plasticity. The effects of these disturbances 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 calculations were performed in order to model the rheological processes in the vicinity of the salt dome after completing the excavation of eastern field.