

Numeryczne modelowanie zachowania wysadu solnego Dębiny w warunkach oddziaływania odkrywkowej eksploatacji złoża węgla brunatnego Bełchatów

Jerzy Flisiak*, Stanisław Rybicki**

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 jest planowane otwarcie nowej odkrywki Szczerców. Docelowa głębokość odkrywek, jedna z większych w Europie, wyniesie ok. 250 m, a ich spąg sięgnie ok. 50 m poniżej rzędnej stropu wysadu. Istnieje obawa, że znaczne odciążenie górotworu wskutek wykonania obu głębokich odkrywek w bezpośredniej bliskości wysadu może wpłynąć na zachowanie się wysadu, rozumiane jako jego deformacje, zwłaszcza wobec dużej plastyczności samej soli. Skutki takich deformacji mogłyby mieć poważne konsekwencje nie tylko bieżące, w okresie prowadzenia eksploatacji, ale i bardziej długofalowe, wynikające, np. z odprężenia górotworu i rozwarcia spękań, a w efekcie zmiany przenikania i krążenia wód mogących ługować wysad solny. Prezentowane wyniki numerycznego modelowania stanu naprężeń wysadu są próbą wstępnej oceny takich procesów.

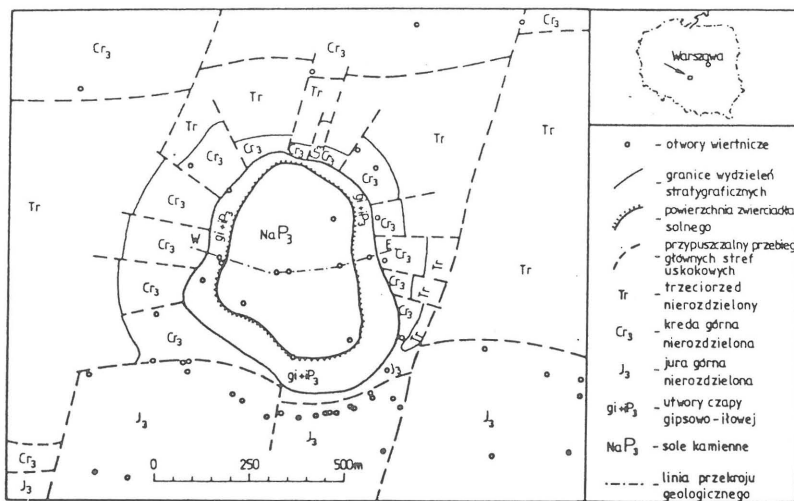
Budowa geologiczna i tektonika rejonu wysadu solnego zostały dotychczas wstępnie rozpoznane zarówno w wyniku badań geofizycznych, jak i wierceń. Interpretacja wyników tych badań nie jest dotychczas jednoznaczna, zwłaszcza odnośnie zarysu i kształtu wysadu oraz budowy geologicznej jego najbliższego otoczenia. Istniejące koncepcje przyjmują bądź to słupową formę wysadu ze zróżnicowanym nachyleniem jego ścian (Dąbrowska, 1978; Nieć i in., 1993) bądź formę słupową, lecz w górnej części rozszerzoną ku SW i S do postaci grzyba (Kossowski & Olszewski, 1992). Ostatnie badania — odwiercenie otworu PD-41 — nie potwierdzają poglądu o rozszerzaniu się górnej części wysadu solnego (Nieć i in., 1994). Ogólnie biorąc dotychczasowe dane sugerują, że kontur wysadu jest w planie nieregularny, zbliżony do owalu nieco wydłużonego w kierunku SE, o wymiarach 400 x 500 m, zależnie od kierunku (ryc. 1). W przekroju wysad przypomina kształtem słup solny o stromych, prawie pionowych granicach, z nieznacznymi przewieszkami w części południowej i północnej oraz odchyleniu od pionu na południe ok. 2–3° (ryc. 2). Wysokość wysadu, liczona od jego strefy korzeniowej, nie jest bliżej znana, lecz na podstawie regionalnych przesłanek geologi-

cznych przypuszcza się, że może dochodzić do 3000 m (Dąbrowska, 1978).

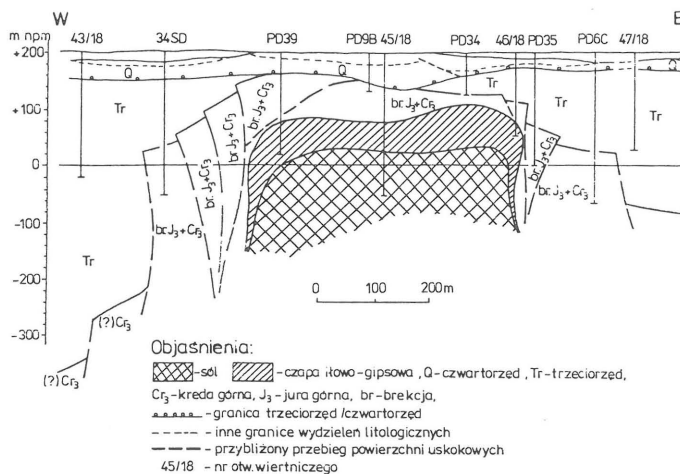
Na podstawie danych wiertniczych można było stwierdzić, że w wysadzie (w jego górnej części) przeważają cechstyńskie sole kamienne średnio- i grubokrystaliczne z przerostami anhydrytów i zanieczyszczeniami ilastymi. Oprócz nich występują też sole średnio- i drobnokrystaliczne z cienkimi przewarstwieniami szarych iłowców. Zwierciadło solne występuje na głębokości ok. 160–220 m p.p.t.

Wokół wysadu solnego oraz ponad nim można wyróżnić kolejno:

- czapę iłowo-gipsowo-anhydrytową,
- otulinę brekcyjową zbudowaną ze skał mezozoicznych,
- otulinę blokowo poprzemieszczanych utworów mezozoicznych,



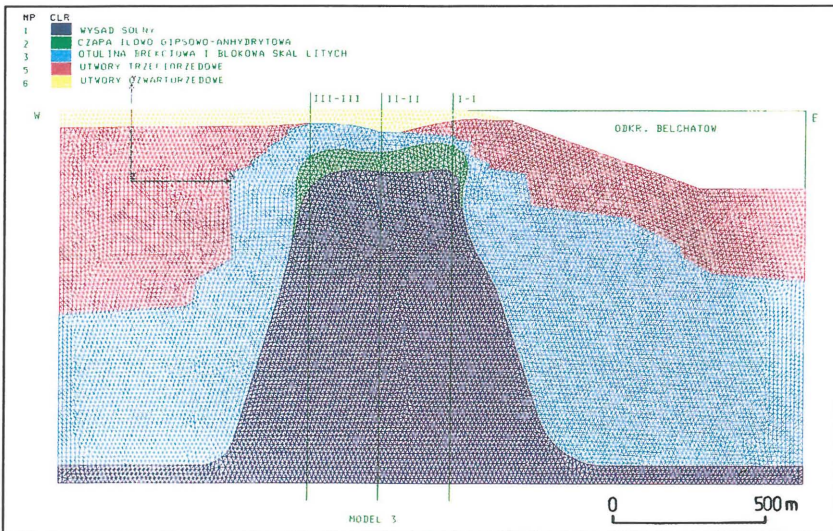
Ryc. 1. Mapa geologiczna na poziomie 0 mn.p.m. w rejonie wysadu solnego Dębina (Nieć i in., 1993)



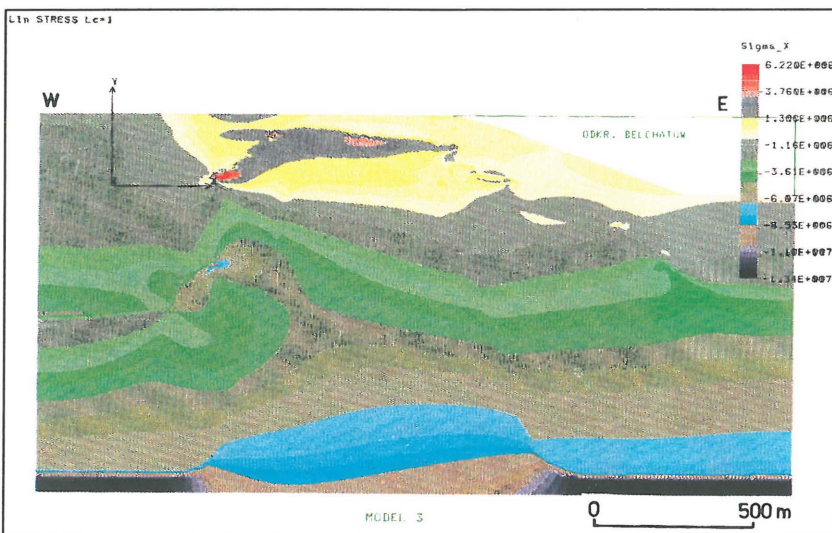
Ryc. 2. Schematyczny przekrój geologiczny przez wysad solny Dębina (Nieć i in., 1993)

*Katedra Geomechaniki Górniczej i Geotechniki, AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

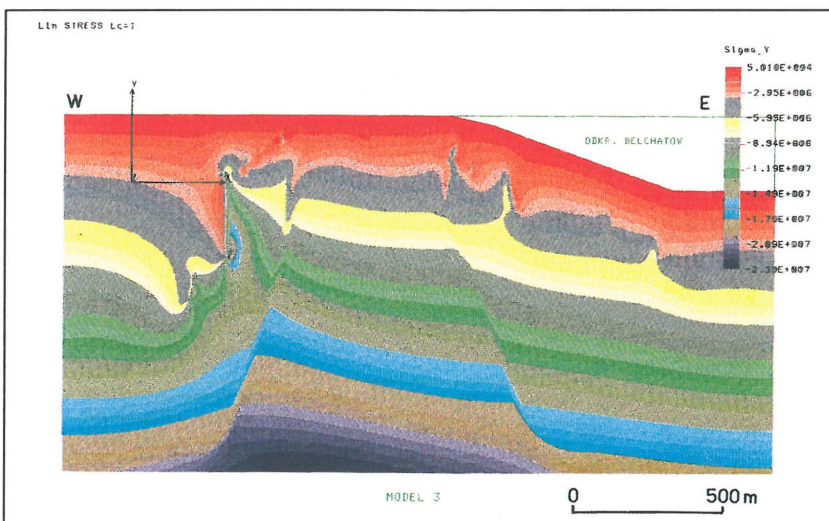
**Katedra Geologii Inżynierskiej i Geotechniki Środowiska, AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków



Ryc. 3. Schematyczny model wysadu solnego i jego otoczenia (w przekroju W-E) dla celów obliczeń numerycznych



Ryc. 4. Izolinie rozkładu naprężenia poziomego (σ_x) w przekroju W-E przez wysad solny (model 3)



Ryc. 5. Izolinie rozkładu naprężenia pionowego (σ_y) w przekroju W-E przez wysad solny (model 3)

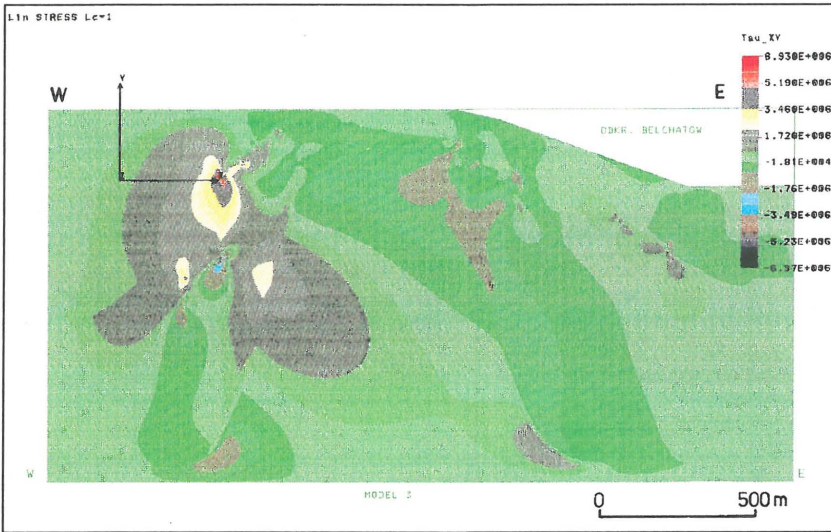
— poddarte przy wysadzie utwory trzeciorzędowe z węglem brunatnym,

— utwory czwartorzędowe.

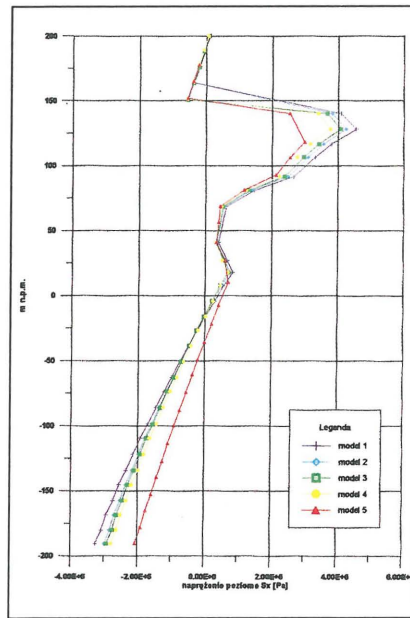
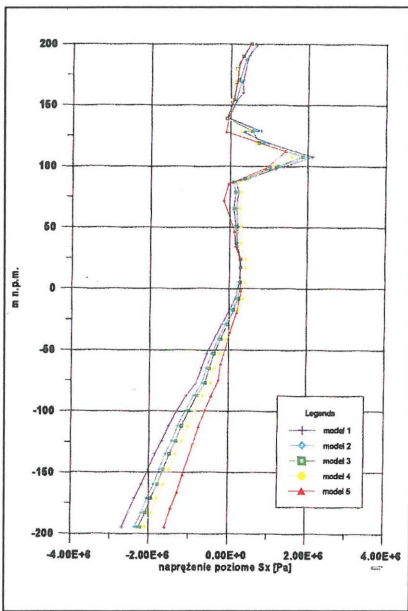
Czapa iłowo-gipsowa jest zbudowana przede wszystkim z włóknistych i grubokrystalicznych białych gipsów oraz brunatno-czerwonych iłowców. Anhydryty były nawiercone sporadycznie jako wtrącenia i przerosty w gipsach. W częściach

stropowych czapy, utwory te są często wymieszane z fragmentami wapieni, margli i mułowców mezozoicznych. Strop czapy występuje na głębokości ok. 90–170 m p.p.t. (Nieć i in., 1993).

Otulina brekcyjowa wysadu rozwinięta jest w utworach kredy i jury. Występuje ona zarówno nad wysadem jak i wokół niego. Ma charakter brekcji skał mezozoicznych (margle, wa-

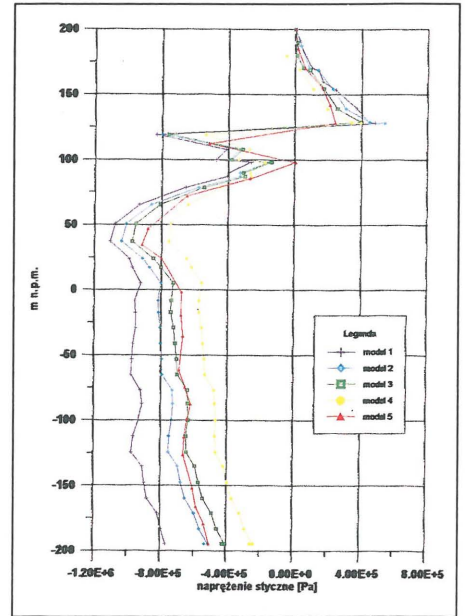


Ryc. 6. Izolinie rozkładu naprężenia stycznego (τ_{xy}) w przekroju W-E przez wysad solny (model 3)

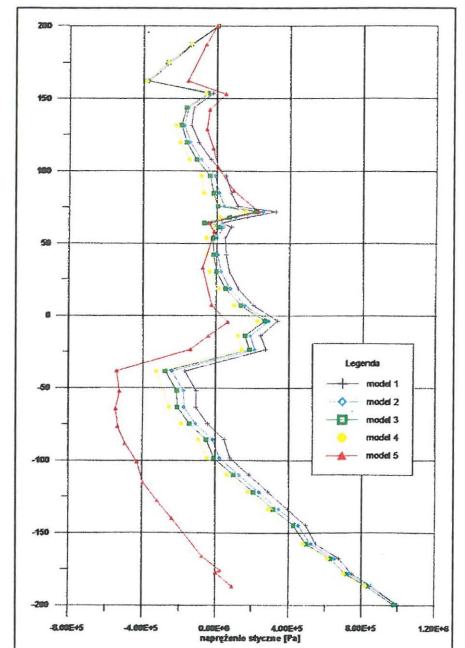


Ryc. 7. Zmiany naprężenia poziomego (σ_x) z głębokością w profilu pionowym I-I (przez wschodnią granicę wysadu solnego)

Ryc. 8. Zmiany naprężenia poziomego (σ_x) z głębokością w profilu pionowym II-II (przez centrum wysadu solnego)



Ryc. 9. Zmiany naprężenia stycznego (τ_{xy}) z głębokością w profilu pionowym I-I (przez wschodnią granicę wysadu solnego)



Ryc. 10. Zmiany naprężenia stycznego (τ_{xy}) z głębokością w profilu pionowym III-III (przez zachodnią granicę wysadu solnego)

pienie, piaskowce, mułowce), spojonej iłm, gipsem lub kalcytem. Grubość otuliny brekcjowej wynosi od 30 do 160 m.

Utwory przyległe do otuliny brekcjowej to blokowo przemieszczane skały jury i kredy, a bezpośrednio nad wysadem utwory trzeciorzędowe. Uskoki przebiegające w utworach mezozoicznych są bardzo strome i towarzyszą im strefy uskokowe są ułożone najczęściej koncentrycznie i promieniście wokół wysadu, przy czym wyraźnie zaznaczają się równoleżnikowe strefy uskoków ramowych, ograniczających rów Kleszczowa oraz uskoków przesuwczych o biegu NE-SW, po wschodniej i zachodniej stronie wysadu (ryc. 1). Zrzuty uskoków są bardzo zróżnicowane i dochodzą do ok. 350 m (Nieć i in., 1993).

Silne zaburzenia tektoniczne obserwuje się też w osadach trzeciorzędowych otaczających wysad od wschodu,

Tab. 1. Właściwości fizyczno-mechaniczne skał w rejonie wysadu solnego Dębina

Cecha	Numer serii skalnej					
	1	2	3	4	5	6
	sól kamienna	czapa ilowo-gipsowa	otulina brekcjowa	otulina blokowa skał litych	utwory trzeciorzędowe ilasto-piaszczyste	utwory czwartorzędowe piaszczysto-gliniaste
Moduł odkształcalności podłużnej, E, MPa	5000	1700	3700	10000	50	30
Współczynnik odkształcalności poprzecznej, ν	0,35	0,22	0,19	0,16	0,32	0,40
Gęstość objętościowa, ρ , Mg/m ³	2,12	2,13	2,30	2,27	2,10	2,00

zachodu i północy. Utwory serii węglowej po wschodniej i zachodniej stronie wysadu są poddarte kontakcie z wysadem i wykazują duże kąty zapadania, do prawie pionowego ustawienia. W obrębie serii węglowej obserwuje się powierzchnie ślizgowe i strefy zbrekcjowania. Stanowią one potencjalne zagrożenie ruchami osuwiskowymi podczas robót górniczych w tych rejonach.

Utwory czwartorzędowe są bardzo zróżnicowane litologicznie i reprezentowane głównie przez piaski, żwiry, mułki, ily i gliny zwałowe. Ocenia się, że ok. 70% utworów czwartorzędowych występujących w nadkładzie złoża węgla brunatnego stanowią utwory piaszczysto-żwirowe.

Model geometryczny wysadu oraz właściwości geomechaniczne górotworu

Podstawą do sporządzenia uproszczonego modelu geometrycznego wysadu oraz jego otoczenia były dotychczasowe badania geologiczne i geofizyczne, a w szczególności opracowanie dotyczące reinterpretacji budowy geologicznej wysadu solnego (Nieć i in., 1993). Za opracowaniem tym, na podstawie przekroju geologicznego (ryc. 2), do celów obliczeń numerycznych, przyjęto słupową, owalną formę wysadu, rozszerzającego się nieco w dół (ryc. 3). Do modelowania stanu naprężenia górotworu w wysadzie i jego otoczeniu wykorzystano metodę elementów skończonych, tworząc szereg płaskich modeli numerycznych (w przekroju W-E przez wysad), różniących się od siebie położeniem zbocza zachodniego odkrywki Bełchatów oraz zbocza wschodniego odkrywki Szczerców względem konturu wysadu solnego. Do obliczeń wykorzystano program COSMOS/M, generując w modelu siatkę elementów trójkątnych (Rusiński, 1994).

Ze względu na wstępny charakter modelowania oraz niepełne rozpoznanie budowy geologicznej, jak również przyjęcie wielu założeń upraszczających, zdecydowano, że na tym etapie badań wszystkim rodzajom skał w rejonie wysadu i w samym wysadzie zostanie nadany charakter osrodków liniowo-sprężystych. Na podstawie danych z literatury (Flisiak & Kłeczek, 1994; Kidybiński, 1982; Thiel, 1980) przyjęto wartości cech fizyczno-mechanicznych soli i skał otaczających wysad jak w tab. 1.

Z uwagi na słabe rozpoznanie granicy otuliny brekcjowej i blokowo poprzemieszczanych skał mezozoicznych, w modelu numerycznym serie skalne 3 i 4 (tab. 1) potraktowano łącznie (ryc. 3), przypisując całemu wydzieleniu parametry skał słabszych, czyli otuliny brekcjowej.

Opis modeli numerycznych

Głównym celem przeprowadzonych obliczeń numerycznych była ocena wpływu położenia względem wysadu zachodniego zbocza odkrywki Bełchatów, a w mniejszym zakresie planowanej odkrywki Szczerców.

Dla oceny wpływu położenia zachodniego zbocza odkrywki Bełchatów na wysad solny i jego otoczenie przeprowadzono obliczenia dla trzech modeli, różniących się między sobą odległością tego zbocza od wysadu i porównano je z modelem nie uwzględniającym obecności zbocza. We wszystkich modelach przyjęto, że spąg odkrywki położony jest na poziomie -20 m npm, a generalny kąt nachylenia zbocza zachodniego wynosi, zgodnie z projektem górniczym 18°. W uproszczeniu przyjęto, że pokład soli, z którego uformował się wysad, leży na głębokości -1000 m npm. Z górotworu wycięto płaską tarczę o wymiarach 2100 x 1150 m, w której środkowej części zlokalizowany jest wysad. Na brzegach tarczy przemieszczenia poziome i pionowe przyjęto jako zerowe.

Tarcza modelowa została obciążona tylko siłami ciężkości. Przyjęto, że model znajduje się w płaskim stanie odkształcenia. W sumie rozpatrzono 5 następujących modeli:

I. Model 1 brak obecności zbocza zachodniego odkrywki Bełchatów w rejonie wysadu.

II. Model 2 górna krawędź zbocza zachodniego w odległości 100 m od wschodniej granicy wysadu.

III. Model 3 górna krawędź zbocza zachodniego w odległości 0 m od wschodniej granicy wysadu.

IV. Model 4 górna krawędź zbocza zachodniego nad centrum wysadu.

V. Model 5 górna krawędź zbocza zachodniego odkrywki Bełchatów w odległości 0 m od wschodniej granicy wysadu a górna krawędź zbocza wschodniego odkrywki Szczerców w odległości 0 m od zachodniej granicy wysadu.

Analiza wyników obliczeń

Wyniki obliczeń dla każdego modelu zestawiono w postaci mapek izolinii poszczególnych składowych tensora naprężenia:

- rozkładu naprężeń zredukowanych (σ_{zr}) wg hipotezy wyteżeniowej Hubera,
- rozkładu naprężeń poziomych (σ_x),
- rozkładu naprężeń pionowych (σ_y),
- rozkładu naprężeń poziomych (σ_z),
- rozkładu naprężeń stycznych (τ_{xy}),

oraz w postaci wykresów zmian w/w naprężeń z głębokością w trzech profilach pionowych. Profile te (ryc. 3) przechodzą przez wschodnią granicę wysadu (I-I), wzdłuż osi geometrycznej wysadu (II-II) i wzdłuż zachodniej granicy wysadu (III-III).

Przykładowo dla modelu 3, to jest po dojściu zachodniego zbocza odkrywki Bełchatów do wschodniej granicy wysadu, rozkłady naprężeń poziomych, pionowych i stycznych ilustrują ryc. 4-6.

Analiza wyników modelowania wskazuje, że w wysadzie i jego otoczeniu panuje bardzo złożony stan naprężeń, zarówno pierwotnych (model 1) jak i potencjalnych, wywołanych oddziaływaniem wyrobisk kopalnianych Bełchatów oraz Szczerców (modele 2-5).

Z obliczeń wynika, że nawet bez uwzględnienia wpływów górniczych, w górnej części wysadu solnego oraz w czapie iłowo-gipsowej występują rozległe strefy, w których naprężenia poziome (σ_x) mają charakter rozciągający (znak dodatni). W profilu pionowym I-I ich maksymalna wartość prawie we wszystkich modelach występuje na rzędnej ok. +108 m n.p.m., tj. w przybliżeniu na głębokości stropu czapy iłowo-gipsowej, i waha się od 2,12 MPa w modelu 1 do 1,41 MPa w modelu 5 (ryc. 7). Wartości poziomych naprężeń rozciągających we wszystkich modelach rosną ku centrum wysadu i wahają się od 4,53 MPa w modelu 1 do 2,98 MPa w modelu 5, a ich maksimum przesuwa się w pionie na rzędną ok. +128 m n.p.m. (ryc. 8).

Największe poziome naprężenia rozciągające występują jednak na zewnątrz wysadu, po jego stronie zachodniej, gdzie w modelach od 1 do 4 osiągają maksymalne wartości wynoszące 6,24 MPa (ryc. 4). Analizując rozkład naprężeń stycznych w modelach 1-4 obserwuje się ich znaczne koncentracje po zachodniej stronie wysadu, gdzie osiągają one wartość 6,92 MPa (ryc. 6). Związane jest to z ogólnie stronszym od tej strony nachyleniem kontaktu zwięzłych utworów mezozoicznych z luźniejszymi utworami trzeciorzędowymi oraz bardziej skomplikowaną tektoniką.

Analiza rozkładów naprężeń w modelach 2 do 4, uwzględniających już wpływ zbliżającego się do wysadu wyrobiska kopalni Bełchatów wskazuje, że w miarę zbliżania się do wysadu odkrywki Bełchatów wartości naprężeń poziomych, a zwłaszcza stycznych w wysadzie i jego otoczeniu wyraźnie maleją (przykładowo przekrój I-I, ryc. 9). Zmiany te, w porównaniu z modelem bazowym (model 1) dochodzą do kilkudziesięciu procent.

Tak znaczące zmiany stanu naprężenia w wysadzie i jego otoczeniu mogą być przyczyną niekorzystnych procesów, polegających na wystąpieniu znacznych deformacji odprężeniowych, rozwieraniu naturalnych szczelin i spękań istniejących w górotworze oraz zmianie warunków przepływu wód. Dlatego wydaje się, że zbyt duże zbliżenie zbocza zachodniego odkrywki Bełchatów do wysadu solnego jest niekorzystne.

Obecnie można przyjąć, że jeszcze bezpieczne może być usytuowanie górnej krawędzi zbocza zachodniego nad krawędzią wschodnią wysadu bowiem różnice wartości składowych tensora naprężeń w modelach 1, 2 i 3 są niewielkie. Dopiero wejście górnej krawędzi zbocza zachodniego nad wysad (model 4) powoduje już bardziej istotne zmiany naprężeń w wysadzie.

Analiza wyników dla modelu 5 przedstawiającego wpływ na wysad solny Dębiny zarówno odkrywki Bełchatów, jak i projektowanej odkrywki Szczerców wskazuje na jeszcze większe zmiany stanu naprężenia w stosunku do modelu 4, zarówno w centrum (ryc. 8) jak i w zachodniej części wysadu (ryc. 10). Różnice naprężeń zarówno poziomych jak i stycznych dochodzą do kilkudziesięciu procent wartości naprężeń pierwotnych i mają charakter odprężenia.

Podsumowanie

Analiza uzyskanych wyników modelowania wskazuje, że zbocze zachodnie odkrywki Bełchatów wywiera obecnie niewielki wpływ na stan naprężenia w wysadzie solnym i w jego otoczeniu. Dopiero usytuowanie górnej krawędzi zbocza nad wysadem (model 4), wywołuje znaczące zmiany wartości składowych tensora naprężeń. W planach robót górniczych górna krawędź zbocza zachodniego odkrywki Bełchatów ma sięgnąć wschodniej granicy wysadu solnego, co w świetle przeprowadzonego modelowania nie stwarza jeszcze stanu zagrożenia.

Jeden z wariantów eksploatacji w odkrywce Szczerców przewiduje wejście jej zbocza wschodniego nad wysad, co może już spowodować pewien stan zagrożenia. Ta ostatnia sprawa winna być jeszcze przedmiotem dalszych rozważań, gdyż wywoła większe zmiany naprężeń w wysadzie, których skutkiem może być reaktywacja powierzchni tektonicznych i spękań. Nie można więc wykluczyć poważnych następstw geotechnicznych i hydrogeologicznych takiego stanu rzeczy. Problemy te będą dalej analizowane przy uwzględnieniu reologicznych właściwości soli i skał otaczających wysad.

Literatura

- DĄBROWSKA Z. 1978 — Biul. Inst. Geol., 309; 121-134.
 FLISIAK D. & KŁECZEK Z. 1994 — Geomechanical Research of the Rock Salt in Aspect of its Utilization for Building Underground Storages. Monographic 19, Wyd. AGH, Kraków.
 KIDYBIŃSKI A. 1982 — Podstawy geotechniki kopalnianej. Wyd. Śląsk.
 KOSSOWSKI L. & OLSZEWSKI B. 1992 — Reinterpretacja budowy geologicznej złoża Bełchatów w rejonie linii przekrojowych 42-70NS cz. III. Arch. Poltegor, Wrocław
 NIEĆ M., SZEWCZYK E., BARWICZ-PISKORZ W. & KROBI-CKI M. 1993 — Reinterpretacja budowy geologicznej oraz projekt badań wysadu solnego Dębina KWB Bełchatów. Etap I. Arch. Progress and Business, Kraków.
 NIEĆ M., SZEWCZYK E., BARWICZ-PISKORZ W., KRYSIAK Z., SZYBISTA A. & ZAPAŁOWICZ-BILAN B. 1994 — Opinia naukowa w sprawie interpretacji geologicznej wysadu solnego Dębina. Etap II. Arch. Zakładu Kartografii AGH, Kraków.
 RUSIŃSKI E. 1994 — Metoda elementów skończonych system COSMOS/M. Wyd. Kom. i Łącz.
 SZEWCZYK E. & SZYBISTA A. 1994 — Opinia naukowa w sprawie interpretacji geologicznej wysadu solnego Dębina. Etap II. Arch. Zakł. Geol. Podst. i Mat. Kraków.
 THIEL K. 1980 — Mechanika skał w inżynierii wodnej. PWN.