

*Monika Łój**

GRAWIMETRYCZNE BADANIA DYNAMIKI REJONU WYSADU SOLNEGO „DĘBINA”

1. Wstęp

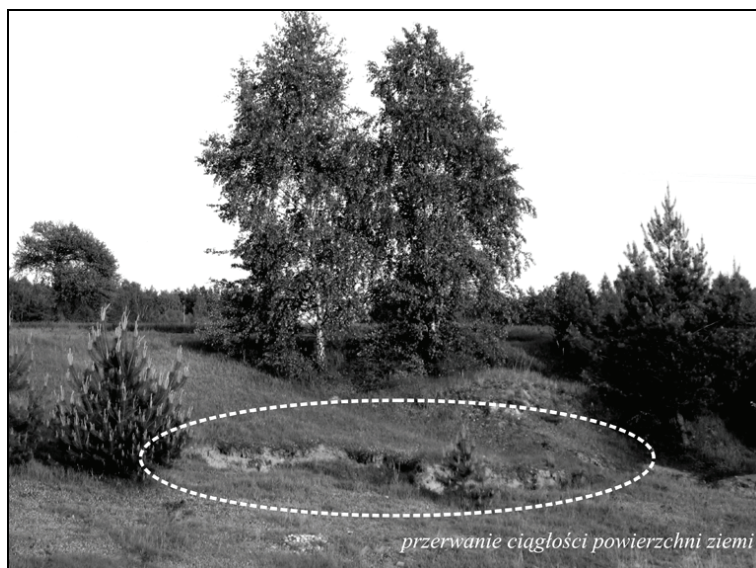
Konsekwencją odkrycia znacznych zasobów węgla brunatnego w złożu Bełchatów była budowa w 1977 r. odkrywkowej kopalni tego surowca energetycznego. Eksploatacja rozpoczęta została we wschodniej części pola i postępuje w kierunku zachodnim, w kierunku wysadu solnego „Dębina” oraz w głąb złoża. Skutkiem powstawania wkopu odkrywki jest pojawienie się zmian w stosunkach wodnych wokół niego. Bezpieczeństwo prac w kopalni wraz z zabezpieczeniem stateczności skarp wkopu spowodowały konieczność obniżania poziomu wód podziemnych do takiego, aby nie dopuścić do wdzierania się wody do wyrobiska.

Postępujące od 1977 roku sukcesywne odwodnienie terenów otaczających powstającą odkrywkę zmieniło strukturę warstw budujących ośrodek skalny, znajdujący się w obrębie powstającego leja depresji. Ubytek wody spowodował zmniejszenie gęstości górotworu. Zmiany takie zachodzą w ośrodku o znacznej miąższości. Przy założeniu średniej rzędnej terenu ok. 190 m n.p.m. oraz rzędnej wód gruntowych poniżej 0 m n.p.m. miąższość warstw odwodnionych sięga ok. 200 m. Pojawiające się puste przestrzenie wewnątrz warstw ulegają zaciśnięciu w wyniku nacisku nadkładu. Proces odwodnienia przyspieszył zatem zachodzący naturalnie proces kompresji.

W chwili obecnej prowadzona na polu Bełchatów eksploatacja zbliżyła się do granic wysadu, eksploatowany jest rów II rzędu. Jednocześnie rozpoczęta została budowa nowej odkrywki Szczerców. Docelowa głębokość odkrywki Bełchatów ma wynieść 280 m, tak więc jej spąg znajdować się będzie 120 m poniżej określanego na 160 m zwierciadła solnego wysadu. Spadek masy nadkładu wysadu solnego „Dębina”, związany z ubytkiem wody, oraz zmniejszenie nacisku bocznego warstw od strony wschodniej, powoduje zmiany naprężeń wokół i na wysadzie, a także zwiększa swobodę jego ruchu.

* Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Wpływ tych czynników na wysad solny, a zwłaszcza na jego otoczenie, uwidacznia się w zmianach rzędnych, a także w pojawiających się deformacjach nieciągłych powierzchni terenu, zaznaczających się głównie na zachodniej granicy wysadu solnego i warstw otaczających (rys. 1).



Rys. 1. Deformacja nieciągła zaobserwowana po zachodniej stronie wysadu solnego „Dębina” w trakcie trzeciej serii pomiarów grawimetrycznych w maju 2006 r.

Zmiany te mogą spowodować spadek naprężeń poziomych i wzrost naprężeń pionowych w otoczeniu wysadu. W wyniku odprężenia górotworu może dojść do otwierania się nowych szczelin, które spowodują powstanie nowych kierunków migracji wód i ługowanie wysadu solnego [1, 2].

Czynnikiem przyczyniającym się również do odciążenia górotworu jest powstanie leja depresyjnego będącego skutkiem stałego obniżania poziomu wód gruntowych wokół odkrywki Bełchatów i Szczerców.

Wymienione powyżej skutki działalności górniczej, zmiana naprężeń oraz postępujące odwodnienie, spowodować może powstanie przemieszczeń w utworach pokrywających wysad solny.

Procesy te zachodzące w górotworze wiążą się ze zmianami w czasie gęstości ośrodka skalnego. Do ich śledzenia wykorzystana została jedna z metod geofizycznych — metoda grawimetryczna w postaci analizy czasowych zmian pola siły ciężkości [4, 5]. Jest to związane z faktem, iż parametrem fizycznym, na którym opiera się metoda grawimetryczna, jest gęstość objętościowa ośrodka skalnego. Każda zmiana tego parametru winna odzwierciedlać się w wynikach badań grawimetrycznych.

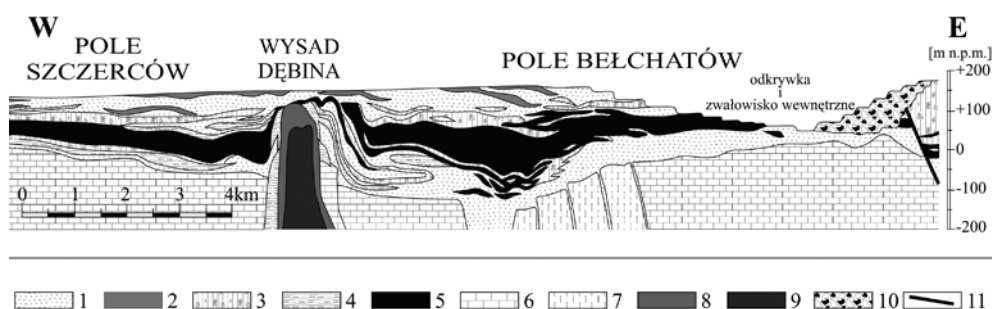
2. Ogólna budowa geologiczna rejonu wysadu solnego „Dębina”

Wysad stanowi kulminację soli permskich wewnątrz młodych utworów wypełniających strukturę geologiczną centralnej Polski zwaną rowem Kleszczowa.

Rów Kleszczowa jest najgłębszym neotektonicznym zapadliskiem na obszarze Niziu Polskiego. Rów ten powstał w wyniku trzeciorzędowych, alpejskich ruchów tektonicznych. Jest to wąska struktura o charakterze zapadliskowym, o szerokości 1,5÷3 km, ograniczona uskokami o nachyleniu 60÷90°. Centralną część rowu Kleszczowa od zachodu zamyka wysad solny „Dębina”, rozgraniczający pole Belchatów od pola Szczerców.

W trakcie wypełniania się rowu następowały jego ruchy pionowe obniżające bądź podnoszące (po ustąpieniu lądolodu). Ruchy te, w obrębie rowu, trwają z mniejszą intensywnością nadal, o czym świadczą zwiększone miąższości glin w strefach uskoków brzeżnych oraz zbiorniki emskich jezior i współczesne niecki torfowe.

W budowie geologicznej rejonu złoża Belchatów biorą udział utwory permskie (solne), jurajskie (wapienne), kredowe, trzeciorzędowe i czwartorzędowe (węgle brunatne, ropy naftowe i piaski) [10] (rys. 2).



Rys. 2. Przekrój geologiczny przez złoża Belchatów (na podst. [6]): 1 — piaski; 2 — gliny zwałowe; 3 — ropy; 4 — mułki; 5 — węgiel brunatny; 6 — wapień; 7 — margle; 8 — czapa gipsowo-anhydrytowa wysadu solnego; 9 — sól kamienna; 10 — zwałowisko wewnętrzne; 11 — główne uskoki tektoniczne

Osady permu z rejonu złoża to cechsztyńskie sole kamienne wysadu solnego „Dębina”. Stanowi on lokalne wyniesienie permskiego złoża solnego, które stwierdzono na głębokości 2700 m (rys. 1).

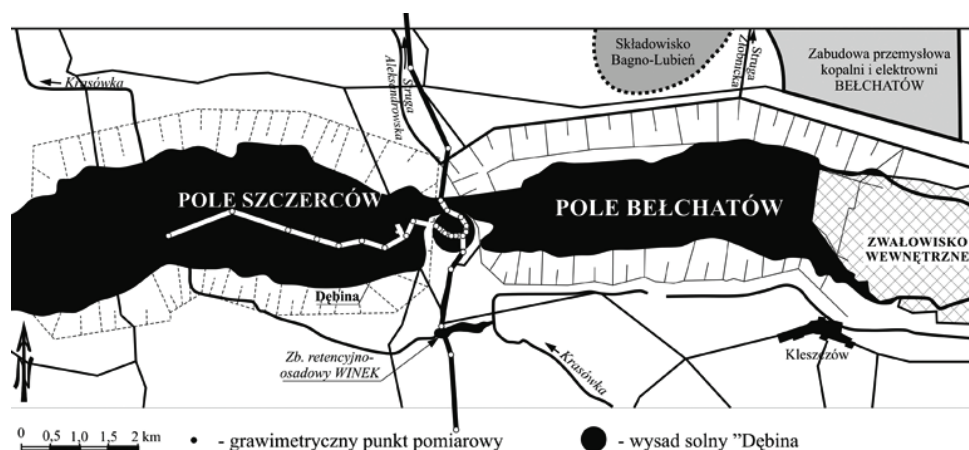
Na strukturę wysadu składają się: ciało solne, czapa anhydrytowo-gipsowa, utwory brekcji. W planie poziomym wysad przypomina nieregularną elipsę o wydłużonej osi na kierunku N–S i wymiarach ok. 500×800 m, z ekscentrycznie przesuniętą kulminacją zwierciadła solnego, nawierconego na głębokości 170 m. W przekroju pionowym wysad ma kształt pnia o ścianach północnej, zachodniej i północno-wschodniej, nachylonych pod kątem 70÷85°. Ciało solne przykryte jest czapą anhydrytowo-gipsową o miąższości 20÷70 m, a w najgrubszej części do 120 m. Zewnętrzną częścią wysadu jest strefa utworów brekcyjnych, zbudowanych z rozkruszonych i przemieszanych skał jurajskich, kredowych i trzecio-

rzędowych, których strop zalega na głębokości 110 m od strony północnej i 50 m w części centralnej. Strefa ta, zwłaszcza od strony północnej i południowej, ma małą miąższość (rys. 1).

3. Lokalizacja badań grawimetrycznych na poligonie „Dębina”

Zmiany zachodzące na wysadzie i w jego otoczeniu, związane z ubytkiem masy górotworu oraz zmianą wysokości, powinny odzwierciedlić się również w rozkładzie pola siły ciężkości.

Z myślą o zbadaniu zmian, jakie zachodzą wraz z upływem czasu w rozkładzie pola siły ciężkości w rejonie wysadu solnego „Dębina”, zdecydowałam o przeprowadzeniu obserwacji grawimetrycznych wzdłuż dwóch profili WE i SN [9]. Obserwacje prowadzono w oparciu o istniejącą na tym terenie sieć punktów geodezyjnych. Ze wszystkich występujących tam punktów geodezyjnych wybrano tylko te, których lokalizacja pozwoliła na odpowiedni przebieg profili (rys. 3).



Rys. 3. Lokalizacja grawimetrycznych profili geodynamicznych na terenie wysadu solnego „Dębina”(podkład wg [10])

W obrębie wysadu solnego „Dębina” wybrane punkty należą do lokalnej sieci monitoringu geodezyjnego KWB „Belchatów”. Poza obszarem wysadu badania oparto o dość gęsto rozmieszczone punkty II i III klasy osnowy geodezyjnej kraju OGK.

Centralną część profilu SN oraz wschodnią profilu WE stanowi wysad solny. Wybór takich kierunków pozwala na badanie zmian zachodzących równoległe do osi rowu Kleszczowa i powstających odkrywek (WE) oraz prostopadle do nich (SN).

Dla celów badań grawimetrycznych wybrano te, których położenie pokrywało się z kierunkiem projektowanych profili.

Profil SN ma długość ok. 7,5 km i oparty jest o 14 punktów pomiarowych. Pięć pierwszych punktów, przemieszczających się po profilu z południa na północ, położone jest

za południową granicą bariery ochronnej wysadu. Punkty te oddalone są od siebie o ok. 700÷1000 m. Ich lokalizacja pozwala na obserwację zmian siły ciężkości na południowym przedpolu wysadu solnego „Dębina”. Ostatni z tych punktów, należący do osnowy lokalnej KWB „Bełchatów”, położony jest najbliżej granicy bariery ochronnej, co pozwala na śledzenie zmian siły ciężkości na granicy wysad — otoczenie. Kolejne pięć punktów zlokalizowane jest wewnątrz bariery ochronnej, głównie nad wysadem. Ich wybór pozwolił na pełne i w miarę regularne pokrycie wysadu na osi SN. Pozwala to na badanie ewentualnych zmian siły ciężkości nad wysadem. Pozostałe cztery punkty położone są na północnym przedpolu kulminacji solnej. Pozwala to na śledzenie zmian siły ciężkości na północ od wysadu w granicach rowu Kleszczowa i poza jego obrębem.

Profil WE swoim zasięgiem obejmuje tylko wysad solny „Dębina” oraz jego zachodnie przedpole. Związane jest to z faktem, iż wschodnie przedpole wysadu zajmuje odkrywka Bełchatów. Dlatego też początek profilu grawimetrycznego w części wschodniej znajduje się wewnątrz bariery, nad wysadem. Jego pierwsze siedem punktów umożliwia badanie zmian siły ciężkości w obrębie wysadu, wzdłuż osi równoległej do istniejącej odkrywki Bełchatów. Kolejne 5 punktów usytuowane jest na zachodnim przedpolu wysadu. Ostatecznie profil WE osiągnął długość ok. 5 km i opiera się o 15 punktów pomiarowych.

4. Metodyka badań grawimetrycznych na Poligonie „Dębina”

Podczas wykonywania wszystkich serii pomiarów grawimetrycznych na poligonie „Dębina” wykorzystana została nowa metodyka pomiarowa — metoda jednokrotnego pomiaru. Zgodnie z jej założeniami pomiary wykonywane były jednokrotnie w każdym z punktów pomiarowych [8, 9].

Każdorazowo względne obserwacje grawimetryczne dowiązywane były do punktu Podstawowej Osnowy Grawimetrycznej Kraju (POGK) o znanej wartości siły ciężkości. Punkt taki znajduje się ok. 10 km od poligonu, w miejscowości Szczerców.

W celu wyrównania sieci pomiarowej użyta została metoda najmniejszych kwadratów [7]. W wyniku jej zastosowania w poszczególnych punktach otrzymano wartości siły ciężkości wyrównane ze względu na dryft grawimetru.

Ze względu na konieczność uwzględniania w wartościach pomierzonych siły ciężkości efektu grawitacyjnego generowanego przez wkop odkrywki Bełchatów podjęto decyzję o analizie czasowych zmian siły ciężkości na podstawie wartości siły ciężkości w redukcji Bouguera [3]:

$$\Delta g_B = g + 0,3086 \cdot h - 0,0419 \cdot \rho \cdot h + \Delta g_t - \gamma_0$$

gdzie:

- Δg_B — wartość anomalii Bouguera, mGal,
- g — zmierzona wartość siły ciężkości, mGal,

- h — wysokość względna nad poziom odniesienia, m,
 ρ — gęstość objętościowa warstwy pośredniej, $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$,
 Δg_t — wartość poprawki topograficznej, mGal,
 γ_0 — wartości normalnej siły ciężkości.

Informacje na temat geometrii wkopu odkrywki Bełchatów wraz z danymi na temat wysokości geodynamicznych punktów pomiarowych uzyskiwane były corocznie dzięki uprzejmości kierownictwa i pracowników Działu Mierniczego KWB „Bełchatów”.

5. Poligon „Dębina”

Przeprowadzono pięć serii pomiarów grawimetrycznych na poligonie „Dębina”. Pierwsze obserwacje, seria bazowa, wykonane zostały w sierpniu 2004 roku. Kolejne, pozwalające na analizę czasowych zmian siły ciężkości, miały miejsce w sierpniu 2005 roku, maju i sierpniu 2006 roku oraz w maju roku 2007 [9].

Analizę czasowych zmian siły ciężkości prowadzi się na zasadzie porównywania wartości siły ciężkości pomierzonych w danej serii pomiarowej do wartości bazowej. Pojawiające się różnice świadczą o zmianach zachodzących w ośrodku skalnym, często niewidocznych jeszcze na powierzchni terenu [4, 5].

Bazą dla badań geodynamicznych na poligonie „Dębina” była seria pomiarowa wykonana w roku 2004. Do niej odniesione zostały obserwacje z pozostałych serii.

Wykonanie 5 serii pomiarów grawimetrycznych pozwoliło na wyznaczenie czterech czasowych różnic wartości siły ciężkości dla poszczególnych punktów pomiarowych.

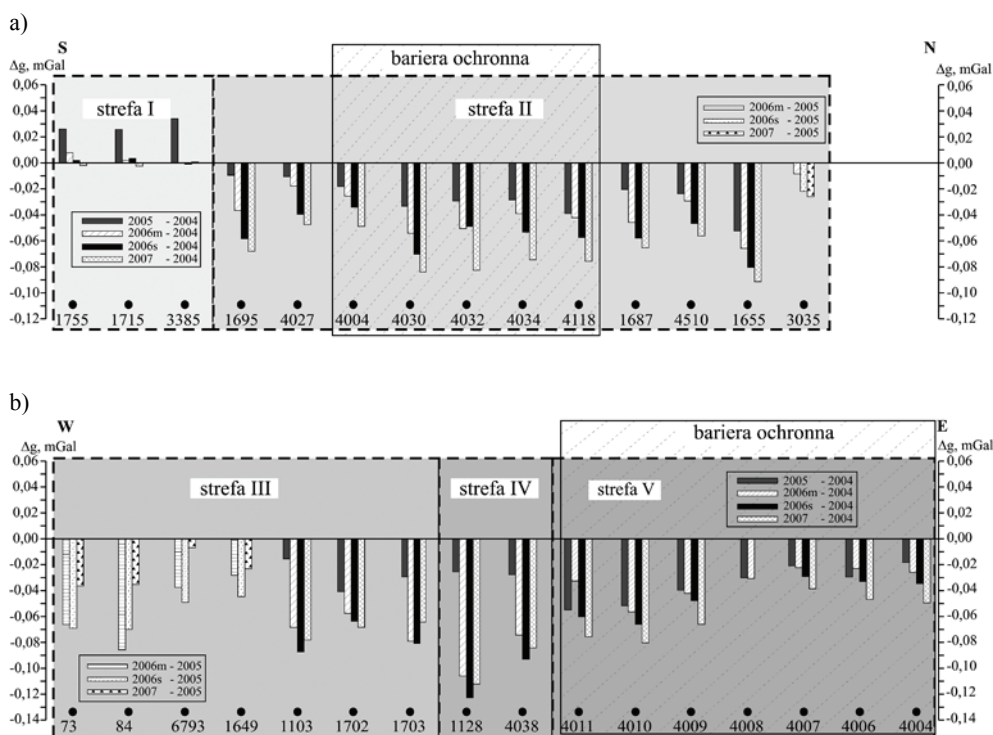
Na ich podstawie stwierdzić można, iż wzdłuż profilu WE zaznacza się zmniejszenie wartości siły ciężkości w stosunku do wartości bazowych. Profil SN natomiast wykazuje pewną dwudzielność. Podczas gdy w północnej i centralnej jego części obserwowany jest spadek wartości siły ciężkości wraz z upływem czasu, to część południowa wykazuje wzrost wartości siły ciężkości w stosunku do poziomu bazowego.

Rozpatrując charakter i intensywność zmian siły ciężkości wzdłuż analizowanych profili wyznaczyć można kilka stref. Wewnątrz bariery ochronnej, na całym obszarze wysadu solnego „Dębina”, wartości siły ciężkości ulegają powolnemu zmniejszeniu (rys. 4a, b). Podobnie rzecz ma się w 2 punktach leżących na południe od bariery oraz w punktach zlokalizowanych na północnym przedpolu kulminacji solnej. Efekt zmian siły ciężkości ma charakter podobny do tego zachodzącego wewnątrz bariery. Wartości różnic nie przekraczają $-0,05$ do $-0,065$ mGal (rys. 4a).

Całkowicie inny charakter mają zmiany siły ciężkości w punktach południowych profilu SN. Obserwuje się tutaj, z wyjątkiem pierwszego interwału (2005–2004), prawie całkowity brak czasowych zmian pola siły ciężkości (rys. 4a, strefa I).

Tendencja zmniejszania się wartości zmian siły ciężkości w centralnej i zachodniej części profilu WE ma dwudzielny charakter. Bardzo duże, sięgające $0,13$ mGal różnice siły

ciężkości w stosunku do bazy zaobserwowane zostały w części centralnej, w punktach przylegających do bariery ochronnej wysadu (rys. 4, strefa IV). Pozostała część profilu cechuje się spokojniejszym przebiegiem zmian, choć również o dość dużej zmianie ich wartości.

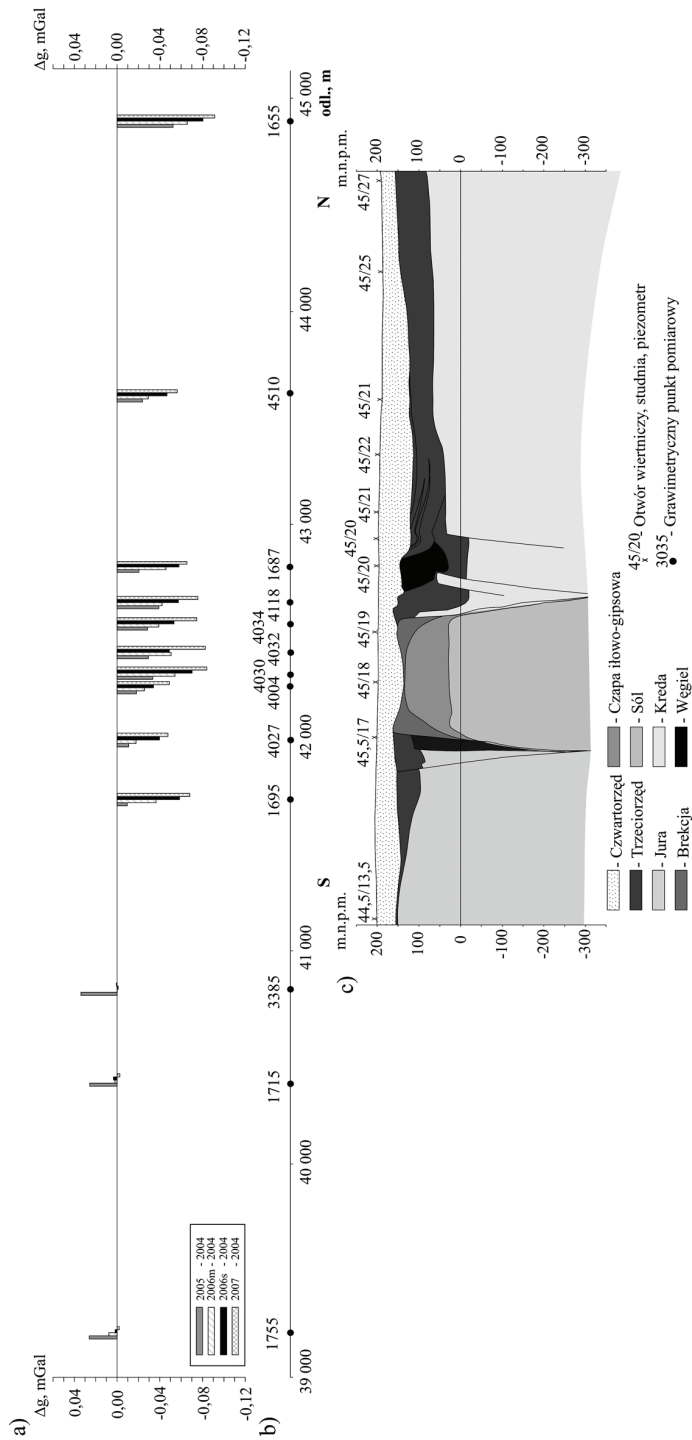


Rys. 4. Różnice siły ciężkości w grawimetrycznych punktach pomiarowych wraz z zaznaczonymi strefami zmian: a) profil SN, b) profil WE [9]

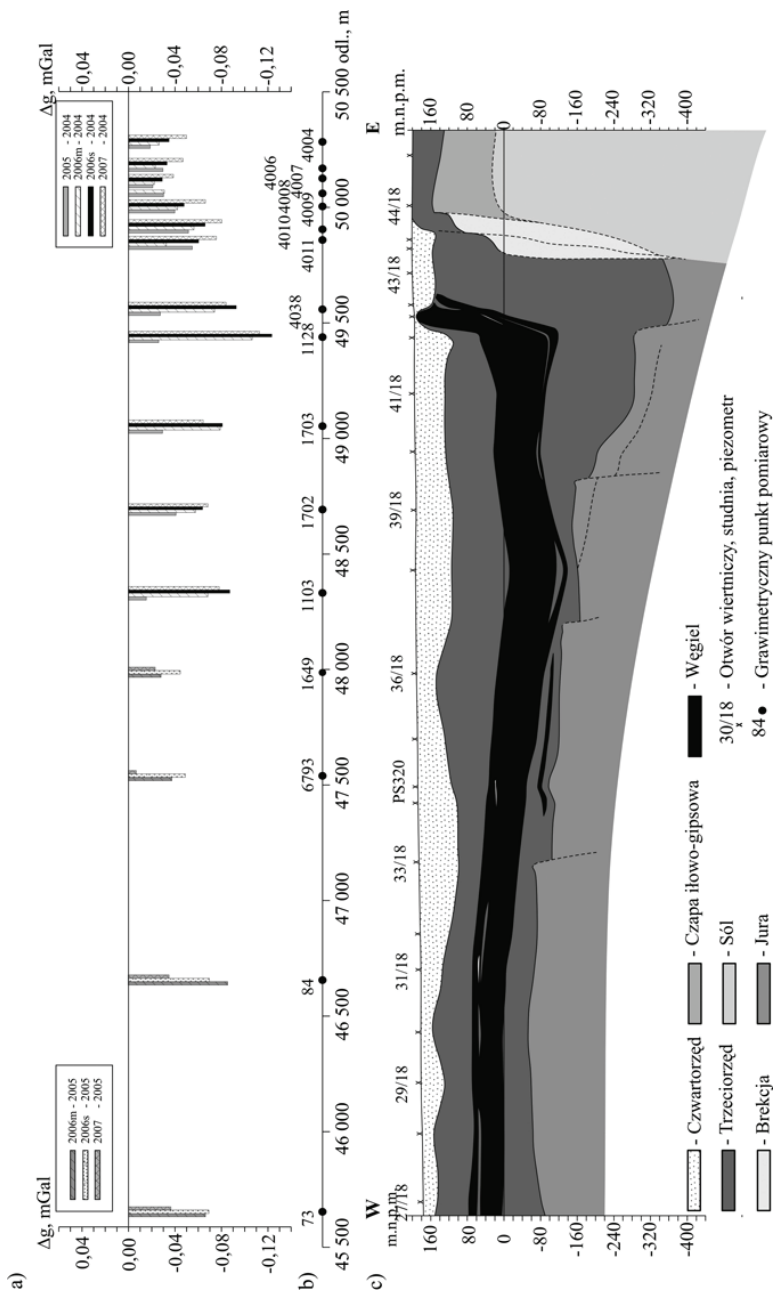
Do określenia dokładnego położenia punktów profili grawimetrycznych na strukturach geologicznych wykorzystane zostały przekroje geologiczne o przebiegu zbliżonym do biegu profili geodynamicznych, udostępnione dzięki uprzejmości kierownictwa i pracowników Działu Geologicznego KWB „Bełchatów”.

Otrzymany podział na strefy czasowych zmian siły ciężkości, w połączeniu z budową geologiczną, pozwala na wyciągnięcie wstępnych wniosków co do przyczyny dokonanego podziału na strefy zmian siły ciężkości oraz ich wielkości.

Zakładając, że pośrednią przyczyną zwiększonej dynamiki górotworu jest jego odwodnienie, na podstawie badań grawimetrycznych stwierdzić można, iż w południowej części profilu SN, gdzie czasowe różnice siły ciężkości są bardzo małe, wpływ odwodnienia jest niewielki (rys. 4, strefa I). Ma to swoje potwierdzenie w budowie geologicznej. Punkty tam zlokalizowane leżą w strefie, gdzie podłoże skalne stanowią wapienne utwory jury górnej (rys. 5c).



Rys. 5. Czasowe zmiany siły ciężkości na tle budowy geologicznej rejonu badań, dla profilu SN: a) czasowe zmiany siły ciężkości, b) lokalizacja punktów pomiarowych, c) przekrój geologiczny (wg KWB „Bełchatów”) [9]



Rys. 6. Czasowe zmiany siły ciężkości na tle budowy geologicznej rejonu badań, dla profilu WE: a) czasowe zmiany siły ciężkości, b) lokalizacja punktów pomiarowych, c) przekrój geologiczny (wg KWB „Belchatów”) [9]

Na punktach wewnątrz bariery ochronnej (część strefy II, rys. 4a oraz strefa V, rys. 4b) po wyeliminowaniu wpływu związanego ze zmianą wysokości pojawia się zmiana siły ciężkości o wartościach ujemnych. Analizując budowę ośrodka skalnego (rys. 5c, rys. 6c) oraz znając zasięg odkrywki Bełchatów trudno odpowiedzieć jednoznacznie na pytanie, w której z istniejących warstw znajduje się źródło czasowych zmian siły ciężkości. Mogą one być związane z odwodnieniem utworów trzeciorzędowych i utworów czapy, ale mogą pochodzić od plastycznego płynięcia soli wysadu „Dębina”.

Północne przedpole wysadu (północna część strefy II, rys. 4a), w obrazie czasowych zmian siły ciężkości, wykazuje charakter podobny do zmian zachodzących nad wysadem. Cztery północne punkty profilu SN położone są w strefie granicznej rowu Kleszczowa, na podłożu zbudowanym z wyklinowujących się utworów piaszczystych trzeciorzędu, podścielonych marglami kredy (rys. 5b, c). W strefie tej, w przeciwieństwie do strefy I — południowej tego samego profilu (rys. 5), obserwuje się zmianę siły ciężkości o większej wartości. Ma to związek ze spadkiem gęstości ośrodka po odwodnieniu przed jego skompresowaniem.

Podobna sytuacja ma miejsce w zachodniej części profilu WE (strefa III, rys. 4b). W podłożu, podścielającym zastabilizowane tam punkty, przeważają utwory trzeciorzędowe piaszczysto-węglowe (rys. 6c). Ich porowatość daje o sobie znać poprzez pojawienie się znacznych różnic czasowych siły ciężkości, związanych ze zmianą gęstości spowodowaną wysuszeniem porów.

Najbardziej intrygujące zmiany siły ciężkości w czasie zaobserwowane zostały w centralnej części profilu WE (strefa IV, rys. 4b). Obserwowana w tym terenie powstająca lokalna niecka osiadań z zaznaczającymi się w jej wnętrzu deformacjami nieciągłymi (rys. 1) świadczy o znacznej dynamice procesów zachodzących w ośrodku skalnym w tym rejonie. Procesy te powodują znaczną zmianę gęstości górotworu. Analiza profilu geologicznego (rys. 6c) pozwala stwierdzić, iż punkty leżą w strefie wychodni utworów węgla brunatnego. Rejon ten charakteryzuje się dużymi zmianami gęstości w czasie oraz największą kompresją utworów skalnych. Zmiany siły ciężkości i przeobrażenia terenu wskazują, że jest to strefa, gdzie wpływ odwodnienia powoduje największe zmiany.

6. Podsumowanie

Grawimetryczny poligon geodynamiczny „Dębina” założony został w celu obserwacji zmian w rozkładzie siły ciężkości wywołanych procesami zachodzącymi w górotworze solnym i w jego otoczeniu.

Badania rozkładu zmian siły ciężkości pozwoliły na wyznaczenie stref, w których charakter zmian jest podobny. Rezultatem analizy jest stwierdzenie, że zmianą siły ciężkości o podobnym charakterze cechują się wszystkie punkty znajdujące się bezpośrednio nad wysadem solnym „Dębina”. Świadczy to o spokojnym przebiegu procesów geodynamicznych zachodzących w tej części poligonu. Największe i najbardziej widoczne zmiany siły ciężkości zaobserwowane zostały tuż przy zachodniej granicy wysadu solnego. Powstająca tam

niecka osiadania świadczy również o intensywności procesów tam zachodzących. Powodem takiego stanu rzeczy jest fakt, że w tej akurat strefie mają swoją wychodnie warstwy węgla brunatnego, podgięte przez wypiętrzający się wysad. Procesy w nich zachodzące odzwierciedlają się w rozkładzie wartości siły ciężkości. Pozostałe części poligonu nie wykazują ostro wyróżniających się zmian siły ciężkości, co świadczy o tym, iż intensywność procesów geodynamicznych tam zachodzących jest zbliżona.

LITERATURA

- [1] *Cala M., Flisiak D., Flisiak J., Rybicki S.*: Zagrożenia wynikające z procesów reologicznych w wysadzie Dębina w świetle modelowania numerycznego. Materiały Warsztaty Górnicze Zagrożenia naturalne w górnictwie, Bełchatów 2–4 czerwca 2004
- [2] *Cala M., Flisiak J., Rybicki S.*: Modelowanie oddziaływania odkrywkowej eksploatacji w kopalni „Bełchatów” na wysad solny Dębina. Materiały XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej, Zakopane 14–19 marca 2004
- [3] *Fajkiewicz Z.*: Mikrogravimetria górnicza. Katowice, Wydawnictwo „Śląsk” 1980
- [4] *Fajkiewicz Z.*: Czasowe zmiany siły ciężkości i ich związek z eksploatacją górniczą. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. M-3/134, 1980
- [5] *Fajkiewicz Z., Madej J., Śliz J.*: Analiza pola siły ciężkości i jego zmian czasowych z zastosowaniem do badań procesów dynamicznych w skorupie Ziemi. Arch. Inst. Geof. Pol. Akad. Nauk. Warszawa, 1980 (praca niepublikowana)
- [6] *Hochman A., Kołodziejczyk K., Kula A., Musielak W., Ożóg J.*: Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów. 25 lat. Od przedsiębiorstwa państwowego do spółki akcyjnej. Wyd. Tekst, 2000, 304
- [7] Joint BGI/ICET Summer School. Terrestrial Gravity data acquisition Techniques, “Network Adjustment”, 2002
- [8] *Łój M., Madej J., Porzucek S.*: The Methodology of periodic gravimetric investigations in monitoring geodynamic processes — selected examples Acta geodynamica et geomaterialia, vol. 2, No. 3, 2005, 103–112
- [9] *Łój M.*: Współczesne procesy geodynamiczne w obrazie czasowych zmian siły ciężkości wraz z analizą wpływu na jej pomiar czynników zewnętrznych. Biblioteka AGH, 2007 (rozprawa doktorska)
- [10] *Zdechlik R.*: Wpływ odwodnienia KWB Bełchatów na zmiany warunków hydrogeologicznych w rejonie wysadu solnego Dębina. Kraków, Agencja Wydawniczo-Poligraficzna „ART-TEKST” 2004