

Małgorzata Bruj, Zofia Krysiak
Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa

ZJAWISKA GLACITEKTONICZNE W KOPALNI BĘLCHATÓW (2003-2005)

GLACIOTECTONIC FENOMENA IN BĘLCHATOW MINE (OPEN PIT) (2003-2005)

Streszczenie: W latach 2003-2005 prowadzone były badania struktur glacitektonicznych widocznych w osadach Plejstocenu kopalni Bělchatów. Skartowane zostały 4 kolejne ściany zachodnie wyrobiska (dwa najwyższe poziomy) oraz fragment ściany północnej (rys. 1). Zinventaryzowano liczne struktury glacitektoniczne, upłynnienia osadów oraz objawy neotektoniki. Skomplikowane deformacje widoczne były głównie w osadach piaszczysto-zwirowych i w mułkach znajdujących się pomiędzy dwoma poziomami glin, jakkolwiek same gliny są także lokalnie wciągane w deformacje. Wyróżniono następujące typy deformacji: diapiry, pogrąży, systemy ścieg komplementarnych, różne typy fałdów, łuski i odkłucia, duplexy, ściegła cylindryczne, uskoki normalne i odwrócone. Precyzyjne ustalenie, które deformacje w obrębie osadów plejstoceńskich są efektem glacitektoniki, które repliką tektoniki podłoża, a które neotektoniki jest bardzo trudne lub nawet niemożliwe. Te same trudności napotykamy przy próbie precyzyjnego określenia ich wieku. Podstawowym czynnikiem kontrolującym drobne deformacje glacitektoniczne jest wielkość ciśnienia wód porowych. Inne ważne parametry to przede wszystkim granulometria osadu, jego skład, charakter i konfiguracja podłoża oraz prędkość lodu. Wyniki analizy mezostrukturalnej pozwoliły określić kierunek kompresji sub-horyzontalnej. Zmieniał się on od NNE-SSW i N-S w spągu profilu przez NW-SE w jego środkowej części do W-E w stropie. Zmiana pola naprężeń w czasie odzwierciedla dwa etapy deformacji: kompresja (N-S) = reakcja głównych struktur rowu Bělchatowa na nacisk lodowca (odkładającego glinę dolną), kompresja NW-SE i W-E odpowiada kierunkowi ruchu lodowca odkładającego glinę górną (tzw. łob Widawki).

Summary: Glaciotectonic structures in Pleistocene deposits of Bělchatow Mine have been studied since 2003 to 2005y. Four Western (highest) walls of cover were mapped and the part of the Northern wall too (fig. 1). Numerous glaciotectonic structures, sediment flows or liquefaction and neotectonic features were noticed. Complicated deformations are visible mainly in sandy-gravel sediments and muds between two till horizons, however the tills are also locally deformed. The following deformational structures were distinguished: diapirs, loadings, complementary shears, different fold types, slices, detachments, duplexes, cylindrical shears, normal and reverse faults. It's very difficult to state which of the structures have glaciotectonic origin, which one

reflect basement tectonics and which of them have neotectonic origin. The same difficulties relate to attempt of age definition. Essential controlling factor of small glaciotectionic structures is pore water pressure. The other important parameters are: sediment granulometry, its content and/or character, basement configuration and Glacier-ice speed. Results of mesostructural analysis indicate a sub-horizontal direction of compression. It changes from NNE-SSW and N-S in the bottom of the profile, through NW-SE in the middle part to W-E in the top. Changes of stress field during the time, reflect 2 deformational stages: compression (N-S) = reaction of the main structures of Bełchatow Graben to the Glacier pressure (which had left The Lower till). Compression NW-SE and W-E correspond with Glacier movement direction (which had left the Upper till) – so called Widawka lobe.

WSTĘP

Odkrywkowa kopalnia węgla brunatnego Bełchatów jest największym w Polsce odsonięciem osadów Miocenu i Plejstocenu. Kopalnia położona jest w rowie tektonicznym nazywanym Rowem Kleszczowa lub Bełchatowa o rozciągłości W - E, w którego centrum znajduje się wysad solny Dębina (fig.1). Obecnie kończy się eksploatacja wschodniej części złoża (Pole Bełchatów), a przygotowywana jest do otwarcia część zachodnia (Pole Szczerców). Struktury deformacyjne widoczne w osadach Plejstocenu są badane od 1980 roku (Brodzikowski et al. 1980, Brodzikowski 1985, Brodzikowski et al. 1987, Brodzikowski, Van Loon 1991, Van Loon et al. 1995). Autorki prowadziły badania nadkładu złoża węgla brunatnego w latach 2003-2005. Skartowane zostały 4 ściany oraz zinventaryzowano liczne struktury glacitektoniczne. Wyniki analizy mezostrukturalnej informują o charakterze pola naprężeń związanego z dynamiką lodowca warciańskiego (tzw. łob Widawki) i o efektach neotektonicznego odmłodzenia struktur podłoża. Skartowano dwa najwyższe poziomy nadkładu złoża węgla brunatnego. Do lokalizacji punktów pomiarowych służyły plany górnicze w skali 1 : 2 000. Odległość pomiędzy maksymalnie oddalonymi ścianami wynosiła ok. 2 km. Duże uskoki, fleksury czy formy erozyjne widać było na dwu lub nawet trzech kolejnych ścianach czyli w odległości ok. 300 - 500m. Pomiary orientacji struktur wykonywane były kompasem Freiberg z dokładnością ok. 2°. Wykonano dokumentację fotograficzną dostępnych części ścian i poszczególnych struktur. Pomiary dotyczyły położenia: warstw, powierzchni uskoków wszystkich typów (normalne, odwrócone, przesuwcze), płaszczyzn osiowych fałdów, powierzchni ścięć, rys na powierzchniach luster tektonicznych, rys lodowcowych, osi dużych głazów itd. Diagramy mezostruktur wykonano przy pomocy programu StereoNet – projekcja na półkulę dolną.

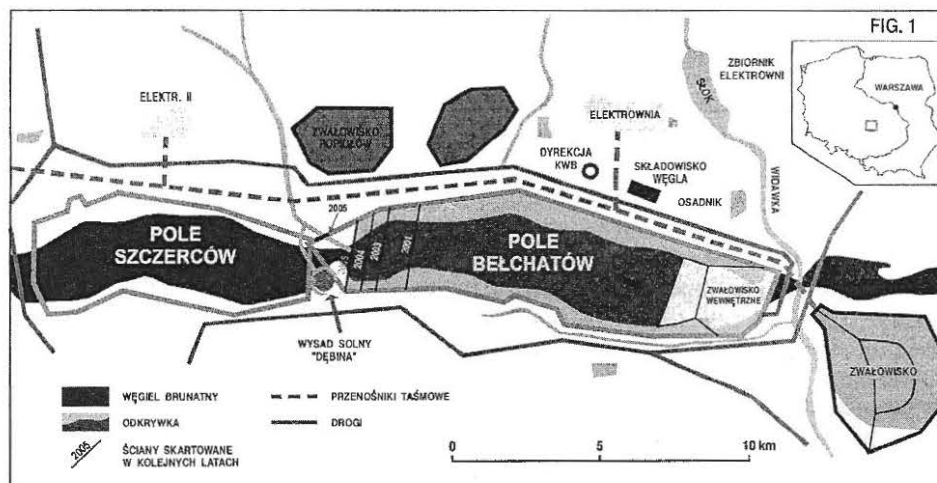
Badania zostały wykonane w ramach tematu KBN 6.13.0007.00.0 p.t. „STUDIUM STRUKTUR GLACITEKTONICZNYCH W KOPALNI WĘGLA BRUNATNEGO BEŁCHATÓW” Bruj M., Krysiak Z. (2005) – CAG PIG (złożone do druku W: Prace PIG tom STRUKTURY GLACITEKTONICZNE 2007).

BUDOWA GEOLOGICZNA

Główne struktury przed-czwartorzedowego podłoża, w zasięgu których znajdują się skartowane ściany to:

- wysad solny Dębina
- tzw. południowy uskok główny (PUG) i związany z nim pół-rów II-rzędu

W roku 2005 górne poziomy nadkładu złoża osiągnęły strefę aureoli wysadu. Na zachodniej ścianie wyrobiska widoczne były osady mioceneskie z tzw. I - szym pokładem węgla brunatnego sięgające wprost do powierzchni terenu, kontaktujące obocznie z najmłodszymi osadami plejstocenu. Upady warstw Miocenu i Plejstocenu w rdzeniach pobliskich wierceń wynoszą 60-80°. Czapę gipsową wysadu nawiercono tu na głębokości 220m. Ramy tektoniczne rowu Bełchatowa stanowią subrównoleżnikowe dyslokacje o znacznych zrzutach, które są najważniejszym elementem determinującym przebieg zdarzeń w plejstocenie (Brodzikowski 1985, Krzyszkowski 1994). Południowy uskok brzeżny stanowiący zarazem południowy kontur złoża wraz z równoległym do niego uskokiem przeciwnym II-ego rzędu tworzy pół-rów wieku mioceneskiego (Felisiak 1999). W zasięgu tej struktury, na przestrzeni ok. 0,5 km od konturu złoża leżą południowe fragmenty wszystkich skartowanych ścian. W badanym fragmencie kopalni, na niższych poziomach nadkładu złoża, osady mioceneskie najczęściej zalegają poziomo.



Rys.1. Mapa lokalizacyjna

Leżące na nich niezgodnie osady plejstocenu (Złodowacenie Środkowopolskie) są znacznie zdeformowane (upady 50-60°) trzymają się one wyraźnie strefy PUG. Profil osadów plejstoceneskich w badanej części kopalni jest znacznie zredukowany. Ich łączna miąższość nie przekracza tutaj 50 m., podczas gdy we wschodniej części kopalni notowano miąższości do 318m (Baraniecka 1984). Na kontakcie osadów plejstocenu i Miocenu górnego widać warstwę bruku morenowego, na której zalegają aluwia, a wyżej

glacifluwialne piaski ze żwirami i żwiry tzw. formacji Krzaki (Goździk 2006). Powyżej zalega dolna glina warciańska a nad nią piaski średnio- i drobnoziarniste z warstwami mułków i ilów przykryte górną gliną zlodowacenia warty. Lokalnie ponad gliną górną występują osady organiczne interglacjału eemskiego.

W zachodniej części kopalni, na południowej ścianie wyrobiska, widoczny jest bezpośredni kontakt osadów miocenu z jurą górną (zrzut uskoku głównego rzędu 200m). Deformacje miocenijskie sięgające niekiedy do Czwartorzędu są także w znacznym stopniu związane z tektoniką przesuwcą zakorzenioną w mezozoicznym podłożu (Gotowała, Hałaszcak 1999). Pracownicy Działu Geologicznego Kopalni Bełchatów są obecnie w trakcie konstruowania szczegółowej mapy strukturalnej spągu Czwartorzędu na podstawie danych z tysięcy otworów wiertniczych wykonanych przez kopalnię. Planowane jest zestawienie wyników omawianych badań z tymi danymi. Skorelowanie struktur tektonicznych podłoża i plejstocenijskiego nadkładu jest bardzo trudne – ponieważ ściany nadkładu złoża znajdują się w znacznej odległości od ścian eksploatacyjnych z mioceniem burówęglowym (ok. 1,5 - 2 km), a kartowanie ciągle z przyczyn technicznych nie jest możliwe. W badanym fragmencie kopalni, na niższych poziomach nadkładu złoża, osady miocenijskie zalegają poziomo i nie wykazują większych zaburzeń. Leżące na nich niezgodnie osady plejstocenu (Zlodowacenie Środkowopolskie) są znacznie zdeformowane stąd przypuszczenie, że są to struktury wyłącznie glacitektoniczne. Ponieważ jednak zdeformowane i przechylone osady zlodowacenia środkowopolskiego (upady 30-60°) trzymają się wyraźnie strefy PUG wydaje się, że jest to równocześnie efekt reaktywacji tej struktury. Południowe upady warstw plejstocenu środkowego (wsteczne wleczenie w kierunku powierzchni uskoku głównego) i niezgodność kątowna pomiędzy mioceniem i plejstoceniem może świadczyć o bardzo młodym wieku tzw. rowu II-rzędu (po-zlodowaceniu warty – interglacjału eemski?). Obecnie trudno jednoznacznie ocenić na ile wpływ podłoża był decydujący dla powstawania określonych struktur deformacyjnych w czwartorzędzie, a na ile są one wynikiem bezpośredniej działalności lodowca. Często takie rozgraniczenie nie jest możliwe. Zarówno aktywność wysadu Dębina w czwartorzędzie jak i neotektoniczne odmłodzenie struktur alpejskich rowu Bełchatowa było ostatecznie stymulowane przez lodowce (por. Głazek 1999). Nacisk statyczny w czasie zlodowaceń, a następnie odciążanie obszaru w czasie interglacjałów, musiały spowodować duże ruchy pionowe i wielokrotne uruchamianie stref tektonicznych. Jak wynika ze współczesnych obserwacji sejsmicznych (Szymański J. 1999) proces ten trwa do dziś.

Podział stratygraficzny osadów plejstocenu w Bełchatowie od dawna budzi dyskusję o czym świadczy bogata bibliografia dotycząca tego zagadnienia (Baraniecka 1984, Krzyszkowski 1994 i inni). Możemy z zadowoleniem przyjąć obecną tendencję do jego uproszczenia. Pełny profil osadów czwartorzędu był widoczny we wschodniej i centralnej części kopalni. Obecnie dostępny profil w zachodniej części kopalni jest znacznie zredukowany. W zachodniej części Pola Bełchatów najstarsze osady ukazujące się bezpośrednio pod osadami czwartorzędu to brunatno-szare piaski ilaste i ły miocenu. Na miocenie spoczywa gruba warstwa bruku złożona głównie z krzemieni górnio-jurajskich i sporadycznie eratyków skandynawskich, świadcząca o plejstocenijskim wieku erozji. Bezpośrednio na bruku zalegają aluwia, a wyżej glacifluwialne piaski ze żwirami i żwiry należące do zlodowacenia odry? (wg. Goździk 2001). Na takim podłożu

złożona została dolna glina zlodowacenia warty wyżej piaski średnio- i drobnoziarniste z warstwami mułków i ilów. Ponad nimi występują naprzemianległe warstwy gliny i różnoziarnistych, źle wysegregowanych piasków. Osady tego ogniwa przechodzą stopniowo w górną glinę warty. Lokalnie ponad gliną górną występują osady organiczne interglacjalny eemskiego. Najmłodsze osady holocenu znajdują się już poza górną krawędzią wyrobiska.

GLACITEKTONIKA

Skomplikowane deformacje widoczne są głównie w osadach piaszczysto-żwirowych i mułkach znajdujących się pomiędzy dwoma poziomami glin zlodowacenia warty, jakkolwiek same gliny były także poddane deformacjom. Typy deformacji, ich amplituda i lokalizacja są ściśle związane z: litologią i granulometrią osadów, konfiguracją podłoża, wielkością oddziaływujących nacisków i/lub ciśnieniem wód porowych.

Wśród opisanych struktur deformacyjnych wyróżnić można 3 grupy genetyczne:

- Struktury obciążeniowe i odciążeniowe – utworzone pod wpływem statycznego nacisku lodowca i efekty odprężenia górotworu po jego ustąpieniu (neotektonika).
- Struktury typu ice-contact, ice-contact slope i ice-contact flow – utworzone bez wpływu nacisków horyzontalnych (efekt utraty podparcia, bierny spływ po skłonie itp.).
- Struktury glacitektoniczne *sensu stricto* – utworzone pod wpływem dynamicznego nacisku lodowca.

Do pierwszej grupy należą diapiry pionowe gliny dolnej i pogazy pod gliną górną oraz systemy ściec komplementarnych przecinające cały kompleks osadów plejstocenu łącznie ze stropem miocenu (oś σ_1 pionowa).

Do drugiej: uskoki normalne południowego skłonu kemu (ice contact slope) i związane z nimi brekcje, melanże tektoniczne oraz fałdy z płynięcia (ice contact flow).

Do trzeciej: listwy i łuski glin oraz piasków, fałdy asymetryczne i związane z nimi struktury drugiego rzędu (wsteczne zafałdowania i odkłucia, uskoki odwrócone, uskoki przesuwowe, fałdki ciągnięte pod gliną górną i ściecia.

Ścinający charakter kontaktu gliny górnej z niżej leżącymi osadami piaszczysto-żwirowo-mułkowymi różnej genezy, przy jednoczesnym zdeformowaniu tych ostatnich zdaje się wskazywać na ogromną dynamikę lodowca w czasie zlodowacenia warty. Wśród deformacji obserwowanych w osadach żwirowo-piaszczystych pod gliną górną, wyróżnić można: fałdy różnego typu, związane z: posuwem lodowca (fałdki ciągnięte i zygzakowate), upłynnieniem warstw i wleczeniem (fałdy z płynięcia, diapiry), plastycznym wyginaniem kierunkowym (fałdy symilarne, fałdy wysmukłe, fałdy futerałowe), uskoki: normalne, odwrócone, ściecia Riedla. Zwraca uwagę duża frekwencja zjawisk związanych z upłynnieniem osadów a nawet swobodny ich spływ. Gлина dolna (cieńsza od górnej) ma przede wszystkim zdeformowany strop i w znacznym stopniu uczestniczy w zaburzeniach dynamicznych nadległych osadów lub też jest erozyjnie rozcięta. Natomiast jej powierzchnia spagowa jest bardzo równa, a

kontakt z niżej leżącymi piaskami białymi nie wykazuje większych zaburzeń poza drobnymi pogrążami. O ile glina górna ma charakter deformujący względem osadów leżących pod nią, to glina dolna jest lokalnie zdeformowana wraz z osadami nadległymi lub nie wykazuje żadnych deformacji. W skrajnie południowej części ściany osady piaszczysto-żwirowe rozdzielające oba poziomy glin wyklinowują się zupełnie tak że oba poziomy glin spotykają się ze sobą bezpośrednio. Tylko lokalnie na samej granicy glin widoczne są drobne wkładki piaszczyste lub soczewki piasków. Jak wynika z badań petrograficznych oba poziomy gliny można uznać za jeden horyzont stratygraficzny – złodowacenia warty (Gałązka 2005). Na niższym poziomie eksploatacyjnym widoczny jest jeszcze jeden poziom gliny wyraźnie różniący się kolorem (glina czekoladowa) zaliczany dotąd do złodowacenia odry (?). Sztwywny i równy spąg tej gliny spełniał rolę powierzchni granicznej – powierzchni odkłucia, dla większości średnich struktur glacitektonicznych. Leżące niżej osady miocenijskie nie są w tej części kopalni zaburzone. Analiza mezostrukturalna pozwala stwierdzić, że struktury glacitektoniczne w samym spągu gliny górnej i bezpośrednio pod nią odpowiadają kompresji subhoryzontalnej o kierunku zbliżonym do NW-SE podczas gdy w niższej części profilu (do poziomu gliny dolnej włącznie) dominuje kierunek kompresji od NNE-SSW do N-S. Taki krzyżowy układ kompresji implikuje dwa scenariusze wydarzeń:

- zmieniało się pole naprężeń w czasie
- w miarę przyrastania kolumny osadów i szarży młodszej fazy złodowacenia warty wobec przeszkód morfologicznych w podłożu następował wzrost tarcia. Wywiązujące się naprężenia w dolnej części profilu osadów były wypadkową tych sił, dlatego dochodziło do skręcenia pola naprężeń - nierzadko o 90° (hipoteza robocza). Wówczas wszystkie struktury glacitektoniczne (kompresyjne) byłyby równoczesowe tj. związane z dynamiką lądolodu, który złożył górną glinę warty.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania w zachodniej części Pola Bełchatów pozwoliły stwierdzić, że duże struktury widoczne w osadach Plejstocenu środkowego odzwierciedlają układ struktur podłoża pre-plejstocenijskiego. Struktury te (wysad Dębina i strefa południowego uskoku głównego) były intensywnie neotektonicznie reaktywowane pod koniec Zlodowacenia Środkowopolskiego (w czasie recesji) i w trakcie interglacjału eemskiego. Ich efektem są m. in. znaczne rotacje warstw kompleksu plejstocenijskiego w sąsiedztwie uskoku południowego (PUG) i bardzo duże upady warstw Miocenu i Plejstocenu wokół wysadu Dębina. Średnie i drobne struktury deformacyjne widoczne w osadach warciańskich dokumentują zjawiska glacitektoniczne – tj. etap kompresji związanej z postojem i szarżą lodowca oraz tensji (utrata podparcia) w czasie deglacjacji. Ilościowa przewaga drobnych struktur ciągłych – typu fałdy symilarne, konwolucje, pogrąży, toceńce, nad deformacjami nieciągłymi typu uskoki, łuski, odkłucia, brekcje, może świadczyć o przewadze procesów upłynnienia osadu nad ścinaniem. Warunki krytyczne do powstawania ścięć i uskoczków (wysokie ciśnienia porowe) osiągnane były raczej lokalnie i występują strefowo podczas gdy kierunkowe

splywy i upłynnienia warstw są obecne powszechnie. Taka dystrybucja naprężeń przemawia za wleczeniowym mechanizmem powstawania deformacji glacitektonicznych. Strefy silnych zniszczeń o charakterze uskoków i ścięć gdzie kumulacja naprężeń była największa reprezentują obwiednie kolejnych ścięć cylindrycznych wytwarzanych przez łądolód, są to oznaki etapów postępu lodowca. Spotyka się je co kilkadziesiąt metrów. Ponieważ w tej części kopalni osady miocenu nie biorą udziału w deformacjach glacitektonicznych a łączna miąższość glin zlodowacenia warty nie przekracza 2-3 metrów można przypuszczać, że łądolód nie był w tym miejscu zbyt gruby i poruszał się głównie ruchem ślizgowym ponad miocenijskim podłożem. Istnieje również duże prawdopodobieństwo, iż subglacialne podłoże kolejnych łądolodów przesuujących się nad badanym obszarem miało charakter mozaiki złożonej z miejsc stabilnych i deformacyjnych (por. Piotrowski, Larsen 2004). Ich położenie w podłożu lodowca zmieniało się w czasie i przestrzeni i jest odzwierciedleniem odpowiedzi miękkiego podłoża na naprężenie subglacialne. Niektóre miejsca podlegały wielokrotnym fazom deformacji, w innych pierwotne struktury nie zostały naruszone. Obecnie obserwowane zaburzenia mogą więc być uznane za skumulowany efekt działania czynników deformacyjnych w czasie całego cyklu glacialnego.

BIBLIOGRAFIA

- BARANIECKA M.D. 1984, Zlodowacenie środkowopolskie. Budowa Geologiczna Polski. 1. Stratygrafia, 3b. Kenozoik. Czwartorzęd. (red. J.E. Mojski, S.Sokolowski): 154-195. Wyd. Geol. Warszawa,
- BRODZIKOWSKI K., GOTOWAŁA, R., HAŁUSZCZAK, A., 1980, Kompleksy osadowe odsłoniętej części nadkładu czwartorzędowego (Depositional complexes of the exposed part of Quaternary overburden). Proc. 52nd Meeting Geol.Soc. Poland (Bełchatów, 1980), 305-308.
- BRODZIKOWSKI, K.1985, Geological deformation environment in the subsiding zone with special reference to the Kleszczów tectonic graben. Quaternary Studies in Poland 6, 5-22,
- BRODZIKOWSKI, K., KRZYSZKOWSKI, D., VAN LOON, A.J.1987, Endogenic processes as a cause of penecontemporaneous soft-sediment deformations in the fluviolacustrine Czyżów Series (Kleszczów Graben, central Poland), in: Jones, M.E., Preston, R.M.F. (Eds.), Deformation of sediments and sedimentary rocks. Geological Society Special Publication 29, 269-278.
- BRODZIKOWSKI, K., VAN LOON, A.J. 1991, Glacigenic Sediments. Elsevier (Amsterdam), Developments in Sedimentology 49, 674pp.
- FELISIAK I., 1999, Południowy uskok główny – porównanie koncepcji z rzeczywistością na podstawie obserwacji we wkopie KWB „Bełchatów”. „Konferencja naukowa: „Mfodoalpejski rów Kleszczowa: rozwój i uwarunkowania w tektonice regionu” Słok k.Bełchatowa 15-16 października 1999; 89 – 98,

- GAŁAZKA D., 2005, Badania eratyków przewodnich z glin zwałowych formacji „Rogowiec” KWB Bełchatów. Terenowe Warsztaty „Drobne struktury glaciektoniczne” Bełchatów 3-6 października 2005 (ibid. Biblioteka PIG),
- GŁAZEK J., 1999, Transgresyjno-solna geneza struktury Wielunia. Konferencja naukowa: „Młodoalpejski rów Kleszczowa: rozwój i uwarunkowania w tektonice regionu” SŁOK K.BEŁCHATOWA 15-16 PAŹDZIERNIKA 1999:69-76,
- GOTOWAŁA R., HAŁUSZCZAK A., 1999, Pozycja i główne etapy młodoalpejskiego rozwoju rowu Kleszczowa w świetle badań mezostrukturalnych w odkrywce KWB „Bełchatów” i numerycznej analizy wyników badań. Konferencja naukowa: „Młodoalpejski rów Kleszczowa: rozwój i uwarunkowania w tektonice regionu” Słok k.Bełchatowa 15-16 października 1999: 7 – 23
- GOŹDZIK J., 2001, Stratygrafia i paleogeografia osadów czwartorzędowych z środkowo-zachodniej części kopalni Bełchatów z wykorzystaniem forfoskopii ziaren kwarcowych. W: Eolożacja osadów jako wskaźnik stratygraficzny czwartorzędu (RED. E.Mycielska-Dowgiałło): 93-124. Prac. Sedyment. Wyzd. Geogr. I Stud. Reg Uw, Warszawa,
- KRZYSZKOWSKI D., 1994, Quaternary stratigraphy In the Kleszczów Graben (Central Poland); a study based on sections from the Bełchatów outcrop. Quatern. Stud., 2: 21-58,
- PIOTROWSKI J., A., LARSEN N., K., JUNGE F., W., 2004, Reflections on soft subglacial beds as a mosaic of deforming and stable spots. Quaternary Science Reviews 23, 993-1000,
- SZYMAŃSKI J., 1999, Określenie metodami numerycznymi rezydualnego pola naprężeń w rejonie rowu II rzędu drogą interpretacji struktur tektonicznych i zjawisk sejsmicznych. Konferencja naukowa: „Młodoalpejski rów Kleszczowa: rozwój i uwarunkowania w tektonice regionu” Słok k.Bełchatowa 15-16 października 1999: 135 – 138,
- VAN LOON, A.J., BRODZIKOWSKI, K., ZIELIŃSKI, T., 1995, Shock-induced resuspension deposits from a Pleistocene proglacial lake (Kleszczów Graben, central Poland). Journal of Sedimentary Research A65:417-422.