

## **WYPIĘTRZENIE STRUKTURALNE JAKO BARIERA GEOLOGICZNA DLA MIGRACJI ZANIECZYSZCZEŃ DO WÓD PODZIEMNYCH W REJONIE SKŁADOWISKA ODPADÓW**

Hanna Złotoszewska-Niedziałek

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Streszczenie.** Na podstawie obserwacji prowadzonych w otoczeniu składowiska odpadów komunalnych „Otwock-Świerk” przedstawiono rolę wypiętrzenia strukturalnego jako bariery geologicznej ograniczającej rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w środowisku wód podziemnych. Analizowany obiekt znajduje się na Równinie Garwolińskiej – zdenudowanej wysoczyźnie morenowej powstałej w czasie zlodowaceń środkowopolskich. Złożone warunki hydrogeologiczne w rejonie składowiska są efektem procesów glaciektonicznych, które doprowadziły do wypiętrzenia osadów podłoża czwartorzędu i deformacji warstw osadów glacialnych.

**Słowa kluczowe:** wypiętrzenie strukturalne, wody podziemne, warunki hydrogeologiczne, składowisko odpadów

### **WSTĘP**

Degradacja środowiska gruntowo-wodnego przez powierzchniowe źródło zanieczyszczenia, takie jak na przykład składowisko odpadów komunalnych, może obejmować zjawiska negatywne o zróżnicowanej wadze. Zdarzenia o znaczeniu lokalnym i krótkotrwałym dotyczą przeważnie awarii obiektów lub ich zabezpieczeń. Zdarzenia o skutkach długoterminowych dotyczą zazwyczaj funkcjonowania obiektów, których konstrukcja nie uwzględniała naturalnych cech środowiska przyrodniczego, w tym także warunków gruntowo-wodnych. Oddziaływanie obiektów uciążliwych na środowisko (także w wyniku awarii) zmieniać może nie tylko charakterystykę geochemiczną podłoża gruntowego. Obiekty takie wpływać mogą także na wody podziemne użyt-

kowych poziomów wodonośnych. Wrażliwość stref lokalizacji obiektów uciążliwych na zanieczyszczenia zależy zatem nie tylko od układu wychodni utworów powierzchniowych, stanowiących potencjalne geologiczne bariery izolacyjne [Falkowska 2009]. Negatywne skutki oddziaływania obiektów uciążliwych na wody podziemne wynikać mogą także z charakteru regionalnych struktur geologicznych [Złotoszewska-Niedzialek 2004].

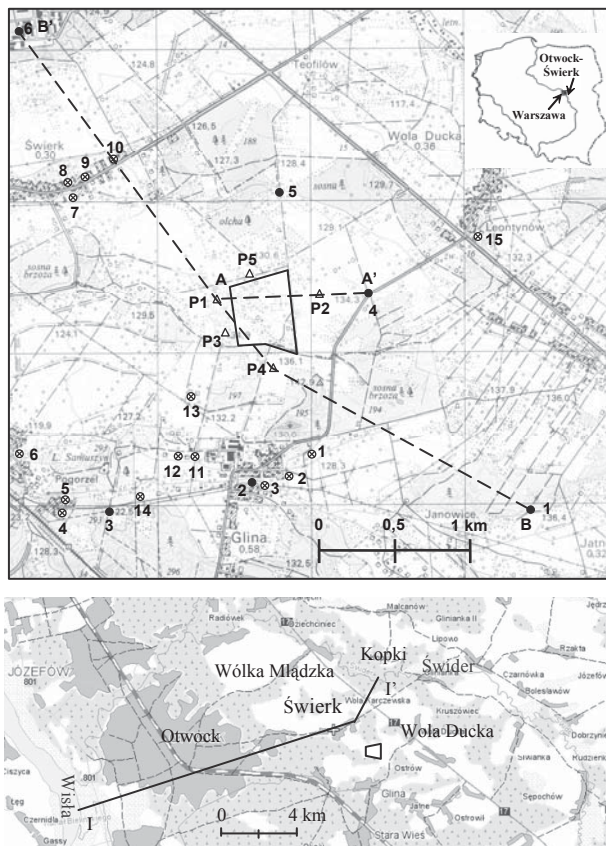
Wzrastające zagrożenie dla zasobów wód podziemnych i stwierdzone fakty ilościowej i jakościowej ich degradacji [Kleczkowski 1991, Nowicki, red. 2007] sprawiły, że strategia ochrony wód podziemnych realizowana jest już na etapie planowania przestrzennego. Określa ją wydane w marcu 2009 roku rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczące lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny podlegać poszczególne typy składowisk odpadów. Decydującymi czynnikami wyboru lokalizacji dla takich obiektów są budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne. Szczególny nacisk położono w dokumencie na ochronę głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) [Kleczkowski 1990, Kazimierski i in. 1998]. Jednak regionalna skala wyznaczania GZWP [Kleczkowski 1990] niesie ze sobą niebezpieczeństwo uproszczeń i uogólnień modelu warunków hydrogeologicznych. Prawidłowy wybór bezpiecznej lokalizacji składowisk (uwzględniający konkretne rozwiązania techniczne) powinien opierać się na szczegółowej analizie budowy geologicznej, która uwzględnia strukturalne elementy danego obszaru. Przykładem takiej lokalizacji jest składowisko odpadów komunalnych „Otwock-Świerk”.

## CEL BADAŃ I ICH METODYKA

Celem badań było określenie znaczenia wypiętrzenia strukturalnego Wólki Młudzkiej w kształtowaniu warunków krążenia wód piętra czwartorzędowego w rejonie Otwocka oraz jego rola jako naturalnej geologicznej bariery strukturalnej ograniczającej rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń.

W ramach badań przeprowadzono kwerendę materiałów archiwalnych. Przeprowadzono także pomiary głębokości zwierciadła wód podziemnych w 15 studniach gospodarskich (rys. 1). Obiekt zlokalizowany jest około 5 km na wschód od Otwocka (województwo mazowieckie) na obszarze nieużytków rolnych wykazujących cechy zabagnienia (rys. 1). Tereny przyległe do składowiska od wschodu i północy graniczą z kompleksem leśnym, a z pozostałych stron – z gruntami rolnymi.

Składowisko należy do nadpoziomowo-włębnego: głębokość niecki wysypiska wynosi 1,5 m, wysokość korpusu około 17 m n.p.t., nachylenie skarp 1 : 1,5. Powierzchnia całego obiektu wynosi około 20,0 ha, w tym obszar pod składowanie odpadów zajmuje 12 ha i jest podzielony na 4 kwatery. Do izolacji masy odpadów od podłoża zastosowano przesłoną syntetyczną – szczelną warstwę izolacyjną z geomembrany PEHD o grubości 2 mm. Odcieki ze składowiska zbierane są poprzez drenaż nadfoliowy, jednocześnie został wykonany drenaż stabilizacyjny z odpływem do rowu opaskowego. Obiekt został uruchomiony w kwietniu 1998 roku, czas eksploatacji przewidziany jest na okres 30 lat.



Rys. 1. Lokalizacja punktów badawczych w rejonie składowiska „Otwock-Świerk”: ● wiercenia archiwalne, Δ piezometry, ⊗ punkty pomiaru zwierciadła wody podziemnej, A — — — A' linia przekroju hydrogeologicznego, □ składowisko odpadów komunalnych

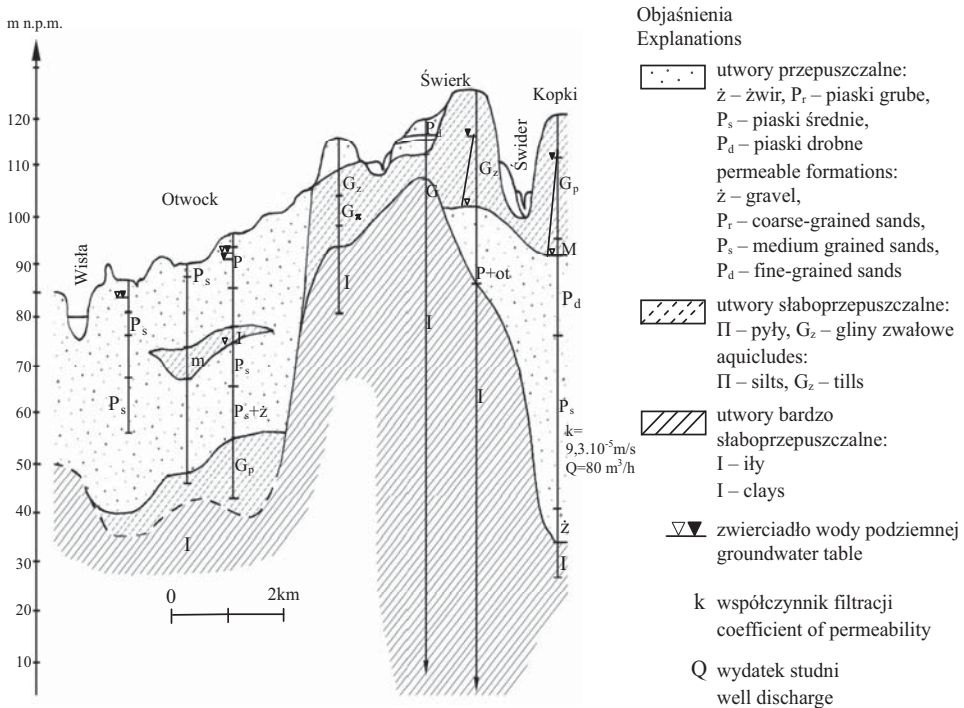
Fig. 1. Location of the test points in the vicinity of the “Otwock-Świerk” landfill site: Explanations: ● archival drillings, Δ piezometers, ⊗ points of groundwater table measurement, A — — — A' line of hydrogeological cross-section, □ landfill site

## WARUNKI GEOLOGICZNE I HYDROGEOLOGICZNE

Analizowany obszar położony jest w obrębie wysoczyzny morenowej określanej jako Równina Garwolińska [Baraniecka 1973]. Leży ona w południowo-wschodnim obrzeżeniu Kotliny Warszawskiej. Powierzchnię Równiny Garwolińskiej budują osady zlodowaceń środkowopolskich. Wysoczyzna posiada zdenudowaną, płaską powierzchnię. Jej rzędne w strefie składowiska zawierają się w przedziale 130–135 m n.p.m. Wysoczyzna morenowa rozcięta jest licznymi formami dolinnymi (suche doliny), które są śladami porzuconych przepływów rzecznych. Ich rozwój zakończył się w czasie zlodowacenia północnopolskiego.

Płytkie występowanie stropu utworów słabo przepuszczalnych i małe deniwelacje powierzchni terenu w rejonie składowiska są przyczyną rozwoju siedlisk hydrogenicznych z degradacją gruntów organicznych (torfów i namulów). Teren w rejonie badań odwadniany jest za pośrednictwem drobnych cieków i rowów melioracyjnych uchodzących do Świdra i Wisły.

Warunki hydrogeologiczne w rejonie poligonu badawczego określić można jako złożone. Głównym elementem budowy geologicznej jest wypiętrzenie strukturalne Wólki Mładzkiej. W jej obrębie wyróżniono trzy równoległe przebiegające elewacje o kierunku NW-SE [Baraniecka 1973]. Jedną z nich, elewacja Świerk – Wola Ducka, występuje około 800 m na północ od składowiska (rys. 2). W obrębie wspomnianych elewacji strop plicenu leży na wysokości 120–130 m n.p.m. Pomiędzy elewacjami znajduje się on na wysokości 52–60 m n.p.m. (miejscowość Głina – otw. 2 na rys. 1).



Rys. 2. Schematyczny przekrój I-I' przez wypiętrzenie strukturalne Świerk – Wola Ducka  
 Fig. 2. Simplified cross-section I-I' through the structural uplift Świerk – Wola Ducka

Według Baranieckiej [1973] powstanie wypiętrzenia należy wiązać z impulsami tektonicznymi, które miały miejsce na przelomie zlodowacenia południowopolskiego i interglacjału mazowieckiego, natomiast górne części fałdów zostały zaburzone glaci-tektonicznie przez łądłód środkowopolski.

Podłoże utworów czwartorzędowych stanowią osady plioceńskie, które reprezentowane są przez ily pstry z soczewkami i przewarstwieniami piasków. Miąższość całego kompleksu jest zmienna, średnio wynosi kilkadziesiąt metrów, w rejonie Świerka szacowana jest na 150 m [Baraniecka 1973]. Osady te w swej partii stropowej są zaburzone z utworami starszego czwartorzędu. Powierzchnia utworów trzeciorzędowych w rejonie badań znajduje się na wysokości od 55 do 105 m n.p.m.

W obrębie zaburzonego kompleksu glin zwałowych, mulków i ilów występują warstwy wodonośne w formie soczew i przewarstwień, najczęściej o niskich parametrach hydrogeologicznych.

Miąższość osadów czwartorzędowych waha się od 0 w obrębie wypiętrzenia strukturalnego – Wólki Mładzkiej, do około 100 m na pozostałym obszarze. Z analizy materiałów archiwalnych PIG i publikowanych [Malinowski, red. 1991, Perek 1997] wynika, że składowisko odpadów komunalnych „Otwock-Świerk” zlokalizowane jest na obszarze, w którym nie występuje użytkowy poziom wodonośny w osadach czwartorzędowych.

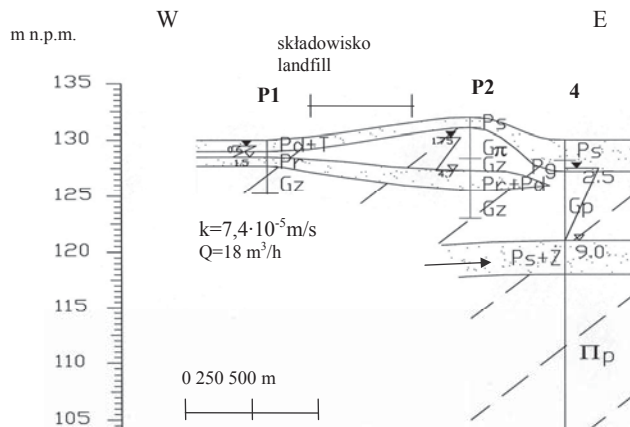
W rejonie badań, w strefie przypowierzchniowej, występują osady przepuszczalne wykształcone w postaci piasków średnio- i drobnoziarnistych oraz gliniastych o miąższości od 1,0 do 4,0 m. Występowanie wody podziemnej związane jest tu zazwyczaj z osadami wypełniającymi dawne drogi powierzchniowego odpływu w obrębie wysoczyzny polodowcowej.

Zwierciadło wód podziemnych ma charakter swobodny i jego położenie uzależnione jest od wielkości infiltracji opadów. Wody z tych warstw eksploatowane są tylko lokalnie do celów gospodarczych ze względu na ich małe zasoby i złą jakość. Pomiary położenia zwierciadła wody w studniach gospodarskich w okresie badawczym (październik 2004 – czerwiec 2005) wykazały, że zwierciadło występowało na głębokości od 1 do 2,9 m p.p.t. Amplituda wahań wyniosła od 0,2 do 0,5 m. Najniższe stany zanotowano w listopadzie, najwyższe – w maju. W piezometrze 5 zwierciadło wody układało się na głębokości od 0,55 do 0,90 m p.p.t.

Poniżej utworów przepuszczalnych leży ciągle kompleks osadów słaboprzepuszczalnych: pyły, gliny piaszczyste i pylaste, gliny z otoczkami, których całkowita miąższość waha się od 5 do 70 m. W obrębie tych utworów występują warstwy wodonośne zbudowane z piasków drobno- i średnioziarnistych oraz żwirów o miąższości od 3 do 20 m (rys. 3 i 4).

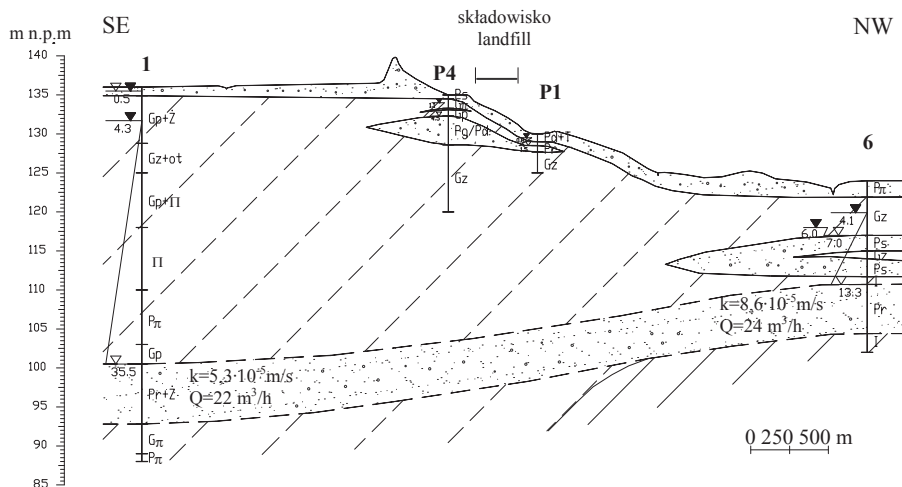
Utwory te charakteryzuje współczynnik filtracji  $k = 2,1-9,3 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , wydatek pojedynczych otworów eksploatacyjnych waha się od 18 do 24  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , wydatki jednostkowe wynoszą 0,38–3  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . Ze względu na niskie parametry hydrogeologiczne obszar w rejonie składowiska można uznać za niekorzystny pod kątem zaopatrzenia w wodę.

W podłożu składowiska w glinie zwałowej na głębokości 1,5–5,2 m p.p.t. występują zawodnione przewarstwienia piaszczyste o miąższości od 0,8 do 3 m. Warstwa wodonośna zbudowana jest z piasków grubo- i drobnoziarnistych. Zwierciadło ma charakter napięty i układa się na głębokości od 0,83 (P1) do 4,82 m (P3). Amplituda wahań wynosi od 0,71 (P1) do 1,52 m (P3). Przepływ wody podziemnej w obrębie tej warstwy odbywa się w kierunku północno-zachodnim [Złotoszewska-Niedziałek 2007].



Rys. 3. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny A-A' przez wysoczyznę w rejonie składowiska „Otwock-Świerk” (objaśnienia jak na rys. 2)

Fig. 3. Hydrogeological cross-section A-A' through the plateau in the vicinity of the Otwock-Świerk landfill site (explanation as in Fig. 2)



Rys. 4. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny B-B' przez wysoczyznę w rejonie składowiska „Otwock-Świerk” (objaśnienia jak na rys. 2 i 3)

Fig. 4. Hydrogeological cross-section B-B' through the plateau in the vicinity of the Otwock-Świerk landfill site (explanation as in Fig. 2 and 3)

## DYSKUSJA

Głacitektoniczne fałdy zbudowane z ilów plioceńskich, nadbudowanych miejscami utworami zwałowymi, występują powszechnie w strefach krawędziowych dolin Wiśły, Odry czy Prosn [Falkowski 1999]. Potężne fałdy zbudowane z ilów plioceńskich

występują w krawędzi lewobrzeżnej wysoczyzny w Warszawie [Różycki 1972]. Wypiętrzenia glacictektoniczne spotykane w strefach krawędziowych dolin tworzą często pionowe, praktycznie nieprzepuszczalne bariery [Aber i Ber 2007], ograniczające kontakt hydrauliczny struktur wodonośnych wysoczyzny z aluwialnym poziomem wód podziemnych w dolinach. Obecność takich struktur wpływa na ograniczanie możliwości rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, które pochodzić mogą z obiektów zlokalizowanych na obszarach wysoczyznowych.

Specyficznym typem strukturalnej bariery geologicznej jest wypiętrzenie Wólki Mładzkiej. Powstanie jej w okresie intensywnej glacictektoniki, już u schyłku megeglacjału południowopolskiego [Baraniecka 1973, Lindner 1992], zdeterminowało charakter depozycji osadów lodowcowych także w czasie następnych zlodowaceń. Efektem takiej sekwencji zdarzeń jest budowa analizowanej strefy. W strefie powierzchniowej dominują spoište, słabo przepuszczalne osady zawierające niewielkie przewarstwienia przepuszczalnych osadów fluwioglacjalnych.

Ryzyko pogorszenia jakości wglębnych wód podziemnych w efekcie funkcjonowania składowiska odpadów jest na analizowanym obszarze niewielkie. Dotarcie polutantów do warstw tworzących regionalną strukturę wodonośną GZPW 215A – Subniecka Warszawska [Kleczkowski 1990, Kazimierski i in. 1998, Nowicki, red. 2007] jest mało prawdopodobne. Zagrożenie płytszych wód czwartorzędowych wypełniających regionalną jednostkę GZPW 222 – Dolina Środkowej Wisły jest także niewielkie.

W obrębie zaburzonego kompleksu glin zwałowych, mułków i pyłów stropowej partii wypiętrzenia Wólki Mładzkiej warstwy wodonośne występują jedynie w formie soczew i przewarstwień, najczęściej o małych parametrach hydrogeologicznych. Nie są one zatem atrakcyjne jako źródło zaopatrzenia w wodę. Nie tworzą także kolektorów mogących transmitować polutanty w kierunku doliny Wisły.

## WNIOSKI

1. Obecność struktury glacictektonicznej Wólki Mładzkiej wpływa zarówno na regionalne, jak i na lokalne warunki krążenia wód podziemnych.
2. Lokalizacja obiektów uciążliwych w obrębie analizowanej strefy wiąże się z niewielkim ryzykiem pogorszenia jakości wód podziemnych.
3. Elementem waloryzacji obszarów Polski Niżowej pod względem ich wrażliwości na zanieczyszczenie wód podziemnych powinna być także identyfikacja lokalnych struktur glacictektonicznych.

## PIŚMIENNICTWO

- Aber J.S., Ber A., 2007. Glaciotectonism. Developments in Quaternary Science 6. Elsevier, Amsterdam.
- Baraniecka M.D., 1973. Szczegółowa mapa geologiczna Polski. Arkusz Otwock z objaśnieniami. Wydaw. Geologiczne, Warszawa.

- Falkowska E., 2009. Geomorfologiczne uwarunkowania występowania naturalnych geologicznych barier izolacyjnych na wybranych obszarach Polski Środkowej. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Falkowski T., 1999. Wycięnięcia utworów spoistych w strefach krawędziowych dolin rzecznych na Niżu Polskim jako elementy ograniczające kontakt wód podziemnych doliny i wysoczyzny. W: Współczesne problemy hydrogeologii. T. IX. Warszawa – Kielce.
- Kazimierski B., Czabańska J., Mikołajczyk A., Modliński P., Przytuła E., Nowicki Z., 1998. Dokumentacja hydrogeologiczna regionu mazowieckiego centralnej części niecki mazowieckiej. PiG, Warszawa.
- Kleczkowski A.S., 1990. Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZPW) w Polsce wymagających szczególnej ochrony, 1 : 500 000. AGH, Kraków.
- Kleczkowski A.S. (red.), 1991. Ochrona wód podziemnych w Polsce. Stan i kierunki badań. Publikacje CPBP 04.10, z. 56. SGGW-AR, Warszawa.
- Lindner L., 1992. Stratygrafia (klimatostratygrafia) czwartorzędu. W: L. Lindner (red.) Czwartorzęd: osady, metody badań, stratygrafia. Wydawnictwo PAE, Warszawa.
- Malinowski J. (red.), 1991. Budowa geologiczna Polski. T. VII. Hydrogeologia. Wydaw. Geologiczne, Warszawa.
- Nowicki Z. (red.), 2007. Wody podziemne miast wojewódzkich Polski. PiG, Warszawa.
- Perek M., 1997. Mapa hydrogeologiczna Polski, arkusz Otwock. Wydaw. Geologiczne, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów. Dz.U. nr 39, poz. 320.
- Różycki S.Z., 1972. Plejstocen Polski środkowej na tle przeszłości w późnym trzeciorzędzie. PWN, Warszawa.
- Złotoszewska-Niedzialek H., 2004. Influence of soil-water conditions on the migration of pollutants in the vicinity of municipal landfill sites. *Acta Geologica Polonica* 54, 3, 413–432.
- Złotoszewska-Niedzialek H., 2007. Monitoring of the groundwater environment within a landfill site. *Annals of Warsaw Agricultural University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation*, 38, 49–56.

## STRUCTURAL UPLIFT AS GEOLOGICAL BARRIER IN THE TRANSPORT OF POLLUTION TO THE GROUNDWATER IN THE VICINITY OF THE LANDFILL SITE

**Abstract.** The paper presents the significance of structural uplift as geological barrier in the transport of pollution to the groundwater environment based on monitoring studies in the vicinity of the municipal “Otwock-Świerk” land-fill. The object is located in the Garwolin Plateau – a presently denudated morainic plateau formed during the Middle Polish Glaciations. The waste is located in the area where there are no Quaternary aquifer horizons of local or regional importance.

**Key words:** structural uplift, groundwater, hydrogeological conditions, landfill site

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 17.12.2012