

## Rola obserwacji i pomiarów hydrogeologicznych w ocenie warunków geologiczno-inżynierskich podłoża w świetle wymagań Eurokodu 7

Marta Sokółowska<sup>1</sup>, Edyta Majer<sup>1</sup>, Monika Skrzeczkowska<sup>1</sup>

**The significance of hydrogeological observations in engineering-geological evaluation of the soil with regard to the requirements of Eurocode 7.** Prz. Geol., 63: 1053–1058.

*Abstract.* Before Eurocode 7 was implemented (a package of European standards connected with geotechnical design) hydrogeological observations were not very reliable as they were made in a borehole without casing during geotechnical drillings. Weak recognition was connected mainly with piezometric level of deeper aquifers, groundwater level fluctuations in time and permeability characteristic of the layer. The implementation of Eurocode 7 is a huge step towards the quality of hydrogeological observations in geotechnical design especially with regard to the safety of the object during construction and maintenance. In the article the main requirements of Eurocode 7 were presented as well as the possibilities of hydrogeological data acquisition from various databases and the examples of regional hydrogeological analyses for groundwater fluctuations prediction.

**Keywords:** water conditions, engineering-geological conditions, piezometers, hydrogeological observations, Eurocode 7

Właściwe rozpoznanie warunków hydrogeologicznych w podłożu – niezależnie od rodzaju konstrukcji i sposobu jej posadowienia – jest niezbędne do prawidłowego zaprojektowania obiektu budowlanego. Do niedawna w badaniach geologiczno-inżynierskich (geotechnicznych) pomiary hydrogeologiczne prowadzono w czasie wykonywania otworów wiertniczych i nie przywiązywano należytej wagi do ich wyników, szczególnie w zakresie prognozy zmian położenia zwierciadła wody w czasie oraz oceny parametrów filtracyjnych gruntów i skał. Dotyczyło to przede wszystkim głębszych poziomów wodonośnych, ponieważ technika wiercenia i czas wykonania otworu wiertniczego uniemożliwiały przeprowadzenie wiarygodnych pomiarów hydrogeologicznych. Obecnie dokładne rozpoznanie warunków hydrogeologicznych, w tym położenia zwierciadła wody podziemnej i wielkości jego wahań, wymaga przekształcenia otworów wiertniczych w tymczasową sieć otworów obserwacyjnych, czyli piezometrów (Dojcz & Troć, 2008), oraz analizy dostępnych materiałów archiwalnych, wywiadu środowiskowego i wizji terenowej. Wprowadzenie do stosowania w praktyce budowlanej zasad Eurokodu 7, czyli zbioru norm europejskich (PN-EN 1997-1, PN-EN 1997-2) dotyczących projektowania geotechnicznego, stanowi istotny postęp w podejściu do wykonywania badań hydrogeologicznych w celu rozpoznania warunków hydrogeologicznych w podłożu dowolnej inwestycji. W Eurokodzie 7, w normie PN-EN 1997-2, jednoznacznie wskazano, że wyznaczenie zwierciadła wód podziemnych należy przeprowadzać poprzez „zainstalowanie w podłożu otwartych lub zamkniętych systemów pomiaru wód podziemnych”, a w normie PN-EN 1997-1 zawarto zapis, że „charakterystyki przepływu wody i ciśnienia wody w porach zaleca się określać za pomocą piezometrów, które najlepiej jest zainstalować przed rozpoczęciem robót budowlanych”. Oznacza to, że dotychczasowy sposób wykonywania pomiarów hydrogeologicznych (przy okazji wiercenia otworów geotechnicznych) przestanie być stosowane w praktyce. Jest to istotna zmiana, zwłaszcza że to właśnie woda podziemna stanowi najczęstszy powód napotkanych w trakcie budowy problemów lub występowania awarii budowlanych w trakcie eksploatacji obiektu.

### DOTYCHCZASOWE METODY BADAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH NA POTRZEBY OCENY WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH PODŁOŻA

Dotychczas w przepisach prawnych i normach związanych z dokumentowaniem podłoża na potrzeby budownictwa nie było jednoznacznego zapisu o konieczności instalowania systemów do pomiaru wód podziemnych, a piezometry były stosowane przez hydrogeologów na potrzeby monitoringu jakościowego lub wykonywania dokumentacji hydrogeologicznych dla inwestycji mogących zanieczyścić wody podziemne (np. projektowane składowiska odpadów czy projektowane lub modernizowane drogi). Założenie sieci obserwacyjnej wód podziemnych jest konieczne również przy budowie obiektów głęboko posadowionych, które znacznie wpływają na stosunki wodne, a zatem wymagają opracowania projektu odwodnienia opartego na szczegółowych danych hydrogeologicznych. Ponadto zalanie dna wykopu, do którego może dojść skutek np. przebicia hydraulicznego, niesie za sobą poważne konsekwencje finansowe. Jak wynika z praktyki, usunięcie takiej awarii często jest bardzo trudne i wymaga kosztownych zabiegów naprawczych.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 8 maja 2014 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej sporządzonej w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby posadawiania obiektów budowlanych należy umieścić informację na temat „głębokości położenia pierwszego poziomu wód podziemnych, amplitudy wahań i maksymalnego położenia poziomu zwierciadła wód podziemnych [ustalonych] na podstawie badań, wywiadu terenowego i analizy materiałów archiwalnych”. Spełnienie tego wymagania nie jest możliwe bez zainstalowania otworu obserwacyjnego (piezometru) albo sieci piezometrów. Nawet najdokładniejsze pomiary zwierciadła wody prowadzone w oczyszczonym otworze geologiczno-inżynierskim albo geotechnicznym z uwzględnieniem okresu potrzebnego na ustabilizowanie się zwierciadła nie pozwalają na oszacowanie amplitudy

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; msoko@pgi.gov.pl, emaj@pgi.gov.pl, mskr@pgi.gov.pl.

zmian położenia zwierciadła w czasie. W publikacjach dotyczących zasad dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich (np. Bażyński i in., 1999) zalecono wykorzystanie do tego celu studni kopanych i wykonywanych w nich pomiarów położenia zwierciadła wód podziemnych w różnych okresach. Taki sposób prowadzenia pomiarów jest odpowiedni głównie w przypadku badań na większym obszarze, natomiast w przypadku pojedynczych inwestycji lub w warunkach gęstej zabudowy miejskiej wyniki pomiarów są niewystarczające lub nie ma możliwości wykonania pomiarów. Przez wiele lat warunki hydrogeologiczne określano na podstawie pomiarów w studniach kopanych. Obecnie studni otwartych (kopanych), w których można wykonać pomiary zwierciadła wód podziemnych, jest jednak coraz mniej lub są na tyle zaniedbane, że pomiary nie są miarodajne. Z kolei studnie wiercone często ujmują poziomy głębsze niż ten, w obrębie którego jest posadowiona projektowana inwestycja, co pociąga za sobą konieczność instalacji własnej sieci obserwacyjnej już podczas badań wstępnych. Takie rozwiązanie jest zgodne z zasadami Eurokodu 7 i zmniejsza ryzyko powstania awarii oraz pozwala uniknąć późniejszych dodatkowych kosztów wynikających ze złego rozpoznania warunków hydrogeologicznych. Znane są przypadki odnotowania otworów suchych w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, którą opracowano w okresie letnim, a następnie stwierdzenie w nich wody w okresie jesiennym, w trakcie rozpoczęcia prac budowlanych.

#### **BADANIA HYDROGEOLOGICZNE W ŚWIETLE EUROKODU 7**

Zgodnie z zaleceniami Eurokodu 7 (PN-EN 1997-2) wyniki pomiarów hydrogeologicznych powinny w szczególności dostarczyć informacji o: głębokości występowania, miąższości, zasięgu i przepuszczalności warstw wodonośnych w podłożu, obecności i charakterze spękań w przypadku skał, położeniu poziomu zwierciadła wód podziemnych i jego zmianach w czasie, rozkładzie ciśnienia wody w porach gruntu oraz składzie chemicznym, właściwościach fizycznych i temperaturze wód podziemnych.

Informacje te, w zależności od zagadnienia projektowego, powinny być wystarczające do oceny: zakresu prac odwodnieniowych, możliwego ujemnego oddziaływania wód podziemnych na dno i skarpy wykopu, ryzyka powstania deformacji filtracyjnych (przebiecia i wyparcia hydraulicznego, nadmiernego ciśnienia spływowego, erozji wewnętrznej), skutków obniżenia zwierciadła wód podziemnych, agresywności wody względem stosowanych materiałów budowlanych i do określenia niezbędnych środków izolacyjnych i drenażowych.

W celu oceny położenia zwierciadła wód podziemnych i kierunku ich przepływu w normie PN-EN 1997-2 zalecono stosowanie dwóch rodzajów systemów pomiarowych: otwartego i zamkniętego. W systemie otwartym pomiary poziomu wody prowadzi się w studniach obserwacyjnych wyposażonych w otwartą rurkę piezometryczną. W systemie zamkniętym pomiary wykonuje się bezpośrednio, za pomocą specjalnych czujników umieszczonych w zamkniętej instalacji piezometrycznej. W normie PN-EN 1997-2 systemy otwarte są zalecone w przypadku gruntów i skał o wysokiej przepuszczalności, np. piasków lub żwirów oraz znacząco spękanych skał. Systemy zamknięte można stosować w przypadku wszystkich rodzajów gruntów i skał,

w szczególności o niskich parametrach filtracyjnych (np. iły lub skały lite), a także wtedy, gdy woda występuje pod wysokim ciśnieniem. Prowadzenie ciągłej rejestracji pomiarów jest zalecane w miejscach, gdzie występują bardzo krótkotrwałe lub też szybkie wahania poziomu wody. W pozostałych przypadkach zapis może być dokonywany w większych, odpowiednio dobranych interwałach czasu. Ciągła rejestracja pomiarów w systemie zamkniętym jest prowadzona od 2012 r. w ramach monitoringu hydrogeologicznego wykonywanego przez Urząd Morski w Gdyni w rejonie konstrukcji zabezpieczającej klif w Jastrzębiej Górze.

Liczba, rozmieszczenie i głębokość punktów pomiarowych powinny być dobierane z uwzględnieniem etapu realizacji inwestycji, typu obiektu budowlanego, celu pomiarów, morfologii i topografii terenu, stratygrafii i wstępnego rozpoznania warunków gruntowo-wodnych (szczególnie przepuszczalności podłoża i położenia warstw wodonośnych) oparteo na analizie materiałów archiwalnych.

Podczas wstępnych badań obserwacje hydrogeologiczne można wykonywać w otworach badawczych wyposażonych np. w rury perforowane, dokonując odczytów poziomu zwierciadła wody w ustalonych interwałach czasu.

W Eurokodzie 7 (PN-EN 1997-1) wymieniono dwa dodatkowe stany graniczne gruntów, które należy uwzględnić w obliczeniach stateczności, w warunkach obecności wody podziemnej. Są to: wyparcie (UPL), czyli utrata stateczności konstrukcji na skutek działania ciśnienia hydrostatycznego, oraz deformacje filtracyjne (HYD), czyli utrata stateczności podłoża wskutek działania ciśnienia hydrostatycznego. Sprawdzenie stanów granicznych UPL i HYD wymaga posiadania dokładnych danych hydrogeologicznych i wzięcia pod uwagę wszystkich możliwych sytuacji obliczeniowych: parcia wody z uwzględnieniem poziomów ekstremalnych, rozproszenia ciśnienia porowego, szkodliwego oddziaływania chemicznego wód czy wpływu robót odwodnieniowych na istniejące obiekty budowlane oraz zmiany stosunków wodnych na sąsiednich obszarach.

#### **PROGNOZA ZMIAN POZIOMU WÓD PODZIEMNYCH**

O ile wykonanie tymczasowej sieci obserwacyjnej na potrzeby monitorowania poziomu wód podziemnych nie sprawia trudności, o tyle wykonanie sieci do prognozy wielkości wahań zwierciadła oraz do określenia maksymalnego możliwego poziomu wód podziemnych wymaga kompleksowego podejścia i uwzględnienia materiałów archiwalnych, w tym często wyników analizy regionalnej.

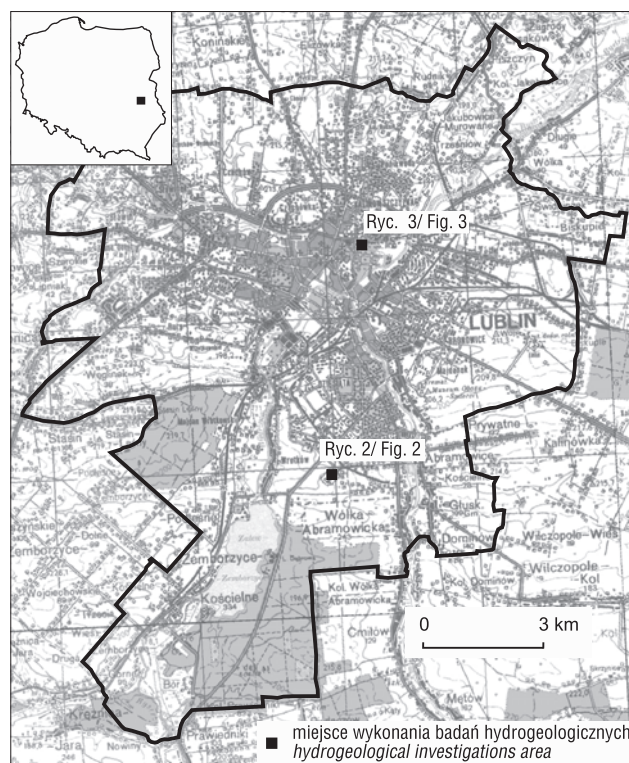
Wielkość wahań zwierciadła wód podziemnych zależy od wielu czynników, takich jak: budowa geologiczna (litolgia, układ warstw, tektonika), geomorfologia, bliskość cieków powierzchniowych i ich charakter, wielkość opadów, a tym samym wielkość dopływu wód, stopień izolacji od powierzchni, odległość od obszarów zasilania, a także prowadzenie prac odwodnieniowych, sposób zagospodarowania powierzchni terenu czy sposób użytkowania wód podziemnych. Na warunki wodne duży wpływ mają ponadto różnego rodzaju budowle oporowe, głęboka zabudowa, zwłaszcza na obszarach zurbanizowanych, instalacje podziemne, prace makroniwelacyjne (podwyższenie lub obniżenie powierzchni terenu) oraz budowle ziemne utrudniające przepływ wód podziemnych, np. nasypy drogowe i kolejowe. Przy prognozowaniu zmian położenia zwier-

ciadła wody podziemnej należy uwzględnić nie tylko wieloletnie historyczne dane pomiarowe, lecz również możliwe przyszłe zmiany w dotychczasowym użytkowaniu wód podziemnych oraz postępujące przekształcanie i zagospodarowywanie terenów zielonych i przestrzeni podziemnej, szczególnie w miastach – np. wielokondygnacyjne podziemne części wysokich budynków, tunele drogowe i kolejowe, wpływające na zmiany położenia zwierciadła wód podziemnych i ograniczenie ich przepływu oraz coraz częściej lokalne piętrzenie zwierciadła wód związane ze wzrostem ciśnienia piezometrycznego w warstwie wodonośnej. Szczegółowej analizie wymaga też „reakcja” badanego terenu na stany powodziowe. Podczas powodzi w 2010 r. w północnej dzielnicy Warszawy (Białoleka), w odległości ok. 6 km od koryta Wisły, odnotowano podniesienie poziomu wód podziemnych o niemal 1 m w porównaniu z poziomami notowanymi w ciągu ostatnich 10 lat (Traczyński & Grela, 2011). W praskiej części Warszawy występuje taras nadzalewowy zbudowany w znacznej mierze z przepuszczalnych gruntów piaszczystych, co sprawia, że wpływ stanów powodziowych Wisły na głębokość występowania zwierciadła wody na tym obszarze jest znaczny. Efektami oddziaływania wód podziemnych w dzielnicach prawobrzeżnej Warszawy są m.in. okresowe zalewanie piwnic, podtopienia, przesiąki przez wały przeciwpowodziowe, konieczność utrzymywania sieci melioracyjnej, ograniczenia w planach zagospodarowania przestrzennego, ale również zmiana kierunku splotu wód w wyniku antropogenicznego podnoszenia powierzchni terenu bez posiadania stosownych pozwoleń.

Nie można także pominąć kwestii użytkowania wód podziemnych. W wielu miejscach, np. w Warszawie, w wyniku przyłączania się mieszkańców i zakładów przemysłowych do sieci wodociągowych następuje stopniowy zanik wykształconego przez lata leja depresji, innymi słowy – poziom wód podziemnych ponownie się podnosi. Takie zjawisko występuje też np. w południowej części Lublina (ryc. 1), gdzie od końca lat 90. XX w. zasięg leja depresji zmniejsza się stopniowo w wyniku ograniczenia poboru wód podziemnych z ujęć komunalnych i przemysłowych (Michalczyk, 2012). Wywołane w ten sposób podniesienie zwierciadła wody może sięgać nawet kilku metrów. Na przedstawionym na rycinie 2 wykresie sporządzonym na podstawie ponad 15-letnich obserwacji kredowo-paleogeńskiego poziomu wodonośnego można prześledzić zarówno stopniowe wypełnianie leja depresji, jak i reakcję na zaprzestanie (z końcem 2006 r.) dodatkowego pompowania prowadzonego w celu likwidacji zanieczyszczenia wód podziemnych produktami ropopochodnymi.

O tym, jak bardzo może się zmienić położenie zwierciadła wód na przestrzeni lat, świadczy także zestawienie przebiegu hydroizohips w Lublinie w ostatnim półwieczu, sporządzone na podstawie archiwalnych map hydrogeologicznych (ryc. 3). Można na nim zaobserwować ogólną tendencję do podnoszenia się zwierciadła wody oraz okresy intensywnej eksploatacji wód podziemnych w latach 60. i 70. XX w.

Podobne problemy mogą wystąpić na terenie zakończonej eksploatacji odkrywkowej lub podziemnej, gdzie podczas odwadniania kopalni powstaje lokalny lej depresji, a po zakończeniu prac odwodnieniowych zaczyna się on wypełniać, co prowadzi do odtworzenia warunków hydro-



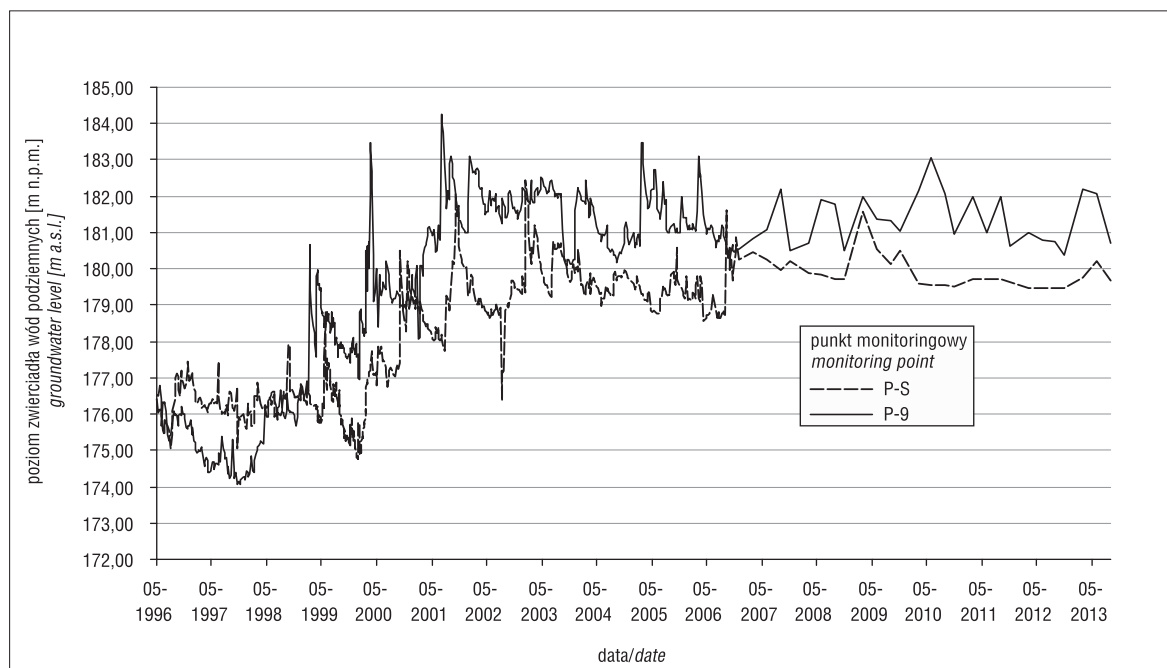
Ryc. 1. Lokalizacja miejsc wykonania badań hydrogeologicznych w Lublinie

Fig. 1. Location of area of the hydrogeological investigations in Lublin

geologicznych i znacznego podniesienia zwierciadła wód podziemnych na przylegającym obszarze. Jako przykłady można przytoczyć: rejon Częstochowy (zakończona eksploatacja rud żelaza), Tarnobrzega (zakończona eksploatacja siarki) oraz Wałbrzycha (zakończona eksploatacja węgla i innych kopaliny).

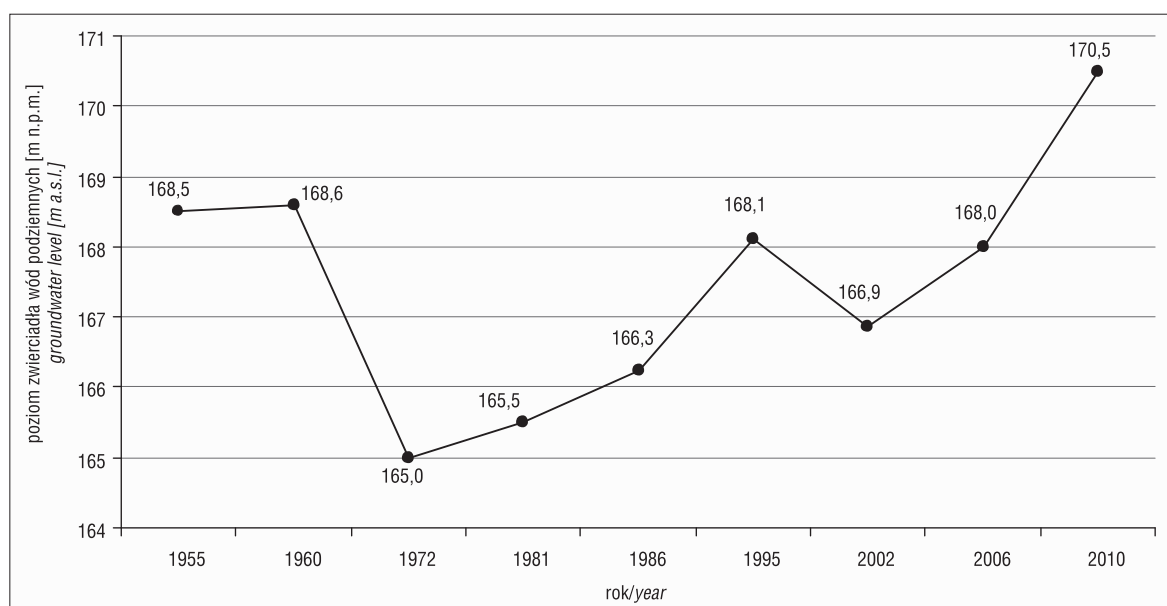
Na podstawie wyników analiz regionalnych, które przeprowadza się nawet w przypadku lokalnych inwestycji, można prognozować trend zachowania się wód podziemnych w przyszłości i dzięki temu zmniejszyć ryzyko konsekwencji niedoszacowania amplitudy wahań oraz maksymalnego ich poziomu. Ponadto regularne wieloletnie obserwacje warunków hydrogeologicznych wokół obiektów mogących zanieczyszczać środowisko, prowadzone stosunkowo niewielkim nakładem środków, pozwalają na wyznaczenie możliwych dróg rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń z uwzględnieniem nowych czynników, np. zmian w okolicznej zabudowie lub w obrębie samego zakładu. Dzięki reprezentatywnemu zbiorowi danych można na bieżąco monitorować zmiany warunków wodnych, prognozować konsekwencje zmian oraz wdrażać odpowiednie środki zapobiegawcze. Wiarygodny zbiór danych pozwala także na przeprowadzenie symulacji określonych scenariuszy wraz z oceną skutków ich wystąpienia.

Z uwagi na coraz większą dostępność danych o środowisku geologicznym i rosnącą liczbę możliwych do wykorzystania źródeł danych wyniki analiz regionalnych powinny stanowić nieodłączny element projektowania geotechnicznego, już od najwcześniejszych jego etapów. Obecnie większość danych hydrogeologicznych i hydrologicznych jest udostępniona na tematycznych portalach internetowych i serwerach WMS (*Web Map Service*) lub można je uzy-



**Ryc. 2.** Zanik leja depresji kredowo-paleogeńskiego poziomu wodonośnego w wyniku zmiany sposobu użytkowania wód (patrz ryc. 1; na podstawie Łusiaka & Sokołowskiego, 2013)

**Fig. 2.** Reduction of depression cone in Cretaceous-Paleogene aquifer due to change in exploitation of waters (see Fig. 1; Łusiak & Sokołowski, 2013)



**Ryc. 3.** Zmiany położenia zwierciadła wody w ciągu 50 lat wyznaczone na podstawie analizy archiwalnych map hydroizohips wybranego rejonu (patrz ryc. 1; na podstawie danych Łusiaka & Sokołowskiego, 2013)

**Fig. 3.** Changes in groundwater level within 50 years on the basis of the archival hydrogeological maps of chosen region (see Fig. 1; data from Łusiak & Sokołowski, 2013)

skąć w instytucjach dysponujących tymi danymi. Przykładami ogólnodostępnych źródeł informacji mogą być mapy zagrożenia powodziowego opracowane w ramach systemu ISOK oraz bazy danych i mapy Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego, wśród których na szczególną uwagę zasługują: Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, mapa pierwszego poziomu wodonośnego (PPW), Mapa Obszarów Zagrożonych Podtopieniami w skali 1 : 50 000, baza danych hydrogeologicznych – Bank HYDRO, baza Monitoring Wód Pod-

ziemnych, Baza POBORY, a także Baza Danych Geologiczno-Inżynierskich (BDGI), zawierająca dane dotyczące ponad 250 000 otworów wiertniczych (wraz z wynikami pomiarów położenia zwierciadła wód podziemnych). Wymienione bazy i mapy obejmują dane zgromadzone w ciągu kilkudziesięciu lat. Na ich podstawie można z dużym prawdopodobieństwem oszacować tendencję w kształtowaniu się warunków hydrogeologicznych w rejonie projektowanej inwestycji, a tym samym zmniejszyć ryzyko wystąpienia nieprzewidzianych awarii.

## WPLYW POŁOŻENIA ZWIERCIADŁA WODY PODZIEMNEJ NA OCENĘ WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH PODŁOŻA

Głównym celem badań hydrogeologicznych na potrzeby oceny warunków geologiczno-inżynierskich podłoża gruntowego jest ocena i prognoza możliwego negatywnego wpływu wód podziemnych na planowaną inwestycję. Ocena taka obejmuje ustalenie położenia zwierciadła wody podziemnej, określenie parametrów filtracyjnych ośrodka gruntowego lub skalnego, kierunków spływu wód i agresywności wody w stosunku do materiałów budowlanych. Głębokość występowania zwierciadła wody podziemnej uwzględnia się w szczególności w różnego rodzaju obliczeniach numerycznych. Jego położenie wpływa np. na wielkość parcia słupa wody na konstrukcje oporowe czy też na wartość ciśnienia spływowego używaną w obliczeniach stateczności skarp i zboczy. Zmiany położenia zwierciadła wody w gruntach gruboziarnistych mogą powodować dodatkowe (często nierównomierne) osiadanie obiektów budowlanych (Dembicki i in., 1995; Buca & Sukowski, 2002), a znaczne obniżenie ciśnienia w głębszych warstwach wodonośnych może prowadzić do osiadania terenu na większym obszarze (Matyszkiewicz i in., 2010). W przypadku szczególnie niekorzystnych warunków (np. występowanie gruntu drobnoziarnistego i dużego spadku hydraulicznego) mogą wystąpić zjawiska skrajnie niebezpieczne dla stateczności budowli (deformacje filtracyjne). Niedokładne pomiary poziomów wodonośnych znajdujących się pod dużym ciśnieniem skutkują niedoszacowaniem położenia piezometrycznego poziomu wody, co stanowi bardzo duże zagrożenie dla inwestycji, ponieważ niewystarczające zrównoważenie ciśnienia wody powoduje wyparcie konstrukcji lub przebiecie hydrauliczne. Wyjątkowo niebezpieczne są przypadki występowania wód artezyjskich – ich wpływ w trakcie budowy często jest trudny do opanowania.

Wiarygodność wyników pomiarów głębokości występowania zwierciadła wód podziemnych nie jest związana wyłącznie z bezpieczeństwem budowli, skutecznością prac odwodnieniowych czy też z możliwością zanieczyszczenia wód podziemnych. Położenie zwierciadła pierwszego poziomu wód podziemnych determinuje np. kategorię geotechniczną obiektu. Według rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych przyjęcie pierwszej kategorii geotechnicznej jest możliwe wyłącznie wtedy, gdy poziom posadowienia znajduje się powyżej zwierciadła wody. Przy waloryzacji geologiczno-inżynierskiej położenie zwierciadła wody gruntowej jest także jednym z kryteriów oceny terenu. Najczęściej stosowane przedziały to: 0–1, 1–2, 2–5 i >5 m p.p.t.

W badaniach geologiczno-inżynierskich wykorzystuje się również wiele bezpośrednich, terenowych metod badania parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych podłoża (różnego typu sondowania). Część z tych metod wykorzystuje korelację wartości mierzonych bezpośrednio z wartościami parametrów geotechnicznych, czyli takich, jakie przyjmuje się w obliczeniach projektowych. Korelacje między wartościami pomierzonymi parametrów geotechnicznych a wartościami wyprowadzonymi są różne w zależności od położenia zwierciadła wód podziemnych, a we wzorach empirycznych wprowadza się dodatkowo poprawkę na wypór wody gruntowej.

Kolejnym przykładem wykorzystania wyników pomiarów położenia zwierciadła wód gruntowych może być ocena nośności podłoża (tab. 1) na potrzeby budowy inwestycji drogowych. W tym przypadku, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 maja 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, wymagane jest zaklasyfikowanie podłoża na poszczególnych odcin-

**Tab. 1.** Grupy nośności podłoża w zależności od warunków wodnych  
**Table 1.** Bearing capacity groups in dependence on groundwater conditions

Rodzaj gruntu <i>Soil type</i>	Grupa nośności podłoża $G_i$ w zależności od warunków wodnych <i>Bearing capacity groups <math>G_i</math> in dependence on groundwater conditions</i>		
	dobrze (woda >2 m p.p.t.) <i>good (water &gt;2 m a.g.l.)</i>	przeciętne (woda 1–2 m p.p.t.) <i>average (water 1–2 m a.g.l.)</i>	złe (woda <1 m p.p.t.) <i>bad (water &lt;1 m a.g.l.)</i>
Grunty niewysadzinowe: rumosze niegliniaste, żwiry i pospółki, piaski grubo-, średnio- i drobnoziarniste, żużle nierozpadowe <i>Negligibly frost-susceptible soils: non-cohesive rubbles, gravels, sand and gravel mixtures, coarse, medium and fine sands, slags</i>	G1	G1	G1
Grunty wątpliwe: piaski pylaste <i>Possibly frost-susceptible soils: silty sands</i>	G1	G2	G3
Grunty wątpliwe: zwietrzeliny gliniaste i rumosze gliniaste, żwiry i pospółki gliniaste <i>Possibly frost-susceptible soils: cohesive detritus and rubbles, cohesive gravels, sand and gravel mixtures</i>	G1	G2	G3
Grunty mało wysadzinowe w stanie zwartym, półzwartym lub twardoplastycznym: gliny zwięzłe, gliny piaszczyste i pylaste zwięzłe, ily, ily piaszczyste i pylaste <i>Slightly frost-susceptible soils, very stiff, stiff and firm: clays and silty clays with sands, silty clays, clays</i>	G2	G3	G4
Grunty bardzo wysadzinowe w stanie zwartym, półzwartym lub twardoplastycznym: piaski gliniaste, pyły piaszczyste, pyły, gliny, gliny piaszczyste i pylaste, ily warwowe <i>Highly frost-susceptible soils, very stiff, stiff and firm: clayey sands, sandy silts, silts, sandy and silty clays, varved clays</i>	G3	G4	G4
Utworki organiczne i antropogeniczne oraz grunty w stanie plastycznym <i>Organic, man-made and all soft soils</i>	grunty słabonośne lub grupa ustalana indywidualnie <i>soft soils or individually determined</i>		

kach drogi do odpowiednich grup nośności. Podstawą zakwalifikowania podłoża gruntowego drogi do danej grupy nośności – oprócz litologii – są warunki wodne, co sprawia, że podłoże gruntowe o niższej nośności musi zostać wzmocnione, żeby można było przypisać je do grupy nośności G1 (tab. 1). Wyjątki stanowią grunty organiczne i antropogeniczne, które niezależnie od warunków wodnych są zaliczane do gruntów słabonośnych lub których grupę ustala się indywidualnie.

W przypadku piasków warunki wodne nie mają wpływu na grupę nośności, ponieważ bez względu na warunki zawsze będą one zaliczane do grupy G1. Jeżeli jednak w podłożu gruntowym drogi występują gliny zwięzłe i ility, to przy dobrych warunkach wodnych (jeśli zwierciadło wody występuje na głębokości większej niż 2 m od poziomu niwelety) podłoże zostanie zaliczone do grupy G2, natomiast w złych (woda na głębokości mniejszej niż 1 m od poziomu niwelety) – do grupy G4. W zależności od grupy nośności gruntu należy wykonać inne zabiegi wzmocniające, żeby osiągnąć wystarczającą nośność podłoża (np. zastosowanie geosyntetyków lub wymiana warstwy gruntu). Dla gruntów zaliczonych do grupy nośności G4 miąższość warstwy, którą należy wymienić, jest dwukrotnie większa niż w przypadku gruntów z grupy G2, co w znaczny sposób wpływa na oszacowanie kosztów budowy drogi.

#### PODSUMOWANIE

Posadowienie obiektów budowlanych poniżej lub tuż powyżej zwierciadła wód podziemnych powinno być poprzedzone dokładną analizą hydrogeologiczną, a przy dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim nie powinno się określać warunków hydrogeologicznych wyłącznie na podstawie jednorazowych pomiarów wykonanych w trakcie wiercenia otworów geologiczno-inżynierskich. Szczególną uwagę należy zwrócić na obszary wrażliwe na stany powodziowe oraz na warstwy wodonośne o charakterze artezyjskim. Doświadczenia ostatnich lat – przejawiające się wzrostem zapotrzebowania na ekspertyzy hydrogeologiczne w związku z wystąpieniem nagłych awarii obiektów budowlanych (np. zalania, podsiąkanie wilgoci, awarie wykopów budowlanych) – pokazują, że bez przeprowadzenia pełnej analizy zmian warunków hydrogeologicznych w czasie znacznie wzrasta ryzyko wystąpienia nieprzewidzianych zdarzeń podczas budowy i eksploatacji obiektu budowlanego. Dokumentowanie warunków hydrogeologicznych na potrzeby oceny warunków geologiczno-inżynierskich do projektowania obiektów budowlanych powinno obejmować zarówno instalację tymczasowej sieci otworów obserwacyjnych (w prostych przypadkach choćby w posta-

ci zwykłej perforowanej rurki PVC umieszczonej w otworze i zabezpieczonej przed czynnikami zewnętrznymi), w których będzie dokonywana obserwacja sezonowych zmian położenia zwierciadła wody, jak i analizę regionalną lub lokalną w ujęciu szerszym niż granice działki. Obserwacje hydrogeologiczne należy rozpocząć na początku realizacji inwestycji, aby w etapie projektowania dysponować wiarygodnym zbiorem danych hydrogeologicznych, który umożliwi ocenę głębokości występowania pierwszego poziomu wód podziemnych, amplitudy wahań i maksymalnego położenia poziomu zwierciadła wód zgodnie z wymaganiami podanymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 8 maja 2014 w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz w Eurokodzie 7.

#### LITERATURA

- BAŻYŃSKI J., DRAGOWSKI A., FRANKOWSKI Z., KACZYŃSKI R., RYBICKI S. & WYSOKIŃSKI L. 1999 – Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BUCA B. & SUKOWSKI T. 2002 – Geotechniczne aspekty zmiany poziomu zwierciadła wody gruntowej na terenie Gdańska. Inż. Mor. Geotech., 5: 275–277.
- DEMBICKI E., BOLT A. WESOŁOWSKI H. & HORODECKI G. 1995 – Długookresowe obserwacje zachowania się budynków posadowionych na gruntach aluwialnych. [W:] Wysokiński L. (red.), 50 lat geotechniki w ITB. 50-lecie Instytutu Techniki Budowlanej. ITB, Warszawa: 149–165.
- DOJCZ P. & TROĆ M. 2008 – Rola stanu wód gruntowych w badaniach geotechnicznych. Inż. Budown. 11/2008: 631–633.
- PN-EN 1997-1:2008 – Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Cz. 1. Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2:2009 – Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Cz. 2. Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- ŁUSIAK R. & SOKOŁOWSKI J. 2013 – Analiza regionalna warunków hydrogeologicznych w rejonie budowy „Galeria Zamek” w Lublinie. Państw. Inst. Geol. – PIB, Lublin–Warszawa.
- MATYSZKIEWICZ J., KACZMARCZYK R. & KOCHMAN A. 2010 – Czy kompresja osadów cenomańskich powoduje artezyjskie wypływy wód siarczkowych? [W:] Lisik R. (red.), Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju. Wyd. XYZ, Kielce: 119–124.
- MICHALCZYK Z. (red.) 2012 – Ocena warunków występowania wody i tworzenia się splotu powierzchniowego w Lublinie. Wyd. UMC, Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 8 maja 2014 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2014, poz. 596).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012, poz. 463).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 maja 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 43, poz. 430, z późn. zm.).
- TRACZYŃSKI K. & GRELA M. 2011 – Wpływ zmian poziomu wód gruntowych wywołanych powodziowym stanem Wisły na warunki zabudowy w rejonie Warszawy. Biul. Państw. Inst. Geol., 446/2: 493–498.