

MODEL NUMERYCZNY WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH JAKO NARZĘDZIE WERYFIKACJI ZAŁOŻEŃ PROJEKTOWYCH SYSTEMU ODWODNIEŃ

A NUMERICAL MODEL OF HYDROGEOLOGICAL REGIME AS A VERIFICATION MEASURE OF PROJECT ASSUMPTIONS

FILIP BUJAKOWSKI¹, TOMASZ FALKOWSKI¹, GRZEGORZ WIERZBICKI¹

Abstrakt. Jednym z obiektów wznoszonego w Gminie Osieck zespołu rekreacyjno-wypoczynkowego jest budynek hotelu zlokalizowany w strefie skarpy wysoczyzny plejstoceniowej na granicy ze zwydmionym tarasem nadzalewowym doliny Wisły. Fundament budynku, którego bryła przegradza suchą dolinkę erozyjną, będzie posadowiony głęboko w obrębie utworów zastoiskowych. Taka lokalizacja obiektu narzuca konieczność wykonania odpowiedniego systemu odwadniania odprowadzającego zarówno wody powierzchniowe, jak i wody wsiąkowe występujące w piaszczystych i pylastych przewarstwieniach serii utworów zastoiskowych. Dla określenia wymagań jakim powinien sprostać system odwodnienia inwestycji zbudowano model numeryczny analizowanej strefy. W jego konstrukcji wykorzystano programy z biblioteki Visual MODFLOW. Wyniki modelowania wykorzystane zostały do weryfikacji założeń projektowych oraz do konstrukcji systemu odwodnienia czasowego i stałego. Model numeryczny posłużył także do określenia wpływu inwestycji na warunki hydrogeologiczne analizowanej strefy, znajdującej się w obrębie otuliny Mazowieckiego Parku Krajobrazowego.

Słowa kluczowe: modelowanie numeryczne, odwodniania budowlane, system drenażowy.

Abstract. A hotel building will be one of the objects of a recreation complex in Osieck Commune, currently being under construction. It will be located on a slope of the Pleistocene plateau at the boundary with an over-flood terrace with dunes in the Vistula valley. The foundations of the building located in a small erosion valley, will be situated deep in ice-marginal formations. Such location of the object implies the necessity of a proper drainage system to be installed. It would drain both surface and percolation water that occurs in sandy and silty layers of ice-marginal formations. To determine the requirements of the investment's draining system, a numerical model of the zone was designed. The Visual MODFLOW software was utilised for its construction. Modelling results were used to verify the project assumptions and to construct a temporary and permanent drainage system. The numerical model was used in order to determine the influence of the investment on the hydrogeological conditions of the zone, located in the Masovian Landscape Park.

Key words: numerical modelling, drainage in construction, drainage system.

WSTĘP

Postęp technologiczny w budownictwie doprowadził do sytuacji, w której podstawowym kryterium wyboru lokalizacji inwestycji często nie są optymalne warunki gruntowo-wodne obszaru, ale wizja urbanistyczna. Obiekty budowlane muszą jednak funkcjonować w określonych warunkach geo-

logiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych. Identyfikacja takich warunków jest niezbędna do opracowania rozwiązań konstrukcyjnych umożliwiających ich niezakłócone wzniesienie i użytkowanie. W pracy przedstawiono wyniki badań hydrogeologicznych, których celem było określenie warun-

¹ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Katedra Geoinżynierii, ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa;
e-mail: filip_bujakowski@sggw.pl, tomasz_falkowski@sggw.pl, grzegorz_wierzbicki@sggw.pl

ków hydrogeologicznych strefy lokalizacji obiektu hotelowego, wchodzącego w skład zespołu rekreacyjno-wypoczynkowego wznoszonego w Osiecku koło Otwocka (fig. 1).

Budynek hotelu o całkowitej powierzchni zabudowy równej 2479,31 m² został zaprojektowany w strefie skarpy wysoczyzny morenowej, na granicy z tarasem nadzalewowym doliny Wisły. Bryła hotelu przegradza dolinkę erozyjną, której zlewnia ma powierzchnię 12,33 ha. Warunki infiltracji wód opadowych są ograniczone, gdyż cała analizowana strefa jest zbudowana z utworów zastoiskowych – warstwowych glin, glin pylastych, pyłów i drobnych piasków przy-

krytych warstwą gliniastych deluwiiów i koluwiów. Charakter rzeźby terenu, a także litologia utworów powierzchniowych stwarzają niebezpieczeństwo zalania wykopu fundamentowego, nie tylko w przypadku wystąpienia nawalnego deszczu. Zagrożenie dla budynku na etapie jego wznoszenia i eksploatacji stanowi także dopływ wód podziemnych. Występują one w profilu utworów zastoiskowych powyżej rzędnej stopy fundamentu. Są to wody wsiąkowe. Ich przepływ odbywa się głównie w obrębie pylastych i piaszczystych lamin występujących w obrębie serii zastoiskowej.

BUDOWA GEOLOGICZNA I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Według podziału fizycznogeograficznego Polski (Kondracki, 2002) analizowany obszar wchodzi w skład prowincji Niziny Środkowoeuropejskiej, makroregionu Niziny Środkowomazowieckiej, mezoregionu Doliny Środkowej Wisły. Teren badań jest zlokalizowany w strefie skarpy wysoczyzny (fig. 2). Jej powierzchnia przeobrażona jest przez procesy zboczowe. Strefę przypowierzchniową tworzą w przewadze utwory koluwalne, które dodatkowo zostały rozcięte w wyniku erozji okresowego cieku. Wysokość przeobrażonej skarpy wynosi około 15 m. Spadek terenu w osi obniżenia dochodzi do 10%.

Podłoże utworów czwartorzędowych na analizowanym obszarze stanowią neogeńskie „iły pstre” (pliocen). Ich strop jest zaburzony glacitektonicznie (Sarnacka, 1992). Znajdujący się ponad utworami pliocenu kompleks osadów czwartorzędowych tworzą preglacjalne osady rzeczne (piaski i żwi-

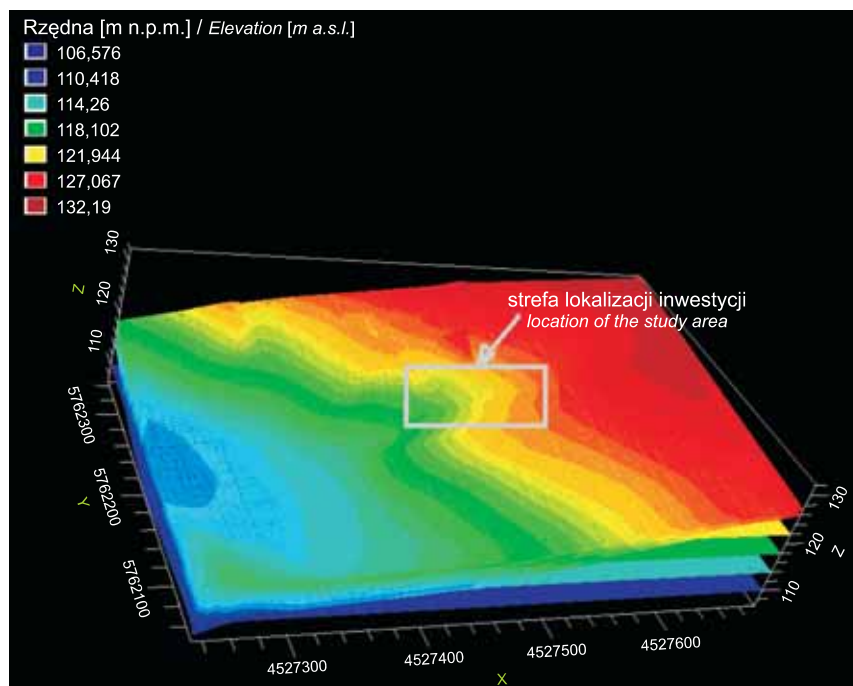
ry), osady fluwioglacjalne (piaski i żwiry), zastoiskowe (piaski drobne, pyły i ły) i morenowe (gliny zwałowe) czterech zlodowaceń oraz rozdzielające je rzeczne i jeziorne osady trzech interglacjałów. Układ warstw jest wynikiem różnicowania środowisk depozycji związanego z rytmem zmian klimatycznych w czwartorzędzie, a także z procesami erozji i zaburzeniem układu warstw w wyniku zjawisk glacitektonicznych. Zaburzeniami glacitektonicznymi są objęte także utwory neogenu (piaski i mułki z wkładkami węgla brunatnego miocenu oraz ły i pyły pliocenu) (Sarnacka, 1992). Powierzchnia wysoczyzny w analizowanym rejonie jest przykryta warstwą eluwialną i residuami glin zwałowych. Osady interglacjału eemskiego występują w dolinie Wisły. Tworzą warstwę leżącą bezpośrednio na powierzchni cokołu erozyjnego doliny. Osady te, piaski i żwiry rzeczne, mają miąższość od około 2 do ponad 13 m. Powyżej występują piaski rzeczne,



Fig. 1. Lokalizacja terenu inwestycji

Location of the study area

Fig. 2. Model numeryczny powierzchni terenu badań
DEM (Digital Elevation Model)
of the study area



które tworzą uformowany w czasie zlodowacenia bałtyckiego (zlodowacenia wisły) taras nadzalewowy wyższy. Forma ta sąsiaduje ze strefą skarpy wysoczyzny w rejonie planowanej inwestycji (Złotoszewska-Niedziałek i in., 2012).

Czwartorzędowe piętro wodonośne w rejonie Osiecka jest reprezentowane przez dwie jednostki hydrogeologiczne, różniące się genezą, rozprzestrzenieniem i litologią utworów wodonośnych – obszar wysoczyzny i obszar doliny Wisły (fig. 3). Na wysoczyźnie użytkowy poziom wodonośny występuje w obrębie serii osadów glacialnych. Są to piaski drobno- i średnioziarniste ze żwirami oraz piaski pyłaste o miąższości nieprzekraczającej 15 m. Zwierciadło wód pod-

ziemnych stabilizuje się na wysokości około 110 m n.p.m. (rzędne powierzchni skarpy mieszczą się w przedziale od 127 do 112 m n.p.m.). Uśredniony współczynnik filtracji utworów tej warstwy wodonośnej wynosi 14 m/d. Czwartorzędowy użytkowy poziom wodonośny w dolinie Wisły tworzą piaski i żwiry rzeczne. Miąższość utworów wodonośnych wynosi tu około 20 m. Zwierciadło wody ma charakter swobodny i leży na głębokości <5 m. Uśredniony współczynnik filtracji serii aluwiiwów plejstocenijskich Wisły wynosi 35 m/d (Włostowski, 1998). Utwory wodonośne okolic Osiecka są zasilane bezpośrednio poprzez infiltrację opadów atmosferycznych (Włostowski, 1998).

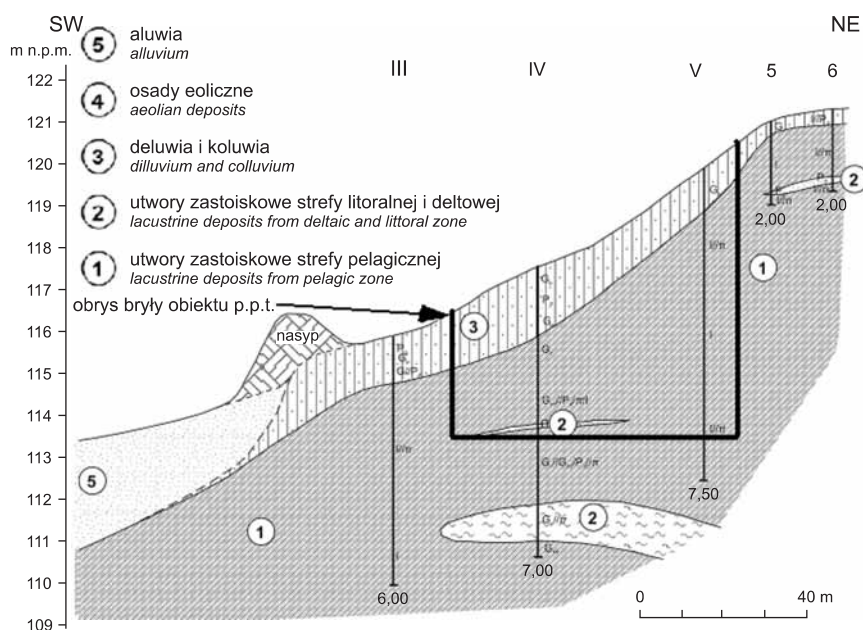


Fig. 3. Schematyczny przekrój geologiczny w linii osi dolinki cieku okresowego

Geological cross-section through
the hillslope gully

CEL I ZAKRES BADAŃ

Głównym celem przeprowadzonych badań i obliczeń była weryfikacja ilościowa i jakościowa z zastosowaniem modelu numerycznego wartości dopływów wód podziemnych do strefy lokalizacji obiektu budowlanego, uzyskanych za pomocą stosowanych tradycyjnie w praktyce projektowania odwodnień budowlanych metod, opartych na wzorach empirycznych. Celem badań było także określenie możliwości za-

stosowania modelu numerycznego do wyznaczania wielkości odpływu podziemnego serii drobnowarstwowych utworów zastoiskowych występujących w strefie nienasyconej. W ramach prac podjęto także próbę określenia wpływu „zdepresjonowania” zwierciadła wód gruntowych w związku z funkcjonowaniem projektowanego odwodnienia na warunki uwilgotnienia strefy przypowierzchniowej.

MATERIAŁY I METODY

W celu szczegółowego rozpoznania budowy geologicznej w rejonie planowanej inwestycji wykonano osiem wierceń do głębokości maks. 8,5 m oraz siedem płytkich sond do głębokości 2 m (fig. 4).

W trakcie wierceń prowadzono analizę makroskopową przewierczanych gruntów. Dodatkowo co 1 m, lub z każdej kolejnej warstwy, zostały pobrane próbki gruntu do badań laboratoryjnych. Badania laboratoryjne objęły oznaczenie składu ziarnowego gruntów, określenie granic płynności gruntów w profilu litologicznym, a także oznaczenia ich wodoprzepuszczalności. Szczegółowa analiza makroskopowa oraz analizy granulometryczne umożliwiły rozdzielenie serii drobnolaminowanych utworów zastoiskowych od warstwy

pokrywających je utworów zboczowych (deluwiiów i koluwiów), również drobnolaminowanych.

Opracowano przekroje geologiczne, które pozwoliły na budowę cyfrowego modelu analizowanej strefy.

Dodatkowo laboratoryjne oznaczenia współczynnika filtracji gruntów umożliwiły ocenę charakteru przepuszczalności osadów budujących skarpe wysoczyzny. W czterech wykonanych otworach zlokalizowanych w osi obniżenia, powyżej projektowanego hotelu, zostały zainstalowane piezometry, które umożliwiły prowadzenie obserwacji położenia zwierciadła wody. Ponadto pobrano próbki wody gruntowej do badań hydrochemicznych.

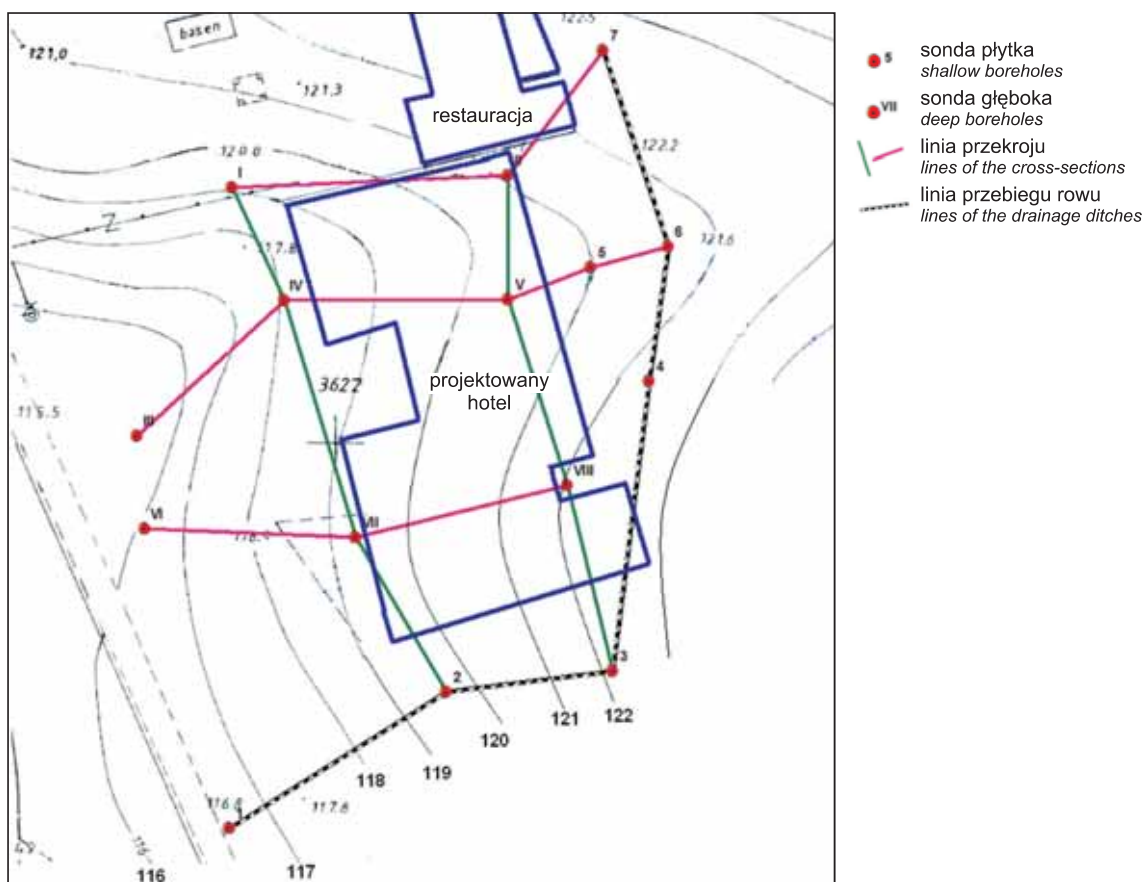


Fig. 4. Mapa dokumentacyjna wykonanych wierceń i sondowań

Map of the boreholes drilled in the study area

SCHEMAT OBLICZENIOWY

Model koncepcyjny systemu hydrogeologicznego został stworzony na podstawie analizy materiałów archiwalnych, badań terenowych oraz laboratoryjnych. W wyniku szczegółowego rozpoznania warunków geologicznych i hydrogeologicznych na omawianym terenie nie stwierdzono występowania jednolitej warstwy wodonośnej do głębokości 8,5 m. Wody gruntowe są związane z sączeniami pojawiającymi się w osadach budujących skarpe wysoczyzny. Strefa krawędziowa wysoczyzny w rejonie projektowanego hotelu zbudowana jest głównie z gruntów spoistych takich jak gliny, piaski pylaste, pyły piaszczyste oraz ły. W obrębie tych słabo przepuszczalnych osadów udokumentowano także przewarstwienia utworów piaszczystych w postaci piasków gliniastych i piasków drobnoziarnistych. Powierzchnia wysoczyzny na analizowanym obszarze jest przykryta osadami przemieszczonymi po zboczu – koluwiami i deluwiami. Ze względu na różnorodność osadów budujących skarpe wysoczyzny, na potrzeby modelowania wydzielono sześć warstw. Poszczególne nieciągłe przewarstwienia osadów piaszczystych potraktowano jako warstwy ciągłe celem pogorszenia warunków geologicznych w rejonie projektowanej inwestycji. Wspomniane wyżej, nieciągłe przewarstwienia piaszczyste nie stanowią typowej, zwartej warstwy wodonośnej, tylko są kolektorem dla wód wsiąkowych. Ich miąższość uśredniono, a ich kształt uproszczono. Poszczególne warstwy tworzące bryłę modelu ograniczono od góry i dołu równoległymi płaszczyznami. Warunki naturalne odwzorowano poprzez zróżnicowanie współczynnika filtracji w obrębie poszczególnych warstw. Parametry filtracyjne gruntów uzyskano na podstawie badań laboratoryjnych.

Do badań modelowych wytypowano taki obszar, którego naturalne granice hydrodynamiczne, za pośrednictwem warunków brzegowych, pozwolą na odwzorowanie relacji wydzielonego systemu z otoczeniem. Za obszar badań modelowych przyjęto zlewnię powierzchniową okresowego cieku

zlokalizowanego w centralnej części terenu badań, przy założeniu pokrywania się zlewni wód powierzchniowych ze zlewnią wód podziemnych. Bazę drenażową wód gruntowych w rejonie projektowanego hotelu stanowi okresowy ciek. Odpływ wód z omawianego obszaru odbywa się w kierunku zachodnim. Dla tak zdefiniowanych warunków geologicznych i hydrogeologicznych przyjęto następujące, szczegółowe założenia modelowe: modelowaniu podlega ruch ustalony, natężenie zasilania infiltracyjnego oraz wartość przewodnictwa wodnego są stałe w czasie, w obrębie pojedynczego bloku obliczeniowego zakłada się jednorodność i izotropowość wydzielonych warstw, rozkład parametrów przestrzennych modelu oraz niejednorodność warstw uwzględnia się poprzez zróżnicowanie parametrów wewnątrz sieci dyskretyzacyjnej. Na obszarze badań dyskretne odwzorowanie przestrzeni modelu koncepcyjnego w płaszczyźnie poziomej (XY) dokonano za pomocą nieregularnej siatki prostokątnej. Siatka dyskretyzacyjna obszaru wyznaczonego do badań modelowych składa się z 50 kolumn oraz 70 wierszy. Krok siatki obliczeniowej jest zmienny, od $X = 23$ m i $Y = 15$ m w rejonie peryferyjnym modelu, do $X = 4$ m i $Y = 3$ m na obszarze projektowanego hotelu. Dyskretyzacja przestrzeni wzdłuż osi pionowej Z odbywa się najczęściej w celu uwzględnienia niejednorodności warstwy, poprzez jej podział na podwarstwy o różnych parametrach filtracyjnych. W przypadku modelowanego obszaru zastosowano schemat sześciowarstwowy. Strop pierwszej warstwy równy jest rzędnej terenu. Rzeźba terenu na potrzeby modelu pozyskana została z zasobów GIS Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w postaci Numerycznego Modelu Terenu. Strop kolejnej warstwy (odzwierciedlającej deluwia) odwzorowano współkształtnie do powierzchni terenu. Strop/spąg pozostałych wydzielonych warstw nie został zróżnicowany – w ramach schematyzacji przyjęto poziome zaleganie poszczególnych wydzieleni.

WYNIKI BADAŃ MODELOWYCH

WARUNKI NATURALNE

Skalibrowany i zweryfikowany model stał się podstawą do wykonania obliczeń bilansowych oraz pozwolił określić zależność między wodami podziemnymi a wodami powierzchniowymi na terenie badań. W efekcie przeprowadzonego tarowania odtworzono stan hydrodynamiczny na obszarze badań na głębokości 1 m poniżej poziomu posadowienia płyty fundamentowej (fig. 5).

Zgodnie z wynikami badań modelowych zasoby wód podziemnych są kształtowane głównie przez infiltrację opadów atmosferycznych. Wielkość zasilania infiltracyjnego modelowanego terenu wynosi około $6,7 \text{ m}^3/\text{d}$, co stanowi ponad

94% całkowitego zasilania. W mniejszym stopniu (6% całkowitego zasilania) zasilanie wód gruntowych w rejonie badań odbywa się poprzez dopływ wód do wschodniej granicy. Zasilanie infiltracyjne oraz pozostałe elementy składowe przychodów w bilansie przepływu równoważone są w głównej mierze poprzez odpływ do cieku okresowego oraz odpływ poprzez granice modelowanego obszaru. Wielkość drenażu rzecznoego wynosi około $6,1 \text{ m}^3/\text{d}$, co stanowi 86% całkowitego odpływu (tab. 1). Tak wysoki udział procentowy świadczy o ogromnej zależności oraz znaczącej roli wód powierzchniowych w krążeniu wód podziemnych na omawianym terenie.

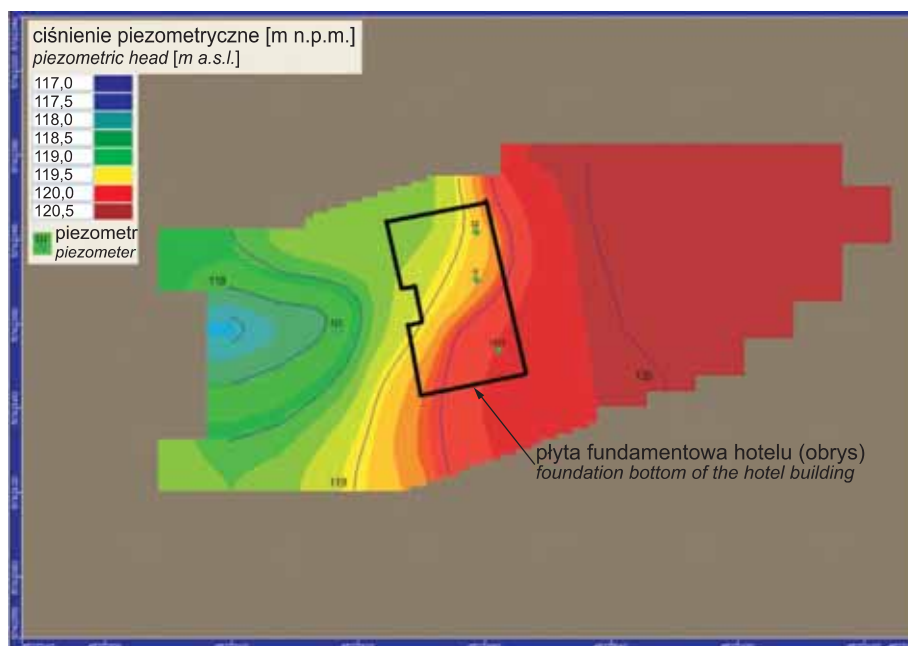


Fig. 5. Obraz hydrodynamiczny w poziomie posadowienia płyty fundamentowej w warunkach naturalnych

Piezometric head on the level of the foundation bottom under natural conditions

Porównanie wielkości dopływu oraz odpływu wody z systemu stanowi ponadto kryterium poprawności rozwiązania układu równań różnicowych. W przypadku, gdy obie wartości są sobie równe, bądź zbliżone, stworzony model można uznać za poprawny. Możliwe jest także obliczenie procentowego błędu bilansu z zależności (Małecki i in., 2006):

$$D = \frac{100 (IN - OUT)}{\frac{IN + OUT}{2}}$$

gdzie:

IN – całkowity dopływ do systemu,
OUT – całkowity odpływ z systemu.

Oszacowany błąd bilansu wodnego obliczonego przy użyciu programu MODFLOW jest niewielki i wyniósł 0,03%, co wskazuje, że otrzymane rozwiązanie układu równań nie jest obciążone błędem, wynikającym z procedury iteracyjnej. Wykonany model matematyczny jest obiektem uproszczonym w stosunku do obiektu rzeczywistego, jakim jest modelowany system wodonośny. Z tego względu wyniki symulacji modelowych obciążone są niedokładnością, toteż uzyskane wielkości składowych zasilania i drenażu wód podziemnych należy traktować jako wartości przybliżone oraz orientacyjne. Owa niedokładność spowodowana jest głównie niezbędną schematyzacją warunków geologicznych i hydrogeologicznych.

SYMULACJA SYSTEMU DRENAŻOWEGO

Odzwierciedlenie na modelu naturalnych warunków hydrogeologicznych występujących na omawianym obszarze wykorzystane zostało do symulacji proponowanego rozwiązania systemu odwodnienia wykopu fundamentowego. Dzięki badaniom modelowym oszacowano ilość wody, jaką należy odprowadzić, aby zapewnić stabilność wykopu fundamentowego w czasie wznoszenia obiektu, a także wymagane stosunki wodne w czasie jego użytkowania. Zarówno wody opadowe, jak i podziemne powodują uplastycznienie gruntów spoistych i pogarszają warunki geotechniczne gruntów podłoża. W konsekwencji skarpy, zbocza i stoki obciążone budowlami są mniej stateczne i w skrajnych przypadkach mogą ulec przemieszczeniu i spowodować zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji budowli (Matusiewicz, 2011).

Tabela 1

Bilans krążenia wód podziemnych na obszarze badań w warunkach naturalnych

Groundwater balance in the study area under the natural conditions

Przychody [m ³ /d]		Rozchody [m ³ /d]	
Infiltracja efektywna	6,7056	drenaż rzeczny	6,0855
Dopływ do wschodniej granicy terenu	0,38167	odpływ poza obszar badań	1,004
Suma	7,0873	suma	7,0895
Różnica = 0,0022 m ³ /d			

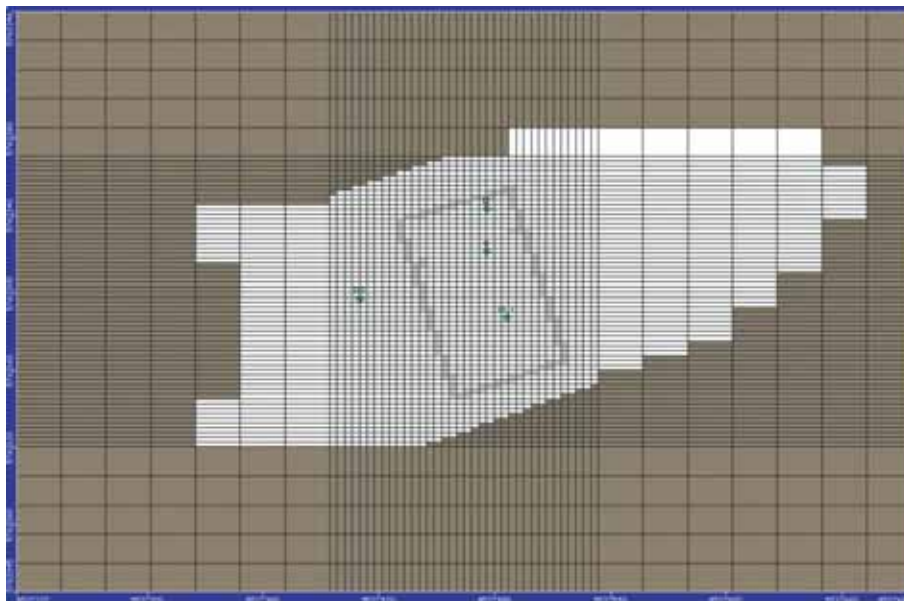


Fig. 6. Warunek brzegowy III rodzaju (typu *drain*) symulujący pracę systemu drenażowego

A boundary condition of the 3rd type (drain type) for simulated operation of the drainage system

W toku prac nad projektem odwodnienia budynku hotelowego zdecydowano o zastosowaniu systemu odwodnienia w postaci drenażu pierścieniowego zewnętrznego. Wody drenażowe odprowadzone zostaną do zbiornika infiltracyjnego zlokalizowanego w dolinie Wisły, na zachód od terenu inwestycji. W schemacie obliczeniowym system odwodnienia odwzorowany został przy pomocy warunku brzegowego III rodzaju typu *drain*. W związku z tym, że drenaże zostaną zainstalowane wokół fundamentów projektowanego hotelu, w ten sam sposób odzwierciedlono je w modelu w postaci warunku brzegowego (fig. 6). Warunek ten zadany został we wszystkich wydzielonych warstwach. Zakładał wymaganą rzędną obniżenia zwierciadła wody 114 m n.p.m., czyli 1 m poniżej projektowanego posadowienia płyty fundamentowej.

W wyniku symulacji na modelu projektowanego systemu odwodnienia budynku hotelowego otrzymano obraz warunków hydrodynamicznych w poszczególnych warstwach. Osiągnięcie założonego celu, tzn. obniżenie zwierciadła wody gruntowej 1 m poniżej poziomu posadowienia fundamentu budynku hotelowego, nastąpi przy odprowadzaniu wód z omawianego terenu z wydajnością równą 6,596 m³/d w warunkach wód jesiennie-zimowych oraz 11,891 m³/d w warunkach wód wiosennych roztopowych i letnich nawałnych (fig. 7, tab. 2).

Rozpoczęcie robót ziemnych związanych z realizacją inwestycji planowane jest na kwiecień 2012 roku. Autorzy modelu w celu weryfikacji uzyskanych wyników prowadzić będą nadzór geotechniczny w trakcie wykonywania wykupu fundamentowego. Ponadto planowane jest prowadzenie pomiarów wydatków systemu drenażowego za pomocą przele-

wów trójkątnych, umieszczonych przy wylocie kanałów doprowadzających wody do zbiornika infiltracyjnego. Badania prowadzone będą w warunkach wód jesiennie-zimowych oraz wód wiosennych roztopowych i letnich nawałnych; mają one umożliwić weryfikację danych uzyskanych na podstawie obliczeń numerycznych.

Z metodologicznego punktu widzenia największa niepewność proponowanego rozwiązania dotyczy prawidłowego określenia relacji modelowanego obszaru z otoczeniem za pomocą warunków brzegowych. W niektórych przypadkach przyjęcie założenia, że zlewnia wód podziemnych pokrywa się ze zlewnią wód powierzchniowych i odwzorowanie

Tabela 2

Bilans krążenia wód podziemnych w trakcie odwodnienia w warunkach wód wiosennych roztopowych i letnich nawałnych

Groundwater balance in the study area under the condition with an operating drainage system and high inflow (during thaw or torrential rain)

Przychody [m ³ /d]		Rozchody [m ³ /d]	
Infiltracja efektywna	6,597	drenaż (system odwodnieniowy)	11,891
Dopływ do wschodniej granicy terenu	5,269	odpływ poza obszar badań	0,21837
Suma	11,866	suma	12,11
Różnica = 0,244 m ³ /d			

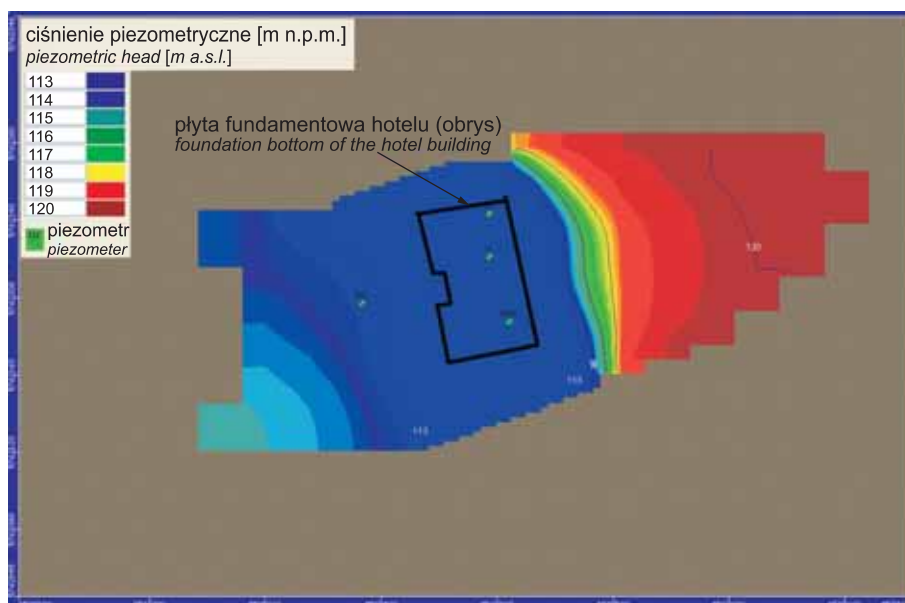


Fig. 7. Obraz hydrodynamiczny uzyskany w wyniku odwodnienia w poziomie posadowienia płyty fundamentowej

Piezometric head at the level of the foundation bottom for a simulated operating drainage system

jej warunkiem III rodzaju może okazać się błędne. W celu zwiększenia pewności uzyskiwanych rozwiązań pomocne wydaje się konstruowanie modeli o bardziej regionalnym

charakterze, w których granice modelowanego pola odsunięte są na znaczne odległości od głównego obiektu badań (Gruszczyński, Małecki, 2010).

PODSUMOWANIE I DYSKUSJA

Ze względu na ograniczenia programowe oraz schematyzację warunków geologicznych i hydrogeologicznych rejonu planowanej inwestycji wyniki badań modelowych zostały potraktowane jedynie jako pomoc i wskazówka przy projektowaniu systemu odwodnienia. Zaznaczyć należy, że modelowanie dotyczy strefy aeracji, a modelowane są sączenia wód gruntowych. W konstrukcji modelu przyjęto, że przepuszczalne przeławicenia w obrębie warstwowanej (laminowanej) serii utworów zastoiskowych budujących strefę skarpy są całkowicie wypełnione wodą i przepływ w ich obrębie spełnia warunki przyjętej metody. Zastosowanie takiego zabiegu zapewni bezpieczne funkcjonowanie obiektu w skrajnie niekorzystnych warunkach. Kalibracja przepustowości systemu drenażowego, z wykorzystaniem danych

uzyskanych z modelu przygotowanego w ten sposób, zapewni jego wystarczającą wydajność nawet w okresach drastycznie zwiększonej sumy opadów, kiedy to na skutek infiltracji efektywnej wszystkie przewarstwienia piaszczyste zostaną wypełnione wodą. Proponowana metoda oceny dopływu wód podziemnych do wykopów fundamentowych z uwagi na wysoką niepewność nie może być stosowana zamiennie z klasycznymi obliczeniami. Stanowi natomiast znakomitą podstawę do wariantowania systemów odwodnienia w skomplikowanych warunkach gruntowo-wodnych, w których określenie zasięgu wywołanej pracą instalacji drenażowej depresji klasycznymi metodami byłoby trudne lub wręcz niemożliwe.

LITERATURA

- GRUSZCZYŃSKI T., MAŁECKI J.J., 2010 — Identyfikacja systemu krążenia wód w artezyjskim poziomie wodonośnym na obszarze zlewni Krynki (Wysoczyzna Białostocka) na podstawie regionalnego modelu pola filtracji. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **442**: 49–60.
- KONDRACKI J., 2002 — Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KRÓL P. i inni, 2012 — Projekt wykonawczy czasowe i trwałe odwodnienie kompleksu hotelowego z uwzględnieniem odwodnienia dachu restauracji na działkach 3622 oraz 3579 w Osiecku. Arch. Katedry Geoinżynierii SGGW, Warszawa.
- MAŁECKI J., NAWALANY M., WITCZAK S., GRUSZCZYŃSKI T., 2006 — Wyznaczanie parametrów migracji zanieczyszczeń w ośrodku porowatym dla potrzeb badań hydrogeologicznych i ochrony środowiska. Poradnik metodyczny. Min. Środ., Warszawa.
- MATUSIEWICZ W. i inni, 2011 — Odwodnienie budowli (kościół i dom parafialny, na ul. Kokosowej i Orszady w Warszawie) posadowionej na gruntach spoiстых w rejonie skarpy wiślanej. Arch. Katedry Geoinżynierii SGGW, Warszawa.
- SARNACKA Z., 1992 — Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **138**.
- WŁOSTOWSKI J., 1998 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Osieck. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ZŁOTOSZEWSKA-NIEDZIAŁEK H. i inni, 2012 — Dokumentacja hydrogeologiczna na potrzeby Projektu odwodnienia wykopu fundamentowego pod budynek hotelowy oraz samego budynku hotelowego wchodzącego w skład zespołu rekreacyjno-wypoczynkowego w Osiecku. Arch. Katedry Geoinżynierii SGGW, Warszawa.

SUMMARY

The paper presents the results of numerical modelling of groundwater regime in the construction site with a drainage system located in the slope of the Vistula valley, 40 km upstream from Warsaw (Poland). The topography of the study area is very difficult for drainage engineering, since the construction site is located at the bottom of a hillslope gully.

The Visual MODFLOW software has been used for modelling. The model aimed at verifying a design of drainage system – its development at the construction phase and its impact on groundwater conditions in the surrounding area.

