

MODEL PRZEPŁYWU WÓD PODZIEMNYCH W REJONIE TUNELU POD MARTWĄ WISŁĄ

GROUNDWATER FLOW MODEL OF DEAD VISTULA RIVER TUNNEL

BEATA JAWORSKA-SZULC¹

Abstrakt. Badania modelowe zostały wykonane w celu określenia wpływu wód podziemnych na tunel drążony w obrębie plejstoceno-holocenońskiej warstwy wodonośnej. Z drugiej strony, ważne było ustalenie wpływu tunelu na układ ciśnień, warunki przepływu i zasoby czwartorzędowego piętra wodonośnego w sąsiedztwie inwestycji. Do badań modelowych wydzielono obszar o powierzchni 14,8 km², schematyzację warunków występowania wód podziemnych wykonano na podstawie danych z 223 otworów hydrogeologicznych oraz geologiczno-inżynierskich. W obrębie plejstoceno-holocenońskiego poziomu wodonośnego występują liczne przewarstwienia mułków, namulów i iłłów, dlatego został on podzielony na modelu na 6 warstw, trzy przepuszczalne i trzy słaboprzepuszczalne. Wyniki obliczeń pokazują, że tunel w bardzo niewielkim stopniu wpływa na przepływ wód podziemnych. W bilansie przepływu wód nie zaznaczają się żadne zmiany po wprowadzeniu tunelu. W warstwach wodonośnych, przez które przechodzi tunel obserwuje się niewielkie wygięcie hydroizohips (zmiana położenia zwierciadła wody w zakresie od 0,5 do 3,0 cm). Zastosowanie metody TBM i budowa tunelu bez odwodnień sprawia, że nie ma zagrożeń ilościowych dla zasobów wód podziemnych piętra czwartorzędowego w sąsiedztwie inwestycji.

Słowa kluczowe: modelowanie przepływu wód podziemnych, tunel, Wisła.

Abstract. Model research were made to determine the groundwater impact on the hollow tunnel in Pleistocene-Holocene aquifer. On the other hand it was important to determine the effect of the tunnel on the watertable level, flow conditions and resources of the Quaternary aquifer in the vicinity of the investment. The model studies area was 14.8 km². Schematization of the groundwater conditions were based on data from 223 hydrogeological and geological-engineering boreholes. Within the Pleistocene-Holocene aquifer there are numerous thin layers of silts, organic silts and clays, and therefore it was divided into the model to six layers, three permeable and three semipermeable. The calculation results show that the tunnel only slightly influence on groundwater flow. In groundwater balance no changes are noticeable after simulating the tunnel. In aquifers, through which the tunnel is simulated, slight bend of watertable level is observed (changing water table level from 0.5 to 3.0 cm). Application of TBM method and construction of the tunnel without drainage, makes no quantitative risks of groundwater resources in the vicinity of the investment.

Key words: groundwater flow modelling, tunnel, Vistula River.

WSTĘP

Projektowany tunel drogowy w Gdańsku będzie umożliwiał przeprowadzenie ruchu kołowego pod Martwą Wisłą, łącząc wschodnie tereny portowe z zachodnimi w rejonie nabrzeży „Dworzec Drzewny” i „Nabrzeże Wiślane”. Całkowita długość trasy wynosi 1700 m, długość sekcji tunelowej to

około 1370 m (w tym tunel drążony 1070 m tunel wykonany w wykopie otwartym 300 m oraz wanny dojazdowe 330 m). Tunel składać się będzie z dwóch rur (po jednej dla każdego kierunku ruchu), o średnicy wewnętrznej 11 m każda. Drążony będzie metodą TBM (*Tunnel Boring Machine*) i zaprojekto-

¹ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk; e-mail: beata.jaworska-szulc@wilis.pg.gda.pl

wano go jako układ wzajemnie połączonych pierścieni o konstrukcji żelbetowej. Długość tunelu dostosowano do przeszkody, którą jest rzeka Martwa Wisła. Tunel rozpocznie komora startowa, a na końcu zaprojektowano komorę końcową. Konstrukcja wanny żelbetowej jest projektowana jako wodoszczelna, otwarta rama z ciągłą płytą fundamen-

tową i ze sztywnym połączeniem między ścianami a płytą (Malinowski i in., 2010). Wanna wykonywana będzie w wykopie otwartym, którego ściany boczne będą zabezpieczone ścianami szczelinowymi, połączonymi dociskowo z korkiem betonowym tak, że dopływ wody gruntowej będzie utrudniony.

MODEL HYDROGEOLOGICZNY

Tunel pod Martwą Wisłą przebiegać będzie w obrębie czwartorzędowego piętra wodonośnego. Warstwa wodonośna zbudowana jest z piaszczysto-żwirowych serii wodnolodowcowych i rzecznych oraz przepuszczalnych osadów holocenu należących do serii deltowej, a bliżej zatoki – do holocenijskich piasków morskich. Największą miąższość tego plejstoceno-holocenijskiego kompleksu piaszczystego, dochodzącą 60 m, stwierdzano wzdłuż zachodniej części delty, w zasięgu występowania pogrzebanej doliny o przebiegu Pruszcz–Westerplatte, (Kozerski i in., 2007). Przeciętna

miąższość wynosi 40 m, a najmniejsza jest w centralnej części Żuław Gdańskich, gdzie lokalnie wynosi jedynie 8 m. Na prawie całym obszarze, poziom ten podścielony jest warstwą glin zwałowych (fig. 1). Warstwę wodonośną przykrywa na większości obszaru seria aluwialnych osadów delty Wisły złożonych z namulów i torfów, o miąższości od kilku do 20 m. Parametry hydrogeologiczne omawianego poziomu wykazują dużą zmienność – wartość współczynnika filtracji waha się od 0,1 do 25,2 m/h. Wody podziemne stwierdza się również w holocenijskich namulach i torfach, mają one kon-

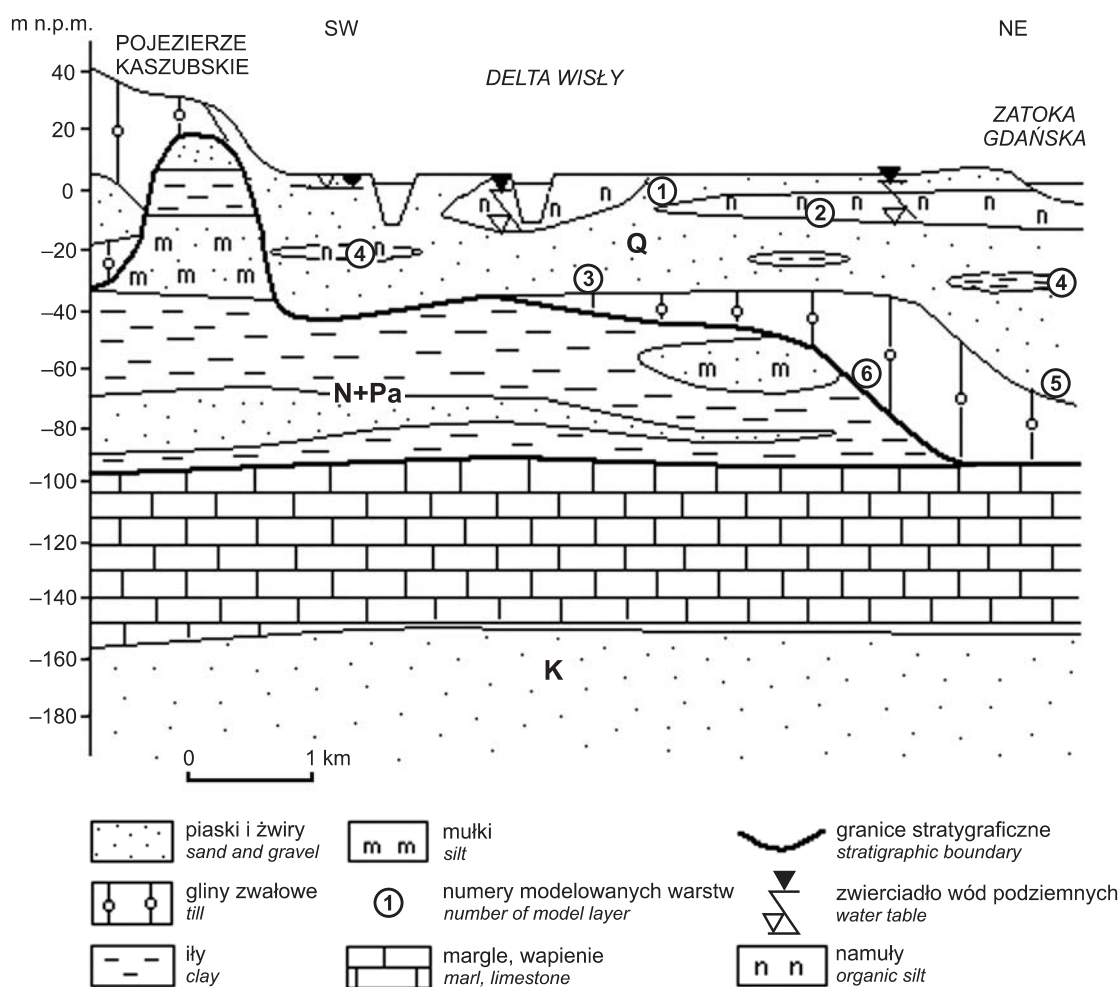


Fig. 1. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny

The hydrogeological cross-section

takt hydrauliczny z wodami głównego czwartorzędowego poziomu wodonośnego. W warunkach naturalnych wody głównego poziomu zasilają wody gruntowe serii deltowej i taki układ ciśnień obserwowany jest też obecnie (Kozerski i in., 2007).

Zwierciadło wód podziemnych piętra czwartorzędowego obniża się, postępując od krawędzi wysoczyzny w kierunku brzegu morza (fig. 2). Istotne znaczenie ma fakt, że w linii brzegowej obserwowano pierwotnie położenie zwierciadła wody podziemnej około 2 m n.p.m. świadczący o tym, że drenaż tych wód odbywał się w odległości kilku kilometrów od brzegu w głąb morza (Kozerski, 1988).

Zasilanie czwartorzędowego poziomu wodonośnego odbywa się głównie przez dopływ lateralny z wysoczyzny – pośrednio przez taras nadmorski, a także przez infiltrację opadów na obszarze badań. Wody podziemne są drenowane przez Martwą Wisłę i Zatokę Gdańską (fig. 2).

Ponieważ w obrębie czwartorzędowej warstwy wodonośnej występują liczne przewarstwienia (głównie są to namuły, torfy i iły) w modelu podzielono ją na trzy warstwy przepuszczalne rozdzielone seriami osadów słoboprzepusz-

czalnych. Kierunki przepływu i zasilania nie różnią się w tych warstwach wodonośnych. W pierwszej występuje zwykle zwierciadło swobodne, lokalnie również napięte. Natomiast w głębszych warstwach zwierciadło jest napięte. Wszystkie warstwy wykazują zbliżony układ ciśnień, co wynika z ich kontaktu hydraulicznego, gdyż rozdzielające warstwy słoboprzepuszczalne nie są ciągle.

Łącznie w modelu zadano 6 warstw obliczeniowych (fig. 1), są to w kolejności od powierzchni terenu:

- warstwa przepuszczalna – wodonośna (miejscami nieciągła),
- warstwa słoboprzepuszczalna – głównie torfy i namuły (miejscami nieciągła),
- warstwa przepuszczalna – wodonośna,
- warstwa słoboprzepuszczalna – głównie namuły i iły (miejscami nieciągła),
- warstwa przepuszczalna – wodonośna,
- warstwa słoboprzepuszczalna – spąg modelu.

Do badań modelowych wydzielono obszar o powierzchni 14,8 km² (fig. 3), schematyzację warunków występowania wód podziemnych wykonano na podstawie danych z 223

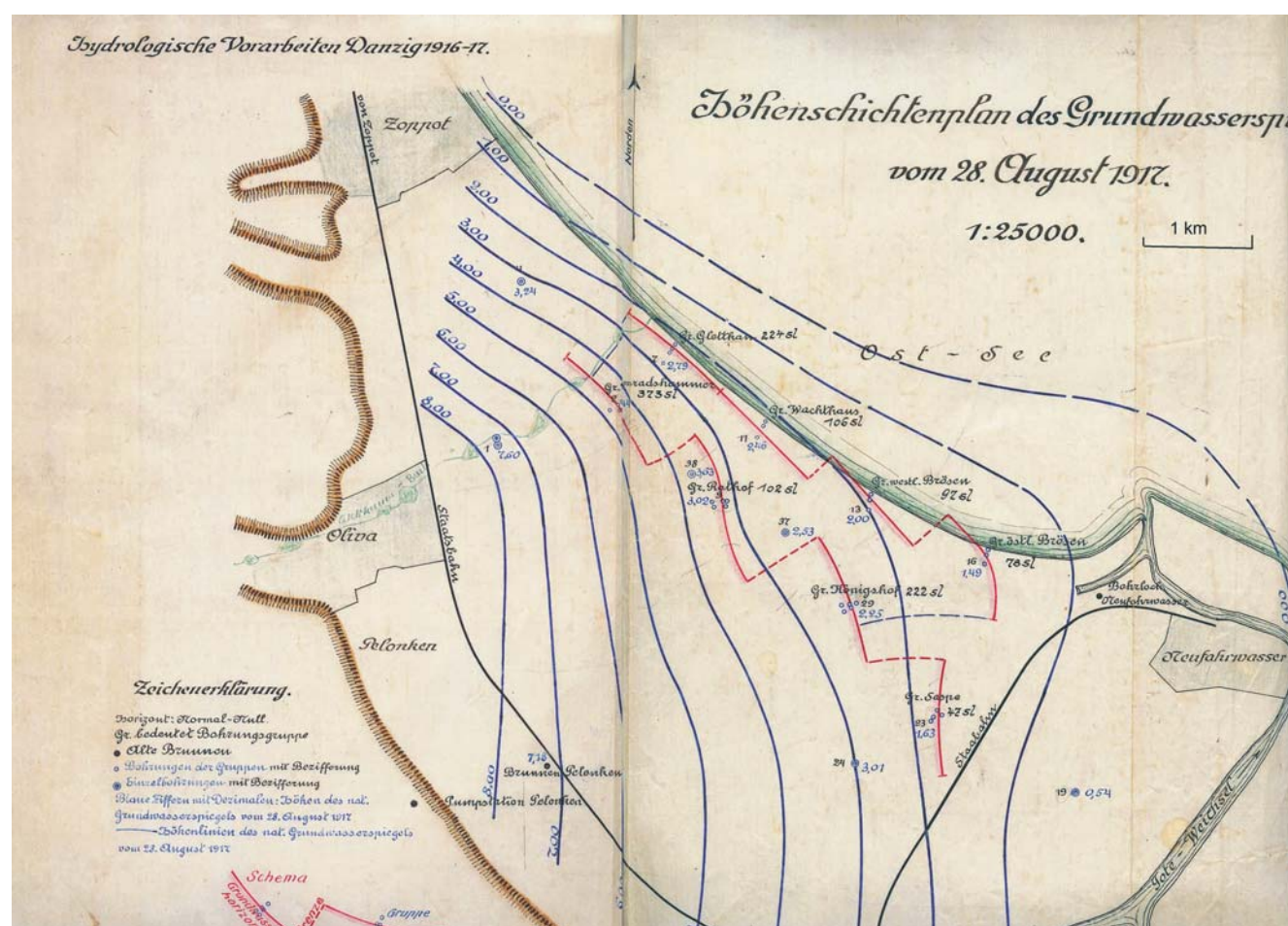


Fig. 2. Mapa zwierciadła wód podziemnych – stan naturalny (m n.p.m.) (Thiem, 1917)

Hydraulic head distribution – quasi-natural conditions (in m a.s.l) (Thiem, 1917)

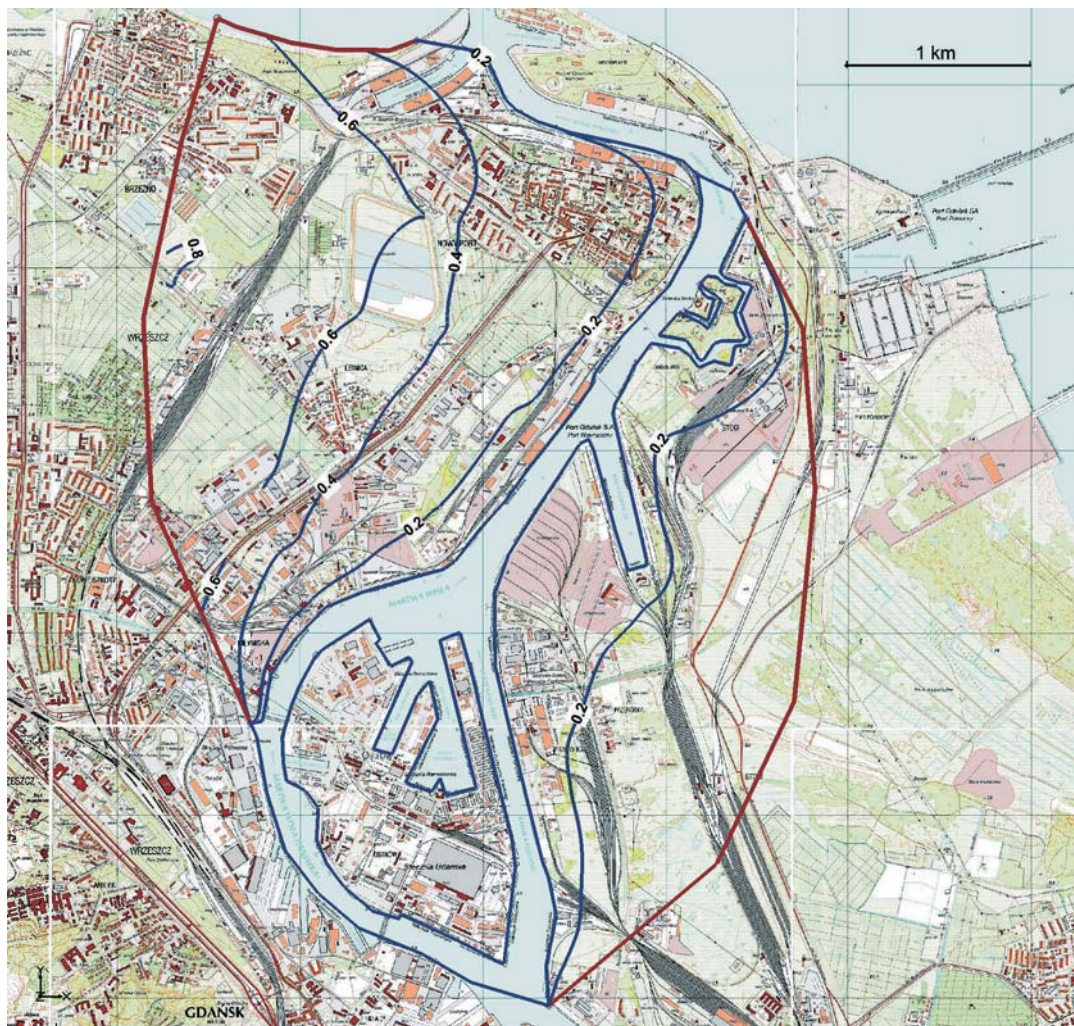


Fig. 3. Mapa hydroizohips – wynik obliczeń dla warunków aktualnych (m n.p.m.), zasięg badań modelowych

Hydraulic head distribution – model calculation for current conditions (in m a.s.l.), research area

otworów hydrogeologicznych oraz geologiczno-inżynierskich (Uścińowicz, 1998; Tarnawski i in., 2010). Zastosowano siatkę dyskretizacyjną kwadratową, o boku 10 m. Do

modelowania numerycznego wykorzystano program ModFlow (McDonald, Harbaugh, 1988) w pakiecie oprogramowania GMS 6,0 (*Groundwater Modeling System*).

IDENTYFIKACJA I WERYFIKACJA MODELU

Identyfikację modelu oparto na mapie hydroizohips dla warunków naturalnych (głównie mapa Thiema – fig. 2 oraz inne materiały archiwalne). Przeprowadzono również analizę dla aktualnych warunków hydrogeologicznych. Zwierciadło wód podziemnych w wyniku intensywnej eksploatacji w latach 80. uległo obniżeniu. Aktualnie eksploatacja jest znacznie niższa i zwierciadło wód podziemnych powoli wraca do stanu naturalnego, jest jednak na niższym poziomie niż w warunkach sprzed eksploatacji. Przyjęto zatem aktualną

wielkość eksploatacji $36 \text{ m}^3/\text{h}$. Jest to wartość szacunkowa, ponieważ nie wszyscy odbiorcy wód podziemnych prowadzą dokumentację poboru. Na obszarze modelu głównymi odbiorcami wód podziemnych są Port Północny, Stocznia Remontowa, Zakłady Nawozów Fosforowych, Basen Górniczy, Stocznia Gdańska, Elektrociepłownia EC2 oraz Posterunek Wodny Policji. Pobór z piętra czwartorzędowego jest niewielki, gdyż większa część eksploatacji jest tu prowadzona z głębszych pięter wodonośnych – neogeńsko-paleogeńskiego i kredowe-

go. Wynika to z lepszych parametrów fizykochemicznych wody z głębszych pięter. Woda czwartorzędowa ma tu znacznie gorszą jakość, ze względu na kontakt hydrauliczny z Martwą Wisłą i przenikanie zanieczyszczonych wód Wisły do warstwy wodonośnej. Średnie wartości błędów kalibracji przedstawiono w tabeli 1. Błąd na poziomie kilkunastu centymetrów wskazuje na dobre odwzorowanie warunków hydrogeologicznych, można uznać, że błąd jest na poziomie błędu pomiaru lub naturalnych wahań zwierciadła wody.

W procesie weryfikacji wykorzystano wyniki próbnych pompowań parametrycznych. Weryfikację wykonano w dwóch etapach. Najpierw sprawdzono depresję w piezometrach na trzech stopniach pompowań pomiarowych (tab. 2), a następnie sprawdzono depresje powstałe w hydrowęzłach podczas pompowań piezometrów (tab. 3). Obliczone na modelu wielkości depresji w piezometrach są bardzo zbliżone do zaobserwowanych. Różnice wynoszą zaledwie kilka centymetrów.

Tabela 1

Wartości błędów kalibracji modelu
Calibration errors

	Błąd średni [m]	Błąd średni absolutny [m]	Błąd średni kwadratowy [m]
Warunki naturalne	0,102	0,144	0,341
Warunki aktualne	-0,018	0,07	0,105

Tabela 2

Porównanie depresji z pompowań pomiarowych w piezometrach z depresjami uzyskanymi na modelu

Model verification using pumping test data in observation points

Nr otworu	Wydajność Q [m ³ /h]	Depresja obserwowana [m]	Depresja obliczona [m]
P3	5	0,48	0,45
	10	0,83	0,89
	5	1,33	1,31
P4	4,5	1,19	1,15
	9	2,18	2,23
	15	3,69	3,62
P9	5	0,32	0,28
	10	0,63	0,56
	15	0,72	0,80

Tabela 3

Porównanie depresji z pompowań pomiarowych w hydrowęzłach z depresjami uzyskanymi na modelu

Model verification using pumping test data in pumping well with observation points

Nr hydrowęzła	Otwór pompowany	Wydajność Q [m ³ /h]	Otwór obserwacyjny	Depresja obserwowana s _{max} [m]	Depresja obliczona s _{max} [m]
W1	P1	15	P2	0,22	0,22
W2	P6	70	P5	0,15	0,15
			P6/1	0,29	0,31
			P6/2	0,25	0,29
W3	P7	70	P7/1	0,33	0,35
			P7/2	0,30	0,33
			P8	0,32	0,28
W4	P11	15	P12	0,19	0,21

WYNIKI OBLICZEŃ PRZEPŁYWU WÓD

W warunkach naturalnych czwartorzędowa warstwa wodonośna zasilana jest głównie (55%) przez dopływ lateralny od strony tarasu nadmorskiego (dopływ z wysoczyzny), dopływ od strony Delt Wisły to tylko 5% całkowitego dopływu. Infiltracja efektywna opadów stanowi ponad 30% zasilania. Niewielki udział w zasilaniu mają również wody Martwej Wisły – około 10%. Na analizowanym obszarze wody podziemne są drenowane przez Martwą Wisłę (ponad 92% odpływu) i w niewielkim stopniu przez Zatokę Gdańską (prawie 8%).

Aktualnie zwierciadło wody występuje znacznie niżej niż w warunkach naturalnych (fig. 3). Związane jest to z wie-

leotnią eksploatacją wód na tarasie nadmorskim i w delcie Wisły. Mimo, że aktualnie pobór maleje, a zwierciadło wód podziemnych się podnosi, prawdopodobnie minie jeszcze kilkanaście lat zanim wróci do stanu sprzed eksploatacji. Jak widać w tabeli 4, w warunkach aktualnych zmniejszyły się znacznie zasoby piętra czwartorzędowego, ogólne obniżenie zwierciadła wody sprawia, że wody podziemne płyną wolniej i jest mniejsze zasilanie od zachodu, czyli z wysoczyzny poprzez taras nadmorski. W efekcie zmniejsza się drenaż Martwej Wisły.

Tabela 4

Bilans przepływu wód podziemnych w czwartorzędowej warstwie wodonośnej

Groundwater budget of Quaternary aquifer

Składnik bilansu	Warunki naturalne [m ³ /h]	Stan aktualny z eksploatacją [m ³ /h]
Infiltracja efektywna opadów	236,58	236,58
Dopływ boczny z tarasu nadmorskiego	431,72	200,79
Dopływ boczny od delty Wisły	40,50	61,80
Infiltracja Martwej Wisły	75,59	72,13
Razem dopływ	784,39	571,3
Odpływ boczny do Zatoki Gdańskiej	59,76	15,84
Drenaż Martwej Wisły	724,46	519,15
Eksploatacja	0	36
Razem odpływ	784,22	570,99
Różnica dopływu i odpływu	0,17	0,31
Błąd bilansu przepływu	0,022%	0,054%

SYMULACJE WPROWADZENIA TUNELU DO WARSTWY WODONOŚNEJ

Tunel zadano jako barierę przepływu (warunek *barrier flow*) odpowiednio w warstwach 1–6, w których przebiega tunel na danym odcinku. Symulacje wykonano w kilku etapach zgodnie z projektem tunelu. Najpierw symulowano wannę żelbetową oraz komorę startową i końcową. Następnie drążony tunel, w pierwszej kolejności rurę północną, a następnie rurę południową.

Tunel w bardzo niewielkim stopniu wpływa na przepływ wód podziemnych. Na figurze 4 przedstawiono mapę hydroizohips dla końcowego etapu wykonania tunelu (sytuacja w trzeciej warstwie modelu – główna warstwa wodonośna). Wody w utworach czwartorzędowych na tym terenie wyka-

zują niewielki spadek zwierciadła wody, dlatego przepływ jest powolny. Według obliczeń modelowych odbywa się on z prędkością od 1,5 do 3,0 m/rok. W warstwach wodonośnych, przez które przechodzi tunel, obserwuje się niewielkie wygięcie hydroizohips (zmiana położenia zwierciadła wody jest w zakresie od 0,5 do 3,0 cm – fig. 5). Znacznie słabsze jest ono w warstwach nad lub pod tunelem.

Na mapie hydroizohips widać drenujący charakter Martwej Wisły. W bilansie przepływu wód nie zaznaczają się żadne, nawet najmniejsze, zmiany po wprowadzeniu tunelu. Bilans okazał się identyczny jak w tabeli 4, czyli przed symulacją tunelu.

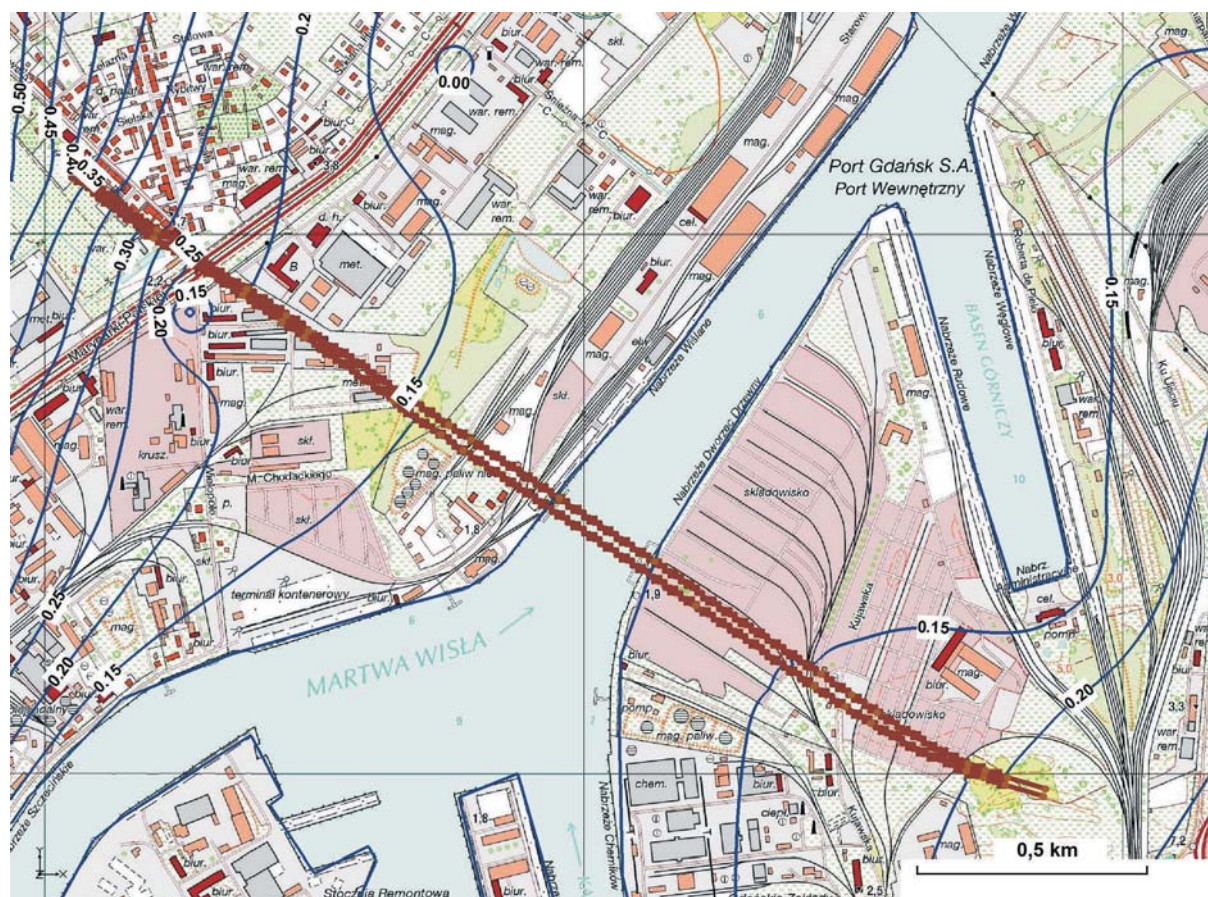


Fig. 4. Mapa hydroizohips – symulacja dla ostatniego etapu budowy tunelu (m n.p.m.)

Hydraulic head distribution after the last step of tunnel construction (in m a.s.l.)

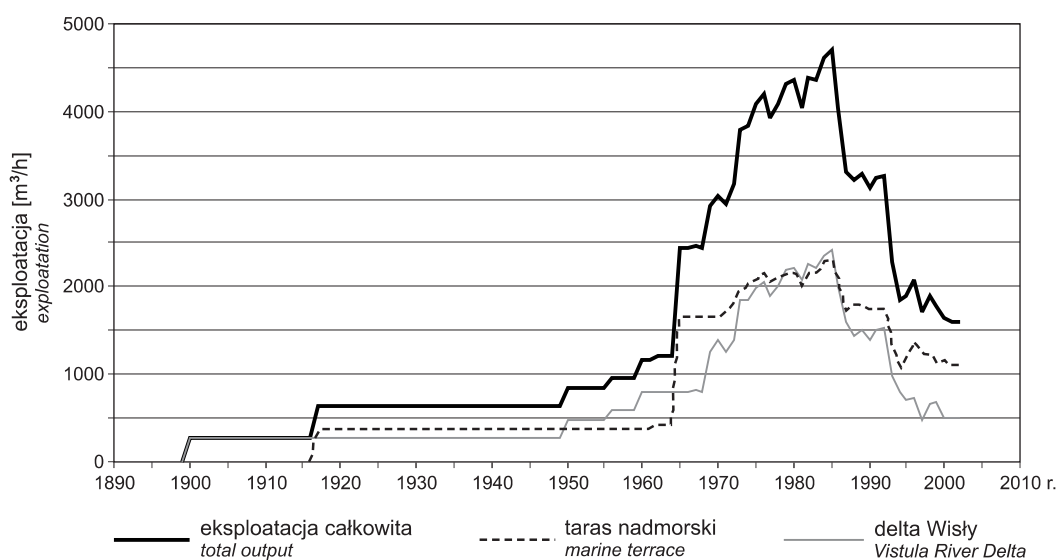


Fig. 5. Historia eksploatacji ujęć wód podziemnych czwartorzędu w Gdańsku (Kozerski i in., 2005)

The history of groundwater exploitation from Quaternary aquifer in Gdansk (Kozerski *et al.*, 2005)

ANALIZA WPŁYWU TUNELU NA WARUNKI PRZEPŁYWU WÓD I ZASOBY CZWARTORZĘDOWEGO PIĘTRA WODONOŚNEGO

Projektowany tunel znajduje się w obrębie jednego z Głównych Zbiorników Wód Podziemnych – GZWP 112 Żuławy Gdańskie. Należało zatem określić wpływ inwestycji na jego zasoby oraz możliwości ochrony tego zbiornika.

Największym zagrożeniem dla wód podziemnych w rozpatrywanej lokalizacji byłyby ewentualne odwodnienia. Według założeń projektowych wykonanie tunelu metodą TBM pozwoli uniknąć odwodnienia, a wanny dojazdowe wykonywane w wykopie otwartym mają być zabezpieczone przez zastosowanie ścianek szczelinowych.

Analiza historii eksploatacji wód na obszarze Żuław Gdańskich wykazuje, że na skutek intensywnego poboru wód, którego maksimum przypadło na lata 1980–1985 (fig. 5), doszło do przeobrażeń składu chemicznego w efekcie intruzji wód zasolonych Martwej Wisły i Zatoki (Kozerski, Kwaternikiewicz, 1984, 1997; Kozerski i in., 1992). W roku 1985 zasolenie wód piętra czwartorzędowego osiągnęło największe rozprzestrzenienie, objęło ono cały obszar Starego Miasta, rejon stoczni i zagrażało przemieszczeniem na południe w kierunku ujęcia Lipce. Zawartość jonu chlorkowego w rejonie Starego

Miasta przekroczyła 300 mg/dm^3 , a na ujściu Grodza Kamienna wynosiła ponad 2000 mg/dm^3 (Przewłocka, 2003). Ta groźna dla zasobów wód podziemnych sytuacja uległa zmianie w wyniku znacznego ograniczenia ich poboru. Pod koniec lat 90. zaobserwowano stopniowe zmniejszanie koncentracji jonu chlorkowego w obszarach objętych zasoleniem. Tempo wysładzania się wód okazało się szybsze, niż można było oczekiwać (Kozerski i in., 2005). Proces wysładzania czwartorzędowego piętra wodonośnego trwa nadal. Może on być zahamowany przez wzrost eksploatacji. Również odwodnienia budowlane mogłyby zakłócić ten proces. Odwodnienie, jakie byłoby wymagane w przypadku zastosowania innej metody budowy tunelu, z pewnością doprowadziłoby do ponownej degradacji wód podziemnych, byłoby również trudne ze względu na kontakt wód podziemnych z wodami Martwej Wisły. Ciągły dopływ wód Martwej Wisły, mógłby nawet uniemożliwić całkowite odwodnienie wykopów budowlanych. Dlatego zastosowanie metody drążenia TBM i ścianek szczelinowych przy budowie wianien dojazdowych jest w tym przypadku bardzo korzystne.

PODSUMOWANIE

Tunel w bardzo niewielkim stopniu wpływa na przepływ wód podziemnych. Wody w utworach czwartorzędowych na tym terenie wykazują mały spadek zwierciadła wody i przepływ wód jest powolny. W warstwach wodonośnych, przez które przechodzi tunel obserwuje się niewielkie wygięcie hydroizohips, jeszcze słabiej zaznacza się ono w warstwach nad lub pod tunelem.

Zastosowanie metody TBM i budowa tunelu bez odwodnień sprawia, że nie ma zagrożeń ilościowych dla zasobów

wód podziemnych piętra czwartorzędowego w sąsiedztwie inwestycji. Jak wykazały obliczenia, tunel w najmniejszym stopniu nie zaznacza się w bilansie przepływu wód. Jedyne zagrożenia wynikające z budowy tunelu, to zagrożenia dla jakości wód podziemnych. Mogą one być związane z wprowadzeniem nieporządkanych substancji do warstwy wodonośnej lub z ewentualnymi, nieplanowanymi odwodnieniami i związaną z tym degradacją jakości przez intruzję wód zasolonych.

LITERATURA

- KOZERSKI B., 1988 — Warunki występowania i eksploatacja wód podziemnych w gdańskim systemie wodonośnym. IV Ogólnopolskie Sympozjum „Aktualne problemy Hydrogeologii”, cz. 1: 1–20. Gdańsk.
- KOZERSKI B., KWATERKIEWICZ A., 1984 — Strefowość zasolenia wód podziemnych a ich dynamika na obszarze delty Wisły. *Arch. Hydrotechniki*, **31**, 3: 231–255.
- KOZERSKI B., KWATERKIEWICZ A., 1997 — O zmianach zasolenia wód podziemnych czwartorzędu Gdańska. *W: Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. 8: 345–347. WIND, Wrocław.
- KOZERSKI B., KWATERKIEWICZ A., SADURSKI A., 1992 — Zagrożenia wód podziemnych strefy brzegowej morza w rejonie Gdańska. *W Służbie Polskiej Geologii*: 117–131. Wyd. AGH, Kraków.
- KOZERSKI B., JAWORSKA-SZULC B., PRUSZKOWSKA M., PRZEWŁOCKA M., 2005 — Wysładzanie się wód podziemnych w piętrze czwartorzędowym Gdańska jako rezultat zmniejszonego poboru. *W: Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. 12: 371–375. Wyd. Uniw. Mikołaja Kopernika, Toruń.
- KOZERSKI B., JAWORSKA-SZULC B., PRUSZKOWSKA M., PRZEWŁOCKA M., 2007 — Gdański system wodonośny, Wyd. Politechniki Gdańskiej.
- MALINOWSKI L., KOSECKI W., KOŁAKOWSKI T., SCHOLZ M., RÖDER A., 2010 — Projekt poprawy dostępu drogowego do Portu Gdańsk – Budowa Trasy Sucharskiego, SSF Ingenieure, Europrojekt Gdańsk.

- McDONALD M.G., HARBAUGH A.W., 1988 — A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geol. Survey Open-File Report, Washington.
- PRZEWŁÓCKA M., 2003 — Zmiany zasolenia na ujęciu „Czarny Dwór” w świetle eksploatacji czwartorzędowego poziomu wodonośnego. *W: Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. 11, 2: 273–280, Gdańsk.
- TARNAWSKI M., WOJTASIUK P., GROCHOWSKA V., URA M., NERKOWSKI P., MAREK K., BROŻEK A., 2010 — Dokumentacja Geologiczno-inżynierska dla ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia projektowanego tunelu pod Martwą Wisłą w ciągu Trasy Słowackiego w Gdańsku, Geoprojekt Szczecin.
- THIEM G., 1917 — Expertise on water-supply system development in Gdansk, with two sketches and one plan. Gdansk University of Technology, Gdansk.
- UŚCINOWICZ S., 1998 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000. Ark. Gdańsk nr 27. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

SUMMARY

The designed road tunnel in Gdansk allow to carry out traffic under the Dead Vistula River, linking the east with the western port areas. Total length is 1,700 m, including a hollow tunnel 1070 m, open trench excavated tunnel 300 m and 330 m tank. Tunnel access routes will consist of two pipes (one for each direction) with an inside diameter of 11 m each. Tunnel will be drilled using tunnel boring machine and it is designed as a system of interconnected rings with a reinforced concrete structure. Construction of concrete tank is designed as a watertight, open frame with a continuous foundation plate and a rigid connection between the walls and the plate (Malinowski *et al.*, 2010).

Model research were made to determine the groundwater impact on the hollow tunnel in Pleistocene-Holocene aquifer. On the other hand it was important to determine the effect of the tunnel on the watertable level, flow conditions and resources of the Quaternary aquifer in the vicinity of the investment.

The model studies area was 14.8 km². Schematization of the groundwater conditions were based on data from 223 hydrogeological and geological-engineering boreholes. Within the Pleistocene-Holocene aquifer there are numerous thin layers of silts, organic silts and clays, and therefore it was divided into the model to six layers, three permeable and three semipermeable. The tunnel was defined as barrier flow condition respectively, in layers 1–6, which runs the tunnel. Simulations were made in several stages according to the project of the tunnel. First, simulated reinforced concrete tank and the start and end chamber. Then the hollow tunnel, first north and then south tube.

The calculation results show that the tunnel only slightly influence on groundwater flow. In groundwater balance no changes are noticeable after simulating the tunnel. In aquifers, through which the tunnel is simulated, slight bend of watertable level is observed (changing water table level from 0,5 to 3 cm). The greatest risk to groundwater in the present location would be possible dewatering. History of groundwater exploitation in Gdańsk shows that, due to intensive exploitation in the 1980s (Fig. 6), there was intrusion of saline waters from the Dead Vistula River and the Bay of Gdansk observed (Kozerski, Kwaterkiewicz, 1984, 1997; Kozerski *et al.*, 1992). In the late 1990s, began the process of desalinization in Quaternary aquifer and it still lasts (Kozerski *et al.*, 2005). It can be inhibited by an increase in water intake or dewatering caused by construction investment. Dewatering, which would be required in the case of another method of tunnel construction, would result in re-degradation of groundwater. Dewatering would also be difficult because groundwater contact with the Dead Vistula River. A continuous supply of water from this river could even impossible complete dewatering excavations. Application of TBM method and construction of the tunnel without drainage, makes no quantitative risks of groundwater resources in the vicinity of the investment. However, access routes tank done in an open trench will be secured by the use of cavity walls.

The only risks arising from the construction of the tunnel, cause danger to groundwater quality. It may be untidy substance to conduct an aquifer or any – unplanned dewatering and the consequent deterioration in the quality (salinity).

