

Bronisław PACZYŃSKI, Marian PEREK

Problemy geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne pierwszej linii metra w Warszawie na odcinku Kabaty – Trasa Łazienkowska

Rozpatrzono problemy geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne utworów czwartorzędowych do głęb. 20,0 m, w zasięgu tuneli pierwszej linii metra warszawskiego. Dokonano klasyfikacji gruntów pod kątem przepuszczalności i własności fizyczno-mechanicznych. Wydzielono najbardziej zagrożone dopływami i osiadaniami powierzchni terenu odcinki – Dolinki Służewieckiej i północnej części Al. Niepodległości.

WSTĘP

Budowę pierwszej linii metra płytkiego, którego dwa równoległe tunele na maksymalnych głęb. od 8,0 do 21,0 m połączą Kabaty z Młocinami, rozpoczęto w 1983 r. Data ta zamyka ponad 50-letni okres prac studialnych, badawczych oraz robót górniczych (1950–1954), związanych z realizacją koncepcji metra głębokiego. Instytut Geologiczny uczestniczył w badaniach geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych projektowanych tras, szczególnie aktywnie w okresie powojennym (E. Rühle, 1984). W 1984 r. na zlecenie Metroprojektu Instytut ponownie włączył się do badań w zakresie prognozy zmian warunków gruntowo-wodnych, a także badań eksperymentalnych – geofizycznych, izotopowych itp., na trasie pierwszej linii. Podjęcie tematu dopiero w 1984 r. sprawiło, że na ursynowskim odcinku trasy prace budowlane wyprzedziły miejscami prognozę, potwierdzając na ogół przewidywane w projektach warunki gruntowo-wodne. W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia prognozy Instytutu Geologicznego, opracowanej dla południowego odcinka metra, od Kabat do Trasy Łazienkowskiej (fig. 1), dotyczące budowy geologicznej oraz warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych w zasięgu prac budowlanych, tj. do głęb. 20 m. Oprócz prac wykazanych w piśmiennictwie, wykorzystano wyniki modelowania numerycznego opracowane pod kierunkiem S. Dąbrowskiego (Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu, Oddział w Poznaniu).



Fig. 1. Szkic linii metra na odcinku Kabaty – Trasa Łazienkowska

Sketch of the Kabaty – Trasy Łazienkowska section of the underground line

OCENA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA GRUNTÓW

W strefie głęb. do 20 m występują głównie osady plejstocenyckie zlodowacenia południowopolskiego, interglacjału mazowieckiego i zlodowacenia środkowopolskiego (W. Morawski, 1984). Osady holocenyckie znajdują się jedynie w obrębie Dolinki Służewieckiej (fig. 2).

Utworki zlodowacenia południowopolskiego tworzą diapirowe wypiętrzenie glaciektoniczne na krótkim odcinku trasy metra między ul. Wałbrzyską i Dolinką Służewiecką. Pod względem litologicznym są one reprezentowane głównie przez lodowcowe gliny piaszczyste z wkładkami glin pylastych i glin, szare z odcieniem niebieskim lub zielonym. Charakteryzują się słabą przepuszczalnością, stanem zwartym i półzwartym. Gliny lodowcowe nie wykazują wyraźnych systemów spękań. Wśród nich występują soczewki piasków drobno- i średnioziarnistych o miąższości od 0,5 do 5,5 m, zagęszczonych i średnio zagęszczonych. Strop zespołu gruntów lodowcowych budujących wypiętrzenie glaciektoniczne jest erozyjny, a głębokość jego występowania wynosi od 4 do >20 m.

Osady interglacjału mazowieckiego reprezentowane są przez piaski średnio- i drobnoziarniste, a podrzędnie gruboziarniste, pylaste oraz popółki. W ich części stropowej spotyka się cienkie soczewki pyłów piaszczystych i pyłów. Ze względu na podobny skład frakcji i znaczny zasięg, do interglacjału mazowieckiego zaliczono grunty syckie Służewa, gdzie na odcinku od Al. Wilanowskiej do ul. Goszczyńskiego oddzielają one gliny piaszczyste zlodowacenia południowopolskiego od analogicznych glin zlodowacenia środkowopolskiego. Piaszczyste osady interglacjału mazowieckiego o różnych typach warstwowań, przeważnie przekątnych, są pochodzenia rzecznoego. Tworzą one jednolitą i grubą, nieprzewier-

coną warstwę o znacznym rozprzestrzenieniu od Kabat do Służewa. Miąższość ich na Służewie wynosi 0,5–10,0 m, zaś na pozostałych odcinkach trasy metra przypuszczalnie 15–25 m. Spąg osadów piaszczystych nie został osiągnięty otworami badawczymi do głęb. 29,0 m (ul. Rzymowskiego).

Na przekroju hydrogeologicznym (fig. 2) widać, że strop osadów interglacjału mazowieckiego jest morfologicznie zróżnicowany i znajduje się na głęb. od ok. 2 m (Służew) do ok. 19 m (Kabaty). Jedynie na krótkim odcinku trasy, w rejonie stacji A-4 Stokłosy, schodzi on do głęb. ponad 20 m. Z wyjątkiem piasków pylastych utwory interglacjału mazowieckiego są dobrze przepuszczalne, w stanie zagęszczonym i średnio zagęszczonym.

Zawodnione grunty sypkie wypełniają cały prześwit obu tuneli metra na skłonach Dolinki Służewieckiej, natomiast na wielu innych odcinkach trasy występują przeważnie w spągowej części tuneli (np. na Ursynowie od ul. Bartoka do ul. Rzymowskiego, od Al. Wilanowskiej do ul. Puławskiej oraz w rejonie stacji A-6 Służew).

Osady zlodowacenia środkowopolskiego występują w strefie przypowierzchniowej terenu, prawie na całym południowym odcinku trasy metra. Spoczywają one na osadach piaszczystych interglacjału mazowieckiego od Kabat do ul. Goszczyńskiego. Reprezentowane są przez dwa poziomy glin zwałowych odpowiadające stadiom: maksymalnemu i mazowiecko-podlaskiemu. Gliny ogólnie różnią się barwą; gliny zwałowe stadiału maksymalnego są szare, a stadiału mazowiecko-podlaskiego – brązowe.

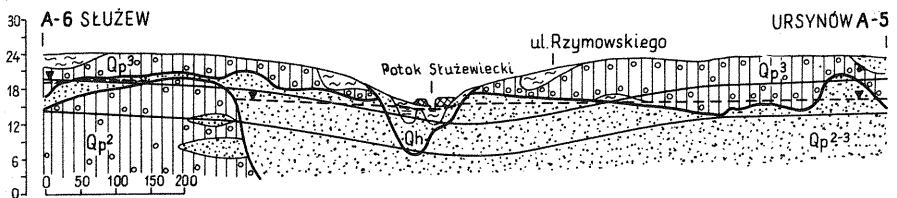
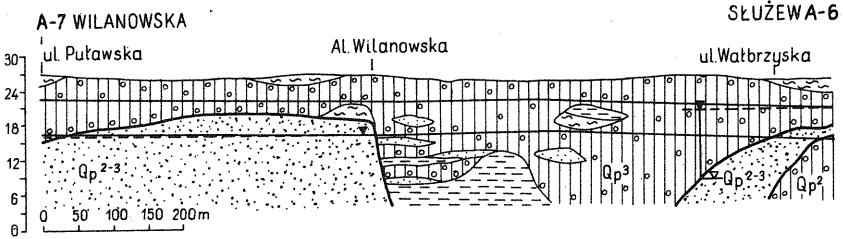
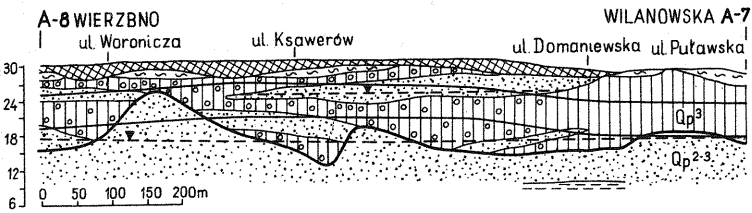
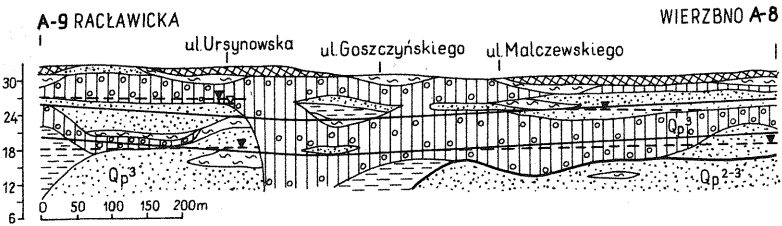
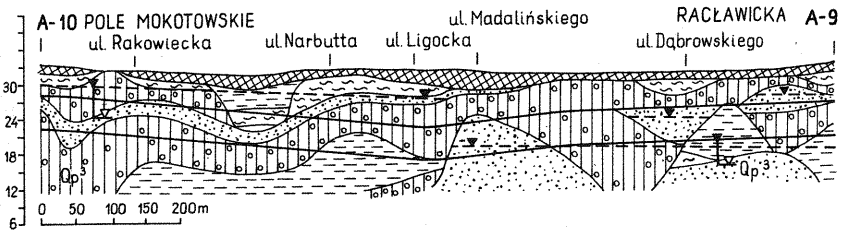
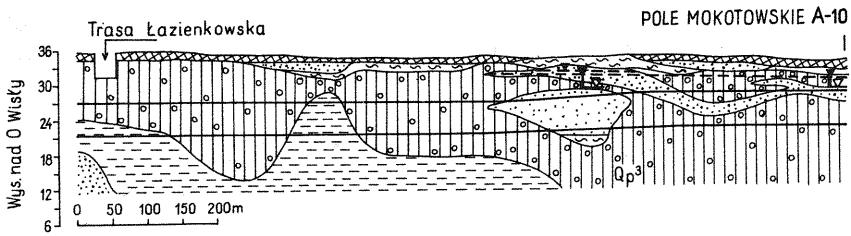
Gliny zwałowe obu stadiów, jako grunty spoiste, słabo przepuszczalne, złożone są głównie z glin piaszczystych. Podrzędnie występują gliny, gliny pylaste, gliny piaszczyste zwięzłe, gliny zwięzłe i gliny pylaste zwięzłe. Są one w stanie zwartym i półzwartym, o dobrze wykształconych systemach spękań, którymi mogą prowadzić wodę opadową. W wielu miejscach gliny zwałowe są przedzielone warstwami lub soczewami piasków zastoiskowych, wodnolodowcowych i lodowcowych oraz piasków gliniastych lodowcowych, jak również pyłów i ilów pylastych zastoiskowych. Piaski są przeważnie średnio- i drobnoziarniste oraz pylaste. Największy zasięg i miąższość mają na następujących odcinkach trasy: na Polu Mokotowskim (9,6 m), od ul. Batorego do ul. Madalińskiego (4,0 m), od ul. Dąbrowskiego do ul. Ursynowskiej (7,0 m), od ul. Malczewskiego do ul. Woronicza (4,8 m), od ul. Ksawerów do ul. Domaniewskiej (4,8 m) i od stacji A-1 Kabaty do ul. Findera (>8,0 m). Najgrubsze przewarstwienia ilów pylastych i pyłów zastoiskowych w glinach zwałowych występują w rejonach: Pola Mokotowskiego (1,2 m), ul. Narbutta (ok. 1,0 m), ul. Goszczyńskiego (ok. 3,0 m), Al. Wilanowskiej (1,4 m), ul. Niedźwiedziej na Służewie (5,6 m), Kabat (2,0 m). Grunty te są w stanie twardoplastycznym i półzwartym.

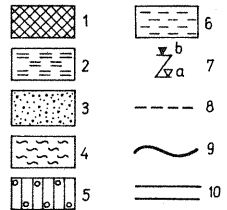
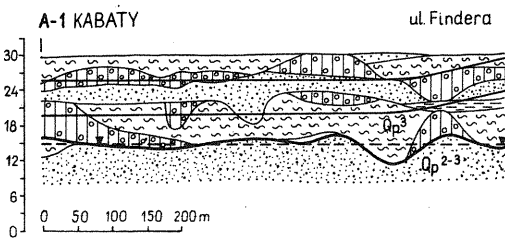
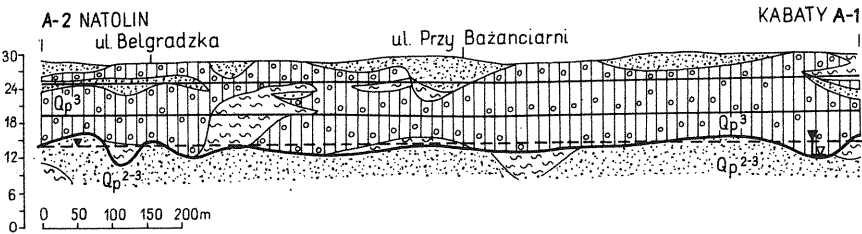
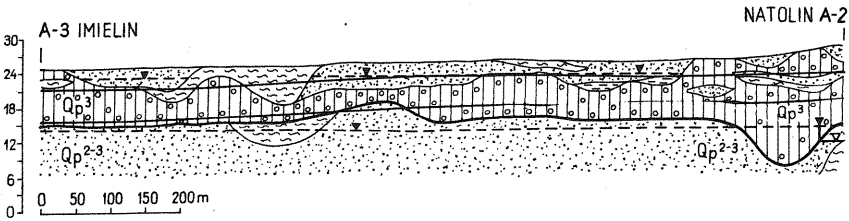
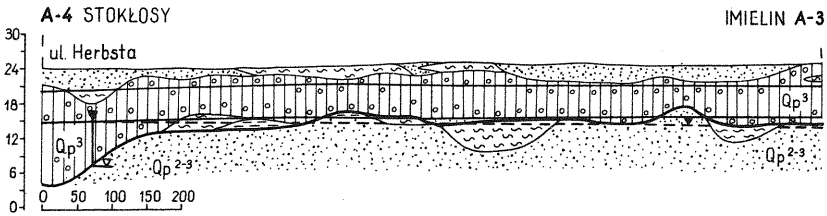
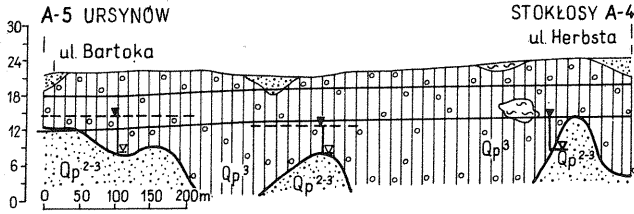
Wymieniony zespół gruntów spoistych i sypkich zlodowacenia środkowopolskiego charakteryzuje się bardzo zmiennymi miąższościami – od 2 m w rejonie Dolinki Służewieckiej do ponad 20 m w wielu miejscach trasy metra, zwłaszcza w rejonie Pola Mokotowskiego, ul. Rakowieckiej, ul. Herbsta na Ursynowie itd.

Utworów zlodowacenia środkowopolskiego w Dolince Służewieckiej brak, gdyż zostały wyerodowane działalnością wód rzecznych.

Na przeważających odcinkach metra, od Trasy Łazienkowskiej do ul. Puławskiej i od ul. Bartoka do Kabat, oba tunele przebiegać będą w zróżnicowanym litologicznie i genetycznie zespole gruntów spoistych i sypkich zlodowacenia środkowopolskiego.

Podłożem glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego – dominujących na trasie metra – są również utwory plejstocenijskie o różnych typach litologicznych i genetycznych. Na Polu Mokotowskim są to ility pylaste z wkładkami pyłów





pochodzenia zastoiskowego z okresu zlodowacenia środkowopolskiego. W pobliżu Trasy Łazienkowskiej utwory zastoiskowe tworzą elewację, której strop występuje już na głęb. 6,2 m. Brak danych umożliwiających określenie pochodzenia tej struktury (egzaracja?, glacitektonika?, erozja?). Podobne osady zastoiskowe występują: między ul. Rakowiecką i ul. Ligocką (miąższość >10 m), w rejonie ul. Dąbrowskiego (miąższość ok. 9,6 m), w rejonie stacji A-9 Raclawicka (miąższość >9,5 m) i w pobliżu ul. Goszczyńskiego (miąższość >5,5 m).

W kilku miejscach trasy metra od ul. Ligockiej do ul. Ursynowskiej podłoże glin zwałowych stanowią rzecznołodowcowe piaski, przeważnie średnio- i drobnoziarniste, również zlodowacenia środkowopolskiego. Największą miąższość >13 m osiągają one w rejonie ul. Madalińskiego. Na pozostałym odcinku trasy, od ul. Goszczyńskiego do Kabat, w podłożu glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego występują rzeczne piaski średnio- i drobnoziarniste oraz pylaste interglacjału mazowieckiego.

Na glinach zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego najczęściej leży zespół utworów złożony z piasków drobnoziarnistych i pylastych rzecznołodowcowych, piasków gliniastych lodowcowych oraz pyłów piaszczystych zastoiskowych. Łączna ich miąższość wynosi przeważnie do 3 m, a maksymalnie ok. 8 m (Kabat). Utwory te stanowią powierzchnię terenu z wyjątkiem odcinka od Trasy Łazienkowskiej do ul. Puławskiej, gdzie są pokryte nasypami niekontrolowanymi o miąższości do 3 m, powstałymi głównie po 1945 r. podczas odbudowy miasta.

Osady h o l o c e Ń s k i e (*in situ*) występują jak wspomniano jedynie w Dolince Służewieckiej. Reprezentowane są przez utwory aluwialne i organiczne. Dno dolinki wypełniają piaski drobno- i średnioziarniste oraz pospółki i żwiry. Są one w stanie luźnym i średnio zagęszczonym. Maksymalna ich miąższość wynosi 6,0 m. Wśród tych gruntów sypkich spotyka się wkładki i soczewki namułów złożonych z pyłów i pyłów piaszczystych o konsystencji plastycznej i miękkoplastycznej. Na nierównym i erozyjnym stropie gruntów sypkich występują miejscami torfy i namuły. Namuły są to pyły piaszczyste i pyły w stanie plastycznym i miękkoplastycznym. Maksymalna miąższość torfów i namułów wynosi 3,6 m. Przez holocenijskie zawodnione grunty piaszczyste i organiczne tunele będą przechodzić tylko na krótkim odcinku trasy.

←

Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny wzdłuż linii metra na odcinku Kabaty – Trasa Łazienkowska według M. Perka

Hydrogeological cross-section along the Kabaty – Trasa Łazienkowska section of the underground line after M. Perek

1 – nasypy niekontrolowane i budowlane; 2 – grunty organiczne – torfy; 3 – grunty dobrze przepuszczalne ($k > 10^{-4}$ m/s) – otoczaki, żwiry, pospółki, piaski grubo-, średnio- i drobnoziarniste – lodowcowe, rzecznołodowcowe, zastoiskowe i rzeczne; 4 – grunty średnio i słabo przepuszczalne ($k = 10^{-4} - 10^{-6}$ m/s) – żwiry gliniaste, pospółki gliniaste, piaski pylaste, piaski gliniaste, pyły piaszczyste, pyły – lodowcowe i zastoiskowe oraz namuły holocenijskie; 5 – grunty bardzo słabo przepuszczalne ($k = 10^{-6} - 10^{-8}$ m/s) – gliny piaszczyste, gliny, gliny pylaste, gliny piaszczyste zwięzłe, gliny pylaste zwięzłe – lodowcowe; 6 – grunty nieprzepuszczalne ($k < 10^{-8}$ m/s) – iły pylaste, iły – zastoiskowe; 7 – zwierciadło nawiercone (a) i ustabilizowane (b) wód podziemnych; 8 – średni stan zwierciadła ustabilizowanego wód podziemnych; 9 – granica stratygraficzna; Qh – holocen; Qp³ – zlodowacenie środkowopolskie; Qp²⁻³ – interglacjał mazowiecki (wielki); Qp² – zlodowacenie południowopolskie; 10 – rzut tuneli metra; A-1 – A-10 – stacje metra

1 – uncontrolled and building embankments; 2 – organic soils – peats; 3 – well permeable soils ($k > 10^{-4}$ m/s) – glacial, fluvioglacial, stagnant-lake and fluvial pebbles, gravels, poorly sorted sediments, and coarse-, medium, and fine-grained sands; 4 – medium to poorly permeable soils ($k = 10^{-4}$ to 10^{-6} m/s) – glacial and stagnant-lake loamy gravels, loamy poorly sorted sediments, silty and loamy sands, sandy silty, and silts, and Holocene muds; 5 – very poorly permeable soils ($k = 10^{-6}$ to 10^{-8} m/s) – glacial sandy tills, tills, silty tills, cohesive sandy tills, and cohesive silty tills; 6 – impervious soils ($k < 10^{-8}$ m/s) – stagnant-lake silty clays and clays; 7 – stabilized (b) groundwater table in a drilling (a); 8 – mean state of stabilized groundwater table; 9 – stratigraphic boundaries; Qh – Holocene, Qp³ – Mid-Polish Glaciation, Qp²⁻³ – Masovian (Great) Interglacial, Qp² – South-Polish Glaciation; 10 – projection of underground tunnels; A-1 – A-10 – underground stations

Ogólnie można stwierdzić, że południowy odcinek metra realizowany jest w zmiennych warunkach geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych. Otwarty, na okres robót, wykop wymaga miejscami odwodnienia. Związane z tym obniżenie zwierciadła wód podziemnych spowoduje po obu jego stronach utworzenie się depresji o niedużym zasięgu. W przypadku zalegania ilów i pyłów zastoiskowych powyżej obniżonego zwierciadła wód podziemnych nastąpi ich dehydratyzacja powodująca konsolidację, co w konsekwencji wywoła osiadanie. Proces ten nie stanowi problemu na terenach otwartych, niezabudowanych, przez które przebiega trasa metra na odcinku od Kabat do ul. Woronicza. Bloki mieszkalne znajdują się tu w dostatecznej odległości od trasy, a zastoiskowe grunty spoiste o miąższości 1,6–5,6 m i o małym rozprzestrzenieniu występują tylko w trzech miejscach. Największe osiadanie powierzchni terenu może wystąpić jedynie w Dolince Służewieckiej, którą wypełniają holocenijskie grunty nieskonsolidowane w postaci torfów i namulów o miąższości maksymalnej 3,8 m. Na terenach o zabudowie zwartej, obejmujących Al. Niepodległości na odcinku od ul. Woronicza do ul. Batorego, długotrwałe obniżenie zwierciadła wód podziemnych wzdłuż wykopu otwartego może się okazać szkodliwe dla istniejących budowli.

W strefie zdrenowanej po obu stronach wykopu znajdują się soczewy ilów i pyłów zastoiskowych zalegających wśród glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego lub na nich. Ich miąższości wynoszą od 3,5 do 3,8 m. Ze względu na przestrzenne zróżnicowanie litologii, ściśliwości i grubości poszczególnych warstw i soczew tych gruntów osiadanie powierzchni terenu może być nierównomierne.

Należy nadmienić, że gliny zwałowe charakteryzujące się specyficznym składem frakcyjnym i konsystencją są gruntami mało podatnymi na procesy wynikające z obniżenia zwierciadła wód podziemnych.

Osiadanie powierzchni terenu może być wywołane dodatkowym zagęszczeniem się warstw i soczewek piasków pod wpływem drgań wywołanych eksploatacją metra.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Na całej długości trasy, w zasięgu tuneli metra, tj. do głęb. ok. 20 m, można wyróżnić dwa zespoły wód podziemnych, umownie definiowanych jako I i II poziom wodonośny.

I p o z i o m w o d n o ś n y występuje w utworach zlodowacenia środkowopolskiego i tworzy jedną, dwie, rzadziej trzy nieciągłe warstwy lub soczewki śródmorenowych piasków drobno- i średnioziarnistych, niekiedy mułkowatych i pylastych o łącznej miąższości utworów przepuszczalnych od 0,5–1,0 do 7–8 m, najczęściej 3–4 m. Ponieważ górne, a niekiedy i środkowe sekwencje utworów piaszczystych są suche, zwłaszcza na odcinku skarpy, rzeczywista miąższość wodonośca rzadko przekracza 2–3 m. Na pewnych odcinkach brak I poziomu wodonośnego (fig. 2).

Przepuszczalność utworów I poziomu cechuje duże zróżnicowanie, od 1–3 do 18–20 m/d; średnio wynosi 5–12 m/d. Niższe wartości dotyczą soczewek piasków pylastych zailonych, oznaczonych na przekroju odrębną sygnaturą, natomiast wyższe — piasków średnioziarnistych.

I poziom wodonośny leży dość płytko, 1,5–4 m poniżej poziomu terenu tworząc przypowierzchniową warstwę o swobodnym zwierciadle lub nieznacznym ciśnieniu (poniżej 0,5 m). Model taki dominuje m.in. na odcinkach ursynowskich. Często spotykany jest inny układ strukturalny, z występowaniem poziomu śród-

morenowego, jedno-, rzadziej dwuwarstwowego. Cechuje go większe zróżnicowanie głębokości, od 2–3 do 10–12 m, przy czym niższe warstwy zawierają wody pod ciśnieniem nawet do 8 m. Poziom I (górny), przeważnie oddzielony od II poziomu wodonośnego (głównego) gliną zlodowacenia środkowopolskiego, nie ma z nim bezpośredniej łączności hydraulicznej. Z uwagi na niewielką miąższość (do 6–10 m) i spiaszczenia glina nie rozdziela jednak w pełni dwóch poziomów. Sprzyja temu wyższe, nawet o 6–10 m, położenie zwierciadła poziomu I, co szczególnie uwidacznia się między Kabatami a Służewcem. Ponadto w nielicznych miejscach trasy np. na Polu Mokotowskim, przy ul. Ursynowskiej i na małych powierzchniach oba poziomy nawet łączą się ze sobą hydraulicznie, a w Dolince Służewieckiej na odcinku ok. 100 m występuje jeden wspólny poziom wodonośny, o swobodnym, płytkim zwierciadle, nietypowy dla odcinka Kabaty – Trasa Łazienkowska. Strefa ta z poziomem drenażowym ok. 14 m ponad poziomem Wisły ma jednak ograniczony zasięg oddziaływania, nie przekraczający 100 m ku południowi i 250 m ku północy.

Kierunek przepływu wód I poziomu kształtowany jest generalnie przez skarpe wiślana, dlatego też na ogół jest wschodni, prostopadły do trasy metra. Tam gdzie trasa przebiega bliżej skarpy położenie zwierciadła jest niższe i znajduje się 20–26 m ponad poziomem Wisły. Dalej od skarpy, np. na Polu Mokotowskim, zwierciadło ustala się wyżej, nawet do 30–31 m ponad poziomem Wisły i przyjmuje też kierunek południowy, warunkowany tu lokalnie różnymi czynnikami (infiltracja opadów, system kanalizacji miejskiej, eksploatacja wód podziemnych). Stosunkowo wysokie położenie zwierciadła na Polu Mokotowskim wywołane jest zapewne infiltracją opadów atmosferycznych na tej niezabudowanej i pozbawionej systemu kanalizacji miejskiej powierzchni.

Pierwszy dość płytki i odslonięty poziom wodonośny dobrej alimentacji stanowi niewielkie zagrożenie dla prac budowlanych metra, ponieważ na ogół cechuje go niewielka pojemność. Może on jednak stwarzać niebezpieczeństwo jako „kolektor” zanieczyszczeń miejskich do strefy podziemnej, w tym również za pośrednictwem szlaków tunelowych.

II poziom wodonośny występuje przeważnie w piaskach interglacjału mazowieckiego. Stanowi on podstawowy poziom użytkowy dla Warszawy i okolic. Jest to potężny kompleks piaszczysty z wkładkami żwiru, dobrze wykształcony, zwłaszcza w rejonie Służewca, gdzie miąższość jego osiąga 30–40 m. Przepuszczalność występuje on na całej trasie od Kabat do Trasy Łazienkowskiej, z wyjątkiem rejonu stacji A-6, gdzie w strefie płytkiego zalegania glin zwałowych zlodowacenia południowopolskiego (W. Morawski, 1984) ulega redukcji do zaniku włącznie. W Al. Niepodległości jest on słabo rozpoznany i przypuszczalnie cieńszy. Przeważnie jest to poziom naporowy o dużej wydajności (powyżej 50–70 m³/h) i przepuszczalności od 8–10 do 20–30 m/d.

II poziom wodonośny występuje przeważnie na głęb. 12–20 m poniżej powierzchni terenu, co sprawia, że rzadko wchodzi w światło tuneli metra. Zwykle leży on poniżej dna tuneli lub w części dolnej wykopu. Wyżej, stanowiąc już strefę zagrożenia wodnego, pojawia się tylko na stosunkowo krótkich odcinkach, np. ok. 150-metrowym na Polu Mokotowskim (fig. 2) lub ok. 100-metrowym na ul. Madalińskiego. Miejscami nie został on stwierdzony do głęb. 20–25 m, a zatem mógłby być wyłączony z prognoz. Dotyczy to m.in. niewielkich przelotów na Ursynowie oraz w Al. Niepodległości.

Odrębny problem w tej charakterystyce stanowi odcinek Dolinki Służewieckiej, gdzie oba poziomy wodonośne łączą się i na długości ponad 600 m (fig. 2) wchodzi w światło tuneli. Poziom II występuje tu na głęb. od 0,2–1,0 do 8 m poniżej po-

wierzchni terenu, tj. 14–16 m ponad poziomem Wisły i cechują go bardzo dobre parametry hydrogeologiczne. Wydajności pojedynczych studni przekraczają 50 m³/h przy niewielkich depresjach (3–4 m). Jest to najbardziej wodonośny odcinek szlaku metra od Kabat do Trasy Łazienkowskiej.

Kierunek odpływu wód, podobnie jak w poziomie I, jest ogólnie wschodni, prostopadły do trasy metra z lokalnie zaznaczającym się systemem drenażowym Dolinki Służewieckiej. Na odcinku ursynowsko-natolińskim z Dolinką Służewicką włącznie zwierciadło kształtuje się na poziomie 13–15 m ponad poziomem Wisły. Dalej ku północy, już od stacji A-6, ustala się na poziomie 17–19 m ponad poziomem rzeki i ta wartość jest charakterystyczna dla całej dalszej trasy aż do Trasy Łazienkowskiej.

Z uwagi na eksperymentalny charakter odcinka B-11 (doświadczalne drażnienie tuneli systemem tarczowym) niżej podano kilka uzupełniających informacji dla Pola Mokotowskiego. Północną część tego odcinka, o długości ponad 350 m (w rejonie szybu), budują ły zastoiskowe i gliny zwarte z cienkimi tylko soczewkami przewarstwień piaszczystych, które nie powinny stwarzać większych zagrożeń wodnych przy drażnieniu tuneli. Południowa część odcinka B-11, od ul. Batorego do ul. Rakowieckiej, również nie przedstawia szczególnego zagrożenia, mimo obecności powyżej tuneli jednego lub nawet dwóch przewarstwień piaszczystych o miąższości 0,5–4 m, stanowiących I poziom wodonośny. Gliny piaszczyste występujące w spągu tego poziomu nie uchronią tuneli przed przenikaniem z góry wód. Dlatego też, zwłaszcza w początkowym okresie, do czasu zdrenowania wód, szacowanych na ok. 2000 m³ pojemności wodnej tej strefy, należy się liczyć z koniecznością wyprzedzającego odwodnienia terenu robót drażeniowych.

Najtrudniejsze warunki hydrogeologiczne dla budowy tuneli przedstawia środkowa część odcinka B-11, o długości ok. 150 m. II poziom wodonośny, reprezentowany przez piaski średnio- i drobnoziarniste, o miąższości 4–12 m, występuje już na głęb. 5–6 m. Zwierciadło wody stabilizuje się na 2–2,5 m, a zatem dość wysoko. Dodatkowe zagrożenie stwarza I poziom wodonośny, który wprawdzie leży powyżej tuneli, ale w toku ich drażnienia może „przerwać” cienką warstwę gliny piaszczystej. Z szacunkowej oceny (B. Paczyński i in., 1984) wynika, że pojemność utworów wodonośnych tej strefy (obu poziomów) jest znaczna, gdyż przekracza 15 000 m³.

Stany wód podziemnych analizowano dla okresu 1975–1983 na podstawie wskazań piezometrów z północnego odcinka trasy. Porównanie punktów obserwacyjnych innych odcinków wykazało znaczne podobieństwo dynamiki zwierciadła. Wahania sezonowe, od stanów minimalnych w styczniu – lutym do maksymalnych w marcu – kwietniu, przeważnie nie przekraczają 0,6 m, rzadziej 1,0–1,5 m, głównie w okresie wiosenno-roztopowym. Występują również, ale rzadsze minima jesienne we wrześniu – listopadzie i wyjątkowo w czerwcu. Amplitudy wahań w tych okresach są mniejsze, do 0,5 m. Maksima, oprócz wiosennych, zaznaczają się w lipcu – sierpniu lub w styczniu. Zmiany wieloletnie, mniej rozpoznane z uwagi na krótki czas obserwacji, są niewiele wyższe od zmian sezonowych, 1,5–2,0 m. Za przeciętne można uznać lata 1977, 1978, 1980 i 1981, za mokry rok 1979, dość suche lata 1975, 1976 i wybitnie niżówkowe lata 1982 i 1983.

ZAKOŃCZENIE

Wychodząc z określonych założeń konstrukcyjnych metra (R. Petri, B. Żbikowska, 1983; L. Siedlecki i in., 1977), a zwłaszcza szczelności tuneli, użycia sztucznej otuliny piaszczystej na zewnątrz tuneli oraz krótkotrwałego okresu prac budowlanych danego odcinka (1–2 lata) prognozę zmian warunków wodnych można ująć następująco:

1. Tunele metra, mimo że biegą prostopadle do głównego kierunku przepływu wód podziemnych, nie będą stanowić bariery utrudniającej odpływ wód do doliny Wisły. Otulina piaszczysta wokół tuneli jest wystarczającym systemem drenażowym dla restytucji warunków naturalnych. Wyjątek stanowi odcinek Dolinki Służewieckiej, z zatopioną konstrukcją szlaku tunelowego, gdzie może wystąpić niewielkie podpiętrzenie wód.

2. Po zakończeniu budowy metra nastąpi całkowita lub prawie całkowita restytucja pierwotnych warunków hydrodynamicznych, tj. częściowa niezależność obu poziomów wodonośnych.

3. Na niektórych odcinkach może wystąpić intensywniejszy niż pierwotnie przepływ z I poziomu do II poziomu – podstawowego. Stwarza to możliwość uaktywnienia migracji zanieczyszczeń powierzchniowych do II poziomu, użytkowanego dla zaopatrzenia. Należy zatem rozpoznać jakość wód I poziomu, a w strefach występowania takich zagrożeń rozważyć ewentualną rezygnację z zastosowania otuliny piaszczystej.

4. Na całej omawianej trasie metra prace budowlane nie będą wymagały intensywnego drenażu wód podziemnych. Przeważnie obejmą one lokalne zdrenowanie ($R = 20 - 50$ m) mało pojemnego I poziomu wodonośnego. Wyjątek stanowi dość szeroki (600 m) odcinek w strefie Dolinki Służewieckiej, wymagający intensywnego odwodnienia. Wyprzedzające prace drenażowe muszą być również prowadzone na Polu Mokotowskim, a także dalej na południe, do ul. Madalińskiego. Będą to jednak dopływy umiarkowane, rzędu $600 - 700$ m³/d, stabilizujące się po 2–3 miesiącach na poziomie $400 - 500$ m³/d.

5. Zasadniczej poprawy wymaga stan rozpoznania warunków hydrogeologicznych, niewystarczający obecnie dla projektowania systemu drenażowego na odcinkach zagrożonych. Dotyczy to nie tylko fazy budowy, lecz również okresu eksploatacji metra. Badania hydrogeologiczne powinny dostarczyć wiarygodnych danych dla oceny dopływów wód do szlaku tunelowego, a także ewentualnych zagrożeń, wynikających z migracji zanieczyszczeń do strefy konstrukcji metra i użytkowanego II poziomu wodonośnego.

Zakład Hydrogeologii
i Geologii Inżynierskiej
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4

Nadesłano dnia 15 lutego 1985 r.

PIŚMIENNICTWO

- MORAWSKI W. (1984) – Osady wodnomorenowe. Pr. Inst. Geol., 108.
- PACZYŃSKI B., PEREK M., ZAWADZKA M. (1984) – Prognoza zmian warunków gruntowo-wodnych na trasie metra od Kabat do Wawelskiej. Arch. Inst. Geol. Warszawa.
- PETRI R., ŻBIKOWSKA B. (1983) – Aktualizacja planu realizacyjnego II odcinka I etapu metra od ul. Puławskiej do ul. Wawelskiej. ZTE – opinia geotechniczna. Metroprojekt. Warszawa.
- RÜHLE E. (1984) – Badania geologiczne pod kątem budowy metra w Warszawie w latach 1950–1954. Prz. Geol., 32, p. 121–130, nr 3.
- SIEDLECKI L. i in. (1977) – Opinia geotechniczna I odcinka metra. Zadanie I i II. Metroprojekt. Warszawa.

Бронислав ПАЧИНСКИ, Мариан ПЕРЕК

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
СТРОИТЕЛЬСТВА ПЕРВОЙ ЛИНИИ МЕТРО В ВАРШАВЕ НА УЧАСТКЕ
КАБАТЫ – ТРАССА ЛАЗЕНКОВСКАЯ**

Резюме

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия в четвертичных отложениях до 20 м от поверхности, т.е. на глубине туннеля первой линии метро рассматриваются на базе фондовых документальных материалов, в том числе пробных откачек подземных вод. На данном отрезке варшавского метra от Кабаты до Трассы Лазенковской строительство туннеля ведется открытым способом, что облегчает работы по осушению грунта. Щитовой способ строительства (пока только на Поле Мокотовском) потребует более тщательного дренажа фронта работ. В статье приведена качественная оценка инженерно-геологических условий и отмечены два участка, наиболее подверженные оседанию — Долина Служевецка и северная часть Аллеи Неподеглости, где ожидаются обильные притоки подземных вод.

Bronisław PACZYŃSKI, Marian PEREK

**GEOLOGICAL-ENGINEERING AND HYDROGEOLOGICAL PROBLEMS CONNECTED
WITH CONSTRUCTION OF THE FIRST UNDERGROUND LINE IN WARSAW (KABATY –
TRASA ŁAZIENKOWSKA SECTION)**

Summary

Geological-engineering and hydrogeological problems of Quaternary soils occurring down to 20 m from the surface, i.e. in depth range of the constructed tunnels of first line of the underground in Warsaw, are discussed on the basis of unpublished records, including those concerning innumerable test pumpings of groundwater. In the analysed Kabaty – Trasa Łazienkowska section of the line, tunnels are constructed in an open cutting, which markedly facilitates drainage. Works carried out by tunneling by the shield

method (at present in the Pole Mokotowskie area only) will have to be preceded by more careful drainage. The paper presents qualitative evaluation of geological-engineering conditions in the above mentioned section of the line. The hazard of subsidence appears high in two areas – the Dolinka Służewiecka and Al. Niepodległości, where increased inflow of groundwater may be expected.