



PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY

Dyrektor: 849-50-96, Z-cy Dyrektora: 849-49-21, 849-53-26, 849-49-14, 849-53-34, 00-975 Warszawa ul. Rakowiecka 4
Tlx 825541, fax 8495342, centrala 849-53-51, konto bankowe PBK III O/W-wa 370015-3724

ATLAS GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKI WARSZAWY

tem. 2.05.0001.00.0

*Praca finansowana przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej*

Opracowali:

Zespół Państwowego Instytutu Geologicznego

dr Zbigniew Frankowski
prof. dr hab. Józef Bażyński
mgr Rafał Zawadzki
Małgorzata Lewkowicz
inż. Stanisław Smagała

Zespół Instytutu Techniki Budowlanej

prof. dr hab. inż. Lech Wysokiński
mgr Edyta Majer
dr Stanisław Łukasik
mgr Anna Filipowicz
Jolanta Sobiech

Warszawa, marzec 2000 r.

Spis treści

1. Wstęp
2. Cel pracy
3. Zakres pracy
4. Metodyka badań
5. Ogólna charakterystyka geologiczna Warszawy
 - 5.1. Jednostki geomorfologiczne
 - 5.2. Budowa geologiczna
 - 5.3. Warunki hydrogeologiczne
6. Serie geologiczno-inżynierskie
7. Baza danych geologiczno-inżynierskich i narzędzia do jej przetwarzania
8. Charakterystyka warunków geologiczno-inżynierskich
 - 8.1. Opis serii geologiczno-inżynierskich
 - 8.2. Mapy geologiczno-inżynierskie
 - 8.3. Przekroje geologiczno-inżynierskie
 - 8.4. Problemy (strop łąw plioceńskich, procesy geodynamiczne)
9. Charakterystyka warunków hydrogeologicznych
 - 9.1. Wody z utworów czwartorzędowych
 - 9.2. Wody z utworów oligoceńskich
 - 9.3. Chemizm wód podziemnych
10. Podsumowanie
11. Literatura

Spis rycin

- Ryc. 1. Schemat układu warstw informacyjnych wg zasad GIS
- Ryc. 2. Lokalizacja mapy w skali 1:10 000
- Ryc. 3. Mapa dokumentacyjna w skali 1:100 000
- Ryc. 4. Mapy gruntów na 2, 4 i 10m w skali 1:100 000 i 1:10 000
- Ryc. 5. Mapa dominujących gruntów w profilach pionowych w skali 1: 10 000
- Ryc. 6. Mapa stopnia udokumentowania terenu w skali 1:100 000
- Ryc. 7. Mapa najmniejszej stwierdzonej głębokości występowania zwierciadła wody gruntowej 1:10 000 i 1: 100 000

- Ryc. 8. Mapa różnic w głębokości występowania zwierciadła wody gruntowej na poszczególnych polach w skali 1: 10000
- Ryc. 9. Mapa użytkowania terenu (według danych BPRW) 1:10 000 i 1: 100 000 z lokalizacją otworów
- Ryc. 10 i 11 Mapa skażeń geochemicznych oraz Mapa Kwasowości Gleb w skali 1:100 000 (wg danych z Atlasu Geochemicznego Warszawy i okolic 1992)
- Ryc. 12. Mapa głębokości do utworów plioceńskich w skali 1:200 000 i 1:10 000
- Ryc. 13. Mapa stropu utworów plioceńskich w skali 1:200 000 i 1:10 000
- Ryc. 14. Mapa głębokości do wody gruntowej (mapa hydroizobat) w skali 1:200 000 i 1:10 000
- Ryc. 15. Mapa hydroizohips wody gruntowej w skali 1:200 000 i 1:10 000
- Ryc. 16. Mapa dokumentacyjna serii plioceńskiej
- Ryc. 17. Wody poziomu oligoceńskiego. Mapa hydroizohips – 1998 w skali 1:180 000
- Ryc. 18. Wody poziomu oligoceńskiego. Mapa hydroizohips – 1998 – rzut perspektywiczny
- Ryc. 19. Wody poziomu oligoceńskiego. Mapy hydroizohips z lat 1958, 1970, 1992, 1995, 1996, 1997 i 1998
- Ryc. 20. Wody poziomu oligoceńskiego. Mapy różnicowe 1970 – 1958, 1998 – 1970, 1998 – 1958
- Ryc. 21. Mapa gruntów antropogenicznych w skali 1:100 000 i 1:10 000
- Ryc. 22. Mapa gruntów słabych w skali 1:100 000 i 1:10 000
- Ryc. 23. Mapa warunków budowlanych na głębokości 2.0 m w skali 1:100 000 i 1:10 000
- Ryc. 24. – 26 Przekroje geologiczno-inżynierskie

Spis tabel

Tabela 1 Serie geologiczno-inżynierskie

Tabela 2 i 3 Seria nr 1 – Parametry fizyczne i mechaniczne

Tabela 4 Seria nr 3 – Parametry fizyczne

Tabela 5 Seria nr 4 – Parametry fizyczne

Tabela nr 6 i 7 Seria nr 5 – Parametry fizyczne i mechaniczne

Tabela 8 Seria nr 9 – Parametry fizyczne

Tabela 9 i 10 Seria nr 10 – Parametry fizyczne i mechaniczne

Tabela 11 Seria nr 11 – Parametry fizyczne i mechaniczne

Tabela 12 Seria nr 13 – Parametry fizyczne

Tabela 13 i 14 Seria nr 14 – Parametry fizyczne i mechaniczne

Tabela 15 Seria nr 15 – Parametry fizyczne

Tabela 16 i 17 Seria nr 16 – Parametry fizyczne i mechaniczne

Tabela 18 i 19 Seria nr 17 – Parametry fizyczne i mechaniczne

Tabela 20 Seria nr 18 – Parametry fizyczne

Tabela 21 i 22 Seria nr 19 – Parametry fizyczne i mechaniczne

Tabela 23 Seria nr 21 – Parametry fizyczne

Tabela 24 i 25 Seria nr 27 – Parametry fizyczne i mechaniczne

Zał.

ATLASY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE DLA MIAST
Instrukcja wykonywania techniką komputerową

1. Wstęp

Atlas wykonano na zlecenie Ministerstwa Środowiska (umowa nr 47/W-01/FG-go-tx/D z dnia 18 marca 1998 r.). Pracę finansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Opracowanie przygotowano zgodnie z „Kartą informacyjną pracy geologicznej”.

Atlas ma charakter kompleksowy. Oceny warunków geologiczno-inżynierskich dokonano na tle budowy geologicznej i warunków wodnych na podstawie prac terenowych i kartowania geologiczno-inżynierskiego, z uwzględnieniem materiałów archiwalnych. Dotyczą one charakterystyki litologicznej, genetycznej, geomorfologicznej, przy uwzględnieniu właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów do głębokości kilkudziesięciu metrów.

Warunki wodne określono pod kątem ich wpływu na właściwości gruntów, z charakterystyką chemiczną wody gruntowej. Przeprowadzono rejestrację naturalnych procesów geodynamicznych wraz ze sztucznie powstałymi zaburzeniami podczas zagospodarowania terenu. Wyniki prac i badań zestawiono w postaci graficznej i opisowej, na którą składają się mapy dokumentacyjne, strukturalne, hydrogeologiczne, chemizmu wód, mapy analityczne gruntów na różnych głębokościach z wydzieleniami serii geologiczno-inżynierskich, przydatności budowlanej, przekroje geologiczno-inżynierskie, zestawienia, tabele itp. Wszystkie mapy opracowano komputerowo w skali 1:10 000. Dla całej Warszawy poszczególne mapy tematyczne wydrukowano w skalach od 1:100 000 do 1:200 000. W skali 1:10 000 wydrukowano wszystkie mapy tematyczne, jednak tylko dla fragmentu Warszawy w północnej części.

Współwykonawcą atlasu jest zespół z Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie.

2. Cel pracy

Celem pracy było wykonanie atlasu geologiczno-inżynierskiego Warszawy składającego się z części tekstowej i zespołu map tematycznych w skali 1:10 000 techniką komputerową. Opracowany zespół map umożliwia ocenę warunków geologiczno-inżynierskich oraz jest przydatny w planowaniu zagospodarowania przestrzennego.

Warunki wodne określono pod kątem ich wpływu na budowlaną przydatność terenu, z ogólną charakterystyką chemiczną wody gruntowej.

Pierwsza „Mapa geologiczna Warszawy”, składająca się z 5 map tematycznych, została opracowana w okresie międzywojennym przez Z. Sujkowskiego i S.Z. Różyckiego (Sujkowski, Różycki 1937). W latach sześćdziesiątych opracowano „Atlas geologiczny Warszawy” cz. II Mapy geologiczno-inżynierskie (Malinowski, Stamatello 1964). Mapy opracowano w skali 1:20 000. Atlas obejmował obszar miasta o powierzchni około 200 km².

Miasto powiększyło się o nowe dzielnice i obecnie jego powierzchnia wynosi około 500 km². Przygotowane mapy tematyczne obejmują cały obszar miasta wyznaczony przez granice poszczególnych gmin.

Na podstawie doświadczeń zebranych podczas realizacji atlasu opracowano instrukcję sporządzania atlasów geologiczno-inżynierskich dla miast techniką cyfrową.

3. Zakres pracy

Do opracowania atlasu wykorzystano przede wszystkim materiały archiwalne. Podstawowym źródłem danych był bogaty zbiór kart otworów wiertniczych przygotowany przez Warszawskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne. Karty otworów zebrano z dokumentacji geologiczno-inżynierskich i technicznych badań podłoża. Zbiór otworów został przekazany przez Wojewodę Warszawskiego do Archiwum Geologicznego PIG. Lokalizację otworów przedstawiono na podkładach topograficznych w skali 1:2 000. Obszar Warszawy w tej skali podzielono na 1084 arkusze o wymiarach 600 m × 800 m (0.48 km²). Do każdego arkusza dołączona jest teczka z kartami otworów. Liczba otworów dla danego arkusza zmienia się w zależności od zagospodarowania terenu od kilku do ponad trzystu. Do opracowania wykorzystano również otwory wykonane podczas prac dokumentacyjnych w ostatnich latach oraz otwory i sondy odwiercone podczas realizacji tematu w 1998 i 1999 roku. Na terenach miasta bardzo słabo rozpoznanych wykonano 170 otworów do głębokości 10 m (łącznie 1 700 mb) i 1325 sond ręcznych do głębokości 4.0 m (łącznie 5 300 mb). Komputerowe karty otworów wiertniczych i sond przygotowano za pomocą programu GEOTECH i GEOT-KRAJ. Na terenach zabudowanych liczba otworów przypadająca na jeden arkusz często przekraczała 100. W celu uzyskania

bardziej równomiernego pokrycia terenu punktami dokumentacyjnymi przyjęto w niniejszym opracowaniu ograniczenie do 50 punktów na jeden arkusz, tj. na powierzchnię 0.48 km². Wymagana gęstość punktów dokumentacyjnych na 1 km² dla mapy w skali 1:10 000 wynosi w przypadku prostej budowy geologicznej 20, a dla skomplikowanej – 82 (Instrukcja, 1998). Pomimo ograniczenia liczby otworów do 50 na jeden arkusz (0.48 km²) spełnione są wymagania nawet dla skomplikowanej budowy geologicznej. Na terenach niezabudowanych liczba otworów wynosi od kilku do kilkunastu na 1 km².

Grunty występujące w podłożu budowlanym opisano za pomocą serii geologiczno-inżynierskich, w których jako podstawowe kryteria zastosowano litologię i genezę, a jako pomocnicze wiek osadów. Zaproponowano podział na 30 serii, z których 27 stwierdzono w otworach zestawionych w banku danych z obszaru Warszawy. Przedstawiono krótką charakterystykę wydzielonych serii. Najczęściej występujące w podłożu budowlanym serie opisano parametrami fizyczno-mechanicznymi. Zebrane wyniki z różnych badań opracowano statystycznie.

Do lokalizacji otworów wykorzystano mapy sytuacyjno-wysokościowe w skalach 1:2 000 i 1:10 000. Biuro Planowania Rozwoju Warszawy (BPRW) wykonało kalibrację i transformację map w układzie lokalnym warszawskim W-25 – 1084 arkusze map w skali 1:2 000 i 37 map w skali 1:10 000. Przygotowano oprogramowanie do lokalizacji otworów wiertniczych i sond na podkładach topograficznych oraz kodowania informacji. BPRW opracowało również mapę zagospodarowania terenów Warszawy w programie ArcView.

Z ponad 100 000 otworów archiwalnych wyselekcjonowano około 26 000. W każdym z wybranych otworów wydzielono serie litogenetyczne. Również nowo odwiercone otwory opisano za pomocą serii. Do komputerowego banku danych geologiczno-inżynierskich (BDGI) wprowadzono profile otworów archiwalnych i wykonanych podczas realizacji tematu. Opracowano program ProGeo, który umożliwia konwersję różnych danych do BDGI. Wykonano konwersję wszystkich zebranych danych. Sprawdzono wprowadzone dane, naniesiono poprawki i przygotowano do sporządzania map tematycznych. Łącznie w komputerowej bazie zakodowano 27 651 otworów i sond, przy czym zakodowano 161 817 wydzielonych warstw serii.

Do bazy wprowadzono także wyniki laboratoryjnych oznaczeń identyfikacyjnych cech gruntów (wilgotność, konsystencja, uziarnienie gruntów – analizy sitowa i areometryczna) określonych na próbkach pobranych podczas wykonywania uzupełniających wierceń i sond.

Podczas prac terenowych przeprowadzono kartowanie geologiczno-inżynierskie skarpy Warszawskiej z rejestracją procesów geodynamicznych. Na terenach słabiej rozpoznanych zagęszczenie gruntów piaszczystych określono sondą lekką – 73 sondowania, sondą ciężką – 15 sondowań oraz sondą statyczną (CPT) – 45 sondowań.

Sprawdzono przydatność programów GES 97, Spatial Analyst, ArcPress, Vertical Mapper, ArcView, Surfer, GeoStar do opracowania danych zebranych w BDGI. Wykonano mapy próbne.

Przy wykorzystaniu wybranych programów komputerowych opracowano w sposób automatyczny w skali 1:10 000 następujące mapy:

- lokalizacja fragmentu mapy w skali 1:10 000
- dokumentacyjna,
- gruntów na głębokości 2.0 m, 4.0 m i 10.0 m,
- dominujących gruntów w profilach pionowych,
- stopnia udokumentowania terenu,
- najmniejszej stwierdzonej głębokości występowania zwierciadła wody gruntowej,
- różnic w głębokości występowania zwierciadła wody gruntowej na poszczególnych polach,
- użytkowania terenu (wg danych BPRW),
- skażeń geochemicznych,
- kwasowości gleb,
- głębokości do utworów plioceńskich,
- stropu utworów plioceńskich,
- dokumentacyjna serii plioceńskiej,
- głębokości wody gruntowej,
- hydroizohips wody gruntowej,
- hydroizohips poziomu oligoceńskiego w poszczególnych latach,
- różnicowe wód poziomu oligoceńskiego,
- hydroizohips – 1998 poziomu oligoceńskiego – rzut perspektywiczny,
- hydroizohips poziomu oligoceńskiego – 1998 r.,
- gruntów antropogenicznych,
- gruntów słabych,

- warunków budowlanych na głębokości 2.0 m.

Do opracowania dołączono wydruki poszczególnych map w skali 1:100 000 obejmujące całą Warszawę oraz wybranego fragmentu miasta – część obszaru gmin Bielany i Białołęka w skali 1:10 000.

Za pomocą programu GeoStar wydrukowano przekroje geologiczno-inżynierskie.

4. Metodyka badań

Geologiczno-inżynierska ocena warunków inwestycyjnych dla dużych aglomeracji miejskich winna wyprzedzać jakiegokolwiek poczynania inżynierskie. Jest ona niezbędna dla prawidłowego i racjonalnego planowania przestrzennego i projektowania rozbudowy miast, w aspekcie wyboru najdogodniejszych wariantów lokalizacji obiektów inwestycyjnych oraz ogólnego charakteru zagospodarowania i ochrony środowiska. Dla prawidłowej oceny warunków geologiczno-inżynierskich konieczne jest ich kompleksowe rozpoznanie na podstawie terenowych prac i badań kartograficznych oraz materiałów archiwalnych. Korzystając z długoletnich doświadczeń ośrodków badawczych, w tym głównie Państwowego Instytutu Geologicznego oraz Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Uniwersytetu Warszawskiego, przygotowano metodykę wykonywania opracowań geologiczno-inżynierskich obszarów zurbanizowanych, a także zasady i formy ich zestawiania (B. Jakubicz, W. Łodzińska, 1989).

Dotychczasowy sposób zestawiania atlasów geologiczno-inżynierskich na papierowych podkładach topograficznych ograniczał możliwości wykorzystania wszystkich dostępnych danych, gdyż w efekcie takie mapy byłyby przeładowane informacjami, a tym samym nieczytelne.

Biorąc pod uwagę fakt, że środowisko naturalne przedstawia sobą skomplikowany i wzajemnie powiązany system, wszystkie wprowadzane w nim zmiany muszą być szczegółowo obserwowane i badane. W pracach studyjnych i projektowych w zakresie inwestycji na obszarach miejskich konieczne jest więc dysponowanie znaczną liczbą różnych informacji, zarówno dotyczących naturalnych warunków geologiczno-inżynierskich jak również infrastruktury, sposobu użytkowania gruntów, stosunków własnościowych itp., oraz posiadania możliwości różnorodnego przetwarzania tych informacji. Ideę zastosowania modułów i warstw informacyjnych przedstawia ryc. 1. Dla przykładu podano jedynie dwa moduły, zarządzania i geologiczno-inżynierski. W module zarządzania wydzielono warstwy

– podział administracyjny, własność gruntów, kataster, użytkowanie i rezerwa inwestycyjna a w module geologiczno-inżynierskim wydzielono warstwy – grunty podłoża budowlanego, głębokość wody gruntowej, zaopatrzenie w wodę, surowce lokalne i zagrożenia budowlane. W obu tych modułach w miarę potrzeb można utworzyć więcej warstw. W celu uzyskania odpowiedzi na postawione pytania w dowolny sposób można komponować przez nakładanie poszczególne warstwy. Bardziej dokładny podział na moduły: infrastruktury, sozologiczny, wód powierzchniowych, atmosfery został podany w instrukcji (1999). Rejestrowanie i przetwarzanie bogatego materiału informacyjnego za pomocą Systemu Informacji Geograficznej (GIS) umożliwia dokonywanie precyzyjnych, ilościowych i jakościowych analiz współzależności wielu zjawisk, może wykrywać konflikty i wskazywać obszary o optymalnych parametrach dla wykonania określonego zadania.

W latach 1992 – 1996 opracowano w Państwowym Instytucie Geologicznym przy zastosowaniu GIS w formacie PC ARC/INFO oraz „Surfer” mapy geologiczno-inżynierskie dla gmin Warszawa Mokotów i Praga Południe, ocenę warunków inwestycyjnych obszarów na przykładzie aglomeracji Radomia i Lubelskiego Zagłębia Węglowego (Z. Frankowski, B. Jakubicz, J. Żylińska, 1994, Z. Frankowski, J. Żylińska, R. Zawadzki, 1996).

Dla szybkiej i prawidłowej oceny warunków geologiczno-inżynierskich aglomeracji miejskich bardzo ważnym elementem jest baza danych (system informacyjny) zawierająca różne informacje. Jedne z pierwszych baz danych zawierające otwory wiertnicze rozpoczęto opracowywać kilka lat temu za pomocą oprogramowania GEOTECH. Otwory studzienne zostały zebrane w banku HYDRO. Obecnie bazy danych tworzone są w związku z realizacją Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski, Mapy hydrogeologicznej Polski i Mapy geologiczno-gospodarczej Polski w skali 1:50 000. W bazie danych przechowywane są różnorodne dane. Umożliwia ona łatwy dostęp zarówno do map cyfrowych jak i danych opisowych. Posiada ona zatem charakter systemu informacji trójwymiarowych. Ważne jest tworzenie tych baz za pomocą standardowych narzędzi i formatów tabel, aby były otwarte na współpracę z różnym oprogramowaniem aplikacyjnym i zapewniały możliwość wymiany danych z baz prowadzonych przez inne instytucje.

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że wybór GIS dla oceny warunków inwestycyjnych obszarów miejskich okazał się trafny z uwagi na jego liczne zalety takie jak:

- możliwość wprowadzania zbiorów linii, powierzchni, symboli itp. z atrybutami, pod którymi w banku danych zakodowane są dalsze informacje,
- trwałość, dokładność i pewność przechowywania danych,
- prosty sposób aktualizacji i nowelizacji danych,
- łatwość adaptacji istniejących planów, map, itp., bez konieczności sporządzania np. całego planu od początku, co jest konieczne przy stosowaniu dotychczasowych technik,
- dostępność i łatwość wydruku (wprowadzone i opracowane dane mogą być szybko wywołane i wydrukowane na drukarce w formacie zależnym od potrzeb),
- szybkość przetwarzania i dostępu do informacji,
- sporządzanie szczegółowych planów tematycznych oraz odpowiedzi na dowolne pytania (np. które z niezabudowanych działek można wykorzystać pod budowę stacji benzynowej, kto jest właścicielem itd.),
- dowolność skali (dane w bazie są zapisywane w postaci rzeczywistej bez uwzględnienia podziałki i mogą być przedstawione w dowolnej skali zależnie od potrzeb).

We wcześniej przedstawionych opracowaniach warstwy tematyczne powstały przez skanowanie map opracowanych ręcznie przez autora na podkładach papierowych. Podstawą wykonania map tematycznych w atlasie geologiczno-inżynierskim Warszawy był bank danych przygotowany w ramach tematu, w którym zebrano ponad 27 000 otworów wiertniczych z obszaru miasta. Wykorzystując dane zebrane w banku przy pomocy oprogramowania ARC/INFO i SURFER przygotowano różne tematycznie mapy. Poszczególne wydzielania na mapach powstały zgodnie z zasadami wybranego do analizy programu komputerowego. Różnią się więc często kształtem i wielkością powierzchni w porównaniu z wydzieleniami opracowanymi tradycyjnie przez geologa. Wykorzystanie do tego typu analiz programów komputerowych umożliwia wykonanie każdej z map w określony, powtarzalny sposób. W programie wykorzystuje się wybrany algorytm tworzenia wydzieleni. Wydzielenia na mapie są wynikiem przetworzenia danych zebranych w bazie. W komputerowym opracowaniu map nie ma możliwości uwzględnienia danych, które nie są w bazie, jak to jest możliwe w tradycyjnym przygotowaniu map.

Na podstawie wykonanych prac i analiz nasuwają się następujące wnioski ogólne:

- opracowana przy zastosowaniu GIS ocena warunków geologiczno-inżynierskich obszarów miejskich umożliwia w szybki sposób znalezienie odpowiedzi na dowolne pytanie tematyczne,
- zarchiwizowane w GIS materiały geologiczne oraz dotyczące ochrony środowiska i infrastruktury pozwalają na analizowanie różnorodnych informacji przestrzenno-opisowych i wskazanie optymalnego terenu ze względu na zadane parametry,
- celowe jest wykonywanie map, atlasów od początku w GIS, ponieważ umożliwia on gromadzenie różnych danych, ich przetwarzanie i drukowanie w skali zależnej od potrzeb oraz ciągle aktualizowanie informacji o danym terenie.

5. Ogólna charakterystyka geologiczna Warszawy

5.1. Jednostki geomorfologiczne

Warszawa leży w obrębie dwu zasadniczych zespołów geomorfologicznych. Układają się one równolegle do koryta Wisły, która płynie z SSE na NNW. Są to wysoczyzna warszawska oraz tarasy doliny. Rozgraniczeniem jest Skarpa Warszawska, która jest elementem morfologicznym, wyróżniającym się na płaskiej powierzchni równiny mazowieckiej.

Lewobrzeżna część Warszawy to przede wszystkim morenowa, płaska wysoczyzna leżąca na wysokości 110 – 115 m npm.

Tarasy zalewowe Wisły podniesione na odcinku miejskim przez nasypy mają rzędne 83 - 85 m npm. Skarpa Warszawska ma różną wysokość. W rejonie Śródmieścia dochodzi do 115m npm, przy kościele Św. Anny 103 m npm. Dalej w kierunku północnym skarpa obniża się do 93 - 98 m npm. Skarpa jest poprzecinana licznymi wąwozami wyżłobionymi przez okresowe i stałe ciekami wodne.

Iły plioceńskie stanowią w strefie skarpy podłoże utworów okresu lodowcowego. Powierzchnia łąk jest sfałdowana, w niektórych miejscach łąki występują powyżej podnóża skarpy. Na tych odcinkach skarpa ma niewielkie nachylenie.

Obecnie Wisła jest odsunięta od skarpy. Koryto rzeki jest zabezpieczone umocnieniami. Skarpę Warszawską ze względu na wykształcenie jej podstawy można podzielić na trzy odcinki.

Odcinek południowy skarpy (południowa granica miasta – Dolina Służewiecka)

Na tym odcinku górna krawędź skarpy przebiega na wysokości 95 - 110 m npm, a więc wysokość skarpy wynosi od 5 do 18 m. Wysokość tarasu rzeczno-jezernego ma rzędną około 88 - 90 m npm.

Fundament skarpy na tym odcinku stanowią utwory piaszczysto-żwirowe. Skarpę budują gliny zwałowe zlodowacenia środkowopolskiego. Niewielkie dolinki rozcinające skarpe wypełnione są piaskami. Kąty nachylenia skarpy wynoszą od 15-30°, średnio około 24°.

Odcinek centralny skarpy (Dolina Służewiecka – ul. Sanguszkii)

Od Dolinki Służewieckiej wyraźnie na ukształtowanie skarpy wpływa wysokie występowanie stropu ilów plioceńskich. Na tym odcinku strop ilów plioceńskich występuje powyżej poziomu tarasu rzeczno-jezernego. Nachylenie skarpy spada do 12-15°. Występują źródła u podnóża skarpy i jest to rejon o największej aktywności procesów osuwiskowych.

Wysokość skarpy wynosi od 102 do 108 m npm. W rejonie rozcięcia przez trasę W-Z skarpa ma wysokość 25 m (103 m npm). Wysokość tarasu 85 - 87 m npm. Obserwuje się ścisły związek morfologii stropu pliocenu z osuwiskami i obecną powierzchnią skarpy. W miejscach gdzie skarpa zbudowana jest z utworów czwartorzędowych średnie nachylenie wynosi 22-28°.

Na tym odcinku w budowie skarpy istotny udział mają nasypy. Część stanowią śmieci nagromadzone w czasach historycznych (rejon Starego Miasta), a część gruz z okresu zniszczeń wojennych oraz nasypy gruntowe powstałe w wyniku przemodelowania terenu związanego z rozwojem miasta.

Wzdłuż tego odcinka skarpy występują podmokłości i istnieje wiele stref źródliskowych. W niszczeniu skarpy oprócz wód gruntowych, znaczny udział mają również wody powierzchniowe, które nie wszędzie mają uregulowany spływ oraz występujące nieszczelności w sieci kanalizacyjnej i wodociągowej.

Odcinek północny skarpy (ul. Sanguszkii – północna granica miasta)

Odcinek ten wyróżnia się brakiem ilów plioceńskich. Skarpa zbudowana jest głównie przez osady wodnolodowcowe o znacznej miąższości, wykształcone jako piaski, pyły i łył zastoiłkowe. Gliny zwałowe tylko na niewielkich odcinkach wykazują ciągłość. Wysokość skarpy wynosi od 15 do 20 m (95 - 101 m npm). Nachylenie

skarpy jest zmienne od kilku do kilkunastu stopni. Wysokość tarasów przylegających do skarpy od 81 do 85 m npm.

Tę część Skarpy Warszawskiej w wielu miejscach rozcinają dolinki dawnych cieków na ogół znacznie już przekształcone i krótkie wąwozy erozyjne. Skarpa jest generalnie sucha, rzadko występują źródła lub wysięki.

Tarasy

Tarasy na lewym brzegu Wisły występują wąskimi listwami. Taras zalewowy wznosi się 2 - 3 m nad średni stan rzeki a taras nadzalewowy około 5 m.

Warszawa prawobrzeżna leży na tarasach – zalewowym, a w zdecydowanej przewadze na tarasie nadzalewowym. Niskie tereny były często zalewane podczas wysokich stanów wód. Obecnie zabudowane tereny Warszawy chronione są wałami przeciwpowodziowymi, których wysokość obliczona została na wody stuletnie.

Na terenach zabudowanych powierzchnia terenu została przemodelowana a naturalne krawędzie silnie złagodzone lub nawet zlikwidowane.

5.2. Budowa geologiczna

Warszawa leży w centralnej części jednostki geologicznej niecki mazowieckiej. Niecka mazowiecka wypełniona jest utworami kredy, trzeciorzędu i czwartorzędu.

Kreda

Najstarszymi utworami występującymi w podłożu mającymi przede wszystkim znaczenie w zaopatrzeniu w wodę są utwory kredowe. Są to skały osadowe, białe lub szare margle czasem piaszczyste. Strop kredy w centralnej części niecki występuje na głębokości od 260 do 290 m od powierzchni terenu, co odpowiada rzędnym od 160 do 190 m pod poziom morza.

Trzeciorząd

Trzeciorząd w rejonie Warszawy reprezentowany jest przez osady oligocenu, miocenu i pliocenu. W okolicach Warszawy miąższość utworów trzeciorzędowych jest największa i wynosi powyżej 200 m.

Osady oligocenu mają miąższość 50 - 80 m i składają się w przewadze z piasków drobno i średnioziarnistych z glaukonitem. Piaski przewarstwione są rozległymi soczewkami ilów i glin, często występującymi w jego stropie.

Zarówno utwory miocenu jak i oligocenu mają miąższość 50 - 70 m. W budowie ich znaczny udział mają piaski, natomiast przewarstwienia utworów słaboprzepuszczalnych występują częściej w spągu miocenu. Powoduje to, że lokalne wody występujące w oligocenie są izolowane od wód występujących w utworach miocenu.

Charakterystyczną cechą serii miocenijskiej jest występowanie przewarstwień węgla brunatnych. Strop utworów miocenijskich jest bardziej zróżnicowany i występuje na rzędnych od 20 do 80 m pod poziom morza.

Miąższość osadów pliocenu jest bardzo zróżnicowana i wynosi od 25 do przeszło 150 m. Spowodowane jest to erozją stropu utworów trzeciorzędowych podczas zlodowaceń, oraz procesami glacitektonicznymi.

Osady pliocenu to przede wszystkim limniczne ropy zwane pstrymi.

W stropie utworów pliocenijskich często występują warstwy lub soczewki piasków drobnoziarnistych i pyłów. Wśród warstw ilów pliocenijskich sporadycznie występują wkładki węgla brunatnych.

Czwartorzęd

Na osadach pliocenu leżą utwory czwartorzędowe o zmiennych miąższościach. Wg W. Morawskiego (1980) powierzchnia podczwartorzędowa ma pierwotny charakter erozyjny lub egzaracyjny a tylko lokalnie sedymentacyjny w przewadze jednak jest wynikiem procesów glacitektonicznych. To poligeniczne oblicze powierzchni warunkuje, że miąższość osadów czwartorzędowych w rejonie Warszawy zmienia się od 0 na obszarach wychodni glacitektonicznie wyniesionych ilów pliocenu, do 150 m w miejscach głębokich rozcięć erozyjnych stropu pliocenu. W strefach o spokojnej budowie geologicznej miąższość czwartorzędu waha się od 20 do 60 m.

Zgodnie z opisem przedstawionym przez Z. Sarnacką (1992) na obszarze Warszawy występują osady:

- preglacjału,
- zlodowacenia najstarszego,
- interglacjału kromerskiego,
- zlodowacenia południowopolskiego,
- interglacjału mazowieckiego,

- zlodowacenia środkowopolskiego,
- interglacjału eemskiego,
- zlodowacenia północnopolskiego,
- holocen.

Preglacjał

Osady preglacjału nie występują w sposób ciągły. Zostały one stwierdzone w kilku miejscach. Ich maksymalna obecnie poznana miąższość wynosi do 30 m. W spągu osady preglacjału składają się z piasków różnoziarnistych ze żwirami. Charakterystyczne jest występowanie wśród osadów kawałków drzew. Ku górze osady preglacjału stają się bardziej drobnoziarniste. Wykształcone są jako piaski drobne i pyły z zawartością detrytusu roślinnego. Brak ziarn krystalicznych.

Zlodowacenie najstarsze

Osady tego zlodowacenia występują w obniżeniach powierzchni podczwartorzędowej, prawdopodobnie w rynnach lodowcowych gdyż gliny zwałowe od kilku do 40 m miąższości podścielone są piaskami i żwirami wodnolodowcowymi. Badania litologiczno-petrograficzne tego poziomu wykazały, że najniższe gliny różnią się od glin zaliczanych do zlodowacenia południowopolskiego. Lokalnie gliny zwałowe najstarsze są trójdzielne, przewarstwione piaskami i pyłami o miąższościach od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów, co może wskazywać że utwory te osadzały się podczas 3 oscylacji lądolodu.

Interglacjał kromerski

Układ rynien polodowcowych jako pozostałość po najstarszym zlodowaceniu narzucił w dużym stopniu przebieg rzek i ich dolin w interglacjałe kromerskim a przede wszystkim pra-Wisły.

Osady złożone w charakterystycznej sekwencji sedymentacyjnej od żwirów i dobrze wysegregowanych piasków w spągu do piasków drobnych, pyłów i mad w stropie powtarzają się, należą więc do dwóch cykli. Grubość osadów klasycznych interglacjału kromerskiego wynosi od kilkunastu do 50 m.

Zlodowacenie południowopolskie

Na obszarze Warszawy podczas zlodowacenia południowopolskiego zostały osadzone 3 poziomy glin zwałowych. Poszczególne poziomy glin zwałowych mają różne grubości. Na ogół miąższość glin jest duża - dochodzi do kilkudziesięciu metrów. Między nimi występują najczęściej wodnolodowcowe, piaszczysto-żwirowe. Górne osady międzymorenowe reprezentowane są przez pyły i ropy zastoiskowe. Miąższość utworów klastycznych występujących między poszczególnymi poziomami glin zwałowych południowopolskiego zlodowacenia wynosi kilkanaście metrów. Gliny zwałowe i osady klastyczne tego zlodowacenia zachowane zostały przede wszystkim w głębokich dolinach pochodzących z interglacjału kromerskiego. Na uwagę w osadach zlodowacenia południowopolskiego zasługuje występowanie licznych kier osadów trzeciorzędowych.

Interglacjał mazowiecki

Podczas interglacjału mazowieckiego (wielkiego) Wisła wcięła się w rejonie Warszawy i złożyła osady piaszczyste w czterech cyklach sedymentacyjnych rozpoczynających się od żwirów i pospółek a kończących się złożeniem piasków średnich i drobnych.

Zlodowacenie środkowopolskie

W zlodowaceniu tym wyróżnia się osady dwu stadiałów i interstadiału. Na początku pierwszego stadiału (maksymalnego) w wielu dolinach w tym w okolicach Warszawy utworzyły się rozległe rozlewiska, w których osadziły się ropy i pyły zastoiskowe. Są to przede wszystkim ropy warwowe, których miąższość dochodzi do 45 m.

W dolinie Wisły, osady zastoiskowe zostały w dużym stopniu zniszczone podczas następnego okresu interglacjałnego (eemski), podczas którego nastąpiło przemodelowanie jej doliny.

Osady zastoiskowe - ropy warwowe budują często erozyjną zachodnią krawędź doliny Wisły o względnej wysokości 20 - 40 m. W tych zboczach bardzo często występują stosunkowo intensywne zaburzenia glaciektoniczne, które przy większym zawodnieniu wpływają niekorzystnie na stateczność zboczy dolinnych.

Glina zwałowa pierwszego stadiału (mazowieckiego) zlodowacenia środkowopolskiego występuje w zboczu zachodniej krawędzi wysoczyzny stanowiącej granicę doliny Wisły.

Między dwoma stadiałami zlodowacenia środkowopolskiego osadziły się utwory interstadialne (interstadał Pilicy) wykształcone jako seria piaszczysto-żwirowa o maksymalnej miąższości do 10 m. Osady te wypełniają zagłębienia wyerodowane w glinach zwałowych.

W drugim stadiale (mazowiecko-podlaskim) środkowopolskiego zlodowacenia osadziły się również utwory zastoiskowe i lodowcowe. W rynnach erozyjnych w glinach zwałowych poprzedniego stadiału (maksymalnego) powstały osady zastoiskowe ale w odróżnieniu od przewagi iłów warwowych poprzedniego stadiału, są to zwarte ily i piaski pylaste o barwie brązowoczekoladowej o niedużej miąższości nie przekraczającej kilku metrów. Podobnie jak poprzednio opisane utwory, występują one w zachodniej krawędzi doliny Wisły. W samej dolinie Wisły mała miąższość tych osadów spowodowała, że zostały one całkowicie wyerodowane.

Na utworach zastoiskowych leży warstwa piasków wodnolodowcowych. Ma ona miąższość od kilku do kilkunastu metrów. Zostały one stwierdzone na terenie całej Warszawy.

Na wyżej opisanych utworach leży glina zwałowa, piaszczysta barwy brunatnej do brunatnordzawej. Jej miąższość jest nieduża. Zaledwie do kilku metrów.

Interglacjał eemski

Osady interglacjału eemskiego są różne w dolinie Wisły i na obszarze wysoczyzny. Poza doliną Wisły osady eemskie osadzone zostały w rynnach erozyjnych i zagłębieniach bezodpływowych. Wykształcone są jako różne odmiany utworów organicznych. Występowanie eemskich osadów organicznych nie jest jeszcze dokładnie znane.

Podczas interglacjału eemskiego dolina Wisły została znacznie poszerzona do przeszło 10 km a jej wcięcie wynosiło około 40 m. W profilu wyróżnić można 3 sekwencje sedymentacyjne o przewodzie żwirów częściowo z otoczkami o średnicy do 15 cm. Te ostatnie to najczęściej krzemienie i mezozoiczne wapienie. Miąższość żwirów i otoczek występujących w dolinie Wisły wynosi od 15 do powyżej 20 m.

Zlodowacenie północnopolskie

Podczas zlodowacenia północnopolskiego lądolód pokrył północną część Polski nie dochodząc do Warszawy. Z tego okresu nie mamy więc osadów lodowcowych. Zalegający na północ od Warszawy lodowiec utrudniał spływanie wód w kierunku Morza Bałtyckiego. Tworzyły się jeziora zastoiskowe. Największe z nich wypełniało całe eemskie obniżenie doliny Wisły nazwane zastoiskiem warszawskim. Podczas zlodowacenia północnopolskiego osadzały się w nim typowe spoiste, silnie wapniste iły warwowe o barwie czekoladowej, pyły i piaski drobne. Miąższość osadów jest zmienna, w najgłębszych miejscach zastoiska przekracza nieznacznie 10 m.

Pod koniec zlodowacenia, gdy odpływ wód z zastoiska warszawskiego został przywrócony następowały fazy erozji i akumulacji. Osady zastoiska zostały miejscami całkowicie zniszczone i zastąpione rzecznyymi piaskami drobnymi z domieszką żwirów oraz pylasto-piaszczystymi madami o maksymalnej miąższości do 10 m.

Holocen

Pod koniec plejstocenu i w holocenie osadziła się cienka warstwa utworów lessopodobnych, rzadko przekraczająca miąższość 50 cm oraz nieco grubsza (do 2 m miąższości) pokrywa bezstrukturalnych piaszczystych eluwiów.

Na rozległych, płaskich powierzchniach tarasów nadzalewowych występują w wielu miejscach piaski eoliczne, często w postaci wydm.

W holocenie wody powodziowe Wisły utworzyły dolinę o szerokości 4 km. Na najniższych tarasach zostały osadzone piaski, w przewadze drobne a lokalnie z wkładkami żwirów oraz mady o miąższości dochodzącej do 5 m. W starorzeczach powstały torfy o maksymalnej miąższości 2 m.

Obecnie działalność rzeki odbywa się tylko w międzywalu. Podczas stanów powodziowych następuje translokacja osadów korytowych do głębokości 4 - 6 m.

5.3. Warunki hydrogeologiczne

Na terenie i w najbliższej okolicy Warszawy istnieją dwa poziomy wodonośne: czwartorzędowy i trzeciorzędowy. W utworach starszych od trzeciorzędu na głębokości ok. 300 - 2 500 m występuje kilka poziomów z wodami mineralnymi.

Najbardziej eksploatowany jest poziom czwartorzędowy ze względu na stosunkowo małą głębokość występowania (w strefie od kilku do 100 m) i dobrą odnawialność wody. Główny użytkowy poziom wodonośny związany jest na ogół z piaskami interglacjału mazowieckiego o miąższości około 40 m. Poziom ten jest zasobny, przykryty gliną zwałową nie zawsze w sposób ciągły, przeważnie ma dobre warunki zasilania, ale jest także silnie zagrożony zanieczyszczeniami. Odmienne warunki hydrogeologiczne w obrębie tego poziomu pozwalają podzielić obszar Warszawy na dwie części: pradolinę Wisły i obszar wysoczyzny.

W pradolinie utwory czwartorzędowe reprezentowane są głównie przez piaski rzeczne o miąższości zależnej od stropu zalegających pod nimi łań pliocenu. Miąższość ta wynosi od kilku metrów w rejonach wypiętrzenia pliocenu (NE część miasta) do ok. 60 m, co oznacza, że jest to duży zbiornik wód łatwo zasilany przez opady. Wydajności studni wierconych osiągają 50 - 100 m³/h i pod tym względem poziom może być źródłem zaopatrzenia w duże ilości wody. Trzeba jednak podkreślić, że jest to poziom bardzo wrażliwy na zanieczyszczenie ze względu na brak izolacji w stropie.

Wysoczyzna na zachodnim brzegu Wisły charakteryzuje się bardzo zróżnicowaną głębokością występowania i geometrią utworów wodonośnych w osadach czwartorzędu. Warstwy piasków mają strop na głębokości od kilku do ponad 100 m. Wydajności studni wynoszą od kilku, sporadycznie do ponad 50 m³/h, ale istnieją rejony bez utworów wodonośnych. W strefie krawędzi wysoczyzny występują źródła.

Z powyższego wynika, że poziom czwartorzędowy może dostarczać znacznych ilości wody na potrzeby małych odbiorców, w tym lokalnych wodociągów komunalnych. Jednak nie może pokryć zapotrzebowania całego miasta również ze względu na przejawy zanieczyszczenia wód.

Na całym obszarze Warszawy pod osadami czwartorzędowymi występują utwory trzeciorzędowe.

Łą pliocenu o bardzo małej przepuszczalności i miąższości 50 - 120 m. Izolują one głębsze poziomy wodonośne przed wpływem z powierzchni terenu i poziomu czwartorzędowego.

Pod plioceniem w całej Warszawie i okolicy stwierdzono piaski i mułki miocenu o miąższości 20 - 40 m. Tworzą one poziom wodonośny o znacznych wydajnościach (30 - 50 m³/h) z pojedynczego otworu i wysokim ciśnieniu. Użytkowanie wody jest jednak znikome (kilka studni) ze względu na wysoką barwę wody (30 - 600 mg/dm³ Pt), która wiąże się z występowaniem węgla brunatnego, najczęściej w postaci rozproszonej i małych wkładek. Usunięcie barwy jest skomplikowane i drogie.

Pod utworami miocenu występuje oligocen, zazwyczaj w strefie głębokości 180 - 270 m. Są to dobrze uziarnione piaski glaukonitowe pochodzenia morskiego oraz mułki. Od miocenu oddziela je najczęściej warstwa iłów i mułków o miąższości kilku-kilkunastu metrów, a najlepsza do ujmowania wody warstwa piasków ma zazwyczaj miąższość 30 - 40 m. W Warszawie jest to drugi po czwartorzędowym poziomie pod względem zasobów wody i ich użytkowania, ale pod względem jakości wody zajmuje pierwsze miejsce.

Przeszło 100-letnia eksploatacja tego poziomu wywołała głębokie obniżenie zwierciadła wody, które w latach 70-tych przekroczyło granice Warszawy. Nie wywołało to jednak wyraźnych zmian barwy (zagrożenie dopływem wód z miocenu) i chlorków (dopływ wód słonych z kredy).

Pod utworami oligocenu występuje kreda, jura i utwory starsze. Zawierają one wody mineralne typu chlorkowo-sodowego (Cl-Na) o mineralizacji ogólnej od kilku (kreda) do 70 g/dm³ (jura). Korzysta z nich uzdrowisko Konstancin.

Zgodnie z mapą Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w rejonie Warszawy znajdują się następujące zbiorniki (Kleczkowski 1990):

- Część Subniecki Warszawskiej (215A) z utworami wodonośnymi w oligocenie, występującymi na średniej głębokości 180 m, częściowo objęty jest ochroną ONO i OWO,
- Pradolina Środkowej Wisły z utworami wodonośnymi w czwartorzędzie na średniej głębokości 60 m, częściowo objęta jest ochroną ONO i częściowo OWO.

6. Serie geologiczno-inżynierskie

Utwory występujące w obrębie Warszawy podzielono na serie. Do opracowania serii wykorzystano materiały geologiczne, a przede wszystkim opracowania mapowe Z. Sarnackiej 1976, 1980, 1992 i W. Morawskiego 1980. Wydzielone serie geologiczno-inżynierskie umożliwiły zastosowanie programów komputerowych do opracowania różnych map tematycznych. Charakterystykę serii przedstawiono w sposób tabelaryczny.

7. Baza danych geologiczno-inżynierskich i narzędzia do jej przetwarzania

Mapy komputerowe są praktycznym narzędziem wizualizacji wielowymiarowych zbiorów danych geologicznych i geotechnicznych. Stworzenie wiarygodnego obrazu budowy geologicznej podłoża wymaga z jednej strony dobrej znajomości odpowiednich programów, z drugiej posiadania bazy danych geologiczno-inżynierskich.

W roku 1991 został opracowany system o nazwie GEOTECH, do zapisu danych geologiczno-inżynierskich zawartych w archiwach, gromadzący tylko karty otworów. Otwory są zlokalizowane na mapach dokumentacyjnych, które wchodzi w skład banku danych. Jest to system o zamkniętej bazie zarządzania. Zawiera programy, które zapisują wszystkie informacje:

- formalne, w tym: współrzędne lokalizacji, tytuł opracowania skąd pochodzi opis wiercenia, data wykonania wiercenia,
- szczegółowe, w tym: geologiczne, hydrogeologiczne i geotechniczne (stratygrafia i geneza gruntów, poziomy wodonośne, cechy gruntów określone na podstawie analizy makroskopowej, parametry geotechniczne oznaczone na podstawie badań terenowych i laboratoryjnych).

Dane ogólne zapisywane są w formie tekstowej. Natomiast dane szczegółowe przenoszone są do elektronicznej bazy danych z wykorzystaniem słowników kodowania danych. Dane z bazy mogą być udostępniane w postaci graficznego wydruku karty otworu wraz z opisem.

Tworzony w latach 1991-1994 system gromadzenia danych geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych budowano dla systemów operacyjnych w środowisku DOS. Powodowało to wiele problemów przy korzystaniu z bazy. Szczególnie uciążliwe było wykonywanie wydruków (indywidualny sterownik dla drukarki). Podstawowym jednak mankamentem był niestandardowy format danych, uniemożliwiający dalsze ich przekazywanie. Udoskonaloną wersją systemu GEOTECH była baza danych GEOT-KRAJ napisana w Pascalu dla środowiska DOS. Również w przypadku tej bazy nie uzyskano łączności ze standardowymi programami.

Pojawienie się systemów operacyjnych z interfejsem graficznym w środowisku Microsoft Windows sprawiło, że baza danych musiała zostać całkowicie zmieniona. Nowoczesne bazy danych pozwalają w szerokim zakresie śledzić relacje pomiędzy danymi. Aplikacje pozwalające kreślić mapy wymagają otwartej bazy danych o dobrej organizacji tak by można było ją opracowywać na komputerach klasy PC a nie tylko mainframe. Organizacja bazy musi spełniać dwa podstawowe cele – odpowiadać na potrzeby użytkownika oraz udzielać prawidłowych odpowiedzi na podstawie znanych reguł wnioskowania.

Sporządzono zatem program dokonujący konwersji danych zawartych w bazach danych GEOTECH oraz GEOT-KRAJ w sposób umożliwiający korzystanie z nich przez inne programy przy pomocy SQL (Structured Query Language). Program został napisany w języku Delphi jako 32-bitowa aplikacja. Program PRO GEO służy do konwersji baz danych otworów geologicznych, zapisanych pod działaniem programów DOS'owych GEOTECH i GEOT-Kraj. Programy te zapisywały dane w niestandardowych bazach danych, tworzonych i administrowanych tylko przez te programy. Każdy z tych programów tworzył specyficzną tylko dla siebie strukturę.

Program PRO GEO konwertuje dane z obu wymienionych wyżej programów do relacyjnej bazy danych typu dBase. Uzupełnia zawarte tam dane o miąższość warstw. Program jest aplikacja działająca, na platformie Windows napisana w systemie DELPHI (język programowania Pascal, system typu RAD, wbudowane mechanizmy obsługi różnych standardów baz danych). Program posiada wygodny interfejs komunikacji z użytkownikiem. Obsługa programu intuicyjna, z zastosowaniem systemu podpowiedzi. W jednej sesji można przetworzyć kilka "starych" baz do jednej standardowej.

Do łączenia baz utworzonych pod programem PRO GEO opracowano, w tym samym systemie program SUM_BAZ, który zapewnia połączenie dwóch wskazanych baz w jedną z zachowaniem relacji (przystosowanie identyfikatorów wiążących informacje karty otworu z informacjami o warstwach danego otworu). Pozwala ona nie tylko dokonywać konwersji danych ale umożliwia ich selekcję, wprowadzanie nowych rekordów, wydruk poszczególnych wierceń.

Zadanie, które stanęło przed geologiem, twórcą map cyfrowych, było uporządkowanie i analiza profili otworów tworzących około 160 tysięcy rekordów w komputerowym banku danych. Tak wielki zasób informacji i brak wcześniejszego doświadczenia z operowaniem dużymi bazami jak również konieczność weryfikacji danych wywołał potrzebę wyboru właściwego algorytmu ich przetwarzania.

1. KODOWANIE OTWORÓW

Z otworów wybranych z każdego arkusza mapy w skali 1:2000 został utworzony komputerowy bank danych. Objął on 1084 arkusze pokrywające obszar Warszawy. Kodowanie otworów odbywało się w aplikacji systemu DOS przeznaczonej do archiwizacji profili geotechnicznych umożliwiającej również ich wyświetlenie w postaci rysunku w określonej skali.

2. KONWERSJA BAZY DANYCH DO FORMATU dBASE

Wielkość bazy jest wprost proporcjonalna do długości czasu jej analizy stąd należy ekonomicznie zarządzać jej rozmiarem aby uniknąć zbytniego spowolnienia analiz. Stąd, aby umożliwić grupowanie całej bazy w dowolnie kształtowane podzbiory danych np.: poszczególnych dzielnic, całej Warszawy, część lewobrzeżną i prawobrzeżną itd. do realizacji projektu Atlasu Geologiczno-Inżynierskiego Warszawy zgromadzono dane w jednym z ogólnie stosowanych formatów baz danych.

Dzięki tak skonstruowanej bazie można następnie przygotować analizy oraz wykonać mapy do różnych celów. Formatem dość powszechnie wciąż jeszcze stosowanym jest dBASE. Zarchiwizowano bazę w postaci dwóch plików: opisowego do kart otworów oraz dane dotyczące warstw geologiczno-inżynierskich w drugim. Oba zbiory były powiązane indeksami.

3. ŁĄCZENIE BAZ

Grupowanie danych odbywało się w programie konwertującym pliki z DOS-u do dBASE-a lub przy użyciu aplikacji napisanej specjalnie do tego celu. Dzięki niej kolejnym kartom otworów dopisywane były kolejne numery z bazy, a warstwom - tych kart odpowiedniki.

Po połączeniu baz dzielnicami wykonano wydruki kontrolne map dokumentacyjnych w celu weryfikacji lokalizacji punktów oraz określenia stopnia zagęszczenia na poszczególnych arkuszach.

4. ZAMIANA BAZY dBASE DO FORMATU MS ACCESS

Do dokonania dalszej analizy, której najważniejszym celem było sporządzenie map geologicznych na różnych głębokościach, konieczne było użycie jednego z programów umożliwiających bardziej zaawansowane analizy baz danych. Do tego świetnie nadaje się MS Access. Zastosowany algorytm umożliwiał podzielenie

banku danych złożonych z całych profili na podzbiory obejmujące tylko dane do wykreślenia mapy na wybranej głębokości. Dodatkową trudnością, którą należało pokonać była np.: szczególna struktura zapisu warstw kodowanych głębokością spągu lub zakończenie otworu nie oznaczające naturalnej granicy litologicznej między seriami, które początkowo traktowane było błędnie przez komputer jako spąg ostatniej warstwy.

Z punktu widzenia opracowania komputerowego bardzo istotne okazało się przyporządkowanie warstwom numerów serii, gdyż ujednoliciło to opis, a w efekcie umożliwiło jednoznaczne zinterpretowanie granic wydzielań przez komputer.

5. PRZYGOTOWANIE MAP

Do sporządzenia map wynikowych użyto nie jednego, a wielu archiwizujących programów komputerowych (co wyżej omówiono) jak i graficznych działających w formacie wektorowym i generujących warstwy informacyjne w środowisku CAD (Computer Aided Design) oraz GIS (Geographic Information Systems). Wykonanie wydruków map roboczych umożliwiło stwierdzenie, że część wartości opisujących zwierciadło wody jak i wydzielań gruntowych jest błędna. Sprawdzenie i poprawa złych wartości stanowiła najbardziej czasochłonną część analizy dotyczącej bazy danych.

W trakcie prac wiele czasu poświęcono poprawieniu wartości (głębokości do zwierciadła wody, lokalizacji i rodzaju gruntu). W przyszłości przy przetwarzaniu istniejących danych archiwalnych należy odpowiednio zaprojektować harmonogram prac.

Zaproponowana procedura postępowania jest jedną z wielu możliwych, które można zastosować do zarządzania, analizy bazy danych oraz generowania map. W trakcie prac dostrzeżono inne możliwości opracowania bazy jak np.: zamiast czasochłonnych zamian formatów i konwersji zastosowanie połączenia SQL (Structured Query Language) do różnych aplikacji lub relacyjnych baz danych.

Należy zaznaczyć, że do przygotowania map użyto zwykłego komputera klasy PC, z 96 MB RAM oraz 13 GB dysk twardy, wymienione parametry mają decydujące znaczenie przy jednoczesnym przetwarzaniu dużej liczby rekordów.

Do przedstawienia zjawisk zachodzących na powierzchni terenu jak również w podłożu budowlanym zastosowano najczęściej używane w GIS rozwiązania kartografii komputerowej Arc/Info i Surfer. Program Surfer firmy Golden Software Inc. zezwala na tworzenie trójwymiarowych map w układzie x, y i z i służy do kartometrycznej rejestracji i analizy zjawisk zachodzących w przestrzeni i w czasie.

W zastosowaniu do Atlasu Geologiczno–Inżynierskie do Warszawy programy ArcView i Surfer zezwalają na:

- przyjazne dla użytkownika, elastyczne i przejrzyste przedstawianie wchodzących w zakres atlasu zagadnień w układzie trójwymiarowym,
- precyzyjne i powtarzalne odwzorowanie treści map przy zastosowaniu stałego algorytmu ich tworzenia,
- łatwość tworzenia map w dowolnej skali (uzasadnionej gęstością punktów dokumentacyjnych),
- dostosowanie graficznego i kolorystycznego obrazu map do potrzeb uwypuklania najważniejszych zagadnień,
- łatwą analizę związków między treścią poszczególnych warstw tematycznych, przez ich celowy dobór przy nakładaniu i tworzeniu map zmian zachodzących w czasie.

ArcView jest programem zaliczanym do tzw. Systemów Desktop Mapping. Umożliwia on wizualizację, analizę, przeglądanie i zarządzanie informacją przestrzenną. Dane przechowywane są we własnym formacie ArcView, czyli w plikach typu „shape”, w warstwach informacyjnych ARC/INFO oraz w wielu innych formatach. ArcView umożliwia również tworzenie własnej bazy danych przestrzennych. Dane tabelaryczne są przechowywane w popularnych plikach dBase. W ten sposób można prezentować przestrzenne rozmieszczenie danych, zadawać pytania do bazy danych, wykonać zestawienie statystyczne oraz zorganizować dane w sposób przestrzenny. ArcView posiada swój własny, zintegrowany, obiektowy język oprogramowania nazywany Avenue. Narzędzie to można wykorzystywać do automatyzacji pojedynczych procedur, dostosować środowiska ArcView do własnych potrzeb lub do stworzenia własnej, kompletnej aplikacji. Rozszerzenia ArcView są dodatkami do programu, które dostarczają specjalistycznych funkcji GIS. Wewnątrz programu znajduje się kilka standardowych rozszerzeń. Niektóre z nich są dostępne jako osobne produkty np.: wykorzystywany do tworzenia map geologicznych Spatial Analyst.

Spośród różnych sposobów tworzenia map programem Surfer wybrano trzy algorytmy najlepiej odpowiadające charakterowi danych w atlasie: krigingu, najmniejszej krzywizny i potęgi odwrotnych odległości.

Jak to można zauważyć na mapach w skali 1:10 000 rozmieszczenie punktów dokumentacyjnych jest losowe, nieregularne. W większości przypadków do

tworzenia map izoliniowych stosowano metodę krigingu. Uwzględniano jednak sposób rozmieszczenia punktów dokumentacyjnych, a przede wszystkim charakter przedstawianej treści.

Woda gruntowa jako płynne medium ma tendencję do tworzenia łagodnego zwierciadła swobodnego w utworach przepuszczalnych rozległych tarasów Wisły, przy łagodnym spadku generalnie rzecz biorąc do linii drenażu – Wisły. Ponieważ obserwacje zwierciadła wody w otworach wykonano w ostatnich dziesiątkach lat przy różnych stanach Wisły, zaobserwowano pewien rozrzut danych dla punktów położonych nieraz w bliskiej od siebie odległości. Dla złagodzenia różnic w różnoczesowych obserwacjach zwierciadła wód gruntowych zastosowano metodę najmniejszej krzywizny powierzchni.

Zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i innymi czynnikami mają z natury swej charakter punktowy. Zastosowana dla tego przypadku metoda potęgi odwrotnych odległości zezwala na tworzenie map, na których anomalne obszary są zwarte i najbardziej związane z rzeczywistymi wielkościami zanieczyszczeń.

Oprócz komputerowego opracowania map geologiczno-inżynierskich konieczna jest możliwość również komputerowego kreślenia przekrojów geologicznych. Jest to jeden z najtrudniejszych elementów gdyż brak jest dobrego oprogramowania. Założono zatem, że aplikacja kreśląca samodzielnie wybiera otwory według zadanej procedury i kreśli profile geologiczne wg informacji przetworzonej z karty otworu. Przebieg granic warstw wykreślić należy ręcznie. Zadanie to wykonuje się przy pomocy np. programu GeoStar 3. Pakiet ten umożliwia:

- prowadzenie bazy danych otworowych wraz wynikami analiz próbek,
- wykonuje karty otworów,
- nanosi profile geologiczne otworów według zadanych parametrów (wybrane otwory z listy, przekrój wzdłuż prostej),

Bazy danych otworowych zapisywane są w formacie dBase IV co umożliwia ich import przez inne programy. Usunięcie z dysku twardego przy pomocy programu GeoStar bazy wprowadzonych danych fizycznie nie jest możliwe. Baza staje się tylko niewidoczna, na trwałe może być usunięta tylko przy pomocy narzędzi Windows.

8. Charakterystyka warunków geologiczno-inżynierskich

8.1. Opis serii geologiczno-inżynierskich

Charakterystykę poszczególnych serii opracowano na podstawie materiałów zebranych podczas realizacji tematu oraz materiałów archiwalnych dotyczących gruntów występujących na terenie miasta, które są w posiadaniu Państwowego Instytutu Geologicznego i Instytutu Techniki Budowlanej.

Seria nr 1 - Nasypy budowlane, nasypy niebudowlane

Nasypy w Warszawie są bardzo zróżnicowane pod względem składu granulometrycznego i pochodzenia materiału, poza tym grunty te zostały zredeponowane w różnych obszarach miasta w różnym czasie. Nasypy w Warszawie można podzielić na: stare - sprzed II wojny światowej; młode powstałe po II wojnie.

Nasypy młode z powojennych gruzów zalegają w różnych miejscach i mają niekiedy miąższość do 8 - 10 m. Skład ich jest bardzo zmienny od jednorodnych gruzów ceglanych czy betonowych do gruntów, które wybierano z wykopów (gleby, piasków, glin). Nasypy te każdorazowo muszą być dokładnie badane nie tylko wierceniami, ale również szybikami.

Obszar dawnego Starego Miasta i Nowego Miasta ma stare nasypy pochodzące nawet sprzed kilkuset lat, część z nich uległa znacznej kompaktacji. Inną strukturę mają nasypy młode występujące na krawędzi skarpy oraz na Powiślu. Występujące tu nasypy z rozbiórek po wojnie były sypane luźno i nigdy nie były obciążone. Nasypy wzdłuż Wisły na niskim tarasie powstały przez zasypanie gruzem, gruntem z wykopów budowlanych i regulacji Wisły dawnych starorzeczy. W niektórych miejscach można znaleźć nasypy organiczne pochodzące z wywiezionych śmieci i odpadków miejskich.

Duże obszary nasypów stwierdzono w obrębie Śródmieścia Warszawy. Nasypy zalegają warstwami o różnej grubości i różnym zagęszczeniu. Różne jest również ich pochodzenie i skład. Przeważają ogólnie biorąc nasypy młode (po II wojnie), ziemne (gleby), gruz ceglany. Nasypy o składnikach pochodzenia organicznego występują stosunkowo rzadko. Miąższość nasypów przeważnie w granicach 2 - 4 m, lokalnie może dochodzić do 6 - 10 m.

Mniejsze obszary gruntów nasypanych stwierdzono na Pradze. Ich miąższość może dochodzić lokalnie do 4 m.

Doły, glinianki, piaskownie, żwirownie zasypane zostały różnym materiałem i mogą znajdować się na obszarze całego miasta. Nasypy mogą występować także w formie sztucznych form terenowych. Należą do nich stadiony, stare forty, hałdy ziemno-gruzowe, wysypiska miejskie, składowiska popiołów z elektrociepłowni.

Parametry nasypów starych z terenu Starego Miasta:

Tabela 2 Parametry fizyczne

Wartość	w _n [%]	ρ [g/cm ³]	I _{om} [%]	I _L /I _D [-]	f _i [%]	f _r [%]	f _p [%]	f _z [%]
x _{min}	9	1,15	2,4	0,02	3	21	66	2
x _{max}	236,5	1,91	59,5	0,8	9	27	67	3
x _{śr}	40,62	1,59	13,57	0,35	6	24	66,5	2,5
σ	29,4	0,19	10,29	0,23	4,2	4,2	71	0,7
n	133	92	105	12	12	12	12	12

Tabela 3 Parametry mechaniczne

Wartość	Spójność [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego [°]
x _{min}	10	7
x _{max}	40	32
x _{śr}	24,4	16,8
σ	8,6	6,7
n	32	33

gdzie:

- x_{min} – wartość minimalna
- x_{max} – wartość maksymalna
- x_{śr} – wartość średnia
- σ – odchylenie standardowe
- n – liczba oznaczeń

Na terenie Warszawy występują również nasypy budowlane. Są to głównie nasypy dróg kołowych i tras kolejowych. Liczne nasypy budowlane stanowią podłoże fundamentów różnych obiektów.

Seria nr 2 - Gleby

Rodzaj gleby zależy od gruntu występującego w podłożu. Miąższość gleby od 0,1 – 1,0 m, najczęściej 0,2 m. Nie rozróżnia się w opracowaniu rodzaju gleby.

Seria nr 3 - Współczesne aluwia Wisły, aluwia facji korytowej

Utwory niespoiste, w przewodzie piaski średnioziarniste.

Utwory te występują w dolinie Wisły budując taras nadzalewowy i zalewowy. Na tarasie zalewowym wyższym Wisły utwory te występują przeważnie pod warstwą mad. Miąższość ich wynosi około 5 m. Maksymalnie mogą dochodzić do 10 m. Są to piaski drobne, średnie i różnoziarniste z niewielką domieszką żwiru. Do serii tej zaliczono także piaski występujące na wyższych miejscach tarasu zalewowego Wisły i leżące na madach tego tarasu. Są to przeważnie piaski średnie z nielicznymi żwirami. Miąższość ich nie przekracza 2 m. Ich maksymalne rozprzestrzenienie możemy prześledzić na Czerniakowie i Saskiej Kępie. Z utworów tych zbudowany jest także niższy taras zalewowy Wisły oraz liczne kępy i mielizny współczesnego koryta Wisły.

Osady współczesne osadzone przez Wisłę występują w obrębie jej koryta sztucznie ograniczonego wałami przeciwpowodziowymi. Są to piaski średnie i drobne nieraz z niewielką domieszką piasków grubych oraz żwirów i otoczków w spągu warstwy. Ich miąższość wynosi zwykle od 1 – 5 m, leżąc nieraz bezpośrednio na łożach płoceńskich (dolina Wisły w rejonie Bielan i Żerania).

Badania aluwii facji korytowej zostały wykonane przez Państwowy Instytut Geologiczny w 1984 r. z jednostki pływającej. Sondowania sondą lekką oraz wiercenia wykonano do głębokości około 6 – 7 m poniżej dna Wisły. Stwierdzono, że do głębokości 3 – 4 m poniżej dna rzeki piaski średnie są w stanie luźnym, a głębiej średniozagęszczonym ($I_D=0,35 - 0,45$). Występowanie warstwy piasków w stanie luźnym związane jest z przerabianiem własnych aluwii przez rzekę.

W obrębie kęp niskiego tarasu zalewowego w omawianych piaskach występują przewarstwienia mad. Mady to głównie pyły, pyły piaszczyste i piaski gliniaste. Piaski i mady często się zazębiają. Ich miąższość dochodzi do 2 m.

Woda gruntowa występuje na tych obszarach na głębokości 0 – 2 m. Tarasy niskie Wisły są także narażone na wpływ powodzi oraz duże wahania wody gruntowej, które mogą dochodzić do 2 m.

Stan gruntu jest tu zróżnicowany na bardzo małych odcinkach. Powodować to może niekorzystne skutki w postaci różnic osiadań.

Grunty z tej serii, ze względu na dużą zmienność, dla posadowienia budynków wymagają sondowań w mniejszym niż zazwyczaj rozstawie (5 - 10 m.)

Tabela 4 Parametry fizyczne

Wartość	N ₁₀	n _{min} [%]	n _{max} [%]	U	f _p [%]	f _z [%]
x _{min}	1	26,8	39,8	1,2	95,0	0,0
x _{max}	20	30,2	42,3	2,9	100,0	5,0
x _{śr}	6	28,2	40,4	1,7	98,4	0,94
σ	3	1,1	0,95	0,37	1,56	1,06
n	146	19	19	45	53	53

Seria nr 4 - Osady organiczne

Torfy występują w starorzeczach Wisły u podnóża krawędzi wysoczyzny w Wilanowie, przy ul. Idzikowskiego, oraz na odcinku od Powsina po Ursynów, następnie u podnóża krawędzi niższego tarasu nadzalewowego (praskiego) Wisły na Czerniakowie, między Kuligowem a Goćławiem (tzw. Zakole Wawerskie) oraz u podnóża krawędzi wyższego tarasu nadzalewowego (falenickiego) Wisły od Olszynki Grochowskiej do Kanału Markowskiego a także na wyższym tarasie nadzalewowym w rejonie Wólki Zerzeńskiej. Leżą na namułach, piaskach humusowych den dolinnych i starorzeczy, na madach tarasu zalewowego wyższego Wisły oraz na piaskach rzecznych tarasu zalewowego wyższego.

Namuły stwierdzono zarówno w dolinie Wisły jak i na wysoczyźnie. Najczęściej występują na obrzeżach omawianych torfowisk.. Leżą na torfach i piaskach rzecznych.

Mięszość torfów i namułów najczęściej wynosi poniżej 2 m. Lokalnie jak np. w Zakolu Wawerskim może dochodzić do 6 m.

Zwierciadło pierwszego poziomu wody gruntowej występuje na głębokości 0 – 2 m, najczęściej są to tereny podmokłe. Woda występująca na tych obszarach wykazuje agresywność w stosunku do betonu i stali. Ogólnie na obszarach gruntów organicznych warunki geologiczno-inżynierskie zabudowy powierzchniowej są niekorzystne i grunty te nie nadają się do bezpośredniego posadowienia.

Tabela 5 Parametry fizyczne

Wartość	w _n [%]	ρ [g/cm ³]	ρ _s [g/cm ³]	τ _r [kPa]
x _{min}	19,9	0,90	1,31	5,3
x _{max}	401,0	2,15	1,96	43,5
x _{śr}	109,2	1,25	1,53	19,2
σ	87,23	0,31	0,28	8,2
n	61	60	36	58

Seria nr 5 - Mady

Mady rzeki roztokowej (lekkie), mady rzeki meandrującej (ciężkie)

Mady występują na całej niemal powierzchni tarasu zalewowego wyższego o miąższości od 0,5 – 3 m. Największą ich miąższość do 5 m stwierdzono na Gocławiu.

Mady lekkie to głównie pyły, pyły piaszczyste, piaski pylaste i gliniaste oraz gliny piaszczyste. Ich miąższość na ogół nie przekracza 2 m. Występują one głównie w rejonie Kępy Zawadowskiej i Zawad oraz lokalnie na Kępie Tarchomińskiej. Mogą leżeć bezpośrednio na piaskach serii 3, albo na madach ciężkich.

Mady ciężkie tworzą pyły, gliny pylaste, gliny pylaste zwięzłe, łyły i łyły pylaste. Mogą zawierać domieszkę części organicznych. Leżą najczęściej na serii 3, często przykryte madą lekką. Mogą występować także na serii 4 (Saska Kępa).

Grunty te charakteryzują się konsystencją od twar doplastycznej do miękkoplastycznej.

Zwierciadło wody gruntowej występuje najczęściej na głębokości 1 – 4 m i może być nieznacznie napięte.

Warunki geologiczno-inżynierskie na obszarze tej serii można uważać za niekorzystne z uwagi na płytkie zawodnienie, domieszki części organicznych i stany gruntów (pl, mpl).

Tabela 6 Parametry fizyczne

Wartość	w _n [%]	ρ [g/cm ³]	w _L [%]	w _P [%]	I _P	I _L	f _i [%]	f _π [%]	f _p [%]
x _{min}	14,2	1,64	23,3	15,6	8,6	0,05	5	31	1
x _{max}	45,0	2,06	78,7	39,2	56,2	0,82	40	65	27
x _{śr}	32,0	1,82	53,1	24,4	28,3	0,24	27,3	48	17
σ	6,5	0,097	15,4	5,0	12,0	0,13	2,5	5,1	3
n	62	49	54	52	40	43	43	43	43

Tabela 7 Parametry mechaniczne

Wartość	Spójność [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego [°]
x _{min}	10	1,3
x _{max}	100	15
x _{śr}	45	6,8
σ	25	2,8
n	125	125

Seria nr 6 - Deluwia

Są to piaski w dnach dolin drobnych cieków i zagłębień bezodpływowych różnej genezy, deluwialne osady zboczowe.

Osady den dolin drobnych cieków i zagłębień bezodpływowych występują w dolinie Wisły i na wysoczyźnie. Duże obszary ich występowania są wynikiem zatamowania odpływu wód przez wydmy – obszar tarasu kampinoskiego i wysoczyzny.

Tworzą je piaski głównie różnoziarniste, nieraz średnie i drobne, z domieszką humusu i przewarstwieniami pyłów, pyłów piaszczystych, piasków pylastych i gliniastych. Ich miąższość przeważnie nie przekracza 2 m. Sporadycznie mogą dochodzić do 4 m.

Osady wykształcone jako pyły i pyły piaszczyste oraz piaski drobne i średnie występują w stropie osadów serii 11 rynny żoliborskiej. Mogą zawierać przewarstwienia piasków humusowych. Ich miąższość może dochodzić do 4 m.

Deluwialne osady zboczowe występują na niewielkich obszarach w rejonie Młocin i Wólki Węglowej. Są to piaski różnoziarniste, miejscami ze żwirem oraz z przewarstwieniami pyłów. Miąższość osadów u podnóża skarpy może dochodzić do kilku metrów.

Warunki budowlane na obszarze serii 6 można uważać za niekorzystne z uwagi na spadki terenu, płytkie występowanie wody oraz przewarstwienia gruntów pylastych i organicznych.

Seria nr 7 - Piaski eoliczne

Piaski eoliczne występują głównie na tarasach nadzalewowych Wisły. Mogą tworzyć rozległe powierzchnie piasków przewianych o miąższości około 2 m, albo występować w formie wydym gdzie dochodzą do 20 m miąższości. Najwyższe i najrozleglejsze formy wydym występują na tarasie otwockim w rejonie Starej Miłosnej i Rembertowa oraz na tarasie kampinoskim w rejonie Młocin i Wólki Węglowej. Są to dobrze rozwinięte wydmy paraboliczne łączące się nieraz w duże formy o złożonej morfologii. Na tarasie praskim wydmy występują w postaci dość regularnych wałów o przebiegu NW – SE – rejon Henrykowa, Dąbrówki, Żerania.

Pokrywy piasków eolicznych jak i wydym stwierdzono także na znacznych obszarach wysoczyzny. Piaski eoliczne leżą tam często cienką warstwą do 2 m miąższości na różnych osadach. Są one często trudne do rozpoznania i rozdzielenia od utworów piaszczystych innych serii. Utwory eoliczne to przeważnie piaski drobne, rzadziej średnie.

Ze względu na zróżnicowaną morfologię obszarów piasków eolicznych i ich zagęszczenie (często mogą to być piaski luźne) nie są one dobrym podłożem budowlanym.

Liczne sondowania sondą lekką wykazują, że piaski budujące wydmy są średniozagęszczone $I_D \approx 0,4$. Piaski wydymowe w stanie luźnym najczęściej stwierdzano w strefie przypowierzchniowej do głębokości około 2 – 3 m.

Seria nr 8 - Eluvia glin zwałowych, pyły lessopodobne

Eluvia glin zwałowych występują na niewielkich obszarach w obrębie całej wysoczyzny. Największym obszarem ich występowania jest pas ciągnący się od Wólki Węglowej do Młocin na obszarach zdenudowanej skarpy. Są to piaski ze żwirami w górnej części, miejscami dobrze przemyte przeważnie jednak gliniaste lub z domieszką pyłu nieraz z przewarstwieniami lub soczewkami gliny. Na powierzchni mogą występować głazy o średnicy kilkudziesięciu centymetrów. Są to osady bezstrukturalne. Miąższość tej serii zwykle nie przekracza 2 m. Mogą leżeć na osadach różnego wieku i genezy.

Pyły lessopodobne (osady pokrywowe) występują w postaci większych lub mniejszych płatów. Są to pyły, pyły piaszczyste, piaski pylaste i piaski gliniaste. Występują one warstwą o miąższości od 0,5 – 1,5 m. Na osadach tych wytworzyły się bardzo urodzajne gleby. Ze względu na niewielkie miąższości tej serii i występowanie na powierzchni są zwykle usuwane w trakcie wykopów.

Seria nr 9 - Piaski i żwiry rzeczne (a) nadbudowane madami (b), osady rzeczne interglacjału eemskiego (c)

Niższy taras nadzalewowy (praski) Wisły zajmuje rozległą powierzchnię po lewej i prawej stronie Wisły. Budują go przeważnie piaski różnoziarniste z niewielką domieszką żwirów w spągu, nieraz z przewarstwieniami piasków drobnych (a). Mają one miąższość przeważnie 4 – 6 m. Sporadycznie ich miąższość może dochodzić do 10 m a nawet do 15 m. Najczęściej podścielone są osadami interglacjału eemskiego. Mogą jednak leżeć bezpośrednio na utworach lodowcowych a nawet pliocenie. Osady piaszczyste tarasu praskiego mogą być nadbudowane plejstoceniowymi madami (b) o niewielkiej miąższości (0,5 – 1,5 m). Największe płyty mad zaobserwowano od Bródna po Białąkę. Na powierzchni tego tarasu wykształciły się wydmy (patrz seria 7) oraz torfy i namuły torfiaste (patrz seria 4).

Osady rzeczne interglacjału eemskiego (c) występują w dolinie Wisły pod aluwiami tarasów zalewowych i nadzalewowych na głębokości 4 – 10 m ppt, w obrębie dzisiejszej doliny Wisły. Miąższość ich dochodzi do 20 m. Są to przeważnie żwiry z otoczkami i domieszką piasków, przechodzące ku górze w żwiry, pospółki i piaski. Wyróżniają się one od innych osadów rzecznych dużą zawartością

otoczków o dużej średnicy (do 15 cm) głównie krzemieni, wapieni i skał skandynawskich. Spąg ich leży na wysokości 60 – 70 m npm.

Osady piaszczysto–żwirowe występujące od Młocin na północy do terenów AWF na południu należą także prawdopodobnie do osadów eemu. Seria piaszczysto–żwirowa wypełnia tu porzucony odcinek koryta rzecznej tworząc tzw. kopalny taras bielański. Jego piaszczysta część górna (miąższość około 6 m) może stanowić fragment najwyższego tarasu warszawsko–błońskiego Wisły z okresu zlodowacenia północnopolskiego.

Wyższy taras nadzalewowy (falenicki i otwocki) Wisły zachował się tylko we wschodniej części obecnej doliny Wisły. Budują go piaski średnie i drobne z pojedynczymi żwirami w spągu. Miąższość utworów od kilku do 10 m. Miejscami leżą na utworach serii 10. Najczęściej na ich powierzchni występują utwory eoliczne (opis serii 7).

Taras nadzalewowy (kampinoski) Wisły leży na jej lewym brzegu na północ od zdenudowanej skarpy wysoczyzny (Młociny – Wólka Węglowa). Górna część osadów to piaski drobne i średnie z niewielką domieszką żwirów (miąższość 2 – 6 m). Leżą one przeważnie na piaskach średnich i grubych ze żwirami i otoczkami o miąższości 12 – 20 m. Na znacznym obszarze taras kampinoski pokrywają utwory eoliczne.

Wysoczyznę (rejon Wawrzyszewa i Huty Warszawa) pokrywają utwory piaszczyste o miąższości 2 – 6 m. Są to głównie piaski średnie ze żwirami w spągu. Według W. Morawskiego (1980) są to utwory rzeczne zlodowacenia północnopolskiego. Mogą występować na osadach różnego wieku i genezy (serie 11, 14, 16, 17, 18).

Ocenę stanu zagęszczenia utworów aluwialnych przeprowadzono na podstawie wyników badań sondami dynamicznymi lekką i ciężką oraz sondą statyczną. W aluwiach środkowej Wisły osadzonych w holocenie i podczas ostatniego zlodowacenia północnopolskiego stwierdzono występowanie warstw piasków w stanie luźnym najczęściej do głębokości 8 – 10 m, rzadziej głębiej. Miąższość i rozprzestrzenienie warstw piasków luźnych jest bardzo zmienne i jest ściśle związane z procesami sedymentacji osadów rzecznych. Zmienność aluwiów jest tak duża, że dla udokumentowania rozkładu stopnia zagęszczenia w poziomie, odległości między sondowaniami nie powinny przekraczać kilku metrów. Piaski budujące tarasy charakteryzują się zmiennym zagęszczeniem. Generalnie przeważają piaski w stanie średniozagęszczonym ($I_D = 0,35 - 0,55$), a w głębszych partiach tarasów często są zagęszczone.

Tabela 8 Parametry fizyczne – piaski średnie

Wartość	N ₁₀	q _c [MPa]	n _{min} [%]	n _{max} [%]	U	f _z [%]	f _p [%]
x _{min}	1	1,2	27,5	40,6	1,30	0,0	90,5
x _{max}	38	21,6	39,6	53,2	3,11	9,5	100,0
x _{sr}	9	7,4	31,1	43,7	1,81	1,1	98,9
σ	7	6,0	1,6	1,7	0,31	1,7	1,7
n	232	83	122	122	130	125	125

Seria nr 10 - Mułki i ły zastoiskowe

Utwory te stanowią wypełnienie tzw. zastoiska warszawskiego. W ich spągu występują osady rzeczne interglacjału eemskiego. Przykryte są przeważnie piaskami rzecznyymi tarasów (falenickiego i otwockiego).

Osady zastoiskowe wykształcone są w dolnej części w postaci typowych iłó warwowych o grubości warstw kilku centymetrów. Są to naprzemianległe warstewki bardziej ilaste (gliny pylaste i ły) i pylaste (pyły), silnie wapniste, zaś w górnej części w postaci pyłów z przewarstwieniami iłó, piasków pylastych i pyłów piaszczystych.

Zastoisko warszawskie rozprzestrzeniało się najprawdopodobniej w granicach eemskiej doliny Wisły. Jego osady zachowały się jedynie we wschodniej części doliny Wisły (taras falenicki i otwocki) po granice wysoczyzny polodowcowej (zniszczone w części środkowej przez Wisłę). Miąższość osadów zastoiska jest bardzo zmienna. W brzegowych partiach od 0,2 do około 10 m w Zielonce.

Seria 10 to zespół gruntów bardzo zmienny pod względem granulometrycznym. Poszczególne rodzaje gruntów stanowią niewielkie pakiety nawzajem przeławiczone względnie zazębione. Występujące wkładki piaszczyste są często zawodnione. Ich konsystencja jest bardzo zmienna – twardoplastyczna, plastyczna, miękkoplastyczna. Ta budowa serii 10 powoduje, że przepuszczalność ich w kierunku poziomym jest znacznie większa niż w kierunku pionowym. Często zdarza się, że woda występująca pod utworami zastoiskowymi znajduje się pod ciśnieniem. Utwory zastoiskowe są również bardzo wrażliwe na działanie mrozu, przemrożone silnie pęcznią. Należy się także liczyć z ich dość znacznym osiadaniem.

Tabela 9 Parametry fizyczne

Wartość	w _n [%]	ρ [g/cm ³]	w _L [%]	w _P [%]	I _P	I _L	f _i [%]	f _π [%]	f _p [%]
x _{min}	8,9	1,03	23,4	16,5	9,8	0,04	3	48	3
x _{max}	62,4	2,12	86,5	46,2	68,8	0,8	15	88	49
x _{sr}	25,1	1,83	36,8	22,9	20,7	0,38	8,5	70,19	21,3
σ	6,9	0,14	10,3	3,8	8,7	0,21	4	12,01	13,8
n	62	60	67	67	67	67	16	16	16

Tabela 10 Parametry mechaniczne

Wartość	Spójność [MPa]	Kąt tarcia wewnętrznego [°]
x_{\min}	0,01	2
x_{\max}	0,08	14
$x_{\text{śr}}$	0,038	7,8
σ	0,016	2,9
n	41	41

Seria 11 - Interglacialne osady jeziorne (eem) - „Rynna Żoliborska”

Głęboka rynna, której przebieg można prześledzić na odcinku ok. 12 km na całym terenie Warszawy (od Wawrzyszewa - przez Żoliborz, Wolę, Szczęśliwice, Lotnisko Okęcie, aż po Pyry o szerokości 250 m do ok. 750 m i głębokości od kilkunastu do max ok. 30 m) jest zwana w Warszawie Rynną Żoliborską.

Ogólny schemat sedymentacji w jeziorze żoliborskim choć zróżnicowany w poszczególnych jego częściach przedstawia się następująco: w spągu zwykle występują mułki, ily i piaski częściowo zapewne należące już do interglacjału eemskiego, wyżej występują łupki bitumiczne i gytie łupkowate wypełniające miejsca najgłębsze. Główna część profilu to gytie ku górze bardziej gąbczaste, jaśniejsze, silniej węglanowe przechodzące nieraz w kredę jeziorną. Torfy zwykle występują płatami w górnej części profilów. Osady organiczne przykryte są serią piaszczysto-mułkową, miejscami z detrytusem roślinnym. Położenie spągu organicznych osadów jeziornych waha się przeważnie w granicach 80 - 95 m n.p.m., natomiast ich strop leży do wysokości około 105 m n.p.m.

Omawiana rynna ma generalnie przebieg północ - południe. Dobrze rozpoznana jest na Żoliborzu w okolicach Pl. Wilsona, wzdłuż ul. Okopowej, w okolicach Dworca Zachodniego, na Szczęśliwicach, Rakowcu. Poza zwartą formą rynny tego samego wieku są również pojedyncze formy zamknięte, tworzące niekiedy skupiska. Występują one w skrajnych częściach rynny na Wawrzyszewie (na północy) oraz Dawidach, Pyrach (na południu). Stwierdzono także zachodnią odnogę rynny biegnącą przez Moczydło do cmentarza prawosławnego na Woli, przez stację kolejową Odolany w kierunku Włoch. W zachodniej odnodze rynny miąższości gruntów organicznych są mniejsze do 10 m.

Osady Rynny Żoliborskiej charakteryzują się znacznym udziałem części organicznych; są to gytie, kredy jeziorne, łupki bitumiczne, pyły próchniczne, namuły - piaszczyste, pylaste i ilaste oraz torfy i piaski humusowe.

Stropowa część eemskich osadów organicznych w obszarze występowania torfów i przy brzegach zbiornika rozcięta jest szczelinami zmarzlinowymi, które wypełnione są wymieszanymi osadami ze ścian szczelin i piaskami. Taka duża

zmienność osadów powoduje, że opisy tych samych utworów na profilach wierceń u różnych autorów są bardzo różne. Gytie np. są opisywane często jako: pyły, muły, gliny jeziorne, gliny pylaste. Część osadów jeziornych serii 11 opisywana jest jako osady zastoiskowe. Często stropowa część serii (kliny mrozowe) opisywana jest jako utwory lodowcowe (piaski gliniaste).

Ze względu na znaczne skonsolidowanie utworów budujących rynnę (w tym torfów) możliwe jest posadowienie budynków bezpośrednio. Budynki o większym obciążeniu na podłoże i większej wrażliwości na nierównomierne osiadanie wymagają posadowienia pośredniego (np. na palach).

Zagrożenia i zniszczenia budynków, związane z dużymi osiadaniami, występują zwykle w budynkach zlokalizowanych na stokach rynny, gdy część obiektu jest zlokalizowana w rynnie, a część na wysoczyźnie. Budynki posadowione tylko w rynnie wykazują zwiększone osiadania, nawet 10 - 12 cm.

Zmienność profili wierceń jest bardzo duża na niewielkich odcinkach. Rozpoznanie dla potrzeb posadowienia należy prowadzić z użyciem sondowań. Dobre rezultaty dają sondowania statyczne. Analiza wyników badań laboratoryjnych z pobranych próbek z rynny na odcinku Wolskim i Szczęśliwickim (nowe budowy) wskazuje, że analizowany zbiór ponad 100 badań pobranych nierównomiernie (większość z góry profilu) charakteryzująca utwory rynny to: 42% namuły w większości pylaste z zawartością części organicznych ok. 12%; 17% profilu to gytie z zawartością części organicznych 23,5 - 52,2%, średnio ok. 30%; 8% to torfy z zawartością części organicznych ok. 60 - 90%, średnio 79,5%. Pozostała część profilu - 33%, to grunty mineralne z domieszką humusu (lub nawet bez niego), głównie gliny pylaste, pyły, niekiedy piaski drobnoziarniste.

Ze względu na małe zbiory próbek podajemy jedynie wartości średnie i liczbę badań.

Tabela 11 Parametry fizyczne i mechaniczne gruntów

Wartość	w_n [%]	ρ [g/cm ³]	I_{om} [%]	I_L	ϕ [°]	c [kPa]	E [MPa]	
Nm, Nm _π	x _{śr} n	72,6 12	1,56 12	12 12	0,36 8	14 6	40 6	4,7 12
Gy	x _{śr} n	102 10	1,26 -	90,2	- -	7 20	30 20	- -
T	x _{śr} n	318 8	1,04 -	79,5 9	- -	- -	- -	- -
G _π , π, G _{π+H} , P _d , Π _p , I _{π+H}	x _{śr} n	17,1 -	- -	2,5 14	- -	- -	- -	- -

Seria 12 - Osady zastoiskowe górne

Płaty o niewielkiej miąższości i rozprzestrzenieniu, występujące na piaskach górnych związanych z serią 14. Osady te wydzielono ze względu na następstwo warstw. Mają małe rozprzestrzenienie i znaczenie.

Seria 13 - Piaski wodnolodowcowe górne

Do poziomu tego zaliczono piaski głównie drobne, rzadko z drobnym żwirkiem, nieraz mułkowate, występujące głównie w rejonie między Włochami a Opaczą oraz w bardzo niewielkich izolowanych płatach na terenie Woli, Śródmieścia i Żoliborza. Występują one warstwą o miąższości do paru metrów, nieraz poniżej 2 metrów na glinie zwałowej serii 14.

Nieliczne wyniki badań tych utworów zawiera tabela 12.

Tabela 12 Parametry fizyczne

Wartość	I_D [-]	f_{π} [%]	f_p [%]	f_z [%]
x_{min}	0,1	1	35	0,1
x_{max}	0,7	59	100	0,7
$x_{\bar{s}}$	0,55	18,5	90,5	0,55
σ	0,16	274	19,1	0,16
n	22	12	11	22

$\phi = 32; n = 3$

Seria 14 - Gлина zwałowa zlodowacenia Warty

Gлина zwałowa zlodowacenia Warty, jest najwyższym ogniwem kompleksu utworów lodowcowych na terenie Warszawy. Gлина ta nie tworzy ciągłej pokrywy, występuje w postaci odosobnionych płatów o różnej powierzchni i niewielkiej miąższości, rzadko przekraczającej 3 ÷ 4 m.

Wydzielenie tej serii jest bardzo utrudnione. Na obszarach zwartej zabudowy, cienka jej warstwa przypowierzchniowa jest często zniszczona i przemieszana z nasypami, a przy małej miąższości tej gliny łatwo jest uznać ją za eluwia serii 17 albo pokrywę pyłową (seria 8). Często zamiast gliny występują piaszczyste i żwirowo-piaszczyste rezidua. Większą miąższość, sięgającą 10 m gлина ta osiąga jedynie na Ochocie i w rejonie ul. Chłodnej.

Wykształcona jest najczęściej jako gлина silnie piaszczysta, barwy brązowej do żółto-brązowej, czasem z odcieniem rdzawym, z nieznaczną zawartością materiału żwirowego i prawie zupełnym brakiem dużych głazów. Często występuje również bezpośrednio na powierzchni starszych poziomów glacialnych lub łańcuch plicyocenijskich, przy czym zawsze wówczas w jej spągu występuje bardzo wyraźna

powierzchnia wyrównania (ścięcia). Praktycznie zawsze leży poziomo, wyrównując często nierówności podłoża.

Miejscami glina ta podścielona jest zmiennej miąższości piaszczystymi i mułkowo-piaszczystymi, czasem z domieszką żwiru osadami zastoiskowymi i fluwioglacjalnymi. W stropie tej serii pojawiają się czasem żwiry (seria 13).

Na odcinku żoliborskim oraz miejscami na Starym Mieście i Mokotowie seria 14 odgrywa dużą rolę w budowie skarpy i obszarów bliskich dolinie Wisły. Na pozostałym obszarze w strefie skarpy pojawia się rzadziej i występowanie jej ograniczone jest do lokalnych niewielkich na ogół obniżeń w powierzchni podłoża.

Miejscami w stropie gliny zwałowej lub na jej reziduach pojawia się niewielkiej miąższości (do 5 m, rzadko więcej) pokrywa osadów piaszczystych i mułkowych (seria 15). Odpowiadają one tzw. górnym osadom wodnolodowcowym wiązany z recesją lądolodu.

Gliny zlodowacenia Warty ze względu na dużą dynamikę procesów, które formowały grunty tego zlodowacenia (wielokrotne zmiany czoła lodowca) mogą być silnie niejednorodne. Charakterystyka granulometryczna serii 14 wykazuje zmienną zawartość frakcji ilastej. W ogólnej masie tej serii przeważają gliny piaszczyste, przy znacznym udziale piasków gliniastych.

Wartości z zestawionych badań laboratoryjnych przedstawiono poniżej.

Tabela 13 Parametry fizyczne

Wartość	w _n [%]	ρ [g/cm ³]	w _L [%]	w _P [%]	I _P	I _L	f _i [%]	f _π [%]	f _p [%]
x _{min}	7,24	1,43	10,1	9,2	2,69	0,0	2	2	7
x _{max}	26,6	2,24	53,1	23,6	29,47	0,79	30	67	98
x _{sr}	14,1	2,09	24,1	11,7	12,27	0,26	10,1	23,2	64,4
σ	2,8	0,09	4,7	1,58	5,33	0,14	5	9,5	11,8
n	367	206	246	249	125	466	95	97	97

Tabela 14 Parametry mechaniczne

Wartość	Spójność [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego [°]
x _{min}	9	2
x _{max}	90	42
x _{sr}	37,7	13
σ	19	7,7
n	220	259

Seria 15 - Piaski wodnolodowcowe dolne

Cały niemal obszar Warszawy poza tarasami Wisły pokryty jest poziomem piaszczystym z niewielką domieszką żwirów o charakterze wodnolodowcowym. Miejscami osady te stają się drobniejsze lub zazębiają się z osadami o charakterze zastoiskowym. Na pewnych obszarach, szczególnie w pasie Wawrzyszew -

Bemowo i dalej w kierunku Pruszkowa osady te mają miejscami charakter erozyjny z poziomem gruboziarnistym w spągu (np. na obszarze lotniska Bemowo). Omawiany poziom piaszczysty, choć powszechnie występujący, ma bardzo małą miąższość (zwykle najwyżej paru metrów) i jest w górnej części silnie zwietrzały i zmieniony procesami mrozowymi.

Na terenie Woli występują znaczne miąższości utworów piaszczystych, które zostały wydzielone jako seria 15. Normalnie miąższość tej serii nie przekracza 10 m. Ta duża miąższość może być spowodowana obecnością utworów piaszczystych wypełniających obniżenia w serii 17. Są to prawdopodobnie utwory interstadiu pilickiego – nie jest on uwzględniony w seriach. Miejscami osady tej serii stają się drobniejsze lub zazębiają się z osadami o charakterze zastoiskowym.

Przewarstwienia piasków pylastych o niewielkich miąższościach (do około 0,5 m) występujących w serii nr 15 zaliczono do tej serii. Piaski pylaste o miąższościach > 1 m (poza strefą serii 8) i zalegające na większych obszarach zaliczono do serii 16.

Jeżeli przypowierzchniowe utwory pylaste (seria 8) na obszarze serii 15 występowały sporadycznie, to zaliczono je do tej serii.

Piaski te charakteryzują się składem granulometrycznym wskazującym na dobre wysortowanie. Ustalony na podstawie badań laboratoryjnych i sondowań stopień zagęszczenia wykazuje stan bliski stanowi zagęszczonemu. Zatem piaski te są bardzo dobrym podłożem pod obiekty budowlane.

Tabela 15 Parametry fizyczne

Wartość	I_D [-]	f_π [%]	f_p [%]	f_z [%]
x_{min}	0,2	0	10	1
x_{max}	1,0	81	100	28
x_{sr}	0,8	5,2	94,8	5,6
σ	0,13	11,4	11,1	7,7
n	127	50	88	28

Seria 16 - Osady zastoiskowe dolne

Piaski i ły zastoiskowe

Osady te o miąższości kilku do kilkunastu metrów wykształcone przeważnie w postaci szarych mułków, rzadziej piasków drobnoziarnistych i mułkowatych a nieraz łów warwowych o barwach od ciemnoszarych do popielatych, występują na powierzchni terenu przeważnie niewielkimi płatami na obszarze tzw. guza warszawskiego, to jest w obrębie zdenudowanej wysoczyzny, a także na przyległych, wysoko położonych obszarach tarasu warszawsko-błońskiego, np. w

rejonie Huty Warszawa, w Piastowie, Ursusie, Opaczy. W obrębie zdenudowanej wysoczyzny osady zastoiskowe zwykle przykryte są cienką warstwą gliny zwałowej. Tam, gdzie erozja sięgnęła głębiej, osady te leżą cienką warstwą na starszych glinach zwałowych (m/g), np. na Rakowcu. W wielu miejscach ility warwowe tego poziomu były - szczególnie w okresie międzywojennym - intensywnie eksploatowane.

Ze względu na znaczne rozpowszechnienie są liczne badania laboratoryjne tych utworów.

Tabela 16 Parametry fizyczne

Wartość	w _n [%]	ρ [g/cm ³]	w _L [%]	w _P [%]	I _P	I _L	f _i [%]	f _π [%]	f _p [%]
x _{min}	9,8	1,63	18,1	10,2	3,9	-0,32	2	1	1
x _{max}	43,1	2,20	99,1	32,6	71	0,67	71	79	100
x _{śr}	25,2	1,95	43,13	19,4	23,2	0,25	21	42,6	42,2
σ	7,6	0,1	16,75	5,28	12,2	0,19	14,1	26,5	36,4
n	77	64	49	49	45	152	37	46	47

Tabela 17 Parametry mechaniczne

Wartość	Spójność [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego [°]
x _{min}	2	1
x _{max}	85	38
x _{śr}	45,7	12,5
σ	22,2	8,1
n	75	104

Seria 17 - Gliny zlodowacenia Odry

Glina zwałowa występuje powszechnie, tworząc w dzielnicach zachodnich i południowo-zachodnich ciągłą pokrywą o miąższości od kilku do kilkunastu metrów. Jest ona tu podścielona grubą (10 ÷ 20 m, czasem więcej) serią piaszczystych i mułkowatych osadów zastoiskowych serii 19 i fluwioglacjalnych serii 18, w niższych partiach być może rzecznych serii 20. Na obszarze wypiętrzeń podłoża plioceńskiego glina ta nie tworzy już pokrywy ciągłej, ale występuje też bardzo powszechnie. Najczęściej leży tu na ściętej powierzchni osadów starszych, niekiedy wyrównując nierówności podłoża. Glina ta wraz z utworami podścielającymi jest często zaburzona glacitektonicznie i wtedy miąższość jej może osiągać nawet 40 przy średniej 15 - 20 m.

W kilku punktach Warszawy gliny tego zlodowacenia, wraz z podścielającymi je osadami zastoiskowymi pojawiają się na bliskim przedpolu skarpy.

Glina zwałowa zlodowacenia Odry nie tworzy pokładu jednorodnego. Obok glin zwałowych typowych, wielki udział przypada glinom spływowym oraz warstwowanym piaskom, żwirom, mułkom i iłom towarzyszącym sedymentacji

lodowcowej. Na podobną genezę wskazują niektóre profile z różnych części miasta, cechujące się wielką ilością nieregularnych wkładek piaszczystych i mułkowo-piaszczystych (np. rejon Zamku Królewskiego).

Częstym zjawiskiem w glinach zwałowych zlodowacenia Odry jest obecność kier łąw plioceńskich. Niektóre z nich pochodzą niewątpliwie z egzaracji lodowca, inne natomiast traktować chyba można jako wyciśnięte z podłoża.

W wielu obszarach Warszawy glina zwałowa zlodowacenia Odry pokryta jest piaszczystymi reziduumi lub trudną do rozdzielenia serią 14 i tworzy współczesną powierzchnię terenu.

Wyniki badań laboratoryjnych podaje tabela 18.

Tabela 18 Parametry fizyczne

Wartość	w _n [%]	ρ [g/cm ³]	w _L [%]	w _P [%]	I _P	I _L	f _i [%]	f _π [%]	f _p [%]
x _{min}	7	1,78	17	9,4	3,29	-0,71	4	1	42
x _{max}	98	2,26	46,3	16,5	31,44	0,45	51	49	99
x _{śr}	13,75	2,11	23,36	10,91	12,5	0,15	13,9	21,2	65,5
σ	6,99	0,11	4,83	1,26	4,53	0,16	7,7	9,4	11,4
n	190	53	73	73	58	275	36	38	38

Tabela 19 Parametry mechaniczne

Wartość	Spójność [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego [°]
x _{min}	5	2,2
x _{max}	170	32
x _{śr}	54	17,4
σ	32	6,6
n	116	120

Seria 18 - Osady wodnolodowcowe i rzeczne

Piaski i żwiry wodnolodowcowe

Piaski te występują w odsłonięciach w zachodniej części skarpy tarasu warszawsko-błońskiego. Występują tu bezpośrednio pod reziduumi gliny zwałowej serii 17, która miejscami zachowała się w spągu serii rezydualnej. Są to piaski drobne i średnie warstwowane poziomo lub skośnie nieraz z warstewkami żwiru i pojedynczymi otoczakami. W profilach wierceń występują raczej sporadycznie jako poziom leżący bezpośrednio pod gliną zwałową serii 17.

Nieliczne badania tej serii z racji małego jej rozprzestrzenienia podaje tabela 20.

Tabela 20 Parametry fizyczne

Wartość	I _D [-]	f _π [%]	f _p [%]	f _z [%]
x _{min}	0,2	2	87	8
x _{max}	0,8	4	98	9
x _{śr}	0,64	3	91,25	8,7
σ	0,15	1	4,8	0,6
n	16	3	4	3

Stopień zagęszczenia określono na podstawie sondowań dynamicznych.

Seria 19 - Osady zastoiskowe

Seria ta podzielona jest na górną i dolną.

Dolna część osadów zastoiskowych pochodzących zapewne z transgresji zlodowacenia środkowopolskiego Odry jest piaszczysto-mułkowa, może być częściowo pochodzenia wodnolodowcowego szczególnie w spągowej części, jak również w obrębie głębokich rozcięć erozyjnych. Na powierzchni osady te w postaci piasków mułkowatych występują w zdenudowanej skarpie tarasu warszawsko-łódzkiego w rejonie Wólki Węglowej. W licznych profilach wiertniczych osady zastoiskowe występują w postaci ciągłego poziomu lub w postaci izolowanych płatów przeważnie bezpośrednio pod zwartym poziomem gliny zwałowej (seria 17). Najbardziej charakterystyczną formą występowania omawianych osadów jest wypełnienie głębokich rozcięć erozyjnych.

Górna część osadów zastoiskowych to ropy i mułki warwowe, lokalnie o kilkumetrowej miąższości. Na przykład na Okęciu stwierdzono typowe ropy warwowe o miąższości 18 m. Warwy ilaste są ciemnoszare, przy czym co pewien czas występują cienkie warwy ropy czarnej. Warwy mułkowo-pylaste są jasnopopielate.

W rejonie Służewa - Natolina występują soczewki ropy warwowych w postaci kier w spągu serii gliny zwałowej serii 17. Można przypuszczać, że teren miasta był wówczas wyniesiony i osady zastoiska go nie pokryły całkowicie - zapewne częściowo stanowił wypię, stąd utwory te nie stanowią ciągłej pokrywy.

Miąższość tej serii osiąga 50 m. Materiał drobnoziarnisty podobny jest do facji piasków z ropy pstrych i bywa z nimi niekiedy mylony.

Wyniki badań laboratoryjnych serii 19 zawierają tabele 21 i 22.

Tabela 21 Parametry fizyczne

Wartość	w_n [%]	ρ [g/cm ³]	w_L [%]	w_P [%]	I_P	I_L	f_i [%]	f_π [%]	f_p [%]
x_{min}	18,3	-	35,8	13,6	17,6	0	23	5	19
x_{max}	27,2	-	43,1	18,2	29,5	0,7	32	49	95
x_{sr}	20,4	2,18	39,4	16,5	22,9	0,19	29	28	53,4
σ	3,1	-	2,6	1,6	4	0,19	5,2	21,3	37,8
n	7	-	6	6	6	25	5	5	5

Tabela 22 Parametry mechaniczne

Wartość	Spójność [kPa]	Kąt tarcia wewnętrzny [°]
x_{min}	20	5
x_{max}	69	28
x_{sr}	38,4	15,2
σ	20	6,1
n	7	11

Seria 20 - Osady rzeczne interglacjału wielkiego

Są to piaski i żwiry z głazami, rzeczne. Przypuszczalne osady rzeczne interglacjału mazowieckiego występują w dwóch obszarach: W rejonie Ursus - Włochy łączącym się z poziomem piaszczysto-żwirowym opisanym poniżej (szerokość tej formy na linii przekroju E-K wynosi około 1 km); na obszarze tarasu praskiego, gdzie są to osady piaszczysto-żwirowe występujące prawdopodobnie w dwóch niepełnych cyklach sedymentacyjnych o łącznej miąższości kilkunastu metrów (Tarchomin). Osady te leżą na glinie zwałowej zlodowacenia południowopolskiego lub bezpośrednio na osadach plioceńskich, zwykle w zagłębieniach stanowiących być może fragmenty koryta rzecznego. Strop ich jest ścięty na wysokości około 65 - 70 m npm i przykryty osadami młodszych tarasów Wisły lub cienką warstwą rezydium po glinie zwałowej Odry (seria 17).

Miąższość tych osadów, tam gdzie występują, wynosi kilkanaście metrów

Seria 21 - Gliny zwałowe starsze

Do poziomu tego zaliczono gliny starsze od głównego zwartego poziomu morenowego stanowiącego poziom przewodni na całym obszarze Warszawy, a zinterpretowanego jako zlodowacenie środkowopolskie Odry. Omawiana seria glin zwałowych może więc w swej spągowej partii obejmować również glinę zlodowacenia najstarszego obserwowaną na obszarach sąsiednich (Sarnacka, 1978). Na dwudzielność glin starszych od zlodowacenia środkowopolskiego na terenie Warszawy zwracali uwagę liczni geolodzy.

Omawiana seria glin zwałowych zlodowaceń południowopolskich występuje we wspomnianych poprzednio obniżeniach, gdzie osiąga znaczną miąższość np. w okolicy Tarchomina około 36 m, a nawet 43 m w Pruszkowie.

Na terenie Warszawy występuje ona na Żoliborzu, Muranowie, Mirowie, Powązkach, Woli, Mokotowie i Służewcu. Na Mirowie ma miąższość 3 m. Jest to glina bardzo zwięzła, szara z dużą ilością żwirów i otoczków.

Wyniki nielicznych badań z tego poziomu podaje tabela 23.

Tabela 23 Parametry fizyczne

Wartość	w _n [%]	ρ [g/cm ³]	w _L [%]	w _P [%]	I _P	I _L	f _i [%]	f _π [%]	f _p [%]
X _{min}	9	2,17	-	-	-	0	-	-	-
X _{max}	23,3	2,17	-	-	-	0,2	-	-	-
X _{sr}	14,2	2,17	15,4	8,45	6,95	0,1	11	16	72
σ	4,4	0,01	-	-	-	0,06	-	-	-
n	15	2	-	-	-	11	-	-	-

Serie 22, 23, 24, 25 - Gliny i piaski zlodowaceń południowopolskich

Ze zlodowaceniami tymi wiąże się w Warszawie poziom gliny zwałowej, wykazujący niekiedy mało wyraźne ślady dwudzielności. Zabarwiona jest najczęściej szaro, rzadziej dominują barwy brunatne. W strefie wypiętrzenia śródmiejskiego pojawia się lokalnie w obrębie głębokich obniżeń stropu pliocenu, głównie obniżeń synklinalnych. Leży bądź bezpośrednio na łożach plioceńskich, bądź też na utworach preplejstocieńskich, czasem podścielona jest osadami piaszczystymi lub piaszczysto-mułkowymi, wiążącymi się zapewne z okresem bezpośrednio poprzedzającym transgresję lądolodu. W tych też strefach stwierdza się często w otworach wiertniczych wielkie miąższości pozorne glin, przekraczające nawet 25 m. Duże pozorne miąższości, miejscami przekraczające 30 ÷ 40 m notowane są również z głębokich depresji w podłożu plioceńskim wschodniej części miasta.

Gliny zwałowe i piaski plejstocieńskie oraz żwiry i piaski preplejstocieńskie występują jako wkładki w sfałdowanych osadach trzeciorzędowych. Osady trzeciorzędowe i preglacjalne, które zostały w procesie egzaracji i transportu lodowcowego pobrane przez lądolód, przetransportowane i redeponowane w procesie sedymentacji glacialnej. Dlatego, choć należące do formacji starszych, należy je zaliczyć do serii osadów plejstocieńskich. Jednocześnie jednak niektóre profile wskazują na występowanie struktur najprawdopodobniej glacitektonicznych, w których sfałdowaniu i prawdopodobnie złuskowaniu uległy osady trzeciorzędowe do znacznych głębokości. W procesie tym pokrywające je osady plejstocieńskie i preplejstocieńskie zostały w postaci pakietów o niewielkiej miąższości oderwane, tektonicznie roztarte i obecnie tkwią nieraz bardzo głęboko w obrębie przełałdowanych osadów trzeciorzędowych.

W przytoczonej sytuacji i podobnych nie można całej serii osadów trzeciorzędowych, w których tkwią wkładki osadów plejstocieńskich traktować jako kry i zaliczyć do plejstocenu, gdyż mamy tu do czynienia z procesami fałdowymi a nie z transportem i resedymentacją glacialną jak w przypadku kier.

Seria 26 - Preglacjał

Osady preglacjalne występują powszechnie na znacznych terenach w Warszawie. Specyficzna seria tych osadów pylastych i piaszczystych, pozbawiona materiału skandynawskiego, leżąca na pstrych łożach plioceńskich a podścielająca właściwe osady plejstocieńskie, została po raz pierwszy opisana, nazwana i zdefiniowana stratygraficznie w okolicy Warszawy przez J. Lewińskiego (1929).

W obrębie Warszawy osady preglacjalne występują w wielu otworach na znacznym obszarze, głównie w południowo-wschodniej oraz środkowej jego części. W północnej części okolicy Wawrzyszewa, osady tej serii są silnie zredukowane do paru metrów miąższości lub wcale nie występują.

Na terenie Mokotowa, Ochoty, Woli, Śródmieścia osady preglacjalne są najpełniej wykształcone i osiągają miąższość około 25 m. Na podstawie wielu wierceń można sądzić, że w rejonie tym osady preglacjalne leżą na sedymentacyjnej lub nieznacznie zerodowanej powierzchni stropowej osadów plioceńskich (60 - 80 m npm) i tworzą kompleks in situ nie zaburzony procesami wtórnymi. W okolicy Okęcia osady preglacjalne występują stosunkowo głęboko (27,5 - 40,0 m npm).

Seria 27 - Osady jeziorzyskowe pliocenu

Utwory te występują na całym obszarze Warszawy w podłożu osadów czwartorzędowych. Zaobserwowano je w wielu miejscach bezpośrednio na powierzchni terenu, głównie w wychodniach w krawędzi wysoczyzny na lewym brzegu Wisły bądź pod bardzo cienką pokrywą osadów czwartorzędowych zarówno na wysoczyźnie (Śródmieście, Żoliborz, Babice Stare) jak i w strefie krawędziowej Wisły, a także pod jej korytem. Na obszarach tych strop osadów plioceńskich jest wtórnie wyniesiony procesami glacitektonicznymi, w związku z czym wtórną jest również ich miąższość. W wychodniach osady pliocenu obserwowane są na wysokości ponad 100 m npm. Natomiast sedymentacyjne położenie stropu osadów pliocenu waha się w granicach 60 - 80 m npm. Obecna powierzchnia stropowa utworów plioceńskich na obszarze Warszawy nie jest powierzchnią pierwotnej akumulacji tych osadów. Została zmieniona pod wpływem procesów glacitektonicznych i egzaracyjnych podczas zlodowaceń, następnie była erodowana przez rzeki i denudowana w okresie interglacjałów. W powierzchni osadów plioceńskich zaobserwowano głębokie rynny.

Utwory pliocenu znane także z literatury jako ility pstrze, ility poznańskie reprezentowane są przez kompleks ilastych i (podrzędnie) piaszczystych osadów pochodzenia limnicznego. Ich sedymentacja rozpoczęła się w miocenie i była kontynuowana w okresie pliocenu. Na obszarach o słabo zaburzonej pokrywie plioceńskiej (m.in. zachodnia część Warszawy) w profilu pionowym dość wyraźnie zaznacza się obecność kilku cykli sedymentacyjnych, z których każdy rozpoczyna się piaskami a kończy iłami, przy czym zdecydowaną przewagę mają pyły i ility. W poszczególnych poziomach zaznaczają się zmiany w zabarwieniu iłów. O ile w poziomie dolnym dominują barwy szare i szarozielonkawe, rzadziej niebiesko-żółte to ku górze pojawiają się odcienie niebieskawe z licznymi zaplamieniami żółtymi,

sporadycznie czarnymi, rdzawymi i czerwonymi a w poziomie górnym występują typowe ility pstry o barwach jaskrawych z wielką ilością zaplamień czerwonych, czarnych, brązowych i rdzawo-żółtych. Zmienność zabarwienia iłłów jest wynikiem oksydacji siarczków żelaza i nie jest uzależniona od uziarnienia.

Udział poszczególnych typów osadów w budowie całego kompleksu przedstawia się następująco: ility – 30%, ility pylaste – 30%, pyły – 20%, piaski pylaste – 10%, piaski drobne i średnie – 10%. W części stropowej procentowa zawartość w ilitych frakcji grubszych (pylastej i piaszczystej) nie przekracza zwykle 20% licząc w skali jednostki o powierzchni kilku hektarów.

Pod względem mineralogicznym ility plioceńskie najczęściej reprezentują typ montmorylonitowy lub montmorylonitowo-illitowy. Kaolinit występuje prawie zawsze, lecz nie jest minerałem dominującym.

Utwory plioceńskie przeważnie są silnie przekształcone w wyniku działań lodowca (deformacji glacictektonicznych). Struktura wewnętrzna masywu plioceńskiego znajduje wyraźne odbicie w ukształtowaniu jego powierzchni stropowej, wykazującej na terenie Warszawy deniwelacje przekraczające w skrajnych przypadkach 100 m. Średnia miąższość iłłów w Warszawie przekracza 30 m, przy czym w fałdach przekracza 100 m i więcej. Informacje dotyczące ukształtowania powierzchni stropowej utworów plioceńskich przedstawia mapa stropu iłłów i mapa głębokości serii plioceńskiej.

Ze względu na uziarnienie ility plioceńskie reprezentowane są przez: ility, ility pylaste, rzadziej gliny pylaste, gliny piaszczyste i pyły. Zróżnicowanie zawartości frakcji iłłowej jest uzależnione od warunków sedymentacji, przy czym jej wzrost obserwuje się w kierunku centralnych partii zbiornika. Utwory plioceńskie znajdują się w stanie półzwałtym, niekiedy twaroplastycznym. Uogólnione wartości parametrów fizycznych podaje tabela 24.

Tabela 24 Parametry fizyczne

Wartość	w _n [%]	ρ [g/cm ³]	w _L [%]	w _P [%]	I _P	I _L	f _i [%]	f _π [%]	f _p [%]
x _{min}	14,50	1,64	29,0	13,10	12,78	-0,19	15	2	3
x _{max}	43,10	2,20	122,6	41,58	84,24	0,50	71	69	98
x _{sr}	26,73	1,96	78,87	27,17	52,09	0,06	39,3	45,3	18,6
σ	6,76	0,13	19,13	6,73	13,98	0,1	13,0	14,96	22,5
n	103	61	59	59	57	139	26	27	25

Parametry wytrzymałościowe utworów plioceńskich określone w badaniach laboratoryjnych w decydujący stopniu uzależnione są, poza składem litologicznym i konsystencją, od obecności powierzchni osłabień (złustrowań glacictektonicznych). Wpływ ten zależy przede wszystkim od przestrzennego zorientowania powierzchni

osłabień w stosunku do kierunku działania maksymalnych naprężeń głównych i ujawnia się tylko dla określonych orientacji tych powierzchni. Powoduje to, że zmienność parametrów wytrzymałościowych ilów plioceńskich oznaczana w badaniach laboratoryjnych jest bardzo duża i średnich wartości podanych nie można wykorzystywać w praktyce, inne parametry należy przyjmować do nośności fundamentów, inne do stateczności. Uogólnione wartości parametrów całkowitych kąta tarcia wewnętrznego i spójności przedstawiono w tabeli 25.

Tabela 25 Parametry mechaniczne

Wartość	Spójność [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego [°]
x_{\min}	5	1,5
x_{\max}	12	20
$x_{\text{śr}}$	64,8	10,4
σ	25,9	5,6
n	50	52

Seria 28, 29 - Osady trzeciorzędu; Seria 30 - Kreda

Serie te nie są szczegółowo analizowane w niniejszym opracowaniu, bowiem ze względu na znaczne głębokości występowania (poniżej 100 m) nie stanowią podłoża budowlanego.

Seria 28 - Miocen

Miocen reprezentują osady limniczne i rzeczne wykształcone w postaci ilów, mułków, piasków i żwirów, często z wkładkami węgla brunatnego. Piaski są charakterystyczne przede wszystkim dla środkowej części profilu, podczas gdy w części dolnej i górnej dominują ropy i mułki. Miąższość jest bardzo zmienna, najczęściej wynosi 40 - 60 m. Strop osadów mioceńskich, bardzo nierówny, znajduje się na znacznych głębokościach - na całym obszarze znacznie poniżej rzędnej 78 m npm.

Seria 29 - Oligocen

Oligocen reprezentowany jest przez morskie osady piaszczyste, zwykle z domieszką glaukonitu, wśród których podrzędnie pojawiają się mułki, ropy, piaski i żwiry. Miąższość przeciętnie wynosi 50 - 70 m, znacznie zmniejszając się w strefach wyniesień podłoża kredowego (24 m ul. Ząbkowska) i wyraźnie wzrastając w kierunku SW (86,1 m na Okęciu), a więc zgodnie z nachyleniem powierzchni skał kredowych.

Seria 30 - Kreda

Warszawa położona jest w strefie północno-wschodniego skrzydła synklinorium polsko-duńskiego o szerokości ok. 500 km i długości ok. 1200 km wzdłuż linii Kopenhaga-Lublin, w związku z czym zaznacza się ogólne nachylenie stropu skał kredowych (margle górnego mastrychtu) od ok. 150 m npm w rejonie Zacisza do ok. 175 m npm w rejonie Ursus - Okęcie. W środkowej części miasta dają się wyróżnić dwa podłużne wyniesienia podłoża kredowego (o kierunku NW - SE) i wysokości względnej $20 \div 25$ m, sięgające rzędnych 145 m (Powiśle) i 135 m npm (rejon Dworca Wschodniego).

Skały kredowe głównie miękkie wapienie, ale także mułowce i niekiedy piaskowce są osadami morskimi.

8.2. Mapy geologiczno-inżynierskie

Dotychczas stosowane metody konstruowania map przy pomocy przetwarzania danych cyfrowo zakładały użycie tradycyjnego warsztatu. Przygotowany rękopis był przetwarzany na obraz w komputerze przy pomocy digitizera lub wektoryzacji zeskanowanego podkładu.

Przy sporządzaniu niniejszego opracowania podjęto próbę generowania map w sposób automatyczny na podstawie otworów wiertniczych zebranych w komputerowym banku danych.

Dla całej Warszawy przygotowano i wydrukowano mapy w skali 1:100 000 lub 1:200 000 oraz w skali 1: 10 000 dla wybranego terenu.

Opracowano następujące mapy:

A. Lokalizacja mapy w skali 1:10 000 (ryc. 2)

Na podkładzie topograficznym w skali 1:200 000 zaznaczono wybrany fragment miasta, który przedstawiono na różnych mapach tematycznych w skali 1:10 000.

B. Mapa dokumentacyjna w skali 1:100 000 (ryc. 3)

Na mapie znajdują się wszystkie otwory i sondy znajdujące się w bazie do atlasu. Dodatkowo umieszczono również topograficzny podkład rastrowy oraz kontury brzegów Wisły jako element wektorowy.

C. Mapy gruntów na 2, 4 i 10m w skali 1:100 000 i 1:10 000 (ryc. 4)

Powstanie mapy gruntów odbyło się w kilku etapach. Po odpowiednim przygotowaniu bazy, o czym już wcześniej była mowa, dokonano cięcia poziomego na trzech głębokościach, aby umożliwić przejście od głębokości w otworach do map na płaszczyźnie poziomej. Następnie użyto odpowiednich poleceń oprogramowania ArcView i stosując metodę Euclidesa do określania odległości do najbliższego punktu połączono połowy otrzymanych odcinków. W ten sposób każdej komórce został nadany numer serii na wybranej głębokości pochodzący z najbliższego otworu wiertniczego (najbliższego punktu) znajdującego się w sąsiedztwie. Wielkość komórki GRIDa ustalono na 5m. Dodatkowo na mapę naniesiono wydzielenia wykonane ręcznie i zdigitalizowane.

D. Mapa dominujących gruntów w profilach pionowych w skali 1: 10 000 (ryc. 5)

Wykonano ją w oparciu o warstwy GRIDowe, które posłużyły do przygotowania map gruntów. Przecinając między sobą grunty na 2, 4 i 10m określono miejsca, gdzie profil jest taki sam i zawiera bądź grunty spoiste (serie nr 5, 10, 12, 14, 16, 17, 19, 21 lub 27) bądź niespoiste (serie 3,7,9,13,15,18 lub 20).

E. Mapa stopnia udokumentowania terenu w skali 1:100 000 (ryc. 6)

Stopień udokumentowania został policzony na podstawie siatki arkuszowej w skali 1: 2000, osobno dla każdego arkusza o powierzchni 0,48 km². W opracowaniu przyjęto następujące wydzielenia: 0 – 20 otw/0.48 km² – teren słabo udokumentowany, 20 – 40 otw/0.48 km² – teren udokumentowany i powyżej 40 otw/0.48 km² – teren dobrze udokumentowany. Na mapie zaznaczono tereny inwestycyjne.

F. Mapa najmniejszej stwierdzonej głębokości występowania zwierciadła wody gruntowej 1:10 000 i 1: 100 000 (ryc. 7)

Mapa najmniejszej głębokości występowania zwierciadła wody gruntowej została wykonana jak wszystkie wyżej wymienione mapy automatycznie. Przy pomocy oprogramowania ArcView zostały znalezione otwory, w których w promieniu 150m wartości pierwszego, ustalonego zwierciadła wody gruntowej są minimalne (występuje najpłycej).

G. Mapa różnic w głębokości występowania zwierciadła wody gruntowej na poszczególnych polach w skali 1: 10000 (ryc. 8)

Na podstawie mapy najmniejszej i największej głębokości występowania zwierciadła wody w poszczególnych polach określono maksymalne różnice w głębokości położenia zwierciadła wody. Przy każdym z otworów podano wartość głębokości wody. Promienie do wyznaczania maksymalnej i minimalnej wartości głębokości zwierciadła wody w poszczególnych polach określono na 150m.

H. Mapa użytkowania terenu (według danych BPRW) 1:10 000 i 1: 100 000 z lokalizacją otworów (ryc. 9)

Na mapie przedstawiono rodzaje użytkowania terenu otrzymane z Biura Planowania Rozwoju Warszawy wraz z obszarami przeznaczonymi pod inwestycje według danych Biura Zarządu Miasta.

I. Mapa skażeń geochemicznych oraz Mapa Kwasowości Gleb w skali 1:100 000 (według danych z Atlasu Geochemicznego Warszawy i okolic 1992) (ryc. 10 i 11)

Powstała z wybrania wszystkich obszarów, które po zinterpolowaniu wykazywały istotne przekroczenia dopuszczalnych koncentracji zawartości miedzi, ołowiu i cynku.

Osobno pokazano mapę kwasowości gleb (pH) w podziale na trzy kategorie z zaznaczonymi obszarami inwestycyjnymi.

J. Mapa głębokości do utworów plioceńskich w skali 1:200 000 i 1:10 000 (ryc. 12)

Mapa głębokości do utworów plioceńskich została utworzona w programie „Surfer” na podstawie 2585 wierceń.

K. Mapa stropu utworów plioceńskich w skali 1:200 000 i 1:10 000 (ryc. 13)

Mapa stropu utworów plioceńskich powstała w wyniku komputerowej interpretacji 2658 otworów wiertniczych. Przedstawiono zgeneralizowany obraz stropu utworów pliocenu.

L. Mapa głębokości do wody gruntowej (mapa hydroizobat) w skali 1:200 000 i 1:10 000 (ryc. 14)

Mapa głębokości wody gruntowej powstała w wyniku interpolacji 21 677 wierceń. Duża liczba punktów dokumentacyjnych wpływa dodatnio na dokładność mapy.

Niejednorodne rozmieszczenie jednak sprawia, że lokalnie przy większych odległościach między poszczególnymi otworami dokładność jest znacznie mniejsza. Interpretacja hydroizobat według programu Surfer sprawia, że mapa przedstawia sobą wyrównany obraz zbliżony do stanu średniego.

M. Mapa hydroizohips wody gruntowej w skali 1:200 000 i 1:10 000 (ryc. 15)

Mapę opracowano na podstawie tych samych danych, jak dla mapy głębokości wody gruntowej. Należy podkreślić, że izolynie przedstawione na obu mapach (ryc. 14 i 15) prezentują zgeneralizowany, uśredniony obraz położenia zwierciadła wody, gdyż dane o głębokości występowania wody pochodzą z kilkudziesięciu lat.

N. Mapa dokumentacyjna serii plioceńskiej (ryc. 16)

Na mapie pokazano rozmieszczenie punktów dokumentacyjnych. Do interpretacji powierzchni serii plioceńskiej wykorzystano wszystkie dostępne wiercenia z dokumentacji geologiczno-inżynierskich oraz ujęcia wód podziemnych z banku „Hydro”. Z mapy dokumentacyjnej wynika, że najlepsze udokumentowanie ma gmina „Centrum”, szczególnie na obszarach występowania wału plioceńskiego. Natomiast pozostałe gminy są udokumentowane słabo a w gminie Wawer dotychczas nie wykonano ani jednego otworu do pliocenu.

O. Wody poziomu oligoceńskiego. Mapa hydroizohips – 1998 w skali 1:180 000 (ryc. 17)

P. Wody poziomu oligoceńskiego. Mapa hydroizohips – 1998 – rzut perspektywiczny (ryc. 18)

R. Wody poziomu oligoceńskiego. Mapy hydroizohips z lat 1958, 1970, 1992, 1995, 1996, 1997 i 1998 (ryc. 19)

S. Wody poziomu oligoceńskiego. Mapy różnicowe 1970 – 1958, 1998 – 1970, 1998 – 1958 (ryc. 20)

Mapy dotyczące poziomu oligoceńskiego (ryc. 17 – 20) opracowano za pomocą programu Surfer. Do ich wykonania wykorzystano dane o położeniu zwierciadła wody zebrane w Państwowym Instytucie Geologicznym. W danym roku, pomiar zwierciadła wody we wszystkich studniach przeprowadzany był w ciągu 2 – 3 dni.

T. Mapa gruntów antropogenicznych w skali 1:100 000 i 1:10 000 (ryc. 21)

Mapa gruntów antropogenicznych przedstawia następujące elementy:

- Obszary występowania gruntów antropogenicznych w odległości do 100 m od otworu badawczego,
- Izolinie miąższości gruntów antropogenicznych w cięciu co 2 m,
- Obszary miąższości gruntów antropogenicznych w zakresie głębokości do 2m, od 2 m do 4m, od 4 m do 10 m oraz powyżej 10 m.

U. Mapa gruntów słabych w skali 1:100 000 i 1:10 000 (ryc. 22)

Mapa gruntów słabych przedstawia obszary występowania gruntów słabych do których zaliczono:

- Grunty organiczne holoceńskie serii 4,
- Grunty organiczne plioceńskie serii 11,
- Mady holoceńskie serii 5,
- Osady zboczowe i rzeczno – deluwialne den dolin lokalnie jeziorne serii 6,
- Grunty próchnicze, gleby serii 2,
- Grunty antropogeniczne serii 1.

Mapa zawiera również izolinie maksymalnych spągów wydzielonych gruntów słabych w cięciu co 1 m (za wyjątkiem gruntów serii 1 i 2, które charakteryzuje inna mapa).

Dodatkowo każdy punkt dokumentacyjny, w którym nawiercono grunty słabe, opisano maksymalną głębokością występowania tych gruntów w otworze.

W. Mapa warunków budowlanych na głębokości 2.0 m w skali 1:100 000 i 1:10 000 (ryc. 23)

Mapa warunków budowlanych stanowi podsumowanie prac geologicznych wykonanych na potrzeby opracowania „Atlas geologiczno – inżynierski Warszawy”. Przedstawia w sposób syntetyczny czynniki geologiczne, hydrogeologiczne, geomorfologiczne i geodynamiczne, które można uaktualnić w miarę uzyskiwania nowych informacji geotechnicznych.

Na mapie warunków budowlanych wydzielono następujące warstwy informacyjne:

- Obszary niekorzystnych warunków budowlanych ze względu na występowanie gruntów antropogenicznych, gruntów słabych i wody podziemnej. W zależności od zestawienia negatywnych cech budowy geologicznej wydzielono obszary gdzie:

- A – występują wszystkie trzy czynniki,
 - B – występują dwa z nich,
 - C – występuje jeden z nich.
- Obszary korzystnych warunków budowlanych dla budownictwa powszechnego podzielonych ze względu na genezę gruntów. Wyróżniono następujące obszary:
- Rz – gruntów rzecznych,
 - F – gruntów fluwioglacjalnych,
 - G – gruntów glacialnych,
 - Za – gruntów zastoiskowych,
 - J – gruntów jeziorzyskowych,
 - W – gruntów eolicznych.
- Elementy zagospodarowania terenu

Dla rejonu Skarpy Warszawskiej wyznaczono dodatkowe warstwy informacyjne:

1. Obszary zagrożenia skarpy zjawiskami osuwiskowymi:
 - Obszar A – bez śladów aktywności,
 - Obszar B – małej aktywności lub okresowej,
 - Obszar C – czynne.
2. Ze względu na predyspozycje do powstawania osuwisk obszar skarpy podzielono na:
 - I – istnieją predyspozycje do powstawania osuwisk,
 - II – brak predyspozycji strukturalnych do powstawania osuwisk.
3. Uwzględniono następujące przejawy procesów zboczowych działających na powierzchni skarpy:
 - Liniowe spękania nawierzchni alejek, chodników i ulic,
 - Rozcięcia erozyjne,
 - Zagłębienia sufozyjne,
 - Osiadania gruntu widoczne jako zagłębienia powierzchni skarpy,
 - Obrywy i osypy,
 - Wysięki,
 - Podmokłości,
 - Powierzchniowe ruchy masowe o charakterze pełzania,
 - Dzikie wysypiska jako przejawy działalności ludzkiej.

Opracowanie mapy warunków budowlanych zostało uzupełnione o przekroje geologiczno – inżynierskie wykonane w programie GeoStar. Charakteryzują one budowę geologiczną podłoża w wybranych rejonach Warszawy.

8.3. Przekroje geologiczno-inżynierskie

Przekroje geologiczno-inżynierskie różnią się od przekrojów geologicznych tym, że muszą zezwalać na rozwiązanie konkretnych zagadnień inżynierskich, a więc:

- nośności i osiadań w przypadku posadawiania budynków,
- stateczności w przypadku zabezpieczenia skarp,
- filtracji w przypadku budowy dróg, składowisk innych.

Podziałka przekrojów jest zatem zawsze podziałką szczegółową (skala pozioma 1:500, 1:100 max 1:5000, a skala pionowa niekiedy powinna być taka, jak pozioma lub przewyższona, ale przewyższenie nie powinno być większe niż 10x). System komputerowy „Atlasu” pozwala na podstawie bazy danych wykonać przekrój przez dowolnie wybrane otwory w dowolnej podziałce.

Przykłady charakterystycznych przekrojów podano poniżej. Są to typowe przekroje geologiczno-inżynierskie dla celów posadowienia budynku z obszaru:

- tarasów Wisły (ryc. 24)
- wysoczyzny (ryc. 25)
- Skarpy Warszawskiej (ryc. 26).

Istotne informacje oprócz podania serii, nazwy i stanu gruntów to występowanie zwierciadła wód podziemnych, nasypów oraz gruntów słabych, a także parametry geotechniczne przypisane do wydzielonych serii znajdujące się w tabeli badań laboratoryjnych.

8.4. Problemy (strop iłów plioceńskich, procesy geodynamiczne)

Charakterystyka stropu iłów plioceńskich

W ramach atlasu opracowano dwie mapy przedstawiające sposób występowania serii plioceńskiej. Serię tę tworzą na obszarze Warszawy w przewadze ility. Liczne powierzchnie osłabień (spękania) będące wynikiem zaburzeń glaciektonicznych oraz zmienność parametrów wytrzymałościowych powoduje, że

utwory te wymagają dokładnego rozpoznania jako podłoża budowlanego. Te powody sprawiły, że ility plioceńskie zostały przedstawione na mapie głębokości do utworów plioceńskich oraz na mapie równych rzędnych stropu (stratoizohipsy) stropu utworów plioceńskich. Na mapie tej widzimy wyraźnie wyniesiony wał (garb) utworów plioceńskich biegnący mniej więcej równolegle do Wisły od Wilanowa przez środkowy Mokotów, Śródmieście i Żoliborz do Bielan. Głębokość do utworów plioceńskich wynosi w jego osi od 0 do 10.0 m. Największa głębokość do serii plioceńskiej od powierzchni terenu wynosi 149 m. Na całym obszarze mapy średnia głębokość wynosi 17.42 m. Minimalna rzędna stropu wynosi 64.40 m pod poziomem morza a najwyższa 123.02 m npm przy średniej wartości 72.26 m npm. Na mapie stropu wyraźniej zarysowują się zagłębienia ciągnące się wzdłuż wspomnianego wału, po jego północno-wschodniej stronie. Na mapach niektórych autorów zagłębienia te łączone są w pewne ciągi, przy czym nie zawsze przebieg tych pseudo kopalnych dolin jest zgodny. Do utworzenia obecnej mapy wykorzystano 2658 otworów, co pozwoliło na przedstawienie stropu w dokładniejszy sposób niż na mapach dotychczasowych. W obrazie komputerowym stropu utworów pliocenu nie można przeprowadzić ciągłych zagłębień typu dolin, tym bardziej, że brak ich ujęć. Przebieg tych dolin jest inny u różnych autorów. Należy w tej sytuacji przyjąć, że bardzo urozmaicony wysokościowo strop pliocenu ma charakter poligenetyczny i powstał w wyniku działania przede wszystkim glacitektoniki, erozji i w mniejszym stopniu działalności człowieka.

Na mapie (ryc. 16) przedstawiono lokalizację punktów dokumentacyjnych oraz wartości odpowiednio głębokości lub stropu pliocenu. Rozmieszczenie wierceń wynika z lokalizacji obiektów budowlanych, dla których wykonano badania lub odwiercono studnie eksploatujące wody z utworów oligoceńskich. Wyraźnie zaznacza się losowe, nieregularne rozmieszczenie punktów dokumentacyjnych. Program komputerowy wykonuje interpretacje według prawdopodobnego przebiegu stropu. Na obszarach o ubogim udokumentowaniu zaleca się jednak dużą ostrożność w dosłownym przyjmowaniu sugerowanych wielkości. Należy przy tym pamiętać, że 1 cm na mapie w skali 1:10 000 odpowiada 100 metrom w terenie. Zdarza się, że na obszarach niezabudowanych odległości między otworami wynoszą około 10 cm czyli około 1 kilometra w terenie. Na tych słabo udokumentowanych obszarach informacje z mapy mogą być cenne, ale mogą służyć tylko jako informacje orientacyjne do projektowania głębokości wierceń oraz do planowania przestrzennego.

Procesy geodynamiczne

W obrębie Warszawy mamy do czynienia z dwoma głównymi procesami geodynamicznymi. Procesy te związane są z istnieniem Wisły. Pierwszy proces to powódź i jej skutki, drugi to zjawiska na zboczu doliny Wisły.

Obecnie skutki pierwszego procesu - powodzi - są wyeliminowane przez zabezpieczenie wałami doliny na całym odcinku miasta, choć jako zjawiska losowego efektów powodzi i związanego z nią zagrożenia nie można całkiem wyeliminować i lekceważyć. W analizie zagadnień geologiczno-inżynierskich nie analizowano zagrożeń powodziowych.

Drugi proces występuje na prawym brzegu Wisły na całym ok. 17 km jej odcinku miejskim.

Skarpa Warszawska o wysokości od kilkunastu metrów do ok. 30 m jest miejscem, na którym odbywają się procesy destrukcyjne.

Zjawiskami tymi są:

Erozja

Erozja przejawia się w rozwoju liniowych i powierzchniowych rozmyć, które są efektem skoncentrowanego powierzchniowego spływu wód opadowych lub wód pochodzących z uszkodzonych przewodów wodociągowych bądź z kanałów odwodnieniowych. Głębokość tych rozmyć (żłobin, bruzd, rynien) w skali obserwowanej jest zwykle niewielka, rzędu kilku lub kilkunastu centymetrów, rzadziej kilkudziesięciu centymetrów lub więcej. Rozwój procesu jest z reguły efektem nieuporządkowania warunków odpływu wód opadowych: braku, uszkodzenia lub wadliwego wykonania powierzchniowych urządzeń odwodnieniowych. Szkodliwą rolę odgrywają tu czasem liniowe elementy, jak utwardzone ścieżki i alejki, schody, ogrodzenia itd., usytuowane zgodnie z nachyleniem zbocza, nie utwardzone, wzdłuż których powstają samoistne ścieki powodujące rozmycia powierzchni skarpy. Na wzrost zagrożenia erozyjnego wielu odcinków skarpy wpływa w istotny sposób dewastacja zieleni miejskiej oraz brak darni lub jej słaby rozwój („łysa” powierzchnia) w miejscach zacienionych przez gęsto rosnące drzewa, a także skutek wydeptania powierzchni.

Analiza zniszczeń wywołanych przez procesy erozyjne prawie zawsze prowadzi do wniosku, że zostały one wymuszone przez czynniki antropogeniczne. Procesy erozyjne występują w różnym stopniu na całej długości Skarpy, szczególnie na jej stromych odcinkach. Najgłębsze rozmycia, rzędu kilkudziesięciu centymetrów, obserwuje się obecnie pomiędzy ul. Ordynacką a ul. Tamka (przy schodach na tyłach Pałacu Ostrogskich). Wyraźne lecz płytsze, rzędu kilku do kilkunastu

centymetrów, występują w osi ul. Smolnej, wzdłuż ogrodzenia terenu Uniwersytetu Warszawskiego, nad Trasą W-Z, a także np. nad wylotem ul. Bugaj. Skutki erozji widać również na jezdni ul. Brzozowej odcinkach skarpy mokotowskiej i ursynowskiej.

„Łysa” powierzchnia skarpy występuje w wielu zacienionych miejscach, głównie na terenach gęsto zadrzewionych miejskich parków, ale również i w innych zadrzewionych bądź zakrzewionych miejscach (np. nad Trasą W-Z). „Łysa” powierzchnia jako skutek dewastacji także występuje w różnych miejscach, głównie tam, gdzie niecierpliwi przechodnie wydeptali ścieżki skracające drogę.

Spelżywanie pokryw glebowych i gruntu

Zjawisko to rozwija się najczęściej na stromych odcinkach skarpy i obejmuje zwykle przypowierzchniowe partie gruntu. Przejawem rozwijającego się procesu jest obecność na zboczu niewielkich, liniowych, zorientowanych zgodnie z jego rozciągłością nabrzmiń oddzielonych obniżeniami, którym częstokroć towarzyszą drobne, nieciągłe rozdarcia pokrywy darniowej.

Przyczyną rozwoju procesu jest bądź wyprofilowanie skarpy pod zbyt dużym kątem, bądź też dewastacja skarpy, szczególnie dewastacja szaty roślinnej. Przyczyną rozwoju procesu może być także nadmierne zawilgocenie zbocza, wywołane przedostawaniem się nań wody z uszkodzonych urządzeń wodociągowych lub odwodnieniowych.

W przypadku rozwoju procesów spelżywania przypowierzchniowych partii gruntu na skarpach zadrzewionych obserwuje się bardzo charakterystyczne wygięcie pni drzew, tzw. pijany las. W przypadku nieznacznej aktywności procesu przejawia się to „szablówatym” lub łukowatym wygięciem pni, przy czym wypukłość zdeformowanego pnia zwrócona jest w kierunku ruchu. W przypadku znacznej intensywności procesu lub objęcia przezeń głębszych partii gruntu obserwuje się już zmienne i najczęściej chaotyczne wychylenie drzew z pierwotnej pozycji, jest to klasyczna forma „pijanego lasu”.

Występowanie w strefie skarpy i jej podnóża wyraźnych garbów o zarysie owalnym lub podłużnym (zorientowanych najczęściej zgodnie z rozciągłością zbocza) świadczy o zachodzących w podłożu bardzo powolnym pełznięciu. Przeważnie wiąże się ono z przemieszczeniami mas gruntowych w stosunkowo płytkiej strefie. W miejscach ich występowania należy zwracać uwagę na naruszenie ciągłości pokrywy glebowo-darniowej lub zniszczeń znajdujących się tam obiektów bądź też wychylania z pierwotnego położenia elementów pionowych (drzewa, słupki itd.), które mogą świadczyć o aktualnym rozwoju procesu.

Na badanych skarpach skutki „młodego pełzania” zostały zaznaczone na mapach. Skutki starego pełznięcia, jak „pijany las” - występują na całej skarpie warszawskiej.

Osiadanie terenu

Osiadanie wyraża się punktowym lub strefowym (o różnej wielkości powierzchni, czasem 100 m² i więcej) obniżeniem powierzchni terenu. Głębokość obniżenia może być różna, od paru do kilkunastu centymetrów.

Przyczyny osiadania mogą być bardzo różne. Z ważniejszych można wymienić następujące:

- konsolidacja gruntów nasypowych, w tym także związanych z podziemnym uzbrojeniem technicznym terenu (sieć wodociągowa, kanalizacyjna itd.),
- rozwijające się w podłożu deformacje osuwiskowe,
- procesy sufozyjne.

Nie stwierdzono rozwoju świeżych osiadań. Skutki starych procesów osiadania są widoczne np. na elementach konstrukcyjnych: zniszczonych murach oporowych, schodkach do budynków, a także na jezdniach i chodnikach ulic.

Deformacje filtracyjne

Objawem ich są najczęściej niewielkie powierzchniowo, zwykle o owalnym zarysie, zagłębienia w powierzchni terenu, związane z podpowierzchniową, niszczącą działalnością wód bądź gruntowych, bądź też pochodzących z sieci wodociągowej lub z lokalnego odwodnienia. Dzielą się na przebicia pod wpływem wody i zjawiska sufozyjne. Rzeczywisty proces sufozji to wypłukiwanie drobnych cząstek ze szkieletu gruntu prowadzące do zapadania powierzchni. Do bardzo częstych przejawów takiej podpowierzchniowej działalności wód należy rozmywanie próżni utworzonych w wyniku konsolidacji nasypów w sąsiedztwie studzienek ściekowych lub podziemnych przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych. Efektem ich jest deformacja nawierzchni ulicznej bądź chodnika, czasem nawet z jej załamaniem. Podstawową przyczyną jest zwykle niewłaściwe wypełnienie wykopu gruntem oraz niewłaściwe wykonanie nawierzchni.

Na Skarpie zaobserwowano niewielkie owalne zagłębienia sufozyjne w wielu miejscach, między innymi w parkach, na jezdniach, na chodnikach i trawnikach, w ogrodach. Miejsca te związane są z punktowym wnikaniem wód.

Uszkodzenia skarpy przez wody podziemne

Do zjawisk takich należą:

- Źródła - skoncentrowane wypływy wód podziemnych. Źródła warszawskie na ogół już dawno zostały ujęte i często wyposażone w dekoracyjne obudowy. W przypadku wadliwie wykonanego ujęcia i nieszczelności przewodów wyprowadzających wodę źródła stanowią mogą lokalne zagrożenie stateczności skarpy.
- Wysięki - rozproszone „powierzchniowe” wycieki wód gruntowych. Pojawiają się najczęściej w dolnych partiach skarpy lub u jej podnóża. Występowanie ich z jednej strony mówi o potencjalnym zagrożeniu stateczności zbocza, z drugiej zaś prowadzi do lokalnego zabagnienia stref podskarpowych. Pojawienie się wysięków w sąsiedztwie ujętych źródeł świadczy najczęściej o wadliwym wykonaniu ujęcia lub o jego uszkodzeniu.
- Wymoki - są to różnej wielkości, najczęściej płytkie obniżenia, cechujące się stałym lub okresowym występowaniem podmokłości związanych z płytkim występowaniem wód gruntowych. Występowanie ich wiąże się przeważnie z niższymi partiami zbocza lub jego podnóżem.

Występowanie wody gruntowej na powierzchni skarpy jest sygnałem znacznego zagrożenia osuwiskiem. Wszystkie przejawy występowania na skarpie wód gruntowych należy szybko rejestrować i likwidować.

Obecnie skarpa jest sucha i nie odnotowuje się szkodliwego działania tych zjawisk w większej skali.

Działalność ludzka

Przejawami tej działalności są:

- Uszkodzenia wodociągów i kanalizacji, które prowadzą do silnego zawilgocenia ośrodka gruntowego, najczęściej z pojawieniem się wycieków powierzchniowych, niekiedy bardzo podobnych do naturalnych źródeł i wysięków. Częste występowanie tego typu zjawisk wodnych w strefie skarpy świadczy nie tylko o złym stanie sieci wodociągowej, ale i o niedocenianiu tego czynnika, który bardzo poważnie zagraża stateczności skarpy (częste za starymi murami oporowymi). Nieszczelność lub uszkodzenie wodociągów i kanalizacji wymagają szybkiej interwencji, ponieważ dłuższa działalność wody może spowodować awarię skarpy lub związanej z nią budowli.

- Uszkodzenia drenażu, które nie tylko całkowicie eliminują jego pozytywną rolę, ale często stwarzają bardzo poważne zagrożenie stabilności mas gruntowych wskutek ich zawilgocenia. Przejawem uszkodzeń drenażu jest najczęściej zanik wypływu lub jego wyraźne zmniejszenie, a czasem pojawienie się stałych lub okresowych wysięków. Uszkodzenia sieci drenażu wymagają natychmiastowej interwencji.
- Uszkodzenia systemu odwodnienia powierzchniowego. Drenaż ten powinien być odpowiednio zaprojektowany, wykonany i konserwowany, aby zapewnił prawidłowe odprowadzenie wód opadowych. W przypadku niedopełnienia powyższych warunków, system nie spełnia swojej roli i w dość krótkim czasie pojawiają się pierwsze objawy zniszczeń. Wadliwy lub uszkodzony system odwodnienia powierzchniowego staje się elementem zagrażającym skarpie. Jego rola ogranicza się wówczas do odprowadzania w strefę zbocza już skoncentrowanego potoku spływu powierzchniowego, czego efektem jest rozwój głębokich rozmyć erozyjnych powierzchni skarpy. Trzeba powiedzieć, że ilość błędów technicznych związanych ze złym rozwiązaniem odwodnień na skarpie jest ogromna. Prawidłowe zaprojektowanie odwodnienia jest trudne i kosztowne.

W trakcie prac terenowych na Skarpie zaobserwowano bardzo liczne przypadki tego typu. Niezwykle istotną przyczyną zniszczeń Skarpy i związanych z nią budowli, szczególnie na Starym Mieście, jest brak lub niesprawność systemu odprowadzenia powierzchniowego wód opadowych, a także nieszczelność przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych.

W przypadku braku odprowadzenia wody powierzchniowe wnikają przez uszkodzone nawierzchnie ulic, dziedzińców i podwórek. Skutkiem wnikania wód w Skarpę są zniszczenia budynków i murów spowodowane przez zawilgocenie lub osiadanie gruntów, a także niszczenie nawierzchni ulic.

Duże szkody wyrządza niesprawny system kanalizacyjny, który często powoduje zalewanie piwnic przez nagłe i obfite opady (burze). Trwa ciągle usuwanie awarii kanalizacji na wielu odcinkach wzdłuż Skarpy.

Należy zwrócić uwagę, że w Warszawie urządzenia kanalizacyjne znajdują się w złym stanie technicznym, a ich użytkowanie i eksploatacja w wielu przypadkach jest niewłaściwa.

Jako przykłady można wymienić:.

- Brak spadków do odbiorników, zapchane odbiorniki wód opadowych itp.;

- Niszczenie niewłaściwie zabezpieczonych i konserwowanych elementów obiektów przez opady i warunki atmosferyczne, dotyczy to zwłaszcza skarp i murów oporowych;
- Niszczenie przyziemnych i podziemnych partii budynków przez wody deszczowe - konieczność zakładania drenaży opaskowych i izolacji w kilkunastu budynkach istniejących;
- Zwiększone odkształcenia terenu, w tym poziome, w strefie przyskarpowej, zwłaszcza tam, gdzie w skarpie występują nasypy.

Kolejnym zagrożeniem dla budynków jest zaleganie wód opadowych, po każdym większym deszczu, w zagłębieniach terenu przylegających do obiektów. Ma to miejsce na trawnikach, jak i nawierzchniach utwardzonych kostką granitową lub płytami chodnikowymi, które są nierówne. Obserwacje nawierzchni wskazują na punktowe wnikanie wód w podłoże, często przy zapchanych studzienkach kanalizacyjnych czy w obniżeniach terenu. Poważną również przyczyną, którą należy rozpatrywać w innej kategorii, jest niedostosowany system prowadzenia bieżących konserwacji, zła jakość kamieniarki i ogólnie niewystarczająca konserwacja budynków.

Uszkodzenia w rejonie Skarpy

Kolejnym problemem są nawierzchnie jezdni i chodników ulic w rejonie Skarpy. Wielokrotnie wykonywane wykopy z powodu awarii instalacji podziemnych (wodno-kanalizacyjne, gazowe, telefoniczne itd.) i z reguły niewłaściwe odtworzenie drogi (głównie nieodpowiednie zagęszczenie gruntu przy zasypywaniu wykopu) doprowadziły do tego, że w bardzo wielu przypadkach nawierzchnie są pofałdowane, występują garby, zakłębnięcia i zapadnięcia. Należy także zwrócić uwagę na fakt, że często XIX wieczne zabytkowe bruki są w tej chwili nawierzchnią niewłaściwą na traktach turystycznych. Wydaje się trudna do utrzymania teza o ochronie tych nawierzchni.

Stan techniczny budowli w obrębie Skarpy w porównaniu z obserwacjami poczynionymi ok. 20 lat temu nie uległ niezwykłemu pogorszeniu, które można by przypisać zjawiskom osuwiskowym. Zniszczenia zaobserwowane związane są ze zwiększonymi deformacjami poziomymi obserwowanymi przy skarpie, stąd budynki i obiekty niszczą się znacznie szybciej niż te spoza strefy skarpy. W wielu przypadkach stwierdzono, że po remontach nie odtwarzają się dawne rysy i spękania. Natomiast w budynkach nie remontowanych i nie konserwowanych postępuje proces niszczenia.

Strefa wpływu skarpy na obiekty budowlane

Obserwacje zniszczeń obiektów na skarpach i w ich pobliżu pozwalają na stwierdzenie, że nawet bez wystąpienia naruszenia stateczności obiekty na skarpie i w jej pobliżu często ulegają uszkodzeniu. Wieloletnie narastanie przemieszczeń prowadzi do zniszczenia lub uszkodzeń obiektów przy braku w okresie eksploatacji obiektu zjawisk osuwiskowych. Obszar, w którym występują przemieszczenia punktów terenu bez utraty stateczności nazywamy strefą wpływu skarpy na obiekty budowlane.

Ocena stopnia zagrożenia skarpy zjawiskami osuwiskowymi

Wyróżniono następujące obszary:

Obszar A - bez śladów aktywności

Teren nie wykazuje śladów aktywności osuwiskowej, która mogłaby mieć miejsce w XX w. Liczba form powierzchniowych wskazujących na odbywające się przemieszczenia terenu jest znikoma. Obiekty zlokalizowane na skarpie nie są niszczone przez pełzanie czy inne zjawiska geodynamiczne.

Obszar B - małej lub okresowej aktywności

Na obszarze tym podczas obserwacji terenowych stwierdza się dość liczne fakty wskazujące na przemieszczenia powierzchni terenu, często bez zmian świadczących o możliwości osuwisk. Liczba form świadczących o przemieszczeniach jest znaczna. Obiekty zlokalizowane na skarpie mają zniszczenia wskazujące na odbywające się przemieszczenia terenu.

Obszar C - czynne

Obszary o takiej kwalifikacji ukazywały aktywność w momencie obserwacji. W terenie rejestruje się świeże szczeliny osuwiskowe, garby i przemieszczenia. Znaczne zniszczenia obiektów zlokalizowanych na skarpie, niektóre zniszczenia powstały stosunkowo niedawno (o czym świadczą np. pozakładane marki kontrolne). Nie wszystkie obszary można wiązać z aktywnością osuwiskową.

Ze względów na predyspozycje do powstawania osuwisk obszar podzielono na:

1 - istnieją predyspozycje do powstania osuwisk

Strop pliocenu wykazuje wyraźne, ponad 5° konsekwentne nachylenie w kierunku doliny Wisły. Występuje zawodnienie stropu pliocenu. Miąższość osadów nad pliocenem nieznaczna; w skarpie występują koluwia i deluwia świadczące o dawnych procesach osuwiskowych

2 - brak predyspozycji strukturalnych do powstawania większych osuwisk

Podłoże plioceńskie znajdujące się głęboko poza zasięgiem wpływu skarpy. Osady glacialne w skarpie o dużej miąższości. Skarpa „sucha”, brak poziomów wodonośnych nad poziom tarasu.

Wydzielenia te zostały na podstawie prac kartograficznych wprowadzone do bazy i można je w dowolnej skali odzyskać. Skala prac kartograficznych na skarpie 1:1000.

9. Charakterystyka warunków hydrogeologicznych

9.1. Wody z utworów czwartorzędowych

Pierwszy poziom wody podziemnej, według klasyfikacji prof. Z. Pazdry zwany wodą gruntową, został odwzorowany dla scharakteryzowania warunków wodnych panujących w podłożu budowlanym. Dla tego celu utworzono dwie mapy: mapę głębokości wody gruntowej i mapę hydroizohips. Natomiast możliwość zaopatrzenia w wodę odpowiedniej jakości przedstawia mapa wód występujących w utworach oligoceńskich.

Obserwacje stanów wód gruntowych dokonywane były na przestrzeni ostatnich 40 lat. W poszczególnych otworach notowano różne położenie zwierciadła wody gruntowej zawarte między stanami ekstremalnymi. Najmniejsza zanotowana głębokość występowania wody gruntowej wynosi 0.04 m a największa 55.40 m. Średnia wynosząca 3.31 m świadczy o generalnie płytkim położeniu zwierciadła wody gruntowej.

Badania stacjonarne, pozwalające określić wahania zwierciadła wody gruntowej w zależności od stanów wody w Wiśle i wielkości opadów atmosferycznych wykonano jedynie dla projektowanych stopni wodnych Warszawa Północ i Warszawa Siekierki. Na obszarze 550 km² projektowanego stopnia wodnego Warszawa Północ, podczas trwania bardzo wysokiego stanu powodziowego na Wiśle, dokonano w okresie dwóch tygodni w czerwcu 1962 r. jednorazowego pomiaru zwierciadła wód gruntowych w około 2 000 studniach gospodarskich. Następnie w wytypowanych 150 studniach i piezometrach mierzono codziennie wody gruntowe w okresie od 15.03.1963 r. do 31.12.1964 r., a więc przez prawie dwa lata.

Badania szczegółowe wykonano również dla obszaru projektowanego stopnia wodnego Warszawa Południe (Siekierki) w okresie od 1.10.1968 r. do

30.09.1969 r. Obserwacje te potwierdzają wnioski wypływające z badań wcześniejszych dla obszaru projektowanego stopnia wodnego Warszawa Północ. Na podstawie bardzo dokładnych badań w wymienionych wyżej okresach ustalono amplitudy wahań w poszczególnych punktach obserwacyjnych, które wynoszą od 0.20 do 3.5 m. Biorąc pod uwagę bardzo wysoki stan wody w Wiśle oraz wyjątkowo obfite deszcze w latach 1962 – 1964 określone amplitudy wahań w punktach obserwacyjnych należy uznać za maksymalne z wielolecia.

Występowanie wody gruntowej jest zróżnicowane w pradolinie i na wysoczyźnie czwartorzędowej.

Pradolina

W rejonie pradoliny nieco odmienne warunki panują na tarasie zalewowym, nadzalewowym i w wydmach.

Istotnym czynnikiem, mającym duży wpływ na kształtowanie się reżimu wody gruntowej na tarasie zalewowym jest Wisła. Związek między wodami powierzchniowymi Wisły i wodami gruntowymi można śledzić w przekroju poprzecznym do koryta Wisły. Na tarasie zalewowym amplitudy wahań zwierciadła wód gruntowych osiągają przy wałach przeciwpowodziowych największe wartości około 3.5 m. Na podstawie szczegółowych pomiarów zwierciadła wody gruntowej w latach 1962 do 1964 i wielkości opadów atmosferycznych wynika, że w strefie wpływu Wisły na tarasie zalewowym bezpośredni udział opadów atmosferycznych w wahaniami zwierciadła wody gruntowej jest nieduży i sięga przeciętnie 20 cm. Raz do roku, podczas wiosennych roztopów może osiągnąć 50 cm. Tak więc wysokie wahania wód gruntowych w tej strefie zależą przede wszystkim od stanów wody w Wiśle.

Najprościej przedstawiają się warunki wodne w utworach budujących wyższe tarasy i wydmy. Piaski i żwiry występujące na tych obszarach są dobrymi wodonościami, przyjmują łatwo wodę opadową, która zasila bezpośrednio pierwszy poziom wodonośny. Zwierciadło wody gruntowej występuje tu na niedużej głębokości od 10 do 20 cm w obszarach występowania nieprzepuszczalnych gruntów zastoiskowych i do 4.0 m na obszarach występowania piasków. Różnice morfologiczne na wydmach powodują, że głębokość do wody gruntowej dochodzi do około 10.0 m.

Na obszarach z dala od koryta Wisły na tarasach nadzalewowych zwierciadło wody gruntowej kształtuje się pod wpływem opadów, parowania i zasilania bocznego. Amplitudy wahań osiągają tu wielkość do 1.5 m. Wielkość

amplitudy jest oczywiście różna i zależy od pory roku. Najwyższe stany wód gruntowych występują najczęściej wiosną, podczas roztopów.

Inaczej kształtuje się zwierciadło wody gruntowej na obszarze wydmy. Podwyższanie się i obniżanie zwierciadła wody gruntowej jest tu powolne, przy czym szybciej zachodzi podwyższanie zwierciadła wody po deszczach. Dzięki temu stopniowemu podwyższaniu i powolnemu opadaniu amplitudy wahań są małe i wynoszą od 0.20 do 0.90 m.

Jak wynika z mapy głębokości do wody gruntowej (ryc. 14), zwierciadło swobodne w dolinie Wisły występuje na głębokości najczęściej od 0.5 do 5.0 m. Miąższość piasków wodonośnych wynosi tu 10 - 40 m, a maksymalnie 100 m. Wody czwartorzędowe ujmowane są dla wodociągów lokalnych w rejonie Pragi Południe w Międzylesiu i Falenicy.

Wysoczyzna czwartorzędowa

Sposób ułożenia gruntów budujących wysoczyznę jest z natury osadów lodowcowych bardzo zmienny. Występujące tu gliny zwałowe, piaski i żwiry fluwioglacjalne oraz piaski, pyły i ropy zastoiskowe charakteryzują się tak w pionie jak i w poziomie dużą zmiennością. Ma to zasadniczy wpływ na kształtowanie się pierwszego zwierciadła wód gruntowych w poszczególnych porach roku. Cechą charakterystyczną dla wysoczyzny jest nieciągłość warstw wodonośnych oraz bardzo różne głębokości ich zalegania.

Nieciągłość pierwszego horyzontu wodnego na wysoczyznach zbudowanych z glin zwałowych powoduje, że obraz przedstawiany na mapach jest przybliżony i w znacznym stopniu uśredniony. Na wysoczyźnie wody gruntowe występują w szerokim przedziale od 0.5 do kilkudziesięciu m.

Wody gruntowe na wysoczyźnie występują na stropie warstw gruntów spoistych są jednak najczęściej podparte gruntami nieprzepuszczalnymi: glinami zwałowymi i ropy zastoiskowymi, co powoduje, że najczęściej notowane głębokości występowania wód gruntowych wynoszą 0.5 – 3.0 m i zawarte są w tym samym przedziale głębokościowym co wody gruntowe w dolinie. Ten fakt z kolei wpływa na monotony obraz mapy głębokości do wody gruntowej na całym obszarze Warszawy (ryc. S5).

Bardzo wyraźny podział na wysoczyznę i dolinę Wisły obserwujemy na mapie hydroizohips wody gruntowej. W dolinie Wisły występują rzędne zwierciadła wody od 78 do 86 m n.p.m. a na wysoczyznach powyżej 90 m n.p.m. Pośrednie wartości rzędnych 86 do 90 m n.p.m. występują w zasadzie na skłonach wysoczyzn oraz na wydmych.

9.2. Wody z utworów oligoceńskich

Głębokość studzien czerpiących wody z oligocenu wynosi 220 – 270 m a miąższość osadów 60 – 80 m. Wydajność typowej studni czerpiącej wodę z oligocenu wynosi 30 – 50 m³/h.

Woda z utworów oligoceńskich jest użytkowana w Warszawie już od przeszło 100 lat. Samowypływ, wysoka wydajność oraz dobra jakość wody spowodowały duże zainteresowanie tym wodonoścem przede wszystkim przemysłu.

Najlepszym, bo bezpośrednim i mierzalnym wskaźnikiem wielkości poboru wód jest zachowanie się powierzchni piezometrycznej. Szybko wzrastająca liczba eksploatowanych studni spowodowała nakładanie się lejów depresyjnych poszczególnych studni, tworząc rozległą depresję nazwaną przez S. Łodzińskiego depresją rejonową.

Woda z pierwszego otworu wykonanego dla monopolu spirytusowego na ul. Żąbkowskiej wykazywała samowypływ na wysokość około 15 m. Liczba studzien wzrastała. W 1920 roku było ich już 30, a w 1940 studni - 75.

Dotychczas wykonano w Warszawie około 200 studzien, z czego około 120 jest czynnych.

Na rycinie 19 przedstawiono mapy hydroizohips z poszczególnych lat. W 1958 r. Największa depresja znajdowała się na granicy Śródmieścia i Mokotowa oraz w Białołęce. Jej wartość wynosiła 31.3 m (68.7 m npm).

Największy pobór wody z oligocenu i w związku z tym najniższe stany zanotowano w latach 1970 – 1972. W latach tych następowało stałe obniżanie ciśnienia piezometrycznego do 2.0 m w roku. Przy eksploatacji wód z utworów oligoceńskich w latach 1970 – 1972 wynoszącej 32 – 35 tys. m³/d dla Warszawy istniała groźba zczerpania zasobów po 25 latach. Zarządzenie Prezydenta Miasta Stołecznego Warszawy z 1997 r. oraz rozporządzenie Wojewody Warszawskiego z 1993 r. ograniczyły w istotny sposób eksploatację tych wód i zapobiegły degradacji zbiornika wód w utworach oligoceńskich.

Jak wynika z map wykonanych dla lat 1992 do 1998, następuje zmniejszenie eksploatacji, odbudowa zasobów i stabilizacja ciśnienia piezometrycznego.

O zmianach, jakie zachodziły w poszczególnych latach można wnosić na podstawie obrazu różnic przedstawionych na ryc. 20.

Ostatni pomiar kontrolny we wszystkich studniach czerpiących wodę z warstw oligoceńskich wykonany został w 1998 r. W wyniku interpolacji tych wyników powstała mapa hydroizohips (ryc. 17). Widać, że największy pobór i największa

depresja występuje w gminie Białoleka na skutek poboru wody przez lokalny przemysł.

Na ryc. 18 przedstawiono zwierciadło wód z utworów oligoceńskich w rzucie perspektywicznym, co ułatwia orientację w przestrzennym układzie hydroizohips.

Z ewolucji stanów wód w utworach oligoceńskich wynika absolutna konieczność dokonywania corocznych badań ciśnienia piezometrycznego oraz chemizmu wody. Zagrożenia jakości wód w utworach oligoceńskich mogą być spowodowane substancją humusową dopływającą z warstw mioceniowych, zasoleniem z warstw kredowych oraz zanieczyszczeniami spowodowanymi nieprawidłowym likwidowaniem otworów studziennych.

9.3. Chemizm wód podziemnych

Na obszarze miasta w różnych okresach wykonano wiele różnych oznaczeń chemicznych dokumentujących zakres zanieczyszczeń gleb, gruntów i wód podziemnych. Przeanalizowano dane zawarte w banku HYDRO i MONBADA oraz zebranych przez PIOŚ. Wszystkie te dane rejestrują punktowe przejawy zanieczyszczeń i są niewystarczające do przestrzennego przedstawienia zanieczyszczeń. Jedynie w przypadku „Atlasu geochemicznego Warszawy i okolic” próbki do oznaczenia metali i pH w glebach zostały pobrane na całym obszarze w kwadratach o boku 1 km.

Największe zagrożenia migracji zanieczyszczeń z powierzchni ziemi występują na terenach, gdzie utwory wodonośne nie posiadają izolacji, lub gdy jest ona niewielka. Dotyczy to wielu obszarów na terenie miasta. Stopień zagrożenia jest oczywiście różny z uwagi na charakter ognisk zanieczyszczeń i rodzaj zanieczyszczeń.

Określenie wielkości wpływu poszczególnych ognisk zanieczyszczeń na wody i grunty jest trudne do zrealizowania. Wieloletnie, równoległe oddziaływanie różnych ognisk uniemożliwia ich rozdzielenie. Źródłem zanieczyszczeń gruntów i wód gruntowych są ścieki (niesprawna kanalizacja komunalna i przemysłowa), niewłaściwe gromadzenie odpadów stałych i ciekłych nawet przez krótki okres czasu, emisje pyłów i gazów przemysłowych, drogi i węzły komunikacyjne, zanieczyszczone wody powierzchniowe i inne.

Występujące płytko wody podziemne, szczególnie na terenach zurbanizowanych, wykazują wpływ antropopresji (podwyższone Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , obecność metali ciężkich), co wraz z wysoką naturalną zawartością Fe (do 8 mg/dm^3) i Mn sprawia, że ich użytkowanie jest ograniczone do niektórych rejonów i celów. Zanieczyszczenia związkami azotowymi (głównie amoniaku) w poziomie

wodonośnym w utworach czwartorzędowych maksymalnie dochodzą do 3.3 mg/dm³. Zanieczyszczenia siarczanami są znaczne i dochodzą do 278 – 635 mg/dm³. Lokalnie także jest przekroczona wartość dopuszczalna strontu 0.9 – 2.4 mg/dm³. Na terenie miasta stwierdzana jest także wysoka wartość chlorków, która w skali lokalnej wynosi 820 mg/dm³. Badania wód podziemnych wykazały również podwyższoną zawartość chromu, rtęci i ołowiu. Natomiast wody występujące wśród glin zwałowych w zachodniej (Wola) i centralnej części Warszawy również wykazują objawy zanieczyszczenia. Na pozostałym obszarze wody te zachowują naturalny typ chemiczny HCO₃-Ca-Mg, ale wymagają usunięcia Fe i Mn.

Zanieczyszczenia gruntów i wód gruntowych różnymi substancjami chemicznymi i biologicznymi powodują ich agresywność w stosunku do betonu. Do agresywnych środowisk na terenie miasta należą również często obszary występowania gruntów organicznych i gruntów antropogenicznych.

Zanieczyszczenie gleb miasta zostało przedstawione w atlasie geochemicznym (J. Lis, 1992). Stwierdzono znaczne przekroczenia dopuszczalnych stężeń miedzi (Cu), ołowiu (Pb), i cynku (Zn) na terenie miasta. Dla terenów zabudowy mieszkaniowej i użyteczności publicznej dopuszczalne stężenie takich metali jak miedź wynosi 50 ppm, ołowiu 100 ppm a cynku 150 ppm (Wskaźniki metodyczne, 1995).

Również dane o kwasowości gleb (J. Lis, 1992) wskazują, że występują przede wszystkim gleby obojętne (pH = 8.8 – 7.4), kwaśne (pH = 5.1 – 6.7) i bardzo kwaśne (pH < 5.0). Nie stwierdzono gleb alkalicznych.

Stale wzrastające zanieczyszczanie wód podziemnych w bliskiej strefie powierzchni ziemi zmusiło do korzystania dla celów pitnych i gospodarczych z wód głębszych czwartorzędowych, a przede wszystkim z wód poziomu oligoceńskiego. Obecnie dobre wody czwartorzędowe na obszarach tarasów Wisły, gdzie brak izolacji warstwy wodonośnej, są rzadkością.

W obrębie wysoczyzny, w czwartorzędzie wody podziemne dobrej jakości występują najczęściej lokalnie i to na głębokościach od 50 do 80 metrów. Złej jakości wody w utworach czwartorzędowych występują szczególnie na terenach Ochoty, Woli, Żoliborza i Mokotowa.

Generalnie w Warszawie obserwuje się wzrastającą degradację płytkich wód gruntowych. Wyraźne zanieczyszczenie tych wód stwierdzono podczas badań wykonanych dla potrzeb budowy metra. Złą jakość wód czwartorzędowych pogłębiają stale nasilające się zanieczyszczenia, których źródłem są ścieki przemysłowe i bytowe odprowadzane do rowów melioracyjnych lub infiltrujące w podłoże z nieszczelnej sieci kanalizacyjnej, a także przenikanie do podłoża produktów naftowych. Z doprowadzaniem wody wodociągowej do osiedli

peryferyjnych nie nadąża kanalizacja i budowa oczyszczalni ścieków. Dotychczasowe studnie kopane są zamieniane często na uszczelnione szamba, co powoduje dalsze silne zanieczyszczanie wód w otoczeniu. Na obszarach wykorzystywanych rolniczo płytkie wody w osadach czwartorzędu są zanieczyszczane chemicznymi środkami ochrony roślin i nadmiernym stosowaniem nawozów sztucznych.

Wody występujące w utworach miocenu są złej jakości i są one zabarwione pyłem węglowym.

W tej sytuacji wody występujące w piaskach oligoceńskich stanowią najlepszy w Warszawie zbiornik wody podziemnej. Dobra jakość wód z warstw oligoceńskich wynika z pozytywnych cech organoleptycznych, naturalnej czystości mikrobiologicznej i chemicznej i wielomineralnym, naturalnym składem chemicznym. W wodach tych przekraczane są wartości żelaza i czasami manganu.

10. Podsumowanie

Atlas Warszawy jest pierwszym w Polsce w pełni cyfrowym opracowaniem szeroko pojętych zagadnień geologiczno-inżynierskich według zasad geograficznego systemu informacyjnego (GIS).

Dotychczasowy sposób wykonywania map ręcznie na podkładzie papierowym nie zezwalał na wprowadzanie poprawek lub zmian wynikających z dopływu nowych danych. Nieuzupełniane o bieżące dane mapy szybko się dezaktualizowały i traciły swą przydatność jako źródła wiarygodnych informacji.

Natomiast Atlas wykonany całkowicie cyfrowo w układzie współrzędnych x, y, z daje możliwość wprowadzenia prawie nieograniczonych zasobów różnorodnych informacji nie tylko z zakresu geologii inżynierskiej, ale też zarządzania, infrastruktury itp. Cyfrowa baza danych cechuje się łatwością dostępu, bieżącego dokonywania uzupełnień i ich rozszerzania. Umożliwia także badania wzajemnych korelacji, dokonywanie obliczeń statystycznych, obliczanie trendów i prognoz.

Bieżące cyfrowe redagowanie aktualnych map zezwala na natychmiastowy wydruk dowolnej konfiguracji map, w dowolnej skali.

W Atlasie geologiczno-inżynierskim przedstawione zagadnienia umieszczone są na nośniku magnetycznym a liczba punktów dokumentacyjnych umożliwia wiarygodne przedstawienie tych zagadnień w skali 1:10 000 a lokalnie i większej.

Wszystkie zagadnienia objęte mapami orientacyjnymi w skali 1:100 000 i 1:200 000 zostały przedstawione także w skali 1:10 000. Ze względu na trudności techniczne przedstawienia w skali 1:10 000 całego miasta opracowano jedynie wycinek przykładowy z części gmin Bielany i Białołęka.

Na poszczególnych mapach przedstawiono występowanie gruntów na różnych głębokościach, przydatność budowlaną i zagrożenia geologiczne oraz możliwość zaopatrzenia w wodę podziemną.

11. Literatura

- „Atlas województwa warszawskiego”, Wydział Geodezji i Gospodarki Gruntami, Warszawa 1993
- Bażyński J., 1996 – Eksploatacja wód z utworów oligoceńskich w rejonie Warszawy, Przegląd Geologiczny nr 4
- Bażyński J., Frankowski Z. 1998 – Współczesne problemy kartografii geologiczno-inżynierskiej dla potrzeb zagospodarowania przestrzennego, W: Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej w Polsce, WIND – J. Wojewoda, Wrocław
- „Budownictwo na gruntach słabych, nasypowych i antropogenicznych rejonu Warszawy” [materiały konferencyjne]. W: 6 Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. Warszawa 9-10 czerwiec 1981, Naczelna Organizacja Techniczna Oddział Stołeczny. Polski Komitet Geotechniczny.
- Cygański K., Woźniak E., 1997 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Warszawa Wschód, PIG, Warszawa
- Cygański K., Woźniak E., 1997 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Warszawa Zachód, PIG, Warszawa
- „Dolina Wisły – Zagospodarowanie w granicach województwa warszawskiego – wybrane aspekty ekologiczne, rekreacyjne i społeczne”, Konferencje w Warszawie, lipiec 1996 r., Wojewoda Warszawski, Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska, Towarzystwo Społeczno-Kulturalne Miasto-Ogród Sadyba
- Frankowski Z., Jakubicz B., Żylińska J., 1994 - Geologiczno-inżynierska ocena warunków inwestycyjnych obszarów miejskich na przykładzie aglomeracji Radomia. PIG, Warszawa

- Frankowski Z., Żylińska J., Zawadzki R., 1996 – Ocena zmian w środowisku geologicznym na obszarze Lubelskiego Zagłębia Węglowego wywołanych rozbudową kopalni i jej infrastruktury w rejonie Łęcznej, PIG Warszawa
- Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych, Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa, 1998
- Instrukcja sporządzania mapy warunków geologiczno-inżynierskich w skali 1:10 000 i większej dla potrzeb planowania przestrzennego w gminach, PIG, Warszawa, 1999
- Instrukcja ITB nr 302, 1991 - Wykonywanie map warunków budowlanych dla obszarów miejskich
- Instrukcja ITB nr 303, 1990 - Ustalanie przydatności gruntów na potrzeby budownictwa
- Instrukcja ITB nr 304, 1991 - Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy
- Jakubicz B., Łodzińska W., 1989 - Zasady metodyczne opracowania map i atlasów geologiczno-inżynierskich obszarów zurbanizowanych i perspektywicznej zabudowy powierzchniowej. Instr. i Mat. Bad. Geol., z. 49, PIG, Warszawa
- Jakubicz B., Żylińska J., 1992 - Atlas geologiczno-inżynierski Radomia w skali 1:25.000. PIG, Warszawa
- Kleczkowski A.S., 1990 – Objasnienia mapy obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony, AGH, Kraków
- Lis J., 1992 – Atlas geochemiczny Warszawy i okolic w skali 1:100 000, PIG, Warszawa
- Malinowski J., Stamatello H., 1964 – Atlas geologiczny Warszawy, część II Mapy geologiczno-inżynierskie w skali 1:20 000, Instytut Geologiczny, Warszawa
- Morawski W., 1980 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Warszawa Zachód z objaśnieniami, Wyd. Geol., Warszawa
- PN-B-02479, 1998 - Geotechnika - Dokumentowanie geotechniczne. Zasady ogólne
- PN-B-02481, 1998 - Geotechnika - Terminologie podstawowe, symbole literaturowe, jednostki miar
- Perek M., 1990 – Degradacja środowiska naturalnego na obszarze Mokotowa w Warszawie, Kwartalnik Geologiczny, t. 34, nr 4

- Sarnacka Z., 1976 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Piaseczno z objaśnieniami, Inst. Geol., Warszawa
- Sarnacka Z., 1980 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Warszawa Wschód z objaśnieniami, Inst. Geol., Warszawa
- Sarnacka Z., 1992 – Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic, PIG, Warszawa
- Sujkowski Z., Różycki S.Z., 1937 - „Geologia Warszawy”. Rozdział w monografii „Wodociągi i kanalizacja m. st. Warszawy 1886 - 1936”. Wydawnictwo Wodociągów i Kanalizacji m. st. Warszawy, Warszawa
- Wskazówki metodyczne do oceny stopnia zanieczyszczenia gruntów i wód podziemnych produktami ropopochodnymi i innymi substancjami chemicznymi w procesach rekultywacji, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 1995
- Wysokiński L. i inni, 1982 – Analiza warunków geologicznych i prognoza stateczności Skarpy Warszawskiej dla celów zagospodarowania przestrzennego, zabezpieczeń i ochrony środowiska w dzielnicy Śródmieście, ITB Warszawa
- Wysokiński L., 1995 - Podstawy projektowania konstrukcji geotechnicznych w świetle norm i doświadczeń. 50 lat geotechniki w ITB, Warszawa
- Wysokiński L., 1995 - Wiarygodność rozpoznania geotechnicznego w świetle naturalnej zmienności utworów geologicznych, doświadczeń i norm. Materiały XLI Konferencji w Krynicy
- Wysokiński L. i inni, 1998 - Warszawska Skarpa Śródmiejska od Al. Jerozolimskich do ul. Sanguszki. Aktualizacja wykonanej w 1982 r. analizy warunków geologicznych i prognozy stateczności Skarpy Warszawskiej dla celów zagospodarowania przestrzennego zabezpieczeń i ochrony środowiska w Dzielnicy Śródmieście w granicach od ul. Sanguszki do Al. Jerozolimskich i przetworzenie jej w dokumentację geologiczno-inżynierską dla odcinka Skarpy od ul. Sanguszki do ul. Grodzkiej, ITB Warszawa

Uwagi do wydzielonych serii

Żoliborz

Seria nr 9

Występujące na ark. nr 32, 33, 34, 40, 41, 42, 43, 50, 51, 52, 53, 61, 62, 63, 64, 74, 75, 76 (Żoliborz) utwory piaszczyste w większości zostały zaliczone do serii nr 9. Według W. Morawskiego są to piaski i żwiry pochodzenia rzecznego. Wskazuje na to rodzaj warstwowania, skład granulometryczny i obecność spągowej powierzchni erozyjnej. Seria ta jest dobrze rozpoznana na obszarze kopalnego jeziora eemskiego na Wawrzyszewie. Osady piaszczyste leżą tu na serii nr 11. Są więc od niej młodsze. Między Młocinami a Bielaniem poziom piaszczysty stanowi stropową warstwę żwirowych osadów eemskich kopalnego tarasu bielańskiego. Razem zaliczono je do serii nr 9 (miąższość osadów 20 – 30 m). Ku południowi i zachodowi od wyżej wymienionych arkuszy prześledzenie osadów zaliczonych do serii nr 9 utrudnia występowanie ciągłej pokrywy serii nr 15. Postawienie granicy między tymi piaszczystymi seriami jest bardzo utrudnione i często umowne.

Seria nr 11

Na ark. 50, 51, 61, 62, 63 i 74 (Żoliborz) występują osady zaliczone do serii nr 11. Jest to obszar tzw. jeziora eemskiego na Wawrzyszewie. Do serii nr 11 zaliczono: gytie, kredy jeziorne, łupki bitumiczne, pyły próchniczne, namuły torfiaste, torfy i piaski humusowe. Stropowa część eemskich osadów organicznych w obszarze występowania torfów i przy brzegach zbiornika rozcięta jest szczelinami zmarzlinowymi, które wypełnione są wymieszanymi osadami ze ścian szczelin i piaskami. Taka duża zmienność osadów powoduje, że opisy tych samych utworów na profilach wierceń u różnych autorów są bardzo różne. Gytie np. są opisywane często jako: pyły, muły, gliny jeziorne, gliny pylaste. Część osadów jeziornych serii nr 11 opisywana jest jako osady zastoiskowe. Często stropowa część serii (kliny mrozowe) opisywana jest jako utwory lodowcowe (piaski gliniste).

Wola, Żoliborz

Seria nr 14

Wydzielenie tej serii jest bardzo utrudnione. Jest to seria o miąższości niewielkiej, często nawet mniej niż 2 m. Występuje ona często na obszarach zwartej zabudowy, gdzie jako cienka warstwa przypowierzchniowa jest często zniszczona i przemieszana z nasypami. Natomiast leżąc bezpośrednio na serii nr 17 może być

uważana za jej eluwia albo przykrywą pyłową (seria nr 8). Są to często piaski gliniaste z domieszką materiału grubszego.

Seria nr 15

Na ark. 26, 36, 48 (Wola) występują znaczne miąższości utworów piaszczystych, które zostały wydzielone jako seria nr 15. Normalnie miąższość tej serii nie przekracza 10 m. Ta duża miąższość może być spowodowana obecnością utworów piaszczystych wypełniających obniżenia w serii nr 17. Są to prawdopodobnie utwory interstadiu pilickiego – nie jest on uwzględniony w seriach. Miejscami osady tej serii stają się drobniejsze lub zazębiają się z osadami o charakterze zastoiskowym. Przewarstwienia piasków pylastych o niewielkich miąższościach (do około 0.5 m) występujących w serii nr 15 zaliczono do tej serii.

Piaski pylaste o miąższościach > 1 m (poza strefą serii nr 8) i zalegające na większych obszarach zaliczono do serii nr 16.

Jeżeli przypowierzchniowe utwory pylaste (seria nr 8) na obszarze serii nr 15 występowały sporadycznie, to zaliczono je do tej serii.

Praga Północ

Seria nr 18

W dolinie Wisły w rejonie miejscowości Świdry Nowe, Świdry Stare, Tarchomin, Żerań ark. 65, 68, 75, 78, 87, 88 występujące piaski pod glinami serii nr 17 zaliczono do serii nr 18. Ich miąższość jest często niewielka. Część z tych piasków może być osadami serii nr 20. Jest to trudne do stwierdzenia. Najczęściej brak informacji o miąższości warstwy piaszczystej i podłożu.

Seria nr 24

Arkusze map nr 184, 192, 193, 194, 203 – podłożu pliocenu głębokie rynny wypełnione osadami o różnej litologii i genezie. Często zmienione i zaburzone glacitektonicznie (duża miąższość, niektóre sfaldowane warstwy mogą się dublować w profilu na różnych głębokościach).

Cały obszar

Seria nr 27

W wielu archiwalnych wierceniach kompleks osadów plioceńskich w znacznym uproszczeniu opisywany jest jako ility pstre. Ich rozpozniomowanie z tego powodu jest bardzo utrudnione.