

ANTONI KLECZKOWSKI

BUDOWA GEOLOGICZNA I WODY GRUNTOWE WYSOKIEGO TARASU WISŁY NA WSCHÓD OD KRAKOWA

(17 fig.)

Геологическое строение и грунтовые воды высокой террасы Вислы
восточнее Кракова
(17 фиг.)

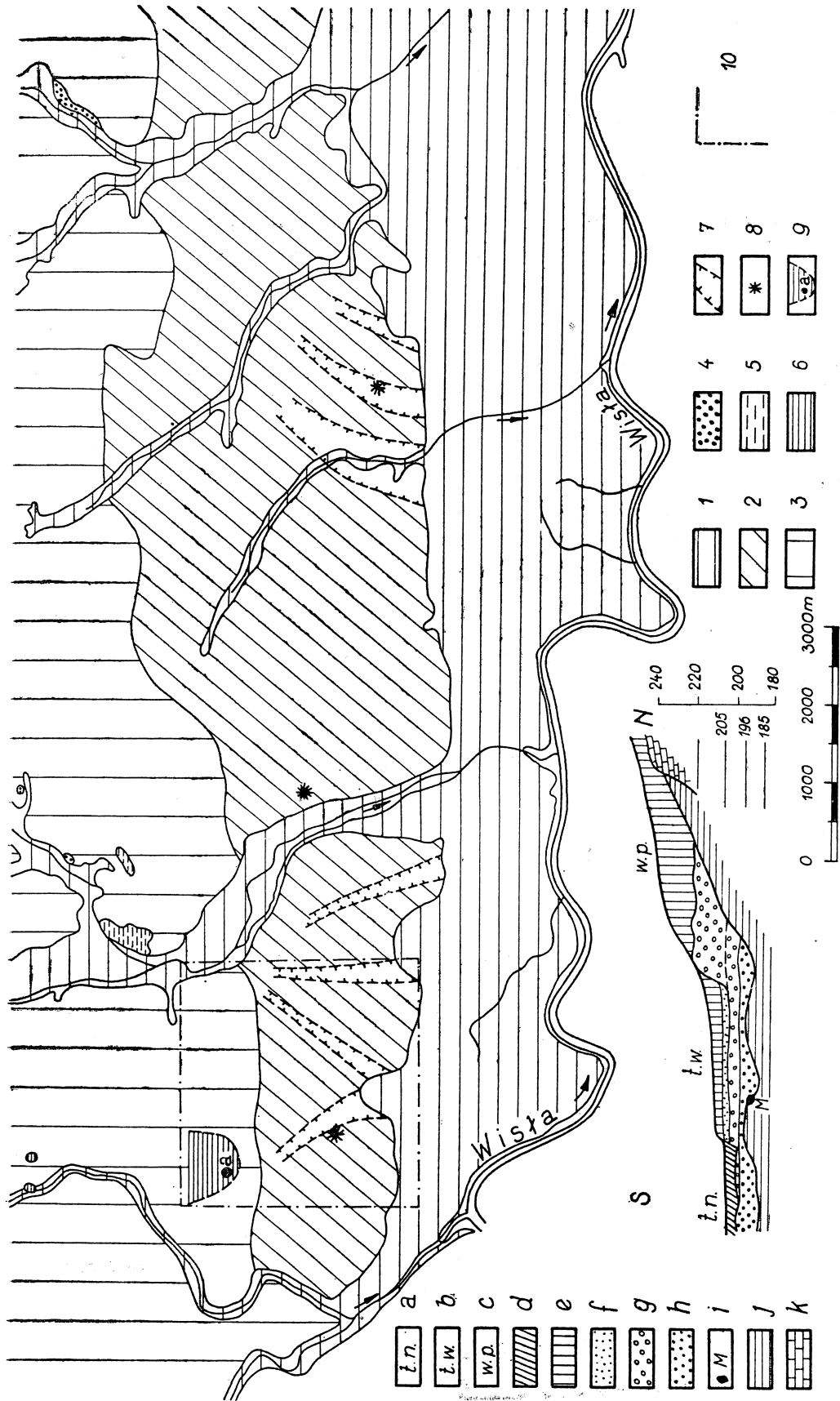
Treść. Szczegółową analizę budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych niewielkiego odcinka tarasu (ok. 5 km²) oparto na 80 wierceniach i kilkuletnich obserwacjach hydrogeologicznych. Rozpoznano skład litologiczny, formy występowania i wiek utworów oraz zrekonstruowano przebieg zjawisk geologicznych od preglacjału do holocenu. Rozpatrzono układ zwierciadła wód podziemnych i zmiany czasowe w jego obrębie, określono współczynnik filtracji, drogi zasilania i wydajność horyzontu, opisano chemizm wód. Podano wskazówki dla racjonalnego wykorzystania wód podziemnych tarasu wysokiego.

WSTĘP

Dokładniejsze poznanie budowy geologicznej lewobrzeżnego tarasu Wisły na wschód od Krakowa stało się możliwe dzięki wykonaniu na tym terenie większej ilości wierceń w latach 1949—1961.

Autor prowadził swe badania od 1956 r., zebrał i uporządkował starsze dane, zaprojektował szereg nowych robót geologicznych i hydrogeologicznych oraz opracował ich wyniki. Oprócz ogólniejszego rozpoznania warunków geologicznych wysokiego tarasu na długości około 15 km, szczególnie dokładnie zbadano krótszy odcinek długości około 3 km i powierzchni około 5 km² (fig. 1). Wykorzystano tu bowiem wyniki około 80 wierceń o przeciętnej głębokości około 25 m. Z tej liczby 60 otworów osiągnęło strop podłoża podczwartorzędowego, przeważnie miocenu. Połowę wierceń wyznaczył i opracował autor. Podana liczba 80 wierceń obejmuje tylko punkty rozrzucone w terenie, poza nimi było wykonanych kilkadziesiąt wierceń skupiających się wokół kilku studzien.

Autor wyraża wdzięczność prof. drowi inż. R. Krajewskiemu za zachętę do zajęcia się tematem i opiekę nad postępami pracy, mgrowi inż. J. Myszcze za koleżeńską współpracę i dyskusję wielu zagadnień, dyr. inż. J. Dohnalikowi z wodociągów miejskich i insp. J. Lamberowi z Dyrekcji Osiedli Robotniczych w Krakowie za liczne informacje i ułatwienia w czasie prowadzenia badań oraz kolegom z przedsiębiorstw geologicznych za chętne użyczanie materiałów i danych geologicznych.



Pod względem morfologicznym w omawianym terenie zaznaczają się trzy wyraźnie rozgraniczone jednostki, uwidocznione także na mapie geologicznej R. Gradzińskiego (1955):

- 1) taras niski na poziomie 200 m npm. szerokości 1—3 km,
- 2) taras wysoki na poziomie około 205—220 m, mający w badanym szczegółowo odcinku terenu szerokość około 2 km,
- 3) pas wzgórz północnych, sięgających w pobliżu badanego terenu wysokość około 275 m npm.

W obrębie tarasu wysokiego można w niektórych jego odcinkach wyróżnić jeszcze część niższą (taras pośredni) i wyższą. Taras wysoki jest oddzielony od niskiego wyraźnym stopniem wysokości ponad 5 m, jego północna granica w opisywanym obszarze jest także dobrze zaznaczona i biegnie wzdłuż załamania terenu na wysokości około 222 m npm.

Na badanym obszarze leżą na powierzchni tylko czwartorzędowe osady lessowate. Natomiast w obrębie sąsiadujących wzgórz północnych występują również utwory trzeciorzędu i kredy na zboczach lub w głębiej wciętych jarach, a ku wschodowi od badanego terenu na wzgórzach istnieją także odsłonięcia żwirów czwartorzędowych. Wykonywane wiercenia osiągały często, leżące pod osadami czwartorzędowymi, utwory trzeciorzędowe, a jedno na wzgórzach północnych napotkało płytko zwietrzelną margli kredowych.

←
Fig. 1. Szkicowa mapa geologiczna lewego brzegu Wisły na wschód od Krakowa częściowo według S. Zaręcznego (1894) i R. Gradzińskiego (1955) oraz schematyczny przekrój

Mapa:

- 1 — utwory tarasu niskiego — mady na żwirach; 2 — utwory tarasu wysokiego — przeważnie lessy na żwirach; 3 — utwory wzgórz — lessy na żwirach i lessy na starszym podłożu i piaskach; 4 — odsłonięcie żwirów; 5 — iły szare — miocen, torton; 6 — margle — kreda, senon 7 — rynny wyżłobione w podłożu ilów miocennych; 8 — stwierdzone występowania gładów pochodzenia północnego w stropie miocenu; 9 — obszar bez pokrywy żwirowej, a — rumosz margli kredowych w wierceniu; 10 — obszar szczegółowo badany

Przekrój:

- a — t. n. taras niski; b — t. w. taras wysoki; c — w. p. wzgórz północne; d — utwory tarasu niskiego — holocen; e — pokrywa pylasta — późniejsze stadia zlodowacenia bałtyckiego; f — żwirowiska pokrywowe — wcześniejsze stadia zlodowacenia bałtyckiego; g — żwirowiska środkowe i górne — późniejsze stadium zlodowacenia środkowopolskiego; h — żwirowiska dolne — wcześniejsze stadium zlodowacenia środkowopolskiego; i — M. szczątki moreny zlodowacenia krakowskiego; j — podłoże miocenne; k — margle kredowe

Фиг. 1. Схематическая геологическая карта и разрез левого берега Вислы восточнее Кракова (по С. Заречному (1894) и Р. Градзинскому (1955))

Карта:

- 1 — образования низкой террасы — мady на гравиях; 2 — образования высокой террасы — преимущественно lessы на гравийных отложениях; 3 — образования холмов — lessы на гравийных отложениях и lessы на старшем фундаменте и песках; 4 — обнажения гравийных отложений; 5 — серые глины — миocen; 6 — мергели — мел, сенон; 7 — котловины, вырезанные в миоценовых глинах фундамента; 8 — удостоверенное нахождение валунов скандинавского происхождения в кровли миоцена; 9 — район лишен гравийного покрова, а — россыпь меловых мергелей в буровой скважине; 10 — детально исследованный район

Разрез:

- a — t. n. низкая терраса; b — t. w. высокая терраса; c — w. p. северные холмы, d — образования низкой террасы — голоцен; e — глинистый покров — позднейшие стadia балтийского оледенения; f — покровные гравийные отложения — ранняя стadia балтийского оледенения; g — средние и верхние гравийные отложения — позднейшие стadia среднепольского оледенения; h — нижние гравийные отложения — ранняя стadia среднепольского оледенения; i — М. — реликты морены краковского оледенения; j — миоценовый фундамент; k — меловые мергели

Stwierdzono występowanie od powierzchni do głębokości około 30 m trzech wyraźnie różniących się między sobą kompleksów skalnych:

- 3) kompleks osadów lessowatych (pyły, pyły piaszczyste, piaski) — plejstocen, częściowo holocen.
- 2) kompleks żwirowo-piaszczysty — plejstocen,
- 1) kompleks ilasty — miocen.

SKŁAD LITOLOGICZNY I BUDOWA GEOLOGICZNA WYSOKIEGO TARASU

Kompleks ilasty

Kompleks najniższy zbudowany jest z szarych, a niekiedy zielonawych iłów silnie wapnistych. Na tle zasadniczej barwy występują często plamy żółte, brązowe lub rdzawe. Iły są zwykle zwarte, a niekiedy mają pokrój iłowców lub nawet twardych iłowupków. Skład granulometryczny iłów ze stropowej ich części przedstawiono na wykresie (fig. 2); przeważa, jak widać, frakcja ilasta występująca w ilości około 70—80%. W opisanym kompleksie ilastym trafiają się przeławicenia pylaste i piaszczyste, częste są gniazda gipsu, napotykanne na pobliskich obszarach, oraz ziarna pirytu i markazytu, stwierdzone również w wierceniach opisanego terenu.

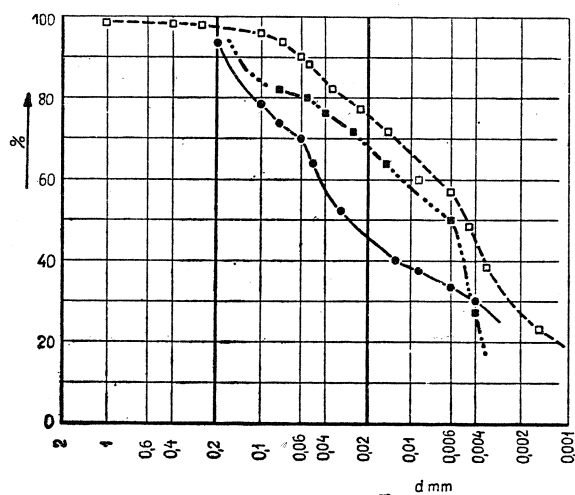


Fig. 2. Skład ziarnowy iłów miocenów
Фиг. 2. Кумулятивная кривая гранулометрического состава миоценовых глин

Opisane iły, leżące w podłożu żwirów, odpowiadają iłom miocenowym znanym z okolic Krakowa zarówno z powierzchni, jak i z wierceń. Pod względem stratygraficznym iły te należą do górnego opolu, a więc najwyższej części dolnego tortonu (S. W. Alexandrowicz 1962). W stropie zwartych iłów stwierdza się często iły twardeplastyczne, miąższości 20—40 cm, a czasem do 80 cm. W tej partii tkwią niekiedy otoczaki związane genetycznie z wyżej leżącym zespołem żwirowo-piaszczystym. W trzech wierceniach na tarasie wysokim stwierdził autor występowanie żwirów i głazów skandynawskich (fig. 1), leżących tuż nad iłami miocenowymi lub też wcisniętych w iły. We wszystkich trzech wypadkach na głazy natrafiono w pobliżu rynien w podłożu. Głazy osiągały w dwu wierceniach na wschód od badanego obszaru średnicę około 20 cm¹, w wiercieniu usytuowanym na zachód były mniejsze. Są to przypuszczal-

¹ O żwirach krystalicznych z głazami średnicy ok. 20 cm z tego samego terenu i w takim samym położeniu wzmiankuje w nie publikowanym opracowaniu prof. J. Gołęb.

nie pozostałości przemytej moreny zlodowacenia krakowskiego, zgodnie z poglądem K. Beresa (1938 a), który opisał głazy morenowe z doliny Białuchy koło Zielonek, leżące wprost na podłożu mioceńskim i uważał je za residuum po morenie zlodowacenia krakowskiego.

Kompleks żwirowo-piaszczysty

Kompleks żwirowo-piaszczysty wykazuje dość wyraźne zróżnicowanie na cztery poziomy, przy czym dokładniej rozpoznano dwa niższe z nich. Hipsometryczny układ poziomów jest następujący:

- 4) poziom żwirowy górny, ok. 200 m npm. — 220 (224) m npm.,
- 3) poziom żwirowy pokrywowy, ok. 200 m npm. — 204 (206) m npm.,
- 2) poziom żwirowy środkowy, (195) 196 m npm. — 200 m npm.,
- 1) poziom żwirowy dolny, od stropu ilów mioceńskich do (195) 196 m npm.

Podane granice pomiędzy poziomami żwirowymi, mogą się wahać w dosyć szerokich granicach. Na przykład granica żwirowisk dolnych i środkowych może przebiegać między 194 a 197 m npm. i jest niekiedyznaczona występowaniem soczewkowatych wkładek pylastych. Wkładowe pylaste występują też nieco niżej (191—193 m npm.), a także pojawiają się w poziomie około 205 m npm. tylko w okolicy krawędzi północnej stropowej powierzchni żwirowisk tarasu wysokiego (fig. 10, 11).

Podział żwirowisk powyżej podany oparty jest na dosyć urozmaiconym składzie litologicznym i granulometrycznym. Wśród otoczków i fragmentów występują wapienie i krzemienie pochodzące ze skał jurajskich i kredowych, piaskowce i rogowce związane z fliszem karpackim; kwarce ze skał fliszowych, z kredy krakowskiej (cenoman, turon) lub pochodzenia północnego oraz krystaliczne skały skandynawskie.

W dolnym poziomie żwirowym zaznacza się duży udział (do 80%) piaskowców szarozielonkawych mikowych. Są to prawdopodobnie glaukonitowe piaskowce godulskie. Piaskowcom towarzyszą czarne rogowce i otoczaki łupków krzemionkowych oraz mlecznobiałe kwarce. Oprócz tych skał występują wapienie i krzemienie w ilości 5—10%. Wśród największych (10—18 cm) otoczków w tej części profilu przeważają piaskowce i buły krzemienne.

W środkowym poziomie żwirowym znacznie — bo do około 5% — zmniejsza się udział piaskowców lub w ogóle ich brak. Dominują natomiast wapienie w postaci ostrokrawędzistego rumoszu o wielkości fragmentów do 15 cm i krzemienie do 10 cm.

W pokrywowym poziomie żwirowym przeważają ilościowo wapienie, które występują liczniej od krzemieni i są od nich większe. Przeciętny rozmiar fragmentów wapiennych wynosi 6—8 cm, krzemieni około 2—3 cm. W stosunku do niżej leżących żwirowisk środkowych następuje wyraźne wzbogacenie w niewielkie otoczaki piaskowcowe średnicy 1—2 cm, a niekiedy do 5 cm. Ziarna piaskowcowe stanowią około 25% ogólnej ilości otoczków w tym poziomie. Żwiry wyższe wzbogacone w materiał karpacki mają ograniczony zasięg występowania, zostały stwierdzone jedynie na tarasie wyższym, ku północy rozprzestrzeniają się tylko do krawędzi w stropie żwirowisk (fig. 11) lub nawet do niej nie sięgają.

W górnym poziomie żwirowym materiał jest ten sam co i w poziomie żwirowym środkowym, otoczków piaskowcowych brak lub

występują tylko sporadycznie. Wzrasta jeszcze udział frakcji piaszczystej, niekiedy brak zupełnie części żwirowych.

Zmiany składu litologicznego żwirów uwypuklają się najlepiej jeżeli pod uwagę bierze się obecność w nich piaskowców, którym zwykle towarzyszą rogowce i kwarcy. Otoczaki skał pochodzenia skandynawskiego, przeważnie granity stwierdzano w niedużej ilości we wszystkich poziomach żwirowych.

Wyróżnione kompleksy żwirowe różnią się między sobą składem ziarnowym, co uwidacznia się na wykresach (fig. 3—5). Krzywe granulometryczne żwirowisk dolnych (do 196 m npm.) wykazują duże podobieństwo (fig. 3), zwykle zaznacza się stopniowe przechodzenie od frakcji piaszczystej do żwirowej, a więc dość równomierny udział poszczególnych frakcji. Wyraźnie jest zaakcentowana duża ilość (ok. 60%) ziarn powyżej 10 mm, a w niektórych próbach powyżej 5 mm. Frakcja piaszczysta występuje w niewielkiej ilości.

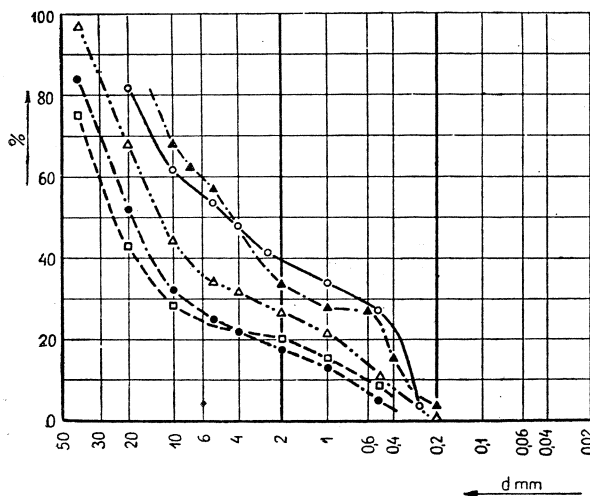


Fig. 3. Skład ziarnowy poziomu żwirów dolnych (od stropu ilów mioceńskich do 196 m npm.)

Фиг. 3. Кумулятивная кривая гранулометрического состава горизонта нижних гравийных отложений (от кровли миоценовых глин до 196 м)

Krzywe żwirowisk środkowych (fig. 4) są bardziej zróżnicowane, a w niektórych próbkach mały jest udział frakcji pośrednich między piaskami a grubym żwirem (ziarna od 1—5 mm), zwiększa się także często ilość piasku w stosunku do części żwirowych.

Bardzo wyraźna zmiana charakteru granulometrycznego osadów występuje powyżej około 200 m npm.; osady żwirowo-piaszczyste (fig. 3, 4) przechodzą bowiem wyraźnie w piaszczysto-żwirowe (fig. 5). Frakcja żwirowa występuje w ilości 20—40%, piaski należą przeważnie do drobnych, bardzo mało jest ziarn w przedziale wielkości 0,5—5 mm. Jest to więc mieszanina piasku i części żwirowych.

Ogólnie można powiedzieć, że istnieje wyraźna różnica w składzie ziarnowym pomiędzy żwirowiskami dolnymi a pokrywowymi i górnymi. Charakter krzywych ma bowiem zupełnie odmienny charakter. Natomiast żwirowiska środkowe wykazują pod względem granulometrycznym podobieństwo albo do leżących niżej, albo do położonych wyżej.

W spągowej części żwirowisk dolnych często stwierdzano przewagę drobniejszych ziarn (piasek). Także na poziomie 195—196 m npm. zaznacza się wyraźne zmniejszenie się wielkości ziarn podkreślane nawet w raportach pisanych przez obsługę wierceń. W spągu pokrywowych żwirowisk powyżej 200 m npm. leżą wkładki piasków drobnoziarnistych bez grubszych części. Zwykle w każdym poziomie żwirowym sedimentacja zaczyna się drobniejszym osadem, który następnie szybko przechodzi w gruboziarnisty. Występowanie soczew i warstw piaszczystych na prze-

mian z piaszczysto-żwirowymi jest charakterystyczne dla żwirowisk górnych. Niekiedy czyste piaski zastępują całkowicie osady mieszane np. w północno-zachodniej części zrównanej powierzchni 217—224 m npm. (fig. 11).

Największe, spotykane w niektórych wierceniach, otoczaki o średnicy 15—18 cm występują najczęściej w poziomie do 196 m npm. Na ogół jednak wielkość otoczków w tym poziomie osiąga tylko 10—12 cm. Czasem duże ziarna pojawiają się także w niewielkiej ilości na granicy środkowych i pokrywowych żwirowisk (wapienie do 15 cm, krzemienie do 10 cm).

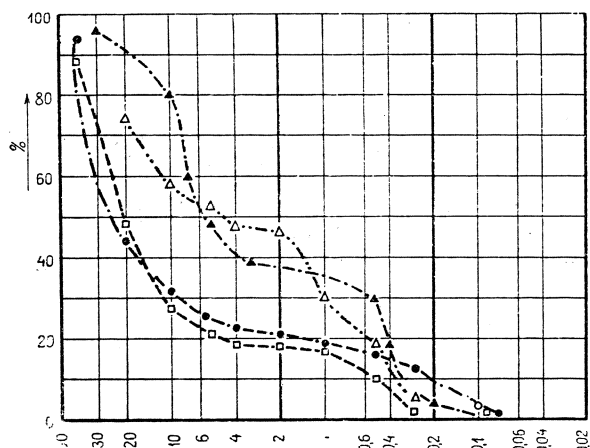


Fig. 4. Skład ziarnowy poziomu żwirów środkowych (196—200 m npm)

Фиг. 4. Кумулятивная кривая гранулометрического состава средних гравийных отложений

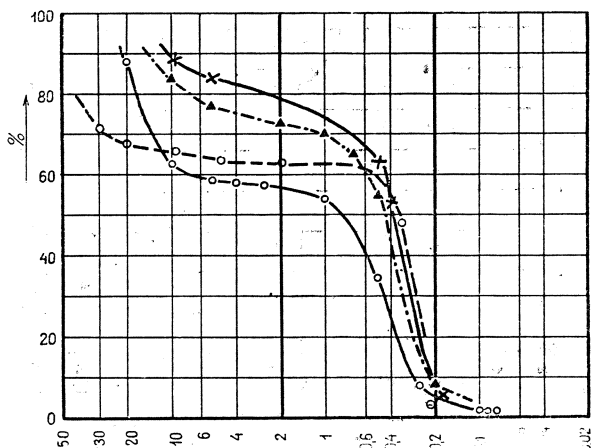


Fig. 5. Skład ziarnowy poziomu żwirów pokrywowych (200—204—206 m npm)

Фиг. 5. Кумулятивная кривая гранулометрического состава покровных гравийных отложений

Stopień obtoczenia większych fragmentów jest zwykle wyższy w obrębie żwirowisk do 196 m npm., znacznie zaś niższy w obrębie 196—200 m npm. a zwłaszcza w górnych żwirowiskach. Wapienie i krzemienie występują tu najczęściej w postaci ostrokrawędzistego rumoszu. Różnice obtoczenia zaznaczają się najlepiej w wypadku wapieni i krzemieni, inne odłamki: piaskowcowe, kwarcowe i rogowcowe są dobrze obtoczone we wszystkich poziomach.

Wkładki pylasto-ilaste w żwirach mają miąższość kilkudziesięciu cm do 2 m. Są to gliny pylaste, ily, pyły gliniaste lub pyły piaszczyste koloru szarego lub szarzielonego. Części pylaste i ilaste występują w prawie równych proporcjach (fig. 6). Skład ziarnowy wkładek pylasto-ilastych w żwirowiskach jest więc inny niż iłów miocénskich (fig. 2), w których wyraźnie dominuje frakcja ilasta.

W okolicy Krakowa już E. Tietze (1888) odróżniał żwiry z materiałem karpackim od żwirów z materiałem miejscowym (jurajsko-kredowym), również S. Zaręczny (1894, 1897) wymienia oba rodzaje utworów, nie wydzielając ich jednak osobno na mapie (1894). Żwiry karpackie stwierdzono w dolinie Wisły w tak zwanym zagłębiu budzińsko-cholerzyńskim w związku z badaniami dla wodociągów miejskich (R. Ingarden 1896, T. Jaszczurowski 1907, M. Matakiewicz 1917, Sprawozdanie... 1909). Zamieszczone w wymienionych pracach profile wierceń i przekroje pozwalają na ustalenie, że żwiry wapienno-krzemienne leżą w dolinie Wisły na żwirach karpackich. Są więc od nich młodsze.

K. Beres (1938 b) i M. Tyczyńska (1961) podają wiadomości o szerokim rozprzestrzenieniu żwirów karpackich na terenie całego Krakowa i jego najbliższej okolicy, podkreślając ich duże podobieństwo w różnych punktach oddalonych od siebie. Strop żwirów karpackich występuje w niektórych odcinkach pradoliny Wisły koło Krakowa wyżej niż na opisywanym terenie (ok. 196 m npm.): na zachód od Krakowa w okolicy Cholerzyna i Budzyna na wysokości do około 207—211 m npm. koło Bielania do 200 m npm. (T. Jaszczyński 1907)¹.

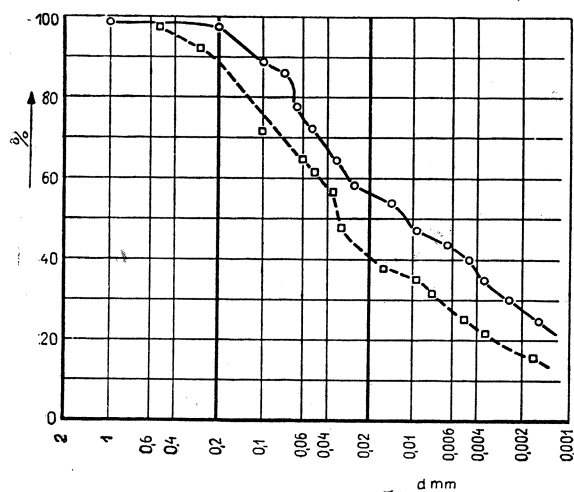


Fig. 6. Skład ziarnowy wkładek pylasto-ilastych w żwirowiskach

Фиг. 6. Кумулятивная кривая гранулометрического состава пылюсто-песчаных прослоев в гравийных отложениях

Dzięki pracom A. Jury (1937) z częścią geologiczną M. Książkiewicza oraz M. Klimaszewskiego (1952 b) ustalono wiek żwirów stożka Prądnika. Tak na podstawie znalezionych w żwirach przedmiotów kultury mustierskiej, jak i przesłanek geologicznych należy powstanie stożka Białuchy wiązać ze zlodowaceniem środkowopolskim. S. Bukowy (1956) scharakteryzował skład litologiczny żwirów Robotnej i Prądnika oraz wyjaśnił jego związki z budową geologiczną wyższego biegu tych cieków. W żwirach znajdował krzemienie i wapienie górnej jury, margle senonu i otoczaki kwarcu, które określił jako rozmyte osady cenomanu, turonu i plejstocenu. Stwierdził, że piaski stożka napływowego Prądnika są podobne do piasków wrakonu, odsłoniętych w wyższej części dorzecza i różnią się od piasków innych dolin np. od piasków Dłubni. Można więc przyjmować, że również stożki innych sąsiadujących dopływów Wisły powstawały w tym samym czasie co stożek Białuchy, choć różnią się od niego składem litologicznym.

Żwirowiska z przewagą materiału karpackiego jako leżące wszędzie pod utworami stożka Białuchy należałoby uznać za starsze od tych ostatnich, są one natomiast młodsze od zlodowacenia krakowskiego, ponieważ leżą nad moreną tegoż zlodowacenia.

Żwirowiska karpackie należałoby więc zaliczyć do starszego stadium tego samego zlodowacenia co i utwory stożkowe (żwirowiska środkowe

¹ Jak wynika z obserwacji autora, żwiry odsłonięte koło Kocmyrzowa (S. Zareczny 1894, R. Gradziński 1955) na wysokościach do 275 m npm. są zbudowane ze skał miejscowych, a więc jurajskich i kredowych wapieni, krzemieni oraz z kwarcu, litytów, kwarcytów i skał krystalicznych, brak w nich natomiast piaskowców karpackich. Co do pochodzenia i wieku tych utworów autor nie będzie się wypowiadał, ponieważ obszar ich występowania nie był przedmiotem jego szczegółowych badań.

i górne), a więc do zlodowacenia środkowopolskiego. Jego dwudzielność na niektórych obszarach Polski południowej podkreślał M. Klimaszewski (1952 a), W. Szafer (1953) natomiast uważał ją za niepewną. Wkładki pylaste, leżące na granicy żwirowisk dolnych i środkowych w poziomie około 196 m n.p.m., mogłyby reprezentować resztki utworów interstadialnych. M. Tyczyńska (1961) przyporządkowuje żwiry karpackie stadiowi Drenthe, a żwiry stożka Białuchy zbudowane z wapieni i krzemieni stadiowi Warty zlodowacenia środkowopolskiego.

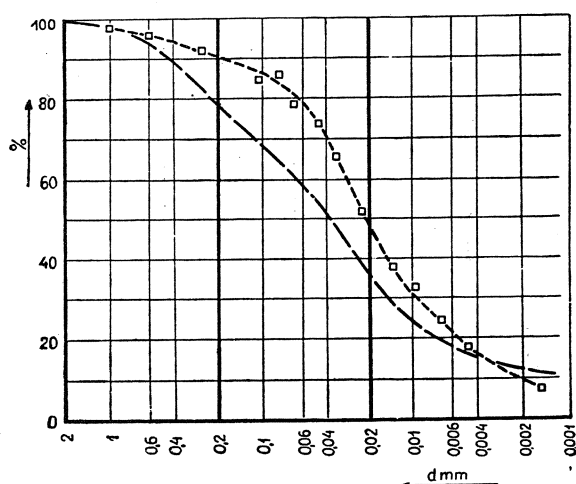


Fig. 7. Skład ziarnowy utworów pylastych w pokrywie pylasto-piaszczystej
Фиг. 7. Кумулятивная кривая гранулометрического состава пыlistых образований в пыlistо-песчанниковом покрове

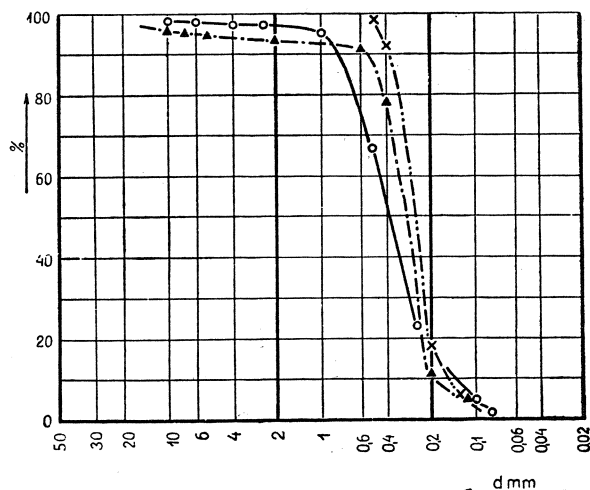


Fig. 8. Skład ziarnowy utworów piaszczystych w pokrywie pylasto-piaszczystej
Фиг. 8. Кумулятивная кривая песчаных образований пыlistо-песчанникового покрова

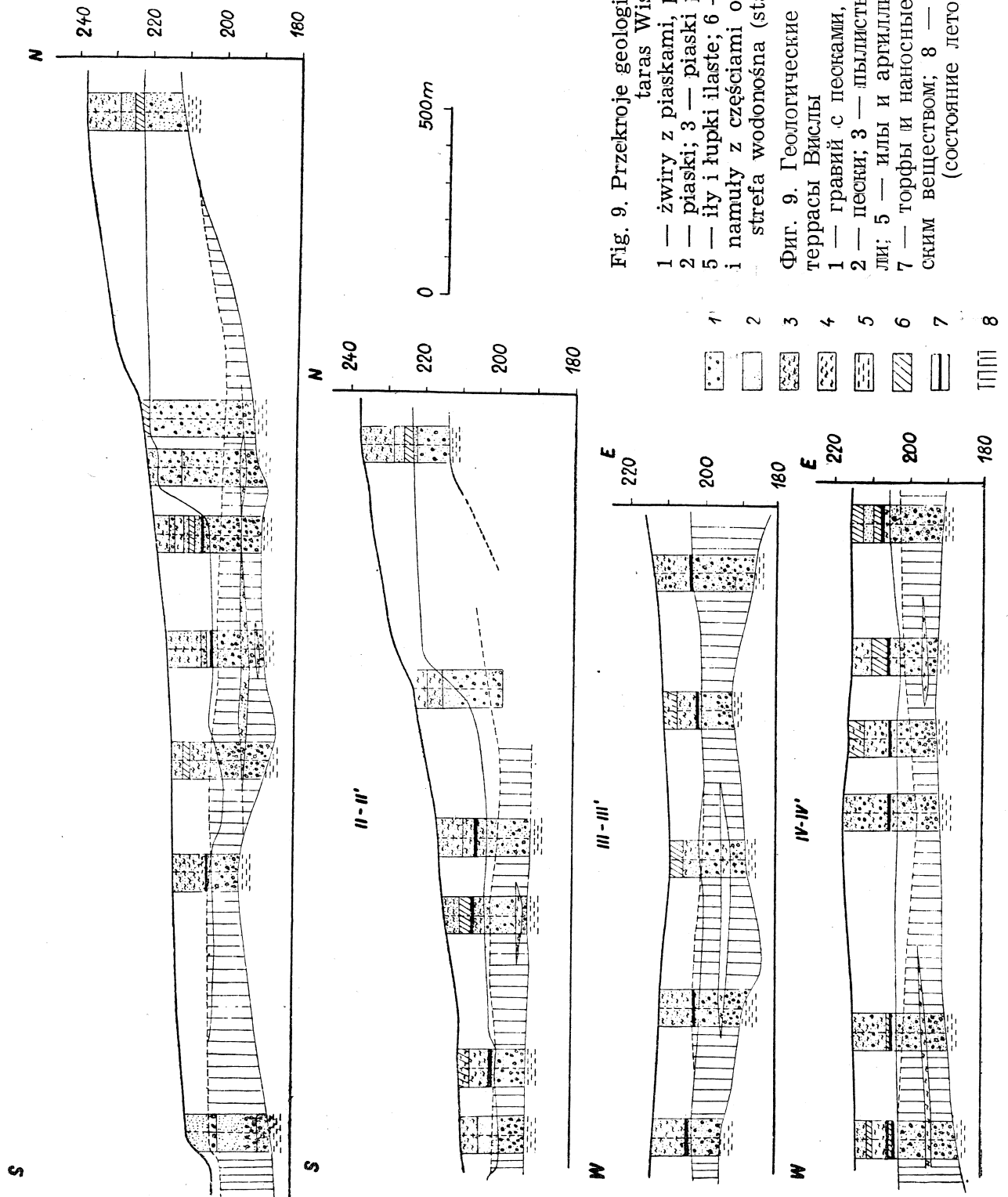
Żwirowiska pokrywowe (200—204 (206) m n.p.m.) związane są przypuszczalnie już z późniejszym okresem zlodowacenia (zlodowacenie bałtyckie) i zostały nałożone na rozciętą powierzchnię żwirowisk stożka.

Kompleks osadów lessowatych

Półprzepuszczalny kompleks miąższości od 4—15 m, a na wzgórzach osiagający przeszło 20 m, leżący ponad utworami żwirowo-piaszczystymi, jest zbudowany głównie z lessowatych glin i pyłów (fig. 7) koloru jasno-żółtego, a czasem szarego. W kompleksie tym występują, około 2—3 m ponad stropem żwirowisk, torfy oraz ciemnoszare lub brązowoczarne plastyne namuły miąższości kilkudziesięciu cm do 2 m (fig. 9, 13), z dużą zawartością części organicznych od kilkunastu do 20% w stosunku do suchej masy. Są to więc gytie. W kilku poziomach pojawiają się także cienkie przeławicenia piaszczysto-żwirowe oraz silnie zawodnione piaski niekiedy pylaste typu kurzawek (fig. 8).

UKŁAD KOMPLEKSÓW SKALNYCH I STADIA ICH POWSTAWANIA

Budowa tarasu jest ogólnie biorąc prosta. Spąg tworzą ily i iłolupki miocenne, na nich ułożony jest kompleks żwirowo-piaszczysty, przykryty z kolei osadami lessowatymi. Układ tych kompleksów jest przedstawiony na załączonych przekrojach i mapach (fig. 9—13).



Powierzchnia stropowa miocenu, leżąca na głębokości kilkunastu do 30 m, wykazuje dość znaczne deniwelacje sięgające na badanym terenie maksymalnie do około 50 m. Na tarasie wysokim deniwelacje są mniejsze i nie przekraczają 10 m (186—196 m npm.), np. w południowo-zachodniej części terenu w blisko położonych otworach dochodzą do 9 m. Strop miocenu leży tu w jednym z otworów na wysokości 194,30 m npm., a w pobliskim na 185,50 m npm. (fig. 10). Na północ od granicy tarasu wysokiego powierzchnia miocenu wznosi się ku górze wyraźnym stopniem.

Na terenie tarasu wysokiego w rzeźbie stropu miocenu dobrze są widoczne wyerodowane rynny i leżące między nimi wzniesienia. Na mapie (fig. 10) zaznaczono silniej obniżone strefy skośnym kreskowaniem (strop miocenu poniżej 188 m npm.). W celu uwypuklenia obszarów o wysoko położonym stropie miocenu specjalnym oznaczeniem podkre-

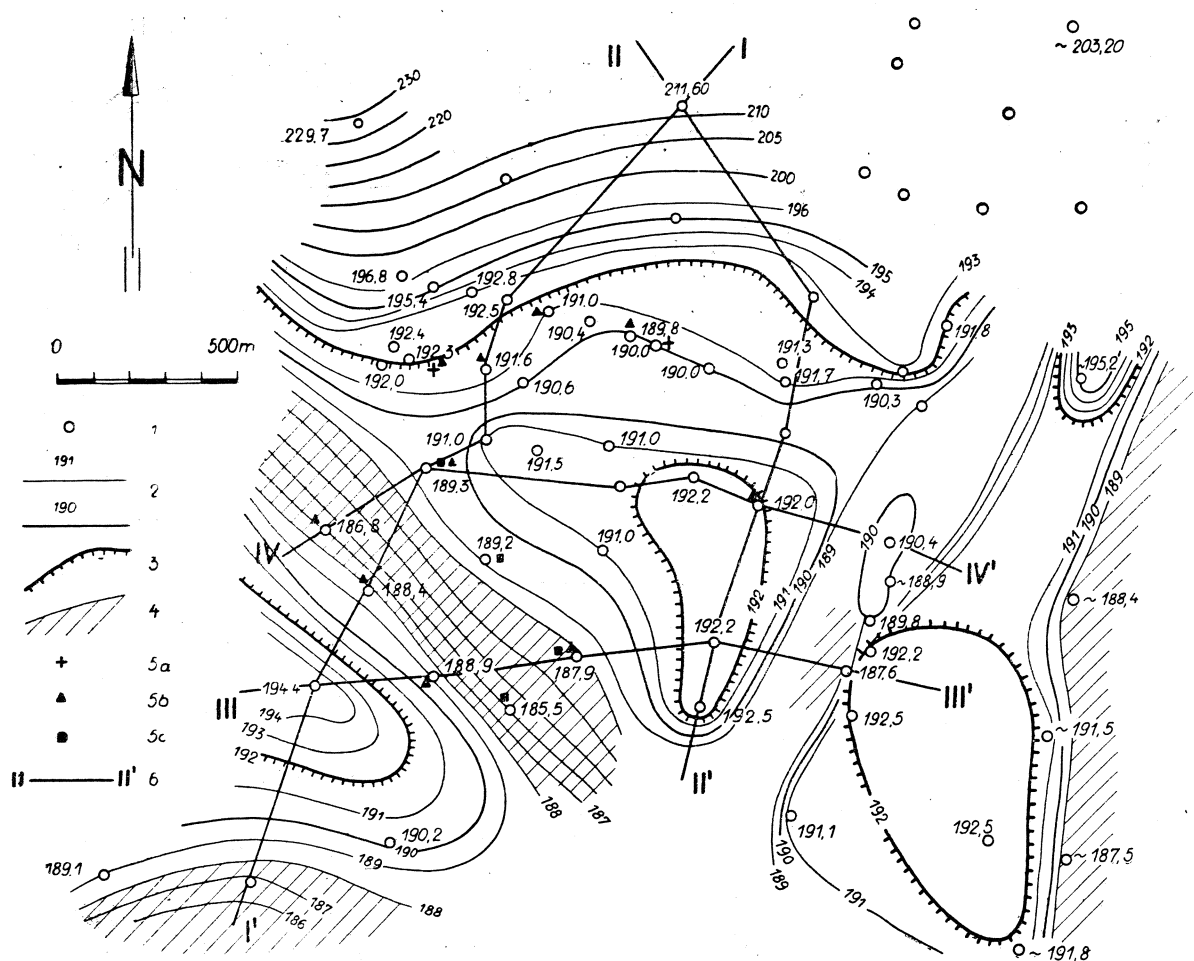


Fig. 10. Rzeźba stropu ilów miocenijskich i rozmieszczenie wkładek pylastych w żwirowiskach. 1 — wiercenia, rzędne stropu ilów; 2 — izohipsy stropu ilów miocenijskich; 3 — obszary, w których strop ilów występuje na poziomie powyżej 192 m npm.; 4 — obszary, w których strop ilów występuje na poziomie poniżej 188 m npm.; 5 — wkładki pylaste na poziomie: a) ok. 197 m npm., b) ok. 194—195 m npm., c) ok. 191—193 m npm.; 6 — linie przekrojowe

Фиг. 10. Рельеф кровли миоценовых глин и размещение пылистых прослоек в гравийных отложениях. 1 — буровые скважины, ординаты кровли глин; 2 — изогипсы кровли миоценовых глин; 3 — районы, в которых кровля глин находится выше 192 м н.у.м.; 4 — районы, в которых кровля глин находится ниже 188 м н.у.м., 5 — пылистые прослойки: а) ок. 197 м н.у.м.; б) ок. 194—195 м н.у.м., с) ок. 191—193 м. н.у.м.; 6 — линии разреза

ślono przebieg warstwicy 192 m npm. Najwyraźniej zaznaczają się trzy obniżenia: jedno w kierunku NW — SE i dwa o kierunku zbliżonym do N — S. Pierwsze wiąże się z dawnym korytem Białuchy, a pozostałe dwa z Dłubnią. Oddziela je w północnej części terenu wypiętrzenie stropu starszego podłoża nie pokryte w ogóle żwirami lub piaskami, a tylko utworami lessowatymi (fig. 11). Jeden z otworów w obrębie tego rygla, przedzielającego rynny dwu dopływów Wisły, napotkał na głębokości 3 m zwietrzelinę margli kredowych.

Rynny w podłożu miocenijskim występują także na E od badanego terenu (fig. 1). Są one wyraźnie związane z dopływami Wisły i wykazują wachlarzowaty układ. Rynny są niegłębokie, różnica poziomów między dnem a otoczeniem wynosi od 5 do 10 m, przeciętnie około 8 m. W przekroju poprzecznym niektórych rynien, np. w rynnie zachodniej (fig. 10), można zauważyć wyraźną niesymetryczność: brzeg zachodni jest stromy, a wschodni łagodnie nachylony. Szerokość rynien wynosi zwykle 100—200 m, zmniejsza się ku północy, a rośnie w kierunku południowym, a więc w obszarze ujściowym. Na granicy pomiędzy tarasem wysokim i niskim rynny łączą się z obniżeniem w stropie miocenu o kierunku W — E, związanym z biegiem Wisły.

Formy erozyjne wyżłobione w podłożu miocenijskim w okresie preglacjalnym zostały następnie przykryte utworami zlodowacenia krakowskiego. Po rozmyciu moreny i odnowieniu form urzeźbienia podłoża nastąpiło zasypanie osadami żwirowo-piaszczystymi, niesionymi przez Prawisłę. Żwirowiska dolne, zbudowane przeważnie z okruchów skał karpackich, zostały ścięte na badanym odcinku terenu do poziomu około 196 m npm.

Występowanie wkładek pylastych ogranicza się do obniżen między kulminacjami podłoża miocenijskiego (fig. 10). Trudno ustalić, czy pyły gdzie indziej nie osadziły się w ogóle, czy też tylko na wspomnianym terenie ocalały przed rozmyciem. Wkładowe pylaste leżące na żwirowiskach dolnych stanowią, być może, resztki utworów interstadialnych ocalałe od zniszczenia.

W czasie kolejnego stadium ożywionej akumulacji żwirowo-piaszczystej miało miejsce wysokie zasypanie materiałem osadzonym w formie stożków przez dopływy Wisły. O takim pochodzeniu żwirowisk środkowych i górnych świadczy ich skład litologiczny i forma występowania. Piaski ze żwirami były usypywane w północnej części obszaru do wysokości ponad 220—224 m npm. (fig. 9, 11). Czynniki niszczące uformowały w stropie żwirowisk dwie na ogół wyrównane powierzchnie (ok. 220—224 m npm. i ok. 200 m npm.) rozdzielone wyraźnym stopniem.

Powierzchnia żwirowisk Białuchy i Dłubni na poziomie około 200 m npm., a więc w obrębie dzisiejszego tarasu wysokiego, została przykryta pokrywą żwirów ze zwiększonym (do ok. 25%) udziałem materiału karpackiego. Zostały one nazwane roboczo poziomem żwirowisk pokrywowych. Procesy erozyjne ścięły je do obecnego poziomu 202—206 m npm. Jeszcze później nastąpiło wyżłobienie niegłębokiego koryta w stropie żwirowisk.

W rezultacie procesy erozyjne nadały stropowi żwirowisk wyraźne, widoczne na przekrojach i na mapie (fig. 9, 11) tarasowe formy, zatarte w pewnym stopniu przez pokrywę pylasto-piaszczystą. Zawdzięcza ona swe powstanie przypuszczalnie tak akumulacji eolicznej, jak i aluwialnej i deluwialnej. Miąższość tej najmłodszej pokrywy przedstawiono na mapie (fig. 12). Rozmieszczenie torfów i namulów organicznych (fig. 13),

Jednak główną masę osadów najmłodszej pokrywy stanowią utwory pylaste i piaszczyste, osadzone przez wiatr a także zmywane wodą z pobliskich wzgórz i przerabiane przez wody płynące.

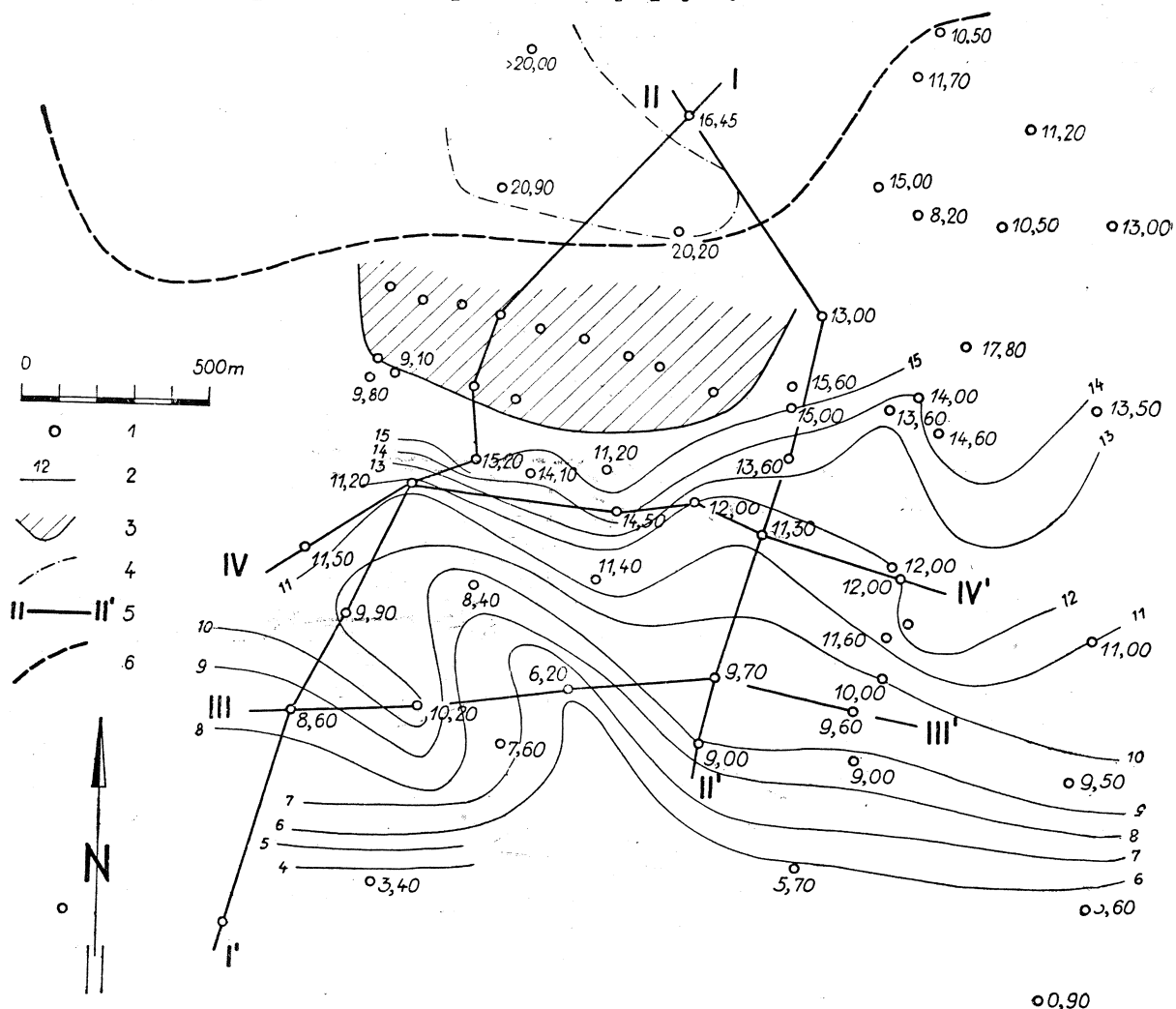


Fig. 12. Pokrywa pylasto-piaszczysta: 1 — wiercenie, miąższość pokrywy w m; 2 — izobaty pokrywy w m; 3 — obszar, w którym brak pokrywy; 4 — granica obszaru, w którym pokrywa ma miąższość ok. 20 m; 5 — linie przekrojowe; 6 — granica obszaru, w którym brak poziomu wód podziemnych

Фиг. 12. Пылисто-песчанистый покров: 1 — буровая скважина, мощность покрова в метрах; 2 — изобаты покрова в м; 3 — район, в котором покров отсутствует; 4 — граница района, в котором покров имеет ок. 20 м мощности; 5 — линии разрез; 6 — граница района, в котором горизонт подземных вод отсутствует

Po osadzeniu się pokrywy pylastej nastąpiło znowu stadium erozji. Wisła odsunęła swój bieg w kierunku południowym na współczesny niski taras i wcięła się głębiej w żwirowiska. Również jej dopływy rozciągały osady swoich dawniej usypanych stożków. Odsłonięcia żwirowisk nad Białuchą, występujące kilka metrów ponad jej współczesnym korytem, były dobrze widoczne w wykopach wykonywanych w 1958 r. dla kolektora budowanego wzdłuż koryta rzeki a także w dołach fundamentowych nowo budowanych domów na poziomie około 204 do 206 m npm.

Wnioski

Tarasy, a szczególnie taras wysoki, zawdzięczają swą obecną budowę kilku stadiom akumulacji i erozji Wisły i jej dopływów. Są więc tarasami poligenicznymi. Budowa tarasowa występuje najwyraźniej, gdy się

rozpatruje powierzchnię stropu żwirowisk (fig. 9, 11). Jest natomiast zarta przez najmłodszą pokrywę pylasto-piaszczystą, zwłaszcza w obrębie wzgórz północnych. Bardzo charakterystyczną cechą budowy geologicz-

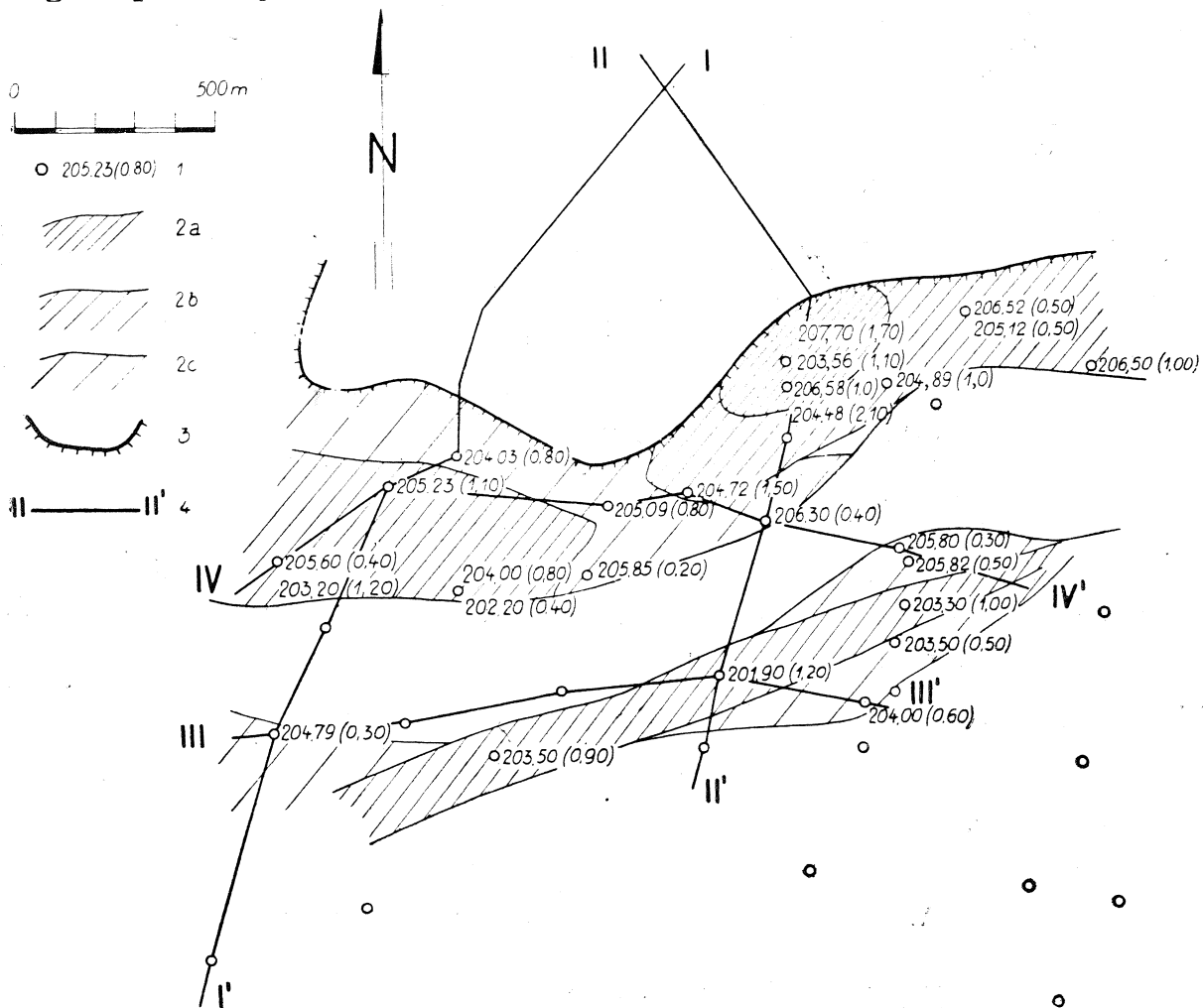


Fig. 13. Torfy i namuły z częściami organicznymi w pokrywie pylasto-piaszczystej. 1 — wiercenie oraz rzędna spągu i (miąższość) utworów organicznych; 2 — obszar występowania utworów organicznych miąższości: a) powyżej 2,0 m, b) 1,0—2,0 m, c) poniżej 1,0 m; 3 — górna krawędź stropu żwirowisk (por. fig. 11); 4 — linie przekrojowe

Фиг. 13. Торфы и наносные илы с органическим веществом в пылито-песчанистым покрове. 1 — буровая скважина и ордината подошвы (и мощность) органических образований; 2 — район нахождения органических образований: а) выше 2,0 м мощности, б) 1,0—2,0 м мощности, с) ниже 1,0 м мощности; 3 — верхний край кровли гравийных отложений (vide фиг. 11); 4 — линии разрезов

nej badanego obszaru jest dostosowywanie się młodszych elementów do powstałych wcześniej. Na przykład krawędź w stropie ilów miocénskich zbiega się z krawędzią tarasu żwirowego (fig. 9), także granica tarasu wysokiego i niskiego przebiega wzdłuż obniżenia w podłożu miocénskim (fig. 10, 11), a nawet rozmieszczenie wkładek ilastych w żwirowiskach i cienkich poziomów żwirowo-piaszczystych w utworach lessowatych wykazuje związki z urzeźbieniem miocenu (fig. 10).

Badania autora potwierdzają poglądy J. Lewińskiego (1913) i J. Samsonowicza (1922) o preglacjalnym wieku Prądnika (Białuchy) i Wisły. W okresie przed zlodowaceniami zostały wycięte w podłożu rynny Prawisły i jej dopływów, zaznaczające się na szczególnie badanym obszarze. Napotymane ślady przemytej moreny zlodowacenia kra-

kowskiego, zachowane w pobliżu rynien podłoża, świadczą o dość dużym rozprzestrzenieniu tych utworów rozmytych i erodowanych w okresie poprzedzającym akumulację następnego zlodowacenia. W tym samym czasie została odnowiona rzeźba podłoża mioceńskiego. Z dwoma stadiami zlodowacenia środkowopolskiego związana jest główna masa osadów żwirowo-piaszczystych. Po wcześniejszym stadium, w czasie którego nastąpiło osadzenie się żwirowisk karpackich, erozja interstadialna ścięła znaczną część pokrywy żwirowej. Na badanym terenie wytworzyła się wówczas wyrównana powierzchnia (ok. 196 m n.p.m.). W późniejszym stadium zlodowacenia środkowopolskiego intensywnie były nasypywane stożki napływowe Białuchy i Dłubni, rozcinane znowu w następnym stadium erozji. Wtedy powstały dwie wyrównane powierzchnie na poziomie około 220—224 i około 200 m n.p.m., niższa z nich została zasypana pokrywą żwirową ze zwiększonym udziałem materiału karpackiego (żwirowiska pokrywowe). Wiek ostatnio wymienionej pokrywy należałoby przypuszczalnie wiązać z wczesnymi stadiami zlodowacenia bałtyckiego, a wyrównanie jej powierzchni i wycięcie koryta z następującą erozją interstadialną. Utwory lessowate i towarzyszące im osady pylasto-piaszczyste były akumulowane w późniejszych stadiach ostatniego zlodowacenia. Przeniesienie się nurtu Wisły na południe i najmłodsza akumulacja rzeczna madowo-piaszczysta na tarasie niskim przypada przypuszczalnie już na holocen.

Przebieg zjawisk w okresie pomiędzy zlodowaceniami odpowiada w ogólnych zarysach schematowi podanemu przez L. Sawickiego (1937, 1955), szczególnie w jego wcześniejszej pracy. Najwyraźniej daje się ten schemat odtworzyć na badanym terenie dla zlodowacenia środkowopolskiego.

WODY GRUNTOWE WYSOKIEGO TARASU

Zwierciadło wód gruntowych i zmiany jego położenia

Utworami wodonośnymi na badanym obszarze są osady żwirowo-piaszczyste, leżące na nieprzepuszczalnym podłożu ilów mioceńskich. Złoże wodonośne izolowane jest od powierzchni pokrywą półprzepuszczalnych utworów lessowatych. W wąskim pasie na granicy tarasu wysokiego i wzgórz północnych pokrywa ta cienieje lub jej zupełnie brak (fig. 12).

Poza głównym poziomem wodonośnym w kompleksie żwirowo-piaszczystym woda występuje w utworach piaszczystych pokrywy lessowatej lub nawet w osadach pylasto-piaszczystych. Nieprzepuszczalny spąg stanowią wkładki ilasto-pylaste w pokrywie, najczęściej szare plastyczne mułki występujące tuż nad stropem żwirowisk. Zwierciadło wody tego poziomu leży na głębokości od 3 m na południu do 10 m na północy. Wyższy poziom wodonośny nie zaznacza się obecnie wyraźnie na całym obszarze, lecz tylko w jego wschodniej części. Na południu wyższy i główny poziom łączą się ze sobą. Przypowierzchniowy poziom wód podziemnych był dawniej przypuszczalnie bardziej obfity i rozprzestrzeniony, a został osuszony przez dreny oraz sieć kanalizacyjną i wodociagową. Świadczą o tym płytkie studnie obecnie suche oraz relacje mieszkańców okolicy o źródłach, wyciekach wód i o tym, że taras wysoki był około 15—20 lat temu silnie podmokły.

Wody głównego poziomu są wodami swobodnymi, a tylko niekiedy występują wody pod ciśnieniem w miejscach, gdzie obniża się spąg pokrywy półprzepuszczalnej. Zwierciadło wód występuje na wysokim tarasie około 10—20 m pod powierzchnią terenu.

Stan pierwotny zwierciadła wód gruntowych przedstawiono na mapie (fig. 14), którą zestawiono na podstawie nielicznych i nierównomiernie

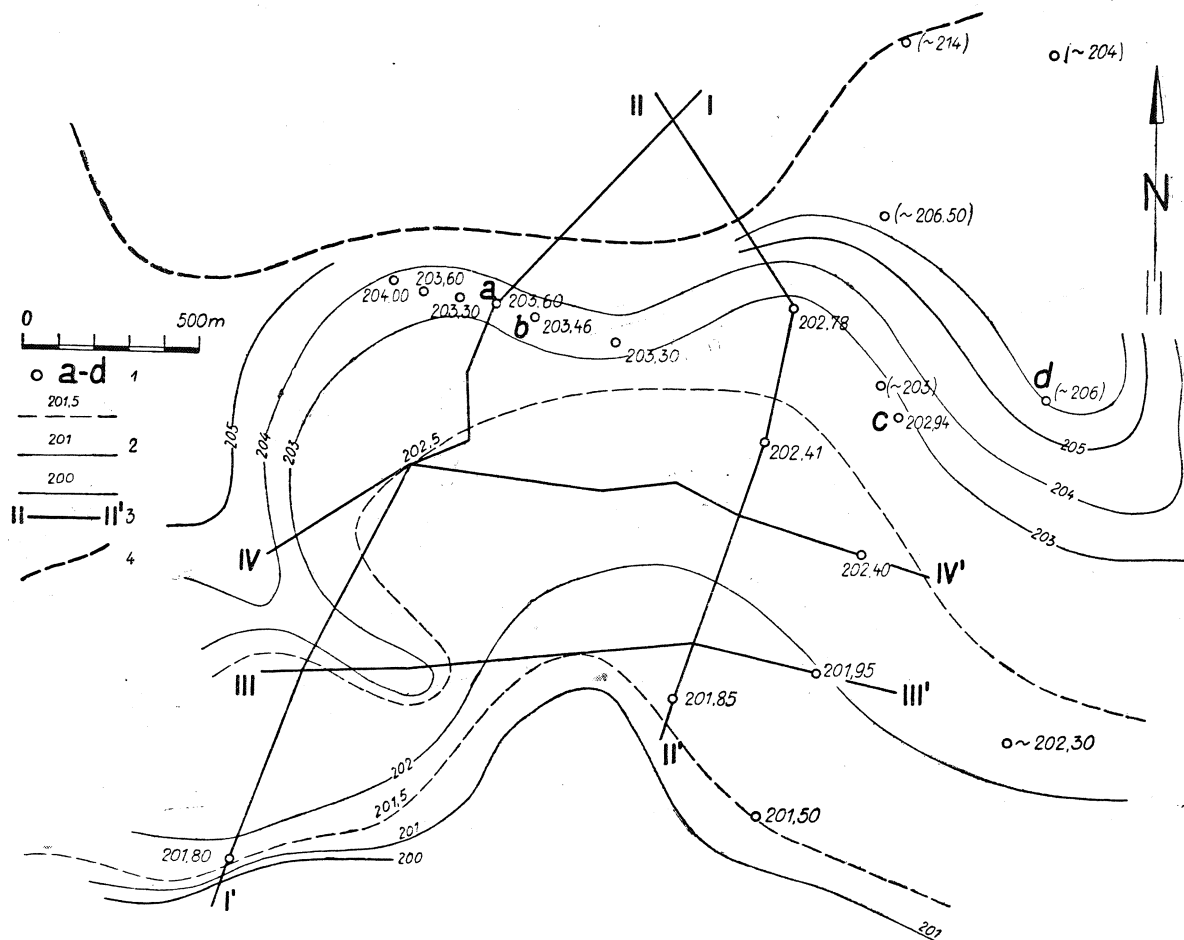


Fig. 14. Stan pierwotny zwierciadła wód (1953 r.). 1 — wiercenia i rzędne zwierciadła wody, a—d niektóre otwory obserwacyjne; 2 — hydroizohipsy; 3 — linie przekrojowe; 4 — granica obszaru, w którym brak poziomu wód podziemnych

Фиг. 14. Первичное состояние водного зеркала (1953 г.). 1 — Буровые скважины и ординаты зеркала воды, а—d некоторые наблюдательные скважины; 2 — гидроизогипсы; 3 — линии разрезов; 4 — граница района, в котором горизонт подземных вод отсутствует

rozrzuconych punktów obserwacyjnych z lat 1950—1953. Odtworzenie przebiegu hydroizohips z tego okresu nie jest więc dokładne. Powierzchnia zwierciadła obniżała się łagodnie od N ku S w środku terenu, z NW ku SE w jego zachodniej części i z NE ku SW na wschodzie. Stromej układała się tylko na obu granicach tarasu wysokiego, tj. ze wzgórzami północnymi i z tarasem niskim. Prawie na całym tarasie wysokim woda wypełniała żwiry i piaski aż do spągu pokrywy utworów lessowatych, a więc do poziomu około 201—203 m npm. Układ zwierciadła wód był wyraźnie dostosowywany do morfologii powierzchni; poza zasięgiem oddziaływania eksploatacji zwierciadło wód układało się także w czasie późniejszych pomiarów mniej więcej na poziomie granicznym między dwoma zespołami osadów: wodonośnym i półprzepuszczalnym.

W 1953 r. rozpoczęto eksploatację wody na większą skalę. Aby stwierdzić zmiany położenia zwierciadła wód, wykonano pomiar na wszystkich dostępnych punktach w dniu 12. VII. 1957 r. i kontrolny pomiar w dniu 5. VIII. 1957 r., który dał prawie te same wyniki co poprzedni (fig. 15). Po przeszło czterech latach eksploatacji wystąpiły w układzie hydroizohips bardzo znaczne różnice w stosunku do stanu pierwotnego z lat 1950—1953. Wokół studzien ujęcia wytworzył się głęboki lej depre-

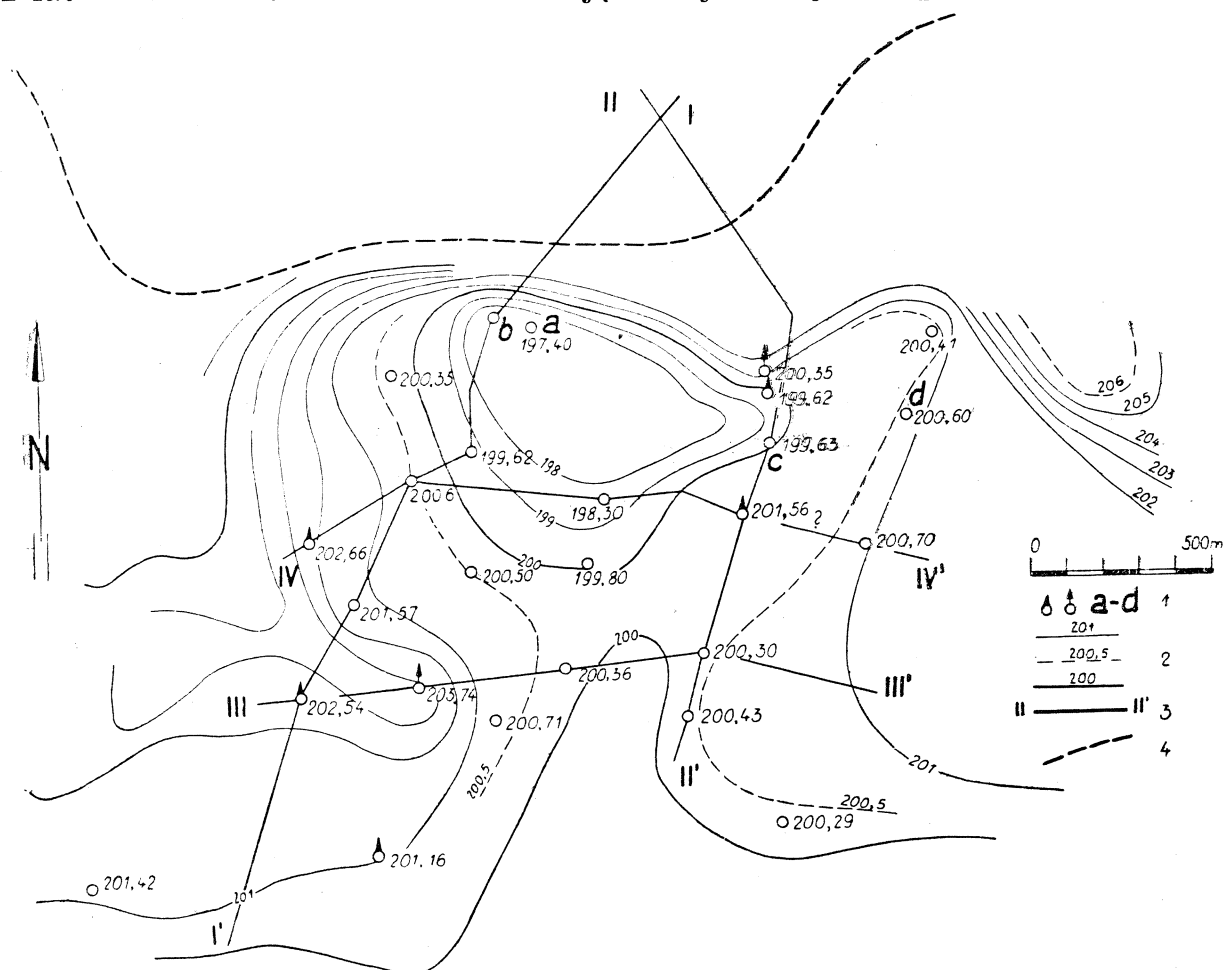
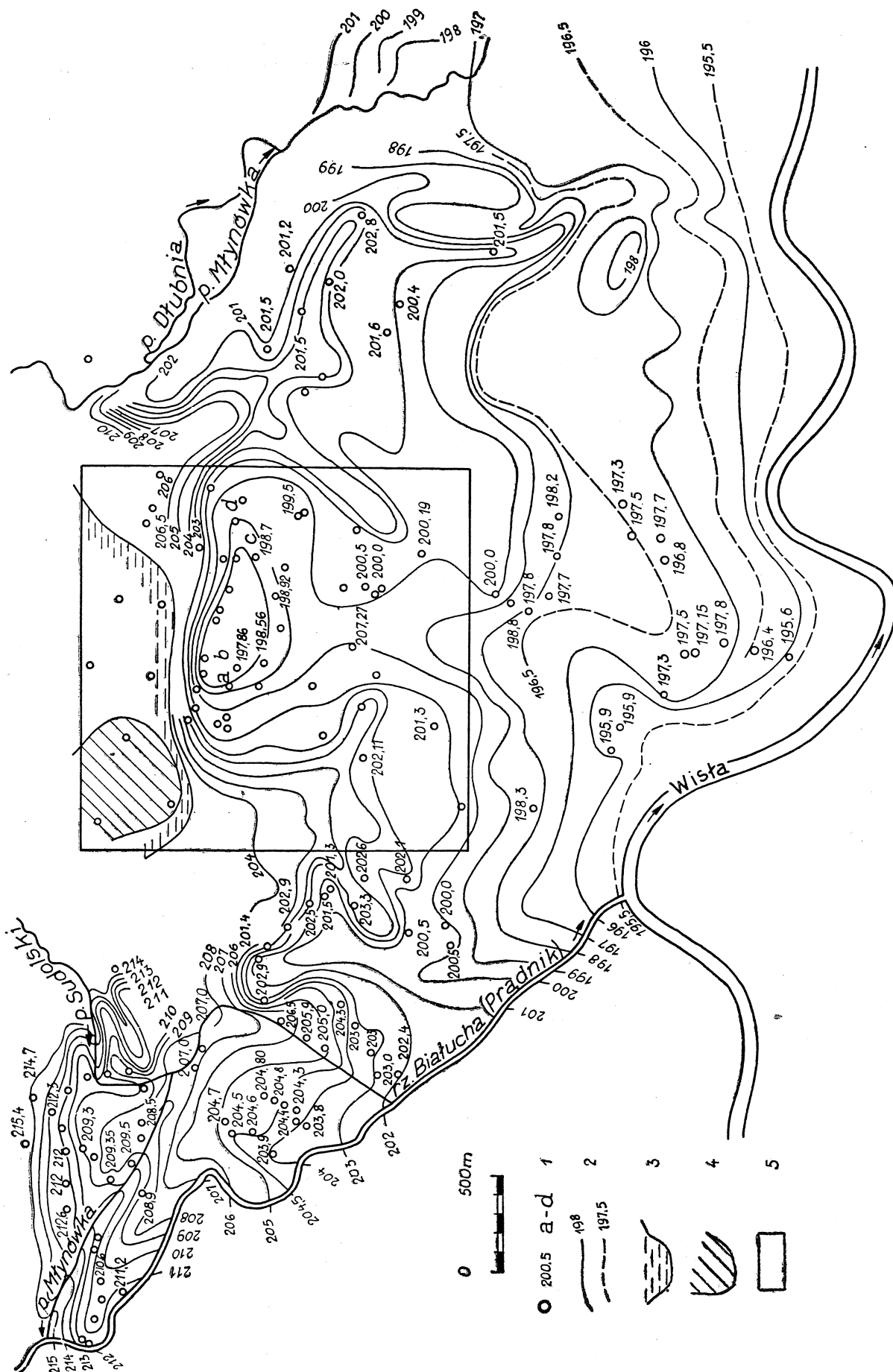


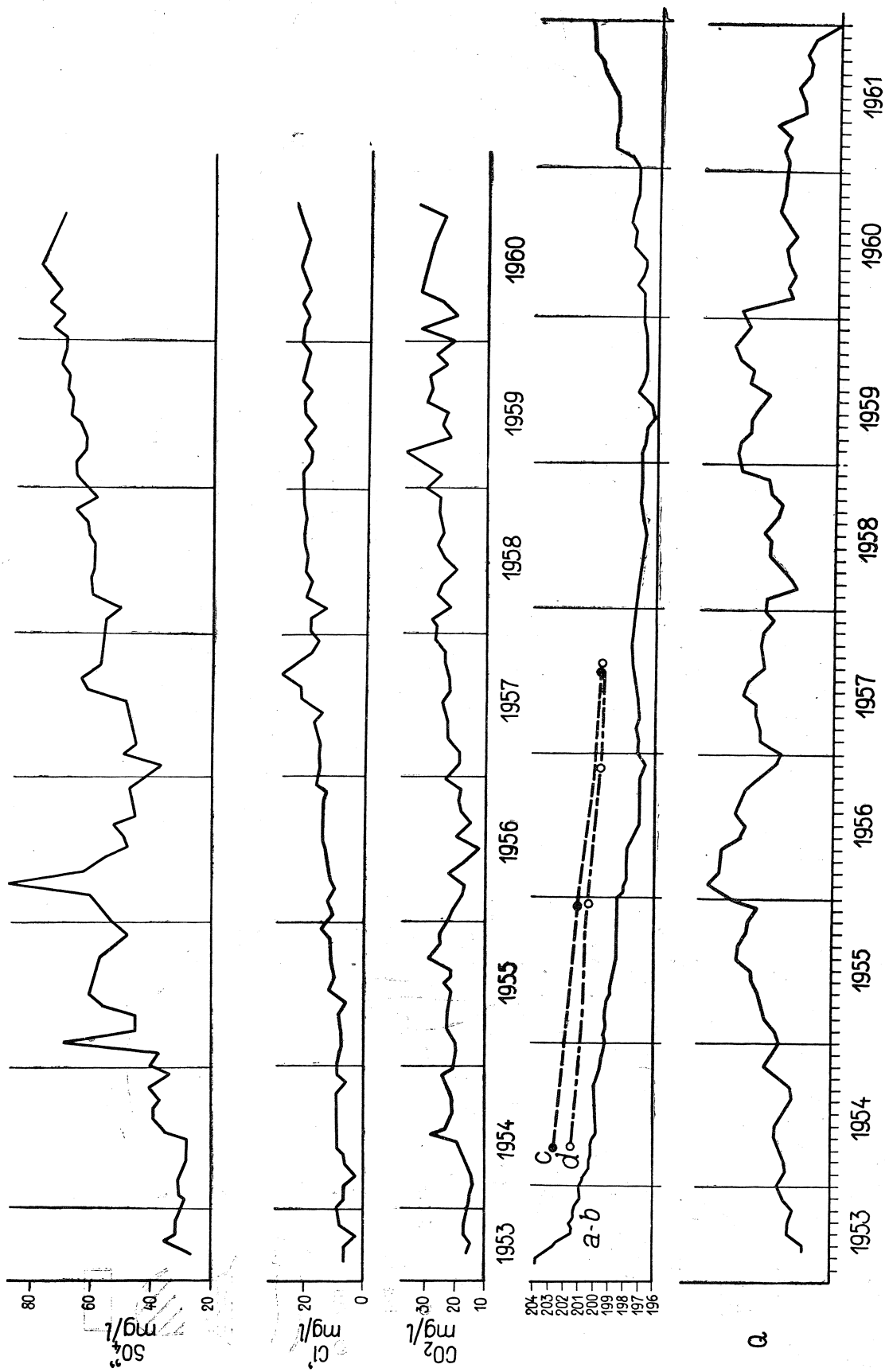
Fig. 15. Stan zwierciadła wód obniżony wskutek eksploatacji (12. VII. 1957 r.). 1 — wiercenia i rzędne zwierciadła wody; wody pod ciśnieniem do 1,0 m i 1,0 do 2,5 m słupa wody; a—d niektóre otwory obserwacyjne; 2 — hydroizohipsy; 3 — linie przekrojowe; 4 — granica obszaru w którym brak poziomu wód podziemnych

Фиг. 15. Состояние водного зеркала пониженного в результате эксплуатации (12. VII. 1957 г.). 1 — буровые скважины и ординаты водного зеркала; воды под давлением до 1,0 м водяного столба и 1,0—2,5 м; а—d некоторые наблюдательные скважины; 2 — гидроизогипсы; 3 — линии разрезов; 4 — граница района, в котором горизонт подземных вод отсутствует

Fig. 16. Zwierciadło wód w szerszym otoczeniu ujęcia i jego związki z ciekami powierzchniowymi (1. I. 1961 r.): 1 — wiercenia i rzędne zwierciadła wody; a—d niektóre otwory obserwacyjne; 2 — hydroizohipsy; 3 — granica obszaru w którym brak poziomu wód podziemnych; 4 — obszar bez pokrywy żwirowo-piaszczystej; 5 — zasięg obszaru dokładnie rozpatrywanego

Фиг. 16. Водное зеркало в более широком окружении водозабора и его связь с поверхностными водотоками (1. I. 1961 г.): 1 — буровые скважины и ординаты водного зеркала; а—d некоторые наблюдательные скважины; 2 — гидроизогипсы; 3 — граница детально рассматриваемого района в котором нет горизонта подземных вод; 4 — район без гравийно-песчаного покрова; 5 — граница детально рассматриваемого района





syjny, nastąpiło tu bowiem obniżenie się poziomu wód sięgające do 7 m. Nie uległo natomiast obniżeniu zwierciadło wód w zachodniej i w północno-wschodniej części terenu, z czego wynika, że nie sięgnęły tu wpływy ujęcia (fig. 15).

Dzięki nowym wierceniom zaobserwowano występowanie wód pod ciśnieniem od kilkudziesięciu cm do 2 m ponad poziom nawiercenia. Zjawiska naporu występują najczęściej przy obniżonym spągu półprzepuszczalnej pokrywy złoża. Wody podziemne ulegają w czasie przepływu naturalnemu piętreniu w miejscach lokalnego zmniejszenia się miąższości warstwy wodonośnej, a więc tam, gdzie spąg ilów miocennskich leży wysoko, spąg pokrywy pylastej stosunkowo nisko, a równocześnie występują dość grube wkładki pylaste (fig. 9). Występowanie wód podziemnych pod ciśnieniem stwierdził autor także w innych rejonach wysokiego tarasu Wisły poza opisywanym szczegółowo obszarem.

W dniu 30. XII. 1960 r. wykonano kontrolny pomiar zwierciadła wód podziemnych na pewnej ilości piezometrów wokół ujęcia (fig. 16). Mimo zmniejszonej ilości dostępnych punktów pomiarowych można stwierdzić, że układ hydroizohips od poprzedniego pomiaru, a więc od lipca 1957 r. prawie się nie zmienił. Świadczy to o równowadze dynamicznej, jaka zaistniała pomiędzy dopływem wód podziemnych a ich eksploatacją w latach 1957—1960. Dla lepszego rozpoznania warunków hydrogeologicznych pomiary położenia zwierciadła wód podziemnych objęły w tym samym czasie (koniec 1960 r.) szeroki obszar sięgający po Białuchę i Dłubnię. Niestety na wschodzie ilość punktów pomiarowych była mała.

Oddziaływanie ujęcia na obniżenie się poziomu wód w kilku otworach kontrolnych zilustrowano za pomocą wykresu (fig. 17). Największe obniżenie poziomu wód zanotowano w obrębie samego ujęcia na nieczynnych otworach studziennych *a* i *b* (fig. 15,16). W miarę oddalania się wpływ ujęcia maleje, jak to widać, z pomiarów na otworach obserwacyjnych *c* i *d*. W związku ze zmniejszaniem się poboru wody w ostatnim czasie zwierciadło szybko się podnosiło. Również i to zjawisko świadczy o wytworzonej w ostatnich latach równowadze pomiędzy eksploatacją a dynamicznym dopływem wód podziemnych.

Na wszystkich trzech mapach zwierciadła wód hydroizohipsy mają po obu stronach ujęcia łukowaty układ, uwidaczniający główne kierunki spływu wód podziemnych. Strefa dopływu z kierunku NW ku SE jest na ogół zgodna z rynną w podłożu miocennskim i z dużym zwiększeniem się w tej strefie miąższości warstwy wodonośnej. Świadczyłoby to o intensywniejszym przepływie wód podziemnych wzdłuż naturalnych systemów drenujących. Podobne zjawisko, choć nieco słabiej wyrażone, daje się zauważyć we wschodniej części terenu: wody spływają z NE ku SW i z N ku S.

Spadki hydrauliczne poza lejem depresyjnym są niewielkie i odpowiadają nachyleniom powierzchni tarasu (0,0015—0,0050). W północno-zachodniej i północno-wschodniej części terenu spadki osiągają większe wartości ok. 0,01 związane z obszarami zasilania wód podziemnych z dość

←
Fig. 17. Związek wielkości eksploatacji z wahaniami zwierciadła wód podziemnych w kilku otworach obserwacyjnych oraz z zawartością we wodzie jonów Cl' , SO''_4 i wolnego CO_2 w latach 1953—1960

Фиг. 17. Связь интенсивности эксплуатации с колебаниями зеркала подземных вод в нескольких наблюдательных скважинах и с содержанием в воде ионов Cl' , SO''_4 и свободной CO_2 (1953—1960)

wysoko położonych koryt dopływów Wisły. Stromy układ ma zwierciadło wód podziemnych także na granicy pomiędzy tarasem wysokim i niskim.

Granica leja depresyjnego pokrywa się z zasięgiem oddziaływania skrajnych studzien ujęcia przy stosowanej depresji. Według obliczeń teoretycznych ogólnie używanymi wzorami promień depresji R może mieć wielkość około 400—500 m, co potwierdza się na badanym terenie w praktyce.

Obniżenie się zwierciadła wód podziemnych w granicach 1—1,5 m w szerszym otoczeniu ujęcia może być niezależne od eksploatacji i innych czynników wywołanych przez działalność człowieka. Według danych PIHM¹ w okresie 1947—1953 nastąpiło w niektórych punktach tarasu wysokiego obniżenie się zwierciadła o 0,75 m bez wpływu eksploatacji wód gruntowych. Wiekowe amplitudy wahań poziomu wody na tarasie wysokim mogą osiągać nawet 1,5—2,0 m, jak to stwierdzono w wierceniach i w głębszych wykopach na podstawie położenia poziomów iluwialnych (strącenia się wodorotlenków żelaza na poziomie zwierciadła wód)².

Współczynnik filtracji k

Współczynnik filtracji k oznaczono przede wszystkim na podstawie próbnych pompowań. W ten sposób otrzymywano wielkości średnie dla całego profilu warstw wodonośnych, które wynoszą:

$$3,0 - 7,3 \cdot 10^{-4} \text{ m/sek.}$$

Najwyższe wartości, bo około $7,0 \cdot 10^{-4}$ m/sek osiągnięto tylko w dwu otworach usytuowanych w obrębie środkowej rynny podłoża (fig. 10), natomiast w innych punktach współczynnik k nie był wyższy od około $5,0 \cdot 10^{-4}$ m/sek.

Wyniki autora z badanego terenu zestawiono dla porównania z innymi, uzyskiwanymi na pobliskich obszarach i w dolinie Wisły w pobliżu Krakowa (tabl. 1)³. Wartości współczynnika k dla utworów wysokiego tarasu wyznaczane w różnym czasie i rozmaitymi metodami są na ogół do siebie zbliżone i odpowiadają wielkościom przyjmowanym zwykle dla tego rodzaju utworów. Np. M. E. A l t o w s k i (według I. A. S k a b a ł a n o w i c z a 1954) przyjmuje dla żwirowych otoczków z domieszką części piaszczystych współczynnik k od $7,5 \cdot 10^{-4}$ do $2,5 \cdot 10^{-4}$ m/sek. W tym przedziale mieszczą się wszystkie wielkości z badanego terenu, a inne liczby z tabeli 1 tylko nieznacznie wybiegają poza podane wartości graniczne.

Współczynnik k był ustalany przez autora w studniach o podobnej konstrukcji i średnicy, a pompowania próbne prowadzono w bardzo zbliżonych warunkach technicznych. Dlatego wyniki uzyskane są, ogólnie biorąc, porównywalne. Na ich podstawie można stwierdzić, że na nie-

¹ Dane użyczone autorowi dzięki uprzejmości Krakowskiego Oddziału Państwowego Instytutu Hydro-Meteorologicznego.

² Według nie publikowanych materiałów, podobne spostrzeżenia na sąsiednich terenach poczynił także prof. J. Gołąb.

³ Prof. J. Gołąb w czasie swych badań na terenach leżących na wschód od badanego ustalił wartości $k = 2,4 - 3,3 \cdot 10^{-4}$ m/sek.

Tabela 1

Współczynnik filtracji k na badanym obszarze i sąsiednich oraz niektóre dane z doliny Wisły okolic Krakowa

Kto wyznaczył współczynnik filtracji k	Autor metody, stosowany wzór	Teren, studnia	k w m/sek.
autor	studnia z otworem obserwacyjnym; Dupuit-Thiem $k = \frac{Q}{\pi} \cdot \frac{\ln \frac{x}{r}}{(2H - S - S_1) \cdot (S - S_1)}$	badany teren (jedna studnia)	$3,8 \cdot 10^{-4}$
autor	studnia bez otworu obserwacyjnego $k = \frac{Q}{\pi} \cdot \frac{\ln \frac{R}{r}}{H^2 - (H - S)^2}$	badany teren (pięć studzien) dla $R = 300$ m do 500 m	$4,4 - 7,0 \cdot 10^{-4}$
autor	wzór uproszczony wg K. F. Buscha (1959); przyjęto: $\ln \frac{R}{r} = 5 - 6$ $k = \frac{Q}{2\pi} \cdot \frac{\ln \frac{R}{r}}{H \cdot S} \cong \frac{Q}{HS}$	badany teren (pięć studzien)	$3,0 - 7,3 \cdot 10^{-4}$
prof. R. Rosłoński (1951) ¹⁾	na podstawie składu ziarnowego piasków; zmodyfikowany przez R. Rosłońskiego wzór Hazena	badany teren (jedna studnia)	$4,0 \cdot 10^{-4}$
mgr inż. E. Konik ¹⁾ (1956)	Dupuit-Thiem	północna część tarasu wysokiego na E od badanego obszaru	$3,3 \cdot 10^{-4}$
mgr. inż. J. I. Furmański i mgr inż. J. Myszka (1956) ¹⁾	Forchheimer — Rosłoński	granica tarasu wysokiego i niskiego na SE od badanego terenu (studnie szybowe)	$3,8 \cdot 10^{-4}$
mgr inż. J. Badak (1959) ¹⁾	$k = \frac{Q}{\pi} \cdot \frac{\ln \frac{R}{r}}{H^2 - (H - S)^2}$	jak wyżej (studnie wiercone)	$3,0 \cdot 10^{-4}$

cd. tabl. 1

Kto wyznaczył współczynnik filtracji k	Autor metody, stosowany wzór	Teren, studnia	k w m/sek.
mgr inż. W. Magda i mgr inż. M. Nieć (1958) ¹⁾		jak wyżej (studnie wiercone)	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Tow. Nauk. Eksp. Bud. Warszawa (1959) ¹⁾		granica tarasu wysokiego i niskiego na SW od badanego terenu	$8,5 \cdot 10^{-4}$
mgr inż. H. Niedzielski (1960) ¹⁾		jak wyżej	$2,3 \cdot 10^{-4}$
praca magisterska A. Duda (1961) ²⁾		na E od badanego terenu	$2,5 - 9,3 \cdot 10^{-4}$
Sprawozdanie... (1909)	Thiem	Bielany	$5,8 - 9,0 \cdot 10^{-4}$
M. Matakiewicz (1917)	Thiem, wzór uwzględniający czas podnoszenia się zwierciadła, badania laboratoryjne	Bielany Kostrze Wieliczka (Biezanów)	$8,5 \cdot 10^{-4}$ $7,0 \cdot 10^{-4}$ $4,0 \cdot 10^{-4}$
praca magisterska A. Duda (1961) ²⁾		Kraków, ul Rzeźnicza Kraków ul. Rzemieślnicza Niepołomice	$6,4 - 6,5 \cdot 10^{-4}$ $8,3 - 9,6 \cdot 10^{-4}$ $5,5 - 6,0 \cdot 10^{-4}$
A. Wieczysty (1960)		Prokocim Kostrze	$3,1 - 5,3 \cdot 10^{-4}$ $6,5 - 8,5 \cdot 10^{-4}$
praca magisterska A. Duda (1961) ²⁾		Tarnobrzeg-Machów-Baranów	$2,5 - 6,9 \cdot 10^{-4}$

¹⁾ Materiały nie publikowane, archiwalne.

²⁾ Praca zestawiona wg danych Centr. Urzędu Geologii i innych placówek, znajdująca się w Archiwum Katedry Geologii Kopalnianej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

wielkim terenie (ok. 1,5 km²) współczynnik k dla całej serii wodonośnej waha się w dość szerokich granicach, co świadczy o lokalnej zmienności osadu. Biorąc pod uwagę pozostałe dane uzyskiwane w pradolinie Wisły można stwierdzić, że ogólna amplituda wartości k na dość dużych obszarach nie jest znacznie większa niż na badanym terenie.

Wysokie wartości współczynnika filtracji są związane z obniżeniami stropu miocenu, a więc ze zwiększonym udziałem dobrze przepuszczalnych żwirów karpackich w profilu (poziom zwirowisk dolnych). Wynika z tego wniosek, aby przy lokalizowaniu ujęć i poszczególnych studzien poszukiwać stref o wysokim współczynniku k , nawet na niewielkich i pozornie nie zróżnicowanych obszarach.

Wodonośność i warunki zasilania

Duże znaczenie dla wodonośności ma współczynnik filtracji k , który scharakteryzowano już poprzednio.

Poza nim wybitny wpływ na zasobność poziomego wodonośnego wywie-
ra miąższość strefy nasyconej wodą, która na badanym obszarze w stanie naturalnym, nie zaburzonym przez eksploatację, wynosiła około 8—15 m. W innych odcinkach tarasu wysokiego są jednak miejsca o miąższości mniejszej.

Czynnikami poważnie wpływającym na tę ważną wielkość jest urzeźbienie stropu miocenu. Główne obniżenia układają się — jak już wspomniano — w kształt rynien. Rynny w podłożu zwirowisk stanowią naturalne dreny zbierające wody podziemne, są bowiem nie tylko miejscami obniżonymi o określonym kierunku i spadku, ale zostały ponadto wypełnione najbardziej przepuszczalnymi osadami. Obniżenia wyżłobione przez dopływy łączą się z zagłębieniem w stropie miocenu ciągnącym się w kierunku pradoliny Wisły i tu właśnie mają największą szerokość.

Przy wykrywaniu rynny w obrębie tarasu wysokiego ustala się położenie stref o najwyższym współczynniku k i maksymalnej miąższości warstwy nasyconej, a ponadto najintensywniej zasilane wodami. Lokalizowanie tych stref za pomocą wierceń jest utrudnione z uwagi na ich małą szerokość wynoszącą często tylko około 100 m. Dlatego w pracach hydrogeologicznych na wysokich tarasach Wisły i innych rzek o podobnym charakterze jest celowe stosowanie metod geofizycznych jako uzupełnienia wierceń.

Z utworów wodonośnych tarasu można uzyskiwać dość znaczne ilości wody, studnie pojedyncze położone poza rynnami wykazują wydanki jednostkowe: 2,7—3,3 l/sek. Natomiast dwie współdziałające studnie, zlokalizowane na skraju jednej z rynien i oddalone od siebie o 250 m, dawały przy depresji 3 m po około 20 l/sek każda (wydajność jednostkowa około 6,6 l/sek). Takie ilości wody uzyskano ze studzien o dużej perforacji, z obsypką żwirową i rzadką siatką z sztucznego tworzywa.

Z doświadczeń wynika, że wysoka wydajność studzien jest uwarunkowana przede wszystkim trafnym wyborem ich położenia oraz właściwą konstrukcją filtra, dostosowaną do charakteru warstwy wodonośnej. Jak wielkie znaczenie dla wydajności studni ma właściwe jej usytuowanie i wyeliminowanie siatki filtracyjnej, świadczyć może porównanie wydajności jednostkowych dla trzech przykładów studzien:

studnia z filtrem siatkowym, współdziałająca z innymi, usytuowana w obrębie istniejącego ujęcia . . .

1,4 l/sek

studnia bezsiatkowa pojedyncza w obszarze pozarynowym	2,7—3,3 $\frac{1}{\text{sek}}$
studnia bezsiatkowa współdziałająca z drugą, położona w rynnach	ok. 7,0 $\frac{1}{\text{sek}}$

Wydaźność utworów wodonośnych tarasu wysokiego jest dość duża. Nawet przy niekorzystnym ze względów hydrogeologicznych położeniu istniejącego ujęcia uzyskiwano przez przeszło 4 lata (1956—1960) około 70 $\frac{1}{\text{sek}}$ z 1,5 km² (zasięg oddziaływania ujęcia), a więc 46,5 $\frac{1}{\text{sek}}$ z 1 km² powierzchni. Takie ilości wody czerpano przy nie zmieniającym się zasięgu oddziaływania i bez obniżania zwierciadła, a więc w warunkach równowagi między dopływem a eksploatacją.

Zasilanie utworów wodonośnych następuje przez infiltrację wody z dopływów Wisły oraz przez bezpośrednie przesiąkanie wód opadowych. Główne znaczenie ma niewątpliwie przepływ z dopływów Wisły, które oddają wodę z wyżej położonych koryt w swe rozcięte stożki napływowe. Zjawisku temu sprzyja nagle zmniejszenie się spadków rzek w obszarze zasilania wód podziemnych, duża przepuszczalność żwirowisk oraz istnienie rynien wypełnionych łatwo przepuszczalnym materiałem. O przepływie wody z koryta Białuchy oraz jej dopływów i odnóg w grunt świadczy układ hydroizohips z dnia 30. XII. 1960 r. (fig. 16), a więc nawet w okresie niskiego stanu wód. Zaznaczają się wyraźnie odcinki potoku, oddające wody do gruntu. Dłubnia zasila intensywnie wody podziemne tylko w północnej części obszaru, objętego mapą (fig. 16). W niektórych odcinkach niższej części biegu koryto tego potoku jest przypuszczalnie izolowane od podłoża, a zwierciadło wód podziemnych układa się niezależnie od poziomu w cieku powierzchniowym. W okresach wyższych stanów wody w obu potokach zasilanie wód podziemnych jest intensywniejsze.

Przy półkolistym froncie zasilania terenu z obu cieków i przy spadkach hydraulicznych, osiagających w północnej części terenu wielkość 0,01, zasilanie wyliczone ze wzoru Darcy'ego wynosi około 160 $\frac{1}{\text{sek}}$ na 4 km szerokości. Założono, że miąższość warstwy wodonośnej jest równa 10 m, a $k = 4 \cdot 10^{-4}$ m/sek. Przeto przepływ podziemny na 1 km szerokości osiaga około 40 $\frac{1}{\text{sek}}$.

Straty z cieków powierzchniowych w grunt zostały zauważone przy obliczeniach hydrologicznych, opartych na pomiarach wodowskazowych na Białusze i potwierdzone równoczesnym pomiarem na dwu wodowskazach¹. Stwierdzono, że ubytki wody pomiędzy Giebułtowem a Olszą osiagają przy niskim stanie wody 200—300 $\frac{1}{\text{sek}}$.

Bezpośrednia infiltracja opadów jest w stosunku do wydaźności terenu i zasilania podziemnego niewielka i wynosić może przy przyjęciu bardzo korzystnych warunków (ok. 30% infiltracji w stosunku do opadów) nie więcej niż 8—10 $\frac{1}{\text{sek/km}^2}$.

Chemizm wód i jego związek z warunkami złożowymi i eksploatacyjnymi

Temperatura wody podziemnej badanego poziomu jest stała, nie wykazuje zmian sezonowych i wynosi 9,5—10 °C, jest więc nieznacznie podwyższona w stosunku do wieloletniej średniej temperatury powie-

¹ Wg opracowania: Operat hydrologiczny — rzeka Białucha (Prądnik) oraz obliczenie surowego bilansu wodnego dla przekroju Olsza, opracował Z. Rachtań PIHM Kraków 1957.

trza, która waha się według danych okolicznych stacji meteorologicznych od 7,6 °C (Garlica Murowana) do 8,0 °C (Rakowice), a dla samego Krakowa ma wartość 7,7 °C. Woda jest przezroczysta, bez zapachu, barwy lekko błękitnej. W załączonej tabeli 2 przedstawiono średni skład chemiczny wody z ujęcia. Wzór Kurłowa dla wód badanego odcinka wysokiego tarasu ma następującą postać ¹:

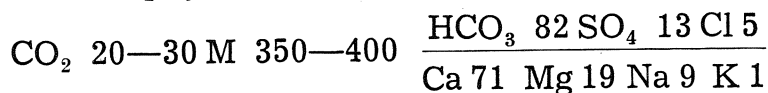


Tabela 2

Średni skład chemiczny wód podziemnych wysokiego tarasu

Jony	mg/l	mval/l	% mval
Kationy			
Na ⁺	14	0,61	9
K ⁺	3	0,07	1
Mg ⁺⁺	16	1,32	19
Ca ⁺⁺	100	5,00	71
Suma kationów	133	7,00	100
Aniony			
Cl ⁻	12	0,34	5
SO ₄ ⁻⁻	45	0,94	13
HCO ₃ ⁻	350	5,74	82
Suma anionów	405	7,02	100
S u m a	540	14,02	

Różnice składu chemicznego związane z miejscem poboru prób (poszczególne studnie), są na ogół biorąc, niewielkie (tabela 3). Wahania składu chemicznego pozostające w związku z eksploatacją zostaną jeszcze omówione.

Jak widać, mamy do czynienia z wodą o niskiej mineralizacji, sucha pozostałość waha się od 350 do 400 mg/l. Wodę można nazwać węglano-wapienno-magnezową, jeżeli przyjmiemy za główne składniki jony występujące w ilości 20% ± 3%. Analizy stwierdzają w wodzie wolny dwutlenek węgla w ilości 20—30 mg/l. Odczyn pH jest obojętny i waha się pomiędzy 7,0 a 7,6; twardość wynosi od 13—20° n, z tego twardość stała 1,5—3,5° n. Są to więc według podziału O. A. Alekina (1956) wody dość twarde, a częściowo nawet twarde.

Woda nie zawiera żadnych składników obniżających jej wartość, nie stwierdzono siarkowodoru, azot amoniakalny występuje tylko w śladach, zawartość azotynów i azotanów jest znacznie niższa niż dopuszcza się w normach dla dobrej wody pitnej. Żelazo występuje tylko w śladach,

¹ Zawartość wolnego dwutlenku węgla i ogólna mineralizacja wyrażona w mg/l.

a manganu nie stwierdzono. Wody wysokiego tarasu również pod względem bakteriologicznym nie budzą zastrzeżeń, miano coli wynosi w nich powyżej 50. Wody podziemne tarasu wysokiego mogą być używane tak dla celów pitnych, jak i przemysłowych bez uzdatnienia. Zawartość rozpuszczonych związków mineralnych i obecność dwutlenku węgla zapewnia im ponadto dobry smak.

Tabela 3

Przedziały zawartości niektórych składników
w wodach podziemnych wysokiego tarasu Wisły

	mg/l
Na	5 — 22
K	0,8 — 6
Mg	14 — 18
Ca	95 — 105
Cl	10 — 32
SO ₄	49 — 75
SiO ₂	21 — 27
Al	0,5 — 27

Wody podziemne niskiego tarasu różnią się od wód tarasu wysokiego zwiększoną zawartością Fe i Mn oraz zanieczyszczeniem bakteriologicznym, nie mogą być przeto użytkowane bez uprzedniego uzdatnienia. Fe występuje w wodach niskiego tarasu przeważnie w ilościach 1,5 do 15,0 mg/l, towarzyszy mu Mn, którego ilość sięga do kilku mg/l. Związki obu pierwiastków występują przede wszystkim w najmłodszych osadach pylasto-ilastych, a więc w madyach holocenijskich i utrzymują się w stanie rozpuszczalnym dzięki obecności kwasów humusowych. Wędrówka Fe i Mn do wód podziemnych przebiega wskutek wahaniasię ich zwierciadła, co powoduje, że mady bogate w te związki na przemian znajdują się w strefie napowietrznej i w obrębie strefy nasyconej.

Wiadomo, że pomiędzy chemizmem wód a rodzajem skał wodonośnych i ich bliskim otoczeniem istnieją wyraźne związki. Zależności takie dla żwirów podkreślił np. G. Keller (1942). Zawartość węglanów Ca i Mg w wodach opisywanego terenu łatwo można objaśnić w powiązaniu z litologią żwirów wodonośnych, składających się w dużej mierze z wapieni i margli. Również pokrywa lessowata i podłoże miocenijskie zawierają łatwo rozpuszczalne węglany. Obecność siarczanów, chlorków oraz jonów sodowych i potasowych wiązać należy przypuszczalnie z podłożem miocenijskim. W najbliższej okolicy złoża wodnego występują w ilach miocenijskich konkrecje gipsowe oraz wprysnięcia piryty i markazyty, stwierdzone tak na powierzchni, jak i w wierceniach. Miocen jest formacją solonośną, a wody miocenijskie prawie zawsze wykazują podwyższoną zawartość chlorków.

Niektóre własności chemiczne wody wpływają na warunki techniczne eksploatacji ujęcia. Zaznaczają się także wahania chemizmu wód pozostające, jak się wydaje, w związku z intensywnością eksploatacji. Wolny dwutlenek węgla występujący w wodzie i nadający jej lepsze własności smakowe sprawia pewne trudności przy eksploatacji, wydzielając się z wody i gromadząc się w zbiornikach oraz w rurociągach. Ma on także niewątpliwie wpływ na przyspieszoną korozję metalowych filtrów studziennych.

Pierwotnie nie stwierdzano w analizach agresywnego dwutlenku węgla, jednakże już w 1957 r. niektóre analizy wykazały go w niedużej ilości 0,6—0,8 mg/l. Część wolnego dwutlenku węgla staje się przypuszczalnie agresywna w związku z wytrącaniem się węglanów na siatce filtrowej i wokół studni. Korozja filtrów zbudowanych z perforowanych stalowych rur wiertniczych pokrytych siatką miedzianą przebiega dość szybko. W ciągu 3—5 lat następuje zwykle zniszczenie filtra, połączone niekiedy z wdarciem się piasku do wnętrza studni i zniszczeniem pompy głębinowej pracującej w otworze. Przyczyny korozji są złożone i nie można ich objaśniać jedynie zawartością dwutlenku węgla w wodzie, ale i ten czynnik ma wpływ na przedwczesne niszczenie studzien. W miarę eksploatacji odczyn wody (pH) przechodzi w kierunku zwiększenia kwasowości, szczególnie w najbliższym otoczeniu eksploatowanych studzien. W ciągu 5 lat zaobserwowano zmianę z 7,5—7,6 na około 6,9.

Na podstawie analiz chemicznych wykonywanych co miesiąc w ciągu siedmiu lat można było ustalić niektóre związki pomiędzy eksploatacją a zmianą chemizmu wód dla kilku składników (fig. 17). Najwyraźniej występują one dla jonu SO_4 . Silny wzrost zawartości SO_4 odpowiada szczytowym ilościom pobieranej wody. W czasie eksploatacji wzrastała także zawartość jonu Cl' , choć mniej wyraźnie występowało powiązanie z maksymalnymi poborami wody. Jeszcze słabiej zaznaczały się związki między ilością czerpanej wody a zawartością CO_2 . Podwyższenie się koncentracji jonów siarczanowych i chlorkowych w związku ze zwiększonym poborem wody z ujęcia tłumaczyć można intensywniejszym ługowaniem powierzchni iłupków miocénskich, zawierających gips i chlorki oraz dopływem wód miocénskich i ich mieszaniem się z wodami czwartorzędowymi, gdy maleje ciśnienie hydrostatyczne (a więc wysokość słupa wody) tych ostatnich.

W n i o s k i

Na podstawie szczegółowej analizy budowy i warunków hydrogeologicznych zbadanego odcinka tarasu Wisły można sprecyzować niektóre wskazówki metodyczne pożyteczne dla poszukiwań wód podziemnych i budowy ujęć w podobnych warunkach.

1. Najkorzystniejsze warunki dla ujęcia wód podziemnych istnieją wzdłuż pogrzebanych rynien dopływów Wisły, wyłobionych w podłożu miocénskim. W tych bowiem obszarach następuje najintensywniejsze zasilanie z wód powierzchniowych i drenowanie wód podziemnych, największa jest miąższość osadów i najkorzystniejszy ich skład granulometryczny (najwyższy współczynnik filtracji k).
2. W obrębie rynien można uzyskiwać co najmniej dwukrotnie wyższą wydajność studzien niż w innych obszarach.
3. Współczynnik filtracji zmienia się lokalnie w dość znacznych granicach. Najlepsze warunki pod tym względem istnieją w przyspagowej części czwartorzędu, gdzie występują gruboziarniste, dobrze przesortowane żwiry karpackie.
4. Wody wysokiego tarasu różnią się od wód tarasu niskiego składem chemicznym, przede wszystkim nieobecnością Fe i Mn oraz brakiem zanieczyszczeń bakteriologicznych i substancji organicznych. Nadają się wprost do użytkowania bez potrzeby ich uzdatnienia.

5. Ze względu na skład chemiczny wód należy stosować do budowy studzien materiały nie ulegające korozji. Szczególnie nie wskazane jest używanie filtrów z dwu różnych metali. Różnoziarnistość utworów wodonośnych umożliwia zastosowanie bezsiatkowych wydajnych studzien.

Katedra Geologii Kopalnianej
Akademii Górniczo-Hutniczej
w Krakowie

WYKAZ LITERATURY

REFERENCES

- Alekin O. A. (1956), Podstawy hydrochemii (tłum. z rosyjskiego). Warszawa.
- Aleksandrowicz S. W. (1962) Zarys stratygrafii miocenu okolic Krakowa. *Spraw. Posiedz. Oddz. PAN w Krakowie*. Lipiec - grudzień 1962.
- Beres K. (1938 a), Profil dyluwialny w Zielonkach. (Über ein Profil des Diluviums in Zielonki). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* XIII. Kraków.
- Beres K. (1938 b), Przyczynki do geologii Krakowa (Quelques remarques sur la géologie de Cracovie). *Wiad. geogr.* XVI. z. 3—4, Kraków.
- Bukowy S. (1956), Geologia obszaru pomiędzy Krakowem a Korzkwią (Geology of the Area between Cracow and Korzkiew). *Biul. Inst. Geol.* 108, Warszawa.
- Busch K. F. (1956), Wasserversorgung in Stadt und Landwirtschaft. Leipzig.
- Gradziński R. (1955), Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz Niepołomice.
- Ingarden R. (1896), Wyniki badań wód gruntowych dokonanych w ciągu roku 1894 w okolicy Krakowa, omówione pod względem technicznym. Kraków.
- Jaszczurowski T. (1907), Opis wodociągu miejskiego Stoł. Król. Miasta Krakowa Imienia Cesarza Franciszka Józefa I. *Wodociąg Stoł. Król. Miasta Krakowa*.
- Jura A. (1937), Stanowisko paleolityczne na Krowodrzy przedmieściu Krakowa, w żwirach dyluwialnych rzeki Robotnej. *Spraw. PAN*, Rok 1937 nr 6, Kraków.
- Keller G. (1942), Untersuchungen über die petrographische Ausbildung von Grundwasserführern und die chemische Beschaffenheit der zugehörigen Grundwässer. *Z. prakt. Geol.* 50 Jg. 1942 H. 9.
- Klimaszewski M. (1952 a), Zagadnienia plejstocenu południowej Polski (Problema plejstocena jużnoej Polszy) (The Problems of the Pleistocene in Southern Poland). *Biul. Państw. Inst. Geol.* 65.
- Klimaszewski M. (1952 b), Formy wymarzania plejstocenijskiego w okolicy Krakowa (Plejstocenowyje formy promierzenija w okriestnostiach goroda Krakowa) (The forms of the Pleistocene Regelation in the Cracow Region). *Biul. Państw. Inst. Geol.* 66. Warszawa.
- Lewiński J. (1913), Utwory lodowcowe okolic Ojcowa (Glazialbildungen der Umgegend von Ojców). *Spraw. TNW. R.* XVI z. 9.
- Matakiewicz M. (1917), Orzeczenie w sprawie wydajności terenu wodonośnego budzyńsko-cholerzyńskiego. *Wodociąg stoł. król. Miasta Krakowa*, Kraków.
- Samsonowicz J. (1920—1922), Zastoiska lodowcowe nad górną i środkową Wisłą (Les Lacs endigués de la période glaciaire sur la Haute et Moyenne Vistula) *Spraw. Państw. Inst. Geol.* T. I.
- Sawicki L. (1937), W sprawie metody badań dyluwialnych. *Kosmos B.* 62, Lwów.
- Sawicki L. (1955), Stanowisko paleolitu dolnego na Wawelu (Le gisement paléolithique inférieur de Wawel a Cracovie). *Studia do dziejów Wawelu I*, Kraków.

- Skabałlanovich I. A., Скабалланович И. А. (1954), Гидрогеологические расчеты, Углетехиздат, Москва.
- Sprawozdanie Zarządu Wodociągowego z poszukiwań wody wglębnej w latach 1906—1909. *Wodociąg Stoł. Król. Miasta Krakowa*, zeszyt X. (mapy i przekroje geologiczne opracował inż. T. Szczepański, Kraków 1909).
- Szafer W. (1953), Stratygrafia plejstocenu w Polsce na podstawie florystycznej. (Stratigrafija plejstocena w Polsce na osnovaniu floristycznych danych) (Pleistocene Stratigraphy of Poland from Floristical Point of View). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* XXII. z. 2. Kraków.
- Tietze E. (1888), Die geognostischen Verhältnisse der Gegend von Krakau. *Jb. K. K. Geol. Reichsanst.* Bd. 37. Wien.
- Тыczyńska M. (1961), O stratygrafii utworów czwartorzędowych na obszarze Wielkiego Krakowa (K waprosu ob izuczeniu czetwierticznych obrazowanij na teritorii bolszego Krakowa) (A Contribution to the Recognition of Quaternary Deposits in the Area of Great Cracow). *Prz. geogr.* XXXIII. z. 3.
- Wieczysty A. (1960), Zależność wielkości obliczeniowej współczynnika przepuszczalności od metody jego wyznaczania. *Czas. techn.* R. 65 nr 8.
- Zaręczny S. (1894), Atlas geologiczny Galicyi. Tekst do zeszytu trzeciego, Kraków.
- Zaręczny S. (1897), Wody gruntowe bliższej okolicy Krakowa. Sprawozdanie z wyniku badań dokonanych przez Komisję Wodociągową Miejską w latach 1893—96. I. Część geologiczna. Kraków.

РЕЗЮМЕ

Содержание. В статье содержится детальный анализ геологического строения и гидрогеологических условий небольшого отрезка террасы (ок. 5 км²) основанный на результатах несколькихлетних наблюдений в 80 буровых скважинах. Обсуждается литологический состав, формы залегания и возраст образований и реконструкцию хода геологических явлений от доледникового периода до голоцена. Рассматривается система зеркала подземных вод и ее изменения во времени, определено коэффициент фильтрации, пути питания, водообильность горизонта и химизм вод. Дается указания для рационального использования подземных вод высокой террасы.

Исследованный автором участок террасы Вислы расположен Е от Кракова. В морфологии этого района можно выделить три элемента: низкая терраса Вислы и террасы ее притоков, высокая терраса и район холмов (фиг. 1). В статье рассматривается преимущественно высокая терраса.

Геологическое строение

Геологическое строение рассматриваемого района, площади ок. 5 км², было детально исследовано на основе сопоставления результатов 80 буровых скважин. Карта и разрезы (фиг. 9, 10) выявляют денивеляцию кровли миоценовых глин. Главные депрессии имеют оформление тонких котловин генетически связанных с притоками Вислы. Другие котловины были обнаружены в соседних районах (фиг. 1).

Над темно-серыми известковистыми аргиллитами миоцена, гранулометрическая характеристика которых изображена на диаграмме (фиг. 2), лежит гравийно-песчаная серия. Она в общем обладает выровненными горизонтальными поверхностями кровли, отделенными крутыми краями на границе с холмами и низкой тер-

расой (фиг. 11). Гравии и пески покрыты пыисто-песчанистыми образованиями, мощность которых очень непостоянна (фиг. 12). На границе высокой террасы и холмов нет вообще пыисто-песчанистого покрова или он очень тонкий; мощность его увеличивается скоро к северу.

Гравийно-песчанистая серия дифференцированная была предварительно разделена автором на четыре части (снизу вверх):

а) Нижние гравийные отложения от кровли миоцена до около 196 м (над уровнем моря). Этот гравий характеризуется значительным содержанием (до 80%) карпатского материала (серые глауконитовые песчаники, кварцы, роговики). Величина галек до 10—12 см а иногда 18 см. Примесь песка до 20—40% (фиг. 3).

в) Средние гравийные отложения (196—200 м над уровнем моря). Это гравий преимущественно местного происхождения (известняк, мергелистые известняки, кремнь). Песчаников и других пород здесь не более 5%. Величина галек до 6 см и только исключительно превосходит 10 см. Песка в общем больше чем в нижнем слое — от 20 до 60% (фиг. 4).

с) Покровные гравийные отложения — 200 до 204 (206) м над уровнем моря это пески (60—70%) с примесью гравия (фиг. 5). В маломощном (1 см) нижнем горизонте карпатский материал составляет до 25%. Выше доминирует местный материал (мергели и известняки).

д) Верхние гравийные отложения (200—220 (224) м над уровнем моря). Содержание песчанистой фракции тоже значительно. Гравийный материал местного происхождения. Часто наблюдается пески без примеси крупнообломочной фракции.

Самая острая разница имеется между гравийными отложениями ниже 196 м и остальными. Эта граница видна тоже в морфологии миоценового фундамента (фиг. 10), потому что от наименованной высоты поверхность аргиллитов скоро поднимается к северу. На рассматриваемой высоте наблюдается прослойки пылистого материала (фиг. 6, 9, 10). Аналогичные прослойки находятся тоже несколько ниже (191—193 м н.у.м.).

Пыисто-песчанистый покров гравийных отложений построен из переслоивающихся лессовых глин, пыли (фиг. 7) и песков (фиг. 8), часто пылистых и водо-содержащих (плывун). В подошве непосредственно над кровлей гравийных отложений встречаются торфы и коричнево-черные наносные илы, содержащие до 20% органического вещества, которые отвечают образованиям типа гиттия. Отложения этого рода имеют до 2 м мощности и наблюдаются прежде всего вдоль края кровли гравийных отложений на границе высокой террасы и холмов (фиг. 13).

Серые аргиллиты и глинистые сланцы несомненно миоценового возраста, так как в них были найдены характерные фораминиферовые комплексы.

Валуны скандинавского происхождения, залегающие в кровли миоцена (фиг. 1), являются вероятно реликтами размытых моренных образований краковского оледенения. Скандинавские породы встречаются кроме того в целом разрезе гравийных отложений. Гравии содержащие прежде всего карпатский материал, связаны, кажется, с среднепольским оледенением. Вышележащие гравийные отложения состоящие по большей части из местного материала, именно из обломков меловых и юрских пород, осадилась в форме аллювиальных конусов выноса возникших у устья притоков Вислы тоже во время среднепольского оледенения но в позднейшей его стадии.

С ранним периодом балтийского оледенения следует связать сравнительно слабо изученный гравийный покров, в котором наблюдается обогащение карпатским материалом (покровные гравийные отложения).

Лессово-песчанистый покров образовался в более поздних стадиях балтийского оледенения. Торф и гиттия осадилась во время улучшения климатических условий. Мады и пески нижней террасы, покрывающие тонким слоем карпатские гравийные отложения, голоценового возраста.

В ы в о д ы

На основании анализа геологического строения можно сделать следующую реконструкцию последовательных стадий развития истории Вислы и ее притоков в исследуемом районе:

- I. Эрозионный размыв поверхности миоценовых глин и возникновение котловины врезанных притоками Вислы в доледниковое время и частично перед краковским оледенением.
- II. Образование морены краковского оледенения и ее размыв связанный с дальнейшей эрозией поверхности миоценовых глин.
- III. Осаждение в прадолине Вислы гравийных отложений, богатых карпатским материалом — стадия Дренте среднепольского оледенения, размыв их поверхности и осаждение пыlistых прослоев — межстадия Дренте — Варта.
- IV. Образование аллювиальных конусов выноса притоков Вислы (гравий с преимущественно местным материалом) — стадия Варта среднепольского оледенения.
- V. Процесс осаждения гравийных отложений с увеличенным содержанием карпатского материала — ранняя стадия балтийского оледенения.
- VI. Эрозионный размыв гравийных отложений — возникновение гравийной террасы горизонта 202—204 м н.у.м. и неглубокого жёлоба в этой террасе.
- VII. Осаждение лессов и пыlistо-песчанистых образований (в нижней части торфы и органические наносные илы) с сохраненными гравийными отложениями небольшой мощности — поздняя стадия балтийского оледенения.
- VIII. Перемещение течения Вислы к югу в теперешнюю долину — эрозионный размыв гравийных отложений на горизонте 195—197 м и осаждение мадов низкой террасы — голоцен.

Г р у н т о в ы е в о д ы

Гравийные отложения залегающие на непроницаемом фундаменте миоценовых глин и покрытые полупроницаемыми пыlistо-песчанистыми образованиями являются довольно обильным водоносным горизонтом. Зеркало вод на высокой террасе находится глубоко 10—15 м от поверхности. Воду из высокой террасы эксплуатируется от половины 1953 года. В первичном состоянии зеркало подземных вод (фиг. 14) точно приспособилось к морфологии поверхности.

После 4-летней эксплуатации наступило очень существенное изменение системы гидроизогипс (фиг. 15). Вокруг колодцев водозабора возникла глубокая депрессионная воронка. Вне влияния водозабора было наблюденo нахождение напорных вод и явления подъема уровня подземных вод в юго-восточной части района, вызванные местным уменьшением мощности водоносного слоя. Наблюдения исполненные в начале 1961 года уже не обнаружили существенных изменений системы гидроизогипс исследованного района (фиг. 16) несмотря на то, что эксплуатация продолжалась (фиг. 17). На основании познания гидрогеологических условий на широкой площади было установлено, что воды притоков Вислы питают в некоторых местах подземные воды. Стабилизация депрессионной воронки и поднятие зеркала вод в наблюдательных скважинах в связи с уменьшением эксплуатации (фиг. 17) свидетельствует о том, что в периоде 1957—1961 установилось равновесие между питанием и эксплуатацией вод.

Несмотря на простую систему слоев рассматриваемая водоносная область имеет этажное строение, обусловленное литологическими различиями гравийно-песчанистой серии.

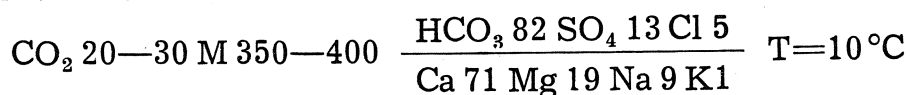
По всей вероятности в гравиях залегающих в кровли водонепроницаемых миоценовых глин отмечается направление водостока вдоль жёлобов врезанных в отложения миоцена.

Коэффициент фильтрации (К) для целого водоносного комплекса определен на основании ряда пробных откачек и получено величины $3,8 - 7,3 \cdot 10^{-4}$ м/сек, что очень похоже результатами, полученными другими авторами в пределах прadolины Вислы (таб. 1). Кажется, что коэффициент К проявляет в долине Вислы большую местную изменчивость. Лучшими фильтрационными свойствами обладают нижние карпатские гравии.

Питание подземных вод осуществляется прежде всего путём инфильтрации вод притоков Вислы, которые расположены выше зеркала подземных вод высокой террасы. Подчиненное значение имеет поверхностная инфильтрация, тем более, что питающая площадь небольшая.

К а ч е с т в о в о д ы

Температура воды $9,5 - 10^\circ\text{C}$, что несколько выше многолетней средней годичной температуры воздуха. Вода прозрачная, легко голубоватого цвета, без запаха. Формула Курлова следующая:



Средний химический состав воды представлен в таб. 2, а различия в содержании некоторых компонентов в таб. 3

Вода обладает нейтральной реакцией (рН), жёсткостью $12,8 - 19,6^\circ\text{H}$, (в том временная $10,9 - 15,0^\circ\text{H}$). Она содержит только следы железа, чем резко отличается от вод низкой террасы, в которых было определено высокое содержание этого элемента ($1 - 16$ мг. Fe/л).

Во время поступающей эксплуатации вод (1953—1961) происходят незначительные изменения химизма, например наблюдается стремление к повышению кислотности: рН снижилось с ок. 7,5 до 6,9. Во время пробных откачек в непосредственной близости действующего водозабора было обнаружено небольшое содержание агрессивной углекислоты (около 1 мг/л), которой в предыдущих анализах не было. Опираясь на результатах химических анализов, исполняемых ежемесячно в течение семи лет (1953—1960) была выявлена некоторая связь между эксплуатацией и изменением содержания нескольких йонов (фиг. 17). Она особенно отчетлива для сульфатного йона; максимальные содержания SO_4^{--} соответствуют, с некоторым запозданием, щитовой эксплуатации подземных вод. Во время эксплуатации наблюдается тоже увеличение содержания хлоридов (Cl), хотя оно менее отчетливо связано с периодами максимального побора воды. Еще слабшая связь выявлена между количеством эксплуатируемой воды и содержанием CO_2 . Увеличение содержания сульфатов и хлоридов соответствующие интенсификации побора воды, объясняется более активным выщелачиванием поверхности миоценовых аргилитов, содержащих пирит, марказит, гипс и хлориды или притоком миоценовых вод и их смешиванием с четвертичными водами в результате падения гидростатического давления водяного столба.

Кафедра Рудничной Геологии
Горно-Металлургической Академии
в Кракове