

Klemens Wyszowski, Mieczysław Matlak, Andrzej Grunwald, Janusz Stefańczyk

Infiltracyjne poddenne promieniste ujęcie wody nowej generacji

W wielu regionach kraju stan zaopatrzenia w wodę ludności i przemysłu budzi od dawna poważne zastrzeżenia, i to zarówno z uwagi na jej jakość, jak i ilościowe pokrycie potrzeb. Tych faktów nie przestani chwilowy spadek zapotrzebowania wynikły ze znacznego wzrostu cen wody oraz zmniejszenia jej zużycia przez przemysł. Negatywne skutki ewentualnego wstrzymania inwestycji wodociągowych będą odczuwane z pewnością już z chwilą wystąpienia ożywienia gospodarczego.

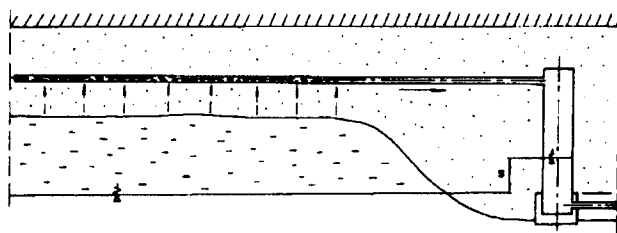
Liczącymi się obecnie zasobami wody, które mogą być pozyskiwane dla ludności i przemysłu są pokłady wodonośne trzecio- i czwartorzędowe oraz rzeki i zbiorniki, tak naturalne jak i sztuczne. Wody gruntowe, szczególnie trzeciorzędowe (jurajskie i kredowe) wyróżniają się dobrą lub bardzo dobrą jakością, jednak ich zasoby są ograniczone i stale maleją. Wody czwartorzędowe charakteryzują się zazwyczaj wyższymi wartościami wskaźników zanieczyszczeń niż trzeciorzędowe i często ich jakość pogarsza się wraz z upływem czasu eksploatacji ujęcia. Ponadto eksploatacja studni wierconych sprawia także pewne kłopoty, np. chemiczna i mechaniczna kolmatacja warstwy wodonośnej wokół odwiertu zmusza do cyklicznego przeprowadzania regeneracji studni lub odwiercenia zastępczej.

Zarówno rzeki jak i zbiorniki wodne o łatwo odnawialnych zasobach mogą pokryć zapotrzebowanie na wodę, ale tylko w ilości proporcjonalnej do wielkości SNQ. W okresach suszy hydrologicznej z rzek można pobierać tylko do 20 % SNQ z uwagi na konieczność pozostawienia przepływu nienaruszalnego, niezbędnego dla zachowania życia biologicznego. Właściwie zaprojektowana i zrealizowana retencja zbiornikowa może znacznie zwiększyć możliwą do ujęcia ilość wody dzięki uśrednieniu natężenia przepływu wody w rzece.

Podczas eksploatacji ujęć powierzchniowych okazało się, iż pomimo dostatecznej ilości wody w źródle, tj. w rzece lub zbiorniku, dwa razy w roku występują poważne problemy z jej poborem. W okresie zimowym powodem tych trudności są zjawiska lodowe (zatory lodowe, lód denny oraz sryż), mogące powodować gwałtowne zmniejszenie przepływu, a także powodujące obmarzanie i zatykanie krat wlotowych. Z problemem tym częściowo poradzono sobie ogrzewając kraty, ale związane jest to z dodatkowym zużyciem energii elektrycznej, co podwyższa ko-

szty eksploatacyjne. Kolejny bardzo poważny problem występuje w okresie letnim, szczególnie przy suszach hydrologicznych pojawiających się w ostatnim okresie. Zakwit planktonu, szczególnie podczas upalnego lata, znacznie obniża wydajność stacji uzdatniania opartej na filtracji powolnej. Na przykład wydajność pierwszego ciągu technologicznego Wodociągu Centralnego w Warszawie z maksymalnej osiąganego wartości 300 tys. m³/d w okresie lawinowego zakwit planktonu obniża się nawet do wartości poniżej 50 tys. m³/d.

W takich sytuacjach należy w miarę możliwości odstępować od bezpośredniego poboru wód powierzchniowych z uwagi na to, że ilość fitoplanktonu rośnie wraz ze wzrostem zanieczyszczenia wód. Sposobem umożliwiającym ujmowanie wód powierzchniowych, niezależnym od występowania wyżej opisanych niekorzystnych zjawisk, jest pobór wód spod dna rzeki lub zbiornika, szczególnie z uwagi na procesy biochemiczne zachodzące w górnej warstwie filtracyjnej [1-3]. System poziomych perforowanych rur usytuowanych w warstwie wodonośnej i wytworzona w nich depresja, liczona względem zwierciadła wody w rzece, powodują wystąpienie zjawiska infiltracji wody powierzchniowej do drenów i następnie do szybu studni (rys.1).



Rys.1. Schemat poddenne ujęcia infiltracyjnego

Filtracja wody rzecznej przez 5-metrową warstwę piasków (aluwiów) wyściełających dno rzeki zapewnia pozyskanie dużych ilości dobrego surowca, (w przeciwieństwie do wód powierzchniowych), całkowicie pozbawionego zawiesin oraz fitoplanktonu, praktycznie pewnego bakteriologicznie i o znacznie obniżonych wartościach pozostałych wskaźników (mętność, barwa, żelazo, mangan, utlenialność) oraz – w przeciwieństwie do ujęć wód gruntowych – o mniejszej twardości i o znacznie mniejszych ilościach związków żelaza i manganu.

W przypadku wód rzecznych odpowiadających I-III klasie czystości, woda z infiltracyjnych ujęć poddennych niekiedy często nadaje się bezpośrednio do spożycia. Jedynym zabiegiem w takim przypadku jest jej dezynfekcja. W przypadku niekorzyst-

Dr inż. K. Wyszowski, mgr inż. M. Matlak: Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego Politechniki Warszawskiej, pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa

Mgr inż. A.Grunwald: Przedsiębiorstwo Inżynieryjne HYDROTECHNIKA, M. Jelnicki & Co. Sp. z o.o., al. Sztandarów 1/3, 04-423 Warszawa

Mgr inż. J. Stefańczyk: Przedsiębiorstwo Inżynieryjno-Uslugowe "Tech-San Stolica", ul. Wolność 7/9, 01-018 Warszawa

nych warunków hydrogeologicznych lub morfologicznych, alternatywą dla poddennego infiltracyjnego ujęcia w warunkach naturalnych rzeki lub zbiornika może być infiltracyjne ujęcie pobierające wodę ze sztucznie uformowanej warstwy wodonośnej wykonanej w kanale przepływowym.

W Polsce zainteresowano się studniami promienistymi (opracowanymi i wdrożonymi przez Ranney'a przed drugą wojną światową) już na początku lat 50. W latach 60. wybudowano 17 studni promienistych dla potrzeb wodociągów i jedną dla odwodnienia dzielnicy Grzegórzki w Krakowie, podtapianej w wyniku wybudowania zbiornika "Dąbie". W okresie późniejszym zainteresowanie tymi ujęciami zmalało na skutek poważnych problemów technicznych budowy i związanych z tym bardzo wysokich kosztów inwestycyjnych.

Zarówno konieczność opuszczenia na znaczną głębokość ciężkiego żelbetowego szybu, a następnie wciskanie w warstwę wodonośną drenów za pomocą prasy ustawionej w szybie, jak to miało miejsce np. przy budowie ujęcia zasadniczego Wodociągu Praskiego (tzw. "Grubej Kaśki") powodowało, iż okres budowy wynosił kilka lat, co znacznie podnosiło koszty uzyskania 1 m³ wody. Pomimo to, prowadzona systematycznie od wielu lat analiza wykazuje, iż koszt pozyskania wody do picia jest w przypadku infiltracyjnych ujęć poddennych kilkakrotnie niższy od kosztu wody z ujęć powierzchniowych i znacznie niższy od kosztu wody z ujęć podziemnych.

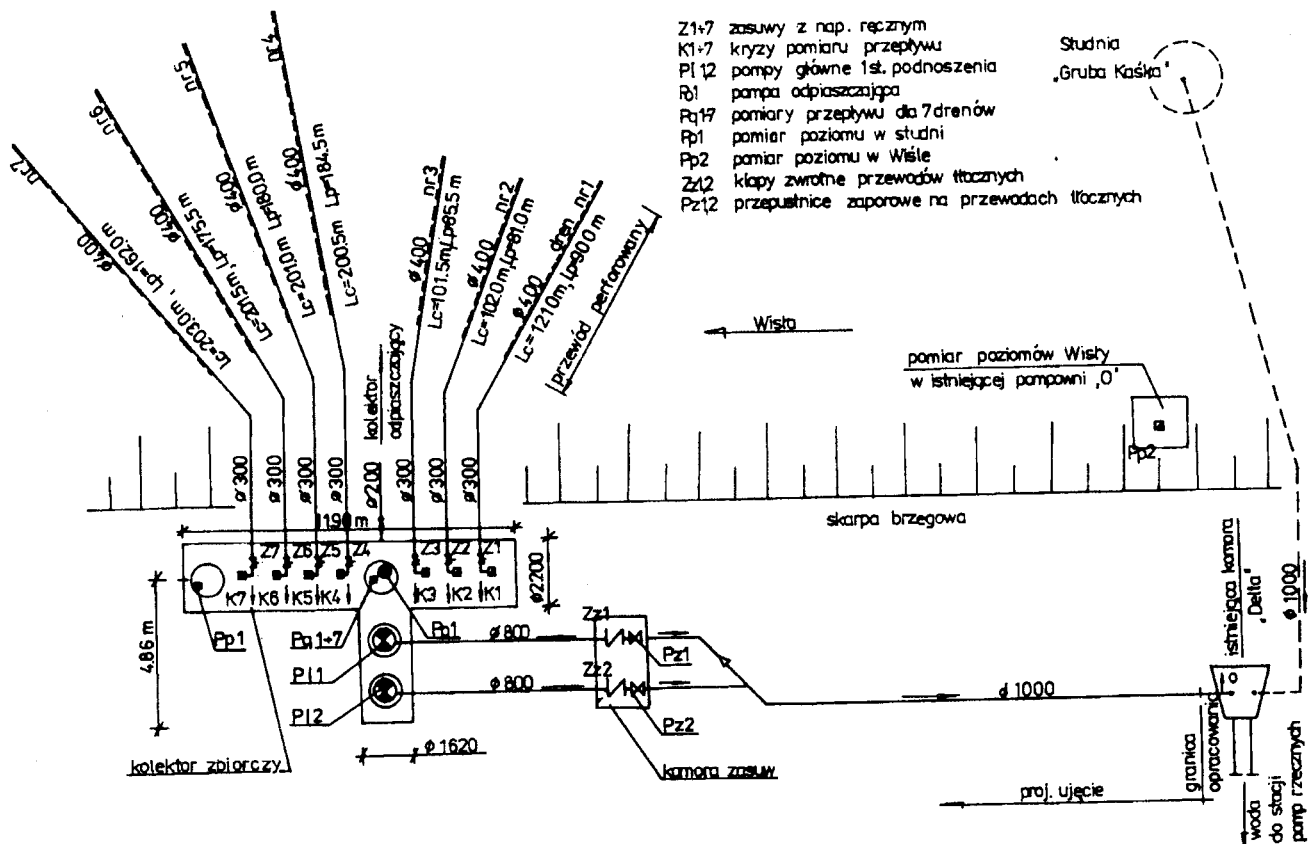
Zalety infiltracyjnych ujęć promienistych dały impuls do wprowadzania kolejnych modyfikacji mających na celu obniżanie kosztów inwestycyjnych. Zastosowanie tzw. metody odkryw-

kowej, opracowanej w latach 70. w MPWiK w Warszawie, pozwala układać dreny o dowolnej długości bez potrzeby stosowania kesonu i pras. Formowanie filtru żwirowego wokół drenu umożliwia zwiększenie jego wydajności i przedłuża czas jego eksploatacji. Kolejna modyfikacja infiltracyjnych ujęć poddennych to tzw. ujęcia przewodowo-pompowe [4].

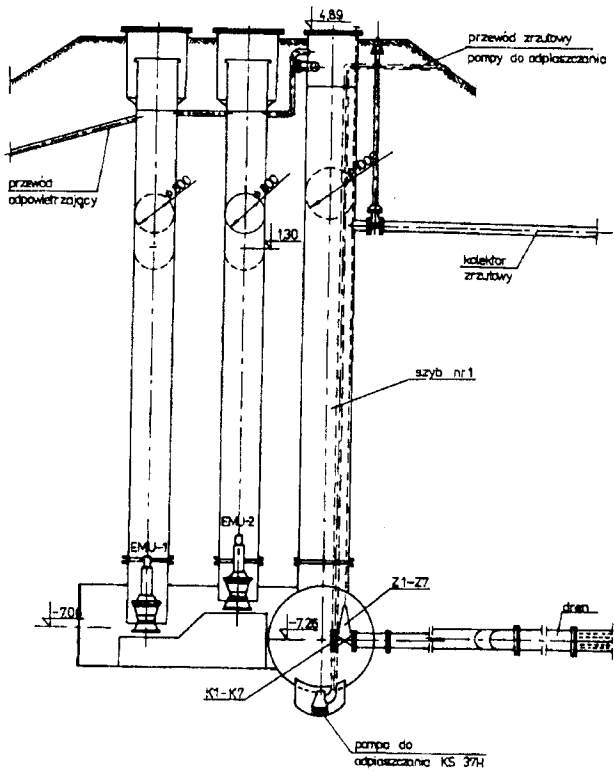
Infiltracyjne ujęcie przewodowo-pompowe

Zrealizowane w 1992 r. ujęcie PU-1 oraz budowane obecnie ujęcie PU-2 są rozwiązaniami prototypowymi, zaprojektowanymi na podstawie wzoru użytkowego MPWiK w Warszawie nr 84714. W projekcie ujęcia PU-1 przewidziano, iż woda infiltrująca spod dna Wisły będzie pobierana za pomocą siedmiu promieniście ułożonych drenów o długościach od 100 do 200 m, wprowadzonych do zbiorczej komory czepnej w kształcie litery T (rys.2, 3).

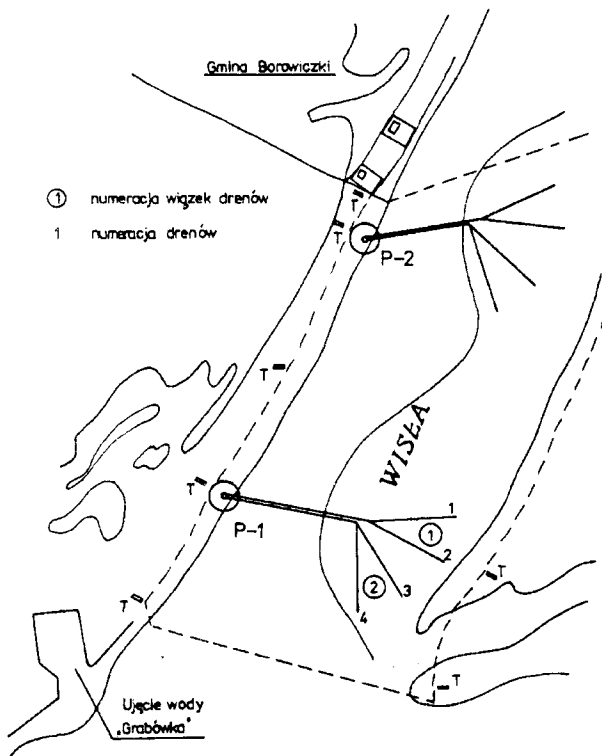
Takie rozwiązanie konstrukcyjne umożliwiło zaniechanie budowy bardzo kosztownej żelbetowej studni zbiorczej. Posadowienie ujęcia poniżej poziomu terenu, nie powodujące zaburzeń przepływu w korycie rzeki przy przejściu wielkich wód, pozwoliło na uzyskanie zgody władzy wodnej na jego budowę. Woda z komory czepnej, posadowionej 13,0 m poniżej poziomu terenu, jest podawana do Wodociągu Centralnego zatapialnymi pompami śmigłowymi firmy EMU. Zarówno pompy jak i pokręta zasuw zainstalowanych na każdym drenie są umieszczone niezależnie w pionowych szybach i obsługiwane są z poziomu terenu. Dojście do komory czepnej zapewniają dwa niezależne szyby żłazowe.



Rys.2. Schemat ujęcia PU-1



Rys.3. Przekrój pionowy ujęcia PU-1



Rys.4. Schemat poddenne ujęcia promienistego dla Płocka

Całe ujęcie zostało zaprojektowane w konstrukcji stalowej odpowiednio zabezpieczonej przed korozją. Eksploatacyjna wydajność ujęcia, wynosząca 50 tys. m^3/d przy depresji na wylocie z drenu równej 2 m, w przypadku sprzyjających warunków hydrologicznych może być zwiększona do 90 tys. m^3/d . Z uwagi na dużą zmienność położenia zwierciadła wody w Wiśle wprowadzono regulację obrotów silników. W projekcie przewidziano ciągły pomiar wydajności poszczególnych drenów, depresji oraz poziomu wody w komorze czerpnej i w Wiśle. Zastosowane do pomiaru natężenia przepływu specjalistyczne przepływowe kryzy pomiarowe równocześnie spełniają rolę urządzenia zabezpieczającego warstwę wodonosną przed nadmierną kolmatacją mechaniczną i chemiczną. Kryzy zostały zarejestrowane przez UPRP jako wzór użytkowy pod numerem W-92251. Pomiary różnic ciśnień wykonywane są za pomocą ultradźwiękowych mierników poziomów wody.

Prace realizacyjne rozpoczęto w lipcu 1991 r., zaś w sierpniu 1992 r. zostały położone wszystkie dreny. Rozruch ujęcia zakończono na początku bieżącego roku i od 17 stycznia podaje ono wodę infiltracyjną do Wodociągu Centralnego. Obliczenia efektów realizacji inwestycji wykazały, że koszt budowy ujęcia PU-1 jest o około 5 mld złotych niższy od kosztu infiltracyjnego ujęcia o porównywalnej wydajności, wykonanego metodą odkrywkową w oparciu o ciężki żelbetowy sztyb zbiorczy (w cenach z końca 1991 r.).

Infiltracyjne ujęcie dla Płocka

Inną zmodyfikowaną konstrukcją poddenne ujęcia infiltracyjnego jest ujęcie dla Płocka, pobierające wodę spod dna Wisły powyżej zasięgu cofki zbiornika Włocławskiego i poniżej ujęcia Słupianki [5]. Obecnie realizowany jest pierwszy etap budowy. Po jego zakończeniu, pomimo trudnych warunków geologicznych, hydrologicznych i korytowych, miasto otrzyma 20 tys. m^3/d wody jakościowo znacznie lepszej od pobieranej dotychczas z ujęcia powierzchniowego. Dostępne materiały archiwalne wskazały na dużą zmienność litologii gruntów podścielających aluwia Wisły w analizowanym rejonie. Wstępne badania rejonu przewidzianego do zlokalizowania ujęć potwierdziły skomplikowaną budowę morfologiczną i geologiczną koryta rzeki w rejonie 628 km jej biegu. Przeprowadzone w 1991 r. szczegółowe badania geologiczne (54 odwierty łącznie z wykonanymi podczas wstępnych badań) pozwoliły okonturować obszar o odpowiednich warunkach hydrogeologicznych. Obszar ten, przylegający do Kępy Ośnickiej (wyspy oddalonej o ok. 400 m od prawego brzegu rzeki) jest na tyle duży, iż umożliwił zlokalizowanie dwóch ujęć o wydajności każdego z nich 20 tys. m^3/d (rys.4).

Tak odległe usytuowanie drenów od brzegu, na który ma być dostarczona woda, zmusiło do zupełnie odmiennego od stosowanych dotychczas rozwiązania konstrukcyjnego, zarówno części poddennej (dreny, przewody przesyłowe), jak i pompowni. Część ujmującą wodę infiltracyjną zaprojektowano w postaci wiązki czterech drenów łączonych po dwa do przewodów przesyłowych o średnicach 400 mm. Studnię zbiorczą stanowi pionowa stalowa rura o średnicy 2.010 mm, odpowiednio zabezpieczona przed zgnieceniem i uszkodzeniem podczas opuszczania. Do studni posadowionej na odpowiedniej rzędnej wprowadzono przewody przesyłowe zakończone zasuwami wraz z przymocowanymi do nich specjalistycznymi kryzami, zabezpieczającymi złożę filtracyjne przed zbyt szybkim zakolmatowaniem.

Na podkreślenie zasługuje sposób opuszczenia studni na głębokość 12 m poniżej poziomu terenu, szczególnie z uwagi na konieczność wprowadzenia jej w zwarte iły, których strop występuje już na głębokości 3 m. Zastosowanie wibromłota o sile wymuszenia około 1,35 MN (135 t) pozwoliło na przeprowadzenie całej operacji w kilkanaście godzin. W dolnej części studni, po jej zawibrowaniu i wydobyciu urobku, wykonano betonowy korek. Od góry szyb studni został obudowany żelbetową komorą, mieszczącą konstrukcję nośną dla podwieszenia trzech pomp zatapialnych firmy EMU oraz przewody wraz z armaturą. Woda z pompowni podawana będzie do układu przewodów przesyłowych eksploатовanego obecnie ujęcia powierzchniowego, którego zamiennikiem będą realizowane ujęcia infiltracyjne. Obecnie rozpoczęto rozruch technologiczny ujęcia P-1 (pompowanie oczyszczające).

Warunki pracy ujęć infiltracyjnych

Infiltracyjne poddenne ujęcia wody mają obok niewątpliwych zalet również pewne wady, do których należy zaliczyć zmniejszenie wydajności drenów na skutek kolmatacji złoża wokół nich oraz możliwość zniszczenia ujęcia na skutek wadliwego wykonawstwa, wynikającego niekiedy z trudnych warunków hydrologicznych.

Początkowo, w latach 50. i 60., optymistycznie przyjmowano dużą wydajność z 1 metra drenu, nawet do wartości powyżej $2 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}$. W miarę nabierania doświadczenia ograniczono ilość pobieranej wody tak, aby nie doprowadzać warstwy wodonośnej do zbyt szybkiej kolmatacji. Obecnie wydajność jednostkową drenu przyjmuje się w granicach $0,35+1,40 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}$. Równolegle z powyższym warunkiem wprowadza się także ograniczenie prędkości dopływu wody do drenu. Dopuszczalna prędkość dopływu wody do zewnętrznej powierzchni drenu nie powinna przekraczać wartości $k/30$ (k – współczynnik filtracji, m/s), co zabezpiecza warstwę wodonośną przed suffozją, tj. wymywaniem ze złoża drobnych cząstek piasku.

Po zrealizowaniu ujęcia musi ono być poddane procesowi rozruchu technologicznego, na który składają się: oczyszczenie i odpiaszczenie poszczególnych drenów oraz formowanie warstwy wodonośnej wokół wszystkich drenów ujęcia, a także określenie zależności wydajności drenów i ujęcia od depresji w szybie zbiorczym oraz wyznaczenie współczynników współdziałania drenów. Po zakończeniu rozruchu opracowywana jest instrukcja eksploatacji ujęcia, niezbędna dla jego prawidłowego użytkowania.

Zalety infiltracyjnych ujęć powodują, iż ich liczba systematycznie rośnie. Wynika to z faktu, że obecnie można poradzić sobie z kolmatacją warstwy wodonośnej, np. projektując dreny niskobciążone, dla których wydajność jednostkowa nie przekracza wartości $0,70 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ oraz stosując podczas eksploatacji spulchniacze hydrauliczne (dokolmatatory) o konstrukcji takiej jak warszawskie "Chude Wojtki" lub poznański "Koziołek" (dla dużych

i średnich rzek) lub opisanej w zgłoszeniu patentowym nr P-290401 pt. "Urządzenie do regeneracji warstwy gruntu".

Można wybudować infiltracyjne ujęcie w terenie o bardzo trudnych warunkach geologicznych w postaci tzw. kanałów przepływowych, wykonywanych w wykopach uszczelnionych np. folią, jak to przedstawiono w opisie patentowym nr P-296479 pt. "Sposób poboru ze zbiorników wodnych wody infiltrującej do drenów oraz układ poboru ze zbiorników wodnych wody infiltrującej do drenów."

Podsumowanie

Studnie promieniste opracowane przez Ranney'a zostały bardzo szybko zaadaptowane do warunków krajowych, a od początku lat 50. opracowano szereg ich modyfikacji. Za największe ostatnie osiągnięcia należy uznać opracowanie i wdrożenie:

- odkrywkowej metody układania drenów,
- urządzeń do dekolmatacji warstwy wodonośnej,
- rozwiązań pozwalających na wyeliminowanie ciężkiego i kosztownego żelbetowego szybu zbiorczego, jak np. w przypadku warszawskich ujęć przewodowo-pompowych.

Omówione rozwiązania, pozwalające na systematyczne udoskonalanie techniki wykonywania ujęć poddennych i jednocześnie obniżanie kosztów pozyskania wody infiltracyjnej, otrzymały świadectwa polskiego Urzędu Patentowego, natomiast propozycje opisane w końcowej części pracy zostały również zgłoszone do opatentowania.

LITERATURA

1. K. WYSZKOWSKI i inni: Obliczanie wydajności studni promienistych. Prace Naukowe PW., seria Budownictwo, 1981, z. 71, ss 45–94.
2. K. WYSZKOWSKI i inni: Ocena efektywności budowy i eksploatacji studni promienistych. Prace Naukowe PW., seria Budownictwo, 1981, z. 71, ss 95–116.
3. K. WYSZKOWSKI, M. MATLAK, R. RYBACKI, A. GRUNWALD, L. SIARKIEWICZ: Analiza i ocena działania badawczej studni promienistej ujęcia wody "Reda III" dla miasta Gdyni. Prace Naukowe PW., seria Inżynieria Sanitarna i Wodna, 1990, z. 8, ss 157–198.
4. J. STEFAŃCZYK i inni: PTJ ujęcia przewodowo-pompowego PU-1 wody infiltracyjnej z rz. Wisły dla Wodociągu Centralnego – technologia. Przedsiębiorstwo Inżynieryjno-Usługowe "Tech-San Stolica" Sp. z o.o., Warszawa 1991 (praca nie publikowana).
5. K. WYSZKOWSKI, M. MATLAK, A. GRUNWALD, W. STEFAŃCZYK: Zaopatrzenie w wodę miasta Płocka. Infiltracyjne ujęcie wody z rzeki Wisły. Projekt koncepcyjny – technologia. Przedsiębiorstwo Inżynieryjne HYDROTECHNIKA MJ, Warszawa 1991 (praca nie publikowana).

A NEW GENERATION OF UNDER-BOTTOM RADIAL INTAKES FOR INFILTRATION WATER

The operating conditions for infiltration water intakes, as well as the advantages and disadvantages of using these intake methods, were reviewed. By comparison with well known designs, the author's own concept was presented. The concept (which has al-

ready been implemented) includes the following items: laying of drains by stripping, devices for the desilting of the aquifer, and elimination of the high-cost and troublesome collecting well.