

Andrzej Kotowski

ANALIZA PORÓWNAWCZA METOD OBLICZANIA WYDAJNOŚCI PODDENNYCH UJĘĆ PROMIENISTYCH WODY

Infiltracyjne ujęcia promieniste okazały się (w pewnych warunkach hydrogeologicznych) znacznie bardziej ekonomiczne, w porównaniu do ujęć za pomocą grup studzien wierconych bądź kopanych — równoważnych pod względem wydajności. Ujęcia infiltracyjne cechują się zwartością konstrukcji, dużą wydajnością i długowiecznością działania. Można je stosować nawet przy niewielkich wysokościach warstwy wodonośnej (około kilku metrów). Zalety ujęć promienistych powodują, że zastępują one w coraz większym stopniu tradycyjne sposoby ujmowania wody podziemnej i infiltracyjnej [1, 10, 20]. Jest rzeczą charakterystyczną, iż technika budowy ujęć promienistych znacznie wyprzedziła opracowanie naukowych podstaw ich projektowania (określenia wydajności). Wiąże się to między innymi z faktem, że dopływ wody do ujęcia promienistego można rozpatrywać jedynie w przestrzeni trójwymiarowej, co wymaga stosowania zaawansowanego aparatu analitycznego, bądź też eksperymentalnego. Wydajność ujęcia promienistego, którego schemat przedstawiono na rysunku 1, może być zapisana w następującej postaci ogólnej:

$$Q = F(H_w, k_f, s_p, n, l_f, r_o, z, \dots) \quad (1)$$

Wartość wydajności ujęcia promienistego uzależniona jest od następujących czynników:

- warunki hydrogeologiczne (miąższość H_w , uziarnienie i wodoprzepuszczalność warstwy wodonośnej k_f),
- warunki eksploatacyjne (depresja w studni zbiorczej s_p , stopień kolmatacji filtra oraz dna źródła infiltracji),
- konstrukcja ujęcia (liczba n , długość l_f oraz średnica zbieracza $2r_o$, a także ich zagłębienie pod dnem obszaru infiltracji z).

Prace teoretyczne z tego zakresu wywodzą się z równań fizyki matematycznej opisujących ruch wody w gruncie, opartych na założeniu potencjalnego ruchu cieczy doskonałej pod działaniem sił grawitacji w jednorodnym i izotropowym ośrodku gruntowym. W tych warunkach ruch wody opisywany jest równaniem Laplace'a:

$$\frac{\delta^2 \varphi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \varphi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \varphi}{\delta z^2} = 0 \quad (2)$$

w którym φ stanowi potencjał prędkości, będący funkcją współrzędnych x, y, z . Równanie Laplace'a winno spełniać warunki brzegowe, wynikające z fizycznych właściwości obszaru filtracyjnego. Do analitycznego rozwiązania tak

sformułowanego zadania znalazły praktyczne zastosowanie dwie metody:

- metoda odwzorowań konforemnych (wieronokątnych),
- metoda źródeł i upustów (źródeł dodatnich i ujemnych).

W badaniach eksperymentalnych wykorzystuje się analogie między zjawiskami zachodzącymi w naturze i w modelu — dające się opisać równaniem Laplace'a. Praktyczne zastosowanie znalazła tutaj metoda analogii elektrohydrodynamicznej (AEHD).

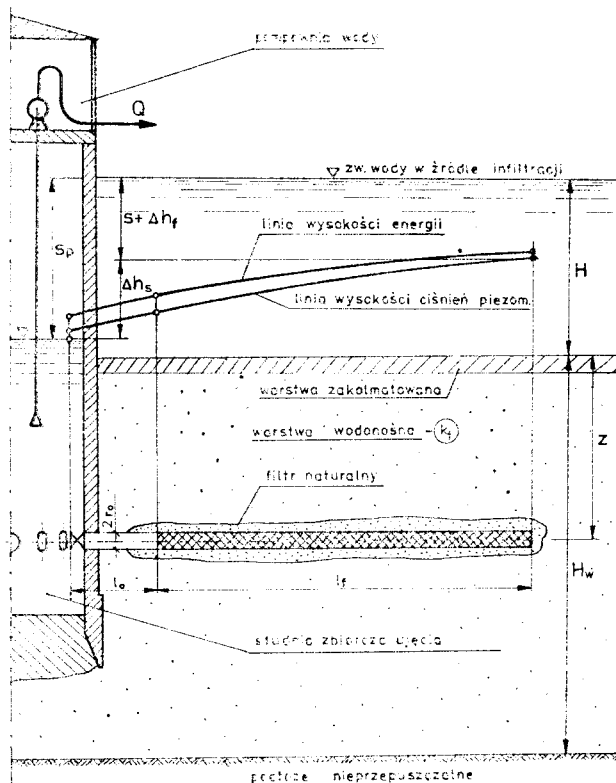


Fig. 1 Schemat poddennego ujęcia promienistego

Modele matematyczne działania promienistych ujęć wody

Twórcą metody odwzorowań wieronokątnych, w odniesieniu do poddennych ujęć infiltracyjnych był Viediernikov. Wszelkie dalsze opracowania powstały w oparciu o jego prace. Wykorzystując wspomnianą metodę, Viediernikov wyprowadził wzór na jednostkowy dopływ wody do pojedynczego zbieracza o nieskończonej dłu-

gości, ułożonego w półograniczonej warstwie wodonośnej, w postaci [5, 9]:

$$q_1 = \frac{2\pi k_f(H+z-h)}{\ln(2z/r_0)} \quad (3)$$

gdzie:

q_1 — jednostkowy dopływ wody do zbieracza pracującego indywidualnie, $m^3/s \cdot m$,
 h_z — wysokość ciśnienia na powierzchni zbieracza w odniesieniu do wysokości ciśnienia atmosferycznego, m .

Wydażność pojedynczego zbieracza o długości l_f wynosi:

$$Q_1 = q_1 \cdot l_f \quad (3a)$$

Na podstawie prac Viedernikova, Aravin i Numerov [2] wyprowadzili wzór na jednostkowy dopływ wody do zbieracza, założonego w warstwie wodonośnej o skończonej miąższości, w postaci:

$$q_1 = 2\pi k_f(H+z-h_w)\Phi^{-1} \quad (4)$$

gdzie:

h_w — wysokość ciśnienia wewnątrz zbieracza w odniesieniu do wysokości ciśnienia atmosferycznego, m
 Φ — współczynnik określany ze wzoru:

$$\Phi = \ln \left[\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} \frac{2z+r_0}{H_w} \right) \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{4} \frac{r_0}{H_w} \right) \right] \quad (4a)$$

Wykorzystując prace Viedernikova, a także Arvina i Numerova, Ostrowski [9] opracował wzór na wydażność ujęcia promienistego:

$$Q = n \cdot \sum_{i=1}^m \frac{2\pi k_f(H+z-h_w) l_x}{1 \ln \sin h \frac{2\pi z}{a_i} - \ln \sin h \frac{\pi r_0}{a_i}} \cdot \frac{\ln 2z/r_0}{\Phi} \quad (5)$$

gdzie:

Q — wydażność ujęcia promienistego, m^3/s ,
 n — liczba czynnych jednocześnie zbieraczy,
 a_i — średnia wzajemna odległość (rozstaw) naprzeciwległych odcinków zbieraczy, powstałych z podziału długości l_f na m części o długości $l_x = l_f/m$, m ,
 Φ — współczynnik określany ze wzoru (4a).

Wzór (5) stanowi modyfikację wzoru Viedernikova, odnoszącego się do nieskończonej liczby równoległych zbieraczy. Zastąpiono w nim układ promienisty szeregiem odcinków równoległych o zmiennym rozstawie a_i . Obejmuje on ponadto wzory (3) i (4a), (wyprowadzone przy różnych założeniach, odnośnie miąższości warstwy wodonośnej) w postaci ilorazu $\ln \frac{2z}{r_0} / \Phi$,

ujmującego wpływ wzajemnego oddziaływania zbieraczy na wydażność ujęcia. Surov [6, 9] na podstawie prac poprzedników opracował nowy, o nieco prostszej postaci wzór na wydażność ujęcia promienistego:

$$Q = 2\pi k_{fp} n l_f \alpha Z (H+z-h_w) \Phi^{-1} \quad (6)$$

gdzie:

k_{fp} — średnia ważona wartość współczynnika filtracji przy pionowym przepływie wody przez dwie warstwy: zakolmatowaną (k_{fn}) o miąższości $0,5 m$ i wodonośną (k_f),

α — współczynnik wzajemnego oddziaływania zbieraczy, dobierany w zależności od liczby zbieraczy ($0,6 \leq \alpha \leq 1,0$) lub obliczany ze wzorów Połubarinowej-Koćiny [5, 6, 19],
 Z — współczynnik zamulenia dna obszaru infiltracji, $Z \approx 0,55$. Wartość Z można też przyjmować wg zaleceń Abramova [5].
 Φ — wg wzoru (4a).

Drugą metodą poznawczą, pozwalającą określić wydażność infiltracyjnych ujęć promienistych, zaczerpniętą z hydrodynamiki teoretycznej jest metoda źródeł i upustów. Połubarinowa-Koćina na podstawie tej metody wyprowadziła wzór na jednostkowy dopływ wody do pojedynczego zbieracza o nieskończonej długości, ułożonego pod dnem obszaru infiltracji w warstwie wodonośnej o nieograniczonej miąższości [12]. Wzór ten ma postać identyczną do wzoru (3) Viedernikova, uzyskanego na drodze odwzorowań wiernokątnych. W odniesieniu do zbieracza o skończonej długości, wzór Połubarinowej-Koćiny przyjmuje postać:

$$q_1 = \frac{2\pi k_f(H+z-h_z)}{\ln \frac{2z}{1,225 r_0} - \ln \frac{c + \sqrt{c^2 + 4z^2}}{2c}} \quad (7)$$

gdzie $c = l_f/2$.

Całkowitą wydażność zbieracza oblicza się ze wzoru (3a).

Na podstawie prac Połubarinowej-Koćiny oraz stosując zmodyfikowaną metodę źródeł i upustów, polegającą na wielokrotnym odbiciu źródeł od dna rzeki lub zbiornika, Razumov [13] wyprowadził wzór na jednostkową wydażność pojedynczego zbieracza o skończonej długości, umieszczonego w warstwie wodonośnej o ograniczonej miąższości:

$$q_1 = \frac{2\pi k_f(H+z-h_z)}{\ln U_r} \quad (8)$$

gdzie:

U_r — współczynnik określany ze wzoru:

$$U_r = \frac{4H_w z l_f (\sqrt{l_f^2 + 16(H_w - z)^2} + l_f)}{1,225 r_0 (H_w - z) (\sqrt{l_f^2 + 16z^2} + l_f) (\sqrt{l_f^2 + 16H_w^2} + l_f)}$$

Wydażność zbieracza o długości l_f oblicza się ze wzoru (3a). Zastosowanie wzorów (7) i (8) do obliczania wydażności ujęcia, składającego się z kilku promieniście rozmieszczonych zbieraczy prowadzi do zawyżenia wyników. Pomijają one bowiem wzajemne oddziaływanie zbieraczy. Problem ten został uwzględniony przez Połubarinową-Koćinę [12] we wzorze:

$$q_k = \frac{2\pi k_f l_f (H+z-h_z)}{\ln \frac{2z}{1,225 r_0} - \ln \frac{c + \sqrt{c^2 + 4z^2}}{2c} + \sigma_k} \quad (9)$$

gdzie:

q_k — wydażność pojedynczego zbieracza ujęcia promienistego, m^3/s
 σ_k — wielkość wyrażająca wpływ pozostałych zbieraczy na wydażność zbieracza oznaczonego numerem k , można ją obliczyć ze wzorów podanych w pracy [5].

Wydajność ujęcia promienistego składającego się z n zbieraczy wynosi:

$$Q = \sum_{k=1}^n q_k \quad (9a)$$

Gdy zbieracze o jednakowej długości rozmieszczone są symetrycznie względem studni zbiorczej i dopływ do każdego z nich jest jednakowy, to wydajność ujęcia wynosi:

$$Q = n q_k \quad (9b)$$

Ograniczoną miąższość warstwy wodonośnej i skończoną długość rur filtrowych uwzględnia wzór wyprowadzony przez Razumova, a podany w pracy [16]:

$$Q = \frac{2\pi k_f l_f s}{\ln U_r + \frac{n-1}{1} \ln U\beta + \frac{1}{2} U_o} \quad (10)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} s &= H + z - h_w, \text{ m} \\ U\beta &= 1 + 16H_w^2/l_f^2 \sin^2\beta \\ U_o &= f(r_o, l_f, H_w, z) \text{ wg [16]}. \\ \beta &\text{ — kąt zawarty między sąsiednimi zbieraczami.} \end{aligned} \quad (10a)$$

Z porównania wzorów (8) i (10) wynika, że wpływ wzajemnego oddziaływania zbieraczy na zmniejszenie się wydajności ujęcia promienistego ujmują współczynniki $U\beta$ i U_o .

Różnorodność założeń i uproszczeń przy formułowaniu modeli matematycznych działania infiltracyjnych poddennych ujęć promienistych doprowadziła do znacznej liczby wzorów obliczeniowych, które różnią się w sposób istotny swoją strukturą. Zwłaszcza analityczne rozwiązanie problemu wzajemnego oddziaływania zbieraczy wymagało eksperymentalnej weryfikacji szeregu założeń. Wykorzystując metodę AEHD Razumov porównał wyniki obliczeń wydajności q_i i Q ze wzorów teoretycznych (8) i (10) z wynikami badań doświadczalnych na modelu elektrycznym. Badania te umożliwiły dokonanie oceny współczynnika a wzajemnego oddziaływania zbieraczy, zdefiniowanego następująco:

$$a = Q/nq_i \quad (11)$$

Na podstawie przeprowadzonych porównań Razumov [1] zweryfikował wzór (10) do postaci:

$$Q = \frac{2\pi k_f l_f n s}{\ln U_1 + \frac{n-1}{2} \ln U\beta} \quad (12)$$

gdzie:

$$U_1 = \frac{3H_w z l_f}{r_o(H_w - z) \cdot (l_f + \sqrt{l_f^2 + 16H_w^2})} \quad (12a)$$

$U\beta$ — określa się ze wzoru (10a).

Wzór (12) można stosować przy spełnieniu ograniczeń, wynikających z zakresu przeprowadzonych badań na modelu, a mianowicie:

$$l_f/H_w \geq 3; \quad 0,8 \geq z/H_w \geq 0,2; \quad H_w - z \geq 2r_o; \quad z \geq 20r_o; \quad \beta \geq 0,393 \text{ rad.}$$

Opracowania Razumova stanowią

niewątpliwie krok naprzód w rozwiązaniu interesującego nas zagadnienia, jednakże pozostawiają one na uboczu problem rozkładu jednostkowego dopływu wody wzdłuż zbieraczy. Ten stan rzeczy skłonił Kordasa i Maciejewskiego [4] do podjęcia badań analitycznych i eksperymentalnych w tym zakresie. Wykorzystując metodę źródeł dodatnich i ujemnych oraz metodę analogii elektrohydrodynamicznej, autorzy ci potwierdzili na modelu AEHD hipotezę o równomiernym dopływie wody na długości zbieraczy, przyjmowaną w metodach analitycznych. Wynikiem tych badań jest formuła Maciejewskiego:

$$Q = 5,4 k_f s l_f r_o^{0,29} n^{0,56} z^{-0,40} H_w^{0,12} \quad (13)$$

Wzór ten ma zastosowanie przy następujących ograniczeniach:

$$4 \leq n \leq 16; \quad 100 \leq l_f/r_o \leq 200; \quad 15 \leq z/r_o \leq 310; \quad 20 \leq H_w/r_o \leq 415.$$

Ocena metod obliczania wydajności poddennych ujęć promienistych wody

Podstawową wadą przedstawionych wzorów jest nadmierne uproszczenie modeli matematycznych działania poddennego ujęcia promienistego, a mianowicie:

- założenie nieograniczonej długości zbieraczy i miąższości warstwy wodonośnej, wynikające z trudności natury matematycznej zastosowanych metod poznawczych (wzór (3)),
- utożsamianie depresji obliczeniowej z depresją powstającą w studni zbiorczej ujęcia (wzory (10), (12) i (13)), tj. pomijanie strat hydraulicznych, powstających w zbieraczach i przyjmowanie w związku z powyższym równomiernego napływu wody wzdłuż zbieraczy,
- pomijanie kolmatacji dna źródła infiltracji (za wyjątkiem wzoru (6)).

Ponadto praktyczne zastosowanie niektórych z omawianych wzorów napotyka na trudności, np.:

- uzależnienie wydajności od wysokości ciśnienia na zewnątrz zbieraczy ($H + z - h_w$), które jest trudne do określenia w praktycznym ujęciu (wzory: (3), (7), (8) i (9)),
- uzależnienie wydajności od wysokości ciśnienia, panującego wewnątrz zbieraczy ($H + z - h_w$), przy założeniu jego niezmienności wzdłuż długości zbieraczy, co jest niezgodne z rzeczywistością (wzory (4), (5) i (6)).

Na oddzielne potraktowanie zasługują wzory Surova (6), Razumova (12) i Maciejewskiego (13). Wzory te znalazły zastosowanie w praktyce, gdyż dotyczą skończonych wartości, zarówno długości zbieraczy jak i miąższości warstwy wodonośnej. Były one przedmiotem licznych badań [3, 6, 7, 16, 19, 20], z których wynika, że różnice między wynikami obliczeń wydajności, uzyskanych na ich podstawie a rezultatami pomiarów czynnych ujęć, dochodzą do 100% i więcej. Różnice te wynikają z pomijania strat energetycznych powstających w czasie przepływu wody wewnątrz zbieraczy i przyj.

nowania w związku z tym równomiernego napływu wody wzdłuż rur filtrowych oraz innych uproszczeń omówionych poprzednio. Próby przybliżonego określenia wpływu strat hydraulicznych wewnątrz zbieraczy na wydajność ujęcia podejmowano w pracach [1, 3, 13, 19]. Autorzy tych prac określali wysokość strat w zbieraczach w funkcji współczynnika oporów λ rur pełnościennych. Z tego względu wyniki przez nich uzyskiwane są rozbieżne, np.: obliczenia wg wzoru podanego w pracy [21] prowadzą do 2,3-krotnego zaniżenia wysokości strat zmierzonych w warunkach połowych przez Stefańczyka [15] lub obliczonych ze wzorów Siwonina [17, 18]. Stefańczyk na podstawie rozważań teoretycznych i wyników pomiarów terenowych wysokości strat hydraulicznych w zbieraczach czynnego ujęcia promienistego sformułował następujący wzór na wydajność tego typu ujęć:

$$Q = \frac{2U_{wk}l_f n s_p}{1 + \sqrt{1 + 3(U_{wk}l_f)^2 \cdot \left(\frac{0,89\alpha_o}{gF_o^2} + \delta_o c_o l_f \right) s_p}} \quad (14)$$

gdzie:

$U_w = f(r_o, l_f, H_w, z, n)$ — ze wzorów Werne-
ra lub Verigina [15]

α_o, δ_o — współczynniki empiryczne,

F_o — powierzchnia przekroju poprzecznego
zbieracza, m^2

c_o — współczynnik oporności właściwej rur
filtrowych, s^2/m^6 .

Wzór (14) ma charakter przybliżony i dotyczy
ujęć, w których wysokość strat hydraulicznych
wewnątrz zbieraczy równa jest połowie war-
tości depresji s_p w studni zbiorczej.

Glinicki i Roman jako pierwsi zaproponowali
[3] wykreślić sposób korygowania depresji
obliczonej ze wzoru (7) o wielkość strat ener-
getycznych w zbieraczach, obliczonych z przy-
bliżonego wzoru Pietrowa, uwzględniającego
zmianę masy wody, płynącej w zbieraczu. Idea
tej metody znajduje do dziś zastosowanie i jest
zalecana przez Mielcarzewicza [8], Razumova [1].
Siwonina [17] i Wieczystego [20, 21].

Straty energetyczne Δh_s , powstające w zbiera-
czu należy uwzględnić w obliczeniach wów-
czas, gdy wydajność pojedynczego zbieracza,
przy maksymalnej depresji przekracza 0,030
 m^3/s , bądź gdy jego średnica jest równa lub
mniejsza od 100 mm [21]. W tych warunkach
stosowany jest wzór podany przez Razumova
(dopływ równomierny):

$$\Delta h_s = \left(1 + \frac{3 + 4\lambda}{3} \frac{l_f}{2r_o} \right) \frac{V_k^2}{4g} + \left(1 + \lambda \frac{l_o}{2r_o} \right) \frac{V_k^2}{2g} \quad (15)$$

gdzie:

V_k — średnia prędkość przepływu wody w
przekroju pełnościennego odcinka zbieracza,
 m/s .

Wzór (15) ma charakter przybliżony, gdyż nie
uwzględnia m. in. kształtu i rozmieszczenia
otworów perforacji, a także stopnia przepusz-
czalności rur filtrowych. Wymienione parame-

try uwzględnione są we wzorach Siwonina [17,
18]. Dzięki temu obliczone na ich podstawie
wielkości wykazują znaczną zgodność z wyni-
kami pomiarów terenowych:

$$\Delta h_s = \frac{1,86}{2g} (V_k^2 - V_p^2) + \frac{\lambda_p l_f}{4g r_o} V_p^2 + \left[\frac{2V_p (V_k - V_p)}{e + 1} + \frac{(V_k - V_p)^2}{2e + 1} \right] + \left(1 + \lambda \frac{l_o}{2r_o} \right) \frac{V_k^2}{2g} \quad (16b)$$

$$\lambda_p = \left\{ -2 \log \left[\frac{5,28}{Re^{0,29}} + 0,269 \left(0,282 \varphi_o^{2,40} + \frac{k_z}{2r_o} \right) \right] \right\}^{-2} + 0,0106 \varphi_o^{0,413} \quad (16a)$$

gdzie:

V_p — prędkość na początku zbieracza (przy
głowicy), m/s

λ_p — współczynnik oporów liniowych rur
perforowanych,

Re — liczba Reynoldsa,

φ_o — stopień przepuszczalności rur filtr-
wych,

k_z — zastępcza chropowatość piaskowa wg
Nikuradsego, m .

Przyjmując $V_p = 0$ oraz zakładając, że dopływ
wody do zbieraczy jest równomierny ($e = 1$),
otrzymujemy:

$$\Delta h_s = \left(1,86 + \lambda_p \frac{l_f}{6r_o} \right) \frac{V_k^2}{2g} + \left(1 + \lambda \frac{l_o}{2r_o} \right) \frac{V_k^2}{2g} \quad (16b)$$

Wzór (16b) wykorzystano w pracach [6, 7].
Analiza fizyczna zjawiska strat hydraulicz-
nych, powstających w ujęciach promienistych
pozwala na sformułowanie następującego rów-
nania wyjściowego:

$$s + \Delta h_f + \Delta h_s - s_p = 0 \quad (17)$$

gdzie:

s — depresja obliczeniowa, uzyskana drogą
przekształceń wzorów Surova (6), Razumova
(12) i Maciejewskiego (13),

Δh_f — wysokość strat hydraulicznych wy-
wołanych przepływem wody przez natural-
ny filtr wokół zbieracza, obliczona w przy-
bliżeniu ze wzoru Abramova (WODGEO):

$$\Delta h_f = 0,01a \sqrt{\frac{s_p Q_u}{\pi d_f n l_f k_f}} \quad (17a)$$

gdzie:

a — współczynnik empiryczny, którego war-
tość dla filtrów perforowanych ujęć promie-
nistych przyjmuje się w granicach 9-15 [8],

d_f — średnica filtra naturalnego [14]:

$$d_f = 2r_o + (0,08 \div 0,20), m. \quad (17b)$$

Celem sprawdzenia przydatności udoskonalonej
metody obliczania podstawowej charakterysty-
ki wydajności omawianych ujęć, porównano
wyniki obliczeń z danymi eksploatacyjnymi
ujęcia zasadniczego w Warszawie. Stwierdzono,
że wyniki wg formuł Surova (6) i Maciejew-
skiego (13) skorygowane o wartość strat obli-
czonych ze wzorów (16b) i (17a) są dla warun-
ków ujęcia warszawskiego w zasadzie zgodne
z wynikami pomiarów. Natomiast wyniki obli-

czeń wg wzoru Razumova (12), mimo korekty, wykazały około 50% odchyłki [7]. Podobną próbę podjął Stefański [16]. W celu zmniejszenia różnic między wynikami obliczeń wydajności, a danymi eksploatacyjnymi Ujęcia Praskiego, zaproponował on uwzględnianie poprawki Δ_s w obliczaniu depresji omawianych ujęć. Przy przyjęciu równomiernego dopływu wody do zbieraczy, depresję obliczeniową wyznaczyć można ze wzoru:

$$s = s_p - \Delta_s = s_p - \left(\lambda_p \frac{l_f}{8r_o} + 1 + \lambda \frac{l_f}{2r_o} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (16)$$

Przeprowadzone badania laboratoryjne ujęcia promienistego oraz analiza wyników pomiarów eksploatacyjnych Ujęcia Praskiego wykazały, że procentowe różnice R między wydajnością obliczoną ze wzorów Ostrowskiego (5), Surova (6) i Połubarinowej-Kończy (9) (bez uwzględnienia oporów hydraulicznych w zbieraczach) a wydajnością pomierzoną, zawarte są w granicach [16]:

- wg wzoru (5) $2,5^0/\text{‰} < R < 100^0/\text{‰}$,
- wg wzoru (6) $2,5^0/\text{‰} < R < 95^0/\text{‰}$,
- wg wzoru (9) $30^0/\text{‰} < R < 140^0/\text{‰}$,

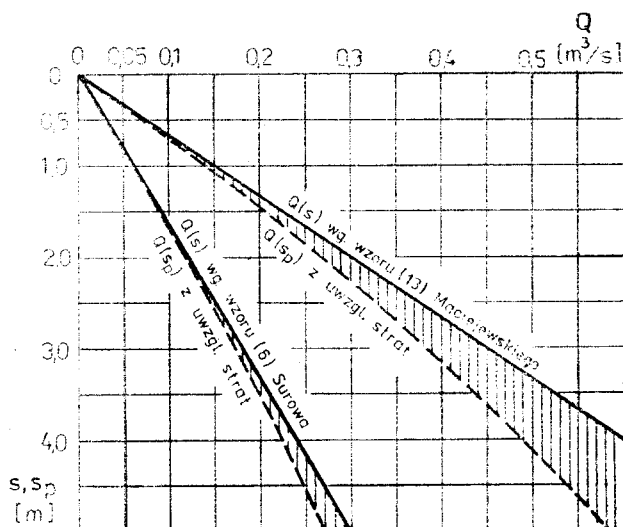
natomiast wartości R obliczone z uwzględnieniem proponowanej poprawki Δ_s wynoszą:

- wg wzoru (5) $10^0/\text{‰} < R < 50^0/\text{‰}$,
- wg wzoru (6) $7^0/\text{‰} < R < 45^0/\text{‰}$,
- wg wzoru (9) $17^0/\text{‰} < R < 80^0/\text{‰}$.

Przedstawione wyniki badań wpływu strat hydraulicznych, powstających w zbieraczach na wydajność ujęć promienistych potwierdzają konieczność uwzględnienia ich w obliczeniach. Najwłaściwsze do tego celu są wzory Siwonia. Różnice między wynikami obliczeń i pomiarów wydajności występują w dużej mierze również z powodu zastosowania nieodpowiedniego dla danych warunków zasilania wzoru na wartość Q_0 . Można to wykazać stosując dla konkretnych warunków różne wzory. Np.: dla $H_w = 10$ m; $k_f = 30$ m/d; $k_{f0} = 1$ m/d; $n = 8$; $l_f = 65$ m; $z = 5$ m; $2r_o = 0,25$ m; $q_o = 0,20$; $l_o = 5$ m; $a = 15$, obliczono wydajność ujęcia promienistego wg wzorów Surova (6) i Maciejewskiego (13), a także skorygowano je o wartość strat wg wzorów (16b) i (17a). Charakterystyki wydajności ujęcia dla powyższych danych przedstawiono na rys. 2.

Korygowanie zatem wyników w omówiony poprzednio sposób, daje dobre rezultaty tylko w odniesieniu do obliczeń, przeprowadzonych na podstawie odpowiednio dobranego wzoru. Drugą przyczyną wspomnianych różnic jest pomijanie procesów kolmatacyjnych zachodzących w przydennej warstwie gruntu oraz w otoczeniu zbieraczy, a także odkładania się osadów na dnie źródła infiltracji. Procesy te mają charakter dynamiczny i matematyczny ich opis napotyka jak dotychczas na poważne trudności. Następstwem tych procesów jest uszczelnianie się dna źródła infiltracji, prowadzące do zmniejszania zasobów eksploatacyjnych warstwy wodonośnej i spadku wydajności ujęcia. Jedynie

wzór Surova uwzględnia w pewnej mierze wspomniane procesy w obliczaniu średniej ważonej wartości współczynnika filtracji warstwy wodonośnej.



Rys. 2 Charakterystyki wydajności poddennego ujęcia promienistego (wg danych do przykładu obliczeniowego w tekście)

Wnioski

1. Wzory na określenie wydajności ujęć promienistych (wyprowadzone przy pomocy metod odwzorowań wiernokątnych, źródeł i upustów oraz analogii elektrohydrodynamicznej), oparte są na założeniu równomiernego napływu wody do filtrów na całej ich długości i pomijają straty energetyczne, powstające w zbieraczach. Z tego względu uzyskane z obliczeń wydajności, zazwyczaj znacznie przekraczają wartości uzyskiwane w czasie pompowań.
2. Uwzględnianie strat energetycznych w zbieraczach przez korygowanie wyników obliczeń, zbliża uzyskane rezultaty do rzeczywistości, jednak nie stanowi jednoznacznego rozwiązania zadania. Nie uwzględniony zostaje w dalszym ciągu wpływ zmiany wysokości ciśnienia wzdłuż zbieraczy na nierównomierność napływu wody do rur filtrowych, jak również na wzajemne oddziaływanie zbieraczy.
3. Ilościowe uwzględnienie zjawiska kolmatacji warstwy wodonośnej w obliczaniu wydajności ujęcia wg wzoru Surova jest niezadowalające, na co wskazują m.in. rezultaty badań porównawczych Stefańskiego. Wzór ten skorygowany o wartość strat hydraulicznych najlepiej jednak odzwierciedla hydraulikę działania tego typu ujęć.
4. Analiza stanu wiedzy w zakresie podstaw projektowania poddennych promienistych ujęć wody, wskazuje na konieczność kontynuowania badań w tym zakresie, szczególnie na modelach fizycznych. Są one konieczne w celu dokładniejszego opisu zjawisk, towarzyszących czerpaniu wody z ujęcia promienistego oraz uzyskania formuł ujmujących je bardziej kompleksowo. Badania takie prowadzone są obecnie w Instytucie Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej.

1. A. P. ANATOLIEVSKIJ, G. A. RAZUMOV: Gorizontalnyje vodozabornyje skavażny. Izd. Nedra, Moskva 1970.
2. V. J. ARAVIN, S. N. NUMEROV: Filtracjonnyje rasčioty gidrotehničeskich sooruzenij. Strizdat, Moskva 1948.
3. Z. GLINICKI, M. ROMAN: O obliczaniu poziomych ujęć wody spod dna rzeki. GWTS nr 6, 1969.
4. B. KORDAS, M. MACIEJEWSKI: Zastosowanie analogii elektrohydrodynamicznej do badania wydajności studni z drenami promienistymi założonymi pod dnem rzeki lub zbiornika. Gospodarka Wodna nr 2, 1975.
5. A. KOTOWSKI: Badania modelowe wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych infiltracyjnych ujęć promienistych na ich wydajność. Praca doktorska. PWr., Wrocław 1980.
6. A. KOTOWSKI, E. WŁ. MIELCARZEWICZ: Analiza fizykalna wpływu niektórych parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na wydajność infiltracyjnych ujęć promienistych. Mat. Konf. PZITS, Poznań 1978.
7. A. KOTOWSKI, H. OFICJALSKA, Z. SIWON: Obliczanie charakterystyk wydajności infiltracyjnych ujęć promienistych przy zastosowaniu EMC. Mat. Konf. PZITS, Poznań 1978.
8. E. WŁ. MIELCARZEWICZ: Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę. Arkady, Warszawa 1977.
9. E. WŁ. MIELCARZEWICZ, A. KOTOWSKI: D wpływ wody do poddennego ujęcia promienistego w warunkach ciągłości strumienia wody infiltracyjnej na podstawie badań przeprowadzonych na modelach fizycznych. Raporty Inst. Inż. Ochr. Środów. PWr., Wrocław 1984.
10. E. WŁ. MIELCARZEWICZ, H. HOTŁOŚ, A. KOTOWSKI, J. LOMOTOWSKI: Podstawy stosowania sztucznej infiltracji wody powierzchniowej do gruntu w celu poprawy jej jakości i zwiększenie wydajności ujęć wody podziemnej. Raporty Inst. Inż. Ochrony Środów. PWr., Wrocław 1982.
11. S. OSTROWSKI: Obliczanie ilości wypływu z filtrów poziomych wykonanych pod dnem rzeki. GWTS nr 8, 1957.
12. P. J. POŁUBARINOVA-KOČINA: Zadacza o sistemie gorizontalnych skażin. Arch. Mech. Stosow. nr 3, 1955.
13. G. A. RAZUMOV: Lučievyye vodozabory s gorizontálnymi filtrami pod dnem rieki. Vodosp. i Sanit. Tiechn. nr 12, 1960.
14. H. RÜCKERT: Abmessung des Stützfilterger-schnittes bei HFB. Wasserwirtschaft- Wassertechnik nr 2, 1975.
15. Z. STEFANCIK: Ciśnienie w czynnych drenach ujęcia wody wykonanego pod dnem rzeki. Gospodarka Wodna nr 6, 1964.
16. W. STEFAŃSKI, M. MITOSEK: Obliczenia wydajności poddennych studni z uwzględnieniem oporów przepływu w drenach. Mat. Konf. PZITS. Częstochowa 1979.
17. Z. SIWON: Zagadnienie depresji pozornej w niektórych typach ujęć promienistych. Zeszyty Naukowe Polít. Krakowskiej nr 20, 1973.
18. Z. SIWON: Hydraulika rur z przepuszczalnymi ściankami. Archiwum Hydrotechniki nr 3, 1977.
19. H. WALDEN, K. WYSZKOWSKI i inni: Optymalizacja działania studni promienistych wraz z wytycznymi projektowania i eksploatacji w oparciu o analizę pracy istniejących ujęć. Prace Inst. Zaop. w Wodę i Bud. Wodn. Polít. Warszawskiej. Warszawa 1974.
20. A. WIECZYSTY: Hydrogeologia inżynierska. PWN. Warszawa-Kraków, 1980.
21. A. WIECZYSTY, J. FLISOWSKI: Zasady obliczeń hydrogeologicznych ujęć wód podziemnych. Zesz. nr 2, Wytyczne obliczeń wydatku pojedynczych ujęć wód podziemnych. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1971.

A. Kotowski

METHODS OF CALCULATING THE EFFICIENCY OF RADIAL UNDER-BOTTOM INTAKES: COMPARATIVE ANALYSIS

The assumption for, and the structure of, the available mathematical models describing the operation of radial systems with under-bottom intake are dis-

cussed. A critical account of calculating methods which are in general use now, is given. It has been pointed out that the hydraulic calculations for radial intakes should include energy losses occurring in the interior of the collecting pipes. The requirement is particularly valid when calculating the fundamental characteristics of intake efficiency or describing the silting up of the infiltration basin.