

**DYNAMIKA ROZWOJU LEJA DEPRESYJNEGO W SYSTEMACH WIELOWARSTWOWYCH  
PRZY EKSPLOATACJI UJĘĆ WÓD PODZIEMNYCH**

UKD 556.332.4.042

Dynamika rozwoju leja depresyjnego w czasie eksploatacji wód podziemnych, podobnie jak dynamika dopływu wody do studni, określona jest licznymi wzorami analitycznymi dla wybranych modeli układu: ujęcie wody – system hydrogeologiczny. Z oczywistych powodów opracowano zestawy wzorów dla uproszczonych ujęć oraz dla uproszczonych schematów hydrogeologicznych. Zresztą zarówno dla celów teoretycznych, jak i praktycznych nie ma potrzeby mnożenia tych wzorów, gdyż wystarczy szczegółowa analiza istniejących. W tej ostatniej sprawie odnosi się wrażenie, że nie jest dobrze. Na ogół brak takiej analizy lub jest zbyt powierzchowna oraz – co naj-

bardziej dziwi – brakuje w tej mierze jednoznacznych definicji i poglądów. Sprawa jest zrozumiała, jeśli uświadomimy sobie, jak wiele założeń trzeba było wprowadzić przy określaniu dynamiki dopływu wód podziemnych do ujęć. Jeśli nawet poniższe rozważania nie wyjaśnią wszelkich wątpliwości i nie doprowadzą do ujednoczenia pojęć, to przynajmniej należy oczekiwać rozpoczęcia dyskusji tych problemów.

Dynamikę rozwoju leja depresyjnego opisać możemy za pomocą dwóch wielkości: depresji jako funkcji współrzędnych przestrzennych i czasu:  $S = S(r, t)$  oraz zasięgu wpływu pompowania:  $R = R(t)$ . Szczególnie wiele

niejednoznaczności dotyczy pojęcia zasięgu wpływu pompowania, gdyż na podstawie wielu modeli dopływu do studni eksploatującej wodę z systemu o nieograniczonym rozprzestrzenieniu, można by wysnuć wniosek o nieograniczonym rozprzestrzenieniu się wpływu pompowania  $R \rightarrow \infty$ . Wniosek taki jest konsekwencją pomijania sił inercji w ogólnych równaniach filtracji, co jest równoznaczne z przyjęciem założenia, że każda lokalna zmiana parametrów ruchu wody podziemnej wywołuje zmianę tych parametrów w całym obszarze filtracji, czyli w całym systemie, o którym założyliśmy, że jest nieograniczony w planie. Z drugiej strony na wniosek ten bezpośredni wpływ ma założenie o całkowitym wyizolowaniu warstwy wodonośnej. Większość poglądów w tej mierze uformowała się bowiem pod wpływem modelu Theisa-Jacoba i modelu Dupuit dopływu wody do studni. Założenia powyższe implikują założenie, że w trakcie eksploatacji ujęcia nie zmieniają się warunki zasilania.

Powyższe uwagi utwierdzają nas w przekonaniu, że rozpracowane dotychczas modele są modelami przybliżonymi, a doświadczenie zebrane przez praktykę hydrogeologiczną potwierdza, że są to przybliżenia dopuszczalne, gdyż nie prowadzą do zbyt dużych błędów w ocenach. Pamiętać jednak należy, że przy analizie takich zagadnień jak dynamika rozwoju lejki depresyjnego, należy odpowiednio uwzględniać założenia modelowe. Dopływ do studni w schemacie Dupuit jest modelem o skrajnych granicznych założeniach, dlatego występujący w nim parametr  $R$  nie ma jasnego sensu fizycznego i faktycznie odnieść go należy do odległości równej odległości do okrągłej granicy zasilania  $R_G$  z warunkami I rodzaju. Jednak założenie to odbiega już od schematu Dupuit, w którym przyjęto nieograniczoną warstwę. Pozostaje więc przyjęcie schematu Theisa-Jacoba, którego granicznym przypadkiem jest schemat Dupuit. Przyjmowanie natomiast do wyznaczania zasięgu wpływu pompowania wzorów typu Kusakina i Sichardta jest niewątpliwym nieporozumieniem, gdyż wartościom, które te wzory wyznaczają, nie można przypisać żadnego sensu fizycznego.

W schemacie Theisa-Jacoba dopływu do studni dynamika rozwoju lejki depresyjnego jest już względnie dobrze określona funkcją charakterystyczną studni  $W(u)$ . Zauważmy, że w schemacie tym dopływ do studni uwarunkowany jest szczypaniem zasobów sprężystych z coraz to dalszych (aż do nieskończoności) obszarów warstwy wodonośnej izolowanej od stropu i spągu. Zgodnie z wzorami Theisa-Jacoba w czasie pompowania ze stałą wydajnością następuje zarówno stałe pogłębianie się depresji, jak i stałe rozszerzanie się obszaru wpływu pompowania. Wartość depresji możliwa jest do określenia w sposób skończony dla każdej wartości  $r$  oraz  $t$ , natomiast (w związku z pominięciem sił inercji) niemożliwe jest jednoznaczne określenie zasięgu wpływu  $R_w$  dla założonego czasu  $t$ , gdyż zasięg ten zależy również od założonej w tej odległości depresji (nie można tu przyjąć  $S = 0$  bo wtedy  $R_w = \infty$ ).

Wzory Theisa-Jacoba:

$$S_{r,t} = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2 \beta}{4 T t}\right) \quad [1]$$

oraz dla ruchu kwaziustalonego:

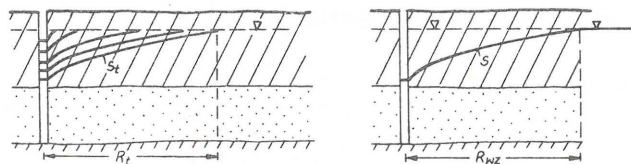
$$S_{r,t} = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{1,5 \sqrt{\frac{T}{\beta}} t}{r} \quad [2]$$

pozwalają nam, dla pompowania nieograniczonej izolo-

wanej warstwy w ruchu ustalonym wyznaczyć zastępczy zasięg wpływu określony formułą:

$$R_{wz} = R_t = 1,5 \sqrt{\frac{T}{\beta}} t \quad [3]$$

Oznacza to, że dla dostatecznie długiego czasu pompowania (dla  $t$ , przy którym  $U_t < 0,03 \div 0,1$ , kształt krzywej depresji na dany moment czasu  $t$  jest taki sam, jak w ruchu ustalonym w warstwie ograniczonej okrągłą granicą zasilania położoną o  $R_{wz} = R_t$  od osi studni, co ilustruje ryc. 1.



Ryc. 1. Dopływ kwaziustalony do studni w nieograniczonej izolowanej warstwie wodonośnej wg Theisa-Jacoba i dopływ ustalony do takiej studni w warstwie ograniczonej granicą zasilania w odległości  $R_{wz}$ ; ( $S = S_t$ )

Fig. 1. Quasi-stable inflow to a well in indefinite isolated water-bearing bed after Theis-Jacob and stable inflow to such well within a bed restricted by feeding limit at a distance of  $R_{wz}$ ; ( $S = S_t$ )

Zauważmy, że z punktu widzenia analizy dynamiki rozwoju lejki depresyjnego określona wzorem [3] wartość zastępczego zasięgu wpływu  $R_{wz}$  ma ograniczoną wartość informacyjną, jest to bowiem zastępcza wartość obliczeniowa charakterystyczna dla okresu ruchu kwaziustalonego, przy którym kształt krzywej depresji jest taki sam, jak w ruchu ustalonym w schemacie Dupuit. Dla ruchu tego możemy także wyznaczyć szybkość opadania zwierciadła  $\frac{\delta S}{\delta t}$ . Różniczkując wzór [2] po czasie otrzymujemy:

$$\frac{\delta S}{\delta t} = \frac{Q}{4\pi T t} \quad [4]$$

czyli, że w całym obszarze ruchu kwaziustalonego (niezależnie od  $r$ !) szybkość ta jest stała dana wzorem [4], a krzywa  $S = \varphi(\lg t)$  jest już cały czas prostą. Z założenia o tym, że ruch kwaziustalony pojawia się przy  $U = \frac{r^2 \beta}{4 T t} < 0,03 \div 0,1$ ; możemy wyznaczyć promień obszaru, w jakim ustali się ruch kwaziustalony, otrzymując:

$$R_{kw} = (0,35 \div 0,63) \cdot \sqrt{\frac{T}{\beta}} t \quad [5]$$

Przechodząc do wyznaczenia zasięgu wpływu pompowania  $R_{wT}$ , należy zdefiniować go jako zasięg lejki depresyjnego, poza którym wartość depresji wywołanej pompowaniem będzie mniejsza od zadanej minimalnej depresji  $S_{min}$ , wówczas ze wzorów [1] i [2] otrzymamy:

$$S_{min} = S_{R_{wT}, t} = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{R_{wT}^2 \cdot \beta}{4 T t}\right) \quad [6]$$

oraz dla ruchu kwaziustalonego depresję w studni:

$$S_s = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{1,5 \sqrt{\frac{T}{\beta}} t}{r_s} \quad [7]$$

W.M. Szestakow (7) wykazał, że dla większości stu-

dzien, dla których można przyjąć  $r_s \approx 0,1$  m, oraz dla warstw o zwierciadle swobodnym przy  $\frac{T}{\beta}$  od 500 do

5000 m<sup>2</sup>/d, wyrażenie  $\frac{1}{2\pi} \ln \frac{1,5 \sqrt{\frac{T}{\beta}} \cdot t}{r_s}$  zmienia się w przedziale od 0,9 do 1,3 przy przeciętnym 1,0. Natomiast dla warstw o zwierciadle napiętym przy wartościach  $\frac{T}{\beta}$  od 10 000 do 100 000 m<sup>2</sup>/d wspomniana wartość zmienia się od 1,2 do 1,7 przy przeciętnej 1,5. Uwzględniając powyższe spostrzeżenie oraz wyznaczając ze wzorów [6] i [7] względną depresję otrzymamy:

$$\frac{S_{\min}}{S_s} = \frac{W\left(\frac{R_{WT}^2 \cdot \beta}{4 T t}\right)}{4\pi \cdot \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1,5 \sqrt{\frac{T}{\beta}} \cdot t}{r_s}} \quad [8]$$

Przyjmując definicję realnego zasięgu wpływu pompowania ze względu na depresję jako odległość, na której depresja wywołana pompowaniem jest mniejsza tysiąc razy niż depresja w studni, a więc depresja względna  $\frac{S_{\min}}{S_s} = 0,001$ , oraz przyjmując za Szestakowem średnią

wartość wyrażenia  $\frac{1}{2\pi} \ln \frac{1,5 \sqrt{\frac{T}{\beta}} \cdot t}{r_s} = 1$  dla warstw o zwierciadle swobodnym, otrzymamy:

$$0,001 = \frac{W\left(\frac{R_{WT}^2 \cdot \beta}{4 T t}\right)}{4 \cdot \pi \cdot 1}, \text{ skąd } W\left(\frac{R_{WT}^2 \cdot \beta}{4 T t}\right) = 0,013.$$

Na podstawie tablic  $W(u)$ , dla  $W(u) = 0,013$  wyznaczamy  $u = 3,0$ , czyli:  $\frac{R_{WT}^2 \cdot \beta}{4 T t} = 3,0$  skąd:  $R_{WT} = 3,46 \sqrt{\frac{T}{\beta}} \cdot t$ .

Analogicznie dla warstw o zwierciadle napiętym, dla których za Szestakowem wyrażenie:  $\frac{1}{2\pi} \ln \frac{1,5 \sqrt{\frac{T}{\beta}} \cdot t}{r_s}$  przyjmujemy równym 1,5 otrzymamy:  $\frac{R_{WT}^2 \cdot \beta}{4 T t} = 2,8$ ; skąd  $R_{WT} = 3,35 \sqrt{\frac{T}{\beta}} \cdot t$ .

Jako ostateczną wartość przyjmujemy za Szestakowem średni współczynnik liczbowy uzyskując:

$$R_{WT} = 3,4 \sqrt{\frac{T}{\beta}} \cdot t \quad [9]$$

Realny zasięg wpływu pompowania można też zdefiniować jako promień obszaru, z którego dopływa nie mniej niż określona część dopływu całkowitego. Jeśli zróżniczkujemy równanie Theisa po  $r$ , wówczas otrzymamy wyrażenie na określenie spadku natężenia dopływu (2) w zależności od  $r$ . Wzór ten ma postać:

$$Q_{r,t} = Q_{0,t} \cdot e^{-u} = Q_{0,t} \cdot e^{-\frac{r\beta}{4Tt}} \quad [10]$$

Przyjmując realny zasięg wpływu pompowania jako promień leja z obszaru, którego do ujęcia dopływa 95% wody, z wyrażenia powyższego otrzymamy:

$$\frac{Q_{R,t}}{Q_{0,t}} = 0,05 = e^{-\frac{r\beta}{4Tt}} \text{ skąd: } \frac{R^2 \cdot \beta}{4 T t} = \ln\left(\frac{1}{0,05}\right)$$

oraz wzór na realny zasięg wpływu ze względu na wydatek:

$$R_{WT} = 3,46 \sqrt{\frac{T}{\beta}} \cdot t \quad [11]$$

Widzimy więc, że wartość ta jest bardzo bliska wyznaczonej ze względu na depresję minimalną wynoszącą 0,001 depresji w studni. Wzór ten potwierdza także, że zasilanie dopływu do ujęcia znajduje swe pokrycie w zasobach sprężystych położonych nawet poza obszarem tzw. realnego wpływu pompowania, gdzie już zdepresjonowanie praktycznie nie występuje. Zwróćmy też uwagę na fakt, że realny zasięg wpływu pompowania w danym momencie pompowania przekracza 5 do 10-krotnie zasięg obszaru, w którym występuje ruch kwaziustalony, co równoznaczne jest z tym, że tylko nieco ponad 3% powierzchni obszaru leja depresyjnego objęte jest ruchem kwaziustalonym. Otrzymane wzory na realny zasięg wpływu pompowania w schemacie Theisa [9] i [11] dają duże wartości. Można by o nich mówić, że są mało prawdopodobne w świetle obserwowanych wartości. Doświadczenie dotyczy jednak najczęściej systemów hydrogeologicznych, które nie odpowiadają schematowi Theisa, głównie zresztą ze względu na warunki zasilania. Zauważmy, że dynamika rozwoju wpływu pompowania w systemach z zasilaniem, choćby w wersji najprostszej, komplikuje się w sposób istotny ze względu na fakt, że w procesie pompowania zmieniają się warunki i intensywność zasilania. Zwykle w systemach z półprzepuszczalnymi przewarstwieniami w trakcie pompowania intensywność zasilania narasta i po zrównaniu się z dopływem do studni (co zachodzi po dostatecznym rozprzestrzenieniu zasięgu wpływu) dopływ stabilizuje się.

W schemacie Hantusha z przesączaniem pionowym przez warstwy rozdzielające, bez uwzględniania ich współczynnika pojemności wodnej z niezmiennym naporem w sąsiednich warstwach wodonośnych – jak wiadomo – dynamika dopływu do studni opisana jest wzorem:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W\left(u, \frac{r}{B}\right), \quad B = \sqrt{\frac{m'm''T}{k'm'' + k'm'}} \quad [12]$$

przy:  $t > (2 \div 2,5) \frac{r^2 \beta}{T}$  oraz  $\frac{r}{B} < 0,2$  funkcja charakterystyczna studni z przesączaniem może być przybliżona wyrażeniem:

$$W\left(u, \frac{r}{B}\right) = 2 K_0\left(\frac{r}{B}\right) - I_0\left(\frac{r}{B}\right) \cdot W(B \cdot t), \quad [13]$$

które dla  $t \geq \frac{3 \div 5}{B}$  sprowadza się do  $2 K_0\left(\frac{r}{B}\right)$ , [14]

a dopływ do studni wyraża równanie:

$$S = \frac{Q}{2\pi T} K_0\left(\frac{r}{B}\right) \quad [15]$$

Stan ten osiągnięty jest, gdy zasięg depresji objął obszar zapewniający równość wartości zasilania (z przesączania) i dopływu do studni, jest to już oczywiście ruch ustalony.

Warto podkreślić, że z wzorów Hantusha wyznaczyć można, jaki jest udział w dopływie do studni wody pochodzącej z przesączania. Określić to można formułą następującą:

$$\frac{Q_p}{Q} = 1 - \exp\left(-\frac{Tt}{\beta B^2}\right) \quad [16]$$

Ze wzoru tego wynika, że już dla  $\frac{Tt}{\beta B^2} > 2,5$  aż 95% dopływającej do studni wody znajduje swe pokrycie z przesączania.

W strefie, w której  $\frac{r}{B} \leq 0,1 \div 0,34$  z dokładnością  $1 \div 5\%$  przesączenie nie zmienia formy krzywej depresji, gdyż  $K_0\left(\frac{r}{B}\right)$  daje się przybliżyć logarytmem:  $K_0\left(\frac{r}{B}\right) = \ln \frac{1,12 B}{r}$ , a wzór [15] przechodzi w:

$$S = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{1,12 B}{r} \quad [17]$$

W obszarze tym zachowują się zależności wyprowadzone dla warstwy izolowanej. Zauważmy zwłaszcza, że zastępczy zasięg wpływu  $R_{wz}$  w warunkach ruchu ustalonego z przesączeniem wyniesie:

$$R_{wz} = R_B = 1,12 B \quad [18]$$

W przypadku gdy sąsiadujące warstwy wodonośne mają porównywalne lub mniejsze przewodności jak warstwa pompowana  $T_1 \leq T$ , zdepresjonowanie wystąpi w warstwie pompowanej i interferującej. W sytuacji takiej uzyskano przybliżone rozwiązania (6), w których zasięg wpływu określić można z formuły:

$$R_{wH} = \sqrt{12 \frac{Tt}{\beta + \beta_1} \left(1 + \frac{B^2(\beta + \beta_1)}{Tt}\right)} \quad [19]$$

a różnicę depresji w sąsiadujących warstwach z formuły:

$$\Delta S = S - S_1 = \frac{S}{1 + \frac{T \cdot t}{B^2(\beta + \beta_1)}} \quad [20]$$

Zwróćmy przy tym uwagę na fakt, że ze wzrostem czasu maleje różnica  $\Delta S$  i po dostatecznie dużym  $t$ , dla  $\frac{Tt}{B^2(\beta + \beta_1)} > 5 \div 10$  współdziałanie warstw jest równoważne pracy systemu z sumaryczną pojemnością wodną.

Przy małych wartościach  $\beta_1/\beta$  możliwe jest wyznaczenie depresji w warstwie sąsiadującej z przybliżonej formuły postaci:

$$S_1 = \frac{Q}{4\pi(T+T_1)} \left[ W(u) - 2 K_0\left(\frac{r}{B_1}\right) \right] \quad [21]$$

w którym:

$$B_1 = \sqrt{\frac{TT_1 m'}{k'(T+T_1)}}$$

Wreszcie w schemacie dopływu z przesączeniem z warstwy półprzepuszczalnej z uwzględnieniem współczynnika pojemności wodnej tej warstwy, dla małych czasów pompowania oraz przy  $\frac{k'}{\beta m'} < 0,1$  dynamika dopływu opisana jest formułą Hantusha:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} H(u, \gamma) \quad \text{przy: } u = \frac{r^2 \beta}{4Tt}, \quad \gamma = \frac{k'r}{4T} \sqrt{\frac{T\beta'}{\beta T'}} \quad [22]$$

w wyrażeniu tym:  $H(u, \gamma) = \int_u^\infty \frac{e^{-z}}{z} \operatorname{erfc} \frac{\gamma \sqrt{z}}{\sqrt{z(z-u)}} dz$ ,

z tym że: przy  $u > \gamma^2 \cdot 1000$ :  $H(u, \gamma) = W(u) - \frac{4\gamma}{\sqrt{\pi u}} [0,258 + 0,693 \exp(-0,5u)]$ , co dla małych  $t$  oraz  $r$ , prowadzi do rozwiązania Theisa gdyż drugi wyraz dąży do zera. Dla wymienionego schematu można ocenić względny udział w dopływie do studni  $Q$  wyciągającej się wody z warstwy słaboprzepuszczalnej  $Q'$ :

$$\frac{Q'}{Q} = 1 - \exp\left(\frac{k' \cdot t \cdot \beta'}{m' \cdot \beta^2}\right) \cdot \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{k' \cdot \beta' \cdot t}{m' \cdot \beta^2}}\right) \quad [23]$$

W rozwiązaniu przybliżonym problemu Hantusha [12] uzyskanym przez W.A. Mironienkę (6) dla jednej warstwy współdziałającej (ryc. 2) dynamika dopływu dana jest wzorami:

$$S_s = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R_t}{r_s}$$

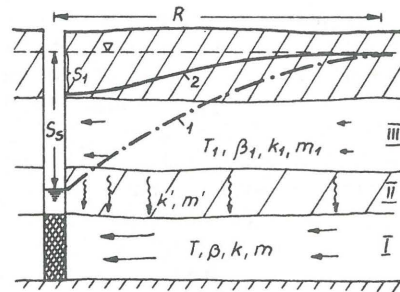
przy:

$$R_t = \sqrt{\frac{12T}{\beta_1 + \beta} \left\{ t + \frac{\beta_1^2 \cdot m'}{(\beta_1 + \beta)k'} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{k't}{\beta m'}\right) \right] \right\}}, \quad [24]$$

dla dostatecznie dużych  $t$  wzór ten przechodzi w następujący:

$$R_t = \sqrt{12 \frac{T}{\beta_1} t + \frac{m'T}{k'}} \quad [25]$$

jest to jednak złe przybliżenie.



Ryc. 2. Dopływ do studni w dwuwarstwowym systemie (I+III) z warstwą rozdzielającą (II), z rozwiniętą depresją w warstwie (I), pompowanej (1) i w warstwie (III) sąsiadującej (2)

Fig. 2. Influx to a well in a bi-layered system (I+III) with separating layer (II), with developed depression in layer (I), pumped (1) and in layer (III) that accompany (2)

Dla omawianego schematu można też obliczać depresję w sąsiadującej warstwie w rejonie studni następującym wzorem:

$$S_1 = \frac{Q}{4\pi(T+T_1)} \ln \left[ \frac{T \cdot t \cdot k'(T+T_1)}{(\beta + \beta_1) m' T T_1} \right] \quad [26]$$

Zwróćmy uwagę, że najpełniej warunki przedstawionego schematu są spełnione dla warstwy (III) o zwierciadle swobodnym, bo zawsze  $\beta_1 \geq \beta$ . Analizując wzory [24], można też wyznaczyć udział wody z zasobów sprężystych w dopływie do studni, z następującej formuły:

$$\frac{Q_{\text{spręż.}}}{Q_s} = \frac{\beta}{\beta + \beta_1} + \left( \frac{\beta_1}{\beta + \beta_1} \right)^2 \exp\left(-\frac{k't}{\beta m'}\right) \quad [27]$$

W.M. Szestakow (7) podaje, że dla typowych warunków:  $k' = 10^{-5}$  m/d,  $m' = 20$  m,  $\beta = 10^{-3}$  wyrażenie „exp” we wzorze [27] po 20 latach przyjmuje tak małą wartość, że udział wód z zasobów sprężystych jest do pominięcia. Przykładowo dla  $\beta_1 = 0,10$  byłby on mniejszy od 3%. Jednak dla  $t = 5$  lat udział ten wynosiłby już ok. 50%, a dla 1 roku ponad 80%. Udział ten znacznie się natomiast zmniejsza przy zwiększeniu  $k'$ . Warunek o pominięciu udziału wód z zasobów sprężystych wyrazić można następująco:

$$t > \frac{4\beta m'}{k'} \quad [28]$$

Warto wykonać eksperyment liczbowy dla najbardziej interesującego zestawu wzorów dotyczącego ostatniego modelu. Przyjmując następujące parametry pompowania:  $Q = 800 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  $T = 400 \text{ m}^2/\text{d}$ ,  $T_1 = 200 \text{ m}^2/\text{d}$ ,  $\beta = 0,001$ ,  $\beta_1 = 0,15$ ;  $m' = 20 \text{ m}$ ;  $k' = 10^{-5} \text{ m/d}$ ;  $r_s = 0,1 \text{ m}$ ; odpowiednie przeliczenia zestawiono w tabeli:

$t(\text{d})$	$R_1(\text{m})$ wzór [24]	$R_1(\text{m})$ wzór [25]	$S_S(\text{m})$ wzór [24]	$S_1(\text{m})$ wzór [26]	$Q_{\text{spręż}}/Q_1$ (1) wzór [27]	$S_{100\text{m}}(\text{m})$ wzór [24]
1	2183	28285	3,18	0,25	0,99	0,98
10	6898	28290	3,54	0,49	0,98	1,35
100	21568	28341	3,91	0,73	0,94	1,71
1000	61313	28844	4,24	0,98	0,61	2,04
10000	98627	33466	4,39	1,22	0,013	2,19
100000	112481	63246	4,43	1,46	0,0066	2,23

Wyniki tego eksperymentu potwierdzają, że wzór [25] jest złym przybliżeniem, gdyż różnice w stosunku do wzoru [24] są niedopuszczalnie duże. Wyniki te potwierdzają dużą rolę przesączania w formowaniu zasobów eksploatacyjnych. Praktycznie tylko w pierwszych 200–300 dniach pompowania udział zasobów sprężystych jest dominujący, a po ok. 27 latach zasoby sprężyste praktycznie są szczerpane i przy ok. 21 latach ich udział w dopływie wynosi parę procent. Stabilizacja depresji w warstwie sąsiadującej  $S_1$  jest wyraźnie powolniejsza niż w warstwie pompowanej  $S_S$  i  $S_{100}$ , jednak powoli dogania stabilizującą się depresję w warstwie pompowanej  $S_S$ ; lecz nawet po 275 latach pompowania wynosi ona tylko 33% depresji  $S_S$ . Są to jednak zdepresjonowania znaczne, mające wpływ na odpływ podziemny i bilans zlewni alimentowanej odpływem podziemnym z warstwy przypowierzchniowej.

#### PODSUMOWANIE

W ocenie wpływu pompowania wód podziemnych na dynamikę leja depresyjnego należy całkowicie pomijać wzory doświadczalne typu Kusakina i Sichardta. Oceny te należy opierać na wzorach, przy wyznaczeniu których określono jasno ich sens fizyczny oraz schemat warunków hydrogeologicznych systemu wód podziemnych. Zespół tych wzorów, odnoszących się do schematu Theisa-Hantusha i Hantusha ze szczypaniem zasobów sprężystych sąsiadującej warstwy słaboprzepuszczalnej, przedstawiono tu wraz z odpowiednim komentarzem. Wzory te po skonfrontowaniu wartości z nich otrzymanych z wartościami pomierzonymi i zestawianymi na wykresach  $S = \varphi(\lg t)$ ,  $S = \varphi(\lg r)$  dają podstawy do określenia typu systemów hydrogeologicznych. Drugim ważnym obszarem racjonalnego wykorzystania obserwacji i obliczeń rozwoju wpływu pompowania jest cały obszar ochrony środowiska i ochrony ilościowej zasobów wód podziemnych. Wzory tu zestawione ułatwią – zdaniem autora – w dużym stopniu taką kompleksową analizę, umożliwiając wyznaczenie konkretnych ilościowych ograniczeń hydrodynamicznych w procesie optymalizowania zagospodarowania zasobów eksploatacyjnych.

#### LITERATURA

1. Bear J. – Dynamics of fluids in porous media. New York, London, Amsterdam 1972.
2. В о с з е в и е р F.M. – Теория и практические мие-

тody гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. Москва 1968.

3. H a n t u s h M.S. – Modification of the theory of leaky aquifers. Journ. of Geophys. Res. 1960 vol. 65 no. 11.
4. M a c i o s z c z y k T. – Obliczenia hydrogeologiczne ujęć wód podziemnych. 1969.
5. M a c i o s z c z y k T., S z e s t a k o w W.M. – Dynamika wód podziemnych – metody obliczeń. Wyd. Geol. 1983.
6. M i r o n i e n k o W.A., S z e s t a k o w W.M. – Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. Москва 1978.
7. S z e s t a k o w W.M. – Dinamika podziemnych wod. Moskwa 1979.
8. W a l t o n W.C. – Groundwater resource evaluation. New York 1970.
9. Z e k c e r J.S. – Гидрогеодинамика. Новосибирск 1983.

#### S U M M A R Y

The paper presents formulae that describe dynamics of water influx to intakes in homogeneous and layered hydrogeological systems. This process is expressed by varying depression in the same layer and in the accompanying layer, and by evolution of extents of pumping influence.

Discussion of the idea of radius of pumping effect extent has been done. It was emphasized to be a non-univocal conception against a theory of well dynamics if inert properties of hydrogeologic system are neglected. A need of application of stipulated term of real radius of pumping effect extent is accepted. Outside this extent the depression is already a thousand times smaller than in the intake itself and supplies a well with less than 5% of water.

It was underlined that comparison of real and observed values of depression around the intake with the ones calculated from definite formulae, forms a good test to present a scheme of hydrogeologic conditions of the studied system.

#### Р Е З Ю М Е

В статье сопоставляются формулы, характеризующие динамику водопритока в каптажи в однородных и слоистых гидрогеологических системах, выраженную изменениями депрессии в самом водоносном слое и слое соседнем, а также распространением области влияния откачки.

Обсуждается понятие радиуса влияния откачки и обращается внимание на его нечеткость в аспекте теории динамики колодца, пренебрегающей инерционными свойствами гидрогеологической системы. Выказывается потребность применения условного понятия реального радиуса влияния откачки, вне которого депрессия уже в тысячу раз меньше, чем в каптаже, или же приток в колодец из области за его пределами составляет менее 5%.

Отмечается, что сопоставление действительных наблюдаемых величин депрессии в окружении каптажа с величинами, полученными с помощью определенных формул, дает надежную основу для составления схем гидрогеологических условий исследуемой системы.