

**Wiktor TREICHEL, Czesław GRABARCZYK**

*Politechnika Warszawska  
Wydział Inżynierii Środowiska*

*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska*

## **BADANIA SYMULACYJNE WŁASNOŚCI HYDRAULICZNYCH LEWAROWEGO UJĘCIA WODY Z RZĘDU STUDNI**

### **NUMERICAL SIMULATION OF HYDRAULIC PROPERTIES OF SIPHON WATER INTAKE FROM A ROW OF WELLS**

*In this paper numerical simulations of hydraulic properties of a siphon water intake from a row of wells are presented. A simulation program, developed in MATLAB environment, is based on the general mathematical description of the hydraulic system consisting of groundwater wells, classic siphon system and gathering well, presented in [3]. The Newton-Raphson method is applied for finding a solution of the system of non-linear algebraic equations. A hypothetical example of a siphon water intake consisting of a row of 10 wells located in a shallow aquifer is considered. In the aim to examine hydraulic properties of the siphon system under consideration several examples of various exploitation conditions are simulated. In the first example the influence of row well direction on well discharge distribution is evaluated. The results show that the orientation of the row of wells has significant influence on the discharges and water levels in the shallow wells and in the gathering well. The second example proves that neglecting local hydraulic losses in calculation of a working point of the system is allowed. No major differences in well discharge distribution occur between these two cases (with and without the local hydraulic losses). In the third example the hydraulic consequences of inserting in the pipes the different water-meters are examined. Once again the results show that the influence of inserting the water-meters on working point of the intake is very small.*

## **1. Wprowadzenie**

Lewarowe ujęcia wody wykorzystywane są do ujmowania płytkich, często infiltracyjnych, wód podziemnych zalegających w dolinach rzecznych. W referacie [3] przedstawiono ogólny, zintegrowany opis matematyczny hydraulicznych warunków działania złożonego układu lewarowego, składającego się ze studni o zróżnicowanych wydajnościach ujmujących warstwę wodonośną, układu lewarowego oraz studni zbiorczej. W

przeciwieństwie do rozpowszechnionych w literaturze krajowej [2, 7] graficznych i analityczno-graficznych metod obliczania układów lewarowych, w [3] zastosowano numeryczną metodę Newtona-Raphsona do rozwiązywania układów równań nieliniowych. Opracowana metoda umożliwia przeprowadzenie komputerowych symulacji układu lewarowego w różnych warunkach eksploatacyjnych, które są przedmiotem niniejszego referatu. Symulacje komputerowe pozwalają na wszechstronne zbadanie własności hydraulicznych rozważanego układu. W referacie podjęto próbę odpowiedzi na kilka pytań, ważnych z praktycznego punktu widzenia:

- jaki wpływ na hydrauliczne warunki pracy lewara ma orientacja położenia rzędu studni względem kierunku przepływu wód gruntowych,
- czy dopuszczalne jest pomijanie wpływu lokalnych strat hydraulicznych jako małych w stosunku do strat liniowych, w obliczeniach współdziałania lewara ze złożem wodonośnym,
- jakie konsekwencje hydrauliczne powoduje wmontowanie wodomierzy kontrolnych w przewody przyłącza studni do lewara

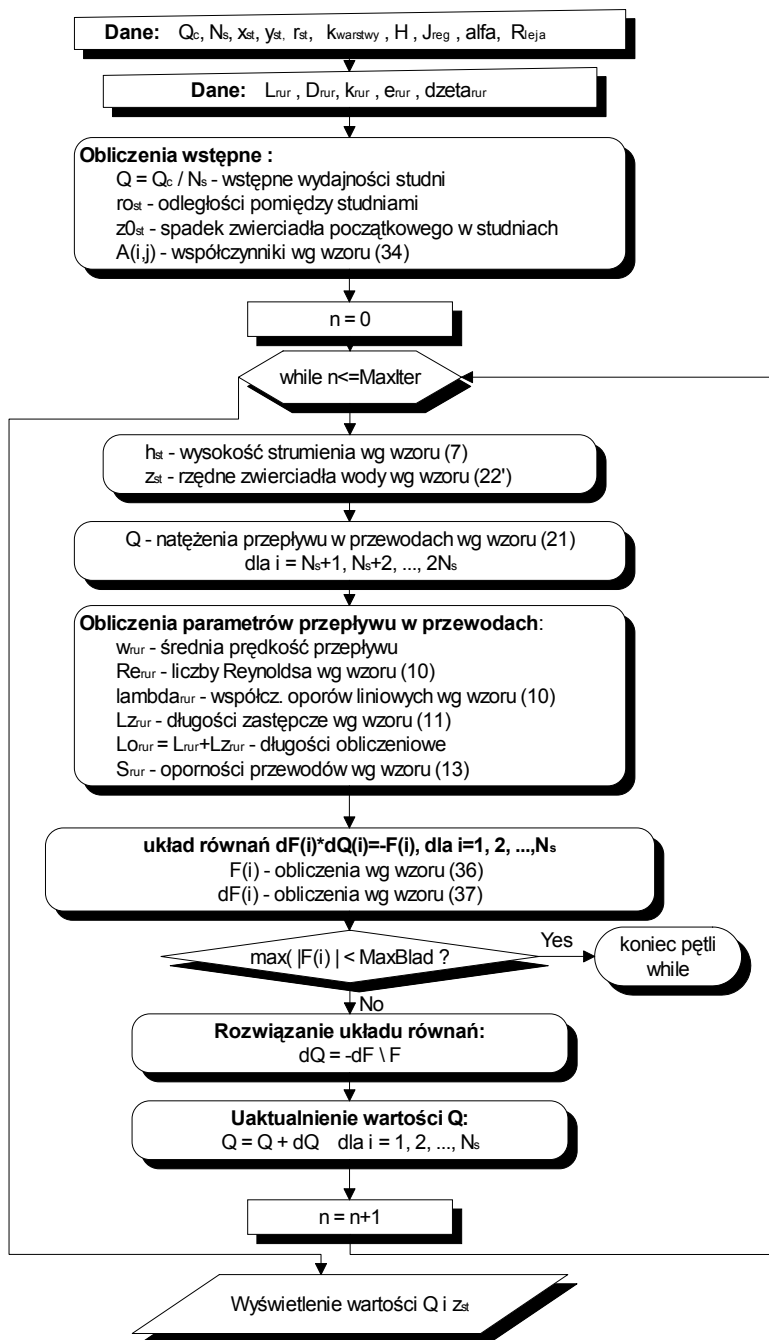
Aby odpowiedzieć na te pytania sformułowano odpowiednie zagadnienia obliczeniowe. Badania wykonano wykorzystując program symulacyjny napisany w MATLAB-ie, który opiera się na modelu matematycznym lewarowego ujęcia wody przedstawionym w referacie [3]. W przykładzie obliczeniowym rozważano układ składający się z rzędu 10 studni rozmieszczonych prostoliniowo w warstwie wodonośnej ze swobodnym zwierciadłem. W celu zbadania własności hydraulicznych układu przeprowadzono obliczenia dla kilku szczególnych przypadków uwzględniających m.in. zmianę orientacji rzędu studni względem kierunku przepływu wód gruntowych, uzbrojenie przewodów w niezbędną armaturę, wmontowanie wodomierzy o różnych średnicach w przewody łączące studnie z lewarem. Wykazano, że opracowany program komputerowy, wykorzystujący środowisko programistyczne MATLAB, może być sprawnym narzędziem analizy złożonych układów ujęć lewarowych.

## 2. Schemat blokowy programu symulacyjnego

Do opracowania programu symulacyjnego lewarowego ujęcia wody wykorzystano szczegółowy model matematyczny opisujący hydrauliczno-techniczne warunki współdziałania warstwy wodonośnej, studni ujmujących wody podziemne, układu lewarowego i studni zbiorczej przedstawiony w referacie [3]. Model sprowadza się do układu nieliniowych równań algebraicznych:

$$F_i(Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_{N_s}) = 0, \quad i=1, 2, \dots, N_s$$

które rozwiązywane są za pomocą numerycznej, iteracyjnej metody Newtona-Raphsona [5]. Program napisano w środowisku MATLAB, który jest pakietem programowym służącym do wykonywania złożonych obliczeń numerycznych i wizualizacji wyników [6, 8]. Dzięki setkom wbudowanych funkcji obliczeniowych, realizujących sprawdzone metody numeryczne, oraz gotowych funkcji graficznych i animacyjnych, opracowanie programu symulacyjnego wybranego układu technicznego, opisanego modelem matematycznym, nie jest zadaniem bardzo trudnym. Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy opracowanego programu. Zarówno w schemacie blokowym, jak i w dalszej treści referatu, odwołano się do oznaczeń i równań wyprowadzonych w [3].



Rys. 1. Schemat blokowy programu symulacyjnego

Fig. 1. Block-diagram of simulation program

### 3. Przykład obliczeniowy

Celem przykładu obliczeniowego jest przedstawienie praktycznego zastosowania ogólnej metody obliczania lewarowych ujęć wody przedstawionej w [3] i opracowanego na jej podstawie programu komputerowego, do symulacji układu składającego się z 10 studni. Rząd studni rozważanego układu lewarowego rozmieszczony jest prostoliniowo i może być różnie zorientowany względem kierunku przepływu wód podziemnych, określonego gradientem hydrostatycznego zwierciadła wody. Rozwiązywane zadanie jest zadaniem sprawdzająco-eksploatacyjnym [3], w którym należy wyznaczyć rzeczywisty pobór wody  $Q_i$  z poszczególnych studni oraz rzędne  $z_i$  zwierciadła wody w studniach dla zadanej wymaganej wartości wydajności całego ujęcia  $Q_c$ .

W rozważanym przykładzie zadane są:

- parametry warstwy wodonośnej:
  - o miąższość warstwy wodonośnej  $H = 15$  m
  - o współczynnik filtracji warstwy  $k = 0.0005$  m/s
  - o gradient zwierciadła statycznego  $J = 0.01$
- parametry studni:
  - o promień studni  $r = 0.25$  m,
  - o zasięg leja depresji pojedynczej studni  $R = 250$  m
  - o rzędna zwierciadła statycznego w ostatniej studni  $z_0 = 15$  m
  - o odległości pomiędzy sąsiednimi studniami  $\rho_{ij} = 30$  m
- parametry przewodów lewara:
  - o długości i średnice poszczególnych odcinków przewodów podane w Tabeli 1
  - o chropowatość bezwzględna  $k_{rur} = 1.5$  mm
  - o współczynniki oporów lokalnych wynikające z zamontowanej armatury (na przewodach łączących studnie z lewarem: wlot ze studni do rury, kolano  $90^\circ$  pionowe, zasuwka odcinająca, kolano  $45^\circ$  poziome; na przewodach zbiorczych lewara: dyfuzory, trójniki, zwężka Venturiego) zestawione w Tabeli 1
  - o kinematyczny współczynnik lepkości wody  $\nu = 1.3 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s
- wymagana wydajność całego ujęcia:  $Q_c = 576$  m<sup>3</sup>/d = 0.16 m<sup>3</sup>/s

Tab. 1. Długości, średnice i współczynniki oporów lokalnych przewodów lewara

Tab. 1. Lengths, diameters and local hydraulic loss coefficients in segments of the siphon

Nr przewodu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L [m]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
d [m]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
opory lok. $\Sigma\zeta$	0.810	0.920	0.677	0.525	0.430	0.340	0.230	0.227	0.181	0.015
Nr przewodu	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
L [m]	30	30	30	30	30	30	30	30	30	100
d [m]	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.40	0.45	0.45	0.50	0.50
opory lok. $\Sigma\zeta$	0.364	0.316	0.273	0.232	0.159	0.175	0.132	0.136	0.115	1.000

Zgodnie z ogólną metodą przedstawioną w [3] i schematem blokowym przedstawionym na rys.1 na podstawie tych danych obliczono kolejno:

- wstępne wydajności studni  $Q_i$ ,  $Q_i = Q_c/N_s$
- odległości pomiędzy studniami  $\rho_{ij}$  oraz współczynniki  $A_{ij}$  (wg wzoru (34)).

Następnie w procesie iteracyjnym, dla kolejnych wartości  $n=1,2,3,\dots$ , realizując metodę Newtona-Raphsona [5] rozwiązywania układów równań nieliniowych, obliczano:

- wysokość obniżonego zwierciadła wody w studniach  $h_i$  (wg wzoru (7)),
- natężenia przepływu we wszystkich przewodach lewara  $Q_i$  (wg wzoru (21)),
- parametry przepływu w przewodach, tj. średnią prędkość przepływu  $w_i$ , liczbę Reynoldsa  $Re_i$  oraz współczynnik  $\lambda_i$  (wg wzoru Phama (10)),
- długości zastępcze  $l_{zi}$  (wg wzoru (11)),
- długości obliczeniowe  $L_i = l_i + l_{zi}$  oraz
- oporności przewodów  $S_i$  (wg wzoru (13)).

W dalszej kolejności zbudowano układ 10 równań, dla  $i=1, 2, \dots, N_s$ :

$$F_i(Q_1^{(n)}, Q_2^{(n)}, \dots, Q_{N_s}^{(n)}) + \left( \frac{\partial F_i}{\partial Q_1^{(n)}} \Delta Q_1^{(n)} + \frac{\partial F_i}{\partial Q_2^{(n)}} \Delta Q_2^{(n)} + \dots + \frac{\partial F_i}{\partial Q_{N_s}^{(n)}} \Delta Q_{N_s}^{(n)} \right) = 0$$

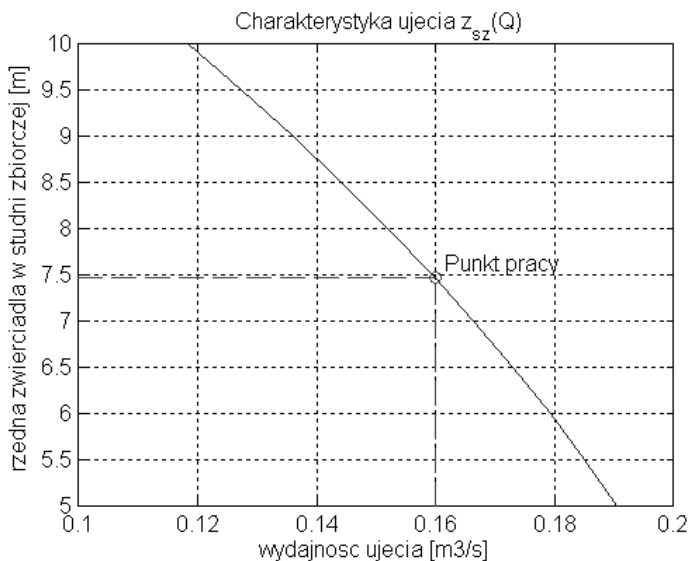
W układzie tym wartości  $F_i$  były obliczane wg wzoru (36) natomiast wartości pochodnych cząstkowych  $\frac{\partial F_i}{\partial Q_j}$  były obliczane wg wzoru (37). Powyższy układ równań liniowych względem poprawek  $\Delta Q_j^{(n)}$  rozwiązano korzystając ze standardowej funkcji MATLAB-a. Po wyznaczeniu wartości poprawek  $\Delta Q_j^{(n)}$  uaktualniono wartości wydajności studni  $Q_j^{(n+1)} = Q_j^{(n)} + \Delta Q_j^{(n)}$  dla  $j=1,2,\dots,N_s$  i kontynuowano obliczenia w następnej iteracji dla kolejnego  $n=n+1$ . Proces iteracyjny kończył się z chwilą osiągnięcia założonego kryterium stopu, które określone zostało następująco:

$$\max_i |F_i(Q_1^{(n)}, Q_2^{(n)}, \dots, Q_{N_s}^{(n)})| < \delta$$

gdzie  $\delta$  była założoną dokładnością obliczeń (w programie przyjęto  $\delta = 10^{-6}$ ).

Należy zauważyć, że do rozwiązania sformułowanego układu równań konieczna jest znajomość rzędnej zwierciadła wody w studni zbiorczej, która nie jest znana na początku obliczeń. Zatem zadanie rozwiązywano w ten sposób, że w procesie iteracyjnym rozwiązywano nie jedno zadanie lecz kolejno kilka zadań dla zmieniającej się w pewnym zadanym zakresie wartości tej rzędnej, wyznaczając w ten sposób charakterystykę ujęcia, czyli funkcję  $Q_c = f(z_{sz})$ . A dokładniej mówiąc obliczano wartości  $Q_c$  dla dyskretnych wartości  $z_{sz}$ . Obliczone w ten sposób punkty aproksymowano wielomianem drugiego stopnia korzystając z wbudowanej funkcji `polyfit` MATLAB-a. Na tej krzywej wyznaczano punkt pracy (czyli wartość  $z_{sz}$ ) odpowiadający zadanej wartości wydajności całkowitej ujęcia  $Q_c$ . Po obliczeniu wartości rzędnej zwierciadła w studni zbiorczej  $z_{sz}$ , która odpowiada wydajności całkowitej ujęcia  $Q_c$ , można było obliczyć wydajności poszczególnych studni na ujęciu oraz odpowiadające im rzędne zwierciadła wody. Wartości te zestawiono w Tabeli 2.

Na Rysunku 2 przedstawiono wyznaczoną charakterystykę pracy ujęcia oraz obliczony punkt pracy. Przy wydajności całkowitej ujęcia równej  $Q_c=0.16 \text{ m}^3/\text{s}$  zwierciadło w studni zbiorczej będzie leżało na rzędnej  $z_{sz} = 7.46 \text{ m}$  licząc względem spągu warstwy wodonośnej. W przykładzie tym lewar jest usytuowany prostopadle do kierunku przepływu wód podziemnych (czyli wzdłuż hydroizohips). W obliczeniach nie uwzględniano zeskoku depresji na filtrze studziennym zachowując zgodność z opisem przedstawionym w [3].



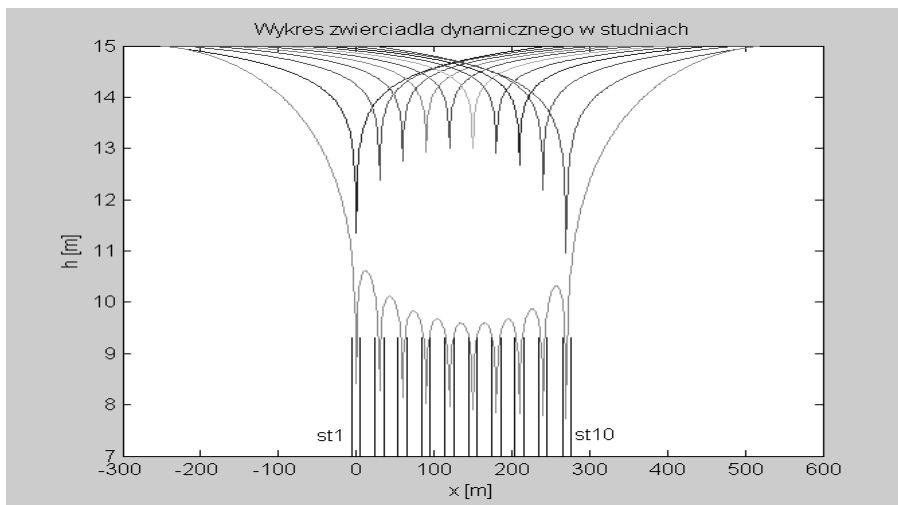
Rys. 2. Wykres charakterystyki ujęcia oraz wyznaczony punkt pracy

Fig. 2. Plot of the intake characteristics and calculated working point

Tab. 2. Wartości wydajności studni oraz rzędnych zwierciadła wody w studniach

Tab. 2. Values of well discharges and water levels in the wells

	St_zb	St_1	St_2	St_3	St_4	St_5	St_6	St_7	St_8	St_9	St_10
<b>Wydajności [m<sup>3</sup>/s]</b>	0.16	0.022	0.016	0.014	0.013	0.013	0.013	0.013	0.015	0.017	0.024
<b>Rzędne zw. [m]</b>	7.46	8.48	8.28	8.13	8.03	7.96	7.91	7.86	7.82	7.79	7.80



Rys.3. Położenie zwierciadła dynamicznego w studniach

Fig. 3. Dynamic water levels in the wells

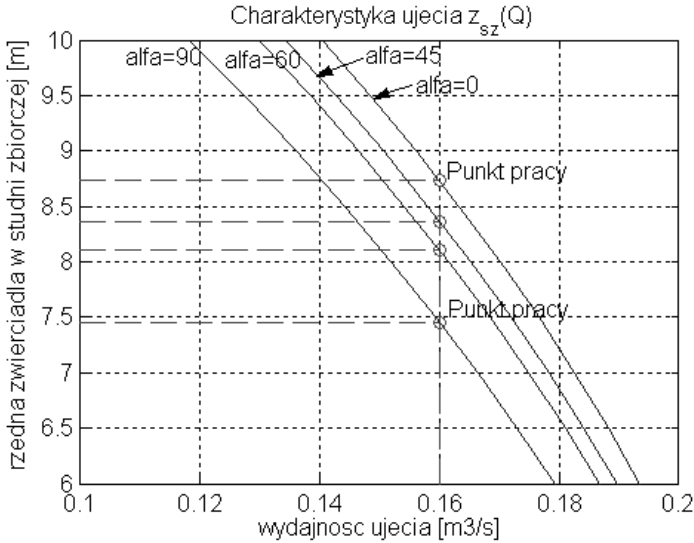
Należy zauważyć, że rozkład obciążeń na poszczególnych studniach nie jest równomierny. Studnie skrajne mają prawie dwukrotnie większą wydajność niż studnie leżące w środkowej części lewara. Jednocześnie, ze względu na małe odległości pomiędzy studniami (30 m), występuje wzajemne oddziaływanie studni i w konsekwencji obniżenie się dynamicznego zwierciadła wody. Na rysunku 3 pokazano położenie dynamicznego zwierciadła wody w studniach ujęcia przy wydajnościach obliczonych w procedurze numerycznej. Górne linie oznaczają rzędne zwierciadła w poszczególnych studniach bez uwzględniania współdziałania, natomiast dolna linia pokazuje wypadkowe zwierciadło wody przy współdziałaniu wszystkich studni.

## 4. Badania symulacyjne różnych wariantów ujęcia lewarowego

### 4.1. Analiza wpływu orientacji położenia rzędu studni względem kierunku przepływu wód podziemnych na pracę ujęcia

W ramach tego zagadnienia obliczeniowego zbadano jak zmieni się wydajność poszczególnych studni oraz położenie punktu pracy ujęcia, na skutek zmiany orientacji rzędu studni względem kierunku przepływu wód gruntowych, wyznaczonego kierunkiem i zwrotem gradientu zwierciadła hydrostatycznego. W obliczeniach zmieniano kąt  $\alpha$  pomiędzy kierunkiem gradientu a rzędem studni od 0 do 90°, przy czym obrót układu odbywał się wokół ostatniej studni (studnia nr 10). Wartość gradientu wynosiła 1%. Na rysunku 4 przedstawiono charakterystyki ujęcia  $z_{sz} = f(Q_c)$  dla czterech wariantów

orientacji rzędu studni względem gradientu zwierciadła hydrostatycznego: od położenia wzdłuż gradientu ( $\alpha=0^\circ$ ), poprzez położenia ukośne ( $\alpha=45^\circ$  i  $\alpha=60^\circ$ ) do położenia prostopadłego do gradientu ( $\alpha=90^\circ$ ). Ten ostatni przypadek jest identyczny jak rozważany w punkcie 3.



Rys. 4. Wpływ orientacji rzędu studni na położenie punktu pracy ujęcia

Fig. 4. The influence of well row direction on working point of the intake

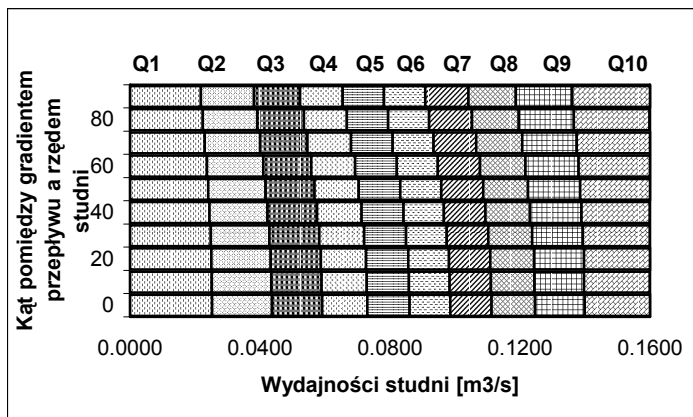
W Tabeli 3 zestawiono wartości wydajności poszczególnych studni oraz odpowiadające im rzędne zwierciadła wody dla różnych wartości kąta  $\alpha$ . Natomiast na rysunku 5 pokazano rozkład wydajności całkowitej ujęcia na poszczególne studnie. Należy zauważyć, że przy ułożeniu rzędu studni prostopadłe do kierunku przepływu wód podziemnych rozkład wydajności jest prawie symetryczny względem punktu środkowego (leżącego pomiędzy studnią 5 i 6), natomiast przy ułożeniu rzędu studni wzdłuż gradientu (z napływem) studnie położone dalej od studni zbiorczej mają większe wydajności. Wiąże się to z wyższą rzędną zwierciadła statycznego w tych studniach. Na Rysunku 6 przedstawiono natomiast zależność położenia rzędnej zwierciadła wody w studni zbiorczej  $z_{sz}$  od orientacji rzędu studni. Jak widać z wykresu, rzędna  $z_{sz}$  maleje wraz z obrotem rzędu studni od położenia równoległego do gradientu do położenia równoległego do hydroizohips (prostopadłe do gradientu), przy czym zależność ta nie jest liniowa.



Tab. 3. Wartości rzędnych zwierciadła wody w studniach w zależności od orientacji lewara

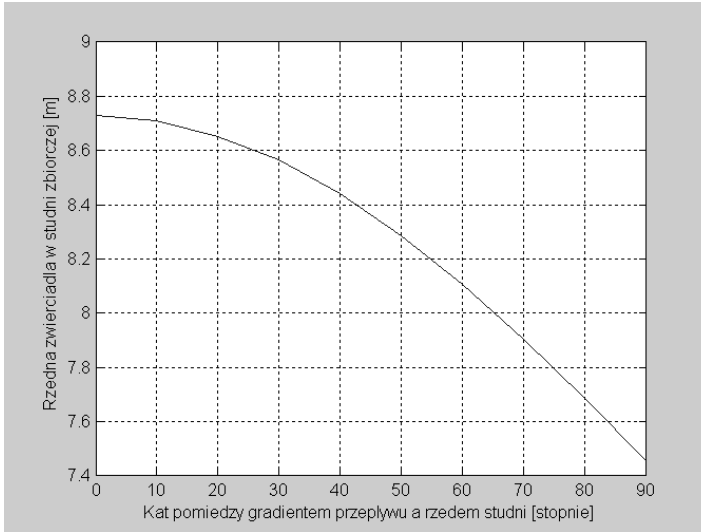
Tab. 3. Values of water levels in the wells depending on siphon direction

Kąt $\alpha$	z_sz	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9	z_10
90°	7.46	8.48	8.28	8.13	8.03	7.96	7.91	7.86	7.82	7.79	7.80
80°	7.69	8.74	8.53	8.37	8.27	8.19	8.15	8.08	8.05	8.01	8.02
70°	7.90	8.99	8.77	8.61	8.49	8.42	8.37	8.30	8.27	8.23	8.23
60°	8.11	9.22	9.00	8.82	8.70	8.63	8.57	8.51	8.47	8.43	8.43
50°	8.29	9.43	9.20	9.01	8.89	8.81	8.76	8.69	8.65	8.60	8.61
40°	8.44	9.61	9.37	9.18	9.05	8.97	8.91	8.85	8.80	8.76	8.76
30°	8.56	9.76	9.51	9.31	9.18	9.10	9.04	8.97	8.93	8.88	8.88
20°	8.65	9.86	9.60	9.41	9.28	9.19	9.13	9.06	9.02	8.97	8.96
10°	8.71	9.93	9.67	9.47	9.34	9.25	9.19	9.12	9.07	9.02	9.02
0°	8.73	9.95	9.69	9.49	9.36	9.27	9.21	9.14	9.09	9.04	9.04



Rys. 5. Wpływ orientacji rzędu studni na rozkład wydajności studni w ujęciu

Fig. 5. The influence of well row direction on well discharge distribution

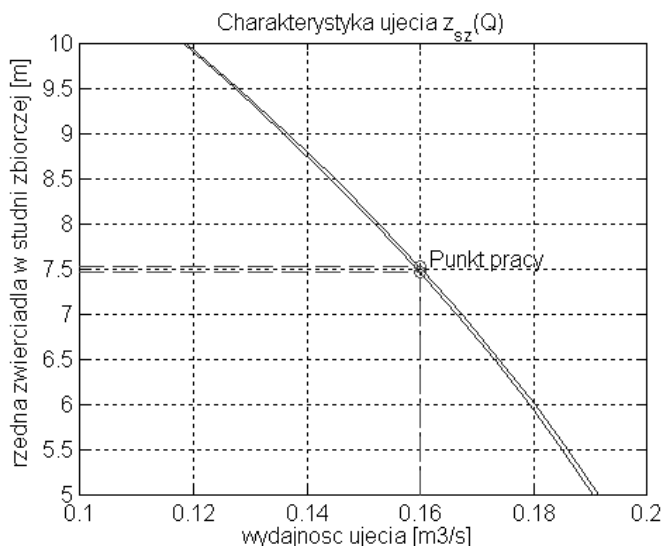


Rys. 6. Wykres rzędnej zwierciadła wody w studni zbiorczej w zależności od orientacji rzędu studni względem gradientu zwierciadła hydrostatycznego

Fig. 6. The plot of water level in the gathering well depending on well row direction

## 4.2. Analiza wpływu lokalnych strat hydraulicznych na wydajność studni ujęcia lewarowego

W ramach kolejnego zagadnienia obliczeniowego zbadano czy dopuszczalne jest pominięcie w obliczeniach wpływu lokalnych strat hydraulicznych w poszczególnych przewodach lewara jako małych w stosunku do strat liniowych. W pierwotnej wersji zadania przyjęto, że lewar uzbrojony jest w typową armaturę. Na przewodach łączących studnię z lewarem uwzględniono wlot ze studni do rury, kolano 90° pionowe, zasuwę odcinającą i kolano 45° poziome. Na przewodach zbiorczych lewara uwzględniono dyfuzory (zmiana średnicy przewodów lewara wynikająca z rosnącego natężenia przepływu przy zachowaniu zalecanych prędkości przepływu), trójniki do podłączenia studni do głównego przewodu lewarowego i zwężkę Venturiego w ostatnim przewodzie przed studnią zbiorczą, służącą do odpowietrzania lewara. Współczynniki strat lokalnych dla tych elementów przyjęto zgodnie z literaturą techniczną [4, 7]. Wartości sum współczynników strat lokalnych dla poszczególnych przewodów zestawiono w Tabeli 1. Wyniki obliczeń dla tego wariantu przedstawiają Rysunki 2 i 3 oraz Tabela 2. W zmodyfikowanym wariantcie pominięto wszystkie opory lokalne, przyjmując wartość 0 dla wszystkich zmiennych  $\Sigma\zeta$ . Obliczenia przeprowadzono dla orientacji rzędu studni prostopadłe do kierunku przepływu wód gruntowych. Symulacje wykazały, że pominięcie wszystkich oporów lokalnych ma niewielki wpływ na położenie punktu pracy ujęcia oraz wartości wydajności poszczególnych studni. Pokazano to na Rysunku 7 oraz w Tabeli 4.



Rys. 7. Wpływ pominięcia lokalnych strat hydraulicznych na punkt pracy ujęcia

Fig. 7. Influence of neglecting local hydraulic losses on working point of the intake

Tab. 4. Wartości wydajności studni oraz rzędnych zwierciadła wody w studniach przy pominięciu lokalnych strat hydraulicznych

Tab. 4. Values of well discharges and water levels in the wells in the case of neglecting local hydraulic losses

	St_zb	St_1	St_2	St_3	St_4	St_5	St_6	St_7	St_8	St_9	St_10
<b>Wydajności [m<sup>3</sup>/s]</b>	0.16	0.022	0.016	0.014	0.013	0.013	0.013	0.013	0.015	0.017	0.024
<b>Rzędne zw. [m]</b>	7.52	8.44	8.26	8.12	8.03	7.96	7.92	7.87	7.84	7.81	7.83

### 4.3. Analiza wpływu wmontowania wodomierzy kontrolnych na wydajność studni ujęcia lewarowego

W ramach trzeciego zagadnienia obliczeniowego zbadano jakie zmiany wydajności poszczególnych studni spowoduje wmontowanie wodomierzy kontrolnych w przewody łączące studnie z głównym przewodem lewarowym. Przeanalizowano trzy warianty średnicy nominalnej wodomierza (200, 150 i 125 mm) w stosunku do 200 mm średnicy

przewodu przyłącza. Obliczono współczynniki oporów lokalnych wodomierzy śrubowych o osi poziomej, o DN 200, 150 i 125 do wmontowania w przewód DN 200, uwzględniając konfuzory i dyfuzory:

$$\zeta_{200} = 1.0$$

$$\zeta_{150} = 1.05 + 1.40 + 0.74 = 3.19$$

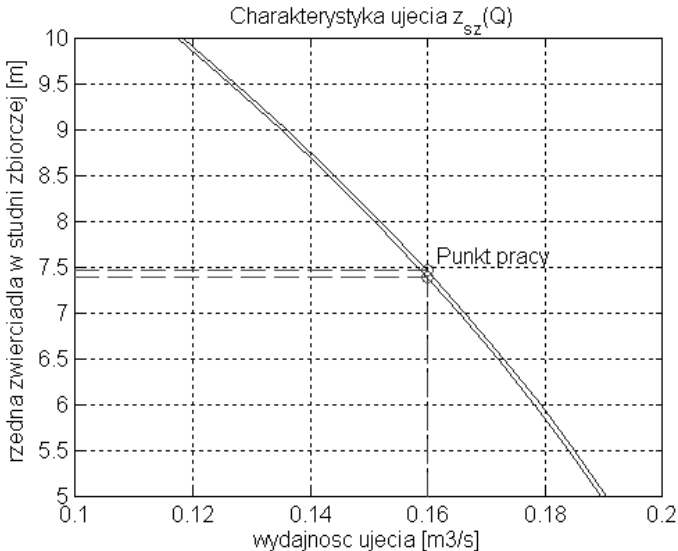
$$\zeta_{125} = 1.15 + 1.00 + 2.75 = 4.90$$

Mniejsze średnice wodomierza od średnicy przyłącza chętnie są stosowane ze względu na mniejsze gabaryty oraz niższy koszt zakupu lecz powodują większe opory lokalne.

Rozwiązano kilka wariantów zadania:

- z wmontowaniem poszczególnych wodomierzy tylko do pierwszej studni
- z wmontowaniem wodomierzy jednego typu do wszystkich studni

Wmontowanie pojedynczego wodomierza, nawet o największym współczynniku strat lokalnych uwzględniających konfuzor i dyfuzor, nie powoduje prawie żadnych zmian w położeniu punktu pracy całego ujęcia, natomiast powoduje drobne różnice w wydajności studni z zamontowanym wodomierzem oraz drobne różnice w położeniu zwierciadła wody w poszczególnych studniach ujęcia. Wmontowanie najmniejszego wodomierza DN 125 we wszystkie przewody łączące studnie z głównym przewodem lewarowym powoduje małą zmianę położenia punktu pracy całego ujęcia oraz niewielkie zmiany wydajności poszczególnych studni i odpowiadające im niewielkie zmiany rzędnych zwierciadła wody w studniach. Pokazano to na Rysunku 8 oraz w Tabeli 5.



Rys. 8. Wpływ wmontowania wodomierzy DN 125 na punkt pracy ujęcia

Fig. 8. Influence of inserting the water-meters DN 125 on working point of the intake

Tab. 5. Wydajności studni oraz rzędne zwierciadła wody w studniach przy wmontowanych wodomierzach

Tab. 5. Well discharges and water levels in the wells with water-meters inserted in the pipes

	St_zb	St_1	St_2	St_3	St_4	St_5	St_6	St_7	St_8	St_9	St_10
Wydajności studni [m <sup>3</sup> /s]											
<b>1 wodomierz</b>	0.16	0.021	0.017	0.014	0.013	0.013	0.013	0.013	0.015	0.017	0.024
<b>10 wodomierzy</b>	0.16	0.022	0.016	0.014	0.013	0.013	0.013	0.013	0.015	0.017	0.024
Rzędne zwierciadła wody [m]											
<b>1 wodomierz</b>	7.44	8.56	8.26	8.11	8.01	7.94	7.90	7.84	7.81	7.77	7.79
<b>10 wodomierzy</b>	7.38	8.51	8.27	8.11	8.00	7.93	7.88	7.83	7.80	7.79	7.86

## 5. Wnioski i perspektywa dalszych prac

W referacie wykazano, że zbudowany, na podstawie opracowanego w [3] modelu matematycznego, program komputerowy działający w środowisku MATLAB, może być wygodnym narzędziem symulacji komputerowej służącym do badania własności hydraulicznych lewarowego ujęcia wody z rzędu studni. Rozwiązano kilka zagadnień obliczeniowych dla różnych wariantów pracy układu. Wykazano, że orientacja rzędu studni względem kierunku przepływu wód gruntowych ma dość istotny wpływ na wydajność poszczególnych studni i położenie punktu pracy lewara. Przy czym zmiany orientacji położenia rzędu studni zbliżonej do kierunku prostopadłego do gradientu zwierciadła hydrostatycznego powodują większe zmiany zwierciadła wody w studni zbiorczej niż podobne zmiany w przypadku, gdy rząd studni jest równoległy do kierunku gradientu. Stwierdzono, że dopuszczalne jest pomijanie w obliczeniach wpływu lokalnych strat hydraulicznych, związanych z zainstalowaną armaturą, jako małych w stosunku do strat liniowych. Nie uwzględnianie tych strat w obliczeniach nie powoduje istotnych różnic w obliczonych wydajnościach studni, a różnice w rzędnych zwierciadła wody są również niewielkie. Również wmontowanie wodomierzy w przewody przyłączy studni do układu lewarowego nie powoduje istotnych zmian w wydajności poszczególnych studni oraz ma niewielki wpływ na położenie punktu pracy lewara.

Opracowany program symulacyjny wymaga weryfikacji na danych rzeczywistych pochodzących z pracującego lewarowego ujęcia wody. W perspektywie dalszych prac przewiduje się połączenie modelu matematycznego hydraulicznych warunków działania lewara z numerycznym modelem przepływu wody w warstwie wodonośnej z uwzględnieniem infiltracji z pobliskiej rzeki lub stawów infiltracyjnych. Można również rozważyć opracowanie modelu układu lewarowego dla warunków nieustalonych.

## Bibliografia

- [1] Bear, J. Hydraulics of groundwater. Mc Graw-Hill, New York, 1979
- [2] Dziopak, J. Lewarowe ujęcia wód podziemnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2006
- [3] Grabarczyk, C. Metody obliczania współdziałania rzędu studni ze złożonym lewarem. *Materiały Konferencyjne XX Jubileuszowej-Krajowej, VIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej "Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód"*, Gniezno 2008 (w tym tomie)
- [4] Grabarczyk C. Przepływy cieczy w przewodach. Metody obliczeniowe. Envirotech, Poznań, 1997
- [5] Kincaid, D., Cheney W. Analiza numeryczna. WNT, Warszawa, 2006
- [6] MATLAB Programming, Version 7. The MathWorks, Inc., 2004
- [7] Mielcarzewicz, E. W. Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę. Wyd. Arkady, Warszawa, 2000
- [8] Pratap, R. Matlab 7 dla naukowców i inżynierów. Wydawnictwa Naukowe PWN SA, Warszawa, 2007