

Barbara BUDZIŁO, Aleksandra POŁOK-KOWALSKA

*Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska
Politechnika Krakowska
Kraków*

METODA WYBORU TECHNICZNEGO ROZWIĄZANIA ZESPOLONEGO UJĘCIA WODY POWIERZCHNIOWEJ

CHOICE METHOD OF THE TECHNICAL SOLUTION OF A COMBINED SURFACE WATER INTAKE

The objective of this work is to develop a choice method of technical solution of a surface water intake, taking into consideration not only hydraulic factors and also reliability and economic ones. The work includes information on reliability and technical parameters, and operational problems concerning combined (drainage-submerged) water intakes, obtained as a result of many years field investigations. Materials collected were used to develop the mathematical model of the combined (drainage-submerged) water intake with gravitational flow from the inlet to the collecting well. Developed calculation method based on theory from the domain of hydraulics, economics and reliability enables to find the best technical solution from the range of permissible solutions for required reliability level and minimum building costs. This method also allows simulating, using a computer, the operation of the combined water intake with the omission of a water source and in the case of the occurrence of random events in the water source if their consequences are still permissible. The developed program of computer numerical calculations may be used in the design of the combined water intakes and in the modernization of existing ones.

1. Cel i zakres pracy

Celem pracy jest opracowanie metody wyboru ujęcia wody powierzchniowej pracującego z rezerwą (zespolonego ujęcia wody), opartej na podstawach teoretycznych z zakresu niezawodności, hydrauliki i ekonomii, która umożliwi przyjęcie właściwego rozwiązania technicznego. Przeprowadzono badania terenowe na terenie południowej Polski [3] ujęć wody nurtowo - drenażowych, z małych i średnich cieków, z grawitacyjnym przepływem od czepni do studni zbiorczej. Badania objęły charakterystyki techniczne ujęć wody, rodzaje awarii, przyczyny przestoju i ograniczeń w dostawie wody. Na podstawie zebra-

nych materiałów wyznaczono wskaźniki niezawodności poszczególnych elementów ujęć wody i przeprowadzono dwuparametryczną ocenę niezawodności [4]. Przy ocenie niezawodności zostały uwzględnione: źródło wody, którego niezawodność związana jest z losowymi zdarzeniami oraz pozostałe urządzenia techniczne. Opracowano program obliczeniowy, który umożliwi wybór technicznego rozwiązania zespolonego ujęcia wody z uwzględnieniem czynników hydraulicznych, niezawodnościowych i ekonomicznych.

W niniejszej pracy przedstawiono opracowany model matematyczny zespolonego ujęcia wody oraz analizę wyników rozwiązań technicznych w świetle badań testowych.

2. Przegląd piśmiennictwa

W okresie ostatnich 6 lat prowadzono badania na terenie Polski południowej dotyczące zespolonych ujęć wody (nurtowo - drenażowych). Badano małe ujęcia wody powierzchniowej, które pobierały ok. $0,005 - 0,200 \text{ m}^3/\text{s}$ [1,2,3,4].

Ujęcia nurtowe (zatopione) mogą być typu ciężkiego i lekkiego. Ujęcia typu lekkiego są tańszym rozwiązaniem i częściej stosowanym. Ujęcia te posiadają różne rozwiązania techniczne czerpni, przedstawione w pracach [5,8,9,13,16]. Zaletą tych ujęć wody jest niski koszt budowy, zwarta i prosta konstrukcja. Natomiast wadą jest trudny dostęp do ujęcia, zaburzenia w cieku, blokowania ujęć śryżem [5,6,7] oraz zamulania.

Najczęściej stosowanymi ujęciami nurtowymi w Polsce są czerpnie z wlotem poszerzonym stożkowym lub rurą perforowaną. Czerpnie z wlotem poszerzonym stożkowym lub rurą perforowaną ustawione są na metalowych podporach, bądź przymocowane do przyczółku progu lub położone na dnie cieku i obsypane po bokach narzutem kamiennym.

Badania eksperymentalne dotyczące poboru wody za pomocą nurtowych (zatopionych) ujęć wody (w postaci rur perforowanych, ekranów, sit) przeprowadzono w pracach [8,9,11]. Department of Fisheries and Oceans w Kanadzie [8] przedstawił wytyczne do projektowania ekranów ujmujących wodę i chroniących ryby o długości 25 mm. Ekranu ujęć przedstawione w materiałach dotyczą poboru wody dla małych ujęć do $135 \text{ dm}^3/\text{s}$. Przy projektowaniu należy zapoznać się z gatunkiem ryb o różnym sposobie pływania. W wytycznych podano tabele z zestawieniem proponowanych prędkości wlotowych w zależności od gatunków ryb i ich sposobu pływania. Prędkość dopływu wody do ujęcia nie powinna przekroczyć pewnych wartości biorąc pod uwagę sposób pływania ryb, np. dla pstrągów wynosi ok. $0,1 \text{ m/s}$ a dla węgorzy wynosi ok. $0,038 \text{ m/s}$. Powinien być zapewniony równomierny dopływ na całej powierzchni ekranu.

Ochrona ryb a także transport rumowiska stanowią bardzo ważne problemy przy projektowaniu ujęć wody powierzchniowej. Richards R.T. [13] przedstawił zmodyfikowaną czerpnię w postaci rury perforowanej i usytuowaną wewnątrz tuleją dla wyrównania prędkości wlotowych. Przeprowadzone badania modelowe potwierdziły równomierny rozkład prędkości wlotowych. Ujęcie zostało zaprojektowane z myślą o ochronie ryb narybku łososia. Rura perforowana spełnia rolę fizycznego ekranu. W tym przypadku behawioralne systemy ekranowania odnoszące się do pęcherzyków powietrza, światła lub dźwięku nie są potrzebne. Perforowane rury są zakończone stożkiem o kształcie opływowym. Jedyną wadą jest niebezpieczeństwo ich uszkodzenia np. w czasie ruchu rumowiska o dużych średnicach. Badania modelowe potwierdziły, że narzut kamienny zapewniał ochronę przed rumowiskiem i lodem [13]. Podobna czerpnia w oparciu o patent USA [17] została w roku 2006 zainstalowana na ujęciu „Rudawa” dla miasta Krakowa, przez firmę Krevox. Konserwacja tego rodzaju ujęcia dotyczy płukania odwrotnym prądem wody lub powietrzem.

Drenażowe ujęcia wody budowane są w różnych krajach Ameryki i Europy [1,2,4,12]. W niektórych krajach nazywane są niekonwencjonalnymi ujęciami i szczególnie przydatnymi w rejonach, gdzie pojawiają się zjawiska śryżowo - lodowe. Ze względu na trudne warunki poboru wody zaproponowano różne ich rozwiązania [2,12,15,16]. Regenerację obsypki filtracyjnej drenażu, można uzyskać wtłaczając pod ciśnieniem do drenu strumień wody oraz powietrza [2,12].

W podsumowaniu przeglądu piśmiennictwa można stwierdzić, że problemami w funkcjonowaniu nurtowych ujęć wody są zjawiska śryżowo - lodowe a prędkości wlotowe stanowią zagrożenie dla tego typu zjawisk. Natomiast drenażowe ujęcia wody mogą pracować w okresie zimowym i stanowić rezerwę dla ujęć nurtowych. Stwierdzono, że ujęcie wody z drenami założonymi pod dnem rzeki i nurtowe (zatopione) ujęcie z rurą perforowaną umieszczone ponad dnem, są najkorzystniejsze dla ochrony narybku i planktonu [14]. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzono, że zespolone ujęcia wody [2,3,4,12] drenażowo - nurtowe najlepiej spełnią swoją funkcję.

3. Model matematyczny zespolonego ujęcia wody

Model matematyczny nurtowo - drenażowego ujęcia wody został sformułowany z uwzględnieniem podstaw teoretycznych z zakresu hydrauliki, ekonomii i niezawodności. Model obejmuje nurtowo - drenażowe ujęcie wody o stałym natężeniu przepływu.

Ujęcie wody (U_jW) składa się z takich elementów jak: źródło wody (ZrW), czerpnia ujęcia nurtowego (U_jW1), czerpnia ujęcia drenażowego (U_jW2), piaskownik (B), grawitacyjny rurociąg ($C, C2$), studnia zbiorcza (D). Ujęcie w całości zbudowane jest z elementów odnawialnych, które można scharakteryzować średnim czasem pracy między uszkodzeniami – T_p i średnim czasem odnowy – T_n , przy zachowaniu warunku: $T_p \gg T_n$. Zakłada się, że zarówno uszkodzenia jak i odcinki odnowy mają charakter losowy. Odcinki te są wzajemnie niezależne i ich długości mają rozkłady wykładnicze. Przyjmuje się, że strumienie uszkodzeń i odnowy są najprostsze (pojedyncze, stacjonarne i bez następstwa). Ocenę niezawodności ujęcia wody przeprowadzono przy zastosowaniu analizy strukturalno – funkcjonalnej, z wykorzystaniem wzorów analitycznych i funkcji częstości uszkodzeń. Wskaźnik gotowości K_g , a także średni czas pracy pomiędzy uszkodzeniami T_p przyjęto jako miary niezawodności. Zespolone ujęcie wody nurtowo- drenażowe z niezawodnościowego punktu widzenia ma strukturę równoległą. Poszukuje się takiego wariantu rozwiązania technicznego zespolonego ujęcia wody spośród zbioru „x” przy osiągnięciu wymaganego poziomu niezawodności i minimalnych kosztów budowy. Założono, że wydajność zespolonego ujęcia wyniesie $Q_n = Q(U_jW1) = Q(U_jW2)$. Równocześnie muszą być spełnione uwarunkowania techniczne i eksploatacyjne. Zapewnienie poziomu niezawodności realizowane będzie na drodze rezerwowania składowych elementów zespolonego ujęcia wody. Model matematyczny przy poszukiwaniu właściwego rozwiązania technicznego nurtowo - drenażowego ujęcia wody będzie obejmował układ równań charakteryzujących:

- wskaźnik gotowości x-tego rozwiązania technicznego ujęcia wody (przy założeniu dotyczącym uznania poszczególnych stanów za przynależne do zbioru $E1$) [14]:

$$K_{gs}(x, Q_n) = \prod_{j_0=1}^n \sum_{i \in E_1} P_{ij}(x) \quad (1)$$

gdzie: $K_{gs}(x, Q_n)$ – wskaźnik gotowości nurtowo - drenażowego ujęcia wody (tzn. czerpnia, piaskownik, grawitacyjny rurociąg i studnia zbiorcza ; Q_n – nominalna (obliczeniowa) wydajność ujęcia wody (m^3/s), n - liczba elementów podstawowych, i - numer stanu ugrupowania elementów, x - numer rozwiązania technicznego.

- prawdopodobieństwo sprawnego funkcjonowania zespolonego ujęcia wody nurtowo - drenażowego o strukturze niezawodnościowej równoległo - szeregowej, (gdzie: K_{UjW1} – wskaźnik gotowości ujęcia nurtowego tzn. czerpnia, piaskownik, grawitacyjny rurociąg C_1 , K_{UjW2} - wskaźnik gotowości ujęcia drenażowego tzn. czerpnia i rurociąg zbiorczy C_2) dla x -tego rozwiązania technicznego :

$$K_{gs}(x, Q_n) = K_{ZrW} [1 - (1 - K_{UjW1})(1 - K_{UjW2})] K_D \quad (2)$$

- koszty budowy x -tego rozwiązania technicznego:

$$J(x) = \sum_{j=0}^M I_j(x) \quad [zł], \quad (3)$$

- straty energetyczne (na długości i miejscowe) w x -tym rozwiązaniu technicznym przy przepływie wody przez poszczególne części ujęcia wody $i=1,2,3$:

$$\sum \Delta h_i(x) = \Delta h_{i,l}(x) + \Delta h_{i,m}(x) \quad [m], \quad (4)$$

gdzie:

$K_{gs}(x, Q_n)$ – wskaźnik gotowości zespolonego ujęcia wody x -tego rozwiązania; Q_n – nominalna (obliczeniowa) wydajność ujęcia wody (m^3/s); K_{ZrW} – wskaźnik gotowości źródła wody; K_D – wskaźnik gotowości studni zbiorczej; $I_j(x)$ – nominalne koszty budowy dla j -tego elementu x -tego rozwiązania technicznego (zł); M – liczba wszystkich elementów tzn. podstawowych i rezerwowych; $\sum \Delta h_1(x)$ – suma strat energetycznych (straty na długości i miejscowe) przy przepływie wody od czerpni do piaskownika w x -tym rozwiązaniu technicznym [m], $\sum \Delta h_2(x)$ – suma strat energetycznych (straty na długości i miejscowe) przy przepływie wody od piaskownika do studni zbiorczej w x -tym rozwiązaniu technicznym (m), $\sum \Delta h_3(x)$ – suma strat energetycznych (straty na długości i miejscowe) przy przepływie wody od czerpni drenażowego ujęcia wody do studni zbiorczej w x -tym rozwiązaniu technicznym [m].

Przy rozwiązywaniu modelu obowiązują następujące warunki ograniczające:

- wskaźnik gotowości nurtowo - drenażowego ujęcia wody:

$$K_{gs}(x, Q_n) \geq K_w(Q_n, M_k), \quad (5)$$

- wysokość dyspozycyjna w x -tym rozwiązaniu technicznym nurtowego UjW :

$$\Delta H(x) = \Delta H_1(x) + \Delta H_2(x) = \{\sum \Delta h_{1,l}(x) + \sum \Delta h_{1,m}(x)\} + \{\sum \Delta h_{2,l}(x) + \sum \Delta h_{2,m}(x)\} \quad [m] \quad (6)$$

- wysokość dyspozycyjna w x -tym rozwiązaniu technicznym drenażowego UjW :

$$\Delta H_3(x) = \sum \Delta h_{3,l}(x) + \sum \Delta h_{3,m}(x) \quad [m], \quad (7)$$

- wydajność ujęcia w czasie awarii w x -tym rozwiązaniu technicznym :

$$Q_{aw}(x) \geq \alpha_{aw} Q_n \quad [m^3/s], \quad (8)$$

- prędkość wlotowa do czerpni ujęcia nurtowego:

$$v_{wl} \leq v_z \quad [m/s], \quad (9)$$

- głębokość położenia dynamicznego zwierciadła wody w studni zbiorczej (zależna od rodzaju pompy) mierzona np. od osi pompy o wale pionowym:

$$h \leq 6 \quad [m], \quad (10)$$

- minimalna prędkość w rurociągu grawitacyjnym,

$$v_{sr} \geq 0,6 \quad [m/s], \quad (11)$$

- głębokość położenia dynamicznego zwierciadła wody w studni zbiorczej w x -tym rozwiązaniu technicznym, ograniczona zatopionym wylotem rurociągu grawitacyjnego powinna spełniać warunek:

$$Hs(x) \leq R_z t - R_z d + \ell - 0,5 dz - 0,5 d + i_r L_{C2} \quad [m] \quad (12)$$

gdzie: $R_z t$ – rzędna terenu przy studni zbiorczej [m npm], $R_z d$ – rzędna dna cieku [m npm], ℓ – głębokość założenia drenu [m], dz – średnica zewnętrzna drenu [m], d – średnica rurociągu grawitacyjnego [m], i_r – spadek rurociągu grawitacyjnego, L_{C2} – długość rurociągu grawitacyjnego [m].

Zakładając równorzędność wydzielonych podsystemów tworzących z niezawodnościowego punktu widzenia strukturę szeregową, wymagany wskaźnik gotowości ugrupowania elementów w l-tym układzie zasilania można wyznaczyć ze wzoru dla jednorodnej struktury szeregowej:

$$K_w = (C_l^{(J+1)} \sqrt{K_w(SZW)})^{B_l} \quad (13)$$

gdzie: $K_w(SZW)$ – wymagany wskaźnik gotowości systemu zaopatrzenia w wodę, dobierany w zależności od kategorii niezawodności systemu zaopatrzenia w wodę (SZW) i liczby mieszkańców M_k wg [18] str. 484 tab.2, J – liczba układów zasilania w wodę (UZW), C_l – liczba wszystkich elementów w l – tym układzie zasilania, B_l – liczba elementów budujących dane ugrupowanie w l – tym układzie zasilania.

$K_{gs}(x, Q_n)$ – wskaźnik gotowości nurtowo-drenażowego ujęcia wody w x-tym rozwiązaniu technicznym, $\Delta H_1(x)$ – wysokość dyspozycyjna równa różnicy położenia zwierciadła wody w cieku przy wysokości piętrzenia i zwierciadła wody w piaskowniku w x-tym rozwiązaniu technicznym, $\Delta H_2(x)$ – wysokość dyspozycyjna równa różnicy położenia zwierciadła wody w piaskowniku i zwierciadła wody w studni zbiorczej w x-tym rozwiązaniu technicznym, $\Delta H_3(x)$ – wysokość dyspozycyjna równa różnicy położenia zwierciadła wody w cieku w przekroju ujęcia drenażowego i zwierciadła wody w studni zbiorczej w x-tym rozwiązaniu technicznym, $Q_{aw}(x)$ – wydajność ujęcia w czasie awarii [m^3/s], α_{aw} – współczynnik dopuszczalnego zmniejszenia wydajności ujęcia w czasie trwania awarii, przyjmowany najczęściej 0,7, v_{wl} – prędkość wlotowa do czepni nurtowego ujęcia [m/s], v_z – prędkość wlotowa założona w zależności od warunków jakie panują w rzece [m/s].

Straty energetyczne stanowią tylko ograniczenia dla parametrów funkcjonowania zespolonego ujęcia wody. Jeśli straty są większe od wysokości dyspozycyjnej, a warunek (6) nie jest spełniony, należy zwiększyć piętrzenie progę lub obniżyć zwierciadło wody w studni zbiorczej.

Przeprowadzono optymalizację w oparciu o rozwiązanie tzw. zadania „wprost”. Zadanie to sprowadza się do osiągnięcia wymaganego poziomu niezawodności dla nurtowo - drenażowego ujęcia wody przy minimalnych kosztach danego rozwiązania technicznego. Zadanie to ma na celu znalezienie takiego wariantu rozwiązania projektowego x_0 aby uzyskać następujące warunki:

$$J_0(x_0) = \min \{J(x); K_{gs}(x) \geq K_w; W_z(x) \in W_{dz}(x) \text{ przy } z = 1, 2, 3, \dots, u\} \quad (14)$$

gdzie: $J_0(x_0)$ – koszty budowy x_0 -tego rozwiązania technicznego, x_0 – wybrane rozwiązanie techniczne, dla którego uzyskano minimalny koszt i jest spełniony warunek, że $K_{gs}(x) \geq K_w$ oraz wszystkie uwarunkowania, $J(x)$ – koszty budowy x-tego rozwiązania przy spełnionym warunku $K_{gs}(x) \geq K_w$, $W_z(x)$ – z-te warunki techniczne x-tego rozwiązania, $W_{dz}(x)$ – obszar dopuszczalnych rozwiązań ze względu na z-te ograniczenia (wzory: 5 ÷ 12), z – numer ograniczeń technicznych, u – liczba wszystkich ograniczeń, x – numer rozwiązania technicznego.

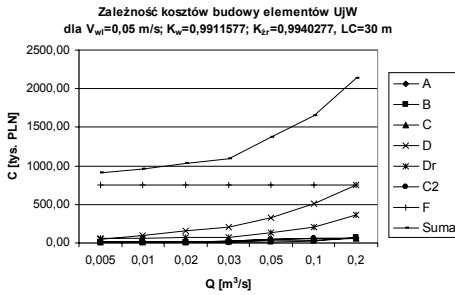
Stwierdzono, że tak sformułowane zadanie nie da się rozwiązać na drodze analitycznej. W związku z tym przeprowadzono rozwiązanie na drodze numerycznej a podane powyżej wzory były podstawą do opracowania programu obliczeniowego.

4. Analiza rozwiązań technicznych zespolonych ujęć wody na podstawie badań testowych

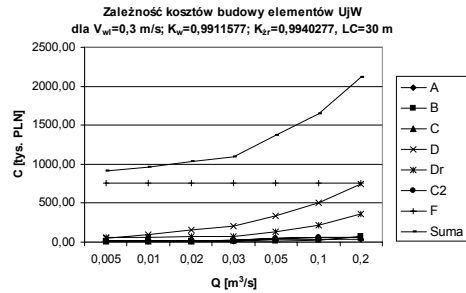
Opracowany program obliczeniowy pozwala na numeryczne rozwiązanie modelu matematycznego. Podstawowym zadaniem programu jest znalezienie rozwiązania techniczne-

go w obszarze rozwiązań dopuszczalnych, dla wymaganego poziomu niezawodności i minimalnych kosztów budowy.

Obszar rozwiązań dopuszczalnych obejmuje rozwiązania realizujące wymagania techniczne, hydrauliczne i niezawodnościowe. Wykorzystanie modułu bazy danych, umożliwia szybkie wykonywanie serii obliczeń dla wyznaczenia charakterystyk modelu.



a) prędkość wlotowa $V_{wl}=0,05$ m/s



b) prędkość wlotowa $V_{wl}=0,3$ m/s

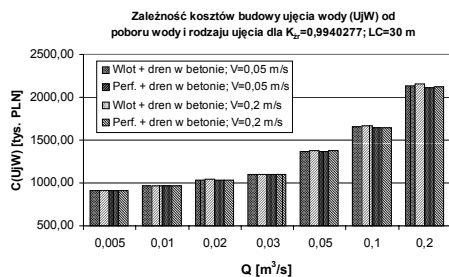
Rys. 1. Zależność kosztów budowy poszczególnych elementów zespolonego ujęcia wody nurtowo - drenażowego (z wlotem poszerzonym - dreny w korycie) od poboru wody. Dane: szerokość potoku 30 m, $K_w=0,9911577$, $K_{zrw}=0,9940277$, $T_p=3961$ h, wysokość progu piętrzącego $H=1,3$ m, głębokość założenia drenu 1,5 m, rzędna dna cieku 199,7 m npm, rzędna terenu przy studni 201 m npm, głębokość zwierciadła wody w studni 2,5 m. (Rys. 1a. – prędkość wlotowa $V_{wl}=0,05$ m/s, Rys. 1b. – prędkość wlotowa $V_{wl}=0,3$ m/s).

Fig. 1. Dependence of construction costs of separate elements of combined (submerged - drainage) water intakes (with the broadened - drains in the bed) on water withdrawal. Data: stream width 30 m, $K_w=0,9911577$, $K_{zrw}=0,9940277$, $T_p=3961$ h, weir height $H=1,3$ m, depth of installing the drain 1,5 m, water-course elevation 199,7 m npm, depth of water level in the well 2,5 m. (Fig. 1a. – inlet velocity $V_{wl}=0,05$ m/s, Fig. 1b. – inlet velocity $V_{wl}=0,3$ m/s).

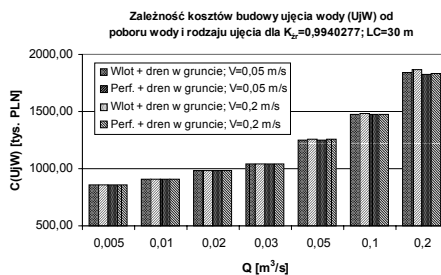
W trakcie testowania programu przeprowadzono ponad 1500 obliczeń. Przedstawione zadania dotyczyły różnych rozwiązań:

1) Zespolone ujęcie wody nurtowo - drenażowe, czerpnia nurtowego UjW w postaci rury perforowanej, dreny założone bezpośrednio w gruncie pod dnem cieku, budowane przy progu piętrzącym.

2) Zespolone ujęcie wody nurtowo - drenażowe, czerpnia nurtowego UjW w postaci rury perforowanej, dreny założone w korytach betonowej, budowane przy progu piętrzącym.



a) dreny założone w korytach betonowych



b) dreny założone bezpośrednio w gruncie

Rys.2. Zależność kosztów budowy zespolonych ujęć wody nurtowo - drenażowych od wydajności Q i rodzaju czerpni nurtowego ujęcia (wlot poszerzony stożkowy (Wlot) lub rura perforowana (Perf.)), dla różnych prędkości wlotowych V_{wl} . Dla wskaźnika gotowości źródła wody $K_{zrW}=0,9940277$ (brudna woda) oraz $K_W=0,9911577$.

Rys.2. Dependence of construction costs of combined (submerged-drainage) water intakes on discharge Q and the inlet kind of a submerged water intake (broadened conical inlet (Wlot) or perforated pipe (Perf.)), for different inlet velocities V_{wl} . For availability index of the water source $K_{zrW}=0,9940277$ (dirty water) and $K_W=0,9911577$.

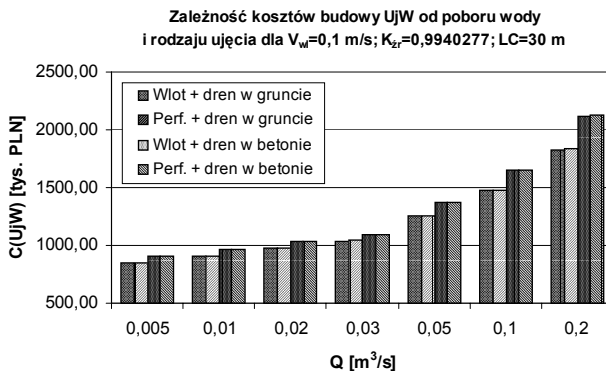
3) Zespolone ujęcie wody nurtowo - drenażowe, czerpnia nurtowego UjW z wlotem poszerzonym stożkowym, dreny założone bezpośrednio w gruncie pod dnem cieku, budowane przy progu piętrzącym.

4) Zespolone ujęcie wody nurtowo - drenażowe, czerpnia nurtowego UjW z wlotem poszerzonym stożkowym, dreny założone w korytach betonowych pod dnem cieku, budowane przy progu piętrzącym.

W podsumowaniu analizy wyników prowadzonych badań testowych zespolonych ujęć wody nurtowo - drenażowych można stwierdzić, że:

- Biorąc pod uwagę koszty poszczególnych elementów zespolonego ujęcia wody nurtowo - drenażowego (dla czystej i brudnej wody) (rys.1) stwierdzono, że najwyższy koszt budowy we wszystkich przypadkach dotyczy progu piętrzącego (F), następnie studni zbiorczej (D), rurociągu grawitacyjnego (C,C2) a najniższy jest koszt budowy piaskownika (B).

- Koszt budowy czerpni z rury perforowanej jest droższy od kosztów piaskownika i drenażu założonego bezpośrednio w gruncie, ale tańszy od drenażu założonego w korytach betonowych. Natomiast koszt budowy czerpni z wlotem poszerzonym stożkowym (A) jest droższy od kosztów piaskownika (B) (dla wydajności $\leq 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$) i drenażu założonego bezpośrednio w gruncie (dla wydajności $< 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$), ale tańszy od drenażu (Dr) założonego w korytach betonowych (rys.1).
- Koszty budowy czerpni nurtowego ujęcia wody z rurą perforowaną są droższe od czerpni nurtowego ujęcia z wlotem poszerzonym stożkowym.
- Koszty budowy czerpni drenażowego ujęcia wody z drenami w korytach betonowych są droższe od czerpni drenażowego ujęcia z drenami założonymi bezpośrednio w gruncie pod dnem cieku.
- Koszty budowy zespolonych ujęć wody nurtowo - drenażowych z drenami w korytach betonowych, dla wszystkich badanych prędkości wlotowych oraz przepływów są większe od kosztów zespolonych ujęć z drenami założonymi bezpośrednio w gruncie pod dnem cieku (rys.2, rys.3).
- Średnica czerpni z poszerzonym wlotem stożkowym (dla czystej i brudnej wody) zmienia się w zależności od prędkości wlotowych i poboru wody, a jej wymiary wahają się od 100 do 1200 mm. Biorąc pod uwagę wymiary wlotów (dla czystej i brudnej wody) oraz liczbę czerpni, przy ujmowaniu wody $> 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ (dla prędkości wlotowych 0,05 i 0,1 m/s) można wziąć pod uwagę inne rozwiązania, np. w oparciu o ocenę ekonomiczną, jeśli nie ma zjawisk sryżowo - lodowych można do projektowania przyjmować prędkości wlotowe większe od 0,1 m/s i zastosować ekrany chroniące ryby oraz narybek.



Rys.3. Porównanie kosztów budowy zespolonych ujęć wody nurtowo-drenażowych od wydajności Q i rodzaju ujęcia, dla prędkość wlotowej $V_{wi}=0,1 \text{ m/s}$. Dla wskaźnika gotowości źródła wody $K_{zrW}=0,9940277$ (brudna woda) oraz $K_W=0,9911577$.

Fig.3. Dependence of construction costs of costs of combined (submerged - drainage) water intakes on discharge Q and a intake kind, for the inlet velocity $V_{wi}=0,1 \text{ m/s}$. For the availability index of the water source $K_{zrW}=0,9940277$ (dirty water) and $K_W=0,9911577$.

- Wzrost kosztów budowy czerpni z rury perforowanej zespolonego ujęcia wody związany ze zmniejszeniem prędkości wlotowej z 0,3, 0,2 lub 0,1 na 0,05 m/s wynosi od 1,5 - 13,2%, dla poborów od 0,005 - 0,05 m³/s. Dla poborów 0,1 - 0,2 m³/s zauważa się znaczny wzrost kosztów od 22,8 - 77,9%.
- Wzrost kosztów budowy czerpni z wlotem poszerzonym stożkowym zespolonego ujęcia wody związany ze zmniejszeniem prędkości wlotowej z 0,3, 0,2 lub 0,1 na 0,05 m/s jest niewielkiego rzędu, tj. od 0,12 - 3,2%, dla poborów od 0,005 - 0,05 m³/s. Dla poborów 0,1 - 0,2 m³/s zauważa się znaczny wzrost kosztów od 15,1 - 43,4%.
- Dla zespolonych ujęć wody nurtowo - drenażowych z czerpnią z wlotem poszerzonym stożkowym oraz z czerpnią z rury perforowanej o wydajności do 0,05 m³/s (dla czystej i brudnej wody) biorąc pod uwagę nieduży wzrost kosztów budowy czerpni i ochronę ryb, zaleca się projektować czerpnie nurtowego ujęcia dla prędkości wlotowych od < 0,1 m/s. Natomiast dla ujęć wody o wydajności > 0,05 m³/s należy rozważyć (w oparciu o analizę ekonomiczną) założenie przy projektowaniu większych prędkości wlotowych i przewidzieć urządzenia do ochrony ryb oraz narybku.
- Dla zespolonych ujęć wody nurtowo - drenażowych z drenami założonymi w korytach betonowych, drenaż zespolonego ujęcia wody przyjmuje tylko jeden element podstawowy n=1 przy poborze wody do 0,03 m³/s, a dla wydajności 0,05-0,2 m³/s przyjmuje od 2 do 5 elementów. Dla badanych wydajności drenaż nie przyjmuje elementów rezerwowych (m=0).
- Dla zespolonych ujęć wody nurtowo - drenażowych z drenami założonymi bezpośrednio w gruncie, drenaż zespolonego ujęcia wody przyjmuje tylko jeden element podstawowy n=1 przy poborze wody do 0,05 m³/s, a dla wydajności 0,1-0,2 m³/s przyjmuje od 2 do 5 elementów. Dla badanych wydajności drenaż nie przyjmuje elementów rezerwowych (m=0).
- Liczba elementów podstawowych komór piaskownika (dla czystej i brudnej wody) dla wydajności od 0,005-0,07 m³/s wynosi n=1, a dla poborów od 0,08 - 0,2 m³/s wynosi n=2.
- Piaskownik, rurociąg grawitacyjny i studnia zbiorcza nie przyjmują żadnych elementów rezerwowych dla wszystkich badanych przepływów, prędkości wlotowych oraz „czystej i brudnej wody”.

5. Podsumowanie i wnioski

Biorąc pod uwagę zakres wykonanych prac można sformułować następujące wnioski końcowe:

1. Opracowano metodę, która uwzględniając czynniki techniczne, ekonomiczne i niezawodnościowe pozwala na wybór najlepszego rozwiązania technicznego z obszaru rozwiązań dopuszczalnych dla wymaganego poziomu niezawodności i minimalnych kosztów budowy.
2. Program może być stosowany dla zespolonych ujęć wody nurtowo - drenażowych z grawitacyjnym rurociągiem odprowadzającym wodę do studni zbiorczej, przy wstępnej analizie nowych rozwiązań technicznych lub modernizacji istniejących.
3. Program umożliwia wybór liczby czerpni nurtowego i drenażowego ujęcia wody, rurociągu grawitacyjnego, piaskownika i studni zbiorczej oraz ich wymiarów.

- Wyznacza straty energetyczne, wysokość piętrzenia progów oraz wskaźniki niezawodności zespołów i całego ujęcia wody.
4. Zaproponowana metoda obliczeniowa umożliwi również symulację komputerową działania ujęcia wody w warunkach pracy z pominięciem źródła wody oraz w przypadku pojawienia się losowych zdarzeń źródła wody, których skutki są jeszcze dopuszczalne.
 5. W przypadku zespolonych ujęć wody nurtowo – drenażowych o wydajności $\leq 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$, biorąc pod uwagę nieduży wzrost kosztów budowy ujęcia oraz ochronę ryb, zaleca się projektować czerpnie nurtowego ujęcia dla prędkości wlotowych od 0,05-0,1 m/s.
 6. W przypadku zespolonych ujęć wody nurtowo – drenażowych o wydajności $> 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$, przy projektowaniu czerpni nurtowego ujęcia należy rozważyć (w oparciu o analizę ekonomiczną) założenie większych prędkości wlotowych i zastosowanie urządzeń do ochrony ryb i narybku..

Niniejszą pracę wykonano w ramach Projektu Badawczego nr 1238/T09/2005/28

Bibliografia

- [1] Budziło B., Jacek Filimowski, *Model drenażowego ujęcia wody z uwzględnieniem czynników ekonomicznych i niezawodnościowych* VII Międzynarodowa Konferencja XVIII Krajowa Konferencja, Zaopatrzenia w wodę i ochrona wód, Water Supply and Water Quality, Tom I, Zakopane 2006 s.169-176.
- [2] Budziło B., Filipowski, *Reliability assessment of selected drainage water intakes*, *Journal of Environmental* IV Konferencja Naukowo – Techniczna pt.: Postęp w Inżynierii Środowiska Bieszczady „Bystre” k. Baligrodu 21-23 wrzesień, 2006.
- [3] Budziło B., Polok – Kowalska A. 2007, *Badania niezawodności wybranych ujęć wody*. IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna „Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody” Szczyrk 10-12 maj 2007s.45-51.
- [4] Budziło B., Polok – Kowalska A.2007, *INVESTIGATIONS OF DRAINAGE AND SUBMERGED WATER INTAKES IN SOUTHERN POLAND*. 10-th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering. Solaris, Šibenik. Croatia 4-9 September 2007. s. 43.
- [5] Chen Zhiming, Ettema R., Yong Lai, *Ice – Tank and Numerical Study of frazil Ingestion by Submerged Intakes*. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 130, No 2, 2004, s.101 – 111.
- [6] Daly S.F., Ettema R., *Frazil ice blockage of water intakes in the Great Lakes*. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 132, No 8, 2006, s. 814 – 824.
- [7] Daly S.F., *Frazil Ice Blokage of intake trash Racks*, USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory Hanover, New Hampshire 03755-1290, Cold Regions technical Digest, No 91-1, March 1991.s. 1-12.

- [8] Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, Ontario, Kanada 1995: *Freshwater Intake End-of-Pipe fish Screen Guideline*.
<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/223669.pdf>
- [9] Egorov A.I. *Sbor wody dyrčatymi trubami s postajannych śagom otverstij*. Vodossnabženije i Sanitarnaja tehnika, No 6, 1972, s. 6-9.
- [10] Morse B., Trudeau G., *Agencemnt de prices d'eau au region nordique*. Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 30, No 1, 2003, s. 69 – 76.
- [11] National Marine Fisheries Service Environmental & Technical Services Division, Portland, Oregon, May 9, 1996, addendum: *Juvenile fish screen criteria for pump intakes*. < <http://swr.nmfs.noaa.gov/hcd/pumpcrit.htm> >
- [12] Porjadin A.F., *Vodozabory w sistingach centralizowanego wodossnabženija*. Moskwa Izdatielstwo NUMC Goskomekologii Rossii, 1999.
- [13] Richards R.T., Hroucich M.J., *Perforated - pipe water intake for fish protection*. Journal of Hydraulics Division, Vol.102, No HY2, 1976, s.139 – 149.
- [14] Schreiber D. L., Becker C.D. et al., 1974, *Intake system assessment for Central Columbia River*. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of the power Division. vol.100, PO 2, s.139 – 156.
- [15] Siergutin V.E., Turutin B.F., *Eksperimentalnoje isledowanie na modeli infiltracionnogo wodozaborya*. Wodossnabženie i Snitarnaja Tiechnika, Nr 5, 1969, s.7 – 10.
- [16] Tugaj A.M. Wodossnabbženie Wodozabornyje sooruzenija Kier: Viśća škola , 1984.
- [17] United States Patent No 6,051,131, Apr.18, 2000, Maxson R.C., *Flow modifier for submerged intake screen*.
- [18] Wiczysty A i in. *Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatżenia w wodę*. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Vol. 2, Kraków, 2001.

