

Wpłynęło 25.05.2019 r.  
Zrecenzowano 5.06.2019 r.  
Zaakceptowano 14.06.2019 r.

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

## NOWE URZĄDZENIA DO POMIARU I REGULACJI NATĘŻENIA PRZEPIYWU WODY W ROWACH ODWADNIAJĄCYCH I NAWADNIAJĄCYCH

**Edmund KACA**<sup>ABCDEF</sup>, **Janusz KUBRAK**<sup>ABCDEF</sup>,  
**Elżbieta KUBRAK**<sup>BCDEF</sup>, **Adam KICZKO**<sup>BCDEF</sup>, **Adam KOZIÓŁ**<sup>BCDEF</sup>,  
**Marcin KRUKOWSKI**<sup>BCDEF</sup>, **Zygmunt PIETRASZEK**<sup>BCDE</sup>

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

### Streszczenie

Celem pracy było opracowanie innowacyjnych urządzeń służących do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody w systemach nawodnień podsiąkowych. Są to: zasuwka dwudzielna z przelewem prostokątnym do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody, zasuwka dwudzielna z przelewem trójkątnym do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody, zestaw przelewów do regulacji piętrzenia oraz pomiaru i regulacji przepływu wody na przepustozastawce oraz regulator piętrzenia wody w rowie. Praca powstała na podstawie wiedzy eksperckiej, studium literatury oraz wizji terenowych. Opracowane prototypowe urządzenia charakteryzują się dużą funkcjonalnością, gdyż mogą być instalowane na istniejących piętrzących budowlach melioracyjnych oraz służą nie tylko do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody, lecz również do regulacji piętrzenia wody w rowach odwadniająco-nawadniających na trwałych użytkach zielonych. Zainstalowane na obiektach nawodnień podsiąkowych prototypy będą badane pod kątem dokładności i zakresu prowadzonego pomiaru oraz ich użyteczności w warunkach odwodnień i nawodnień poprzez regulację położenia wody w rowach melioracyjnych.

**Słowa kluczowe:** *BIOSTRATEG, hydrometria melioracyjna, nawodnienia podsiąkowe, rozrząd wody*

---

**Do cytowania For citation:** Kaca E., Kubrak J., Kubrak E., Kiczko A., Koziół A., Krukowski M., Pietraszek Z. 2019. Nowe urządzenia do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody w rowach odwadniających i nawadniających. Woda-Srodowisko-Obszary Wiejskie. T. 19. Z. 2 (66) s. 39–52.

## WSTĘP

Regulacja poziomu piętrzenia oraz regulacja i pomiar natężenia przepływu wody wymagają budowy na rowach w pobliżu zastawek melioracyjnych i przepustozastawek specjalnych budowli z przepływomierzami-regulatorami. Jest to rozwiązanie trudne do realizacji. W praktyce brak jest skutecznych urządzeń służących do pomiaru i regulacji natężenia przepływu oraz regulacji wysokości piętrzenia, które mogłyby być instalowane na typowych budowlach melioracyjnych. W strategicznym programie badań naukowych i prac rozwojowych „Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo” BIOSTRATEG w programie 3/347837/11/NCBR/2017 pt. „Innowacje technologiczne oraz system monitoringu, prognozowania i operacyjnego planowania działań melioracyjnych dla precyzyjnego gospodarowania wodą w skali obiektu melioracyjnego” oraz w ramach działalności statutowej opracowano urządzenia służące do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody w systemach nawodnień podsiąkowych. Przewiduje się, że urządzenia te będą charakteryzować się dużą dokładnością, szerokim zakresem pomiaru, a także możliwością funkcjonowania w warunkach podtopienia w dolnym stanowisku budowli, a ponadto umożliwią regulację natężenia przepływu w pożądanym zakresie. Opis wybranych urządzeń przedstawiono w niniejszym artykule.

## PROBLEM I CEL PRACY

Racjonalne gospodarowanie wodą na nawadnianych podsiąkowo, trwałych użytkach zielonych polega na ujęciu wody, zwykle z rzeki, i jej rozdzieleniu między nawadniane działy i kwatery. Ujęcie i rozrząd wody odbywa się za pośrednictwem budowli melioracyjnych, takich jak zastawki lub przepusty z piętrzeniem. Budowle te powinny umożliwiać piętrzenie wody na określonej rzędnej oraz regulację i pomiar natężenia przepływu wody. W praktyce taka sytuacja ma np. miejsce, gdy dwie zastawki melioracyjne lub przepusty z piętrzeniem w węźle rozrządu wody, oprócz regulacji i pomiaru natężenia przepływu wody, mają pełnić dodatkową funkcję, tj. piętrzenie wody na poziomie umożliwiającym nawadnianie podsiąkowe obszaru w górnych stanowiskach tych budowli. Funkcji tej nie wypełniają znane zamknięcia szandorowe, czyli zamknięcia układane z desek w prowadnicach.

Do regulacji piętrzenia oraz regulacji i pomiaru natężenia przepływu wody zazwyczaj są proponowane przepływomierze-regulatory z przystawką na wlocie regulatora albo ze zwężkowymi urządzeniami na wylocie z regulatora. Urządzenia te zostały szczegółowo scharakteryzowane w monografii autorstwa DĄBKOWSKIEGO i in. [1997]. Z zawartych tam opisów wynika, że urządzenia te nie mogą być stosowane na istniejących i budowanych zastawkach melioracyjnych i przepustach z piętrzeniem w rowach melioracyjnych w przypadku nawodnień podsiąkowych. Interakcja budowli powoduje, że zainstalowane na nich urządzenia pomiarowe tra-

cą zdolności pomiarowe. Bezpośrednią przyczyną tego jest ich podtopienie wodą w stanowisku dolnym budowli. Ponadto urządzenia te utrudniają regulację stanu wody górnej na poziomie umożliwiającym nawodnienie gruntów przyległych do górnego stanowiska budowli.

Celem pracy, realizowanej w ramach wymienionej we wstępie działalności, jest przedstawienie konstrukcji innowacyjnych urządzeń służących do regulacji wysokości piętrzenia oraz do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody w systemach nawodnień podsiąkowych. Urządzenia te powinny charakteryzować się dużą dokładnością, szerokim zakresem pomiaru, a także funkcjonować w warunkach podtopienia w dolnym stanowisku budowli. Muszą również umożliwiać regulację natężenia przepływu w wymaganym zakresie. Powinna istnieć możliwość ich instalowania na istniejących zastawkach melioracyjnych i przepustach melioracyjnych z piętrzeniem wody.

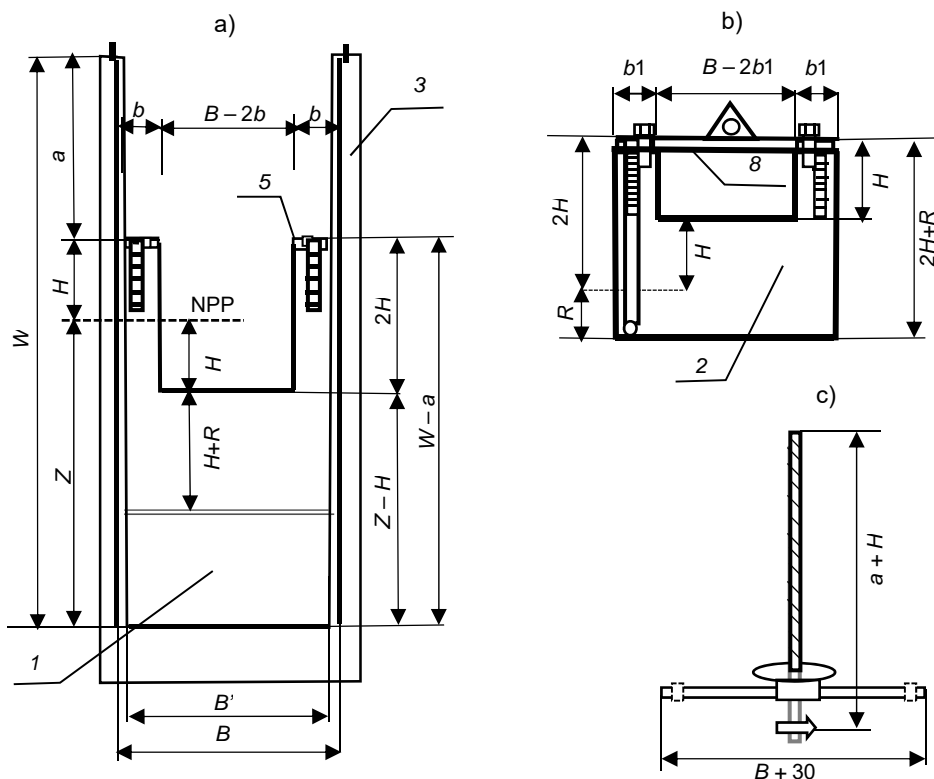
## **METODY BADAŃ**

Zaprezentowane w pracy wyniki są rezultatem badań przemysłowych, głównie prac rozwojowych. Na podstawie wyjazdów studialnych na istniejące obiekty melioracyjne oraz przeprowadzonych inwentaryzacji i ocen technicznych ustalono zakres przedmiotowy i problemowy pracy, zaś poprzez przegląd literatury (BOS [1989], KACA [1991], SWAMEE [1992], JĘDRYKA, KACA [1996; 1998], DĄBKOWSKI i in. [1997], GOEL [2006], HUSSAINA i in. [2011] oraz KUBRAK i KUBRAK [2018]), w tym zgłoszeń i patentów publikowanych w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej (UP), uzyskano informacje o stanie wiedzy oraz istniejących rozwiązaniach dotyczących problematyki pracy. Następnie opracowano założenia projektowo-konstrukcyjne i technologiczne rozwiązań i na ich podstawie wykonano projekty techniczne wstępne i robocze prototypów. Projekty robocze prototypów i prototypy zostały wykonane przez specjalistyczne przedsiębiorstwa. Wykonane prototypy zainstalowano na stanowiskach badawczych w dolinowych obiektach melioracyjnych i w laboratorium hydraulicznym Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie. Istotne rozwiązania zastosowane w urządzeniach zgłoszono do ochrony w UP. Konsultacje prowadzone przez autorów pracy oraz obserwacje i pomiary prowadzone podczas instalacji urządzeń na obiektach i w laboratorium przyczyniły się do powstania zaprezentowanych rozwiązań. W wyniku realizowanych prac badawczo-doświadczalnych powstaną udoskonalone wersje rozwiązań urządzeń.

## WYNIKI

### Zasuwa dwudzielna z przelewem prostokątnym do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody (Zgłoszenie patentowe: P.427824)

Dwudzielne zamknięcie zasurowe jest lekkim urządzeniem, służącym do pomiaru i regulacji natężenia przepływu w systemach nawodnień podsiąkowych. W urządzeniu tym górna zasuwa (2) stanowi przelew prostokątny (rys. 1), używany jako regulator stanów wody w górnym stanowisku budowli oraz jako urządzenie do pomiaru i regulacji przepływu. Podniesiona dolna zasuwa umożliwi



Rys. 1. Składowe zasuwy dwudzielnej z przelewem prostokątnym do pomiaru i regulacji przepływu wody (widok od strony wody górnej): a) zasuwa dolna w prowadnicach przyczółków zastawki melioracyjnej/przepustu z piętrzeniem wody, b) zasuwa górna, c) przenośny mechanizm wyciągowy zasuwy;  $a$  = maksymalna wysokość otwarcia zasuwy,  $b$  = szerokość przyczółku,  $W$  = wysokość przyczółków,  $B$  = szerokość otwarcia,  $R$  = minimalna wymiar nakładki zasuwy górnej na zasuwę dolną, NPP = normalny poziom piętrzenia; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Components of a double baffle gate with a rectangular weir for measuring and regulating water flow (view from the upstream side): a) bottom gate in the guides of the drainage gate abutments/culvert with water damming, b) upper gate, c) portable lifting mechanism;  $a$  = maximum sluice gate opening,  $b$  = side width,  $W$  = sides height,  $B$  = opening width,  $R$  = the minimum overlap height of the upper gate on the lower (sluice) gate, NPP = normal water level; source: own elaboration

wypływu wody pod zasuwą. W celu ustalenia natężenia przepływu przez budowlę mierzone są głębokości wody przed i za urządzeniem. Do wyznaczenia natężenia przepływu wody wykorzystuje się wzory do obliczeń natężenia przepływu przez prostokątny przelew, jak i przez otwór pod zasuwą. Przepustowość zasuw została określona w laboratorium hydraulicznym. Zasuwę można instalować na szandorowych zastawkach melioracyjnych oraz na melioracyjnych przepustach z piętrzeniem wody, ujmujących wodę do nawodnień podsiąkowych i na spustach wody z nawadnianych obszarów.

Zaprojektowana dwudzielna zasuwa z przelewem prostokątnym składa się z zasuw dolnej (1) z przelewem prostokątnym i zasuw górnej (2), zamocowanych w prowadnicach przyczółków (3) typowej szandorowej zastawki melioracyjnej lub przepustu melioracyjnego z możliwością piętrzenia wody (rys. 1a, b). W skład urządzenia wchodzi również przenośny mechanizm wyciągowy obu zasuw (rys. 1c). Przez odpowiednie ustawienie zasuw względem siebie i dna budowli uzyskuje się przepływ wody pod zasuwą dolną albo przepływ wody przez przelew prostokątny. Umożliwia to wykonywanie pomiarów przepływu i jego regulację w dużym zakresie (od kilku do kilkuset  $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), nawet w warunkach wysokich stanów wody w dolnym stanowisku budowli, co jest typowe w przypadku nawodnień podsiąkowych.

Zamknięcie może znajdować się w trzech fazach: 1) w fazie braku przepływu wody przez budowlę w warunkach stanu  $Z$  wody w górnym stanowisku budowli na rzędnej nieprzekraczającej normalnego poziomu piętrzenia – NPP, 2) w fazie przepływu wody pod zamknięciem dwuzasuwowym i 3) w fazie przepływu wody przez przelew prostokątny zamknięcia. Aby realizować pierwszą fazę, łączy się zasuwę górną z dolną za pomocą połączenia śrubowego. Zasuwy zachodzą na siebie na głębokość  $R$ . Spięte zasuwy są przesuwane w dół za pomocą mechanizmu wyciągowego. Następuje całkowite zamknięcie budowli. W fazie drugiej spięte zasuwy są unoszone, tworząc poniżej otwór o wysokości  $a'$ , nieprzekraczającej wartości  $a$ , przez który wypływa woda. Największy wymiar  $a$  otworu przepływu wody pod zasuwą jest warunkowany m.in. wysokością  $W$  przyczółków z prowadnicami budowli i wyraża się zależnością  $a = W - H - Z$ .

W fazie drugiej odbywa się pomiar i regulacja natężenia przepływu wody poprzez pomiar stanu wody górnej  $Z'$  oraz pomiar i sterowanie stanem wody dolnej  $Z_d$  i wysokością  $a'$  uniesienia zasuw nad dnem. Natężenie przepływu wody spod zasuw obliczane jest z zależności [KUBRAK, KUBRAK 2018]:

$$Q = C_d a' B' \sqrt{2gZ'} \quad (1)$$

gdzie:

$B'$  = szerokość prostokątnego otworu (rys. 1), równa odległości od prowadnic budowli;

$a'$  = wysokość uniesienia zasuw ( $a' < a$ );

$C_d$  = współczynnik wydatku dla zatopionego wypływu wody spod zasuw;  
 $g$  = przyspieszenie ziemskie.

Wartości współczynnika wydatku określane są na podstawie zmierzonej głębokości wody górnej  $Z'$  (przed zasuwą) i głębokości wody dolnej  $Z_d$  (poniżej zasuw) z równania:

$$C_d = p_0 \left(\frac{Z'}{a'}\right)^{p_1} \left(\frac{Z_d}{a'}\right)^{p_2} \quad (2)$$

Zależność jest poprawna, gdy  $Z_d > a'$ . Parametry geometryczne zasuw, to  $a'$  = wysokość otwarcia i  $B'$  = szerokość otworu. Natomiast parametry hydrauliczne, to  $Z'$  i  $Z_d$ , głębokości wody przed i za zasuwą. W przypadku prowadnic przytwierdzonych do ściany przyczółków budowli wartości tych współczynników, ustalone na podstawie laboratoryjnych pomiarów hydraulicznych, są równe:  $p_0 = 0,388$ ,  $p_1 = 0,889$ ,  $p_2 = -1,041$ .

W fazie trzeciej, w warunkach całkowitego zamknięcia budowli, następuje rozpięcie zasuw i obniżenie zasuw górnej na odpowiednią wysokość. Pomiar i regulacja natężenia przepływu są prowadzone poprzez pomiar i regulację wysokości  $H'$  wody przelewającej się przez prostokątny przelew. Natężenie przepływu wody przez niezatopiony prostokątny przelew jest obliczane wg zależności:

$$Q = mB''\sqrt{2g}H'^{1,5} \quad (3)$$

gdzie:

$B'' = B - 2b1$  = szerokość prostokątnego otworu (rys. 1), równa odległości od prowadnic budowli;

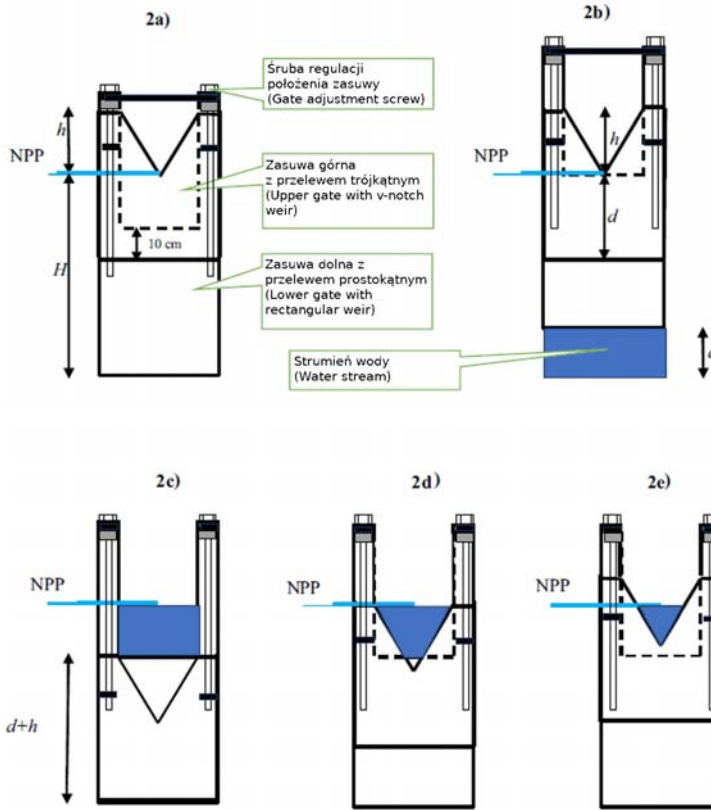
$m$  = współczynnik wydatku dla niezatopionego wypływu przez prostokątny przelew (zwierciadło wody dolnej jest 5 cm poniżej krawędzi przelewu);

$g$  = przyspieszenie ziemskie.

Wartości współczynnika wydatku  $m$  obliczane są na podstawie zmierzonej warstwy  $H'$  wody przelewającej się nad krawędzią przelewu, odległości bocznych krawędzi przelewu od pionowych ścian budowli ( $b1$ ), szerokości otworu prostokątnego przelewu ( $B - 2b1$ ) oraz wzniesienia krawędzi przelewu nad dnem, z równania ustalonego na podstawie pomiarów hydraulicznych.

### Zasuwa dwudzielna z przelewem trójkątnym do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody

Dwudzielna zasuga składa się z zasuw dolnej z przelewem prostokątnym i górnej z przelewem trójkątnym, zamocowanych w prowadnicach typowej szandorowej zastawki melioracyjnej (bez mechanizmu wyciągowego). W skład urządzenia wchodzi także śruby regulacji położenia zasuw i ich blokady (rys. 2a). Przez odpowiednie ustawienie zasuw względem siebie i dna budowli uzyskuje się prze-



Rys. 2. Schemat zasuw dwudzielnej z pomiarem i regulacją przepływu wody (widok od strony wody górnej): a) piętrzenie wody na poziomie NPP i brak przepływu, b) pomiar i regulacja przepływu wody pod zasuwą, wpust wody, c) pomiar i regulacja przepływu wody zasuwą górną, przelew prostokątny, d) pomiar i regulacja przepływu wody zasuwą dolną, przelew trapezowy, e) pomiar i regulacja przepływu wody zasuwą górną, przelew trójkątny; NPP = normalny poziom piętrzenia,  $h$  = wysokość przelewu trójkątnego,  $d$  = odległość między krawędzią przelewu trójkątnego a zasuwą;

źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Schema of the double baffle gate for measuring and regulating water flow (view from the upstream side): a) normal water level with no flow, b) measurement and regulation of water flow under the gate, water inlet, c) measurement and regulation water flow with the upper gate, rectangular weir, d) measurement and regulation of the water flow with the bottom gate, trapezoidal weir, e) measurement and regulation of the water flow with the top gate, triangular weir; NPP = normal water level,  $h$  = v-notch weir height,  $d$  = distance between v-notch weir and sluice gate crests; source: own elaboration

pływ wody pod zasuwą (rys. 2b) albo przepływ wody przez przelew prostokątny (rys. 2 c), trapezowy (rys. 2d) lub trójkątny (rys 2e). Umożliwia to prowadzenie pomiarów przepływu i jego regulację w dużym zakresie, nawet w warunkach wysokich stanów wody w dolnym stanowisku budowli, co jest typowe w przypadku nawodnień podsiąkowych. Szczególnie istotne jest określenie przepustowości za-

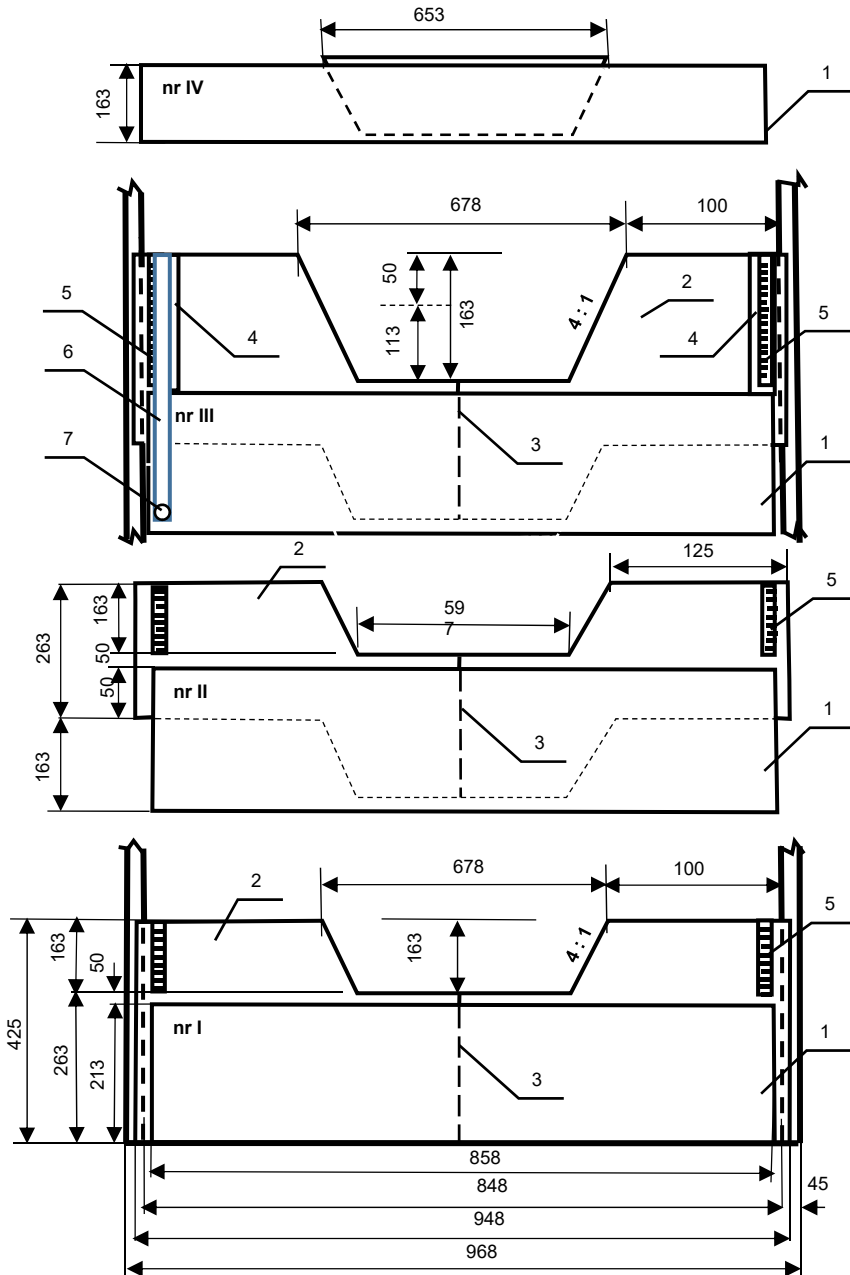
suwy dwudzielnej z przelewem trójkątnym, w której kształt przelewu zmienia się od prostokątnego do trapezowego czy też trójkątnego w zależności od sposobu ustawienia zasuw.

### **Zestaw przelewów do regulacji piętrzenia oraz pomiaru i regulacji przepływu wody na przepustozastawce (zgłoszenie patentowe P.427958)**

Urządzenie do pomiaru i regulacji natężenia przepływu oraz piętrzenia wody na zastawce (przepuszczenie z piętrzeniem) składa się z szandorów z przelewami, których liczba jest równa przyjętej liczbie poziomów piętrzenia wody przez budowlę. Gdy zestawi się wszystkie szandory, uzyska się maksymalny poziom piętrzenia  $H_{\max}$ . Szandory mogą być wykonane z tworzywa sztucznego (np. HDPE, kompozytu) lub z drewna i są łączone między sobą na zwykłą zakładkę. Do szandorów przykręcone są stalowe przelewy trapezowe (Cipolettiego) o nachyleniu krawędzi bocznych 4:1. Dla tego typu przelewów jest dobrze opracowana zależność natężenia przepływu od wymiarów przelewu i wysokości warstwy przelewającej się wody przez przelew. Przelewy są wykonane z płyty stalowej o grubości 2–3 mm i zabezpieczone przed korozją. Od strony wody górnej powinien być naklejony na płytę pasek z elastycznej gumy zagięty w kierunku wody górnej, stanowiący uszczelnienie boczne przelewu.

Przykładowy zestaw przelewów zaprojektowany dla maksymalnego poziomu piętrzenia  $H_{\max} = 0,80$  m składa się z przelewu dolnego nr I (rys. 3 – widok od strony wody górnej), przelewu pośredniego nr II, przelewu górnego nr III oraz szandora górnego nr IV z krawędzią przelewową. Każdy przelew zbudowany jest z szandora (1) drewnianego lub z tworzywa sztucznego i odpowiednio wyciętej stalowej płyty (2) z dwoma haczykami od strony wody dolnej do wyciągania przelewu (niewidocznych na rysunku). Krawędź tego przelewu jest wzniesiona nad górną krawędzią łączącego się z przelewem szandora na wysokość 50 mm. Dolna część płyty przelewu musi być tak wycięta, aby płyta przylegała do krawędzi przelewu niżej położonego i aby zachodziła na górną część szandora na głębokości 50 mm. Płyta stalowa (2) przelewu jest ściśle przytwierdzana do szandora (1) za pomocą drewnokrętów. Płyta stalowa (2) może być rozcięta w połowie swej długości (3), co ułatwia instalację przelewu w prowadnicach zastawki zaślepionych od góry. Jedną połówkę płyty przelewu przykręca się do szandora w czasie montowania przelewu na budowli. Na skrajach płyty przelewu górnego nr III przytwierdza się krótkie prowadnice (4), służące do montowania szandora nr IV z krawędzią. Podstawowa wysokość szandorów wynosi  $a = 213$  mm. Szandor nr IV z krawędzią przelewową ma wysokość równą 163 mm. Szandory mają długość równą 858 mm. Na każdym przelewie powinny być naklejone lub namalowane od strony wody górnej i od strony wody dolnej dwa wodowskazy (5) z podziałką milimetrową. Na szandorach od strony wody górnej i na przelewach od strony wody dolnej, naprzeciw lub w miejscu wszystkich wodowskazów należy przymocować na stałe zawiasy, a na nich zdejmowane piezometry w postaci pionowej rury (6) o średnicy ok.





Rys. 3. Zestaw przelewów do regulacji piętrzenia oraz pomiaru i regulacji przepływu wody na zastawce zaprojektowany dla maksymalnego poziomu piętrzenia  $H_{\max} = 0,80$  m (skala skażona, wymiar w mm); źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Set of weirs for the damming regulation, measurement and regulation of water flow on the check designed for the maximum damming level  $H_{\max} = 0.80$  m (distorted scale, dimensions in mm); source: own elaboration

30 mm, do której jest podłączona na trwałe kolankiem pozioma rura (7) z zaślepionym końcem, o średnicy ok. 30 mm i długości ok. 30 cm. Na końcu tej rury znajduje się perforacja umożliwiająca dopływ wody do piezometru i pomiar stanu wody w piezometrze za pomocą odpowiedniej miarki z podziałką milimetrową lub w przypadku większej średnicy rury pionowej (ok. 50 mm) – pomiar tego stanu za pomocą urządzenia elektronicznego. Wynik tego pomiaru będzie stosowany do obliczania wysokości warstwy wody  $H'$  przelewającej się przez przelew. Instalacja zestawu przelewów nie jest skomplikowana. W prowadnicach budowli montuje się tyle przelewów z szandorami, aby górna krawędź utworzonej z nich przegrody znajdowała się co najmniej 0,05 m powyżej zwierciadła wody dolnej. Spełnienie tego warunku jest konieczne, aby zestaw przelewów mógł pełnić funkcję regulacji i pomiaru natężenia przepływu wody. Najpierw montuje się przelew nr I; jeśli istnieje taka potrzeba – na nim przelew nr III i ew. szandor nr IV z krawędzią przelewową. W warunkach wyższych piętrzeń wody górnej lub wyższych stanów wody dolnej, podtapiającej przelewy już zamontowane, na przelewie dolnym nr I instaluje się przelew pośredni nr II, a na nich przelew górny nr III i ewentualnie szandor nr IV z krawędzią przelewową. Zestaw może posiadać kilka przelewów pośrednich. W celu zapewnienia większej szczelności zamknięcia przelew górny nr III może być zaklinowany w prowadnicach budowli piętrzącej. Natężenie  $Q$  ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) przepływu wody przez przelew oblicza się wg zależności:

$$Q = 1,86bH'^{1,5} \quad (4)$$

gdzie:

$b$  = światło przelewu (długość dolnej krawędzi przelewu);

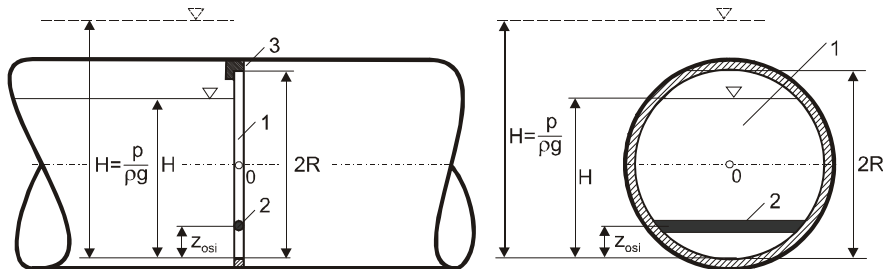
$H'$  = wysokość w metrach warstwy przelewającej się przez przelew wody, odczytywana na wodowskazach lub w piezometrach.

### **Regulator piętrzenia wody w rowie (zgłoszenie patentowe P.428319)**

Regulator został opracowany, wykonany i badany w laboratorium hydraulicznym i na obiekcie melioracyjnym w ramach projektu pt. „Regulator piętrzenia wody w rowie nawadniającym lub zbieraczu drenarskim”. Środki finansowe na te prace uzyskano z SGGW w ramach konkursu „Inkubator Innowacyjności+”.

Regulator piętrzenia wody w rowie (rys. 4) stanowi kłapa kołowa (1) zamocowana na poziomej, ułożyskowanej osi (2) w przepuście rurowym w rowie.

Zamknięta kłapa piętrzy wodę przed przepustem, wskutek czego rosną stany wody w rowie lub ciśnienia w rurociągu (rys. 4). Po osiągnięciu wymaganego stanu następuje przechyl kłapy – otwarcie i wypływ wody pod i nad kłapą. Obróceniu i położeniu się kłapy w kierunku wypływu zapobiega ogranicznik. Po otwarciu kłapy zostają samoczynnie usuwane namuły i osady z przepustu i rurociągu osadzone przed kłapą. Po obniżeniu zwierciadła wody wskutek wypływu przez otwór następuje samoczynne zamknięcie kłapy i ponownie rozpoczyna się proces piętrzenia wody w rowie/rurociągu. Ze względu na położenie osi obrotu kłapy poniżej

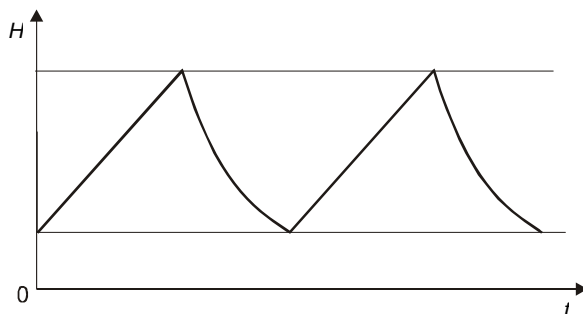


Rys. 4. Kłapa uchylna w rurociągu – kłapa zamknięta;  $H$  = piętrzenie wody w rurociągu bezcisnieniowym lub rurociągu ciśnieniowym,  $H = \frac{p}{\rho g}$  = wysokość piętrzenia/ciśnienia w rurociągu ciśnieniowym,  $p$  = ciśnienie,  $\rho$  = gęstość wody,  $g$  = przyspieszenie ziemskie,  $R$  = promień kołowej kłapy,  $Z_{osi}$  = wzniesienie osi kłapy nad spodem kłapy, 1 = uchylna kłapa, 2 = oś kłapy, 3 = pierścień oporowy kłapy z magnesem; źródło: opracowanie własne

Fig. 4. Hinged gate in the pipeline – closed position;  $H$  = water head in a free surface or pressurized pipeline, height of damming/pressure in the pipeline,  $p$  = pressure,  $\rho$  = water density,  $g$  = gravitational acceleration,  $R$  = radius of the circular gate,  $Z_{osi}$  = elevation of the gate' axis above the gate bottom, 1 = hinging gate, 2 = gate axis, 3 = gate retarding ring with magnet; source: own elaboration

jej środka ciężkości, jej samoczynne zamknięcie wymaga zwiększenia ciężaru powierzchni kłapy położonej poniżej osi obrotu. Uzyskuje się to przez przyłożenie dodatkowego ciężarka do tej części kłapy. Regulację stanów wody, w warunkach których nastąpi otwarcie kłapy, umożliwi instalacja w górze kłapy specjalnego magnesu (3), podtrzymującego zamknięcie kłapy. Charakterystyczną cechą urządzenia jest samoczynne otwieranie się kłapy po spiętrzeniu wody i jej zamknięcie po zakończeniu wypływu. Przebieg zmian położenia zwierciadła wody w rowie przed kłapą w czasie pokazano na rysunku 5.

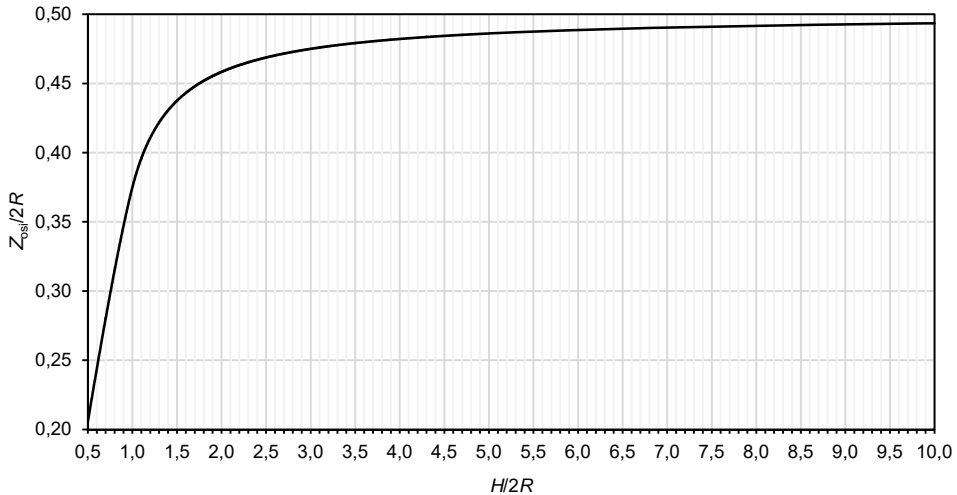
Kłapa może być instalowana na rurociągach przepustów o średnicy do 1,0 m i nie wymaga specjalnych prac konserwacyjnych ani utrzymaniowych.



Rys. 5. Zmiany położenia wody przed kłapą w rurociągu w czasie;  $t$  = czas,  $H$  = głębokość wody; źródło: opracowanie własne,

Fig. 5. Changes in water head upstream the hinged gate in the pipeline over time;  $t$  = time,  $H$  = depth of water; source: own elaboration

Warunkiem poprawnej pracy kłapy jest określenie wzniesienia osi kłapy  $Z_{osi}$  nad spodem kłapy dla zadanej wysokości piętrzenia wody  $H$ , w warunkach której kłapa musi się otworzyć (rys. 4). Problem ten rozwiązano, opracowując bezwymiarową zależność pokazaną na rysunku 6.



Rys. 6. Zależność do określenia położenia osi kłapy  $Z_{osi}$  na podstawie granicznej wysokości piętrzenia wody  $H$  przed kłapą, po przekroczeniu której następuje samoczynne otwarcie kłapy; źródło: opracowanie własne

Fig. 6. Dependency for the position of the gate  $Z_{osi}$  axis on the basis of the trigger water head  $H$  upstream the damper, above which the gate opens automatically; source: own elaboration

## PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono dotychczasowe wyniki nad opracowaniem innowacyjnych urządzeń służących do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody w systemach nawodnień podsiąkowych. Są to następujące urządzenia: zasuwa dwudzielna z przelewem prostokątnym do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody, zasuwa dwudzielna z przelewem trójkątnym do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody, zestaw przelewów do regulacji piętrzenia oraz pomiaru i regulacji przepływu wody na przepustozastawce oraz regulator piętrzenia wody w rowie.

Prace te wykonano w strategicznym programie badań naukowych i prac rozwojowych „Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo” BIOSTRATEG w programie 3/347837/11/NCBR/2017 pt. „Innowacje technologiczne oraz system monitoringu, prognozowania i operacyjnego planowania działań melioracyjnych dla precyzyjnego gospodarowania wodą w skali obiektu melioracyjnego” oraz w ramach działalności statutowej, w części dotyczącej urządzeń służących do regulacji pię-

trzenia oraz do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody w systemach nawodnień podsiąkowych, instalowanych na istniejących zastawkach melioracyjnych oraz melioracyjnych przepustach z piętrzeniem. Są to następujące urządzenia: zasuwka dwudzielna z przelewem prostokątnym do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody, zasuwka dwudzielna z przelewem trójkątnym do pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody, zestaw przelewów do regulacji piętrzenia oraz pomiaru i regulacji przepływu wody na przepustozastawce oraz regulator piętrzenia wody w rowie.

Prototypy tych urządzeń zostały zainstalowane na stanowiskach badawczych w laboratorium hydraulicznym i na obiektach melioracyjnych. Wyniki badań powinny potwierdzić pożądaną dokładność oraz wymagany zakres pomiaru i regulacji natężenia przepływu wody na tych urządzeniach, a także możliwość ich funkcjonowania w warunkach podtopienia w dolnym stanowisku budowli.

### Podziękowania

Praca ta została wykonana w projekcie “Innowacje technologiczne oraz system monitoringu, prognozowania i operacyjnego planowania działań melioracyjnych dla precyzyjnego gospodarowania wodą w skali obiektu melioracyjnego (INOMEL)”, w ramach programu BIOSTRATEG3, sfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Umowa numer 3/347837/11/ NCBR/2017.

## BIBLIOGRAFIA

- BOS M.G. 1989. Discharge measurement structures. Wyd. 3 popr. Publication. No. 20. Wageningen, The Netherlands. ILRI. ISBN 9070754150 ss. 401.
- DĄBKOWSKI S.L., JĘDRYKA E., KACA E., KOVALENKO P.I., ČALYJ B., MICHAJLOV J.A. 1997. Urządzenia i budowle do pomiaru przepływu wody w systemach wodno-melioracyjnych [Devices and water structures for flow rate measurements in irrigation systems]. Biblioteczka Wiadomości IMUZ. Nr 91. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 838573564X ss. 144.
- GOEL A. 2006. On a flow meter for discharge measurement in irrigation channels. Flow Measurement and Instrumentation. No. 17 s. 255–257.
- HUSSAIN A., AHMADA Z., ASAWAB G.L. 2011. Flow through sharp-crested rectangular side orifices under free flow condition in open channels. Agricultural Water Management. No. 98 s. 1536–1544.
- JĘDRYKA E., KACA E. 1996. Pomiar natężenia przepływu wody na typowej zastawce z zamknięciem zasuwowym. W: Problemy kształtowania środowiska obszarów wiejskich [The measurement of discharge of typical sluice gate. In: Problems of environmental shaping in rural areas]. Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska. Z. 11 s. 43–51.
- JĘDRYKA E., KACA E. 1998. Ocena błędów oszacowania wartości współczynnika wydatku melioracyjnych zastawek zasuwowych [Assessment of the error in estimating an output coefficient value for amelioration gate weirs]. Wiadomości IMUZ. T. 19. Z. 3 s. 129–142.
- KACA E. 1991. Pomiar i regulacja natężenia przepływu wody na małych budowlach ujęciowych [Measurement and regulation of water flow on small water intake structures]. Wiadomości IMUZ. T. 17. Z. 1 s. 107–126.

- KUBRAK E., KUBRAK J. 2018. Podstawy obliczeń z mechaniki płynów w inżynierii i ochronie środowiska [Basic calculations in fluid mechanics for engineering and environmental protection]. Warszawa. Wydaw. SGGW. ISBN 9788375837797 ss. 514.
- SWAMEE P.K. 1992. Sluice-gate discharge equations. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 118. Iss. 1 s. 56–60.

*Edmund KACA, Janusz KUBRAK, Elżbieta KUBRAK, Adam KICZKO,  
Adam KOZIOŁ, Marcin KRUKOWSKI, Zygmunt PIETRASZEK*

## **INNOVATIVE DEVICES FOR MEASURING AND CONTROLLING WATER FLOW RATE IN DRAINAGE AND IRRIGATION CANALS**

**Key words:** *BIOSTRATEG, hydrometry in irrigation systems, sub-irrigation, water distribution*

### **S u m m a r y**

The aim of the work was to develop innovative devices for measuring and regulating flow rate in irrigation systems. These are: double-split gate with rectangular weir for measuring and regulating the water flow rate, double-split gate with triangular weir for measuring and regulating water flow rate, set of weirs for the damming regulation, measurement and regulation of water flow on the check designed for the maximum damming level and hinged gate in the pipeline. The work is based on the expertise, the study of literature and field vision. The developed prototype devices are characterized by high functionality, as they can be installed on existing irrigation structures and can be used not only to measure and regulate the water flow rate, but also to control water retention in drainage and irrigation ditches in agricultural areas. The prototypes installed in the sub-irrigation systems will be tested in terms of the accuracy and complexity of the measurements and usefulness in irrigation conditions for controlling the water retention in ditches.

**Adres do korespondencji:** prof. dr hab. Edmund Kaca, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa; e-mail: edmund\_kaca@sggw.pl