

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 69, 2015: 224–235  
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 69, 2015)

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 69, 2015: 224–235  
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 69, 2015)

**Elżbieta KUBRAK, Monika RASIŃSKA, Witold GRABOWSKI**

Laboratorium – Centrum Wodne SGGW w Warszawie  
Water Center Laboratory WULS – SGGW

## **Charakterystyki przepustowości wirowego regulatora stożkowego z niezatopionym i zatopionym wylotem**

### **Flow characteristics of the conical vortex regulator with unsubmerged and submerged outlet**

**Słowa kluczowe:** stożkowy regulator wirowy, przepustowość regulatora, charakterystyka przepustowości, współczynnik przepływu, współczynnik oporów

**Key words:** conical vortex regulator, vortex regulator capacity, flow characteristic, discharge coefficient, loss coefficient

## **Wprowadzenie**

Urządzenia do regulacji przepływu cieczy są stosowane w ciekach i sieci kanalizacji ściekowej. Pozwalają na przyłączenie nowych zlewni do istniejących kolektorów charakteryzujących się ograniczoną przepustowością. Chronią zbiorniki o niewielkiej powierzchni przed nadmiernymi zrzutami wody opadowej. Pełnią funkcję ochronną dla oczyszczalni, zapobiegając przeciążeniom hydraulicznym sieci w czasie opadu. Mogą również znaleźć zastosowanie do sterowania natężeniem przepływu wody czy ścieków na stacjach

uzdatniania wody, oczyszczania ścieków w obiektach sieciowych, takich jak: pompownie, zbiorniki retencyjne, przelewy burzowe i separatory (Helman, 1998). W budownictwie wodnym stosowane są wirowe regulatory przepływu jako rozpraszacze energii w upustach dennych, studzienkach spadowych, a także jako urządzenia zawirujące strumień cieczy dopływającej do pomp, co pozwala istotnie zwiększyć ich moc (Kotowski, 2011).

Regulatory przepływu cieczy dzieli się na aktywne, czyli mające ruchome elementy, oraz pasywne – nieposiadające takich elementów (Kotowski, 2011). Regulatory przepływu wyposażone w ruchome części mechaniczne to kryzy, zasowy i przepustnice. Regulatory pasywne do ograniczenia objętościowego natężenia przepływu cieczy wykorzystują opory liniowe lub miejscowe przepływającej cieczy. Najprostszym pasywnym regulatorem wykorzystującym opory li-

niowe jest rura dławiąca o znacznej długości. Pasywnym urządzeniem dławiącym przyływ, wykorzystującym opory liniowe w połączeniu z miejscowymi, jest układ połączonych łuków lub kolan przewodów. Nowoczesne urządzenia pasywne regulujące przepływ, wykorzystujące dławienie miejscowe, nazywa się regulatorami wirowymi. Regulatory te dzieli się na cylindryczne i stożkowe w zależności od kształtu komory regulatora.

Wirowe regulatory przepływu wykorzystują energię napływającej do regulatora cieczy do wywołania wirowego przepływu cieczy w komorze regulatora. Wirowy przepływ cieczy stanowi miejscowe dławienie, co skutecznie zwiększa opory przepływu przez regulator i ogranicza natężenie wypływu cieczy z komory regulatora. Zaletą regulatorów wirowych jest prosta budowa i brak elementów ruchomych, co gwarantuje niezawodność ich działania, wadą zaś jest konieczność określenia w badaniach hydraulicznych charakterystyk przepływu.

Celem pracy było wyjaśnienie, jak zatopienie wylotu ze stożkowych regulatorów wirowych wpływa na ich prze-

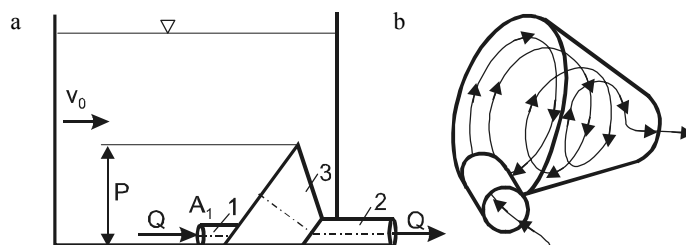
pustowość. Osiągnięcie założonego celu umożliwiła analiza charakterystyk przepustowości, wyznaczonych w badaniach hydraulicznych, dwóch stożkowych regulatorów wirowych pracujących z niezatopionym i zatopionym wylotem.

## Zasada działania stożkowych regulatorów wirowych

W stożkowym regulatorze wirowym (3) ciecz dopływa do urządzenia króćcem dopływowym (1) zainstalowanym skośnie w podstawie stożka ściętego o większej średnicy, a wypływa przez otwór (2), będący mniejszą podstawą stożka (rys. 1a). Efekt dławiący w regulatorze osiągany jest przez wymuszenie przepływu wirowego w komorze (rys. 1b).

Analityczny opis przepływu cieczy przez regulator w ruchu wirowym wykorzystuje zależność Torricellego na natężenie wypływu cieczy przez otwór przy pominięciu prędkości dopływu wody ( $v_0 \approx 0$ ):

$$Q = \mu A_1 \sqrt{2g\Delta H} \quad (1)$$



RYSUNEK 1. Schematy: a – stanowiska z regulatorem stożkowym, b – przepływu wirowego przy przepływie cieczy przez regulator stożkowy; 1 – króciec dopływowy, 2 – króciec odpływowy, 3 – komora stożkowego regulatora wirowego

FIGURE 1. Schematic diagrams: a – of the test bench, b – of the spinning motion of a flow of liquid through the regulator cone; 1 – the inlet connector, 2 – discharge outlet, 3 – the conical vortex chamber regulator

Współczynnik przepływu (wydatku)  $\mu$  wyznaczany jest doświadczalnie dla każdego typu regulatora z przekształconej zależności (1):

$$\mu = \frac{Q}{A_1 \sqrt{2g\Delta H}} \quad (2)$$

Różnica wysokości ciśnienia ( $\Delta H$ ) wyznaczona z przekształconej zależności (1) jest równa wysokości straconej energii w regulatorze:

$$\Delta H = \frac{1}{\mu^2} \frac{Q^2}{2gA_1^2} = \xi \frac{Q^2}{2gA_1^2} \quad (3)$$

gdzie:

$\Delta H$  – różnica wysokości ciśnienia cieczy przy przepływie przez regulator [m],

$Q$  – objętościowe natężenie przepływu wody przez regulator [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$A_1$  – powierzchnia przekroju króćca dopływowego ( $A_1 = \pi d_1^2 / 4$ ) [ $\text{m}^2$ ],

$d_1$  – średnica króćca dopływowego [m],

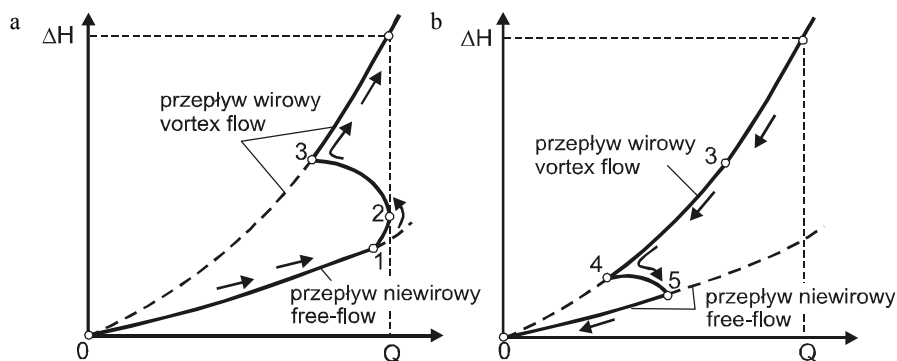
$\mu$  – współczynnik przepływu regulatora [-],

$\xi$  – współczynnik oporów miejscowych regulatora [-],

$g$  – przyspieszenie ziemskie [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ].

Z porównania obu zależności określono związek między współczynnikiem przepływu regulatora a współczynnikiem oporów:  $\xi = 1/\mu^2$ .

Początkowo, gdy napór cieczy ( $\Delta H + \frac{v_0^2}{2g}$ ) przed wlotem do regulatora jest niewielki, przepływ odbywa się jako niewirowy (odcinek 0-1 charakterystyki przepływu na rysunku 2a). W miarę zwiększenia wysokości naporu przepływ niewirowy cieczy przechodzi w wirowy, pomimo zamknięcia pewnej objętości powietrza w komorze wirowej (punkt 2 na rys. 2a), a następnie powoduje częściowe jego wyparcie z komory (punkt 3 na rys. 2a) i powstanie przepływu wirowego z powietrznym rdzeniem. Energia potencjalna cieczy przed wlotem do regulatora zamienia się przy przejściu przez regulator w energię kinetyczną. W wyniku działania siły odśrodkowej w wirującym strumieniu cieczy najwięk-



RYSunEK 2. Charakterystyka hydrauliczna regulatora wirowego stożkowego: a – wzrastający napór na dopływie, b – malejący napór na dopływie (Wójtowicz i Kotowski, 2008)

FIGURE 2. Hydraulic characteristic of the conical regulator: a – pressure increase at the inlet, b – pressure decrease at the inlet (Wójtowicz and Kotowski, 2008)

sze ciśnienie jest na obwodzie większej podstawy stożka (Kotowski, 2011). Dławi to skutecznie dopływ cieczy do stożkowej komory regulatora z przewodu zasilającego. Z kolei strumień z powietrznym rdzeniem skutecznie ogranicza pole wypływu cieczy z komory regulatora. W ten sposób powstają znaczne opory hydrauliczne przy przepływie cieczy przez urządzenie.

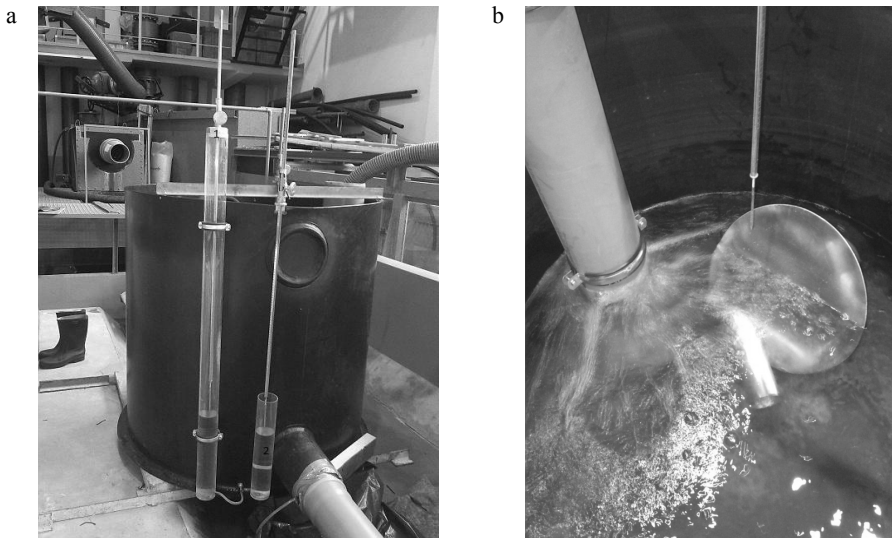
Zmniejszanie wysokości naporu cieczy na dopływie do regulatora powoduje, że maleje objętościowe natężenie przepływu cieczy przez regulator i do punktu 3 na rysunku 2b charakterystyka hydrauliczna urządzenia pokrywa się z tą z czasu wzrostu naporu. Dalsze zmniejszanie naporu powoduje zapowietrzenie się regulatora (punkt 4 na rys. 2b) i zanika przepływ wirowy w komorze regulatora (punkt 5 na rys. 2b), powodując powstanie tzw. fali płuczącej. Proces powolnego powstawania, a następnie szybkiego zaniku przepływu wirowego przy zmianach naporu powoduje bistabilność charakterystyki urządzenia (Wójtowicz i Kotowski, 2008).

Charakterystyka hydrauliczna stożkowego regulatora wirowego cechuje się histerezą, co oznacza, że w początkowym okresie jego działania przy małych rosnących wysokościach naporu ( $\Delta H$ ) i wzroście natężenia przepływu cieczy ( $Q$ ) nie pokrywa się ona z charakterystyką przy malejących wysokościach naporu ( $\Delta H$ ) i malejącym natężeniu przepływu cieczy ( $Q$ ). Współczynnik przepływu ( $\mu$ ) w formule (1) przyjmuje różne wartości w różnych etapach pracy regulatora (Wójtowicz i Kotowski, 2008; Kotowski i Wójtowicz, 2010). W praktyce o wiele istotniejsza niż przebieg histerezy jest znajomość charakterystyki przepustowo-

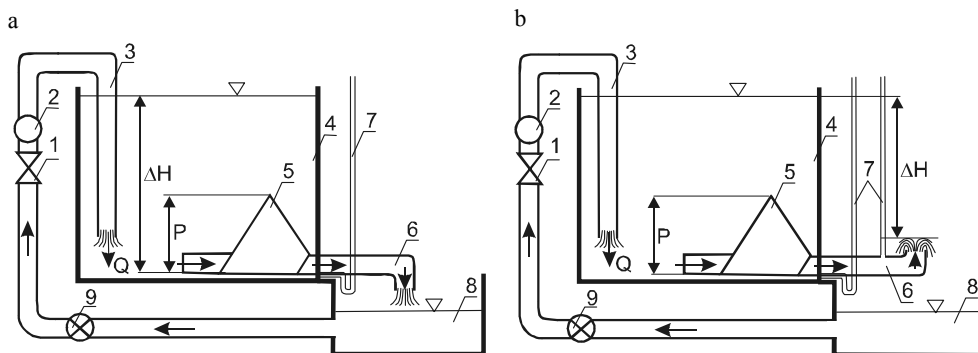
ści regulatora przy przepływie wirowym. Dlatego też metodykę badań dostosowano do wyznaczenia przede wszystkim tej charakterystyki i obliczenia na jej podstawie współczynników przepływu i oporów regulatora.

## Badania hydrauliczne

Badania przepustowości dwóch stożkowych regulatorów wirowych wykonano w laboratorium hydraulicznym Katedry Inżynierii Wodnej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Regulatory wykonano ze stalowej blachy nierdzewnej i umieszczono je w walcowym zbiorniku z polietylenu o wysokości 1,20 m i średnicy 1,20 m (rys. 3). Woda do zbiornika z regulatorem doprowadzona była z zamkniętego obiegu wody w laboratorium hydraulicznym. Natężenie dopływu wody do regulatora ustawiano za pomocą zaworu umieszczonego na przewodzie doprowadzającym, na którym zamontowano przepływomierz indukcyjny. Ze względu na falowanie wody w zbiorniku do pomiarów stanu wody wyprowadzono na zewnątrz zbiornika piezometr z wodowskazem szpilkowym. Badania przepustowości przeprowadzono dla zatopionego i niezatopionego wylotu z regulatora. Dla niezatopionego wylotu z regulatora różnicę wysokości ciśnienia ( $\Delta H$ ) między zwierciadłem wody w zbiorniku a spodem przewodu wlotowego mierzono piezometrem (rys. 4a). Przy zatopionym wypływie wody wysokość ciśnienia ( $\Delta H$ ) stanowiła różnicę wysokości ciśnienia wody w zbiorniku zasilającym i wysokości ciśnienia wody za wylotem z regulatora (rys. 4b).



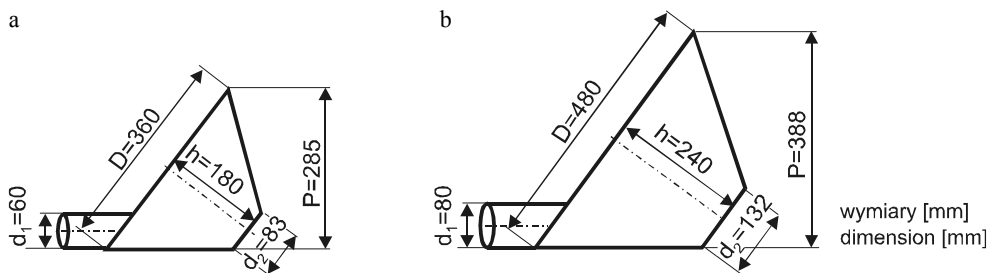
RYSUNEK 3. Stanowisko badawcze: a – zbiornik z regulatorem, b – regulator przepływu w komorze zasilającej  
 FIGURE 3. Experimental setup: a – supply chamber, b – a flow regulator in the supply chamber



RYSUNEK 4. Schemat stanowiska badawczego: a – wylot niezatopiony, b – wylot zatopiony; 1 – zawór, 2 – przepływomierz, 3 – przewód doprowadzający wodę do zbiornika zasilającego, 4 – komora zasilająca, 5 – stożkowy regulator przepływu, 6 – przewód odprowadzający wodę, 7 – piezometry, 8 – zbiornik dolny, 9 – pompa  
 FIGURE 4. Schematic diagram of the experimental setup: a – unsubmerged outlet, b – submerged outlet; 1 – valve, 2 – flowmeter, 3 – water supply line to the supply tank, 4 – supply chamber, 5 – conical vortex regulator, 6 – drain pipe, 7 – piezometer, 8 – tank bottom, 9 – pump

Badania przepustowości przeprowadzono dla dwóch regulatorów stożkowych o wymiarach pokazanych na rysunku 5. Regulator pierwszy (rys. 5a) zaprojektowany był dla natężenia przepływu  $Q$

$= 0,004 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  i wysokości ciśnienia  $\Delta H = 1,40 \text{ m}$  (Rasińska, 2015), regulator drugi (rys. 4b) – dla natężenia przepływu  $Q = 0,008 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  i wysokości ciśnienia  $\Delta H = 1,25 \text{ m}$  (Grabowski, 2015).



RYSUNEK 5. Wymiary badanych regulatorów: a – regulator pierwszy, b – regulator drugi  
 FIGURE 5. Dimensions of investigated flow regulators: a – first regulator, b – second regulator

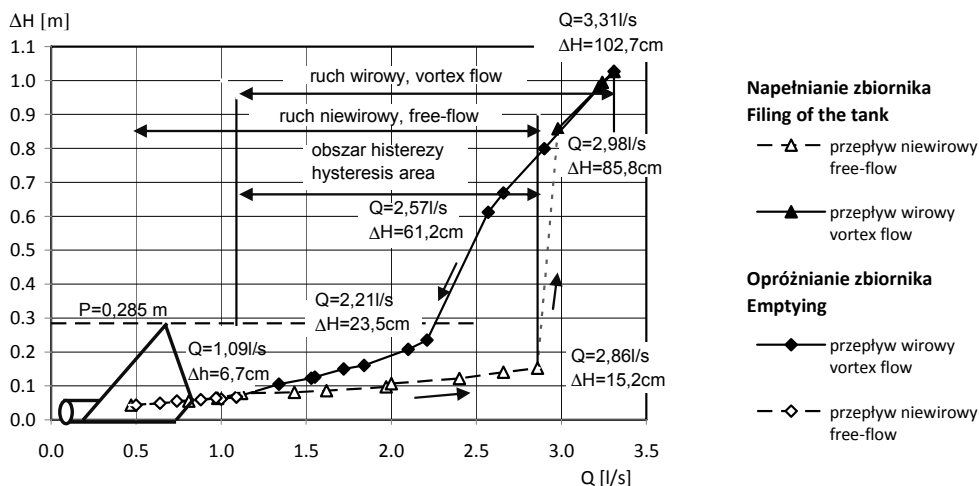
Pomiar natężenia przepływu cieczy na dopływie do regulatora i brak możliwości prowadzenia ciągłej rejestracji stanów i przepływu na wypływie z regulatora w czasie uniemożliwił odtworzenie całej histerezy badanych regulatorów.

z niezatopionym wylotem pokazano na rysunku 6.

Jak stwierdzono, w badanych regulatorach występują dwa rodzaje przepływów: niewirowe i wirowe. W regulatorze pierwszym, o większej średnicy komory  $D = 360$  mm, przepływ niewirowy występował do osiągnięcia objętościowego natężenia przepływu  $Q = 2,86$   $l \cdot s^{-1}$  i wysokości ciśnienia  $\Delta H = 15,2$  cm. Wzrost natężenia przepływu do  $Q = 2,98$   $l \cdot s^{-1}$  spowodował wyparcie powietrza z komory wirowej i powstanie przepły-

### Wyniki badań przepustowości stożkowych regulatorów wirowych

Otrzymaną z badań charakterystykę przepustowości regulatora pierwszego

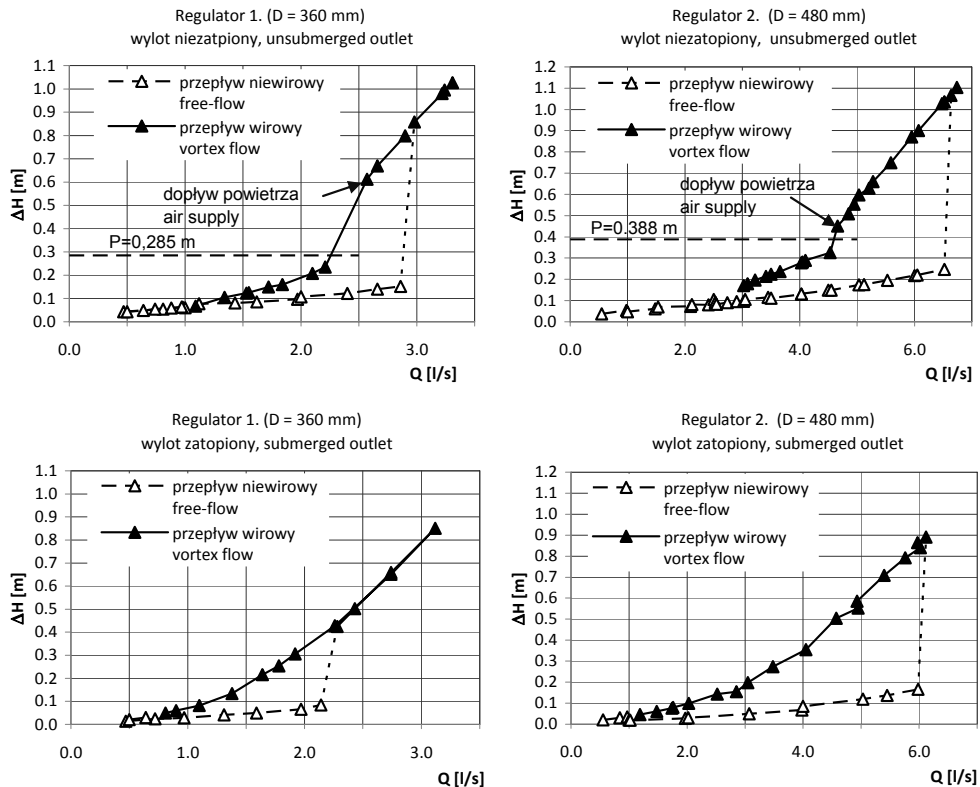


RYSUNEK 6. Charakterystyka hydrauliczna stożkowego regulatora wirowego pierwszego ( $D = 360$  mm) z niezatopionym wylotem  
 FIGURE 6. The hydraulic characteristics of the conical vortex first regulator ( $D = 360$  mm) with not submerged outlet

wu wirowego z napowietrzonym rdzeniem. Wytworzony rdzeń powietrzny skutecznie zdławił odpływ wody z regulatora i spowodował wzrost wysokości ciśnienia w zbiorniku do wartości  $\Delta H = 85,8$  cm (linia przerywana na rysunkach 6 i 7). Przy dalszym wzroście natężenia dopływu wody do zbiornika w regulatorze utrzymywał się przepływ wirowy. Przy maksymalnym napełnieniu zbiornika otrzymano  $\Delta H = 102,7$  cm i  $Q = 3,31$  l·s<sup>-1</sup>.

Jak wynika z rysunku 6, w trakcie zmniejszania natężenia dopływu do zbiornika zasilającego nadal utrzy-

mywał się w regulatorze przepływ wirowy. Przy zmniejszeniu natężenia dopływu wody do zbiornika poniżej  $Q = 2,57$  l·s<sup>-1</sup> wysokość ciśnienia gwałtownie zaczęła się zmniejszać – od wartości  $\Delta H = 61,2$  cm do  $\Delta H = 23,5$  cm przy przepływie  $Q = 2,21$  l·s<sup>-1</sup>. Zmniejszenie przepływu o 14% wywołało 61-procentowe zmniejszenie wysokości ciśnienia. Szybkie zmniejszenie wysokości ciśnienia tłumaczyć można napływem powietrza do regulatora od strony niezatopionego wylotu. Gdy napełnienie w zbiorniku zasilającym obniżyło się poniżej wzniesienia górnej krawędzi



RYСУNEK 7. Charakterystyka przepustowości regulatora pierwszego ( $D = 360$  mm) i regulatora drugiego ( $D = 480$  mm) dla przepływu niewirowego i wirowego przy niezatopionym i zatopionym wylocie  
 FIGURE 7. The hydraulic characteristic of the conical vortex first regulator ( $D = 360$  mm) and second regulator ( $D = 480$  mm) for the free-flow and vortex flow with unsubmerged and submerged outlet

( $\Delta H < P$ ), występował jeszcze w komorze regulatora przepływ wirowy, lecz zwiększała się objętość przestrzeni w komorze wypełnionej powietrzem. Przy przepływie  $Q = 1,09 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  wysokość ciśnienia wynosiła  $\Delta H = 6,7 \text{ cm}$  i charakterystyka z przepływem wirowym przecięła się z charakterystyką w przepływie niewirowym.

Wyznaczone w badaniach charakterystyki dla obu form przepływu przedstawiono na rysunku 7 dla regulatorów z niezatopionym i zatopionym wylotem. Zatopienie wylotu z regulatora istotnie wpływa na przebieg charakterystyki regulatora w przepływie niewirowym. Powoduje przede wszystkim powstanie wirowego przepływu w regulatorze przy różnych natężeniach dopływu wody do regulatora. Nieco mniejszy wpływ ma zatopienie wylotu z regulatora na charakterystykę przepływu w przepływie wirowym. Przy zatopionym wylocie z regulatora nie istnieje możliwość do-

pływu powietrza do komory regulatora. Dlatego też w charakterystyce regulatorów z zatopionym wylotem (rys. 7) nie występuje gwałtowne obniżenie charakterystyki, obserwowane przy niezatopionym wylocie.

Wystąpienie efektu dławiącego w regulatorze, osiągane przez wymuszenie przepływu wirowego, wymaga odpowiedniej wysokości naporu hydraulicznego. Napór ten gwałtownie wzrasta przy przejściu z przepływu niewirowego w wirowy i utworzeniu się napowietrzonego rdzenia. Parametry hydrauliczne, takie jak: natężenie przepływu wody przez regulator, wysokość naporu oraz współczynniki wydatku i oporu, występujące podczas przejścia wody z przepływu niewirowego (N) w wirowy (W) dla badanych regulatorów, oraz relacje między tymi parametrami przepływu przy przejściu wody z przepływu niewirowego w wirowy zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Parametry przepływu podczas przejścia z przepływu niewirowego (N) w wirowy (W)  
TABLE 1. The flow parameters during the transition between free-flow (N) and vortex flow (W)

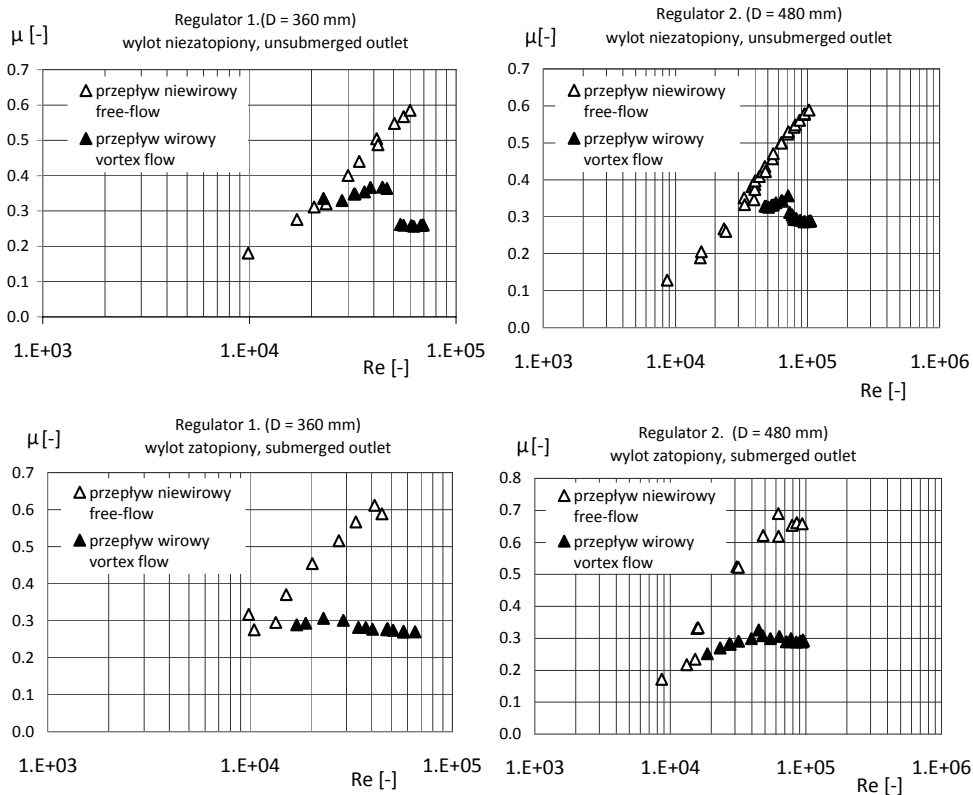
| Parametry przepływu<br>Flow parameters | Regulator 1.                              |                                      | Regulator 2.                              |                                      |
|--|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
|  | Wypływ niezatopiony<br>Unsubmerged outlet | Wypływ zatopiony<br>Submerged outlet | Wypływ niezatopiony<br>Unsubmerged outlet | Wypływ zatopiony<br>Submerged outlet |
| $Q_N [\text{l}\cdot\text{s}^{-1}]$     | 2,86                                      | 2,14                                 | 6,52                                      | 5,98                                 |
| $Q_W [\text{l}\cdot\text{s}^{-1}]$     | 2,98                                      | 2,28                                 | 6,64                                      | 6,12                                 |
| $Q_W / Q_N$                            | <b>1,04</b>                               | <b>1,06</b>                          | <b>1,02</b>                               | <b>1,02</b>                          |
| $\Delta H_N [\text{cm}]$               | 15,2                                      | 8,40                                 | 24,7                                      | 16,6                                 |
| $\Delta H_W [\text{cm}]$               | 85,8                                      | 42,5                                 | 106,6                                     | 89,1                                 |
| $\Delta H_W / \Delta H_N$              | <b>5,64</b>                               | <b>5,06</b>                          | <b>4,32</b>                               | <b>5,37</b>                          |
| $\mu_N [-]$                            | 0,59                                      | 0,59                                 | 0,59                                      | 0,66                                 |
| $\mu_W [-]$                            | 0,26                                      | 0,28                                 | 0,29                                      | 0,29                                 |
| $\mu_W / \mu_N$                        | <b>0,44</b>                               | <b>0,47</b>                          | <b>0,49</b>                               | <b>0,44</b>                          |
| $\zeta_N [-]$                          | 2,9                                       | 2,9                                  | 2,9                                       | 2,3                                  |
| $\zeta_W [-]$                          | 15,2                                      | 12,8                                 | 12,0                                      | 11,8                                 |
| $\zeta_W / \zeta_N$                    | <b>5,24</b>                               | <b>4,41</b>                          | <b>4,14</b>                               | <b>5,13</b>                          |



Po wystąpieniu przepływu wirowego w badanych regulatorach stwierdzono kilkukrotny wzrost wysokości ciśnienia w komorze dopływowej  $\Delta H_W / \Delta H_N \in (4,32-5,64)$ , któremu towarzyszył jedynie nieznaczny wzrost natężenia przepływu  $Q_W / Q_N \in (1,02-1,06)$ . Potwierdza to dużą skuteczność badanych regulatorów w utrzymywaniu stałości natężenia przepływu. Przejście z przepływu niewirowego w wirowy ilustruje zmienność wartości współczynników przepływu: w ruchu niewirowym współczynniki przepływu osiągały wartość z przedziału

$\mu \in (0,59-0,66)$ , a po przejściu w przepływ wirowy ich wartość zmniejszyła się i zawierała w granicach  $\mu \in (0,26-0,29)$ . Jak wynika z tabeli 1, wartości współczynników przepływu regulatorów w ruchu wirowym są prawie o połowę mniejsze niż w ruchu niewirowym. Współczynniki oporów ( $\zeta$ ) w przepływie niewirowym zawierały się w przedziale  $\zeta \in (2,3-2,9)$ , a po przejściu w przepływ wirowy wynosiły  $\zeta \in (11,8-15,2)$ .

Obliczone z zależności (2) wartości współczynników przepływu ( $\mu$ ) przedstawiono w funkcji wartości liczby Reynoldsa ( $Re$ ) obliczonej w przekroju



RYSunEK 8. Zależność współczynników przepływu regulatorów ( $\mu$ ) od wartości liczby Reynoldsa ( $Re$ ) dla badanych regulatorów

FIGURE 8. The interpretation of discharge coefficient values ( $\mu$ ) on the Reynolds values for investigated flow regulators

wlotu (rys. 8) oraz w funkcji wysokości ciśnienia ( $\Delta H$ ) (rys. 9):

$$Re = \frac{v_1 d_1}{\nu} = \frac{4Q}{\pi d_1 \nu} \quad (4)$$

gdzie:

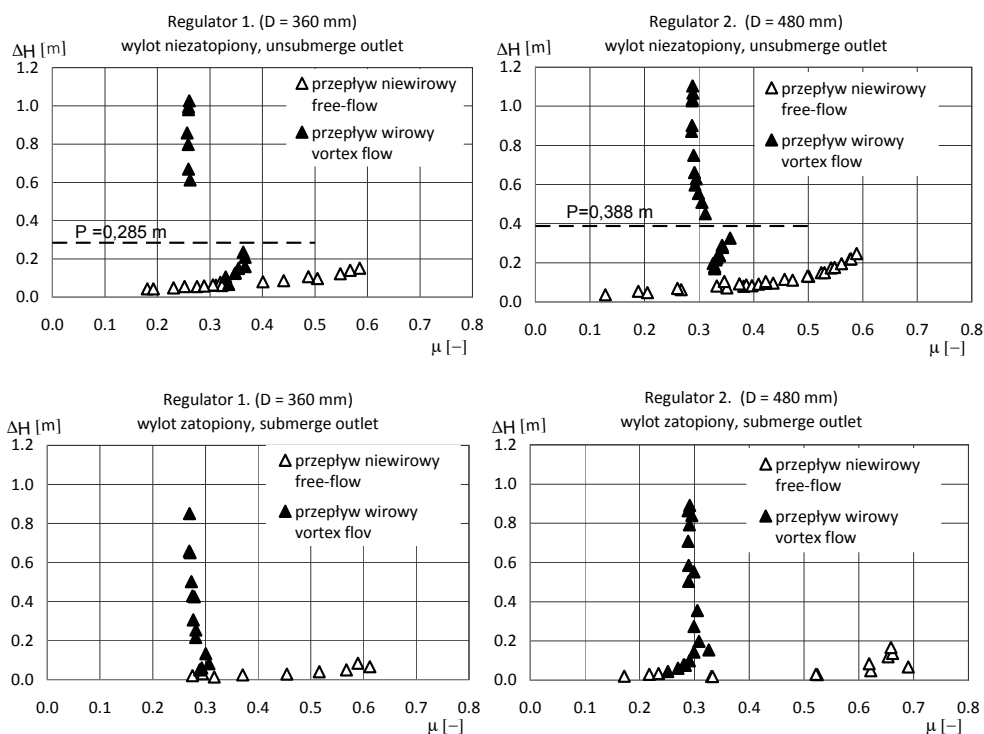
$v_1$  – prędkość przepływu wody w króćcu dopływowym o średnicy  $d_1$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],

$\nu$  – kinematyczny współczynnik lepkości wody [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ].

Z przedstawionych wykresów wynika, że wartości współczynników przepływu przy przepływie niewirowym wzrastają wraz ze zwiększaniem się liczby  $Re$  oraz wysokości ciśnienia ( $\Delta H$ ). W regulatorze pierwszym przy nie-

zatopionym wylocie współczynniki przepływu zawierały się w przedziale  $\mu \in (0,18-0,59)$ , a przy zatopionym wylocie  $\mu \in (0,28-0,61)$ . W regulatorze drugim przy niezatopionym wylocie współczynniki przepływu zawierały się w granicach  $\mu \in (0,13-0,59)$ , a przy zatopionym wylocie  $\mu \in (0,17-0,69)$ . Z punktu widzenia skuteczności dławienia przepływu cieczy w regulatorach obszar przepływu niewirowego jest nieistotny.

Przy przepływie wirowym współczynniki przepływu przyjmują zbliżone do siebie wartości. W regulatorach z niezatopionym wylotem ich średnia wartość wynosi  $\mu_{sr} = 0,31$ . Należy jed-



RYSunEK 9. Zależność współczynników przepływu ( $\mu$ ) regulatorów w funkcji wysokości ciśnienia ( $\Delta H$ ) dla badanych regulatorów

FIGURE 9. The dependence of the coefficient  $\mu$  on  $\Delta H$  for investigated regulators

nak zwrócić uwagę, że przy niezatopionym wylocie wartości współczynników przepływu zmieniają się w zależności od wysokości naporu hydraulicznego. W regulatorze pierwszym, gdy napełnienie w zbiorniku zasilającym znajdowało się powyżej wzniesienia górnej krawędzi ( $\Delta H > P$ ), średnia wartość współczynników przepływu wynosiła  $\mu_{sr} = 0,26$ , lecz gdy napełnienie w zbiorniku zasilającym obniżyło się poniżej wzniesienia górnej krawędzi ( $\Delta H < P$ ), to średnia wartość współczynników przepływu była równa  $\mu_{sr} = 0,35$ . Analogicznie w regulatorze drugim: dla  $\Delta H > P$  – średnia wartość współczynników przepływu była równa  $\mu_{sr} = 0,29$ , a dla  $\Delta H < P$  –  $\mu_{sr} = 0,34$ .

W regulatorach z zatopionym wylotem współczynniki przepływu są praktyczne niezmiennie – ich średnia wartość wynosi  $\mu_{sr} = 0,28$ .

## Podsumowanie i wnioski końcowe

Przepustowości stożkowych regulatorów wirowych zmieniają się w zależności od formy wypływu wody z regulatora. Zatopienie wylotu z regulatora powoduje, że przepływ przez regulator przechodzi w wirowy przy niższym natężeniu dopływu do regulatora niż w przypadku niezatopionego wylotu. Ponadto obniżanie natężenia dopływu do regulatora przy niezatopionym wylocie powoduje w pewnym momencie dopływ powietrza do komory regulatora i wzrost jego przepustowości pomimo utrzymywania się przepływu wirowego. Zatopienie wylotu z regulatora powoduje różnice w przebiegu charakterystyk w stosunku do regulatorów z niezatopio-

nym wylotem. Wartości współczynników przepływu stożkowego regulatora wirowego rosną wraz z objętościowym natężeniem dopływu cieczy przy przepływie niewirowym. Wystąpienie przepływu wirowego wpływa na obniżenie współczynników przepływu, którego wartości nie ulegają już zmianom wraz ze wzrostem natężenia dopływu cieczy. Różnice w przebiegu krzywych charakterystyk przepustowości regulatorów bez i z zatopionym wylotem wymagają uwzględnienia formy wypływu z regulatora w praktycznych zastosowaniach regulatorów.

## Literatura

- Grabowski, W. (2015). *Analiza przepustowości stożkowego regulatora wirowego*. (Praca inżynierska). Warszawa: Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.
- Helman, M. (1998). Zastosowanie regulatorów przepływu w gospodarce wodno-ściekowej. *Gospodarka Wodna*, 11, 422–425.
- Kotowski, A. (2011). *Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów*. Warszawa: Wydawnictwo Seidel-Przywecki.
- Kotowski, A. i Wójtowicz, P. (2010). Analysis of hydraulic parameters of conical vortex regulators. *Polish J. Environ. Stud.*, 19 (4), 479–756.
- Rasińska, M. (2015). *Charakterystyka przepustowości regulatora wirowego stożkowego*. (Praca inżynierska). Warszawa: Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.
- Wójtowicz, P. i Kotowski, A. (2008). Badania modelowe stożkowych regulatorów hydrodynamicznych. *Ochrona Środowiska*, 3, 37–44.

## Streszczenie

**Charakterystyki przepustowości wirowego regulatora stożkowego z niezatopionym i zatopionym wylotem.** W pracy

przedstawiono wyniki hydraulicznych badań przepustowości wirowych regulatorów stożkowych. Badania prowadzono dla zatopionego i niezatopionego wylotu z regulatora. Wyniki badań przedstawiono w formie charakterystyk przy niewirowym i wirowym przepływie w regulatorze. Stwierdzono wpływ zatopienia wylotu z regulatora na charakterystykę jego przepustowości. Zatopienie wylotu z regulatora powoduje, że przepływ przez regulator przechodzi w wirowy przy niższym natężeniu dopływu do regulatora niż w przypadku wylotu niezatopionego.

## Summary

**Flow characteristics of the conical vortex regulator with unsubmerged and submerged outlet.** The paper presents the results of investigations of a flow capacity of

the conical vortex regulators. The research was conducted for the submerged and non-submerged outlet of the regulator. The results were presented in a form of characteristics of the free-flow and vortex flow in the regulator. The influence of the outlet form on hydraulic characteristics of the conical vortex regulator is demonstrated. The submergence of the outflow causes that the vortex flow appears for lower inflow rates than for the unsubmerged outflow.

### Authors' address:

Elżbieta Kubrak  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
Laboratorium – Centrum Wodne  
ul. Ciszewskiego 6, 02-766 Warszawa  
Poland  
e-mail: elzbieta\_kubrak@sggw.pl