

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **238592**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **424222**

(22) Data zgłoszenia: **08.01.2018**

(51) Int. Cl.

**G01F 1/52 (2006.01)**

**G01F 23/14 (2006.01)**

**G01F 1/42 (2006.01)**

---

(54) **Zestaw pomiarowy natężenia przepływu wody w przewodzie rurowym przy bezciśnieniowym przepływie**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**15.07.2019 BUP 15/19**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**13.09.2021 WUP 24/21**

(73) Uprawniony z patentu:

**SZKOŁA GŁÓWNA GOSPODARSTWA  
WIEJSKIEGO W WARSZAWIE, Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**JANUSZ KUBRAK, Warszawa, PL  
ELŻBIETA KUBRAK, Warszawa, PL  
ADAM KICZKO, Pęcłin, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzec. pat. Maciej Priebe**

---

**PL 238592 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest zestaw pomiarowy natężenia przepływu wody w przewodzie rurowym przy bezciśnieniowym przepływie, przeznaczony do wykorzystania zwłaszcza w systemach odwadniająco-nawadniających.

Z powodu coraz częściej pojawiających się susz, nowych regulacji prawnych wymuszających racjonalne gospodarowanie wodą oraz stosowania opłat za pobór wody do nawodnień, pomiar natężenia przepływu wody dostarczanej i wykorzystanej w nawodnieniach staje się koniecznością. Pomiar natężenia przepływu wody w kanałach nawadniających/odwadniających wymaga zbudowania dodatkowych konstrukcji (Dąbkowski i in., 1997), tarowania istniejących budowli (Kaca 1996) lub wykorzystania drogich urządzeń elektronicznych ([www.rubiconwater.com](http://www.rubiconwater.com), [www.nivus.pl](http://www.nivus.pl), [www.sontek.com](http://www.sontek.com)).

Przewody rurowe są elementem przepustów drogowych, często występujących na doprowadzalnikach i odprowadzalnikach w systemach melioracyjnych. Różnie kształtowane przegrody wykorzystywane są w przewodach kołowych coraz powszechniej do pomiaru natężenia przepływu wody (Addison 1941, Bettez i in., 2001).

Znane są metody hydrauliczne pomiaru natężenia przepływu. W metodach tych wykorzystuje się zależności przepustowości przelewu, kanału ze zwężką lub innej budowli. Pomiar wysokości spiętrzenia wody ponad krawędzią lub koroną przelewu daje informację o aktualnym przepływie w danym przekroju pomiarowym. Jednym z typów przepływomierzy hydraulicznych jest przelew cienkościenny, wykonany w postaci cienkiej płyty ustawionej w przekroju poprzecznym badanego cieku. Przepływ oblicza się ze wzorów, mierząc wysokość  $H$  warstwy przelewającej się wody w odległości nie mniejszej niż  $(3-5) H$  przed przelewem, z uwagi na krzywiznę zwierciadła wody nad przelewem wywołaną wzrostem prędkości przepływu. Dostęp do miejsca pomiaru wysokości warstwy wody przelewającej się nad przelewem w przewodzie rurowym jest utrudniony albo wręcz niemożliwy, co stanowi problem rozwiązany w obecnym wynalazku.

Zestaw pomiarowy natężenia przepływu wody w przewodzie rurowym przy bezciśnieniowym przepływie, zawierający przelew cienkościenny umieszczony w przekroju poprzecznym przewodu rurowego według wynalazku charakteryzuje się tym, że zawiera usytuowany wzdłuż przewodu rurowego przewód przechodzący przez cienkościenny przelew, którego wlot jest w odległości  $(3-5) H$  przed przelewem, gdzie  $H$  oznacza wysokość warstwy wody nad przelewem, a wylot jest połączony z piezometrem i zamontowanym na nim wodowskazem, znajdującymi się po zewnętrznej części powierzchni przewodu rurowego. Wlot cienkiego przewodu jest zaślepiony, natomiast na jego górnej powierzchni znajduje się kilka rzędów co najmniej 5 otworów o średnicy 5–15 mm.

Korzystnie otwory są rozmieszczone w pięciu rzędach po pięć otworów.

Korzystnie odległości pomiędzy otworami wynoszą od 3 do 4 cm.

Korzystnie wodowskaz jest wodowskazem szpilkowym.

Korzystnie wodowskaz jest wyposażony w akustyczny sygnalizator sygnału.

Zgodnie z wynalazkiem, z powodu utrudnionego dostępu do miejsca pomiaru wysokości warstwy przelewającej się wody, wykorzystuje się do pomiaru wysokości warstwy przelewowej przewód przechodzący przez przelew, połączony z piezometrem i zamontowanym na nim wodowskazem. Długość przewodu poniżej przelewu jest dobierana z uwzględnieniem istniejących warunków i umiejscowienia piezometru. Wlot do cienkiego przewodu od strony napływu wody jest zaślepiony, co zabezpiecza przewód przed zapchaniem przez płynące zanieczyszczenia, takie jak liście roślin, źdźbła traw, itp. Woda przez otwory w powierzchni cienkiego przewodu wypełnia przewód, który na zewnątrz przepustu przechodzi w pionowy odcinek (piezometr). Położenie zwierciadła wody w piezometrze jest takie samo, jak zwierciadła wody w przepuście na początku przewodu, tzn. w odległości  $(3-5) H$  przed przelewem. Wodowskaz szpilkowy zainstalowany na piezometrze pozwala zmierzyć wzniesienie zwierciadła wody  $H$  nad krawędzią zainstalowanego w przepuście przelewu.

Grubość cienkościennego przelewu powinna być dobrana w taki sposób, aby nie ulegała odkształceniom pod wpływem parcia dynamicznego strumienia wody. Przelew powinien posiadać charakterystykę, podaną w formie graficznej lub równania  $Q(H)$ . Przy wykorzystaniu przelewów mierniczych o ostrej krawędzi, takich jak przelew prostokątny Bazina ze zwężeniem bocznym, przelew trapezowy Cipolletiego, przelew trójkątny Thomsona, znane są charakterystyki przelewu pomiarowego, tzn. krzywe określające zależność natężenia przepływu wody  $Q$  od wysokości spiętrzenia na przelewie mierniczym  $H$  w postaci graficznej lub analitycznej  $Q=Q(H)$ . W przypadku wykonania przelewu o kształtach

niespotykanych, np. cienkościenna przegroda z poziomą krawędzią przelewową umieszczona w przewodzie rurowym, należy wcześniej dokonać jej wzorcowania. W tym celu należy zbudować model przewodu rurowego i przegrody wykonany w skali geometrycznej i przeprowadzić hydrauliczne badania laboratoryjne jej przepustowości. Do wzorcowania wykorzystywać należy metodę pomiarową przepływu o dokładności większej niż dokładność, jaką ma osiągnąć wzorcowany przelew. Wyznaczona w taki sposób na modelu charakterystyka przelewu może zostać przeliczona na warunki przepływu w przewodzie rurowym przepustu. Podobieństwo dynamiczne przepływu przez przelew badany w laboratorium i zainstalowany w naturze zachodzi wówczas, gdy oba przelewy są do siebie geometrycznie podobne oraz gdy są spełnione warunki podobieństwa sił ciężkości, pod wpływem, których zjawisko przebiega.

Wzniesienie zwierciadła wody  $H$  nad krawędzią przelewu mierzy się przy pomocy wodowskazu, korzystnie szpilkowego. Sygnalizator akustyczny potwierdza sygnałem zetknięcie szpilki wodowskazu ze zwierciadłem wody w piezometrze. Po zmierzeniu wysokości warstwy przelewowej wody  $H$  wyznacza się z charakterystyki przelewu natężenie przepływu wody  $Q$  przez przepust. Dokładność pomiaru wysokości warstwy przelewowej wody nad przelewem wynosi ok. 1 mm.

Sposób według wynalazku usprawnia gospodarowanie wodą „własną” na obiektach melioracyjnych. Przelew cienkościenny umieszcza się w przepuście rurowym. Sposób pomiaru może być wykorzystany w istniejących systemach odwadniająco-nawadniających, modernizowanych i nowoprojektowanych. Sposób według wynalazku pozwala na uzyskanie podstawowych informacji o natężeniu dopływającej/odpływającej wody do/z systemu, umożliwiał sterowanie nawodnieniami/odwodnieniami w systemie melioracyjnym, ocenę skuteczności działania systemu nawodnień i odwodnień. Sposób według wynalazku jest bardzo prosty i tani, nie wymaga stosowania skomplikowanej aparatury pomiarowej.

Przykład realizacji wynalazku został zobrazowany schematycznie na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia zainstalowany w przepuście zestaw według wynalazku **w przekroju podłużnym a) przekroju poprzecznym b) oraz w widoku z góry c)**, Fig. 2 przedstawia cienki przewód z otworami o średnicy  $\phi = 10$  mm, równomiernie rozmieszczonymi w odległościach  $k = 30 \div 40$  mm i kącie  $\alpha = 45^\circ$ . Fig. 3 przedstawia szczegółowo widok cienkościennej przegrody (przelewu) 3 w przewodzie rurowym zabezpieczonym uszczelką gumową 7 o grubości 5 mm i szerokości 60 mm oraz zainstalowaną

śrubą rzymską 8. Fig. 4 przedstawia bezwymiarową zależność  $\frac{Q}{\sqrt{gD^5}} = f(H/D)$  ustaloną dla niezatopionej przegrody w przewodzie o średnicy  $D=0.1056$  m, wysokości  $p_1 = 0.0326$  m, spadkach 0.5%

i 1% ważną dla  $H/D \in <0.051 ; 0.188>$ . Fig. 5 przedstawia bezwymiarową zależność  $\frac{Q}{\sqrt{gD^5}} = f(H/D)$  ustaloną dla zatopionej przegrody w przewodzie o średnicy  $D=0.1056$  m, wysokości  $p_1 = 0.0326$  m, spadkach 0.5% i 1% ważną dla  $H/D\% \in <0.166 ; 0.623>$ , a Fig. 6 przedstawia krzywą tarowania zato-

pionej przegrody – praktyczne wykorzystanie bezwymiarowej zależności  $\frac{Q}{\sqrt{gD^5}} = f(H/D)$  ustalonej dla zatopionej przegrody w przewodzie o średnicy  $D=0.1056$  m, wysokości  $p_1$  dla  $H/D \in <0.166 ; 0.623>$ .

Zestaw według wynalazku w przykładzie wykonania składa się z cienkiego przewodu 1, ze stali lub z tworzywa sztucznego, o średnicy 40 mm, cienkościennej przegrody 3 z poziomą krawędzią przelewową, przymocowanej do stalowego płaskownika 2, połączonego z przewodem 1, piezometru 4 i połączonego z piezometrem 4 wodowskazu szpilkowego 5 z sygnalizatorem dźwiękowym. Przewód 1 jest usytuowany równoległe do osi przewodu rurowego przepustu 6, w którym mierzy się natężenie przepływu wody. Początek przewodu 1 znajduje się w odległości  $L = (3 \div 5)$  przed przelewem, gdzie  $H$  oznacza wysokość warstwy przelewowej nad przelewem 3. Wlot do przewodu 1 od strony napływu wody jest zaślepiiony. Na górnej powierzchni przewodu 1 są rozmieszczone otwory, w 5 rzędach po 5 otworów o średnicy  $\phi = 10$  mm w odległości 30 mm od siebie. Przewód 1 przechodzi przez cienkościenny przelew 3 i jest połączony z piezometrem 4 zainstalowanym tuż za wylotem z przepustu. Przelew (przegroda) 3 wykonany jest z cienkiej, metalowej płyty i mocowany jest do stalowego płaskownika 2 o szerokości 50 mm i grubości 5 mm, zakończonego w górnej części śrubą rzymską 8, pozwalającą przy skręcaniu śruby uzyskać jej wydłużenie i tym samym zwiększyć nacisk płaskownika na ścianki rurowego przepustu. Pomiędzy ścianką przepustu a stalowym płaskownikiem znajduje się gumowa uszczelka 7 o grubości 5 mm i szerokości nie mniejszej niż szerokość płaskownika, uniemożliwiająca przepływ pod przelewem.

Sposób pomiaru przepływu wody za pomocą zestawu według wynalazku został bliżej przedstawiony w przykładzie cienkiej przegrody o poziomej krawędzi przelewowej.

#### P r z y k ł a d

W przewodzie rurowym przepustu o średnicy wewnętrznej  $D=1.056$  m zmierzono za pomocą zestawu według wynalazku wysokość warstwy przelewowej  $H=0.211$  m nad cienkościenną przegrodą z poziomą krawędzią przelewową o wysokości  $p=0.326$  m.

W celu wyznaczenia charakterystyki przepustowości przegrody zbudowano model przewodu rurowego i przegrody w skali geometrycznej  $\alpha L = 1/10$ . Wysokość modelowanej przegrody była  $p_1 = 0.0326$  m, zaś średnica przewodu rurowego była równa  $D=0.1056$  m. Hydrauliczne badania przepustowości przeprowadzono przy spadkach przewodu  $i = 0.5\%$  oraz  $i = 1\%$ . W analizowanym przykładzie wysokość warstwy przelewowej na modelu była dziesięciokrotnie mniejsza niż zmierzona w naturze i wynosiła  $0.0211$  m.

Przeprowadzone badania hydrauliczne na modelu z ciekłą przegrodą potwierdziły możliwość określenia charakterystyki przepustowości takiej przegrody zależnością  $Q=f(H)$  ważną przy różnych spadkach podłużnych przewodu. Wyznaczona w hydraulicznych badaniach charakterystyka przepustowości przegrody składa się z charakterystyki przepustowości przy zatopionej przegrodzie (woda poniżej przegrody oddziałuje na wysokość warstwy przelewowej  $H$ ) i przy braku i jej zatopienia (woda poniżej przegrody nie oddziałuje na wysokość warstwy przelewowej  $H$ ). Dla obu form przepływu przez przegrodę podano bezwymiarowe zależności opisujące charakterystyki (Fig. 4 i Fig. 5).

Zmierzonej wysokości warstwy przelewowej nad przegrodą w przepuście odpowiada wartość  $H=0.0211$  m na modelu. Dla tej wysokości warstwy przelewowej obliczono wartości stosunku  $H/D=0.0211/0.1056\approx 0.20$ . Z krzywej tarowania zatopionej przegrody (Fig. 6) wyznaczono bezwymiarową

$$\frac{Q}{\sqrt{g i D^5}} = 0.067$$

wartość stosunku  $\frac{Q}{\sqrt{g i D^5}}$ , skąd obliczono natężenie przepływu wody  $Q=0.00076$  m<sup>3</sup>/s.

Większą dokładność wyznaczenia wartości natężenia przepływu wody nad przegrodą otrzymuje się wykorzystując zależność regresyjną podaną dla krzywej (Fig. 6). Dla stosunku  $H/D=0.20$  obliczono z zależności regresyjnej:

$$\frac{Q}{\sqrt{g i D^5}} = 0.4667 \cdot (0.20)^2 + 0.3146 \cdot 0.20 - 0.0163 = 0.06529$$

Skąd obliczono natężenie przepływu wody:

$$Q = 0.00074 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Natężenie przepływu wody  $Q_p$  przez przegrodę w przewodzie rurowym przepustu oblicza się z zależności wyprowadzonej z warunku podobieństwa sił ciężkości dla przepływu na modelu i w naturze:

$$Q_p = \frac{Q}{\alpha^{2.5} L}$$

Obliczone natężenie przepływu wody w przepuście jest równe  $Q_p = 0.234$  m<sup>3</sup>/s.

#### Literatura

Addison, H., 1941: Hydraulic measurements: a manual for engineers. John Wiley & Sons, Inc, New York, NY.

Dąbkowski Sz. L., Jędryka E., Kaca E., Kovalenko P.I., Calyj B. L., Mivhajlov J. A., 1997: Urządzenia i budowle do pomiaru przepływu wody w systemach wodno-melioracyjnych. Wydawnictwo IMUZ, Falenty.

Bettez, J., Townsend, R.D., Comeau, A., 2001: Scalę model testing and calibration of City of Ottawa sewer weirs. Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 28. s. 627–639.

Kaca E., 1996: Wzorcowanie budowli wodnomelioracyjnych. Wydawnictwo IMUZ, Falenty.

Kindsvater, C. E. and Carter, R. W., 1959: Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs. Transactions American Society of Civil Engineers, v. 24. PaperNo. 3001.

Trący, H.J., 1957. Discharge characteristics of broad-crested weirs. U.S. Dept, of Interior, Geological Survey, Circular 397, Washington, USA

### Zastrzeżenia patentowe

1. Zestaw pomiarowy natężenia przepływu wody w przewodzie rurowym przy bezciśnieniowym przepływie, zawierający przegrodę cienkościenną umieszczoną w przekroju poprzecznym przewodu rurowego, **znamienny tym**, że zawiera usytuowany wzdłuż przewodu rurowego cienki przewód (1) przechodzący przez cienkościenną przegrodę (3), którego wlot jest usytuowany w odległości (3–5) H przed cienkościenną przegrodą (3), gdzie H oznacza wysokość warstwy przelewowej nad przelewem, a wylot jest połączony z piezometrem (4) i zamontowanym na nim wodowskazem szpilkowym z akustycznym sygnalizatorem (5) znajdującymi się po zewnętrznej części powierzchni przewodu rurowego (6), przy czym wlot cienkiego przewodu (1) jest zaślepiiony, natomiast na jego górnej powierzchni znajduje się co najmniej jeden rząd co najmniej 5 otworów o średnicy 5–15 mm.
2. Zestaw według zastrz. 1, **znamienny tym**, że otwory są rozmieszczone w pięciu rzędach po pięć otworów.
3. Zestaw według zastrz. 1, **znamienny tym**, że odległości pomiędzy otworami wynoszą od 3 do 4 cm.
4. Zestaw według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wodowskaz jest wodowskazem szpilkowym.
5. Zestaw według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wodowskaz jest wyposażony w akustyczny sygnalizator sygnału.

## Rysunki

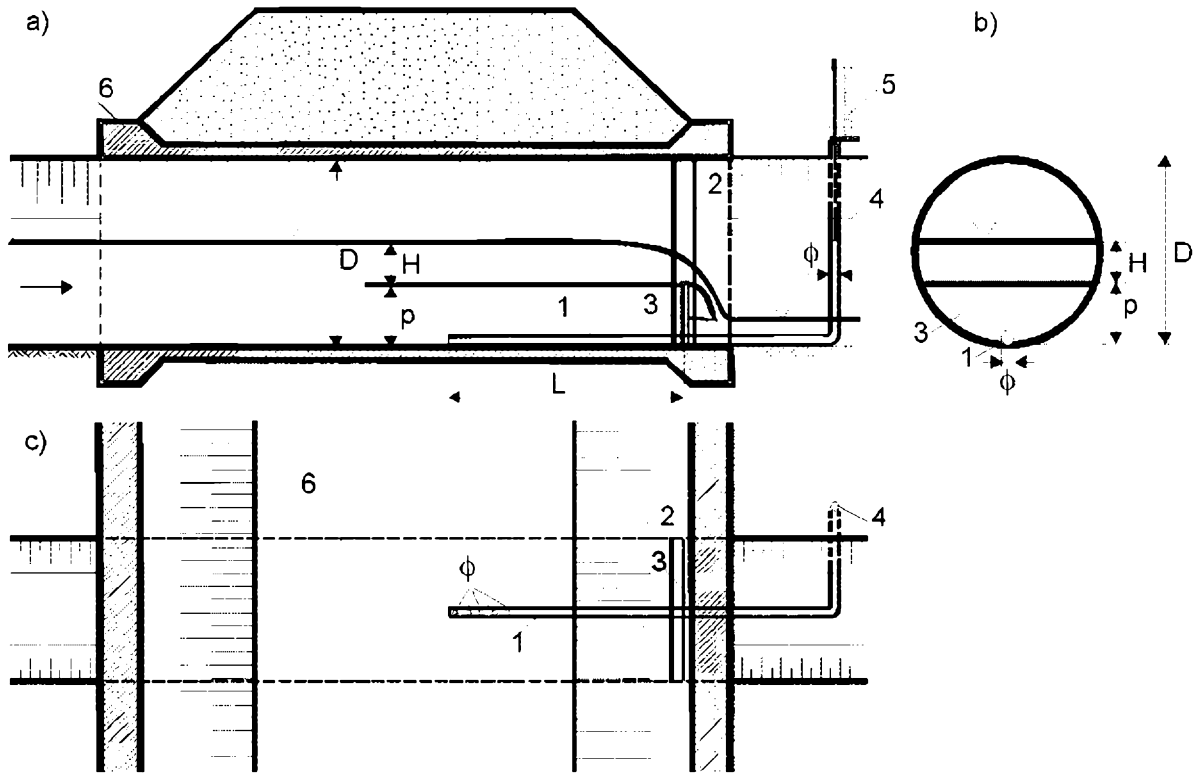


Fig. 1

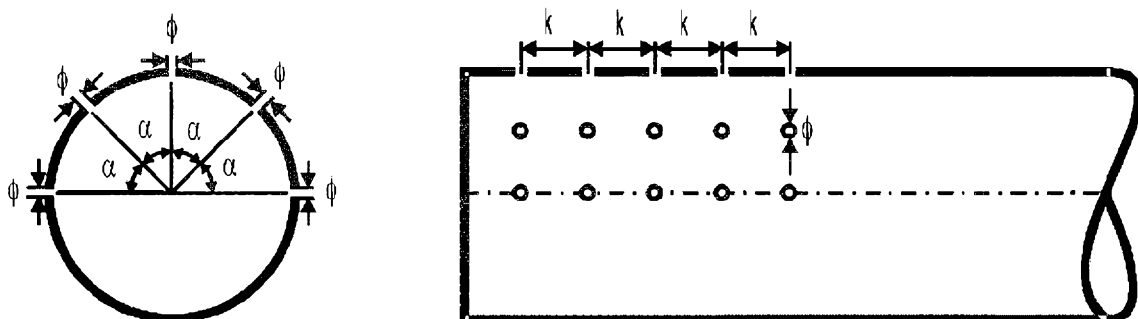


Fig. 2

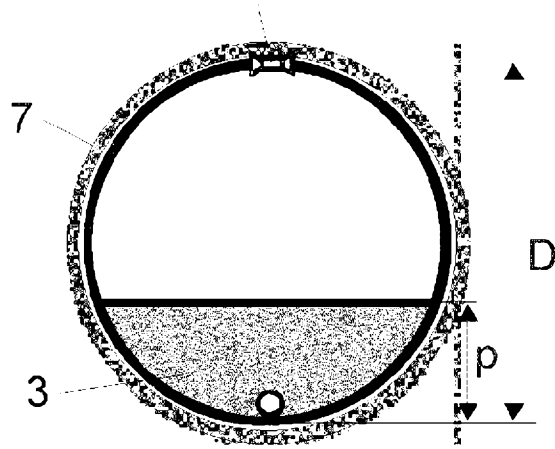


Fig. 3

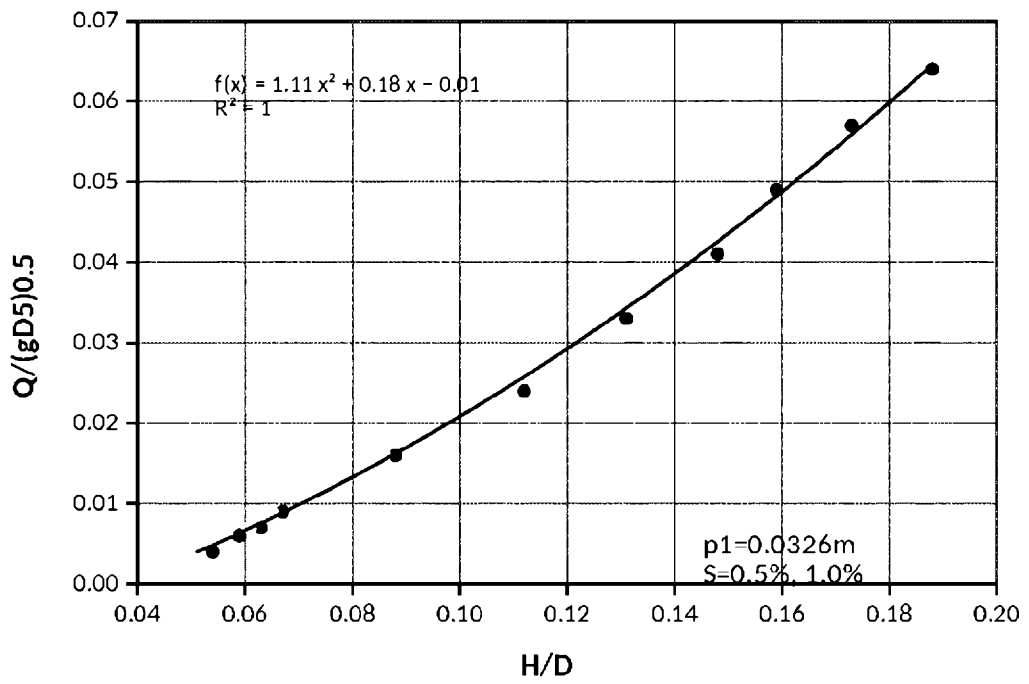


Fig. 4

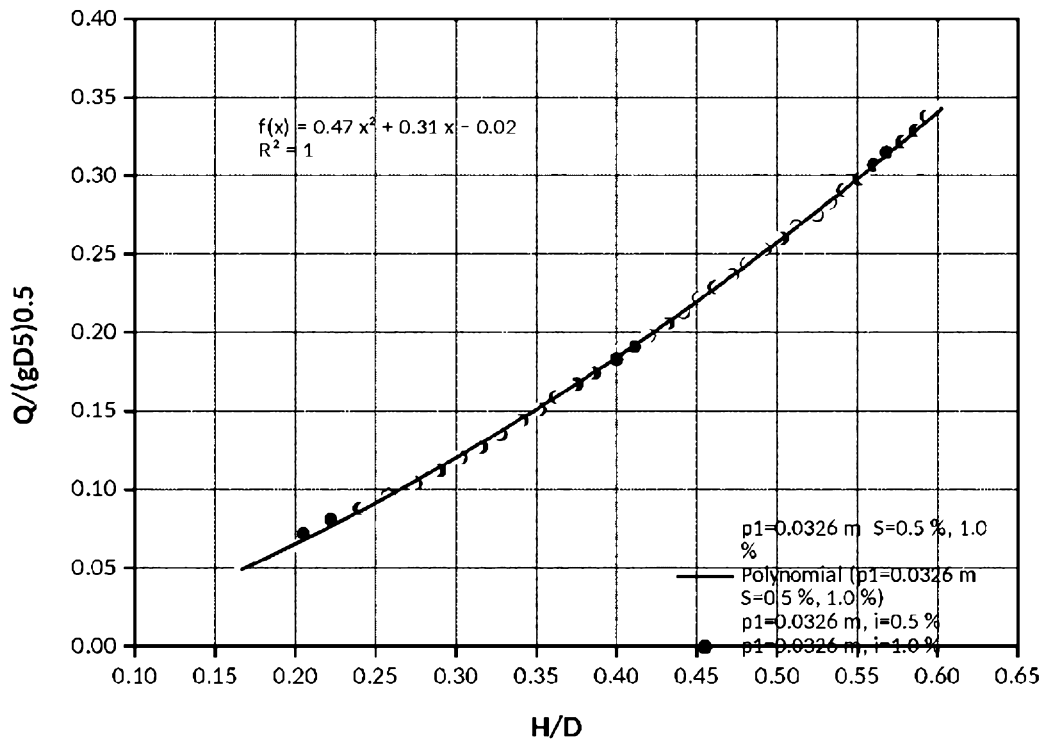


Fig. 5

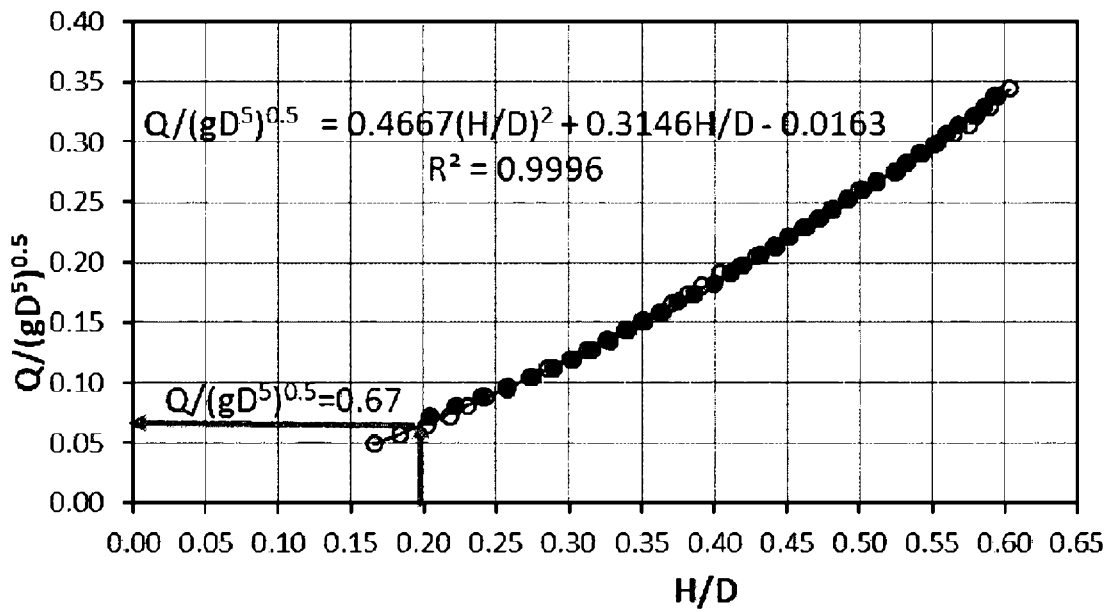


Fig. 6