

KONCEPCJA STANOWISKA DO BADANIA WYPŁYWU ZANIECZYSZCZEŃ Z KANAŁÓW BURZOWYCH

Mariusz R. RZĄSA¹, Joanna BOGUNIEWICZ-ZABŁOCKA²

1. Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny
tel.: 77 449 80 71 e-mail: m.rzasa@po.opole.pl
2. Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny
tel.: 774498876 e-mail: j.boguniewicz@po.opole.pl

Streszczenie: Pomiar przepływu mieszaniny polidispersyjnej są jednymi z najtrudniejszych do zrealizowania w warunkach technicznych. W artykule opisano koncepcję systemu pomiarowego, który umożliwi obserwację przepływającej mieszaniny oraz wyznaczenia podstawowych parametrów jej ruchu. W pracy zaproponowano sposób opisu wydmy przesuwanego się piasku. Wymiary wydmy zdefiniowano za pomocą czterech charakterystycznych wymiarów. Zaproponowano stanowisko laboratoryjne umożliwiające badanie przepływu mieszaniny w kanale otwartym przy różnym nachyleniu kanału i różnym składzie granulometrycznym frakcji stałej. Stanowisko wyposażono w system rejestracji obrazu. Obrazy zarejestrowane kamerą poddawane są procesowi komputerowej analizy obrazu i na tej podstawie możliwe jest określenie podstawowych parametrów ruchu mieszaniny. Praca zawiera opis koncepcji stanowiska laboratoryjnego oraz ideę metody analizy obrazu.

Słowa kluczowe: przepływ w kanale otwartym, przepływ dwufazowy, komputerowa analiza obrazu.

1. WPROWADZENIE

Człowiek od początków cywilizacji, wpisujący się w środowisko naturalne. Ludzie od wieków obserwowali zmiany w swoim otoczeniu. Wokół powiększających się osiedli ludzkich, zaczęły gromadzić się odpady i inne nieczystości wynikające z egzystencji mieszkańców. Przykładem pozytywnego myślenia nad porządkiem są działania związane z doprowadzaniem wody do domostw i odprowadzaniem ścieków poza miejsce zamieszkania. W ciągu tysięcy lat obserwujemy rozwój cywilizacji, które na swój sposób radziły sobie z systemami kanalizacyjnymi.

Niejednokrotnie nie posiadając odpowiedniej wiedzy na temat zjawiska przepływu w kanałach burzowych podczas projektowania systemów kanalizacji ogólnospławnej kanały uległyby przewymiarowaniu. Nie uwzględnienie pewnych istotnych elementów podczas projektowania kanalizacji ogólnospławnej może spowodować, że wystąpienie gwałtownej ulewy, spowoduje zalania i uniemożliwi prawidłową pracę oczyszczalni. Rozwiązaniem problemu jest zastosowanie przelewu burzowego do odciążenia sieci z nadmiernej ilości wód opadowych [1].

Stosując przelewy burzowe redukuje się nadmierne wprowadzanie do oczyszczalni wody, jednocześnie redukując przewymiarowanie kanałów ściekowych oraz nie

rozcieńcza się ścieków, które oczyszczalnia może przyjąć, bez zagrożenia dla urządzeń w niej zainstalowanych.

W celu poprawnego działania w ramach ochrony odbiornika, wysokość progu w przelewie burzowym musi być tak dobrana, aby ścieki zaczynały się przelewać dopiero po osiągnięciu pożądanego stopnia rozcieńczenia wodą. Jest to zależne od wielkości odbiornika.

Na pożądaną stopień rozcieńczenia ścieków mają wpływ: stan i rodzaj odbiornika, jego wielkość, a także rodzaj i objętość dopływających ścieków. Obliczenia związane z projektowaniem tradycyjnych przelewów burzowych sprowadzają się do określenia odpowiedniej długości krawędzi przelewu. Obliczenia są obciążone błędami, wynikającymi z błędnych pomiarów. Z reguły kanały po przelewach odprowadzają więcej ścieków, niż wynika to z obliczeń [1].

Zanieczyszczenia w ściekach z kanałów burzowych mogą być bardzo różne, z powietrza wychwytywane są pyły, cząstki niedopalonych paliw, aerozole i inne substancje gazowe i stałe, których pochodzenie najczęściej wiąże się z terenami zakładów przemysłowych, środkami transportu, urządzeniami grzewczymi. Niejednokrotnie są to ciecze ropopochodne lub piasek. Najwięcej zanieczyszczeń ścieków opadowych pojawia się podczas spływu powierzchniowego.

Ścieki deszczowe charakteryzują się głównie zawiesiną mineralną, zawiesina organiczna zauważana jest w ściekach ze zlewni, na terenie których znajdują się targowiska, tereny zielone a także miejsca, gdzie jesienią następuje opad i rozkład liści. Dodatkowo z terenów utwardzonych często dostają się spore ilości zawiesiny ziarnistej [2].

Wielkości cząstek, które występują w wodach opadowych pochodzących z terenów zurbanizowanych są bardzo zróżnicowane. Ich rozkład jest cechą indywidualną dla każdej zlewni. Występują zlewnie, w których większość cząstek, to cząstki gruboziarniste, są też takie, w których zawiesina charakteryzuje się drobnoziarnistością [3].

Można zatem stwierdzić, iż występujące w wodach opadowych zawiesiny są mieszaninami wieloskładnikowymi, zawierającymi oprócz substancji rozpuszczonych i gazów, drobne zawiesiny oraz koloidy pochodzenia organicznego i mineralnego. W związku z tym ścieki te mają cechy mieszaniny polidispersyjnej, w której znajduje się faza ciekła stała i gazowa oraz ma miejsce

jednoczesny przepływ ciecz-ciecz, ciecz-ciało stałe oraz ciecz-gaz.

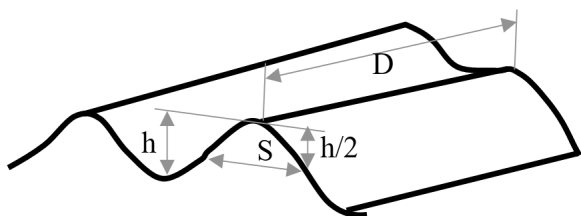
Podjęto próbę wyjaśnienia mechanizmu przepływu mieszaniny polidispersyjnej w kanale otwartym. Głównymi trudnościami opisu mechanizmu przepływu polidispersyjnego jest przede wszystkim: złożoność procesu spowodowana wzajemnym oddziaływaniem faz i cząstek zanieczyszczeń podczas transportu oraz brak możliwości wykonania bardzo dokładnej wizualizacji procesu w kanale burzowym. Dlatego też koniecznym jest uproszczenie opisu procesu i przyjęcie założenia, że zawiesiny ziarniste - ziarna substancji ulegają tylko opadaniu i toczeniu, natomiast podczas transportu nie zmieniają rozmiaru. W tym celu konieczne jest opracowanie i zbudowanie stanowiska laboratoryjnego umożliwiającego obserwację i pomiar ruchu mieszaniny polidispersyjnej jaka występuje w kanałach burzowych. W pracy ograniczono się do koncepcji stanowiska umożliwiającego obserwację ruchu fazy stałej (piasku) w kanale otwartym.

2. METODA POMIARU OBJĘTOŚCI



Rys. 1. Obraz piasku przemieszczającego się po dnie [8]

Koncepcję stanowiska pomiarowego opracowano w celu badania przenoszenia fazy stałej (piasku) na skutek przepływu fazy ciekłej (wody). Tego rodzaju przepływ jest typowy w kanałach burzowych. Piasek w zależności od wielkości frakcji i strumienia cieczy może być unoszony razem z cieczą, toczony po dnie kanału, może też osadzać się na dnie kanału. W pracy skoncentrowano uwagę na przypadku, gdy piasek jest toczony po dnie kanału. Proces przetaczania się piasku jest chaotyczny, jednakże wykazuje on pewne charakterystyczne cechy (rys.1). Typowe dla tego rodzaju przepływu jest tworzenie się niewielkich wydym piasku. Wydmy te stopniowo przesuwały się w kierunku przepływu [4].



Rys. 2. Wymiary charakteryzujące wydmy

Śledzenie lub pomiar pojedynczych ziarenek piasku jest praktycznie niemożliwy, stąd postanowiono mierzyć przemieszczanie się wydmy piasku, na podstawie której wnioskuje się o ilości przemieszczającego się piasku. W celu jednoznacznego określenia strumienia przemieszczającego się piasku zaproponowano opisać wydmy za pomocą kilku wymiarów charakterystycznych (rys.2). Wymiar D przyjęto

równy szerokości kanału, natomiast wymiar h oznacza jej wysokość. Wymiar S oznacza szerokość wydmy w połowie jej wysokości.

Ponieważ kształt przekroju poprzecznego wydmy jest zbliżony do funkcji sinus, w dalszych obliczeniach przyjęto takie założenie. Objętość piasku jaka znajdująca się w wydmie może być obliczona na podstawie scałkowania funkcji sinus w granicach jednego okresu, który jest równy wartości $2S$.

$$V = D \cdot \int_0^{2S} \left(\frac{h}{2} + \frac{h}{2} \sin\left(\frac{\pi}{S}x\right) \right) dx \quad (1)$$

gdzie: h – wysokość wydmy [m], D – długość wydmy [m], S – szerokość wydmy [m], x – odległość w kierunku zgodnym z przepływem [m].

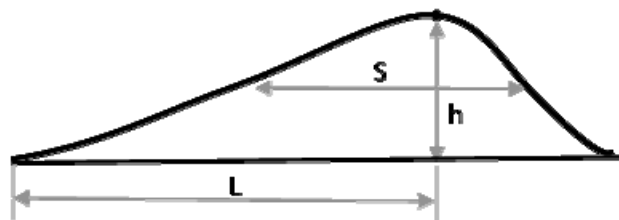
Po obliczeniu całki otrzymuje się zależność:

$$V = D \cdot h \cdot 2S \quad (2)$$

gdzie: h – wysokość wydmy [m], D – długość wydmy [m], S – szerokość wydmy [m].

Na podstawie obliczenia objętości wydmy oraz prędkości przesuwania się jej wierzchołka możliwe jest określenie strumienia objętościowego przepływu piasku. Strumień piasku jest jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących ruch w przepływie dwufazowym.

Z uwagi na to, że nie zawsze wydmy posiadają kształt symetryczny konieczne było wprowadzenie jeszcze jednego parametru opisującego kształt wydmy (rys.3). Jest nim odległość L pomiędzy minimalną i maksymalną wysokością wydmy, mierzona od strony napływającej cieczy.



Rys. 3. Typowy kształt wydmy

Ostatecznie przyjęto że dowolna wydma może być opisana za pomocą czterech charakterystycznych wymiarów. A obliczenie podstawowych parametrów ruchu będzie zdefiniowane tymi wymiarami. Przykładowo prędkość poruszania się wydmy będzie pochodną drogi jaką przebędzie wierzchołek wydmy po czasie.

Pomiar dwóch faz należy do jednych z najbardziej złożonych problemów metrologii (parametry geometryczne i przepływowe) [5]. Dodatkowo pomiary utrudnia stochastyczny charakter zjawisk zachodzących w każdej fazie. Powoduje to, że koncentracja fazy rozproszonej zależy od położenia i czasu. Szybkie zmiany w czasie i przestrzeni: powierzchni międzyfazowej, koncentracji, lokalnych prędkości przemieszczania się faz oraz kierunku ich przemieszczania, w znacznym stopniu utrudnia prowadzenie pomiarów. W proponowanym rozwiązaniu do identyfikacji faz zastosowano kamerę z aplikacją do analizy obrazu.

Obecnie brak jest uniwersalnej metody pomiarowej, która pozwalałaby na prowadzenie pomiaru w szerokim

zakresie parametrów, a większość metod charakteryzuje ograniczona przydatność. Stąd konieczne jest poszukiwanie nowych metod pomiarowych, zwłaszcza że brakuje rozwiązań analitycznych, na podstawie których można byłoby określać parametry procesu. W wielu przypadkach jedynym rozwiązaniem jest poszukiwanie zależności empirycznych lub wspomaganie modelowania danymi z eksperymentu. Skala trudności w pomiarze parametrów przepływów dwufazowych w stosunku do pomiaru przepływów jednofazowych jest nieporównywalnie większa. Na ogół pomiary takie wymagają stosowania odmiennych metod pomiarowych.

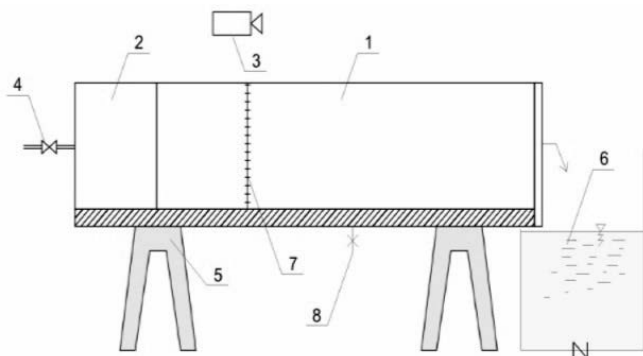
Podstawowymi parametrami, jakie podlegają pomiarowi są: skład frakcyjny kształt powierzchni międzyfazowej, prędkość lokalna i średnia, udział objętościowy, strumień objętości lub masy, struktura przepływu, opory przepływu mieszaniny. Do pomiaru tych parametrów wykorzystuje się różne metody pomiarowe: mechaniczne, elektryczne, optyczne, termiczne, chemiczne, akustyczne oraz magnetyczne. Obecnie niejednokrotnie wspomaga się te metody technikami komputerowymi.

3. KONCEPCJA STANOWISKA BADAWCZEGO

Na potrzeby badań laboratoryjnych planuje się zbudowanie stanowiska do badania prędkości i sposobu przemieszczania się piasku w kanale otwartym. Stanowisko składa się z kanału o przekroju prostokątnym wyposażonym w system do rejestracji i analizy obrazu.

3.1. Stanowisko badawcze

Planowane jest przeprowadzenie badań na stanowisku, którego schemat ideowy przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat proponowanego stanowiska badawczego

W kanale otwartym (1), gdzie odcinek pomiarowy kanału wykonany będzie z bezbarwnej szyby o długości 7 metrów i szerokości 0,1 m, przepływać będzie medium (woda z dodatkiem zanieczyszczeń o składzie zbliżonym do wód opadowych). Przezroczysty odcinek pomiarowy pozwoli na rejestrację obrazu fazy stałej przy zastosowaniu kamery, która umożliwi rejestrację obrazu do 100 klatek na sekundę. (3). Pozwoli to na wykonanie dokumentacji fotograficznej. Strumień główny wody podawany będzie przez zawór (4) do kanału wspartego na konstrukcji nośnej (5). Woda z koryta odprowadzana jest do zbiornika (6), który pozwoli na stabilizację strugi cieczy. W celu ułatwienia wzorcowania obrazu z kamery na ściankach kanału zaznaczone, będą podziałki minimetrowej (7), co umożliwi określenie w przekroju podłużnym stosunku długości porównywalnej z długością rzeczywistą. Śruba regulacyjna (8) służy do zmiany kąta nachylenia kanału co

umożliwia badanie przepływu przy różnej prędkości mieszaniny.

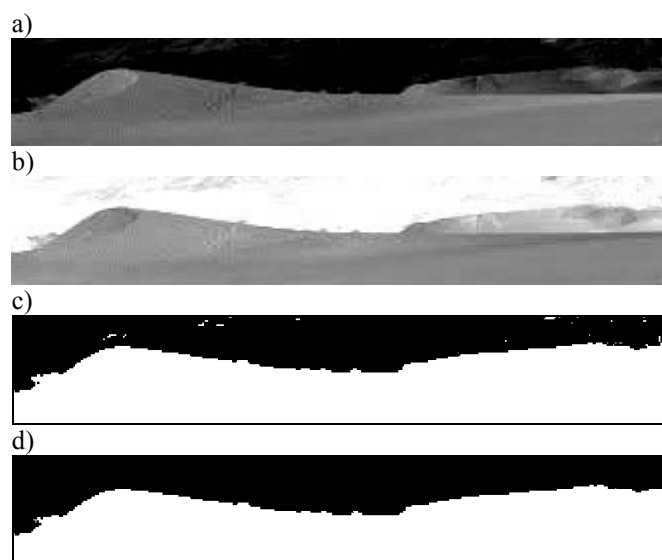
W początkowej części odcinka kanału wsypywany jest piasek. System przesuwany pozwala na zmianę odległości zastawki. Dodanie odpowiedniej substancji np. piasku w części początkowej kanału umożliwi bezpośrednio uruchomienie dodatkowego strumienia zanieczyszczeń, które przepływając przez kanał, zapewnia transport strumienia ziaren substancji stałej z przepływającą wodą.

Badanym materiałem będą wody opadowe z odpowiednimi dodatkami zanieczyszczeń stałych np. ziarnowych piasku kwarcowego. Wybór do badań piasku kwarcowego wynika między innymi z: niezmienności składu ziarnowego, gęstości rzeczywistej i usypowej w trakcie przechowywania, niewrażliwości chemicznej na wpływ otoczenia, oraz szerokiego zastosowania w wielu gałęziach przemysłu. Materiał przeznaczony do badań - cząstki ciała stałego, przed umieszczeniem w kanale, zostanie odpowiednio przygotowany. Proponowane stanowisko laboratoryjne daje możliwość obserwacji przepływającego medium. Ponadto, co ważne zapewniona jest stabilność warunków przepływu i szczelność układu. Możliwość instalacji urządzeń pomiarowych w różnych konfiguracjach pozwoli na szerokie badanie procesów przepływu. Stanowisko zapewnia łatwość obsługi i sterowania przepływem.

Dla celów badawczych ważna jest przede wszystkim możliwość tworzenia odpowiedniej mieszaniny wieloskładnikowej do badań. Wypełnienie kanału stanowić będzie mieszanina polidispersyjna cząstek o różnych właściwościach. Celem badań eksperymentalnych będzie określenie zachowania się zanieczyszczeń podczas przepływu w kanale, a tym samym wyznaczenie charakterystycznych parametrów.

3.2. Analiza obrazu

W celu identyfikacji oraz obliczenia podstawowych wymiarów charakteryzujących wydmy piasku planuje się napisanie własnej aplikacji w programie LabVIEW z pakietem Vision umożliwiające identyfikację w oparciu o analizę obrazu z kamery [6, 7].



Rys. 5. Proces analizy obrazu

Przykładowe obrazy z kamery uzyskane na prototypowym stanowisku badawczym przedstawiono na

rysunku 5. Obrazy z kamery niejednokrotnie obarczone są pewnymi defektami, takimi jak refleksy światła, różnego rodzaju cienie i odbicia. Powoduje to, że obraz bezpośrednio pochodzący z kamery nie nadaje się do dalszej analizy, co niejednokrotnie wymaga korekty jasności oraz kontrastu. Z uwagi na potrzebę rozróżnienia dwóch faz obraz kolorowy zamieniono na obraz w skali odcieni szarości (rys. 5a). W celu dalszej poprawy kontrastu obrazu dokonuje się inwersji barw (rys. 5b). Na obrazie o dużym kontraście przeprowadzono operację progowania, celem rozdzielenia na fazę stałą i ciekłą (rys. 5c). W wyniku powyższego przekształcenia otrzymuje się obraz, w którym następuje przyporządkowanie poszczególnym pikselom wartości 1 lub 0. Odpowiada to występowaniu w danym miejscu piasku lub wody. Obraz ten zawiera nieliczne artefakty które należy usunąć oraz wygładzić krawędzie. Na rysunku 5d przedstawiono obraz po usunięciu artefaktów, kolor biały oznacza piasek, natomiast czarny wodę. Dla tak przygotowanego obrazu, oblicza się poszczególne wymiary wydmy zamieniając odpowiednio skalę w pikselach na milimetry.

4. PODSUMOWANIE

Podjęta do badań problematyka stanowi odpowiedź na uwypuklona w literaturze potrzebę badań w zakresie przepływu mieszaniny dwufazowej. Z punktu widzenia eksploatacji kanałów burzowych zagadnienia związane ze zjawiskiem przepływu mieszaniny wielkoskładnikowej są bardzo istotne.

Przetwarzanie obrazów uzyskanych z rejestracji przepływów za pomocą kamery pozwoli na analizę ilościową i jakościową dzięki wprowadzeniu odpowiedniego opisu wydmy przesuwającego się piasku.

Proponowane badania mogą znaleźć szerokie możliwości praktycznego wykorzystania w projektowaniu urządzeń podczyszczających dla ścieków deszczowych.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Kotowski A.: Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2011.
2. Boguniewicz-Zabłocka J., Klosok-Bazan I., Podgórn E., Capodaglio A. G.: Ścieki z nieba. *AgroPrzemysł* Numer 3/2014(585) str19-22.
3. Dąbrowski W.: Parametry fizyczne zawieszin wód deszczowych jako podstawa do systemów podczyszczania. *Gaz, woda i technika sanitarna* 6/2001.
4. Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.: *Mechanika płynów w inżynierii i ochronie środowiska*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.
5. Dziubiński M., Prywer J. *Mechanika płynów dwufazowych*; WNT, Warszawa 2010.
6. Chałubiec J., Rząsa M. R., Tomczak Ł.: Metoda rekonstrukcji kształtu pęcherzy gazu w kolumnie aeracyjnej. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, no. 4-5, 2007. s. 24-29.
7. Chałubiec J., Rząsa M. R., Dobrowolski B.: Application of image tomography for determination of gas flow parameters in aeration process; 5th International Symposium on Process Tomography in Poland, 25-26 August, Zakopane 2008.
8. Zasoby internetowe
<http://www.klubynaszejziemi.pl/kluby/zespol-szkol-ogolnoksztalcacych-nr-1-w-rykach/new-rel>

CONCEPT OF AN EXPERIMENTAL STAND FOR STUDY THE OUTFLOW OF POLLUTANTS FROM COMBINED SEWER OVERFLOWS

A storm water system with open channels for the discharge of rainwater exists in most urbanised areas. The flow in these kind of channels is generally multiphase flow, in which there are solids and liquids and in some places there may be an additional gas phase. Therefore the ability to describe such flow is reduces to the description of the motion of the polydisperse mixture. Polydisperse mixture flow measurements are among the most difficult to achieve in technical terms. The article describes the concept of a measurement system that allows observation of the poly-dispersed flow and determine the basic parameters of its motion. Concept of experimental laboratory set-up was proposed to measure the parameters of the polydispersed mixture flow process in open channel with different slope of the channel and various granulometry of the solid fraction. In this work description of sand dunes with four typical parameters was proposed. A digital camera is used to interrogate the flow. Images recorded on the camera will be subjected to a process of image analysis, and from this the basic parameters of the movement are determined. The work includes a description of the experimental set-up with the idea of image analysis methods.

Keywords: open channel flow, two-phase flow, computer image processing.