

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R

**Tytuł projektu: SPOSÓB CIĄGŁEGO ODMULANIA ZBIORNIKÓW WODNYCH
Z ODDZIELENIEM WYBRANYCH FRAKCJI OSADÓW**

Akronim projektu: CIOZ (45)

RAPORT KOŃCOWY

Kierownik Projektu: dr inż. Paweł Zawadzki

Wykonawcy: prof. dr hab. Ryszard Błażejowski

dr inż. Maciej Pawlak



Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Poznań, październik 2018 r.

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R

Cele projektu

Głównym celem projektu CIOZ było określenie warunków hydraulicznych pracy instalacji do hydromechanicznego usuwania i oczyszczania osadów, w których materiał (namuł) pobierany z dna zbiornika wodnego rozdzielony zostanie na dwa strumienie, zawierające: frakcje grube (pożądane), kierowane bezpośrednio do rzeki poniżej piętrzenia, oraz frakcje drobniejsze i lżejsze (niepożądane). Pracująca instalacja powinna zapewnić ciągły przepływ wody i rumowiska przy wykorzystaniu jedynie różnicy poziomów wody między górnym a dolnym stanowiskiem budowli piętrzącej wodę.

Działanie instalacji pozwoli na skuteczny sposób ochrony pojemności zbiorników zaporowych przed akumulacją osadów i ograniczenie erozji poniżej niego.

Założenia teoretyczne

Kluczowym elementem instalacji jest separator szczelinowy, rozdzielający osad pobierany z dna zbiornika na dwie frakcje. Działanie separatora wzorowane jest na pracy kanalizacyjnego piaskownika szczelinowego, który jest urządzeniem o przepływie poziomym z wydzieloną komorą magazynowania piasku poza korytem przepływowym. Zasada działania tego typu piaskowników polega na tym, że w wyniku zmniejszenia prędkości, z transportowanej mieszaniny wydziela się grubsza frakcja (piasek), która wleczona po dnie trafia do szczelin. Parametrami obliczeniowymi piaskowników poziomych korytowych są: prędkość przepływu, czas przepływu oraz hydrauliczne obciążenie powierzchni piaskownika.

Zgodnie z teorią Hazena (BŁAŻEJEWSKI 2015), czas t opadania cząstki stałej z prędkością $w_{gr} \approx w_{ss}$ na głębokości $h = D$ jest równy czasowi jej transportu poziomego na odległość $l = t \cdot v$. Prędkość przepływu wody w separatorze powinna być uzależniona od prędkości opadania cząstki stałej, której usunięcie jest pożądane.

Prędkość opadania pojedynczego ziarna obliczono ze wzoru (PALARSKI 1982):

$$w_{ss} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot g \cdot \frac{d_s}{C_D} \cdot \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} \quad (1)$$

gdzie: d_s – średnica przeciętna frakcji, mm; C_D – współczynnik oporu zależny m.in. od liczby Reynoldsa dla ziarna (PALARSKI, 1982); ρ_s – gęstość cząstek stałych, $\rho_s = 2650 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; ρ_w – gęstość wody, $\rho_w = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Liczbę Reynoldsa dla opadającego pojedynczego ziarna obliczano z zależności:

$$\text{Re}_s = \frac{d_s \cdot w_{ss}}{\nu} \quad (2)$$

gdzie: Re_s – liczba Reynoldsa dla ziarna; ν – kinematyczny współczynnik lepkości wody, $\nu = 1,006 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ dla czystej wody w temperaturze 20°C .

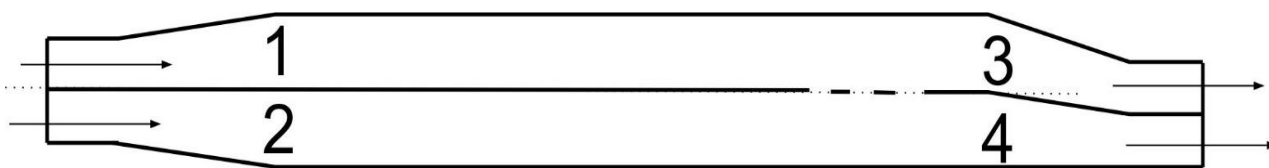
W pierwszym przybliżeniu prędkość opadania obliczano ze wzoru (1) w postaci:

$$w_{ss} = 1,74 \sqrt{g \cdot d_s \cdot \Delta} \quad (3)$$

gdzie: $C_D = 0,44$, $\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$ - względna gęstość cząstek stałych, zanurzonych w cieczy.

W badaniach przyjęto wszystkie wielkości fizyczne (prędkość średnią, strumień masowy osadu), jak i elementy składowe separatora (przewody, zawory) wyróżniać indeksem od 1 do 4 według schematu przedstawionego na Ryc. 1.

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R



Ryc. 1. Przyjęte oznaczenia przewodów piaskownika: 1 - wlot górny, 2 - wlot dolny, 3 - wylot górny, 4 - wylot dolny.

Teoretycznie, idealnie pracujący separator szczelinowy powinien pozwolić na rozdzielenie dwóch frakcji: grubszą, po przejściu przez szczeliny przepływającą dolnym przewodem (4), od drobniejszej, odprowadzanej górnym przewodem (3). Efektem niepożądanym byłoby wzajemne zanieczyszczenie frakcji po przepłynięciu przez szczeliny separatora. W badaniach zaproponowano (ZAWADZKI 2017), aby sprawność separatora zawiesiny obliczać według wzoru:

$$\eta = \beta_p \cdot (1 - \beta_n) \quad (4)$$

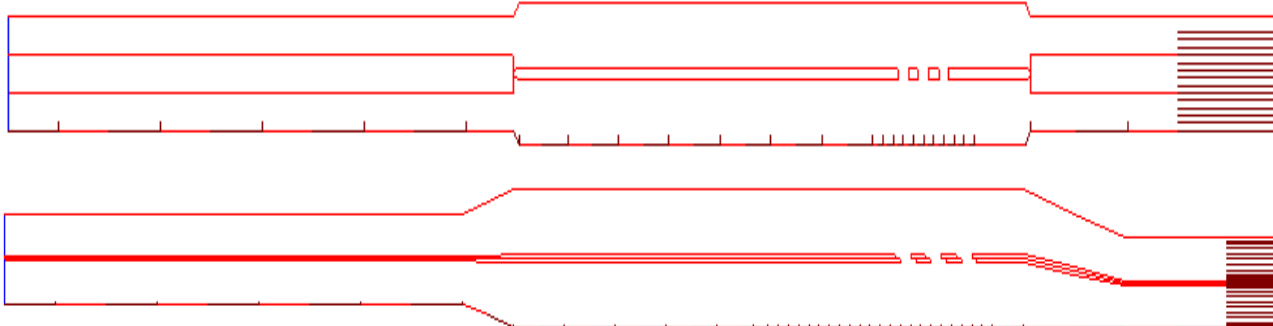
gdzie: $\beta_p = \frac{\sum m_{4i}}{\sum m_i}$ - stopień wysortowania ziaren pożądaných (oczyszczanej), $\beta_n = \frac{\sum m_{4j}}{\sum m_j}$ - stopień wysortowania ziaren niepożądanych (zanieczyszczającej).

Definicja stopienia wysortowania β przyjęta została za KOWALSKIM (2004), który stopniem sedymentacji (lub stopniem osadzania) i -tej klasy ziarnowej, określa stosunek strumienia masy cząstek na odpływie do przyporządkowanego mu strumienia w zawieszynie wprowadzonej do urządzenia (w nadawie). Stopień wysortowania informuje nas, jaka część ziaren i -tej frakcji, transportowana górnym przewodem, przepływa wraz z wodą szczelinami. Oczekujemy, że stopień wysortowania frakcji grubszych będzie jak najwyższy ($\beta_p \rightarrow 1$), natomiast dla frakcji drobnych i organicznych, jak najniższy ($\beta_n \rightarrow 0$).

Konstrukcja i eksploatacja separatora powinna być prowadzona tak, aby stworzyć warunki pracy, w których zatrzymywane jest przynajmniej 75% części mineralnych (frakcje pożądané $\beta_p > 0,75$) oraz a cząstki drobne i organiczne (zanieczyszczenia) nie przekraczających 10% ($\beta_n < 0,10$) (MOŁONIEWICZ I IN. 1979). Podstawiając powyższe wartości do wz. (4) uzyskujemy graniczną wartość skutecznej pracy separatora: $\eta = 0,75 \cdot (1 - 0,1) \cdot 100\% = 67,5\% \sim 70\%$.

Model matematyczny

Projektowanie instalacji oraz optymalizację konstrukcji separatora wsparto symulacjami przepływu wody i osadów na modelu matematycznym wykonanym z użyciem pakietu SSIIM (ang. Simulation of sediment movements in water intakes with multiblock option – symulacja ruchu osadów na ujęciu wody z opcją powielania siatki dyskretnej) (OLSEN 2014). Przeprowadzone symulacje pozwoliły na modyfikację konstrukcji separatora, w której wszystkie zmiany przekroju poprzecznego są łagodne i nie zwiększają burzliwości przepływu (Ryc. 2.)



Ryc. 2. Pierwotny (górny) i ostateczny (dolny) przekrój podłużny separatora szczelinowego.

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R

Przyjęto, że badania fizyczne przeprowadzone zostaną na separatorze, w którym pierwsza szczelina będzie umieszczona w $\frac{3}{4}$ długości górnej komory roboczej. Umieszczenie szczeliny w tym przekroju pozwala na zwiększenie pola powierzchni komory roboczej (w porównaniu z innymi wariantami) poprzez rośnie sprawność separatora. Wielkość tę wielkość uwzględniamy obliczając liczbę Hazena:

$$Ha = \frac{Q}{A_o \cdot w_{ss}} = \frac{v_1 \cdot A}{A_o \cdot w_{ss}} = \frac{v_1}{w_{ss}} \cdot \frac{A}{A_o} \quad (5)$$

gdzie: Q – objętościowe natężenie przepływu, A_o – pole powierzchni rzutu poziomego osadnika, w_{ss} – prędkość opadania cząstki, v_1 – prędkość średnia, A – pole powierzchni przekroju poprzecznego komory roboczej.

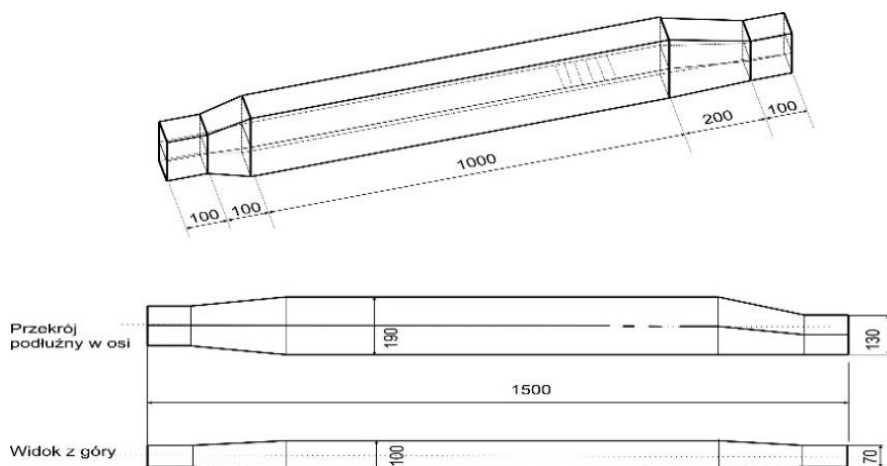
Symulacje na modelu matematycznym oraz zależności przedstawione przez ZAWADZKIEGO (2017) pozwoliły określić warunki, w jakich proces separacji byłby skuteczny przy sprawności nie mniejszej niż 70% ($\eta \geq 0,7$):

- separator, w górnej części komory roboczej, pracuje jak osadnik i dobrym kryterium jego wymiarowania jest liczba Hazena Ha ;
- skuteczna separacja frakcji przy następuje wówczas, kiedy dla najmniejszej frakcji pożądanej stosunek średniej prędkości i prędkości opadania jest mniejszy od 4,5 ($v_1/w_{ss} < 4,5$), co odpowiada liczbie Hazena mniejszej od 0,35 ($Ha < 0,35$);
- frakcje mniejsze i organiczne (niepożądane) usuwane są skutecznie ($\beta_n < 0,10$) w warunkach kiedy stosunek prędkości v_1/w_{ss} jest większy od 45 ($v_1/w_{ss} > 45$);
- w separatorze powinny być wykonane przynajmniej trzy szczeliny o rozstawie nie mniejszej niż szerokość szczeliny;
- szerokość szczeliny nie powinna być mniejsza niż dwie średnice największego ziarna usuwanych osadów.

Badania laboratoryjne

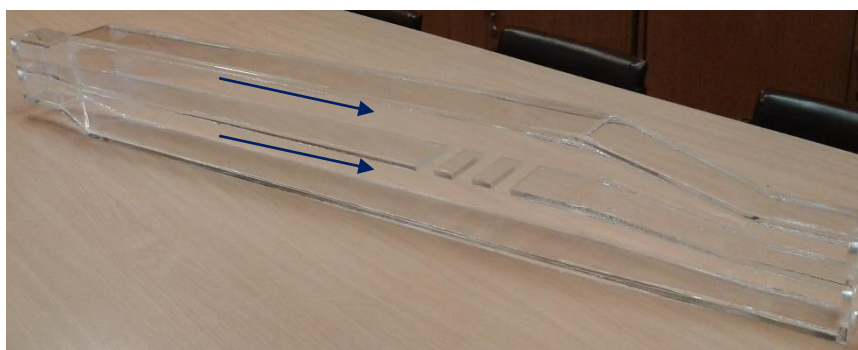
Korzystając z powyższych uwag, do badań fizycznych wykonano separator szczelinowy o następujących wymiarach (Ryc. 3.):

- długość komory roboczej separatora: 1000 mm;
- trzy szczeliny robocze o szerokości 20 mm i odstępnie 20 mm, z których pierwsza w odległości 750 mm od początku komory roboczej;
- kwadratowy przekrój komory roboczej 80 mm x 80 mm;
- doprowadzenie i odprowadzenie wody i osadów przewodami o średnicy 50 mm.



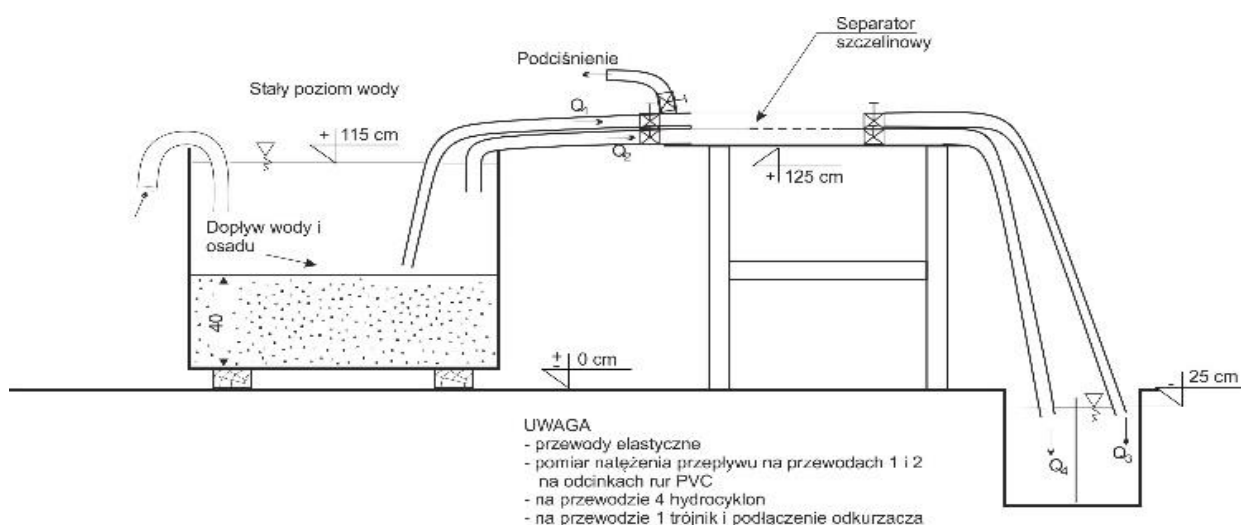
Ryc. 3. Schematy separatora szczelinowego: widok górny -oczny, przekrój podłużny w osi i widok z góry. Wymiary podano w mm.

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R



Ryc. 4. Widok separatora szczelinowego, wykonanego ze szkła organicznego.

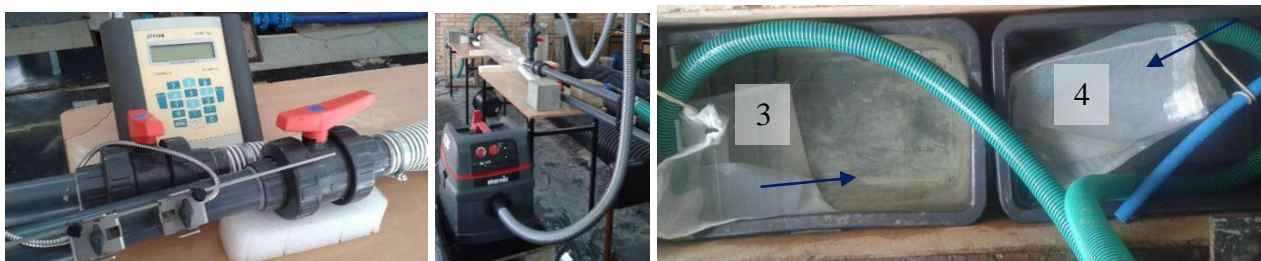
W laboratorium wodnym Katedry Inżynierii Wodnej i Sanitarnej wykonano stanowisko badawcze (Ryc. 5.) instalacji do hydrodynamicznego usuwania osadów.



Ryc. 5. Schemat instalacji i jej widok w laboratorium.

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R

Instalacja została zaplanowana jako lewar, ponieważ w warunkach terenowych przewody poprowadzone zostaną górą, ponad koroną zapory ziemnej. Spad - różnica między zwierciadłem wody górnej (zbiornik) a dolnej (koryto odpływowe) uzyskano ok. 1,5 m i była to wartość zbliżona do spadku na terenowym obiekcie badawczym. W laboratorium do pomiarów objętościowego natężenia przepływu wykorzystywano przepływomierz F M Magflo firmy Siemens, który pozwalał na określenie całkowitego (sumarycznego) przepływu Q_c zasilającego instalację badawczą. Średnie prędkości przepływu hydromieszanki w przewodach instalacji określano na podstawie pomiarów ultradźwiękowym prędkościomierzem Fluxus F601 firmy Flexim. Do wytworzenia podciśnienia i zalania separatora woda wykorzystano odkurzacz przemysłowy maksymalnej wysokości ssania 2,5 m H₂O. W czasie badań laboratoryjnych woda i osad zassane były z dna otwartego zbiornika o poj. 0,3 m³ i po przepłynięciu przez separator wypływały do zbiorników w kanale odpływowym. Na końcach przewodów odpływowych mocowane były filtry pozwalające na zatrzymywanie transportowanych cząstek stałych (Ryc. 6.).



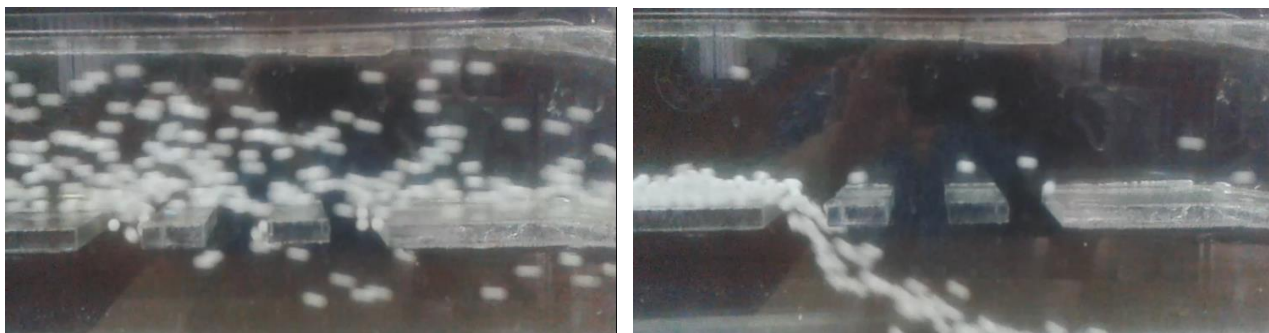
Ryc. 6. Stanowisko badawcze: prędkościomierz, odkurzacz przemysłowy, filtry na odpływach.

Opisana powyżej instalacja, pozwalała na uzyskiwanie maksymalnego objętościowego natężenia przepływu w warunkach przepływu ustalonego (dopływ i odpływ z zbiornika górnego) ok. 5,5-5,6 l/s, co pozwalało na uzyskanie prędkości średnich w przewodach zasilających 1,5 m/s. W komorze roboczej, w wyniku zwiększenia przekroju poprzecznego prędkości v_1 i v_2 redukowane były do wartości od 0,6 do 0,4 m/s. Prędkości w komorze roboczej poniżej szczelin (v_3 i v_4) były regulowane. W badaniach laboratoryjnych wykorzystano - jako transportowane cząstki stałe - kulki o średnicy 6 mm wykonane z materiału o różnej gęstości (tabela 1) oraz osady pobrane z dna zbiornika wodnego na Kanale Przeźmierki (obiekt badawczy).

Tabela 1. Charakterystyka cząstek kulistych (amunicja ASG), wykorzystanych podczas badań.

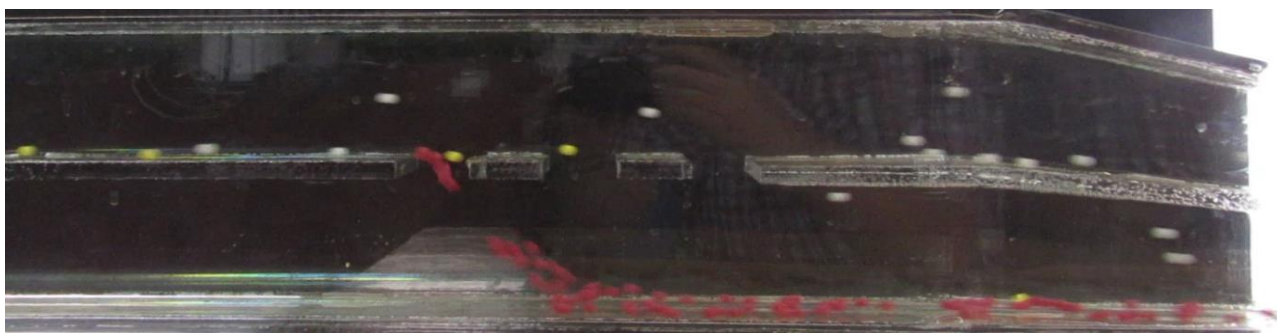
Lp.	Kolor	Masa m_l g	Ciężar N	Ciężar obj. N/m ³	Gęstość kg/m ³	Re _s -	C _D	w _{ss} m/s
1	białe	0,12	0,001177	10404,8	1061,0	544	0,576	0,02
2	żółte	0,13	0,001275	11272,3	1149,5	912	0,502	0,153
3	białe mat.	0,15	0,001479	13006,5	1326,3	1416	0,454	0,237
4	białe połysk	0,20	0,001961	17341,4	1768,3	2273	0,415	0,381
5	beżowe	0,20	0,001961	17341,4	1768,3	2273	0,415	0,381
6	czerwone	0,25	0,002452	21676,7	2210,4	2912	0,398	0,488
7	czarne	0,30	0,002942	26012,1	2652,5	3446	0,388	0,578
8	białe	0,30	0,002942	26012,1	2652,5	3446	0,388	0,578
9	grafitowe	0,40	0,003923	34682,8	3536,7	4181	0,405	0,701

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R



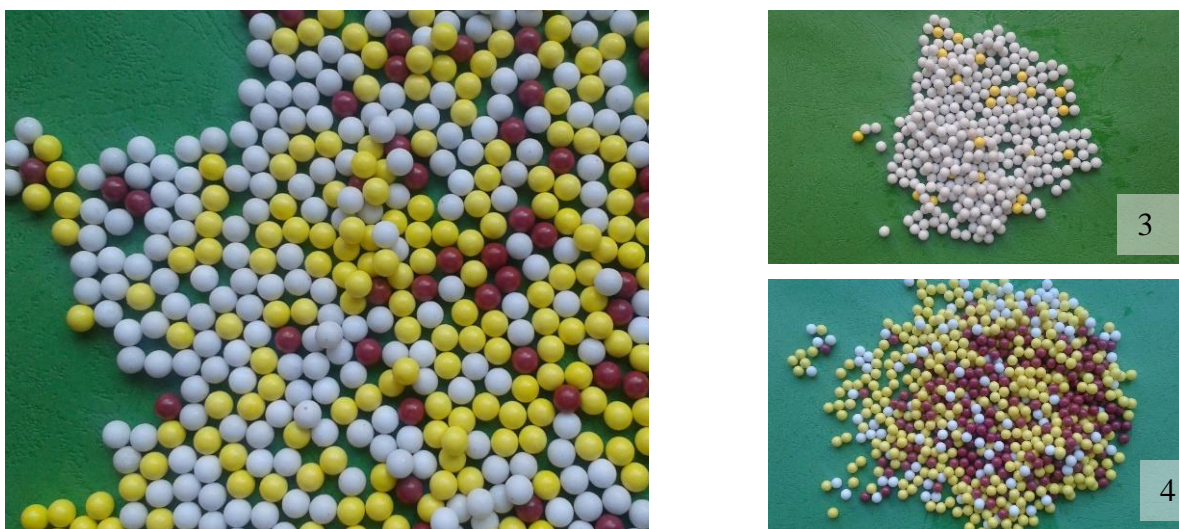
Ryc. 7. Separacja hydrauliczna: na lewym zdjęciu cząstki lżejsze przenoszone są ponad szczelinami, na prawym - cząstki o dużej gęstości przepływają przez szczeliny.

W badaniach z cząsteczkami kulistymi (amunicja ASG) wykorzystano przede wszystkim najlżejsze cząstki (Tabela 1. pozycje 1, 2 i 6). Przy średnich prędkościach w komorze roboczej separatora $v_1 \approx v_2 \approx 0,46$ m/s cząstki cięższe od 0,25 g zawsze wleczone były po dnie i opadały przez szczeliny (Ryc. 8.).



Ryc. 8. Separacja cząstek kulistych trzech frakcji – tabela 1. poz. 1, 2 i 6.

W doświadczeniu z trzema frakcjami (przy założeniu, że usuwamy najlżejszą białą frakcję o $m_1 = 0,12$ g) uzyskano stopień wysortowania frakcji pożądaných $\beta_p = 0,974$ a niepożądaných $\beta_n = 0,055$, co pozwala obliczyć, że sprawność procesu wynosiła $\eta = 0,974 \cdot (1 - 0,055) \cdot 100\% = 92\%$ (Ryc. 9).



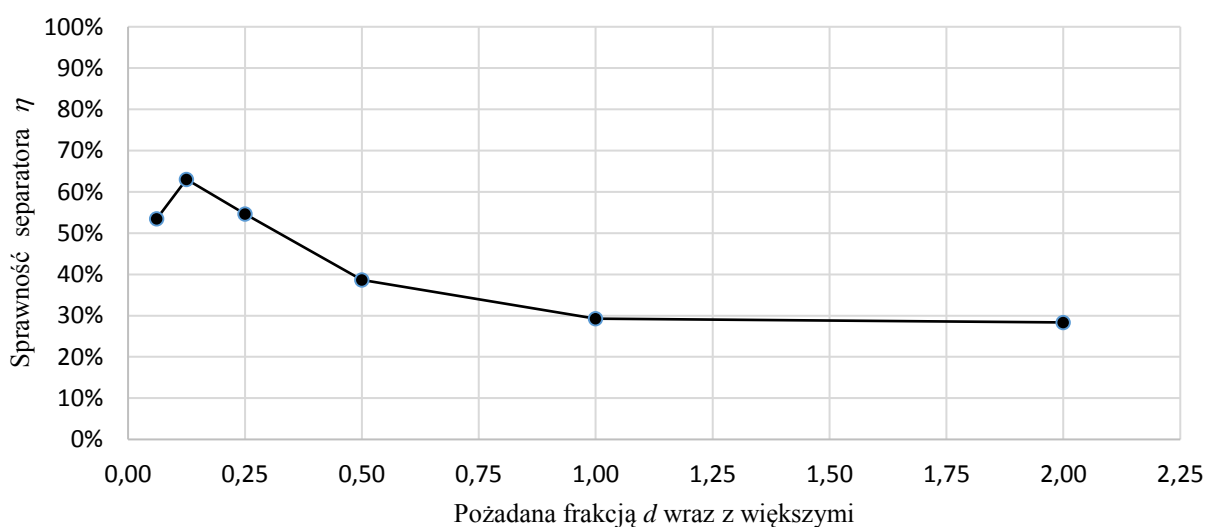
Ryc. 9. Wynik separacji hydraulicznej: po lewej stronie nadawa, po prawej stronie u góry frakcja zanieczyszczająca (3), na dole oczyszczana (pożądana) (4). Sprawność procesu $\eta = 92\%$.

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R

W doświadczeniach z osadem pobranym ze zbiornika przyjęto, że chcemy wysortować frakcje mniejsze od średnicy $d = 0,25$ mm (Ryc. 10). Dla cząstek o średnicy $d > 0,50$ mm średnia prędkość w komorze roboczej separatora $v_1 \approx v_2 \approx 0,46$ m/s jest mniejsza od wartości wielokrotność prędkości swobodnego opadania w_{ss} ($v_1 \ll 4,5 \cdot w_{ss}$), co powinno zapewnić ich skuteczne sortowanie hydrauliczne. Sprawność procesu sortowania w tym doświadczeniu wynosiła $\eta = 0,709 \cdot (1 - 0,229) \cdot 100\% = 54,5\%$ (Ryc. 11). Niska sprawność procesu sortowania związana jest z dużym udziałem frakcji o średnicy $d = 0,25$ mm, której w pobranych osadach było ok. 47% (Tabela 2), a stopień wysortowania β tylko 61%. Wynikało to ze stosunkowo dużej prędkości średniej v_1 ($v_1/w_{ss} = 6,6$; $4,5 < v_1/w_{ss} < 45$) powodującej przepływ części cząstek tej frakcji ponad szczelinami przed szczelinami (Ryc. 10). Skuteczne sortowanie tej frakcji nastąpiłoby zmniejszeniu prędkości v_1 . Stopień wysortowania β wszystkich frakcji w zależności od stosunek średniej prędkości i prędkości opadania v_1/w_{ss} pokazano na Ryc. 11 oraz w tabeli 2.



Ryc. 10. Separacja hydrauliczna osadów pobranych z dna zbiornika: frakcje drobne transportowane są jako rumowisko unoszone ponad szczelinami, frakcje grube jako rumowisko wleczone przepływają przez szczeliny.

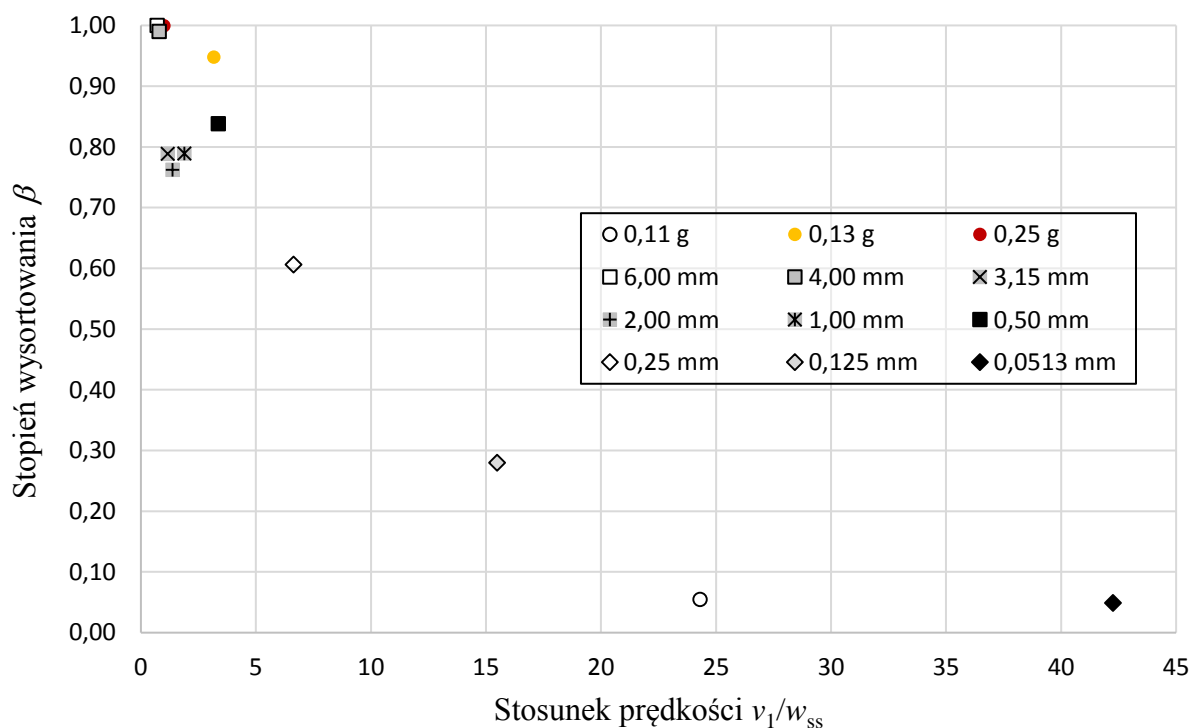


Ryc. 11. Sprawność separatora η w zależności przyjętej średnicy d rozdziału na frakcje pożądane i niepożądane.

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R

Tabela 2. Charakterystyka osadów pobranych z górnej części zbiornika oraz stopień wysortowania β w czasie badań laboratoryjnych.

d mm	Udział %	Re_s -	c_D	w_{ss} m/s	$4,5 \cdot w_{ss}$ m/s	β -	v_1/w_{ss} -
8,000	0,00						
6,000	0,05	3443	0,388	0,577	2,885	1,00	0,7
4,000	0,53	1772	0,434	0,399	4,000	0,99	0,8
3,150	0,55	1189	0,472	0,339	1,695	0,79	1,2
2,000	2,39	544	0,576	0,245	1,225	0,76	1,4
1,000	9,93	154	0,9	0,138	0,690	0,79	1,9
0,500	28,08	37	1,786	0,070	0,350	0,84	3,4
0,250	46,70	8,3	4,858	0,030	0,150	0,61	6,6
0,125	9,06	1,5	18,757	0,011	0,055	0,28	15,5
0,0613	2,54	0,2	110,7	0,003	0,015	0,05	42,3
< 0,0613	0,17						



Ryc. 12. Stopień wysortowania poszczególnych frakcji w zależności od warunków hydraulicznych v_1/w_{ss} przy prędkości średniej $v_1 = 0,46$ m/s

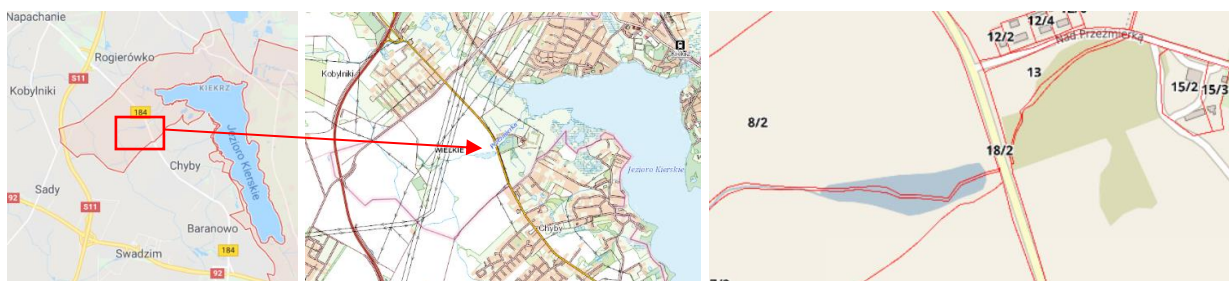
Badania terenowe

Jako obiekt badań terenowych wybrano zbiornik wodny powstały w wyniku spiętrzenia wody na niedużej rzece Przeźmierce w miejscowości Wielkie ok. 15 km od Poznania (Ryc. 13). Nie ustalono gospodarza zbiornika. Natomiast tereny na obu brzeg są własnością prywatną i przed przystąpieniem

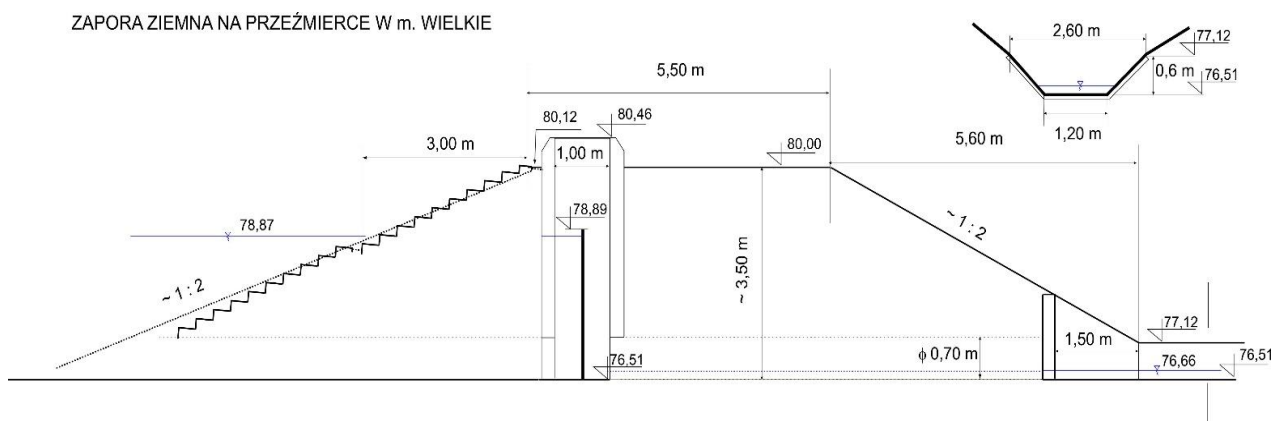
Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R

do pomiarów oraz badań wystąpiono o zgodę na prowadzenie prac. Zgodę taką uzyskano i w okresie badań kontaktowano się z właścicielem i dzierżawcą.

Rzeka Przeźmierka (kanał Przeźmierki, Kanał Swadzimski) jest niewielkim ciekim prowadzącym wody z Przeźmierowa, uchodzącym do Jeziora Kierskiego w okolicach gospodarstwa rolnego Wielkie. Rzeczka wraz z kanałami melioracyjnymi odwadnia tereny rolne położone wzdłuż drogi wojewódzkiej nr 184 (SYDOR I ZAJĄC 2011). Zbiornik powstał w miejscu stawów rybnych w wyniku przegrodzenia doliny cieku zaporą ziemną o wysokości ok. 3,50 m i nachyleniu skarp 1 : 2 (Ryc. 14). Obie skarpy porośnięte są trawą. Budowlą przelewowo-upustową jest mnich z drewnianymi sztandorami, wbudowany w korpus zapory. Poniżej mnicha, pod korpusem zapory, woda odprowadzona jest betonowym przewodem o przekroju kołowym i średnicy 0,70 m, który w dolnym stanowisku przechodzi w kanał otwarty o przekroju trapezowym. Zbiornik ma ok. 250 m długości i średnią szerokość 30 m (maksymalnie 58 m). Średnia głębokość wody w zbiorniku wynosi ok. 1 m.



Ryc. 13. Zbiornik wodny na rz. Przeźmierce.



Ryc. 14. Przekrój przez zaporę ziemną zbiornika

W okresie od maja do września 2018 r. poziom wody wahał się w granicach 80 cm (Ryc. 15.). Najniższy poziom obserwowano w pod koniec sierpnia, kiedy w górnej części zbiornika odsłonięte zostało dno. Pozwoliło to na pobranie próbek zakumulowanego rumowiska w części wlotowej. Równocześnie zaobserwowano przenoszenie przez płynącą wodę rumowiska wcześniej zdeponowanego na początku zbiornika w głąb niego na odległość ok. 30 m (Ryc. 16).

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R

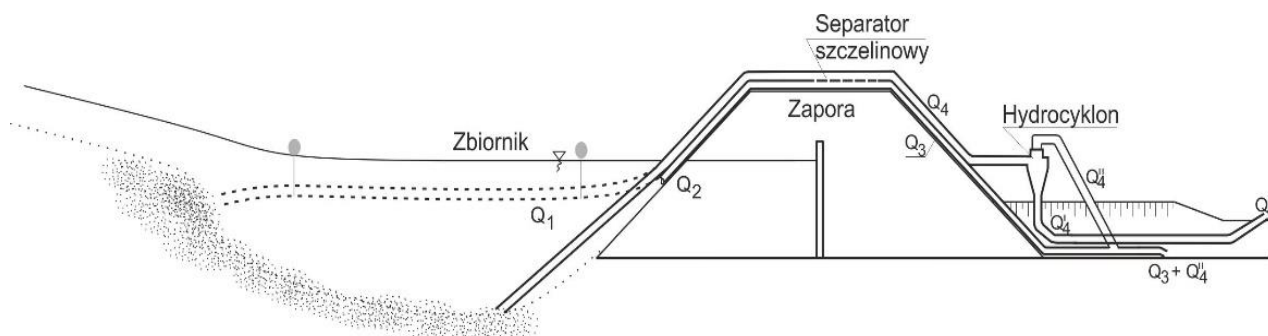


Ryc. 15. Górna część zbiornika; widok w maju i sierpniu 2018 r.



Ryc. 16. Widok górnej części zbiornika z odsłoniętym dnem (29 sierpnia 2018 r.)

Schemat instalacji do hydrodynamicznego usuwania i separowania frakcji przedstawiono na Ryc. 17. Niestety, z uwagi na mały spadek i niewielkie prędkości średnie w komorze roboczej separatora, nie udało się wykonać się doświadczeń z użyciem hydrocyklonu.



Ryc. 18. Schemat instalacji w czasie badań terenowych.

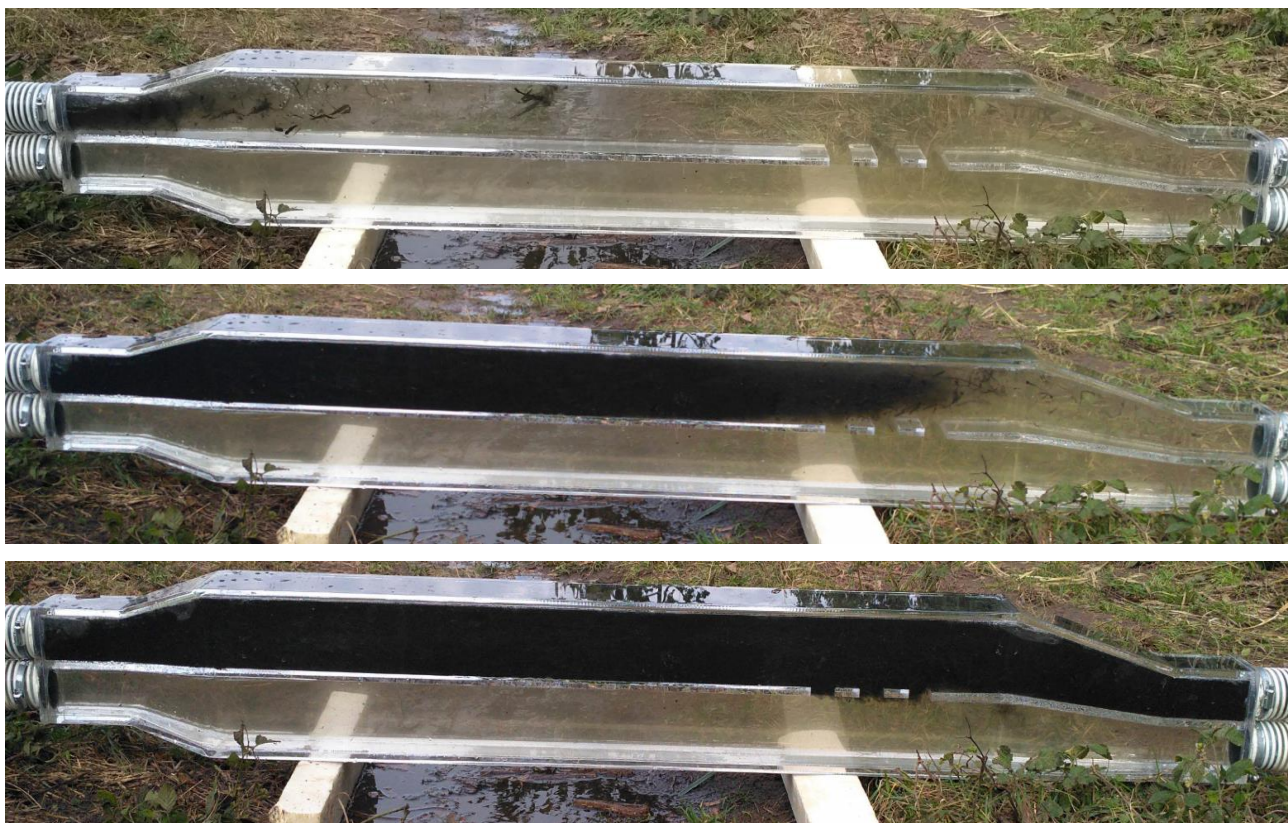
Badania rozpoczęto od zmontowania instalacji i jej zalania wodą. W warunkach przepływu czystej wody w przewodach doprowadzających pomierzono prędkości średnie 1,70 – 1,85 m/s, co odpowiadało prędkościom w komorze roboczej v_1 od 0,51 m/s do 0,57 m/s. Z uwagi na to, że zassane osady składały się głównie z materii organicznej i frakcji mineralnych mniejszych od 0,5 mm, prędkości te zredukowano do $v_1 \approx 0,2$ m/s, tj. prędkości przy której stosunek prędkości v_1/w_{ss} był mniejszy od 4,5. Przebieg doświadczenia pokazano na ryc. 18-20. Osad z dna zbiornika składał się głównie z frakcji mineralnych o średnich mniejszych niż 1,0 mm (udział frakcji 0,25 mm < d < 1,0 mm ok. 75%), namulów organicznych, resztek roślin wodnych i drobnych muszelek.

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R

Brak opadów i spowodowane tym małe przepływy w cieku (< 4 l/s) oraz obniżone piętrzenie w zbiorniku w okresie od maja do początku września, nie pozwoliły na przeprowadzenie badań terenowych w pełnym zakresie.



Ryc.18. Przepływ hydromieszanki przez separator: góra przenoszone są osady organiczne i drobne frakcje mineralne, przez szczeliny opadają większe cząstki.



Ryc. 19. Widok separatora szczelinowego podczas pracy



Ryc. 20. Separacja cząstek mineralnych (frakcje 0,50 mm i 0,25 mm) od osadów organicznych.

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z programu "Inkubator Innowacyjności+" w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój Działanie 4.4 Zwiększenie potencjału kadrowego sektora B+R

Podsumowanie

Instalacja do hydromechanicznego usuwania osadów okazała się skuteczna przy transporcie i separacji wybranych frakcji. Proces zachodził pod wpływem różnicy poziomów wody w górnym i stanowisku. Zewnętrzne źródło energii potrzebne jest tylko do usunięcia powietrza z przewodów i separatora, i wyłącznie wtedy kiedy instalacja pracuje jako lewar.

W warunkach laboratoryjnych, w przypadku symulowania usuwanych osadów cząstkami kulistymi, sprawność procesu separacji była bardzo wysoka i wynosiła $\eta = 92\%$, natomiast separacja osadów pobranych z górnej części zbiornika zachodziła ze skutecznością dochodzącą do 55-65%.

W badanych terenowych skutecznie udało się oddzielić frakcje mineralne ($0,25 \text{ mm} < d < 1,0 \text{ mm}$) od osadów organicznych. W warunkach naturalnych, pożądane jest aby separowane frakcje z osadów dennych miały podobny skład granulometryczny jak rumowisko dostarczone przez rzekę do zbiornika. Te osady mogą być bezpiecznie skierowane do rzeki poniżej zbiornika.

Badania potwierdziły istotne znaczenie stosunku średniej prędkości przepływu wody do prędkości swobodnego opadania cząstki stałej v_1/w_{ss} , który jest ważnym kryterium określenia wymaganych warunków hydraulicznych w skutecznym procesie separacji.

W wypadku kontynuacji badań powinny być one prowadzone w warunkach zwiększonej różnicy poziomów wody przy spadach większych niż 2,5 m, w których możliwa będzie większa kontrola prędkości przepływu hydromieszaniany przez separator oraz możliwe będzie zastosowanie hydrocyklonu do jej zagęszczenia.

Literatura

- BŁĄZEJEWSKI R. (2015): Sedymentacja cząstek ciała stałego. Podstawy teorii z przykładami zastosowań. PWN, Warszawa.
- KOWALSKI W. (2004): Osadniki wielostrumieniowe. AGH Uczelniane Wydawnictwo Naukowe, Kraków.
- MOŁONIEWICZ W., SĘDZIOWSKI T., BONIKOWSKI T. (1979): Małe oczyszczalnie ścieków. Projektowanie i wykonawstwo. Arkady, Warszawa.
- OLSEN N. R. B. (2014): A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movements in water intakes with multiblock option. User's manual. The Norwegian University of Science and Technology. <https://www.ntnu.edu/ivm/cfd>, dostęp: wrzesień 2015.
- PALARSKI J. (1982): Hydrotransport. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- SYDOR K., ZAJĄC J. (2010): Prognoza oddziaływania na środowisko miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego dla obszaru Północno-Zachodniego klina zieleni w Poznaniu, część H – rejon rzeki Przeźmierki. Miejska Pracownia Urbanistyczna, Zespół Opracowań Środowiskowych, Urząd Miasta Poznania.
http://www.mpu.pl/repozytorium/205_Przezmierka_prognoza.pdf, dostęp maj 2017 r.
- ZAWADZKI P. (2017): Odmulanie zbiorników retencyjnych i oddzielenie wybranych frakcji osadów w separatorze szczelinowym. Rozprawy naukowe 494. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.