

## **ODDZIAŁYWANIE STAWÓW DETENCYJNYCH NA WIELKOŚĆ ŁADUNKU RUMOWISKA UNOSZONEGO – PRZEGLĄD WYNIKÓW BADAŃ**

Adam Krajewski, Kazimierz Banasik

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono przegląd wyników badań dotyczących wpływu stawów detencyjnych (tj. zbiorników o niewielkiej pojemności, lokalizowanych w terenach zurbanizowanych, spowalniających odpływ wód wezbraniowych) na redukcję ładunku rumowiska unoszonego. Wraz z unosinami w stawach zatrzymywane są znaczne ilości metali ciężkich, związków fosforu i innych zanieczyszczeń. Proces sedimentacji cząstek zachodzi efektywniej w przypadku zbiorników piętrzących wodę stale niż w przypadku zbiorników suchych. Do prawidłowego funkcjonowania obiektów niezbędna jest ich regularna kontrola. Narzędziem, które można wykorzystać do oceny zdolności stawów detencyjnych do zatrzymywania rumowiska unoszonego, jest przedstawiony w pracy model koncepcyjny. Traktuje się w nim zbiornik jak komorę z pełnym wymieszaniem. Model charakteryzuje się niską liczbą parametrów oraz prostą strukturą, co ułatwia jego zastosowanie w przypadku zlewni nieobserwowanych. Praca ma na celu zwrócenie uwagi na problematykę jakości odpływu w zlewniach miejskich oraz na rolę, jaką stawy detencyjne mogą odgrywać w procesie podczyszczania wody.

**Słowa kluczowe:** hydrologia, małe zbiorniki, rumowisko unoszone, sedimentacja, zlewnia zurbanizowana

### **WPROWADZENIE**

Konsekwencją występowania intensywnych deszczy, a także roztopów śniegu jest wzrost natężenia przepływu oraz transportu rumowiska w korycie rzecznym. Zarówno wysokie przepływy, jak i nadmierne ilości rumowiska mogą powodować straty społeczne, gospodarcze oraz środowiskowe. Skutki intensywnego transportu rumowiska to m.in. zamulanie zbiorników i budowli hydrotechnicznych, wzrost zagrożenia powodziowego

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: mgr inż. Adam Krajewski, Katedra Inżynierii Wodnej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: [adam\\_krajewski1@sggw.pl](mailto:adam_krajewski1@sggw.pl).

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2017

w ujściowych odcinkach rzek, pogorszenie jakości wody i wzrost kosztów jej uzdatniania. Szczególnie niekorzystny wpływ na środowisko ma rumowisko unoszone (drobny materiał mineralny i organiczny, transportowany bez kontaktu z dnem), które może być nośnikiem innych zanieczyszczeń [Madeyski i Banasik 1989, Szewrański i in. 2004], takich jak związki fosforu [Hejduk 2011], metale ciężkie [Herngren i in. 2005], wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne [Bathi i in. 2012], radionuklidy [Walling 2006], farmaceutyki [Sikorska i in. 2012]. Ostatnie badania wskazują, że jednostkowy ładunek rumowiska pochodzący z obszarów zurbanizowanych może znacznie przewyższać ładunek pochodzący z terenów rolniczych [Ciupa 2009, Franz i in. 2014]. Ponadto spodziewać się należy wzrostu natężenia procesów erozyjnych w zlewniach, ze względu na rosnącą liczbę i wysokość opadów nawalnych [Fiener i in. 2013, Pai i in. 2015] oraz zmiany w odpływie, spowodowane wzrostem udziału terenów zurbanizowanych [Banasik i in. 2008, Banasik i Pham 2010]. Czynniki te wpłyną także na większą ilość rumowiska w rzekach.

Proces uruchamiania i transportu rumowiska jest złożony, co znacznie utrudnia kontrolę nad nim w skali zlewni [Bansik i Górski 1993, Mitchell i in. 2001, Banasik i in. 2005, Hejduk i in. 2006]. W związku z tym łatwiejsze staje się redukcjonowanie transportowanego przez ciek ładunku niż ograniczanie jego produkcji. Na terenach miejskich, przemysłowych i komunikacyjnych do zatrzymywania nadmiernych ilości rumowiska oraz innych zanieczyszczeń wykorzystuje się zbiorniki o niewielkiej pojemności, lokalizowane na ciekach lub w ich sąsiedztwie [Verstraeten i Poesen 2000]. Obiekty te nazywane także stawami detencyjnymi (*detention ponds*) spowalniają odpływ poprzez krótkookresowe retencjonowanie wód wezbraniowych [MSH 2001]. Zdolność do detencji, tj. opóźnienia odpływu wezbraniowego, wynika z charakterystyki zbiornika, retencjonującego wodę w okresie wezbrania, i ze specyfiki jego budowli upustowej, ograniczającej wpływ w stosunku do dopływu w okresie przyrostu retencji w zbiorniku. Wśród stawów detencyjnych rozróżnia się dwa rodzaje zbiorników: suche (*dry detention ponds*) oraz piętrzące wodę (mokre), zwane także stawami retencyjnymi (*wet detention ponds* lub *retention ponds*) [LCCD 2011]. Zadaniem tych pierwszych jest przede wszystkim redukcja przepływów maksymalnych [Liew i in. 2012], zbiorniki drugiej grupy powinny także wpływać na poprawę jakości odpływających wód wezbraniowych [EPA 1999].

W dalszej części pracy przedstawiono przegląd badań dotyczących wpływu stawów detencyjnych na jakość wód wezbraniowych, głównie poprzez zatrzymywanie rumowiska unoszonego oraz opisu procesu zatrzymywania rumowiska w takich zbiornikach.

## WPLYW STAWÓW DETENCYJNYCH NA JAKOŚĆ ODPLYWU

Wpływ zbiorników na jakość odpływu jest różnie szacowany przez autorów. W tabeli 1 przedstawiono średnie wartości redukcji wybranych zanieczyszczeń w stawach detencyjnych. Z danych zestawionych w Tabeli 1 wynika, że z odpływu najefektywniej usuwane jest rumowisko, a w dalszej kolejności także metale ciężkie i związki fosforu, które zwykle są sorbowane przez drobne cząstki rumowiska. Najniższy poziom redukcji przypisuje się związkowi azotu, które głównie występują w formie rozpuszczonej. Koch i in. [2014] wskazują, że związki azotu występujące w odpływie są lepiej redukowane przez płytkie zbiorniki i mokradła niż przez zbiorniki głębokie.

Tabela 1. Średnie redukcje ładunku zanieczyszczeń w zbiornikach detencyjnych.  
Table 1. Average removal rates of various pollutants in detention ponds.

| Zanieczyszczenie<br>Pollutant                    | Średnia redukcja ładunku (%) wg<br>Average removal rate (%) acc. to |   |                         |               |
|--|---|---|-------------------------|---------------|
|  | Lawrence et. al. 1996   | Schueler et al. 1992,<br>as in EPA 1999 | Comings et. al.<br>2000 | Winer<br>2000 |
| rumowisko unoszone<br>suspended sediment         | 80–100  | 50–90                                   | 61–81                   | 80            |
| metale ciężkie, w tym<br>heavy metals, including | 60–80   | –                                       | –                       | –             |
| • ołów – lead                                    | –   | 70–80                                   | 73–76                   | –             |
| • cynk – zinc                                    | –   | 40–50                                   | 45–72                   | 66            |
| fosfor całkowity<br>total phosphorus             | 40–60   | 30–90                                   | 19–46                   | 51            |
| azot całkowity<br>total nitrogen                 | 20–40   | –                                       | –                       | 33            |

W Polsce tematykę zatrzymywania rumowiska rzeczno-egzogenicznego przez zbiorniki poruszali m.in. Wiśniewski [1967], Dąbkowski i in. [1982], Teisseyre [1983], Banasik i in. [1993], Łajczak [1995], Sieński [2011]. Badania te dotyczyły głównie dużych zbiorników zaporowych o zlewniach użytkowanych rolniczo, często ze znacznym udziałem lasów. Na potrzebę zagospodarowania miejskich wód opadowych wskazywali Płaza [1993], Krzanowski i Radecki-Pawlik [2002], Wałęga i Krzanowski [2008].

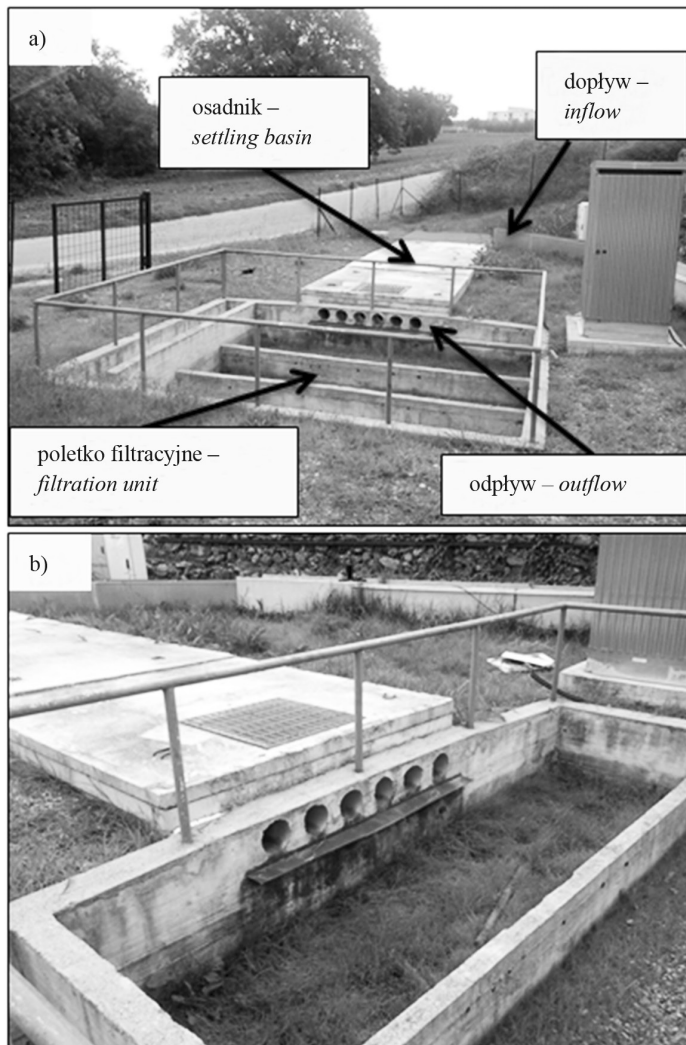
Od 2008 Katedra Inżynierii Wodnej SGGW monitoruje funkcjonowanie stawów retencyjnych położonych w miejskiej zlewni Potoku Służewieckiego. Badania wskazują, że nowo powstające zbiorniki od początku istnienia nie pełnią swojego podstawowego zadania tj. redukcji przepływów maksymalnych [Gradowski i Banasik 2008, Pietrak i Banasik 2009]. Nieplanowaną korzyścią z ich budowy jest jednak znacząca redukcja ładunku rumowiska unoszonego, transportowanego w czasie wezbrań opadowych [Krajewski i in. 2017b].

Przykładem efektywnej współpracy pomiędzy samorządem a jednostką naukową jest projekt rekultywacji zbiorników rekreacyjnych Arturówek w Łodzi [Wagner i Krauze 2014]. W ramach programu wykonano szereg działań (usuwanie nagromadzonych osadów, tworzenie stref buforowych i nasadzenia roślinności, urządzenie wstępnych zbiorników sedymentacyjnych), które pozwalają na podczyszczenie dopływających wód opadowych. W wyniku podjętych prac udało się znacznie poprawić jakość wody w stawach rekreacyjnych.

Badania nad funkcjonowaniem stawów detencyjnych są szczególnie rozpowszechnione w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie oraz Europie Zachodniej [Tapp i in. 1982, Verstraeten i Poesen 2000, Betts i Alsharif 2014]. Bardzo często analizy prowadzi się ze wsparciem lokalnych władz [Fiener i in. 2005, Persen i Pettersson 2009].

Uniwersytet w Kalabrii (południowe Włochy) prowadzi pilotażowy program dotyczący funkcjonowania zabudowy o niskim oddziaływaniu na środowisko (*Low Impact Development*). Jeden z jego ciekawszych elementów stanowi zbiornik detencyjny,

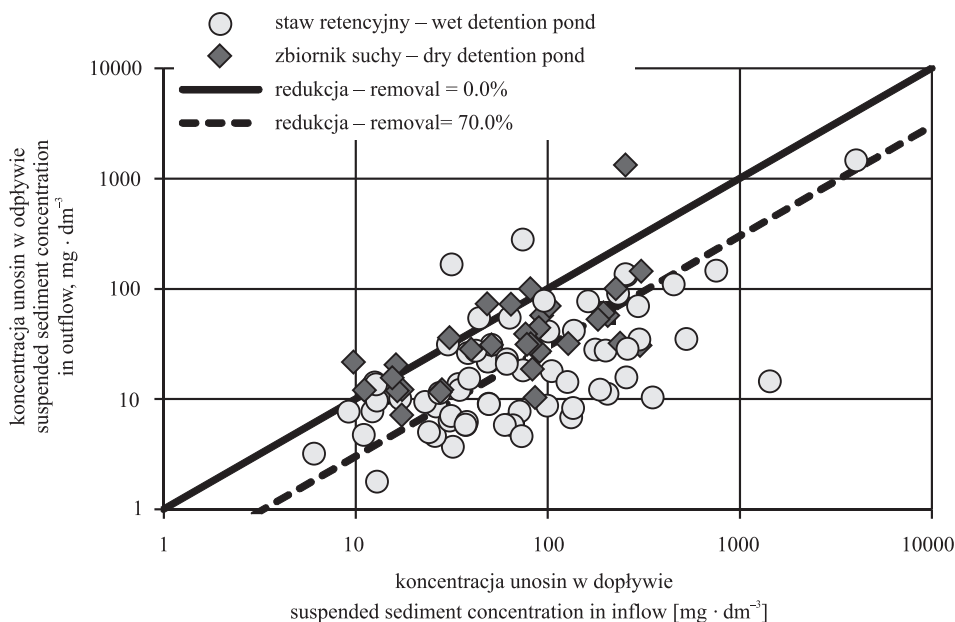
którego głównym zadaniem jest przechwytywanie silnie zanieczyszczonego odpływu z powierzchni nieprzepuszczalnych [Garafalo i in. 2015]. Wybudowany obiekt składa się z kanału doprowadzającego wodę, osadnika o pojemności 50 m<sup>3</sup> oraz poletka filtracyjnego o wymiarach 330 × 410 cm (ryc. 1). W zbiorniku osadzają się grubsze ziarna rumowiska, które następnie usuwa się za pomocą pompy. Nadmiar wody i drobniejsze ziarna trafiają na poletko filtracyjne. Jako materiał drenażowy wykorzystuje się tu m.in. pestki z oliwek, będące odpadem przy produkcji oliwy.



Ryc. 1. Zbiornik detencyjny, Uniwersytet w Kalabrii. Widok na: (a) obszar eksperymentalny, (b) wypływ ze zbiornika i poletko filtracyjne

Fig. 1. Detention pond, University of Calabria. View of: (a) experimental plot, (b) outflow and filtration unit

Baza danych – International Stormwater Best Management Practices (BMP) Database [www.bmpdatabase.org] zawiera informację o ponad 600 działaniach podejmowanych w celu kontroli zanieczyszczeń odpływających z terenów miejskich. W ramach projektu zbierane są informacje dotyczące funkcjonowanie takich obiektów jak małe zbiorniki, mokradła, zielone dachy, strefy buforowe, powierzchnie półprzepuszczalne. Ogólnodostępna baza danych ma się przyczynić do doskonalenia technik i metod stosowanych w ochronie wód. Obecnie (styczeń 2017) jest w niej zarejestrowanych 66 projektów dotyczących stawów retencyjnych i 34 związane ze zbiornikami suchymi. Na rycinie 2 przedstawiono średnie koncentracje rumowiska unoszonego w dopływie i odpływie z ww. zbiorników. Dla każdego obiektu wyznaczono redukcje koncentracji unosin. W przypadku stawów retencyjnych redukcja ta wynosiła od 14,5% do 99,0%, a jej średnia wartość osiągnęła 70,0%, a jej średnia wartość osiągnęła 70,0%. Średnia redukcja dla zbiorników suchych równała się 55,7%, natomiast najniższa wyniosła 0,327%, a najwyższa 79,6%. Ponadto, odnotowano sytuacje, w których redukcja koncentracji nie tylko nie wystąpiła, lecz ilość rumowiska w odpływie, była wyższa niż w dopływie. Było to odpowiednio, w sześciu na 66 rozpatrywanych przypadków zbiorników piętrzących wodę (przy wzroście koncentracji średnio o 8,5%), oraz w ośmiu na 34 przypadki zbiorników suchych (przy wzroście koncentracji średnio o 23%).



Ryc. 2. Średnie koncentracje rumowiska unoszonego na dopływie i wypływie ze stawów retencyjnych i suchych stawów detencyjnych. Źródło danych: International Stormwater Best Management Practices (BMP) Database – <http://www.bmpdatabase.org/>; opracowanie własne.

Fig. 2. Average suspended sediment concentrations in inflow and outflow from wet and dry detention ponds. Source: International Stormwater Best Management Practices (BMP) Database – <http://www.bmpdatabase.org/>; own elaboration.

Wzrost koncentracji rumowiska unoszonego w odpływie ze zbiornika może być skutkiem błędnego projektu lub niewłaściwej eksploatacji obiektu. Wezbrania gwałtownie przechodzące przez zbiorniki mogą powodować resuspensję zdeponowanych osadów i wymywanie ich z czaszy zbiorników [NVPDC 1992]. Do wzburzenia warstwy osadów dochodzi łatwiej, gdy zalegają one płytko pod powierzchnią lustra wody [Zikhali i in. 2015] lub w ogóle nie są nim przykryte, co ma miejsce w przypadku zbiorników suchych. Wzburzone rumowisko uwalnia także związki fosforu, które mogą powodować eutrofizację zbiorników [Działowski i in. 2008].

EPA [1999] podaje ogólne wskazania dotyczące prawidłowego projektowania i utrzymania zbiorników detencyjnych, szczególną uwagę zwraca się, aby zapewnić odpowiednio długi czas przebywania wody w zbiorniku oraz regularnie kontrolować obiekt, zwłaszcza po przejściu wezbrań opadowych. W istniejącym zbiorniku intensywność procesu zatrzymywania zanieczyszczeń można zwiększyć poprzez modernizację budowli upustowo-przelewowej [Carpenter i in. 2014] lub przez wprowadzenie przegród wymuszających zmianę kierunku przepływu wody [Gain 1996].

Z przedstawionego przeglądu wynika, że redukcja zanieczyszczeń w stawach detencyjnych odbywa się przede wszystkim w efekcie sedimentacji rumowiska. Proces ten zachodzi najefektywniej w zbiornikach piętrzących wodę. Podobne wnioski dla usuwania z wód burzowych azotu, fosforu, cynku oraz miedzi wysunął Barrett [2008]. Biorąc to pod uwagę w dalszej części artykułu przedstawiono metody pozwalające opisać proces zatrzymywania rumowiska w takich właśnie obiektach.

## MATEMATYCZNY OPIS PROCESU ZATRZYMYWANIA UNOSIN W ZBIORNIKACH

### Model oparty na fizyce procesu

Camp [1946] badał proces sedimentacji cząstek w zbiorniku idealnym, tj. o przekroju prostokątnym w warunkach przepływu ustalonego, jednostajnego. W założeniu pojedyncza cząstka porusza się w zbiorniku z prędkością  $w$  i w kierunku, będącymi wypadkową wektora prędkości opadania cząstki  $v_s$  oraz prędkości przepływu wody  $v$  (ryc. 3). W momencie kontaktu z dnem ziarno rumowiska jest zatrzymywane i nie ma możliwości ponownego ruchu. Wszystkie cząstki, których prędkość opadania  $v_s$  jest większa od bądź równa prędkości granicznej  $v_c$ , zostaną zatrzymane w zbiorniku. Prędkość graniczną można wyznaczyć ze wzoru:

$$v_c = \frac{h}{t_D} \quad (1)$$

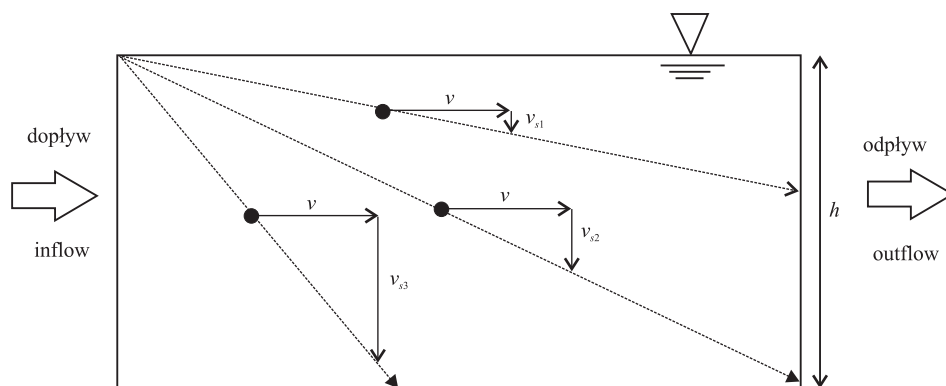
gdzie:

$h$  – wysokość, z jakiej opada cząstka, m,

$t_D$  – czas jaki cząstka potrzebuje na przepłynięcie przez zbiornik, czas detencji, s.

Stosunek prędkości  $v_s$  i  $v_c$  pozwala wyznaczyć zdolność ww. zbiornika do zatrzymywania rumowiska o określonej charakterystyce.





Ryc. 3. Opadanie ziaren rumowiska w zbiorniku idealnym:  $v_s$  – prędkość opadania cząstki,  $v$  – prędkość przepływu wody,  $h$  – water depth [na podstawie Camp 1946]

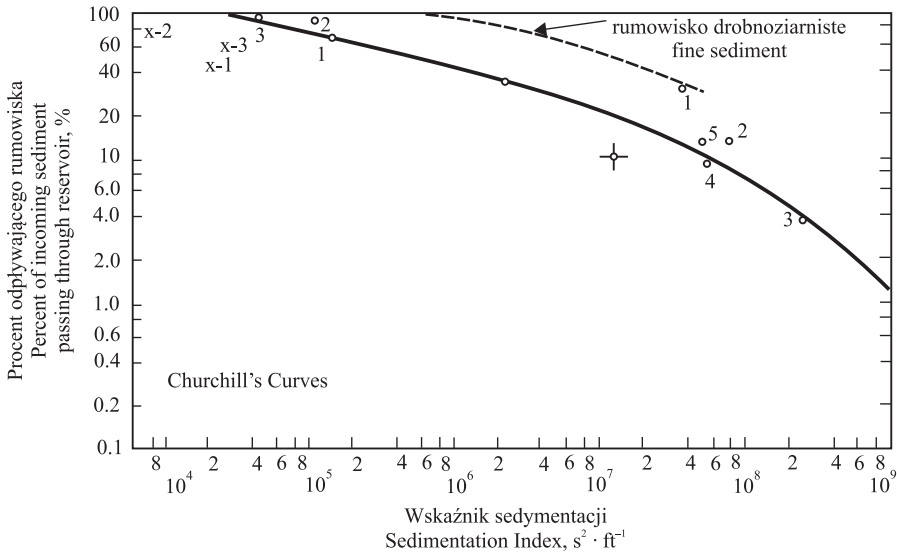
Fig. 3. Settling of sediment in an ideal basin:  $v_s$  – particle settling velocity,  $v$  – flow velocity,  $h$  – głębokość wody [based on Camp 1946]

Inne podejście do opisu sedymentacji zakłada wykorzystanie równań zachowania masy i energii lub pędu dla wody, jak i rumowiska [Banasik i in. 1993, Tareala i Menédez 1999]. Zagadnienie to jest złożone i czasochłonne, wymaga określania wielu parametrów modelu oraz rozwiązania układów skomplikowanych równań różniczkowych [Dąbkowki i in. 1982]. W związku z tym często stosuje się uproszczenia, polegające m.in. na przeprowadzeniu obliczeń w warunkach przepływu ustalonego [Takamatsu i in. 2010, Jaskała i in. 2015]. W Katedrze Inżynierii Wodnej SGGW został opracowany model TRESNA, który uwzględnia: zróżnicowanie uziarnienia dopływającego rumowiska unoszonego i wleczonego, zróżnicowanie uziarnienia materiału dna, różne mechanizmy transportu rumowiska wleczonego i unoszonego, niestabilny przepływ wody w zbiorniku i jego odnogach, czasowe wstrzymanie odpływu ze zbiornika [Górski 1999]. Z uwagi na czasochłonność i inne trudności w przygotowaniu danych do obliczeń model ten był testowany jedynie na danych dla Jeziora Żywieckiego. Tymczasem małe zlewnie miejskie – a więc i zlokalizowane w nich zbiorniki detencyjne – charakteryzują się dużą dynamiką przepływów wezbraniowych, oraz sporadycznie prowadzonymi badaniami terenowymi [Sikorska i Banasik 2010, Krajewski i Banasik 2013]. Brak lub niewystarczająca ilość i zakres pomiarów znacznie utrudniają identyfikację parametrów modelu hydrodynamicznego, a wysoka zmienność przepływów nie pozwala na prowadzenie obliczeń w warunkach przepływu ustalonego. W związku z tym, pomimo iż modele hydrodynamiczne pozwalają w bardzo wiarygodny sposób opisać proces sedymentacji rumowiska w zbiornikach, ich użyteczność w przypadku miejskich stawów detencyjnych jest niska.

### Model empiryczny

Modele empiryczne opracowano na podstawie badań terenowych. Pozwalają one na określenie średniej długookresowej zdolności zbiornika do zatrzymywania rumowiska. Większość z nich powstała w połowie ubiegłego wieku.

Brown [1943] jako jeden z pierwszych powiązał informacje dotyczące ilości zdeponowanych osadów z charakterystykami zbiorników. W zaproponowanym przez niego równaniu zdolność do przechwytywania rumowiska jest funkcją pojemności zbiornika i powierzchni zlewni. Brune [1953] wychodząc z tego samego założenia, stwierdził, że powierzchnia jest miarą, która nie uwzględnia warunków hydrologicznych. W związku z tym, w opisie procesu zamiast powierzchni wykorzystał on pojemność oraz roczny dopływ do zbiornika. Churchill [1948] analizując proces zamulania małych zbiorników, uzależnił ich zdolność do zatrzymywania rumowiska od wskaźnika sedymentacji (ryc. 4).



Ryc. 4. Wydatek rumowiska ze zbiornika wg Churchilla [za Morris i Fan 1998]

Fig. 4. Churchill curve for estimating sediment release efficiency [as cited in Moris and Fan 1998]

Przyjęte przez Churchilla wielkości można zdefiniować i wyznaczyć w następujący sposób:

- wskaźnik sedymentacji – stosunek czasu zatrzymania wody w zbiorniku do średniej prędkości przepływu wody,  $s^2 \cdot ft^{-1}$ ,
- czas zatrzymania wody w zbiorniku, s – pojemność zbiornika,  $ft^3$ , podzielna przez średni dobowy dopływ do zbiornika w analizowanym okresie,  $ft^3 \cdot s^{-1}$ ,
- średnia prędkość przepływu wody przez zbiornik,  $ft \cdot s^{-1}$  – średni dopływ do zbiornika podzielony przez średnią powierzchnię przekroju poprzecznego zbiornika. Powierzchnię przekroju poprzecznego można uzyskać jako iloraz pojemności zbiornika i jego długości, ft.

Metoda Churchilla charakteryzuje się dużą szczegółowością w doborze czynników wpływających na proces sedymentacji rumowiska i jest obecnie jedną z częściej stosowanych [Madeyski i in. 2008, Michalec i Pęczek 2008, Górski i in. 2011, Banasik i in. 2012]. Jednocześnie należy pamiętać, że metody empiryczne zostały opracowane na podstawie względnie niewielkiej liczby badań terenowych prowadzonych w określonych warunkach



klimatycznych i hydrograficznych. Zdecydowana większość z nich powstała na podstawie analiz zamulania zbiorników o dużej pojemności. Stąd też, używając ich w innych regionach lub dla obiektów o niewielkiej pojemności należy liczyć ze znacznymi błędami przy ocenie zdolności do zatrzymywania rumowiska [Michalec 2011, 2014].

### Model koncepcyjny

Modele koncepcyjne zostały opracowane na podstawie przyjętych idei dotyczących funkcjonowania rozpatrywanego systemu (zbiornika). Podejście takie stanowi formą pośrednią pomiędzy opisem fizycznym i empirycznym. Jego cechą charakterystyczną jest niewielka liczba parametrów oraz uwzględnienie podstawowego prawa hydrodynamiki – równania zachowania masy.

Wilson i Barfield [1984] zaproponowali, aby niewielki zbiornik detencyjny traktować jak serię komór, w których panują warunki pełnego wymieszania – *continuous stirred tank reactor in series*. Pełne wymieszanie oznacza, że dostarczane do zbiornika rumowisko unoszone jest natychmiast rozprowadzane, a więc jego koncentracja w każdej części zbiornika oraz na wypływie w chwili  $t$ , jest taka sama [Maciejewski 1999]. Późniejsze badania z wykorzystaniem tej koncepcji pokazały, że dla zbiorników o niewielkiej pojemności wystarczające jest założenie o ich jednokomorowości – *single continuous stirred tank reactor* [Wallis i in. 2006, Zawilski i Sakson 2008]. Równanie ciągłości ładunku unosin wezbrania przechodzącego przez zbiornik, który stanowi pojedynczą komorę, można zapisać w postaci:

$$\frac{d(VC^{\text{II}})}{dt} = Q_{d(t)}C^{\text{I}}_{(t)} - Q_{(t)}C^{\text{II}}_{(t)} - DEP_{(t)} \quad (2)$$

gdzie:

$d(VC^{\text{II}})/dt$  – zmiana ilości rumowiska unoszonego w zbiorniku,  $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $V$  – ilość wody w zbiorniku,  $\text{m}^3$ ,  $C^{\text{II}}$  koncentracja rumowiska w zbiorniku/odpływie ze zbiornika,  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,

$Q_{d(t)}C^{\text{I}}_{(t)}$  – ładunek rumowiska dopływający do zbiornika,  $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $Q_{d(t)}$  – dopływ do zbiornika,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $C^{\text{I}}_{(t)}$  – koncentracja rumowiska w dopływie do zbiornika,  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,

$Q_{(t)}C^{\text{II}}_{(t)}$  – ładunek rumowiska odpływający ze zbiornika,  $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $Q_{(t)}$  – odpływ ze zbiornika,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

$DEP_{(t)}$  – ładunek rumowiska deponowany w zbiorniku,  $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Równanie (2) po zapisie dla skończonych przedziałów czasowych –  $\Delta t$ , jest rozwiązywane dla koncentracji rumowiska w odpływie ze zbiornika. Wielkość  $DEP$  jest definiowana w różny sposób przez autorów.

- **Lindley i in. [1995]:**

$$DEP = \left( \frac{t_D}{t_{D100}} \right) Q_d \cdot C^{\text{I}} \cdot \Delta t \quad (3)$$

gdzie:

$t_D$  – czas detencji, s,

$t_{D100}$  – czas wymagany do zatrzymania w zbiorniku wszystkich cząstek o prędkości opadania równej bądź większej  $v_s$ , s,

$Q_d$  – średni dopływ do zbiornika [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] w przedziale czasowym  $\Delta t$  [s],

$C^I$  – średnia koncentracja w dopływie do zbiornika w przedziale czasowym  $\Delta t$ .

Czasy  $t_D$  i  $t_{D100}$  są wyznaczane dla każdego przedziału  $\Delta t$ :

$$t_D = \frac{c_t(1-DS)V}{Q_d} \quad (4)$$

$$t_{D100} = \frac{(1-DS)\frac{V}{A}}{v_s} \quad (5)$$

gdzie:

$c_t$  – parametr empiryczny, zależny od warunków hydraulicznych i wielkości ziaren rumowiska, –,

$DS$  – część zbiornika, która nie uczestniczy w procesie depozycji rumowiska, %,

$A$  – średnia powierzchnia zbiornika,  $\text{m}^2$ , w przedziale czasowym  $\Delta t$ .

Ponadto:

$$\frac{t_D}{t_{D100}} = \frac{v_s}{v_c} \quad (6)$$

co jest bezpośrednim nawiązaniem do zdefiniowanej przez Campa [1946] prędkości granicznej. Przedstawiona procedura jest wykorzystywana do obliczeń sedymentacji w programie Water Erosion Prediction Project (WEPP). Jej zaletę stanowi względnie wiarygodny opis sedymentacji oparty na teorii Campa, a wadę – przybliżony sposób identyfikacji parametrów modelu. Zgodnie z nim, wielkość  $DS$  szacuje się na 15% lub 25% dla zbiorników, których stosunek długości do szerokości wynosi odpowiednio więcej lub mniej niż dwa; parametr  $c_t$  jest obliczany z równań regresji wyprowadzonych z badań modelowych.

- **Verstraeten i Poesen [2001]:**

$$DEP = V \cdot C^{II} \left( \frac{v_s}{h} \right) \Delta t \quad (7)$$

W celu uwzględnienia zmian głębokości  $h$  na długości zbiornika autorzy proponują podzielić go na komory o identycznej powierzchni, w których zachodzi cząstkowa depozycja rumowiska. Obliczenia sedymentacji według równania (7) są prowadzone w programie Sediment Trap Efficiency for small Ponds (STEP). Przedstawiona procedura była weryfikowana tylko na podstawie badań laboratoryjnych, z wykorzystaniem

zbiornika o wymiarach  $4,0 \times 10,0 \times 0,6$  m. Konieczność podziału zbiornika na komory sedymentacyjne stanowi dodatkowe utrudnienie przy stosowaniu modelu.

• **Huber i in. [2006]:**

$$DEP = V \cdot C^{II} \cdot K \cdot \Delta t \quad (8)$$

gdzie:

$K$  – współczynnik sedymentacji określający tempo procesu [ $s^{-1}$ ].

Współczynnik sedymentacji wyraża względną ilość rumowiska, która jest deponowana w zbiorniku w czasie jednej sekundy. W tabeli 2 przedstawiono szacunkowe wartości parametru modelu dla różnych rozwiązań służących poprawie jakości wody. W Katedrze Inżynierii Wodnej SGGW prowadzone są badania nad wykorzystaniem równań (2) i (8) do wyznaczenia sedymentogramu odpływu z niewielkiego zbiornika detencyjnego. Wyniki wskazują, że wybrany model pozwala bardzo dobrze odwzorować obserwowaną koncentrację unosin w odpływie za zbiornika, a współczynnik sedymentacji w istotny sposób zależy od czasu detencji i wielkości ziaren rumowiska w dopływie do zbiornika [Krajewski i Banasik 2015, Krajewski i in. 2017a].

Tabela 2. Szacunkowe wartości współczynnika sedymentacji dla rozwiązań konstrukcyjnych o głębokości równej 1,5 m [Huber i in. 2006]

Table 2. Estimated values of sediment decay coefficient for treatment measures of depth 1.5 m [Huber et al. 2006]

| Rozwiązanie konstrukcyjne – Treatment measures  | Współczynnik sedymentacji – Sediment decay coefficient ( $s^{-1}$ ) |
|---|---|
| Zbiorniki sedymentacyjne – Sedimentation basins | 31.3E-05  |
| Stawy – Ponds                                   | 2.08E-05  |
| Niecki chłonne – Vegetated Swales               | 31.3E-05  |
| Mokradła, ekosystemy podmokłe – Wetlands        | 10.3E-05  |

## PODSUMOWANIE

W pracy zwrócono uwagę na problematykę jakości odpływu w zlewniach miejskich oraz na rolę, jaką w procesie podczyszczania wody mogą odgrywać zbiorniki detencyjne. Wskazano także metody wykorzystywane do oceny efektywności funkcjonowania zbiorników.

Zachodzące w środowisku zmiany (wzrost intensywności deszczy, postępująca urbanizacja) wpływają na zwiększenie ilości silnie zanieczyszczonych wód odpływowych. Ich odpowiednie zagospodarowanie to jedno z ważniejszych wyzwań, przed którym stają władze samorządowe i lokalne społeczności. Badania nad wdrażaniem rozwiązań, które pozwalają kontrolować ilość oraz jakość odpływu, są szczególnie rozpowszechnione

w USA i Europie Zachodniej. Analogiczne studia i analizy prowadzi się także w wielu jednostkach naukowych w naszym kraju, jednak ich przydatność i ważność wydaje się niedostrzegana. Do grupy często stosowanych rozwiązań strukturalnych należą zbiorniki detencyjne – stawy o niewielkiej pojemności. Obiekty takie mogą istotnie wpływać na redukcję nadmiernych ilości rumowiska unoszonego oraz innych zanieczyszczeń, transportowanych wraz z drobnymi cząstkami. Jednak aby móc poprawnie funkcjonować i spełniać stawiane im cele muszą być one prawidłowo zaprojektowane, regularnie kontrolowane i utrzymywane.

Zdolności zbiornika do zatrzymywania rumowiska unoszonego można ocenić na podstawie badań terenowych lub modelowych. Pomiarów bezpośrednich, wymagające nakładów finansowych, są również bardzo czasochłonne i często niemożliwe do przeprowadzenia w przypadku krótkiego okresu, jaki mija od projektu do realizacji obiektu. Alternatywą jest więc wykorzystanie metod matematycznych opisujących sedymentację rumowiska w zbiornikach. Model procesu powinien charakteryzować się dobrym dopasowaniem wielkości obliczanych do obserwowanych, niską liczbą parametrów oraz strukturą wynikającą z praw fizyki. Kryteria takie spełniają modele koncepcyjne stanowiące formę pośrednią pomiędzy modelami fizycznymi i empirycznymi.

## PODZIĘKOWANIA

Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego o nr 2015/19/N/ST10/02665 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

## PIŚMIENNICTWO

- Banasik, K., Hejduk, L., Barszcz, M. (2008). Flood flow consequences of land use changes in a small urban catchment of Warsaw. 11th International Conference on Urban Drainage – CD edition. Edynburg, UK.
- Banasik, K., Górski, D. (1993). Evaluation of rainfall erosivity for East Poland. [W:] Runoff and Sediment Yield Modelling. Red. K. Banasik, A. Żbikowski. Warsaw Agricultural University Press, Warsaw, 129-134.
- Banasik, K., Gorski, D., Popek, Z., Hejduk, L. (2012). Estimating the annual sediment yield of a small agricultural catchment in central Poland. [W:] Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment. Red. A.L. Collins, V. Golosov, A.J. Horowitz, X. Lu, M. Stone, D. Walling, X. Zhang. IAHS Press, 356, 267–275.
- Banasik, K., Madeyski, M., Mitchell, J. K., Mori, K. (2005). An investigation of lag times for rainfall-runoff-sediment yield events in small river basins. *Hydrol. Sci. J.*, 50, 857–866.
- Banasik, K., Skibiński, J., Górski, D. (1993). Investigation on sediment deposition in a designed Carpathian reservoir. [W:] Sediment Problems: Strategies for Monitoring, Prediction and Control. Red. F. Hadley, T. Mizuyama. IAHS Press, Wallingford, 217, 101–108.
- Banasik, K., Pham, N. (2010). Modelling of the effects of land use changes on flood hydrograph in a small catchment of the Płaskowicka, southern part of Warsaw, Poland. *Ann. Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation*, 42(2), 229–240.
- Barrett, M. (2008). Comparison of BMP Performance Using the International BMP Database. *J. Irrig. Drain Eng.*, 134(5), 556–561.

- Bathi, J., Pitt, R., Clark, S. (2012). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Stream Sediments. *Advanc. Civil Engin.*, Article ID 372395.
- Betts, A., Alsharif, K. (2014). Assessment of a countywide stormwater pond improvement program. *Urban Water J.*, 11(1), 11–19.
- Brown, C. (1943). Discussion. [In:] *Sedimentation in Reservoirs*. Red. B. Witzig. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, 69, 1047–1106.
- Brune, G. (1953). Trap efficiencies of reservoirs. *Trans. Am. Geophysical Union*, 34(3), 407–418.
- Camp, T. R. (1946). Sedimentation and the Design of Settling Tanks. *Trans. Amer. Soc. Civ. Eng.*, 111, 895–958.
- Carpenter, J., Vallet, B., Pelletier, G., Lessard, P., Vanrolleghem, P., (2014). Pollutant removal efficiency of a retrofitted stormwater detention pond. *Water Quality Res. J. Canada*, 49(2), 124–134.
- Churchill, M. (1948). Discussion of analysis and use of reservoir sedimentation data. Red. L. Gottschalk. *Proc. of Federal Interagency Sedimentation Conference*, Denver, 139–140.
- Ciupa, T. (2009). Wpływ zagospodarowania terenu na odpływ i transport fluwalny w małych zlewniach na przykładzie Sufragańca i Silnicy. *Wyd. UJK, Kielce*.
- Comings, K., Booth, D., Horner, R. (2000). Storm Water Pollutant Removal by Two Wet Ponds in Bellevue, Washington. *J. Environ. Eng.*, 126(4), 321–330.
- Działowski, A., Wang, S-H., Lim, N-Ch., Beury, J., Huggins, D. (2008). Effects of sediment resuspension on nutrient concentrations and algal biomass in reservoirs of the Central Plains. *Lake and Reservoir Manag.*, 24(4), 313–320.
- Dąbkowski, L., Skibiński, J., Żbikowski, A. (1982). *Hydrauliczne podstawy projektów wodnolioracyjnych*. PWRiL, Warszawa.
- EPA – United States Environmental Protection Agency (1999). *Storm Water Technology Fact Sheet. Wet Detention Ponds*. Office of Water, Washington DC.
- Fiener, P., Auerswald, K., Weigand, S. (2005). Managing erosion and water quality in agricultural watersheds by small detention ponds. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 110, 132–142.
- Fiener, P., Neuhaus, P., Botschek, J. (2013). Long-term trends in rainfall erosivity—analysis of high resolution precipitation time series (1937–2007) from Western Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 171–172, 115–123.
- Franz, C., Makeschin, F., Weiß, H., Lorz, C. (2014). Sediments in urban river basins: Identification of sediment sources within the Lago Paranoá catchment, Brasilia DF, Brazil – using the fingerprint approach. *Sci. Total Environ.*, 466–467, 513–523.
- Gain, S. (1996). *The Effects of Flow-Path Modification on Water-Quality Constituent Retention in an Urban Stormwater Detention Pond and Wetland System, Orlando, Florida*. Water-Resources Investigations Report 95-497, Tallahassee, Florida.
- Garofalo, G., Penna, N., Carbone, M., Piro, P., Veltri, S. (2015). *Progettazione e installazione unità di filtrazione*. [W]: *Interventi sostenib.* EdiBios Press, Cosenza, 189-207.
- Górski, D., (1999). *Model zamulania zbiornika retencyjnego rumowiskiem rzecznyim o zróżnicowanym uziarnieniu*. Maszynopis rozprawy doktorskiej, SGGW, Warszawa.
- Górski, D., Popek, Z., Banasik K., Hejduk, L. (2011). Impact of small reservoir on reduction of solid transport. [W]: *Prediction and reduction of diffuse pollution, solid emission and extreme flows from rural areas*. Red. K. Banasik, L. Øygarden, L. Hejduk, Warsaw University of Life Sciences Press, Warsaw, 219-232.
- Gradowski, Ł., Banasik, K. (2008). Wpływ zbiornika Staw Berensewicza na redukcję fali wezbrańowej Potoku Służewieckiego. *Przeł. Nauk. Inż. Kszt. Środ.* 17, 1(39), 13–25.
- Hejduk, L. (2011). Relacje między wybranymi formami fosforu a rumowiskiem unoszonym w rzece Zagożdżonice. *Przeł. Nauk. Inż. Kszt. Środ.* 54, 20(4): 311-320.
- Hejduk, L., Hejduk, A., Banasik, K. (2006). *Suspended Sediment Transport during Rainfall and Snowmelt-Rainfall Floods in a Small Lowland Catchment, Central Poland*. [W]: *Soil Erosion*

- and Sediment Redistribution in River Catchments: Measurement, Modelling and Management. Red. Owens P., Collins A. CABI, Wallingford, 94-100.
- Herngren, L., Goonetilleke, A., Ayoko, G. (2005). Understanding heavy metal and suspended solids relationships in urban stormwater using simulated rainfall. *J. Environ. Manag.*, 76(2), 149–158.
- Huber, W. C., Cannon, L., Stouder, M. (2006). BMP modeling concepts and simulation. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-06/033. Washington DC, USA.
- International Stormwater Best Management Practices (BMP) Database. z dn. 10.1.2017. <http://www.bmpdatabase.org/>
- Jaskuła, J., Wicher-Dysarz, J., Dysarz, T., Sojka, M. (2015). Modelowanie transportu rumowiska w zbiorniku Jezioro Kowalskie na rzece Głównej. *Inżynieria Ekologiczna*, 43, 131–138.
- Koch, B., Febria, C., Gevrey, M., Wainger, L., Palmer, M. (2014). Nitrogen removal by stormwater management structures: a data synthesis. *J. American Water Resources Association*, 50(6), 1594–1607.
- Krajewski, A., Banasik, K. (2013). Czas reakcji zlewni zurbanizowanej na opady wywołujące wezbrania. *Acta Sci. Pol., Architectura*, 12(4), 135-146.
- Krajewski, A., Banasik, K. (2015). Ocena redukcji ilości rumowiska unoszonego w wezbraniu przechodzącym przez mały zbiornik wodny. [W:] *Nowoczesne metody i rozwiązania w hydrologii i gospodarce wodnej*. Red. D. Absalon, M. Matysik, M. Ruman. Monografie Komisji Hydrologicznej PTG, 3, 247–257.
- Krajewski, A., Sikorska, A., Banasik, K. (2017a). Modeling suspended sediment concentration in the stormwater outflow from a small detention pond. *J. Environ. Engin.*, 143(10).
- Krajewski, A., Wasilewicz, M., Banasik, K., Sikorska, A. E. (2017b). Operation of detention pond in urban area – example of Wyścigi Pond in Warsaw. [W:] *Environmental Engineering V*. Red. M. Pawłowska, L. Pawłowski. Taylor & Francis Group, CRC Press, Londyn, 211–215.
- Krzanowski, S., Radecki-Pawlik, A. (2002). Wykorzystanie małej retencji do zagospodarowania wód opadowych z terenów zurbanizowanych. *Zesz. Nauk. AR Kraków, Inżynieria Środowiska*, 23, 245–256.
- Lawrence, A.I., Marsalek, J., Ellis, J.B., Urbonas, B. (1996). Stormwater detention & BMPs. *J. Hydraulic Research*, 34(6), 799–813.
- LCCD – Laramie County Conservation District. (2011). Best management practices for stormwater runoff. Retention vs. Detention. 1.04.2011, [www.lccdnet.org](http://www.lccdnet.org).
- Liew, Y., Selamat, Z., Ghani, A., Zakaria, N. (2012). Performance of a dry detention pond: case study of Kota Damansara, Selangor, Malaysia. *Urban Water J.*, 9(2), 129–136.
- Lindley, M.R., Barfield, B.J., Wilson, B.N. (1995). Surface impoundment element Model description. [W:] *Technical Documentation*. USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP). US Department of Agriculture.
- Łajczak, A. (1995). Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisły. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Maciejewski, M. (1999). *Hydraulika systemów oczyszczania wody i ścieków oraz zbiorników wodociągowych*. Atlasy i Monografie. IMGW, Warszawa.
- Madeyski, M., Banasik, K. (1989). Applicability of the modified universal soil loss equation in small Carpathian watershed. *Catena, Supplement* 14, 75–80.
- Madeyski, M., Michalec, B., Tarnawski, M. (2008). Zamulanie małych zbiorników wodnych i jakość osadów dennych. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej. Monografia*, 11.
- Michalec, B. (2011). Zastosowanie metody Churchilla w określeniu zdolności zbiornika wodnego w Zesławicach do zatrzymywania rumowiska. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 10(1), 33–46.
- Michalec, B. (2014). Ocena możliwości zastosowania metody Brune’a i jej modyfikacji do określenia zdolności małych zbiorników wodnych do zatrzymywania rumowiska. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej.*, 4(2) 1305–1316.

- Michalec, B., Pęczek, K. (2008). Zastosowanie metody Churchilla w określeniu zdolności zbiornika wodnego w Krempnej do zatrzymywania rumowiska. *Infrastr. Ekol. Ter, Wiej.*, 3, 163–173.
- Mitchell, J. K., Banasik, K., Hirschi, M., Cooke, R., Kalita, P. (2001). There is not always surface runoff and sediment transport. [W:] *Soil Erosion Research For the 21st Century, Proceedings*. Red. J. Ascough, D. Flanagan, Honolulu, 575–578.
- Morris, G., Fan, J. (1998). *Reservoir Sedimentation Handbook*. McGraw-Hill, New York.
- MSH – Międzynarodowy Słownik Hydrologiczny (2001). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- NVPDC – Northern Virginia Planning District Commission. (1992). *Northern Virginia BMP Handbook: A Guide to Planning and Designing Best Management Practices in Northern Virginia*. Annandale, Virginia.
- Pai, D., Sridhar, L., Badwaik, M., Rajeevan, M. (2015). Analysis of the daily rainfall events over India using a new long period (1901–2010) high resolution ( $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ) gridded rainfall data set. *Clim. Dyn.* 45, 755–776.
- Persen, J., Pettersson, T. (2009). Monitoring, sizing and removal efficiency in stormwater ponds. E-WATER. Official Publication of the European Water Association.
- Pietrak, M., Banasik, K. (2009). Redukcja fali wezbraniowej Potoku Służewieckiego za pomocą małych zbiorników. *Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ.*, 3(45), 22–34.
- Plaza, G. (1993). Ekosystemy podmokłe – czy mogą funkcjonować jako naturalne oczyszczalnie? *Gospodarka Wodna*, 8, 174–178.
- Sieński, E. (2011). Przeciwdziałanie degradacji polskich zbiorników retencyjnych. Raport z zad. nr 8 projektu KLIMAT, Warszawa.
- Sikorska, A.E., Banasik K. (2010). Parameter identification of a conceptual rainfall-runoff model for a small urban catchment. *Ann. Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation*, 42(4), 279–293.
- Sikorska, A.E., Scheidegger, A., Chiaia-Hernandez, A., Hollender, J., Rieckermann, J. (2012). Tracing of micropollutants sources in urban receiving waters based on sediment fingerprinting. 9th International Conference on Urban Drainage Modelling (UDM) 2012, Conference Paper, Belgrad, Serbia.
- Schueler, T.R., Kumble, P., Heraty, M. (1992). A Current Assessment of Urban Best Management Practices: Techniques for reducing nonpoint source pollution in the coastal zone. Metropolitan Washington Council of Governments.
- Szewrański, S., Wojtysiak, M., Żmuda, R. (2004). Nasilenie chemicznej erozji gleb w zlewni rolniczej na wzgórzach trzebnickich. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus*, 3(2) 51–65.
- Takamatsu, M., Barrett, M., Charbeneau, R. (2010). Hydraulic Model for Sedimentation in Storm-Water Detention Basins. *J. Environ. Eng.*, 136(5).
- Tapp, J. S., Ward, A. D., Barfield, B. J. (1982). Approximate sizing of reservoirs for detention-time. *J. Hydr. Eng. Div.-ASCE.*, 108, 1, 17-23.
- Tarela, P., Menéndez, A. (1999). A model to predict reservoir sedimentation. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 4(3–4), 121–133.
- Teisseyre, A., (1983). Osady denne Jeziora Turawskiego w świetle badań geologicznych. *Geologia Sudetica*, 18(1), 21–60.
- Verstraeten, G., Poesen, J. (2000). Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implication for the assessment of Sediment field. *Prog. Phys. Geog.* 24(2), 219–251.
- Verstraeten, G., Poesen, J. (2001). Modelling the long-term sediment trap efficiency of small ponds. *Hydrological Processes*, 15(14), 2797–2819.
- Walling, D. E. (2006). Tracing versus monitoring: new challenges and opportunities in erosion and sediment delivery research. [W:] *Soil Erosion and Sediment Redistribution in River Catchments*. Red. P.N. Owens, A.J. Collins. CABI, Wallingford, 13-27.



- Wallis, S., Morgan, C., Lunn, R., Heal, K. (2006). Using mathematical modelling to inform on the ability of stormwater ponds to improve the water quality of urban runoff. *Water Science & Technology*, 53(10), 229–236.
- Wałęga, A., Krzanowski, S. (2008). Znaczenie procesu sedymentacji w oczyszczaniu ścieków opadowych z terenów zurbanizowanych. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej.*, 2, 169–178.
- Wagner, I., Krauze, K. (2014). Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? Narzędzia techniczne. *Zrównoważony Rozwój – Zastosowania*, 5: Woda w mieście. Fundacja Sendzimira, Kraków, 75–93.
- Wilson, B., Barfield, B. J. (1984). A sediment detention pond model using CSTRS mixing theory. *Transactions of the ASABE*. 27 (5), 1339–1344.
- Winer, R. (2000). *National Pollutant Removal Performance Database for Stormwater Treatment Practices*. Wyd. 2. Center for Watershed Protection, Ellicott City.
- Wiśniewski, B. (1967). Zamulenie zbiornika wodnego w Myczkowcach po 5 latach eksploatacji (IX 1960–IX 1965). *Gospodarka Wodna*, 7, 246–248.
- Zawilski, M., Sakson, G. (2008). Modelling of detention-sedimentation basins for stormwater treatment using SWMM software. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh.
- Zikhali, V., Tirok, K., Stretch, D. (2015). Sediment resuspension in a shallow lake with muddy substrates: St Lucia, South Africa. *Continental Shelf Research*, 108, 112–120.

## THE IMPACT OF DETENTION PONDS ON SUSPENDED SEDIMENT LOAD – RESEARCH OVERVIEW

**Abstract.** This study presents an overview of investigations on impact of small detention ponds (low-volume reservoirs, located in urban areas) on suspended sediment removal. Not only solids but also other pollutants are trapped in reservoirs, mainly heavy metals and phosphate compounds. Trapping is more efficient in case of wet detention ponds than dry detention ponds. In order to ensure expected functions of detention ponds, regular maintenance and inspections are required. A conceptual model is considered as a tool, which can be used to estimate trap efficiency of a detention pond. It treats a reservoir as if it was a single continuous stirred tank reactor. The model can be characterized with a low number of parameters and a simple structure, which is useful in case of ungauged catchment.

**Key words:** hydrology, low-volume reservoirs, suspended sediment, sedimentation, urban catchment

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.09.2017*

Do cytowań – For citation: Krajewski, A., Banasik, K. (2017). Oddziaływanie stawów detencyjnych na wielkość ładunku rumowiska unoszonego – przegląd wyników badań. *Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 16(3), 171–186.