

*transformacja opadu w odpływ, zlewnia zurbanizowana,  
mała zlewnia miejska, spływ powierzchniowy,  
opady nawałne, ścieki deszczowe*

Patrycja MIKOS-STUDNICKA\*

## **ZINTEGROWANE ANALIZY ILOŚCI I JAKOŚCI ODPIYU WÓD DESZCZOWYCH W ZLEWNI POTOKU STRZYŻA W CZASIE OPADÓW NAWALNYCH W GDAŃSKU**

Gdańsk jest doskonałym przykładem miasta, którego dynamiczny rozwój gospodarczy wywiera coraz silniejszy wpływ na warunki hydrologiczne, panujące w zlewniach znajdujących się na jego terenach. Postępująca gwałtownie zabudowa górnych tarasów miasta, nowopowstające wielkoobszarowe centra handlowo- usługowe, parkingi, infrastruktura komunikacyjna czy osiedla mieszkalne położone na otaczających miasto wzgórzach morenowych drastycznie pogarszają przepuszczalność powierzchni zlewni. Konsekwencją postępującej urbanizacji jest intensyfikacja spływu powierzchniowego, którego negatywne skutki są szczególnie odczuwalne podczas opadów nawałnych. Wzmóżony spływ powierzchniowy prowadzi nie tylko do przeciążenia systemów odprowadzenia wody w mieście, ale również wypłukuje szereg zanieczyszczeń z powierzchni zlewni. Kompleksowe podejście analizujące zarówno ilość, jak i jakość ścieków deszczowych ma na celu poprawę ochrony przeciwpowodziowej Gdańska oraz ocenę jakości wody Potoku Strzyża trafiającej do Martwej Wisły. Jednocześnie możliwa stanie się identyfikacja oraz kontrola źródeł napływania zawiesin będących przyczyną niebezpiecznego zjawiska zamulania zbiorników retencyjnych w ciągu Potoku Strzyża w Gdańsku, którego między innymi konsekwencją była katastrofa zbiornika Nowiec II w 2010 roku.

### **1. POTOK STRZYŻA JAKO JEDNO ZE ŹRÓDEŁ ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO W GDAŃSKU**

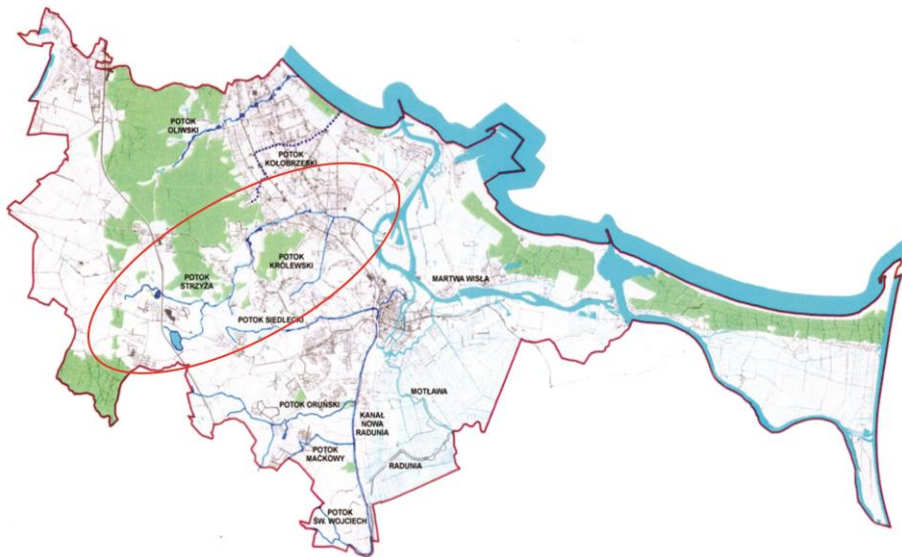
#### **1.1. CHARAKTERYSTYKA POTOKU STRZYŻA**

Miasto Gdańsk zlokalizowane jest nad Zatoką Gdańską, tuż u ujścia rzeki Motławy do Wisły. Gdańsk położony jest na Żuławach Wiślanych, od zachodu graniczy z Pobrze-

---

\* Katedra Hydrotechniki, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, patstudn@wilis.pg.gda.pl

zem Kaszubskim i Pojezierzem Kaszubskim, zaś nadbrzeżna jego część leży na Mierzei Wiślanej. Takie umiejscowienie znajduje swoje odzwierciedlenie zarówno w warunkach środowiska naturalnego czy parametrach klimatycznych, jak i w budowie geologicznej oraz układzie hydrograficznym rejonu. Zróżnicowana rzeźba terenu obejmuje, zatem polodowcowe wzgórza morenowe, kępy, pradoliny oraz formy aluwialne, równinne tereny delty Wisły i depresyjne obszary Żuław. W granicach administracyjnych miasta znajdują się liczne kanały, kilka rzek oraz 23 potoki, spośród których jako ważniejsze należy wymienić rzeki Motławę i Martwą Wisłę, kanał Raduni oraz Potok Strzyża. Gdańsk wraz z obszarem zlewni Potoku Strzyża znajdują się w regionie północno-zachodnim. Potok Strzyża wypływa z otaczających górne tarasy miasta wzgórz Migowskich, podąża poprzez wysoczyzny morenowe, tereny miejskie i uchodzi wprost do Martwej Wisły. W zachodniej i częściowo w centralnej części Gdańska ciek pełni rolę głównego odbiornika ścieków deszczowych i roztopowych. Deniwelacja obszaru zlewni sięga 60 metrów, a rzędne wzgórz morenowych dochodzą do 160 m n.p.m. Całkowita powierzchnia zlewni to około 34 km<sup>2</sup>, zaś długość Potoku Strzyża wynosi 12,763 km. Z pośród dopływów ciek należy wyróżnić zasilające go prawostronnie Potok Królewski i Potok Jasioń, oraz lewostronnie - Potok Matarnicki. Spadki podłużne potoku zawierają się w przedziale od 0,5% do 5%, a średni spadek wynosi około 1%.



Rys. 1. Sieć hydrograficzna miasta Gdańska wraz z Potokiem Strzyża [10]

W górnym biegu koryto potoku jest naturalne i wyłobione w glinach zwałowych bogatych w głązy polodowcowe, piaski oraz żwiry. W rejonie tym ciek nabiera charakteru górskiego. W górnym obszarze zlewni ma miejsce transport rumowiska oraz silna erozja koryta, co znacząco wpływa na przepustowość znajdujących się poniżej uregulowanych

odcinków Strzyży oraz eksploatację i utrzymanie zbiorników retencyjnych umiejscowionych na potoku. Odcinek górny ciek leży na terenie rezerwatu przyrody Lasy w Dolinie Strzyży. W dolnej części zlewni dno potoku leży na osadach aluwialnych z ławicami piasków, przewarstwieniami organicznymi, wkładami żwirów, ilów plastycznych i namulów bagiennych [14]. Po opuszczeniu rezerwatu potok płynie przez kolejne zbiorniki retencyjne: Nowiec II, Górne Młyny, Ogrodowa, Rakoczego oraz Srebrzysko. Dalej zaś podąża na przemian w korycie otwartym lub zamkniętym - pod dzielnicą Gdańsk Wrzeszcz, wzdłuż ulicy Słowackiego, w rejonie ulic, Kilińskiego, Wajdeloty, Waryńskiego, Alei Gen. J. Hallera oraz Marynarki Polskiej. Po pokonaniu odcinka ulicy Swojskiej osiąga Martwą Wisłę. Na wzniesieniach zachodniej części zlewni prowadzona jest gospodarka leśna. Wraz z obniżaniem się terenu, otwarte przestrzenie mają charakter łąk i nieużytków. W rejonie tym powstają liczne osiedla mieszkaniowe, reprezentujące wyraźny trend ekspansji miasta w kierunku zachodnim. Dolny obszar zlewni to gęsta zabudowa miejska o charakterze zarówno mieszkalnym, jak i przemysłowym. Charakterystykę użytkowania zlewni Potoku Strzyża oraz przepuszczalność gleb zamieszczono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Użytkowanie powierzchni zlewni Potoku Strzyża [7]

Rodzaj powierzchni zlewni	Pole powierzchni [km <sup>2</sup> ]	Udział procentowy [%]
Tereny handlowe i przemysłowe	1,153	3,40
Tereny zamieszkałe	11,312	33,39
Drogi i ulice	0,637	1,88
Tereny otwarte: łąki, parki, ogródki działkowe	11,390	33,62
Lasy	9,033	26,66
Wody	0,358	1,06
Zlewnia - suma	33,883	100,00

Tabela 2. Przepuszczalność gleb w zlewni Potoku Strzyża [7]

Gleby - przepuszczalność	Pole powierzchni [km <sup>2</sup> ]	Udział procentowy [%]
Powyżej średniej (3,8 < k ≤ 7,6 mm/h)	8,555	25,25
Poniżej średniej (1,3 < k ≤ 3,8 mm/h)	25,278	74,60
Bardzo mała (k < 1,3 mm/h)	0,050	0,15
Zlewnia - suma	33,883	100,00

## 1.2. IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ POWODZIOWYCH STREF ZURBANIZOWANYCH GDAŃSKA

Działalność ludzka wywiera krytyczny wpływ na warunki hydrologiczne panujące w zlewni. Szczególne jest to widoczne w przypadku zlewni typowo miejskich, w których następuje redukcja terenów zielonych, a powierzchnie przepuszczalne zastępowane są mniej, lub całkowicie nieprzepuszczalnymi. W sposób drastyczny wpływa to na pogorszenie warunków procesu infiltracji wód opadowych, oraz co za tym idzie zmniejszenie przepływu gruntowego [2]. Dodatkowo zlewnie zurbanizowane cechują się stosunkowo małą powierzchnią [5], co w połączeniu z istniejącym, niedostosowanym do nowej infrastruktury systemem odprowadzania deszczówki, prowadzi do coraz krótszego czasu odpowiedzi systemu na impuls opadowy. Transformacja opadu w odpływ zachodzi szybciej i gwałtowniej, a objętość spływu powierzchniowego zdecydowanie wzrasta [7]. Skróceniu ulega zatem również czas koncentracji oraz recesji opadu [2]. Modyfikacja powierzchni zlewni polega na zmianie jej ukształtowania, zagospodarowania i użytkowania. Rozbudowa infrastruktury miejskiej prowadzi m.in. do zmniejszenia spadków terenu, które jednak nie przyczyniają się znacząco do spowalniania procesu odpływu wód deszczowych. Najistotniejszy wpływ ma przyrost powierzchni nieprzepuszczalnych, który w połączeniu z nawalnymi epizodami deszczowymi prowadzi do przeciążeń kanalizacji melioracyjno-deszczowej oraz niebezpiecznych zalewów powodziowych [6]. Redukcja obszarów zieleni, zasypywanie naturalnych zagłębień, w których gromadzi się woda, wymiana gruntów na rzecz pozyskania terenu pod zabudowę prowadzą do ograniczenia retencji naturalnej, zachwiania procesów transpiracji i parowania oraz zmniejszenia szorstkości powierzchni zlewni [8].

Rejon Trójmiasta reprezentuje wszystkie z wyżej wymienionych problemów. W Gdańsku niejednokrotnie dochodziło do zalewów powodziowych, zalania ulic, podtopień budynków, czy nawet katastrof hydrotechnicznych. Strefy zagrożenia powodziowego miasta Gdańska przedstawiono na rysunku 2.

Najbardziej dramatycznym zdarzeniem była powódź z 2001 roku, która doprowadziła min. do katastrofy zapory czołowej zbiornika retencyjnego Srebrzysko, zlokalizowanego w ciągu Potoku Strzyża. Dnia 9 lipca w czasie ośmiu godzin spadło 127,7 mm wody. Stanowi to dwukrotność średniego opadu miesięcznego dla Gdańska w miesiącu lipcu. Szczyt opadu miał miejsce pomiędzy godzinami 15 a 17, kiedy to spadło 90 mm deszczu. Zniszczonych zostało dziesiątki domów i ulic, zaś zalaniu uległy dzielnice Orunia, Lipce, Św. Wojciecha, Olszynka oraz Wrzeszcz. O godzinie 23. awarii uległa zapora czołowa zbiornika Srebrzysko. Straty miasta po lipcowej ulewie oszacowano na około 200 mln zł.

Innym przykładem zagrożeń powodziowych Gdańska może być katastrofa zbiornika retencyjnego Nowiec II zlokalizowanego na Potoku Strzyża, w Gdańsku Matemblewie. W 2010 roku, w dniach 27 - 29 września suma opadów dla dzielnicy Matemblewo wyniosła 150,4 mm. Przyczyną awarii, prócz długotrwałego intensywnego

opadu, było również zamulenie zbiornika, które obniżyło jego retencję o ok. 40 % [10].



Rys. 2. Strefy zagrożone powodzią w Gdańsku [10]

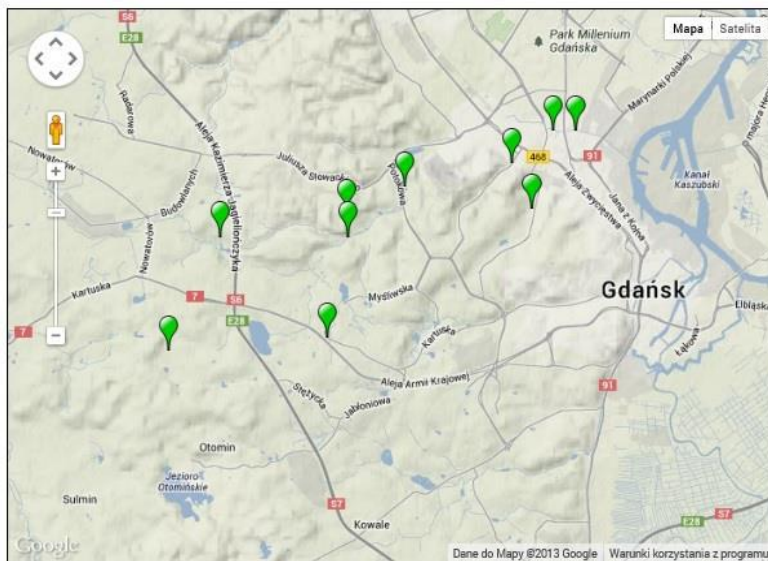
W roku 2006 miasto przygotowało plan modernizacji systemów odprowadzenia wód opadowych oraz poprawy bezpieczeństwa przeciwpowodziowego. Zadania projektu były realizowane w latach 2009-2013. Pomimo dotychczas powstałych inwestycji oraz budowy dodatkowych 20 zbiorników retencyjnych, głównie na górnych tarasach miasta, Gdańsk nadal nie jest dostatecznie zabezpieczony przed powodzią [9]. Dlatego tak ważny staje się monitoring, analiza i prognozowanie niebezpiecznych zdarzeń w strefach zagrożenia powodziowego.

## 2. SYSTEM MONITORINGU OPADÓW I PRZEPIŁYWÓW W ZLEWNI POTOKU STRZYŻA

W latach 2011-2013 w ramach projektu badawczo-rozwojowego pt. „Monitorowanie, modelowanie i analiza zagrożenia powodziowego w małej zlewni miejskiej na przykładzie zlewni Potoku Strzyża w Gdańsku”, zrealizowanego w Katedrze Hydrotechniki na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej, został utworzony system monitoringu opadów i przepływów w korytach cieków w zlewni Potoku Strzyża. Celami przedsięwzięcia były analiza czasowo-przestrzenna występowania deszczy w typowej zlewni nadmorskiej, opracowanie modelu transformacji opadu w odpływ, modelowanie

propagacji wezbrań w przeciążonym systemie kanalizacji oraz przewidywanie zdarzeń powodziowych w strefach podwyższonego ryzyka. Efektem prac było opracowanie modelu hydrologicznego opad-odpływ, z użyciem programu HEC-HMS oraz m.in. metod SCS CN, SCS UH, Muskingum - Cunge. Jako dane wejściowe do modelu posłużyły obliczone deszcze syntetyczne oraz opad mający miejsce w dniach 27-29 września 2010 roku.

Elektroniczny system monitoringu zbudowany jest z posterunków pomiarowych, w których skład wchodzi deszczomierze oraz sondy służące do pomiaru poziomu wody w korycie Potoku Strzyża oraz jego dopływach. Elementy systemu rozmieszczone są w punktach charakterystycznych, w dzielnicach: Matarnia, Matemblewo, Jasień, Kiełpino Górne, w rejonie ulic Franciszka Kubacza, Mikołaja Reja, Ogrodowa, Jaśkowa Dolina, Sobieskiego oraz na terenie Politechniki Gdańskiej. Bieżące oraz archiwalne informacje na temat opadów na terenie zlewni oraz przepływów w korycie ciek i jego dopływach dostępne są na specjalnie utworzonej stronie internetowej HydraNET Anywhere [11]. W dalszym toku prac, opracowany model transformacji opadu w odpływ zostanie sprawdzony poprzez wprowadzanie wartości mierzonych urządzeniami monitoringu. Opracowane zostaną również krzywe przepływów dla poszczególnych przekrojów potoku pozwalające prognozować objętość propagującej w korycie fali wezbraniowej. Wszystko to w zdecydowany sposób wpłynie na poprawę jakości ochrony przeciwpowodziowej Gdańska.



Rys. 3. Lokalizacja urządzeń pomiarowych w zlewni Potok Strzyża w Gdańsku [11]

### 3. KONTROLA JAKOŚCI ODPLYWU WÓD DESZCZOWYCH ZE ZLEWNI POTOKU STRZYŻA

#### 3.1. JAKOŚĆ ŚCIEKÓW DESZCZOWYCH W ZLEWNIACH ZURBANIZOWANYCH

Problem jakości ścieków deszczowych ma szczególne znaczenie w przypadku zlewni miejskich. Nakładające się na siebie zjawiska coraz gwałtowniejszych epizodów deszczowych oraz intensywna rozbudowa infrastruktury miejskiej zmniejszającej przepuszczalność powierzchni zlewni, niosą ze sobą niebezpieczeństwo związane ze zwiększeniem strumienia objętości – wody odprowadzanej korytem cieku. Jednocześnie czas odpowiedzi systemu na opad staje się coraz krótszy, a dynamika spływu powierzchniowego wzrasta. Antropogeniczne zagrożenie kondycji środowiska spowodowane ładunkiem zanieczyszczeń spłukiwanych podczas spływu powierzchniowego jest różne w zależności od rozwoju gospodarczego danego rejonu. Jednak nie ulega wątpliwości, że zarówno ilość, jak i skład tych ścieków, mają istotny wpływ na stan środowiska, i co za tym idzie zdrowie publiczne. Wody opadowe napływające do odbiorników, takich jak: kolektory, strumienie, czy zbiorniki, transportują zanieczyszczenia miejskie, przemysłowe oraz pochodzące z gospodarstw domowych [1]. Dlatego na problem odprowadzenia wód deszczowych w zlewniach zurbanizowanych należy spojrzeć zarówno ze strony bezpieczeństwa przeciwpowodziowego, jak i ochrony środowiska oraz jakości życia mieszkańców aglomeracji miejskich [2].

W myśl definicji zawartej w Ustawie Prawo Wodne z 18 lipca 2001 r. ścieki opadowe (roztopowe) - rozumiane są, jako wody opadowe lub roztopowe ujęte w systemy kanalizacyjne pochodzące z terenów zanieczyszczonych, w tym z centrów miast, terenów przemysłowych, składowych, baz transportowych i dróg o dużym natężeniu ruchu wraz z parkingami. Nie uwzględnia się tu dachów budynków bez względu na to, z czego są wykonane. Ścieki z dachów budynków, jako wody umownie czyste, mogą być odprowadzane do gruntu, wody powierzchniowej lub do kanalizacji deszczowej [12]. W Polsce zgodnie z obowiązującymi aktami prawnymi, w ściekach opadowych kontrolowana jest jedynie zawartość zawiesiny ogólnej, których dopuszczalna wartość wynosi do  $100 \text{ mg/dm}^3$  oraz zawartość substancji ropopochodnych których dopuszczalna zawartość wynosi do  $15 \text{ mg/dm}^3$  [12, 13].

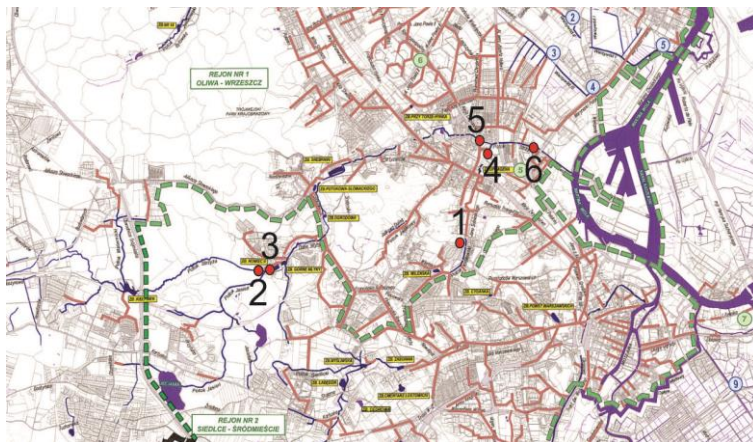
Jednak ze względów sanitarnych, w przypadku odprowadzania wód opadowych do akwenów użyteczności publicznej, lub też odbiorników chronionych, zasadna staje się również kontrola bakteriologiczna oraz redukcja wskaźnika ChZT, poprzez podczyszczanie wód do poziomu jakości II klasy czystości [4]. Do najważniejszych składników zanieczyszczeń ścieków deszczowych można zaliczyć: zawiesiny ogólne, tłuszcze, substancje ropopochodne, materię organiczną wyrażoną w ChZT, metale ciężkie, chlorki oraz skażenia bakteriologiczne. Największa ilość zanieczyszczeń wyplukiwana jest podczas pierwszej fazy spływu. Wtedy też w efekcie naruszenia osadów dennych może dochodzić do wtórnego zanieczyszczenia odbiornika ścieków opadowych. Skład spływów deszczowych

jest zmienny nawet w obrębie tej samej zlewni i zależy od pory roku, charakteru opadu, długości trwania pory suchej, sposobu użytkowania terenu i rodzaju nawierzchni ulic [3].

### 3.2. BADANIA JAKOŚCI ŚCIEKÓW DESZCZOWYCH ODPROWADZANYCH WRAZ Z WODAMI POTOKU STRZYŻA W GDAŃSKU

W maju 2013 roku badania ilościowe przepływów rozszerzono o analizę jakości odpływu wód deszczowych ze zlewni Potoku Strzyża w czasie opadów nawalnych. Przystępując do analizy jakości przyjęto sześć posterunków pomiarowych rozmieszczonych w różnych częściach zlewni (rys. 4):

1. Prawostronny dopływ Strzyży - Potok Królewski w rejonie ulicy Jana Sobieskiego;
2. Matemblewo powyżej ujścia prawostronnego dopływu Strzyży - Potoku Jasiień;
3. Matemblewo poniżej ujścia prawostronnego dopływu Strzyży - Potoku Jasiień;
4. Potok Strzyża w Parku Strzyży w rejonie ulicy Franciszka Kubacza;
5. Prawostronny dopływ Strzyży - Potok Królewski w Parku Strzyży w rejonie ulicy Franciszka Kubacza;
6. Potok Strzyża przy ulicy Mikołaja Reja.



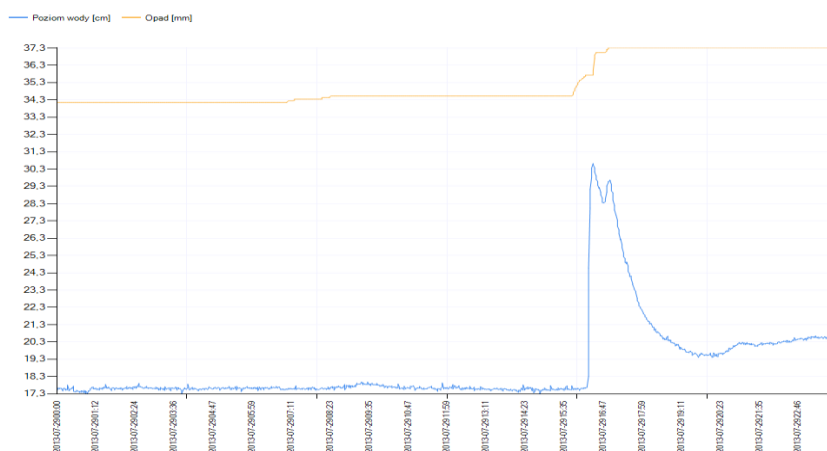
Rys. 4. Lokalizacja punktów poboru prób wody w zlewni Potok Strzyża w Gdańsku [10]

Celem badań było wykonanie pilotażowej serii pomiarowej składającej się z analizy jakości wód potoku podczas czterech różnych typów warunków hydrologicznych panujących w zlewni. Dla każdej z serii, próby wody były pobierane podczas opadu przeciętnego, okresu suchego (min. 10 dni bez opadu), opadu nawalnego oraz okresu tuż po przejściu opadu nawalnego. Od końca maja do końca lipca 2013 zrealizowano jedną pełną pilotażową serię pomiarową.



W pobranych próbkach wody oznaczono: miano Coli (Pałeczka okrężnicy - *E. coli*), liczbę paciorkowców kałowych (*Enterococcus faecalis*), temperaturę, tlen rozpuszczony, przewodność, pH, ChZT, chlorki, barwę, mętność, fosfor ogólny, azot ogólny, BZT<sub>5</sub>, azotany, azot amonowy oraz zawiesinę ogólną. Oznaczenia wskaźników fizyko-chemicznych wykonano z użyciem testów kuwetowych, aparatury laboratoryjnej oraz miernika terenowego. Posiewy bakteriologiczne wykonano na podłożach mFC, EZA i SB.

Każdemu analizowanemu zdarzeniu odpowiadał pewien przepływ lub opad i przepływ rejestrowany przez urządzenia systemu monitoringu zainstalowanego na Potoku Strzyża i jego dopływach – przykład na rysunku 5.



Rys. 5. Wykres opadu oraz stanu wody w korycie Potoku Strzyża zarejestrowany przez system monitoringu dla opadu nawalnego z dnia 29.07.2013

### 3.3. WYNIKI BADAŃ PO PIERWSZEJ SERII POMIAROWEJ

Wyniki analiz dla opadu nawalnego z dnia 29.07.2013 r., dla próby wody pobranej w punkcie zlokalizowanym na Potok Strzyża w rejonie ul. Mikołaja Reja, wykazał m.in., że liczba paciorkowców w pobranej wodzie wynosiła 25450 jtk/100 cm<sup>3</sup>, w tym potwierdzonych pochodzenia kałowego 15250 jtk/100 cm<sup>3</sup>. Miano Coli dla zdarzenia okazało się niepoliczalne. W 1 cm<sup>3</sup> znajdowała się tak duża liczba bakterii tworzących kolonie, że niemożliwe było policzenie poszczególnych jednostek. Wskaźniki BZT<sub>5</sub> oraz ChZT wyniosły odpowiednio 40 mg/dm<sup>3</sup> i 62,9 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, barwa 329 mg Pt/dm<sup>3</sup>, mętność 90,9 mg/dm<sup>3</sup>, a zawiesina ogólna 37,5 mg/dm<sup>3</sup>. Dla punktu zlokalizowanego na Strzyży przy ulicy F. Kubacza, dla tego samego epizodu zawartość zawiesiny ogólnej wyniosła 796 mg/dm<sup>3</sup>.

Dla porównania analogiczne wskaźniki dla wody pobranej z Potoku Strzyża w tym samym punkcie w okresie suchym wyniosły: miano Coli 1, wskaźnik *E. coli* 100 jtk/100 cm<sup>3</sup>, liczba paciorkowców 350 jtk/100 cm<sup>3</sup>, w tym potwierdzonych pochodzenia kałowego 200 jtk/100 cm<sup>3</sup>, BZT<sub>5</sub> 6 mg/dm<sup>3</sup>, ChZT 16,8 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, barwa 36 mg Pt/dm<sup>3</sup>, mętność 9,5 mg/dm<sup>3</sup>, zawiesina ogólna 1,0 mg/dm<sup>3</sup>.

Podsumowując najważniejsze wskaźniki oznaczane w pierwszej serii pomiarowej stwierdzono, iż miało miejsce przekroczenie dopuszczalnej zawartości zawiesiny ogólnej w ściekach deszczowych. Po opadzie nawałnym, w punkcie zlokalizowanym w dzielnicy Matemblewo, powyżej ujścia prawostronnego dopływu Strzyży - Potoku Jasień, zawiesina ogólna wyniosła 210 mg/dm<sup>3</sup>. Natomiast w próbach pobranych w czasie trwania opadu nawałnego, w dzielnicy Matemblewo poniżej ujścia prawostronnego dopływu Strzyży - Potoku Jasień, stwierdzono zawiesinę ogólną w ilości 288 mg/dm<sup>3</sup>. W czasie tego samego epizodu w próbach pobranych z Potoku Strzyża w Parku Strzyży w okolicy ulicy Franciszka Kubacza, zawiesina ogólna wyniosła aż 796 mg/dm<sup>3</sup>. Warto nadmienić, że zgodnie z regulacjami prawnymi dopuszczalna zawartość zawiesiny ogólnej w ściekach deszczowych odprowadzanych bez podczyszczania to 100 mg/dm<sup>3</sup>. Dodatkowo stwierdzona w wodzie *Escherichia coli* świadczy o świeżym zanieczyszczeniu kałowym. Wskazuje to również na możliwość wystąpienia towarzyszących *E. Coli* bakterii chorobotwórczych pochodzenia jelitowego.

#### 4. DALSZY KIERUNKI BADAŃ I WNIOSKI

W dalszym toku prac planowane jest dodanie kolejnego punktu poboru prób wody w celu zlokalizowania źródła skażenia bakteriami pochodzenia kałowego oraz rozpoczęcie badań genetycznych bioróżnorodności mikroorganizmów bytujących w ciekach Potoku Strzyża. Zostaną także określone ładunki zanieczyszczeń dla odpływu powierzchniowego będącego wynikiem opadów nawałnych. Oznaczone stężenia wybranych wskaźników będą porównane ze stężeniami odprowadzanymi w ściekach bytowo-gospodarczych miasta Gdańska.

Poza analizą zanieczyszczenia wód Potoku Strzyża ściekami deszczowymi oraz lokalizacją głównych źródeł napływania zawiesin, zostanie również wykonane sprawdzenie działania modelu transformacji opadu w odpływ. Model ten został skonstruowany dla deszczy syntetycznych, więc weryfikacja z użyciem rzeczywistych epizodów może być ciekawym przedsięwzięciem pozwalającym ulepszyć istniejące rozwiązanie. Udoskonaleniem modelu będzie również wprowadzenie dodatkowych informacji o pracy zbiorników oraz uaktualnienie informacji związanych z rodzajem pokrycia i użytkowania terenów zlewni Potoku Strzyża. Sprawdzona zostanie także

czułość proponowanego rozwiązania na zmianę wartości bezwymiarowego parametru CN użytego przy obliczaniu opadu efektywnego metodą SCS .

Integralne badania strumienia odpływu wód opadowych wraz z określeniem parametrów jakościowych pozwolą na oszacowanie ładunku poszczególnych zanieczyszczeń, a nie tylko ich stężeń w ściekach deszczowych.

Celem przyszłych rozważań i analiz będzie więc niezwykle pilna konieczność poprawy bezpieczeństwa przeciwpowodziowego w Gdańsku, połączona z identyfikacją wpływu miejskich ścieków deszczowych na wody Potoku Strzyża, których jakość jest istotna z punktu widzenia ochrony wód Zatoki Gdańskiej.

#### LITERATURA

- [1] BARBOSA A.E., FERNANDES J.N., DAVID L.M., *Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art*, Advances in Water Resources, 2013, Vol 51, No. 261–279.
- [2] FLETCHER T.D., ANDRIEU H., HAMEL P., *Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art*, Advances in Water Resources, 2013, Vol 51, No. 261–279.
- [3] GRABARCZYK K., GWOŹDZIEJ- MAZUR J., *Analiza zanieczyszczeń ścieków opadowych ze zlewni zurbanizowanych*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 2005 Vol 32.
- [4] HELMAN- GRUBBA M. *Wody opadowe: jakość, regulacja, podczyszczanie*. 2008 Eko-Unicon Sp. z o.o.
- [5] SCHILLING W., *Rainfall data for urban hydrology, what do we need?* Atmospheric Research, 1991, Vol 27, No 5-21.
- [6] SZYDŁOWSKI M., *Modelowanie fal powodziowych na terenach zurbanizowanych*. Seria Monografie nr 86. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2007.
- [7] SZYDŁOWSKI M. (Edytor), *Monitorowanie, modelowanie i analiza zagrożenia powodziowego w małej zlewni miejskiej na przykładzie zlewni Potoku Strzyża w Gdańsku*. Umowa dotacji nr WFOS/D/2011/162/2011 zawarta między Wojewódzkim Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku a Politechniką Gdańską 2011.
- [7] WEINEROWSKA-BORDS K. *Wpływ uproszczeń na obliczanie splywu deszczowego w zlewni zurbanizowanej*. Wyd. Polit. Gdańskiej 2010.
- [8] WOŁOSZYN E., WEINEROWSKA K., SZYDŁOWSKI M., ZIMA P., *Wpływ dokładności odwzorowania parametrów małej zlewni pasa przymorskiego o zróżnicowanym charakterze na jakość wyników modelowania odpływu wód opadowych (wniosek do KBN o finasowanie projektu badawczego)*, Gdańsk 2003.
- [9] [www.gdanski.pl/nasze-mioast,512,19219.html](http://www.gdanski.pl/nasze-mioast,512,19219.html)
- [10] <http://www.gdmiel.pl/>
- [11] <http://anywhere.hydraney.pl/>
- [12] Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. *Prawo wodne* (Dz. U. z dnia 11 października 2001 r., Nr 115, poz. 1229, z późn. zm.).
- [13] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 listopada 2002 r. *W sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego* (Dz. U. z dnia 16 grudnia 2002 r., Nr 212, poz. 1799, z zm. od 01.07.2004 r.).
- [14] Hydroprojekt: *Kompleksowa koncepcja regulacji Potoku Bystrzec I*, 1994.

ANALYSIS OF QUANTITY CHANGES OF STORMWATER RUNOFF FROM STRZYŻA RIVER  
BASIN DURING HIGH INTENSITY RAINFALL EVENTS IN GDAŃSK

Gdansk is a typical city in which land use modifications associated with dynamic urbanization changes the characteristics of rainfall- runoff process. Rapid urban sprawl and removal of vegetation result with large impervious areas that lead to increased runoff volumes and losses of not only infiltration, but also baseflow. Moreover during the torrential rains catchment surfaces is treated with flush flows that wash out pollutants to drainage systems and natural water bodies. That is why modern urban hydrology requires combination of many different disciplines like flood protection engineering, rainfall-runoff models, water quality and protection, environmental science and public health.