

**SYNTEZA**  
**SYSTEM STEROWANIA PRZEPŁYWEM WÓD POWODZIOWYCH**  
**W WĘZLE GDAŃSKIM**

Autorzy Syntezy:

Prof. dr hab. inż. Wojciech Majewski – Instytut Budownictwa Wodnego PAN

Doc. dr hab. inż. Ewa Jasińska – Instytut Budownictwa Wodnego PAN

Mgr inż. Stanisław Jamroż – Hydroprojekt Gdańsk

inż. Bolesław Janicki – Hydroprojekt Gdańsk

Mgr inż. Adam Szymula – Hydroprojekt Gdańsk

## SPIS TREŚCI

### WSTĘP

1. WPROWADZENIE
2. CEL I ZAKRES SYNTEZY
3. OPIS GDAŃSKIEGO WĘZŁA WODNEGO (GWW)
4. PRZEBIEG I PRZYCZYNY POWODZI W GDAŃSKU W LIPCU 2001 R.
5. ANALIZA HYDROLOGICZNA GWW
6. WYKONANE POMIARY CIEKÓW GWW
7. MODEL MATEMATYCZNY PRZEPŁYWU W GWW I PODSTAWOWE SCENARIUSZE OBLICZEŃ
8. ANALIZA WYNIKÓW OBLICZEŃ
9. PROPOZYCJE NIEZBĘDNYCH INWESTYCJI PRZECIWPOWODZIOWYCH W GWW
10. PROPOZYCJE ROZWIĄZAŃ NA WYPADEK POJAWIENIA SIĘ SYTUACJI EKSTREMALNYCH
11. OKREŚLENIE GRANIC OBSZARÓW BEZPOŚREDNIEGO ZAGROŻENIA POWODZIĄ W GWW
12. PROPOZYCJA MONITORINGU (STACJE OPADOWE, STACJE POMIARÓW STANÓW WODY, SYSTEM POMIAROWY)
13. KOSZT PROPONOWANYCH ZABEZPIECZEŃ PRZECIWPOWODZIOWYCH
14. SYSTEM ETAPOWEGO STEROWANIA PRZEPŁYWEM WÓD POWODZIOWYCH W GWW
15. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

## **WSTĘP**

Niniejsza praca została zrealizowana przez Konsorcjum w składzie:

- Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku,
- Przedsiębiorstwo Badań i Doradztwa GEOMOR Sp. z o.o. w Gdańsku,
- Biuro Projektów i Doradztwa Technicznego Hydroprojekt w Gdańsku Sp. z o.o.
- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Oddział Morski w Gdyni,

na podstawie umowy Nr 38/2002 zawartej 12.12.2002 r. z Regionalnym Zarządem Gospodarki Wodnej w Gdańsku, w ramach realizacji zamówienia publicznego.

Pełny zakres pracy obejmuje dwa etapy:

ETAP I - Wykonanie systemu sterowania przepływem wód powodziowych w węźle gdańskim,

ETAP II - Wykonanie i wdrożenie systemu monitoringu zagrożeń powodziowych.

## **WYKAZ ZADAŃ ETAPU I :**

1. Zidentyfikowanie zagrożeń powodziowych w węźle gdańskim.
2. Przekroje poprzeczne koryt rzecznych Raduni, Kanału Raduni, Motławy, Optywu Motławy, Czarnej Łachy i Bielawy.
3. Profile podłużne koryt rzecznych Raduni, Kanału Raduni, Motławy, Optywu Motławy i Bielawy.
4. Analiza hydrologiczna dla zlewni Raduni, Kanału Raduni, Motławy, Optywu Motławy, Czarnej Łachy, Bielawy i Kłodawy z uwzględnieniem wpływu stanów wód Zatoki Gdańskiej, zrzutu wód z polderów i kanałów melioracyjnych oraz potoków, zbiorników retencyjnych, istniejących i projektowanych przerzutów wody oraz z uwzględnieniem stopnia zurbanizowania zlewni obecnie i w perspektywie.

5. Ocena możliwości bezpiecznego odprowadzenia wód powodziowych w węźle gdańskim, przy obecnym stanie rzek, kanałów i urządzeń.
6. Analiza hydrauliczna węzła gdańskiego w oparciu o model matematyczny.
7. Perspektywiczne koncepcje poprawy zabezpieczenia przeciwpowodziowego w węźle gdańskim, uwzględniające czynniki techniczne i poza techniczne (w tym potrzebę ewentualnego pompowania), wraz z analizą ekonomiczną.
8. Określenie wpływu oddziaływania na środowisko wybranej koncepcji.
9. System etapowego sterowania przepływem wód powodziowych w Gdańskim Węźle Wodnym
10. Opracowanie systemu monitoringu przeciwpowodziowego i wczesnego ostrzegania przed zagrożeniem.
11. Szacunkowe koszty realizacji inwestycji wynikających z modelu rozrządu i systemu monitorowania wraz z podziałem na etapy realizacji.
12. Określenie granic obszarów bezpośredniego zagrożenia powodzią dla terenów nie obwałowanych rzek Raduni, Motławy, Martwej Wisły, Rozwójki i Bielawy od wody o prawdopodobieństwie pojawiania się 1% dla terenów zurbanizowanych oraz o prawdopodobieństwie pojawiania się 1% i 10% dla pozostałych terenów.

W wykonanej na zlecenie RZGW Gdańsk pracy przeprowadzono analizę zagrożenia powodziowego na terenie GWW oraz zaproponowano rozwiązania, które zapobiegłyby lub ograniczyły skutki wystąpienia powodzi w przyszłości.

Niniejsze opracowanie stanowi SYNTEZĘ jedenastu ZADAŃ ETAPU I. Na życzenie Zleceniodawcy zrezygnowano z opracowania ZADANIA 8: *Określenie wpływu oddziaływania na środowisko wybranej koncepcji*. Jednocześnie zmieniono początkowe sformułowanie ZADANIA 9 na: *System etapowego sterowania przepływem wód powodziowych w GWW*.

Tekst SYNTEZY przedstawia najbardziej istotne zagadnienia i wnioski sformułowane w opracowaniach dotyczących kolejnych zadań ETAPU I oraz zawiera odniesienia do wymienionych powyżej ZADAŃ, z myślą o czytelnikach, którzy chcieliby bardziej szczegółowo zapoznać się z danym zagadnieniem.

## 1. WPROWADZENIE

Powodzie są groźnym zjawiskiem naturalnym o różnej genezie, które przynoszą najczęściej strat (36%) spośród znanych klęsk żywiołowych. Są to straty materialne ludności, zniszczenia infrastruktury komunalnej i gospodarczej, a często nawet śmierć ludzi. Warto podkreślić, że wymienione zjawiska ekstremalne pojawiają się coraz częściej, w ostatnich latach i mogą mieć szeroki zasięg ponadregionalny, lecz czasami tylko lokalny.

Gdańsk jest miastem o bardzo dużym zagrożeniu powodziowym. W XIX wieku powodzie w Gdańsku pojawiały się co 3 – 4 lata. Główną ich przyczyną były zatory lodowe na odcinku Wisły Gdańskiej (obecna Martwa Wisła) posiadającej bardzo skomplikowany układ przestrzenny. Wykonanie Przekopu Wisły w 1895 r. i skierowanie wód Wisły wprost do Bałtyku znacznie ograniczyło zagrożenia powodziowe w tym rejonie, wywołane bezpośrednio przez Wisłę. Warto przypomnieć, że od momentu wykonania Przekopu Wisły nie wystąpiło większe zagrożenie powodziowe ze strony głównego koryta Wisły.

Groźba powodzi w Gdańsku i na terenie Żuław Gdańskich jednak nadal istnieje. Mogą one pochodzić z następujących kierunków: spiętrzenia sztormowe Zatoki Gdańskiej, przenoszące się na Martwą Wisłę, wysokie przepływy głównym korytem Wisły i możliwość przerwania wałów przeciwpowodziowych oraz powodzie miejskie spowodowane nawałnymi deszczami. Z biegiem lat przy ujściu Przekopu Wisły utworzył się stożek usypowy, który może również powodować zagrożenie powodziowe przez powstanie zatorów lodowych i wywołanych nimi spiętrzeń w korycie Wisły. Bardzo poważnym zagrożeniem powodziowym dla Gdańska są intensywne dopływy wód powierzchniowych do Kanału Raduni ze wzgórz morenowych, istniejącymi tam strumieniami i potokami, w przypadku nawałnych deszczy, co miało miejsce w 2001 r. Mała przepustowość i zły stan techniczny Kanału Raduni stanowią obecnie istotne zagrożenie powodziowe miasta Gdańska, w przypadku intensywnych opadów deszczu. Wykonana praca dotyczyła przede wszystkim zagrożeń powodziowych na terenie Gdańskiego Węzła Wodnego (GWW). Szczegółowy opis zagrożeń powodziowych w GWW przedstawiono w ZADANIU 1.

Przykładem zagrożeń w Gdańsku była powódź w lipcu 2001 r., która wyrządziła ogromne szkody w infrastrukturze miasta oraz mieniu ludności. Powódź ta spowodowana była niespotykanym dotąd intensywnym, lokalnym opadem deszczu na terenie miasta, zwiększonym i przyspieszonym spływem ze zurbanizowanej, szczególnie w ostatnich latach, lewobrzeżnej zlewni Kanału Raduni oraz ograniczoną przepustowością tego Kanału i brakiem możliwości odprowadzenia nadmiaru wody z Kanału w sposób kontrolowany. Kanał Raduni od wielu lat jest zaniedbany. Przepływ w Kanale jest ograniczony przepustowością syfonu pod torami kolejowymi oraz przepustowością zrzutu z Kanału do Oplýwu Motławy i istniejącą infrastrukturą w świetle czynnego przekroju Kanału. Przepustowość Kanału w stanie obecnym ocenia się na około 20 m<sup>3</sup>/s. Prawobrzeżne obwałowanie Kanału budziło i budzi nadal wiele zastrzeżeń.

Środowisko inżynierskie w przeszłości wielokrotnie zwracało uwagę na możliwość wystąpienia zagrożenia powodziowego ze strony Kanału i możliwych konsekwencji. Zgłaszano konieczność wykonania odpowiednich zabezpieczeń.

## **2. CEL I ZAKRES SYNTEZY**

Podstawowym celem niniejszej SYNTEZY jest podsumowanie dotychczas wykonanej przez Konsorcjum pracy (11 zakończonych ZADAŃ ETAPU I) oraz przedstawienie wniosków dotyczących niezbędnych inwestycji i systemu sterowania przepływem powodziowym w Gdańskim Węźle Wodnym (GWW). Przedstawiono propozycję niezbędnego monitoringu hydrologiczno – meteorologicznego. Proponowane rozwiązania dotyczą głównie zagrożenia powodziowego GWW pochodzącego od spływu wód powodziowych ze strony wzgórz morenowych do Kanału Raduni oraz ekstremalnych przepływów Radunią i Motławą w powiązaniu ze spiętrzeniami sztormowymi w Martwej Wiśle.

Punktem wyjścia do opracowania propozycji przedsięwzięć inwestycyjnych w strefie Kanału był wykonany w 2002 r. przez Gdańskie Melioracje Sp. z o.o. *Program inwestycyjny. Zabezpieczenie przeciwpowodziowe miasta Gdańska od wód ze zlewni Kanału Raduni.*

Zakres SYNTEZY obejmuje następujące zagadnienia:

- informację o Gdańsku i Żuławach Gdańskich,
- opis Gdańskiego Węzła Wodnego (GWW),
- przebieg i przyczyny powodzi w Gdańsku w lipcu 2001 r.,
- analizę hydrologiczną GWW,
- wykonane pomiary podstawowych cieków GWW,
- opis modelu matematycznego GWW i opracowane podstawowe scenariusze obliczeń,
- wyniki obliczeń,
- propozycje niezbędnych inwestycji przeciwpowodziowych w GWW,
- propozycje rozwiązań na wypadek pojawienia się sytuacji ekstremalnych, przekraczających ustalenia normatywne,
- określenie obszarów bezpośredniego zagrożenia powodzią w GWW,
- propozycje monitoringu (opady, stany wody, system pomiarowy),
- koszt proponowanych zabezpieczeń przeciwpowodziowych,
- system etapowego sterowania przepływem wód powodziowych w GWW
- podsumowanie i wnioski.

### **3. OPIS GDAŃSKIEGO WĘZŁA WODNEGO (GWW)**

Gdański Węzeł Wodny stanowi system cieków (rzek i kanałów) połączonych ze sobą w sposób naturalny oraz w wyniku działalności człowieka. GWW położony jest na terenie Żuław Gdańskich i obejmuje swym zasięgiem miasto Gdańsk, które jest ważnym ośrodkiem gospodarczym, naukowym, kulturalnym i turystycznym. Dlatego też bezpieczeństwo przeciwpowodziowe ma tu szczególne znaczenie. Położenie Gdańska i Żuław Gdańskich pokazano na Rys. 1.

Schemat GWW przedstawiono na Rys. 2. GWW obejmuje zlewnię rzeki Motławy wraz z Oplływem Motławy. Istotnymi dopływami Motławy są: Radunia, Czarna Łacha, Bielawa, Kłodawa i Kanał Raduni. Zlewnie te stanowią elementy dorzecza Martwej Wisły. Motława jest najważniejszym dopływem Martwej Wisły,

natomiast główny dopływ Motławy stanowi Radunia, wpadająca do niej w miejscowości Krępiec na Żuławach Gdańskich. Istotną rolę hydrauliczną w GWW spełnia Optyw Motławy, o powierzchni ponad 20 ha, mogący wraz z obwałowanym ujściowym korytem Motławy czasowo zretencjonować dużą objętość wód płynących tą rzeką, w przypadku zamknięcia wrót przeciwsztormowych. Optyw Motławy stanowi pozostałość po dawnych fosach obronnych. Powstał on w latach 1619 -1636 jako jeden z elementów obronnych miasta Gdańska i stanowi obecnie wspaniały zabytek sztuki inżynierskiej oraz miejsce rekreacji. Wschodnia odnoga Optywu ma bezpośredni kontakt z Martwą Wisłą, poprzez wrota przeciwsztormowe, zwane Wrotami Żuławskimi. Część wód Motławy przepływa przez zabytkowy stopień Kamienna Grodza, wyposażony również we wrota przeciwsztormowe i łączy się dalej z Martwą Wisłą po przepłynięciu historycznej gdańskiej starówki. Zachodnia odnoga Optywu przejmuje odpływ ze zrzutu syfonowego z Kanału Raduni.

Zlewnia Motławy stanowi zasadniczą część dorzecza Martwej Wisły. Martwa Wisła posiada również zlewnię odwadnianą przez system trójkanałów: Kanał Piaskowy z Wysokim, Śledziowy i spinający je Kanał Gołębi. Ujścia Kanałów Piaskowego i Śledziowego do Martwej Wisły są wyposażone we wrota przeciwsztormowe. Kanały, rowy zbiorcze i przepompownie stanowią główne elementy polderowego systemu odwadniania, charakterystycznego dla Żuław Gdańskich. Poldery stanowią wydzielone obszary użytkowane intensywnie rolniczo ze względu na urodzajne gleby i wyposażone są w systemy odwadniające. Duża część polderów jest położona na terenach depresyjnych.

Martwa Wisła jest odgradzona od głównego nurtu Wisły służą żegludową w Przegalinie. Ze względu na bezpośrednie połączenie Martwej Wisły z Zatoką Gdańską poprzez Wisłę Śmiałą i Kanał Portowy, stany wody na tym akwenie uzależnione są od stanów wód w Zatoce Gdańskiej. Cieki i kanały dopływające do Martwej Wisły wyposażone są we wrota przeciwsztormowe, zamykające się samoczynnie w czasie wezbrań sztormowych na morzu, aby chronić tereny Żuław Gdańskich przed napływem wód z Martwej Wisły. Jedynie dolny odcinek Kanału Raduni (poniżej syfonu pod torami kolejowymi) łączy się pośrednio z

Martwą Wisłą poprzez ujściowy odcinek Motławy, co nie stanowi jednak zagrożenia powodziowego w tym rejonie.

W średniowieczu, dla potrzeb gospodarczych i obronnych Gdańska, wybudowano kanał wychodzący z rzeki Raduni w Pruszczu Gdańskim. Kanał Raduni jest istotnym elementem GWW. Obecny Kanał Raduni, nazywany jest niekiedy Nową Radunią, w odróżnieniu od pierwotnego koryta Raduni, które od wężła w Pruszczu Gdańskim do jej ujścia do Motławy, określane jest jako Stara Radunia. Kanał został wybudowany w sposób sztuczny i płynąc u podnóża wysoczyzny morenowej w kierunku centrum Gdańska, przecina szereg naturalnych cieków, spływających pierwotnie do obszaru deltowego Wisły. Obecnie cieki te znalazły swoje ujście w Kanale. Na znacznej długości Kanał Raduni biegnie wzdłuż zurbanizowanych obszarów miejskich (Św. Wojciech, Lipce, Orunia), a poziom wody w Kanale znajduje się kilka metrów powyżej obszarów prawobrzeżnych. Kanał Raduni posiada połączenie z Optywem Motławy za pośrednictwem specjalnego zrzutu syfonowego w km 2+700 o przepustowości 12 m<sup>3</sup>/s. Przejście Kanału pod torami kolejowymi w km 2+100 jest wykonane również w formie budowli syfonowej o przepustowości 11 m<sup>3</sup>/s.

Kanał Raduni jest odbiornikiem wód, ze zlewni lewobrzeżnej Kanału, odprowadzanych 7 potokami z wysoczyzny morenowej oraz bezpośrednim spływem powierzchniowym. Zlewnia lewobrzeżna Kanału Raduni obejmuje obszar 41,8 km<sup>2</sup> (od Pruszcza Gdańskiego do syfonu pod torami).

Całkowita długość Kanału Raduni wynosi 13,1 km, w tym odcinek od Pruszcza Gdańskiego do syfonu pod torami PKP i pod wiaduktem na ul. Armii Krajowej posiada długość 11 km, a poniżej, do ujścia, 2,1 km.

W Pruszczu Gdańskim znajduje się elektrownia wodna, która w czasie pracy odprowadza 6,8 m<sup>3</sup>/s wody do Kanału Raduni. Zamknięcie tego dopływu do Kanału wymaga wyłączenia elektrowni wodnej w Pruszczu Gdańskim. Minimalny przepływ wymagany pozwoleniem wodnoprawnym wynosi dla tego odcinka Kanału 1 m<sup>3</sup>/s.

Przepustowość Kanału, jest zróżnicowana w poszczególnych przekrojach i wynosi od 13,0 m<sup>3</sup>/s do około 20 m<sup>3</sup>/s. Do lat 50. była ona w zupełności wystarczająca dla odprowadzenia wód dopływających z

bezpośredniej, mało zurbanizowanej zlewni Kanału. Zlewnia Kanału Raduni, znajdująca się na wzgórzach morenowych, została w ostatnich latach intensywnie zurbanizowana, co znacznie obniżyło jej naturalną retencję. Brak wystarczającej przepustowości Kanału Raduni i odpowiedniej retencji są obecnie kluczowym elementem zagrożenia powodziowego Gdańska.

Radykalne powiększenie przepustowości Kanału na całej długości nie jest możliwe ze względów technicznych. Konieczne jest więc takie zlokalizowanie kontrolowanych zrzutów, aby kolejne dopływy ze zlewni do Kanału były z Kanału skutecznie odprowadzone. Odpływy wody z Kanału zrzutami muszą być regulowane, tak aby nie nastąpiło zbytnie obniżenie zwierciadła wody w Kanale przy małych dopływach do Kanału i aby rzędna zwierciadła wody na określonych odcinkach Kanału nie przekroczyła rzędnej korony prawego obwałowania, przy dużych przepływach, co prowadzić może do rozmyć obwałowania.

**Obecne możliwości odprowadzenia wody z Kanału Raduni są zdecydowanie za małe i zapewniają jedynie bezpieczne odprowadzenie wód o natężeniu przepływu nie przekraczającym  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ .** Jest to przepływ, którego przekroczenie może zdarzyć się raz na 10 lat, a uwzględniając zrzut z elektrowni – raz na 5 lat.

Obszerna charakterystyka wszystkich elementów GWW została zamieszczona w ZADANIACH 1 i 5.

#### **4. PRZEBIEG I PRZYCZYNY POWODZI W GDAŃSKU W LIPCU 2001 R.**

Powódź w Gdańsku, która wystąpiła w dniu 9 lipca 2001 r. spowodowana była bardzo intensywnym opadem deszczu skoncentrowanym na terenie miasta. W godzinach od 14<sup>00</sup> do 20<sup>00</sup> 9 lipca 2001 r. opad deszczu na stacji opadowej IMGW w Rębiechowie wyniósł 78,1 mm, a dobowy opad w dniu 9/10 lipca wyniósł 127,7 mm (ZADANIE 4, str. 77). Tak intensywnego opadu deszczu nie była w stanie przejąć istniejąca sieć kanalizacji burzowej, co spowodowało groźną sytuację na terenie lewostronnej zlewni Kanału Raduni. Obszar ten stanowią wzgórza morenowe o dużym spadku w kierunku Kanału Raduni. Tereny te zostały w ostatnich latach intensywnie zurbanizowane, co znacznie

zmniejszyło ich naturalną retencję i zwiększyło spływ powierzchniowy. Ocenia się, że spływ ze zlewni do Kanału w ciągu krytycznych godzin popołudniowych dnia 9 lipca 2001 r. był rzędu  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Są to przybliżone dane, gdyż brak jest państwowego punktu pomiaru opadów w zlewni Kanału Raduni. Niezależnie jednak od tego czy dopływ do Kanału był nieco mniejszy czy nieco większy od  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , jest oczywiste, że Kanał nie mógł przejąć takich ilości wody, gdy jego przepustowość szacowana jest na około  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nastąpiło przerwanie prawobrzeżnego wału Kanału w 5 miejscach i płynąca woda zalała działnice położone po prawej stronie Traktu Św. Wojciecha, wyrządzając poważne szkody w infrastrukturze miejskiej i mieniu ludności. Na wiele dni przerwana została komunikacja na tej ważnej arterii.

Podobna sytuacja wystąpiła wzdłuż Potoku Siedleckiego, który nie był w stanie przejąć spływu wód ze swej zlewni i ulice Kartuska oraz Nowe Ogrody zamieniły się w rwącą rzekę, spływającą na teren głównego dworca kolejowego w Gdańsku. Ponad tygodniowa przerwa w funkcjonowaniu dworca kolejowego spowodowała poważne zaburzenia w transporcie kolejowym oraz znaczne straty.

Również krytyczna sytuacja wystąpiła wzdłuż Potoku Strzyża, biegnącego równolegle do ul. Słowackiego, ważnej arterii komunikacyjnej Gdańska. W wyniku przepelnienia zbiornika retencyjnego Srebrzysko przerwana została jego zaporą czołową i duże masy wody spłynęły ul. Słowackiego zamieniając ją w rwącą rzekę. Zalane zostało skrzyżowanie ulic Grunwaldzkiej i Słowackiego, co znacznie utrudniło komunikację drogową między Wrzeszczem i Oliwą. Duże straty poniosła ludność okolicznych domów i instytucji, których piwnice a nawet partery zostały zalane.

Z pewnym opóźnieniem czasowym, bo po północy 11 lipca nastąpiło przerwanie lewego obwałowania rzeki Kłodawy w odległości około 3,6 km od jej ujścia do Motławy. Zalane zostały znaczne obszary terenów rolniczych na obszarze wsi Cieplewo. Zamknięcie wyrwy w wale było utrudnione tym, że dojazd do wyrwy był możliwy jedynie po wale przeciwpowodziowym.

W sumie straty w infrastrukturze miasta w wyniku powodzi zostały oszacowane na około 200 mln zł., nie licząc strat poniesionych przez ludność.

Skutkami powodzi dotkniętych zostało 300 rodzin, a około 5000 osób otrzymało kartę powodzianina.

Podstawowe wnioski płynące z analizy powodzi lipcowej były następujące:

- niezbędną jest modernizacja Kanału Raduni,
- konieczne jest wykonanie szeregu zbiorników retencyjnych na ciekach w zlewni Kanału Raduni, aby zapewnić spowolnienie spływu wód do Kanału,
- należy zaprojektować i wykonać kilka dodatkowych zrzutów z Kanału Raduni do Raduni, Motławy i Optywu Motławy w celu kontrolowanego odprowadzenia nadmiaru wód, których nie jest w stanie przeprowadzić Kanał.

## **5. ANALIZA HYDROLOGICZNA GWW**

Istotnym elementem realizowanej pracy było dokonanie analizy hydrologicznej GWW. W analizie uwzględniono wszystkie dane ze zbiorów IMGW obejmujące ciągi wieloletnie (1951 – 2002) oraz obserwacje pochodzące z krótszych okresów. Analizą objęto przede wszystkim wysokie stany wody i przepływy w badanych ciekach dorzecza Martwej Wisły, jak też maksymalne opady atmosferyczne, w tym deszcze nawalne występujące na obszarze GWW.

Analiza objęła określenie maksymalnych stanów wody i przepływów cieków dorzecza Martwej Wisły wraz z wyznaczeniem prawdopodobieństwa ich występowania. Przeanalizowano prawdopodobieństwo występowania wysokich stanów wody w Zatoce Gdańskiej z jednoczesnym wystąpieniem spływu wód powierzchniowych w ciekach GWW. Całość analizy zawarta jest w opracowaniu ZADANIA 4.

Informacje uzyskane z analizy hydrologicznej GWW posłużyły jako dane wyjściowe do obliczeń hydraulicznych wykonanych za pomocą modelu matematycznego.

Wyniki określenia maksymalnych przepływów cieków GWW w określonych przekrojach o założonym prawdopodobieństwie wystąpienia zestawiono w Tabeli. Prawdopodobieństwo  $p = 0,3\%$  odpowiada przepływowi

kontrolnemu, natomiast prawdopodobieństwo  $p = 1\%$  przepływowi miarodajnemu dla budowli klasy II. Prawdopodobieństwo  $p = 0,5\%$  odpowiada przepływowi kontrolnemu, natomiast  $p = 2\%$  przepływowi miarodajnemu dla budowli klasy III.

**Maksymalne natężenia przepływu w przekrojach cieków GWW o  
założonym prawdopodobieństwie występowania**

p (%)	Częstość wystąpienia T (lat)	Q (m <sup>3</sup> /s) dla określonych rzek i przekrojów					
		Bielawa ujście do Motławy	Kłodawa ujście do Motławy	Czarna Łacha Mokry Dwór	Radunia ujście do Motławy	Motława Wiślina	Motława Olszynka
0,3	333	9,6	12,1	3,9	52,1	24,7	76,7
0,5	200	9,1	11,5	3,6	49,4	23,4	72,8
1,0	100	8,5	10,6	3,4	46,0	21,8	67,8
2,0	50	7,8	9,8	3,2	42,4	20,0	62,4
5,0	20	6,9	8,6	2,8	37,1	17,6	54,6
10,0	10	6,0	7,5	2,4	32,5	15,4	47,8

Przeprowadzono również analizę mającą na celu określenie wzajemnej relacji jednoczesnego występowania wysokich stanów wody w Zatoce Gdańskiej (Martwej Wiśle) Motławie i Opływie Motławy. Dane te należy traktować jednak jako przybliżone. Z analizy tej wynika, że przez około 56% czasu poziom wody w Zatoce Gdańskiej jest wyższy od poziomu wody w Motławie i następuje czasowe zamknięcie wrót przeciwsztormowych Wrota Żuławskie i Kamienna Grodza. W ciągu 37% czasu poziom wody w Motławie jest wyższy niż w Zatoce Gdańskiej i występuje swobodny odpływ wód z GWW do Martwej Wiśły. Jedynie w ciągu 7% czasu następuje jednoczesne podnoszenie się poziomu wody w Motławie i Martwej Wiśle i może występować otwieranie się i zamykanie wrót przeciwsztormowych w zależności od tego, który stan wody będzie wyższy.

Analiza statystyczna opadów atmosferycznych na stacji pomiarowej Rębiechowo wykazała, że dobowy opad dla lipca o prawdopodobieństwie  $p = 0,3\%$  wynosi 90 mm, natomiast opad o prawdopodobieństwie 1% wynosi 77

mm. Dobowy opad w dniu 9 lipca 2001 r. na stacji Rębiechowo wyniósł 127 mm.

Analogiczna analiza dla posterunku Port Północny wykazała, że dobowy opad dla lipca o prawdopodobieństwie  $p = 0,3\%$  wynosi 111 mm, natomiast dla prawdopodobieństwa  $p = 1\%$  opad dobowy wynosi 95 mm. Dobowy opad w dniu 9 lipca 2001 r. na stacji Port Północny wyniósł 118 mm.

Należy zwrócić uwagę, że oba wyżej wymienione posterunki opadowe są oddalone od centrum Gdańska, Rębiechowo – 12 km, a Port Północny – 6 km. Brak jest natomiast stacji pomiarowej opadów IMGW w centrum Gdańska.

## **6. WYKONANE POMIARY CIEKÓW GWW**

Wykonanie modelu matematycznego rozrządu wód węzła gdańskiego wymagało szczegółowych danych hydrograficznych w postaci przekrojów poprzecznych i podłużnych wszystkich cieków wchodzących w skład GWW wraz z ich terenami zalewowymi. Ostatnie pomiary przekrojów poprzecznych cieków GWW wykonane były przez Hydroprojekt Oddział Gdańsk kilkanaście lat temu. Obecnie wykonane pomiary starano się wykonać w tych samych profilach. Na wszystkich objętych pomiarami ciekach wprowadzono nowe kilometraże, które zostały naniesione z mapy w skali 1: 10 000 i uzgodnione z Centralną Bazą Danych Historycznych IMGW.

Pomiary terenowe, które wykonało IMGW poprzedzono wizją lokalną i uzgodnieniami z udziałem wszystkich członków Konsorcjum. Część pomiarów na rzekach Radunia, Bielawa i Opływ Motławy wykonała ekipa Hydroprojektu z Oddziału we Włocławku.

Do pomiarów geodezyjnych wykorzystano najnowszą aparaturę opartą o technikę GPS (Global Positioning System). Pomiary te objęły przekroje poprzeczne i podłużne z naniesionym układem zwierciadła wody. Prace te wykonano w ramach Zadania 2 i 3. Dane te były przede wszystkim niezbędne do opracowania modelu matematycznego GWW, ale również w przyszłości będą wykorzystane dla innych celów przez RZGW Gdańsk. Istotne było to, aby obliczenia hydrauliczne przepływów w GWW były wykonane na aktualnych przekrojach poprzecznych i podłużnych koryt rzecznych. Wykonano pomiary

przekrojów poprzecznych i sporządzono przekroje podłużne Raduni, Kanału Raduni, Motławy, Optywu Motławy, Bielawy i Czarnej Łachy. W sumie wykonano 252 przekroje poprzeczne koryt na wymienionych ciekach. Najdłuższy przekrój poprzeczny ma 890 m, a kilkadziesiąt przekrojów ma długość rzędu kilkuset metrów.

Opracowanie wyników pomiarów przedstawiono w formie graficznej (przekroje poprzeczne i podłużne) oraz tabel współrzędnych poziomych  $x$  i  $y$  w układzie państwowym z 1992 r. Wszystkie wysokości  $z$  przedstawiono w układzie wysokościowym Kronsztadt 86 oraz współrzędnych geograficznych  $\varphi$  i  $\lambda$  dla Motławy, Czarnej Łachy oraz Kanału Raduni.

Wszystkie przekroje poprzeczne i podłużne cieków w formie graficznej oraz numerycznej (zapisane na dysku CD) przedstawiono w opracowaniach z ZADAŃ 2 i 3. Przedstawiono również obszerną dokumentację fotograficzną z wykonanych pomiarów.

## **7. MODEL MATEMATYCZNY PRZEPŁYWU W GWW I PODSTAWOWE SCENARIUSZE OBLICZEŃ.**

Do opracowania modelu matematycznego wykorzystano pakiet oprogramowania MIKE 11 HD opracowany przez DHI (Danish Hydraulic Institute – Water and Environment). Program ten jest stosowany w wielu ośrodkach na całym świecie i w Polsce do modelowania hydrodynamiki rzek. Dla celów niniejszego opracowania wykorzystano pakiet zawierający moduł hydrodynamiczny, gdyż przedmiotem obliczeń są przepływy i zmiany stanów wody w rzekach i kanałach GWW. MIKE 11 HD uwzględnia modelowanie przepływów nieustalonych (zmiennych w czasie), wpływ konstrukcji hydrotechnicznych (jazy, przelewy, upusty) i komunikacyjnych (mosty, przepusty), efekt oddziaływania terenów zalewowych oraz dopływy innych cieków. Model matematyczny zbudowany został na podstawie zbioru zdigitalizowanych punktów sieci rzecznej, wykonanego na podkładzie rastrowym map topograficznych i dowiązanych do niego przekrojów poprzecznych rzek. Do modelu wprowadzono pomierzone, aktualne przekroje cieków i kanałów wraz z ich terenami zalewowymi. Do obliczeń przyjęto

aktualne dane hydrologiczne, zawarte w opracowaniu ZADANIA 4, uwzględniając proponowane systemy zrzutów wód Kanału Raduni, jak również zrzuty z polderów chronionych obwałowaniami.

Model matematyczny został szczegółowo opisany w opracowaniu ZADANIA 6, łącznie z przedstawieniem wyników obliczeń dla przepływów o różnym prawdopodobieństwie występowania w stanie istniejącym GWW, jak i rozwiązań perspektywicznych obejmujących dodatkowe zrzuty z Kanału Raduni. ZADANIE 6 i ZADANIE 7 przedstawiają wyniki obliczeń wraz z szerszymi ocenami i wnioskami.

## **SCENARIUSZE OBLICZEŃ**

Za pomocą modelu matematycznego wykonano następujące obliczenia dla różnych warunków hydraulicznych:

- określenie maksymalnych przepływów w głównych ciekach GWW przy ich obecnym stanie zabudowy (według aktualnych pomiarów),
- obliczenie maksymalnych stanów wody dla kryterialnych przepływów w celu określenia wymaganych wysokości obwałowań przeciwpowodziowych,
- określenie możliwości przepuszczenia przez GWW przepływu o prawdopodobieństwie 1% i 0,3% z uwzględnieniem oddziaływania planowanych 18 zbiorników retencyjnych w zlewni Kanału Raduni oraz dodatkowych 4 zrzutów wody z Kanału Raduni (2 zaprojektowane, 2 planowane),
  - określenie warunków hydraulicznych w GWW, przy wrotach przeciwsztormowych zamkniętych w wyniku maksymalnego spiętrzenia wody w morzu o hipotetycznym czasie trwania ekstremalnych spiętrzeń (wg Zadania 7 równego  $t_{w2\%} = 31,5 + 1,5$  godz.,  $t_{w1\%} = 31,5 + 4,0$  godz.) i dla dopływu Motławą o szczytowym natężeniu  $22,8 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $p \approx 50\%$ ) w przekroju „Olszynka” (km 4+175) oraz dodatkowo  $7,8 \text{ m}^3/\text{s}$  pomiędzy tym przekrojem a zamknięciami przeciwsztormowymi „Brama Żuławska” i „Kamienna Grodza” - łącznie  $30,6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Składowe tego dopływu to:

- dopływ z systemów rzecznych (Motława, Radunia i Czarna Łacha)
- z odwodnienia polderów,

- zrzuty z Kanału Raduni.

Należy nadmienić, że naturalny hydrologiczny przepływ Motławy o prawdopodobieństwie  $p = 99\%$  w przekroju „Olszynka” wynosi  $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$  (Tab.4.12a ZADANIE 4) – zatem uwzględnione wartości jednoczesnych dopływów do systemu znacznie podnoszą stopień bezpieczeństwa kryteriów przyjętych do obliczeń symulacyjnych.

## 8. ANALIZA WYNIKÓW OBLICZEŃ

Kanał Raduni jest kluczowym elementem w ochronie przeciwpowodziowej miasta Gdańska, a przepustowość jego w obecnym stanie jest mała i zmienia się na długości. Na końcowym odcinku osiąga wartość około  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Obliczenia przepustowości Kanału Raduni wykonano przy założeniu współczynnika szorstkości Manninga 0.020 (dobry stan Kanału). W przyszłości należy bezwzględnie zadbać o dobry stan Kanału, tak aby założony współczynnik był zachowany. Obliczenia za pomocą modelu matematycznego opracowanego dla GWW przeprowadzono dla istniejących warunków morfologicznych cieków i kanałów oraz proponowanych różnych koncepcji odprowadzenia wód z Kanału Raduni zrzutami do Raduni, Motławy i Optywu Motławy oraz zakładając wykonanie 18 zbiorników retencyjnych na ciekach dopływających do Kanału o sumarycznej pojemności  $480 \text{ tys. m}^3$ . Jest to wg Programu Inwestycyjnego Melioracji Gdańskich pojemność łącznie z rezerwą na wody o  $p = 0.3\%$ .

Z obliczeń przeprowadzonych dla stanu istniejącego wynika, że:

- Motława, uwzględniając największe obniżenie korony wałów (rejon km 26+840) oraz położenie zwierciadła wody  $0,3 \text{ m}$  poniżej korony wału, jest w stanie bezpiecznie przeprowadzić wody o prawdopodobieństwie występowania  $p = 0,3\%$  czyli wód 333 letnich określonych dla tej rzeki (Rys. 3); obliczenia te wykonano przy założeniu współczynnika szorstkości Manninga 0.033 oznaczającego dobry stan koryta rzeczno. Stan ten w przyszłej eksploatacji musi być koniecznie utrzymany. Obliczenia kontrolne wykonane dla wyższego współczynnika szorstkości (0.045 – zaniedbane

koryta rzeczne) wykazują wyższe stany wody, które jednak nie przekraczają rzędnych korony wałów (Rys. 3a).

- Radunia, ze względu na występujące lokalne obniżenia brzegu lub brak wałów nie jest obecnie w stanie bezpiecznie przeprowadzić przepływu miarodajnego ( $p = 1\%$ ) i kontrolnego ( $p = 0,3\%$ ) w górnym biegu rozważanego odcinka rzeki (Rys. 4); Obliczenia te wykonano przy założeniu współczynnika szorstkości Manninga 0.033 (dobry stan koryta rzeczne). Ten stan koryta rzeczne musi być koniecznie utrzymany. Obliczenia kontrolne wykonane dla współczynnika szorstkości Manninga 0.045 (zaniedbane koryta rzeczne) wykazują wyższe stany wody (Rys. 4a).
- Kanał Raduni przy obecnym stanie zabudowy zlewni Kanału, istniejącym zrzucie w km 2+700 o wartości  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ , przy aktualnych przekrojach poprzecznych oraz bez uwzględnienia pracy elektrowni wodnej w Pruszczu Gdańskim, przepływie nienaruszalnym  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ , jest w stanie bezpiecznie przeprowadzić około  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ , co odpowiada prawdopodobieństwu występowania  $p = 10\%$  (raz na 10 lat). Przy wyższych dopływach nie będzie zagwarantowane wzniesienie korony wału ponad zwierciadło wody o 0,3 m, co może grozić przelaniem się wód przez koronę prawego wału (Rys. 5).

Z przeprowadzonych obliczeń dla różnych rozpatrywanych koncepcji wynika, że:

- po wykonaniu dodatkowych dwóch zrzutów, których projekty budowlane są już gotowe: w km 2+700 do Opływu Motławy (tzw. Zrzut Nr 1) o wydatku  $6,2 \text{ m}^3/\text{s}$  i w km 9+700 do Raduni (tzw. Zrzut Nr 3) o wydatku  $13,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , możliwości bezpiecznego przeprowadzenia wód odpowiadają  $p = 1\%$  bez uwzględnienia zrzutu wody z elektrowni Pruszcz Gdański (Rys.6). Stwierdzono również, że wykonanie dodatkowych zrzutów wody z Kanału Raduni do Raduni nie spowoduje istotnego podniesienia się poziomu wody w Raduni, która jest w stanie przeprowadzić ten przepływ. Podobnie Motława jest w stanie przeprowadzić dodatkowy przepływ z tego zrzutu. Na całej długości Motławy w analizowanych warunkach zwierciadło wody znajduje się około 1,0 m poniżej korony wału (Zadanie 6 i 7).

- wykonanie następnych dwóch dodatkowych zrzutów (oprócz zrzutów Nr 1 i Nr 3), w km 4+100 o wydatku 8,75 m<sup>3</sup>/s do Motławy i w km 10+850 o wydatku 7,0 m<sup>3</sup>/s do Raduni oraz 18 zbiorników retencyjnych na ciekach dopływających do Kanału o sumarycznej pojemności 480 tys. m<sup>3</sup> (zgodnie z Programem Inwestycyjnym, Melioracje Gdańskie), jak również modernizacji Kanału pozwoli na przeprowadzenie przez Kanał przepływu miarodajnego o prawdopodobieństwie  $p = 1\%$  i całości zrzutu z elektrowni w Pruszczu Gdańskim w ilości 6,8 m<sup>3</sup>/s (Rys. 7) oraz przepływu o  $p = 0,3\%$ , bez uwzględnienia dopływu z elektrowni wodnej Pruszcz Gdański (Rys. 8), w analizowanych warunkach Motława jest w stanie przeprowadzić bezpiecznie wody kontrolne ( $p = 0,3\%$ ), zaś na Raduni wystąpią ograniczenia dla tego przepływu.
- przeprowadzono również obliczenia i analizę hydrauliczną zakładając ekstremalne spiętrzenie sztormowe w Zatoce Gdańskiej powodujące długotrwałe zamknięcie wrót przeciwsztormowych przy jednoczesnym dopływie z systemu zlewni Motławy (wraz z polderami i zrzutami) w wysokości ustalonej w p. 7.

Na podstawie obliczeń wyznaczono czas wypełnienia międzywała Optywu Motławy i Motławy do wysokości wyznaczonej dopuszczalnym poziomem przepływu kontrolnego (0,30 m poniżej korony wału – dla każdej klasy budowli).

Czas ten wynosi 38 godz., jest więc dłuższy od hipotetycznych czasów ekstremalnych spiętrzeń sztormowych w Zatoce Gdańskiej wynoszących odpowiednio  $t_{w2\%} = 33\text{godz.}$  i  $t_{w1\%} = 35,5\text{godz.}$

## **9. PROPOZYCJE NIEZBĘDNYCH INWESTYCJI PRZECIWPOWODZIOWYCH W GWW**

W propozycji niezbędnych inwestycji przeciwpowodziowych przyjęto II klasę obwałowań dla Kanału Raduni, Raduni i Optywu Motławy, natomiast klasę III dla pozostałych cieków GWW (Motława, Bielawa, Kłodawa i Czarna Łacha). Podstawowymi wymaganiami dla wałów przeciwpowodziowych są rzędne korony, geometria korpusu, jakość konstrukcji korpusu i jego połączenie z

podłożem. Przy modernizacji zabezpieczenia przeciwpowodziowego bezdyskusyjna jest konieczność technicznego zabezpieczenia Kanału Raduni poprzez wykonanie pełnego remontu obwałowania prawego, wykonanie wszystkich projektowanych zrzutów z Kanału oraz realizacja zabudowy zbiornikowej na wszystkich ciekach lewobrzeżnej zlewni Kanału, gdyż inaczej nie zostaną osiągnięte programowane parametry ochrony przeciwpowodziowej – ustalone drogą obliczeń modelem matematycznym.

W okresie ostatnich lat zrealizowano znaczące zakresy robót zabezpieczenia przeciwpowodziowego w dolnych odcinkach cieków zlewni GWW. Przedstawione dalej potrzeby modernizacyjne uwzględniają już wykonane zakresy robót, stanowiąc próbę określenia programu prac uzupełniających, zmierzających do uzyskania wymaganych normatywami technicznymi parametrów zabezpieczeń przeciwpowodziowych (Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 20 grudnia 1996 roku Dz.U. 21/97 poz.11) – na pozostałych odcinkach cieków stwarzających zagrożenie powodziowe. Zakres proponowanych modernizacji uwzględnia również znane autorom, a nie zrealizowane dotychczas, bądź znajdujące się w realizacji projekty prac modernizacyjnych.

Prace przewidują.

- Następującą modernizację Kanału Raduni:
  1. Uporządkowanie stanu istniejącej zieleni na obu brzegach Kanału (inwentaryzacja, wycinka i leczenie drzew) – km 2+700 ÷ 13+000
  2. Obwałowanie prawego brzegu (umocnienia brzegu – ścianka szczelna z elewacją, odbudowa korpusu wału km 2+700 ÷ 11+290.
  3. Przebudowa i modernizacja lewego brzegu (umocnienia brzegu z elewacją, fragmentami ścianka szczelna, odcinkowa budowa wału, droga eksploatacyjna) km 2+700 ÷ 11+290.
  4. Likwidacja studni kolektora sanitarnego „Zaroślak” znajdujących się w korycie Kanału km 2+700 ÷ 4+040.

5. Likwidacja tłoczego kolektora sanitarnego z Pruszcza Gdańskiego na oczyszczalnię „Wschód” znajdującego się w korycie Kanału – km 2+700 ÷ 4+040.
  6. Przebudowa wylotów Potoków „Rotmanka”, „Św. Wojciech”, „Maćkowy” oraz kanałów o średnicy od  $\phi = 500$  mm.
- Modernizację rozrządu wód w obrębie węzła poprzez budowę dodatkowych przerzutów wody z Kanału Raduni:
    - a.) w km 1+800  $Q = 4,40 \text{ m}^3/\text{s}$
    - b.) w km 2+700  $Q = 6,20 \text{ m}^3/\text{s}$  (projektowany)
    - c.) w km 4+100  $Q = 8,75 \text{ m}^3/\text{s}$
    - d.) w km 9+700  $Q = 13,00 \text{ m}^3/\text{s}$  (projektowany)
    - e.) w km 10+850  $Q = 7,00 \text{ m}^3/\text{s}$

gdzie pozycje „b” i „d” mają już sporządzoną dokumentację projektową, pozycja „a” jest w trakcie przygotowania dokumentacji, pozostałe pozycje sugeruje się realizować w kolejności „c”, „e”.
  - Spowolnienie i ograniczenie odpływu z lewobrzeżnej zlewni Kanału Raduni poprzez budowę zbiorników retencyjnych:
    - a.) na Potoku Rotmanka: R1; R2 – o  $V_{u\dot{z}} = 29\,500 \text{ m}^3$  (łącznie)
    - b.) na Potoku Św. Wojciech + P. Borkowski: W1; W3; W4; W5; B1 – o  $V_{u\dot{z}} = 92\,500 \text{ m}^3$
    - c.) na Potoku M<sub>2</sub>: M<sub>2</sub>1 – o  $V_{u\dot{z}} = 8\,200 \text{ m}^3$
    - d.) na Potoku Maćkowy: M1 - Kolorowy<sup>\*)</sup>; M2 – o  $V_{u\dot{z}} = 50\,000 \text{ m}^3$
    - e.) na Potoku M<sub>1</sub>: M<sub>1</sub>1 – o  $V_{u\dot{z}} = 700 \text{ m}^3$
    - f.) na Potoku Oruńskim + Potoku Kowalskim: Nr0; Nr1<sup>\*)</sup>; Nr2; Nr3; Nr4; K2; K3 o  $V_{u\dot{z}} = 241\,000 \text{ m}^3$

Łącznie 18 zbiorników o  $V_{u\dot{z}} = 421\,900 \text{ m}^3$  (dla przepływów o  $p = 1\%$ )

w tym <sup>\*)</sup> – zbiorniki ostatnio wybudowane
  - Modernizację istniejącego systemu zabezpieczeń przeciwpowodziowych przez remont i korektę obwałowań na istniejących trasach do parametrów zgodnych z wymaganiami II i III klasy, w przybliżonych zakresach jak niżej;

**Motława:**

- remont wałów i brzegów w km 7+510 ÷ 41+620
- obwałowanie brzegu lewego na dług. 260m powyżej ujścia do Optywu Motławy

**Czarna Łacha:**

- wał lewy km 0+200 ÷ 7+035
  - wał prawy km 0+000 ÷ 7+035
- (roboty w trakcie realizacji)

**Bielawa:**

- wał prawy km 1+810 ÷ 4+800
  - wał prawy km 5+800 ÷ 9+810
- (roboty w trakcie realizacji)

**Kanał Rudnicki:**

- kanalizacja Kanału na długości 200 m

**Radunia:**

- wał lewy km 0 ÷ 6+263
- wał prawy km 0 ÷ 9+546

(roboty te są w trakcie realizacji)

w Pruszczu Gdańskim:

- wał lewy km 7+850 ÷ 8+500 – teren Spółki Wodnej
- brzeg lewy km 8+650 ÷ 9+600 – przy Cukrowni, podniesienie brzegu o 0,3 m
- brzeg prawy km 9+200 ÷ 10+100 – teren Przedsiębiorstwa Melioracyjnego jw. o około 0,6 m
- wał prawy km 10+572 ÷ 11+095 – poniżej jazu
- wał lewy km 10+572 ÷ 10+790 – poniżej jazu
- brzeg lewy i prawy km 11+290 ÷ 11+880 podniesienie o 0,3 i 0,6 m
- Prace regulacyjne na potokach zlewni Kanału Raduni na długości około 28 km, zgodnie z tabelą 2.4 opracowania ZADANIE 7,
- zwiększenie istniejącego przerzutu wód z polderu Olszynka do rzeki Motławy z obecnych 2,0 m<sup>3</sup>/s na 2,5 m<sup>3</sup>/s,

- zwiększenie istniejącego przerzutu wód z polderu Rudniki do Optywu Motławy z obecnych 1 m<sup>3</sup>/s na 3,0 m<sup>3</sup>/s,
- zainstalowanie systemu monitoringu na terenie GWW

Niezależnie od wskazanych rozwiązań inwestycyjnych konieczne jest położenie szczególnego nacisku na systematyczną realizację prac konserwacyjnych mających na celu bieżące utrzymanie właściwego stanu technicznego cieków i zabezpieczeń przeciwpowodziowych (w tym drożności koryt i międzywala oraz stanu infrastruktury związanej – takich jak budowle hydrotechniczne, komunikacyjne i zabudowa techniczna w międzywale). Bieżąca praktyka w tym zakresie jest dalece niewystarczająca, głównie z powodu zbyt niskich nakładów na utrzymanie bieżące, co w konsekwencji prowadzi do nieuchronnego wzrostu zagrożenia powodziowego, powstawania szkód gospodarczych i konieczności angażowania specjalnych środków interwencyjnych.

## **10. PROPOZYCJE ROZWIĄZAŃ NA WYPADEK POJAWIENIA SIĘ SYTUACJI EKSTREMALNYCH**

Jako sytuacje ekstremalne definiuje się zagrożenia powstające na skutek wystąpienia zjawisk o natężeniu lub prawdopodobieństwie wystąpienia przekraczających przewidziane normatywami technicznymi dla budowanych zabezpieczeń przeciwpowodziowych czy urządzeń technicznych.

Mogą to być przykładowo:

- wysokie spiętrzenia sztormowe o wydłużonym czasie trwania, powodujące wypełnienie pojemności retencyjnej międzywala Motławy wraz z Optywem Motławy na całym obszarze cofkowym,
- wysokie spiętrzenia sztormowe skojarzone z bardzo intensywnym odpływem ze zlewni cieków,
- awaryjne ograniczenia przepustowości przekroju wrót przeciwpowodziowych Wrota Żuławskie i Kamienna Grodza,
- inne zdarzenia powodujące przekroczenie w międzywale dolnego odcinka rzeki Motławy poziomu wody uznanego za bezpieczny (poziom kontrolny).

Jako dodatkowe zabezpieczenie terenu Gdańska przed skutkami zjawisk hydrologicznych o parametrach przekraczających zakres obowiązujących normatywów technicznych przewidziano organizację na terenach depresyjnych Oruni i Olszynki terenów zalewowych, przewidzianych do kontrolowanego zalania. Tereny te, zwane polderami zalewowymi usytuowane są w granicach obecnych polderów melioracyjnych **Orunia** i **Olszynka**, zajmują obszar ok. 200 ha, a pojemność zalewu szacuje się na 1.000.000 m<sup>3</sup>. Poldery zalewowe zlokalizowano na obszarach minimalnego zurbanizowania, przewidzianych do wyłącznego użytkowania rolniczego (uwzględniając „*Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Gdańska*” – załącznik do Uchwały Rady Miasta Gdańska Nr XLII/1289/2001 z dn. 20 grudnia 2001 r.) . Infrastruktura melioracyjna i komunikacyjna tego obszaru musiała by zostać odpowiednio przebudowana i wyposażona w dodatkowe elementy zapewniające możliwość bezpiecznego zalania oraz późniejszego optymalnego odwodnienia terenu. Koncepcję tych rozwiązań przedstawiono na rys. 9 i 10. Zabezpieczenia te mają charakter perspektywiczny i ich realizacja może być rozważana poza najbliższym dziesięcioleciem – jednak zabezpieczenie terenu pod te rozwiązania winno znaleźć wyraz w planach zagospodarowania przestrzennego już obecnie.

## **11. OKREŚLENIE GRANIC OBSZARÓW BEZPOŚREDNIEGO ZAGROŻENIA POWODZIĄ W GWW**

W ramach ZADANIA 12 określono granice obszarów bezpośredniego zagrożenia powodzią dla terenów nieobwałowanych rzek Raduni, Motławy, Martwej Wisły, Rozwójki i Bielawy dla wód o prawdopodobieństwie pojawiania się 1% dla terenów zurbanizowanych, a dla wody o prawdopodobieństwie pojawiania się 1% i 10% dla terenów pozostałych.

Pierwsza część pracy wykonana została przy wykorzystaniu map topograficznych w skali 1:10 000 i map cyfrowych dla terenów dla których takie mapy istnieją. Opracowanie zostało przedstawione w wersji cyfrowej, jako pliki jpg, na płytach CD oraz w postaci wydrukowanych map topograficznych.

Do obliczenia rzędnych zwierciadła wody w poszczególnych przekrojach wykorzystano model MIKE 11 oraz programy autorskie IMGW.

## **12. PROPOZYCJA MONITORINGU (STACJE OPADOWE, STACJE POMIARÓW STANÓW WODY, SYSTEM POMIAROWY)**

Na obszarze GWW sieć pomiarowa stanów wody, jak i opadów jest stosunkowo skromna i nie oddaje w pełni jego stanu hydrologicznego. W Zadaniu 10 przeanalizowano utworzenie lokalnego systemu osłony przeciwpowodziowej obejmującego GWW. W skład takiego systemu powinny wejść następujące komponenty:

- system monitoringu hydrologiczno - meteorologicznego wraz z modułem łączności i gromadzenia danych oraz tworzenia i dystrybucji raportów o aktualnej sytuacji hydrologicznej,
- system wczesnego ostrzegania wraz z prognostycznymi modelami oraz modułem dystrybucji ostrzeżeń i prognoz.

Podstawą systemu monitoringu powinna być sieć obserwacyjno pomiarowa obejmująca pomiary stanów wody i wysokości opadów. Przeanalizowano trzy warianty sieci obserwacyjno-pomiarowej. Wariant 1 składa się z 19 punktów pomiaru stanów wody i 5 punktów pomiaru opadu. Wariant 2 (ograniczony) obejmuje 8 punktów pomiaru stanów wody i 3 punkty pomiaru wysokości opadu. Wariant 3 jest rozszerzony w stosunku do wariantu 2 o jeden punkt pomiaru stanów wody. Podjęcie ostatecznej decyzji, który wariant należy przyjąć i jakiego rodzaju punkty pomiarowe zastosować (automatyczne czy tradycyjne) zależy będzie od możliwości finansowych. Decydując się na przyjęcie systemu pomiarowego trzeba również ustalić, kto będzie ten system obsługiwać i kto będzie finansować jego eksploatację.

W tabeli zestawiono koszty związane z instalacją i eksploatacją trzech wariantów. Koszty eksploatacji obejmują koszt roczny.

Rodzaj	Wariant 1 [tys. PLN]	Wariant 2 [tys. PLN]	Wariant 3 [tys. PLN]
<b>Automatyczne</b>			

Budowa	1120 – 2510	528 – 1125	574 – 1240
eksploatacja	614,8	280,7	302,4
<b>Tradycyjne</b>			
Budowa	284	160	166
eksploatacja	335	150	165

Konsorcjum uważa, że na obecnym etapie powinien być realizowany Wariant 3. Koszty zestawione w Tabeli nie uwzględniają budowy i eksploatacji systemu wczesnego ostrzegania i prognoz.

### 13. KOSZT PROPONOWANYCH ZABEZPIECZEŃ PRZECIWPOWODZIOWYCH

Szacunkowe koszty inwestycyjne robót i obiektów wchodzących w zakres rozważanych modernizacji zabezpieczeń przeciwpowodziowych omówiono szczegółowo w Zadaniu 11. Koszty opracowano na podstawie dostępnych kosztorysów inwestorskich i wskaźników własnych, według cen z 2003 r. Nie ujęto elementów skierowanych do realizacji do momentu ukończenia opracowania. Koszty te uwzględniono natomiast jako wartość robót w toku.

L.p.	Definicja elementu	Koszt [tys. zł]	Uwagi
1	2	3	4
	<b>I. Kanał Raduni</b>	<b>157.017,-</b>	
1	Zrzuty wody z Kanału	23.222,-	
2	Obwałowanie, koryto, zabudowa brzegów	134.295,-	
	<b>II. Zlewnia boczna Kanału Raduni</b>	<b>87.139,-</b>	
1	Potok Rotmanka	7.403,-	
2	Potok Św. Wojciech	19.814,-	
3	Potok Maćkowy	9.351,-	
4	Potok M1	591,-	
5	Potok Oruński	40.302,-	

6	Kolektor Małomiejska		561,-	
7	Zrzut km 4+100		7.035,-	+zbiornik + pompownia
8	Potok M2		2.082,-	
	<b>III. Potok Siedlecki</b>		<b>9.784,-</b>	
1	Regulacja potoku		3.011,-	
2	Zbiorniki retencyjne		2.923,-	
3	Zrzut syfonowy do Kan. Raduni		3.850,-	
	<b>IV. Radunia (poza Kanałem Raduni)</b>		<b>978,-</b>	
1	Obwałowania nowe (3,52 km)		978,-	
	<b>V. Motława z dopływami</b>		<b>22.430,-</b>	
1	Remonty i modernizacje wałów (28,3 km)		17.100,-	
2	Pompownie (nowe i modernizowane)		4.680,-	
3	Wydzielenie polderów rolniczych		650,-	koszty organizacyjne
	<b>VI. Poldery zalewowe</b>		<b>26.070,-</b>	
1	Obwałowania km 10,95		10.500,-	
2	Przelewy wałowe 0,5 km		1.250,-	
3	Przepusty bez zamknięć, prefabrykowane	3 szt.	30,-	
4	Przepusty z zamknięciami	2 szt.	25,-	
5	Zamknięcia na istniejących przepustach	2 szt.	10,-	
6	Przepusty ramowe żelbetowe	6 szt.	120,-	
7	Rowy nowe 4,25 km		645,-	
8	Modernizacja istniejących rowów 4,95 km		490,-	
9	Przepompownie 1,2 m <sup>3</sup> /s; H=3 m	2 szt.	5.200,-	
10	Koszty przekwalifikowania terenu 214 ha		2.000,-	
11	Rezerwa kosztów 30%		5.800,-	
	<b>VII. ROBOTY W TOKU</b>		<b>42.300,-</b>	
	<b>KOSZTY PODSTAWOWE: (I÷V)</b>		<b>277.348,-</b>	
	<b>KOSZTY OGÓŁEM: (I÷VII)</b>		<b>345.718,-</b>	

Powyższe zestawienie obejmuje stan robót na koniec IVkw. 2003, w związku z czym różni się od informacji publikowanych w Zadaniu 7 .

Nakłady poniesione po 2001r na działania związane z ochroną przeciwpowodziową w zlewniach cieków Gdańskiego Węzła Wodnego wyniosły ogółem 39.359 tys. zł, a podział między poszczególnych inwestorów przedstawiał się następująco:

Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej: 25%

Urząd Miejski w Gdańsku: 32%

Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych WP: 43%

Rozkład nakładów na poszczególne zlewnie przedstawiał się następująco:

Kanał Raduni wraz ze zlewnią: 11.850,0 tys. zł (30%)

Radunia: 16.035,9 tys. zł (41%)

Motława: 11.473,1 tys. zł (29%)

#### **14. SYSTEM ETAPOWEGO STEROWANIA PRZEPLYWEM WÓD POWODZIOWYCH W GWW**

Zabezpieczenie przeciwpowodziowe GWW opiera się na budowie zbiorników retencyjnych w zlewni Kanału Raduni oraz budowie zrzutów z Kanału Raduni. Są to kosztowne i czasochłonne inwestycje. Biorąc pod uwagę obecne uwarunkowania konieczne jest zaplanowanie etapowej zabudowy. Analizę odpływu wód powodziowych z Kanału Raduni dla różnych etapów zabudowy przeprowadzono w Zadaniu 9. W analizie tej przyjęto, że zbiorniki retencyjne w zlewni Kanału Raduni działają w sposób automatyczny tj. napełnienie ich następuje w zależności od dopływu do zbiornika, natomiast zrzuty z Kanału Raduni działają w sposób kontrolowany, przy czym kontrola ta ogranicza się do załączania poszczególnych zrzutów. Działanie takie wynika z zastosowanych na zrzutach zamknięć. Istnieje więc możliwość kontrolowanego odpływu z Kanału poszczególnymi zrzutami, natomiast regulacja przepływu na poszczególnych zrzutach jest bezcelowa, ponieważ powinny one pracować zawsze z pełną możliwą przepustowością przy danym poziomie wody. Analizę oparto na szczegółowych obliczeniach hydraulicznych dla poszczególnych etapów zabudowy.

Zabudowę zlewni Kanału Raduni przedstawiono w 4 podzlewniach:

G – zlewnia górna, S – zlewnia środkowa, D – zlewnia dolna i GD – połączona zabudowa zlewni górnej i dolnej (Zadanie 9 str. 7-8). Układy zrzutów przyjęto jako P1, P2 i P3 (Zadanie 9 str. 7-8). Rozważono również wpływ nierównomiernego opadu na obszarze zlewni Kanału Raduni od początku

Kanału do zrzutu do Opływu Motławy (41,8 km<sup>2</sup>), bez uwzględnienia Potoku Siedleckiego.

W Zadaniu 9 przeanalizowano również wystąpienie sytuacji nadzwyczajnych w przypadku awarii wrót przeciwsztormowych Wrota Żuławskie i Kamienna Grodza.

W podsumowaniu stwierdza się, że likwidacja zagrożeń powodziowych od strony Kanału Raduni wymaga jednoczesnego wykonania zarówno zbiorników retencyjnych, jak i zrzutów z Kanału. Budowę zbiorników retencyjnych należy rozpocząć od podzlewni D (Potok Oruński).

Awaryjne wrót przeciwsztormowych nie powodują zagrożenia powodziowego w zlewni Motławy i Raduni przy przepływach nie przekraczających przepływów miarodajnych z uwzględnieniem zrzutów z Kanału Raduni i stanie morza o prawdopodobieństwie wystąpienia  $p = 99\%$ .

## 15. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

- Jak wykazała szczegółowa analiza zagrożenia powodziowego Gdańska kluczowym elementem w ochronie przeciwpowodziowej GWW jest obecnie Kanał Raduni zasilany głównie wodami ze zlewni lewobrzeżnej w postaci potoków oraz bezpośredniego spływu powierzchniowego. Zmniejszenie i spowolnienie dopływu bocznego do Kanału jest możliwe jedynie przez budowę zbiorników retencyjnych na istniejących potokach. Plan przewiduje budowę w zlewni Kanału Raduni 18 zbiorników retencyjnych o łącznej docelowej pojemności 480 tys. m<sup>3</sup>.
- Przepustowość Kanału Raduni zmienia się na długości i jest ograniczona przekrojami poprzecznymi, rzędnymi korony wału prawobrzeżnego i spadkiem podłużnym. Przy obecnym stanie Kanału jego przepustowość nie przekracza 20 m<sup>3</sup>/s. Zwiększenie tej przepustowości jest bardzo trudne ze względów technicznych. Dopływy ekstremalne (od 45 do 70 m<sup>3</sup>/s) do Kanału ze zlewni lewobrzeżnej znacznie przekraczają jego pojemność retencyjną oraz przepustowość.

Rozwiązaniem zapewniającym utrzymanie bezpiecznego poziomu wody w Kanale na wymaganej rzędnej, przy dopływach ekstremalnych, jest

wykonanie 4 zrzutów odprowadzających wodę z Kanału w sposób kontrolowany (zgodnie z p. 14) do Raduni, Motławy i Optywu Motławy.

- Rozpatrywano różne koncepcje udroźnienia GWW, w tym budowę przepompowni wspomagających odpływ wód z Optywu Motławy przy zamkniętych wrotach sztormowych oraz możliwość likwidacji samych wrót. Stwierdzono, że zarówno budowa przepompowni, jak i likwidacja wrót przeciwsztormowych nie są zasadne.
- Przepuszczenie przepływu kontrolnego ( $p = 0,3\%$ ) korytem Raduni na odcinku od elektrowni wodnej Juszkowo do ujścia do Motławy wymaga podniesienia korony obwałowań w kilku miejscach (patrz p. 9 Syntezy).
- Przeprowadzenie przepływu kontrolnego ( $p = 0,3\%$ ) korytem Motławy do Martwej Wisły przy otwartych wrotach przeciwsztormowych jest możliwe przy obecnych rzędnych korony wałów przeciwpowodziowych.

Obliczenia przepustowości Kanału Raduni wykonano przy założeniu współczynnika szorstkości (Manninga) 0.025, co oznacza dobry stan Kanału. Po wykonaniu modernizacji Kanału należy bezwzględnie przestrzegać, aby ten stan był utrzymany. Przy obliczeniach przepustowości Raduni, Motławy i innych rzek obejmujących GWW przyjęto współczynnik szorstkości (Manninga) 0.033, co oznacza dobry stan utrzymania tych rzek i obszaru międzywała. Stan ten musi być w przyszłości koniecznie utrzymany. Obliczenia kontrolne przepustowości Raduni i Motławy wykonane dla wyższych współczynników szorstkości (0.045) wskazują na podwyższenie się stanów wody w tych rzekach, które jedynie w kilku miejscach zbliżą się do rzędnych korony obwałowań.

- W celu zabezpieczenia się przed ekstremalnym zagrożeniem powodziowym, (przepływy o prawdopodobieństwie mniejszym niż 99%, przy zamkniętych wrotach przeciwsztormowych), proponuje się utworzenie dwóch polderów zalewowych po obu stronach dolnego biegu Motławy (polder zalewowy Orunia i Olszynka) o łącznej powierzchni około 200 ha z odpowiednimi urządzeniami.

- Po wykonaniu znajdującej się w realizacji modernizacji koryta rzeki oraz obwałowań i wykonaniu obwałowań uzupełniających wskazanych w p. 9 – nie ma zagrożenia powodziowego w mieście Pruszcz Gdański od tej rzeki.
- Dla należytego funkcjonowania systemu przeciwpowodziowego GWW zaleca się utworzenie lokalnego systemu monitoringu hydrologiczno - meteorologicznego i systemu analizy tych danych oraz przygotowania ostrzeżeń powodziowych. Przedstawiono koncepcję takiego systemu (p. 13 Syntezy)
- Ze względu na znaczne koszty inwestycyjne wymagane do realizacji programu zabezpieczenia przeciwpowodziowego konieczne jest zaprogramowanie odpowiedniego etapowanie robót, dla uzyskania najkorzystniejszych wyników inwestowania oraz pozyskania wystarczających środków inwestycyjnych.

Konfrontując elementy robót zabezpieczających z pilnością potrzeb, możliwymi do uzyskania efektami i koniecznymi do poniesienia nakładami proponuje się ustalenie 5 etapów robót (ZADANIE 9 i 11)

Przedstawione etapy uszeregowano wg technicznej hierarchii ważności realizacji – dla osiągnięcia optymalnych efektów zabezpieczenia przeciwpowodziowego.

Ze względu na obszerny zakres przedstawionych zadań należy jednak planować odpowiednią współbieżność realizacji poszczególnych etapów, oraz realizację robót w obrębie etapów, traktując je globalnie jako zadania w sensie technologicznym tak, aby łączny czas realizacji zabezpieczenia przeciwpowodziowego nie przekroczył ok. 15 lat. Z analizy kosztowej wynika, że dla spełnienia tego celu roczne nakłady inwestycyjne winny osiągać rząd wielkości  $16 \div 22$  mln zł.

- Koszt wykonania zbiorników retencyjnych w zlewni Kanału Raduni, odpowiednich zrzutów z Kanału, modernizacji prawego obwałowania Kanału, korekty obwałowań i przekrojów poprzecznych cieków GWW oraz wykonania dwóch dodatkowych polderów zalewowych szacowany jest w cenach 2003 r. na około 350 mln. zł. Realizacja tych robót hydrotechnicznych będzie możliwa w ciągu szeregu lat.

- W ostatnich 2 latach wykonano inwestycje zabezpieczające Gdańsk przed powodzią na łączną kwotę 39 359 tys. zł
  - a. Kanał Raduni wraz ze zlewnią 11 850,0 tys. zł
  - b. Radunia 16 035,9 tys. zł
  - c. Motława 11 473,1 tys. zł
  - d. w realizacji są projekty na kolejne zadania dotyczące wyżej wymienionych obiektów na szacunkową kwotę 42 300 tys. zł

## WYKORZYSTANE MATERIAŁY

Opracowania z ZADAŃ 1 do 12 wykonane przez KONSORCJUM na zlecenie RZGW Gdańsk.

## RYSUNKI

Rys. 1. Położenie Gdańska i Żuław Gdańskich

Rys. 2. Schemat Gdańskiego Węzła Wodnego

Rys. 3. Profil podłużny Motławy, przepływ kontrolny  $Q_{0,3\%}$  i współczynnik szorstkości  $n=0,033$

Rys.3a. Profil podłużny Motławy, przepływ kontrolny  $Q_{0,3\%}$  i współczynnik szorstkości  $n=0,045$

Rys. 4. Profil podłużny Raduni, przepływ  $Q_{1\%}$  i współczynnik szorstkości  $n=0,033$

Rys.4a. Profil podłużny Raduni, przepływ  $Q_{1\%}$  i współczynnik szorstkości  $n=0.045$

Rys. 5. Profil podłużny Kanału Raduni, przepływ (dla stanu istniejącego)  $Q_{10\%}$  i przepływ nienaruszalny  $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Rys. 6. Profil podłużny Kanału Raduni, przepływ (dla układu P-1)  $Q_{1\%}$  i przepływ nienaruszalny  $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Rys. 7. Profil podłużny Kanału Raduni, przepływ (dla układu P-3),  $Q_{1\%}$ , zrzut z elektrowni Pruszcz Gdański  $Q = 6,8 \text{ m}^3/\text{s}$

Rys.8. Profil podłużny Kanału Raduni, przepływ kontrolny  $Q_{0,3\%}$  i przepływ nienaruszalny  $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Rys. 9. Polder zalewowy Orunia

Rys.10. Polder zalewowy Olszynka

Gdańsk, marzec/kwiecień 2004 r.