

dr hab. inż. Wojciech FELUCH, prof. SGSP
mgr inż. Piotr KOMOROWSKI
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego, SGSP

Ocena potencjalnych strat popowodziowych w wybranych dzielnicach Warszawy

Omówienie
LEAD

W artykule oceniono zagrożenie powodziowe i wielkość potencjalnych strat powodziowych w dwóch dzielnicach Warszawy – Wilanów i Praga Południe.

The paper assessed the flood risk and the size of the potential flood losses in the two districts of Warsaw – Wilanów and Praga Południe.

Słowa kluczowe: straty powodziowe, modelowanie strat, odszkodowania, Warszawa, powódzie historyczne.

Keywords: flood damage, loss modeling, compensation, Warsaw, historical floods.

1. Wprowadzenie

W każdej aglomeracji miejskiej powódź zawsze generuje straty materialne. Poczynając od zniszczeń mienia (zalane domy, fabryki, hurtownie i magazyny, ulice, samochody), przez zanieczyszczenia środowiska (w wyniku zalania mostów, terenów przemysłowych, składowisk śmieci, cmentarzy), pogorszenia warunków sanitarnych, epidemiologicznych po straty socjalno-bytowe i społeczne. Zalanie nawet fragmentu aglomeracji może oddziaływać negatywnie na część lub cały region, np.: w postaci „zalanych” miejsc pracy. Pytaniem otwartym jest zatem, ile mogą wynosić straty w przypadku zalania popowodziowego wybranych części Warszawy, jakimi są dwie duże dzielnice Praga Południe i Wilanów?

Odpowiedź jest szczególnie trudna, ale ważna dla gęsto zaludnionych i zurbanizowanych ośrodków miejskich. Świadomość mieszkańców i zarządzającej administracji dotycząca kosztów związanych z ewentualnym zalaniem nawet fragmentu miasta, może pozytywnie wpłynąć na zagospodarowanie przestrzenne terenu. Może też stanowić impuls do podjęcia prac związanych z ochroną miasta przed powodzią, spowodować zintensyfikowanie sił i środków do ochrony poszczególnych obszarów.

Charakteryzując Wisłę na odcinku warszawskim, w odniesieniu do powodzi, można wyróżnić następujące informacje: stan alarmowy wody na wodowskazie w Porcie Praskim wynosi 650 cm, 20-letnia woda ($Q_{p=5\%}$ – natężenie przepływu o prawdopodobieństwie przewyższenia 5%) odpowiada stanowi 763 cm, woda 100-letnia ($Q_{p=1\%}$ – natężenie przepływu o prawdopodobieństwie przewyższenia 1%) stanowi 855 cm oraz woda 1000-letnia ($Q_{p=0,1\%}$ – natężenie przepływu o prawdopodobieństwie przewyższenia 0,1%) stanowi 959 cm.

Prędkość płynięcia wody w ciągu roku kształtuje się na poziomie 0,5–3 m/s, zaś najwyższe wartości osiąga podczas wezbrań. Ze względu na zróżnicowanie ukształtowania terenu przebiegu koryta rzeki, prędkość na całej długości Warszawy jest różna. Największe prędkości rzeka osiąga w środkowym odcinku miasta. Podczas wezbrań o zagrożeniu powodziowym, natężenie przepływu wynosi ponad 3000 m³/s, zaś podczas niskich stanów wody spada nawet poniżej 100 m³/s. W ostatnich dziesięcioleciach na odcinku warszawskim wykonywano szereg regulacji Wisły. Zmiany natężenia przepływu powiązane są z wahaniami rzędnych zwierciadła wody rzeki. Amplituda stanów wody osiąga często 5 metrów w ciągu roku, zaś podczas dużych wezbrań przekracza nawet 6,5 metra.

2. Powodzie historyczne w Warszawie

Powódź towarzyszy ludziom od zarania dziejów. Pierwsze wzmianki opisujące powyższe zjawisko pochodzą z 988 r. i są autorstwa Jana Długosza. Późniejsze zapiski prezentujące katastrofalne powodzie w Warszawie pochodzą z XV w. – w 1475 r., wówczas woda zniszczyła wszystkie osady od murów obronnych miasta po Solec (obecną część Powiśla) [8]. W 1493 r. zalany został Solec wraz z kościołem znajdującym się na podnóżach skarpy warszawskiej [8]. Dopiero od 1789 r. zaczęto prowadzić systematycznie pomiary stanów Wisły w Warszawie. W kolejnych latach zainstalowano wodowskazy w Puławach i Dęblinie, co umożliwiło pozyskiwanie do analizy regularnych danych obserwacyjnych i pomiarowych.

W początkach XIX w. katastrofalną powódź odnotowano w sierpniu 1813 roku, która stanowiła podstawę do zaprojektowania budowli ochronnych miasta. Stan wód wynosił wówczas 808 cm, a przepływ 7430 m³/s [19]. Zalane zostały prawobrzeżne i lewobrzeżne obszary podmiejskie – od Wilanowa do Kazunia oraz niżej położone dzielnice Warszawy. Najwyższy zmierzony stan rzeki, na wodowskazie Port Praski, osiągnięty został w 1844 r. – 849 cm, przepływ 8250 m³/s [19, 15]. Zalana została, jak zwykle, część podmiejska Warszawy, od Wilanowa po Kazuń. Skutki katastrofalnej powodzi z 1884 r. objęły swym zasięgiem ponad 28 km² Warszawy, zalewając Saską Kępe, Żerań, Gocław, Park Wilanowski po taras pałacowy, Marysin, Zawady i Czerniaków [19]. Również w 1903 r. i 1924 r., wskutek przerwania obwałowania zalane zostały między innymi tereny Wilanowa. W 1934 r. stan wód wynosił 749 cm, a przepływ fali powodziowej 5460 m³/s

[4, 19]. Woda dotarła wtedy do pałacu w Wilanowie oraz spowodowała zniszczenia na Czerniakowie, Wilanowie i Łomiankach. Powódź w 1934 r. na terenie kraju spowodowała zalanie „(...) 1260 km², zginęło 55 osób (...), a także zniszczonych 22 059 budynków, zerwano 78 mostów, (...). Szkody oceniono na 60 300 tys. złotych” [4].

W lipcu i sierpniu 1960 r. w wyniku powodzi w dorzeczu górnej Wisły w niektórych miejscach zostały przekroczone dotychczas najwyższe notowane stany. W Warszawie rozważano m.in. ewakuację niektórych obiektów wzdłuż Wisły, np.: szpitala na Solcu. Straty w kraju oszacowano na 1205 mln ówczesnych złotych. Stany wody w Warszawie osiągnęły 787 cm, a natężenie przepływu oszacowano na 5650 m³/s [17, 19].

W minionych latach najbardziej pamiętna powódź, to ta z 1997 r., nazwana przez media powodzią tysiąclecia. Na skutek podniesienia się stanów wody Odry i Wisły wiele miejscowości zostało zalanych, w tym duże miasta – Wrocław (m.in. dzielnica Kozanów), Opole, Kłodzko. Stany wody w Warszawie nie przekroczyły stanu alarmowego – tj. 650 cm na wodowskazie w Porcie Praskim, dzięki temu strat nie odnotowano, zaś straty łączne oszacowano na ponad 12 mld złotych.

Podczas powodzi w 2001 r. stany Wisły w Porcie Praskim osiągnęły 706 cm, powodując lokalne podtopienia, ale niewielkie straty materialne. Sytuacja zdecydowanie inaczej wyglądała w dolnej części rzeki. Powstały tam szczególnie wysokie straty, spowodowane zalaniem niektórych dzielnic Gdańska. Ogółem zginęły 33 osoby, a straty w całym kraju sięgały rzędu kilkunastu milionów złotych.

W maju 2010 r., Wisła w Warszawie osiągnęła wartości natężenia przepływu 5940 m³/s przy stanie wody 780 cm na wodowskazie w Porcie Praskim. W tym przypadku również nie doszło do przerwania obwałowań oraz poważniejszych strat powodziowych w mieście tylko dzięki dużej aktywności służb i skutecznego zabezpieczenia brzegów.

Charakterystyczną cechą dużych wezbrań Wisły przechodzących przez Warszawę jest **występowanie dwóch lub więcej fal wezbraniowych**. Powyższe zjawisko zdarzyło się w latach: 1960, 1997, 2010. Zazwyczaj fala wezbraniowa, uformowana w górnym biegu Wisły, przemieszczająca się przez środkowy do dolnego biegu ulega znacznemu spłaszczeniu. „Rzadko dopływy środkowej Wisły odgrywają istotną rolę w formowaniu się fali powodziowej na samej Wiśle” [17]. Wyjątkiem był 1962 r., gdy stany wody wzrastały z biegiem rzeki. Wezbrania na Wiśle w Warszawie mogą wystąpić najczęściej z powodu intensywnych opadów deszczu (od maja do sierpnia) lub intensywnych roztopów w okresie zimowo-wiosennym w górnej i środkowej części dorzecza Wisły [5].

Wezbrania Wisły w Warszawie są **często rozciągnięte w czasie**. Dochodzenie fali wezbraniowej do miasta z górnej części Wisły trwa kilka dni. Na podstawie danych historycznych, do obszarów najczęściej zalewanych należą tereny u podnóża skarpy warszawskiej (od Wilanowa, Sielce, Solec do Kazunia) i tarasu praskiego według biegu rzeki (Gocław, Wybrzeże Szczecińskie, Gołędzinów, Żerań,

Białołęka). Zmierzony przepływ $5940 \text{ m}^3/\text{s}$ (wezbranie 2010 roku w Warszawie) posiada prawdopodobieństwo pojawienia się około 5% [17], czyli w okresie powtarzalności średnio raz na 20 lat. Stan wody 750–779 cm (druga i pierwsza fala wezbraniowa 2010 r. w Porcie Praskim) stwarza realne zagrożenie powodziowe dla stolicy kraju, wynikające z licznych przesiąknięć przez obwałowanie, mogące spowodować przerwanie odcinka wału oraz zalanie części miasta.

3. Zagrożenie powodziowe w Warszawie

Powódź jest wezbraniem, które powoduje straty gospodarcze oraz społeczne. W Warszawie największe straty powodziowe mogą wystąpić w przypadku przekroczenia poziomu korony wałów ochronnych lub wymycia części obwałowania. Na obszarze miasta zagrożenie powodziowe powoduje głównie Wisła. W mniejszym stopniu ciekły lokalne, takie jak: rzeka Długa (okolice Marek), rzeka Wilanówka (przepływa przez dzielnicę Wilanów), Potok Służewiecki (przepływa przez Dolinę Służewiecką do Wilanowa), a także cofki tych rzek przy ujściu do Wisły.

Według Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej [25] zagrożenie powodziowe powodowane jest przez zwężenie międzywala na odcinku miejskim (powyżej i poniżej miasta odległości międzywala są prawie dwukrotnie większe), zły stan techniczny obwałowań oraz przez niepełną regulację koryta rzeki. Dodatkowo, zagrożenie potęguje niekontrolowane pokrycie zaroślami i drzewami łągowymi w międzywale stanowiące zagrożenie i hamowanie odpływu w tzw.: gorsiecie warszawskim.

Na mapie „Ocena zagrożenia powodziowego m.st. Warszawy” opracowanej przez Hydroprojekt (rys. 1) wydzielono trzy strefy zagrożenia powodziowego zaznaczone odpowiednio kolorami:

- jasnoniebieskim – obszar zalania wodą dwudziestoletnią $Q_{p=5\%}$ (763 cm),
- niebieskim – obszar zalania wodą stuletnią $Q_{p=1\%}$ (855 cm),
- ciemnoniebieskim – obszar zalania wodą tysiącletnią $Q_{p=0,1\%}$ (959) cm.

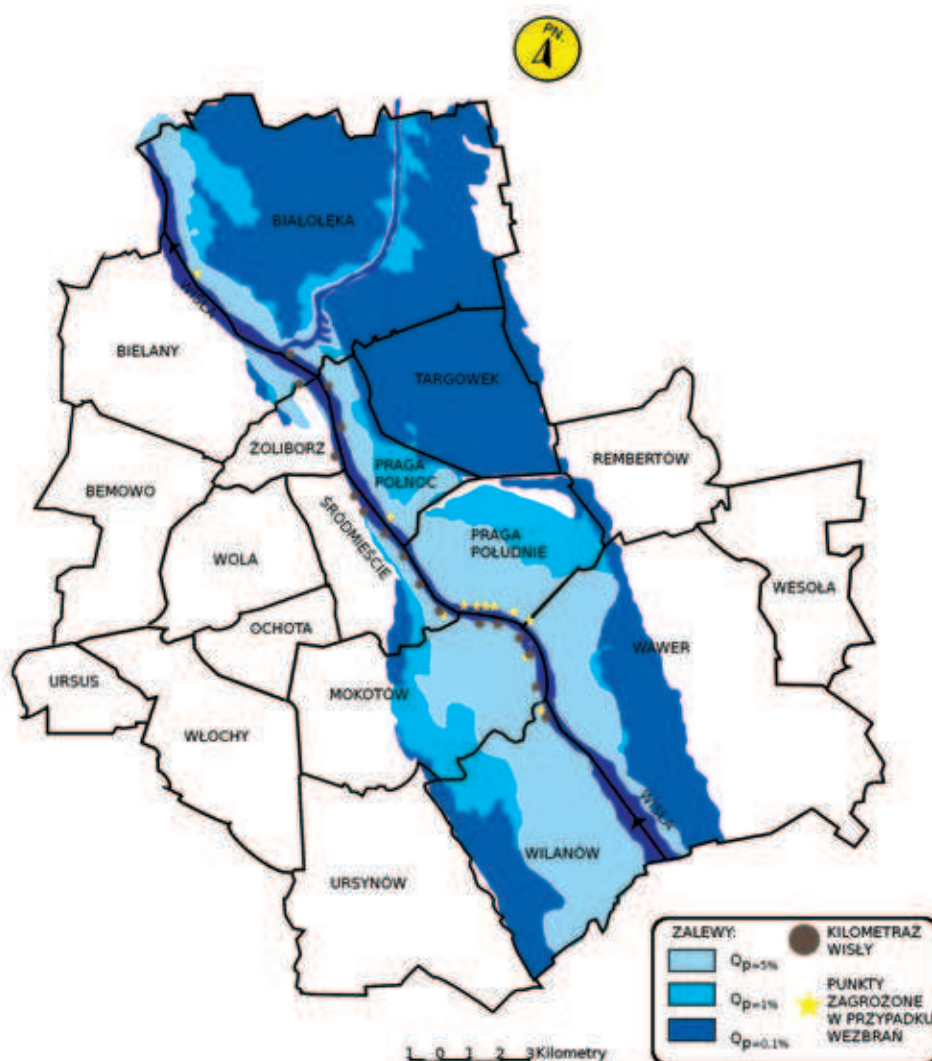
Ponadto:

- czarną linią oznaczono granice administracyjne poszczególnych dzielnic Warszawy,
- brązowymi kropkami – kilometrą Wisły,
- żółtymi gwiazdkami – obwałowania szczególnie narażone na przerwanie podczas wezbrań.

Obszary narażone na potencjalne zalanie wraz z terenami z nimi graniczącymi, usytuowane są w obrębie dużych skupisk ludzkich i osiedli mieszkaniowych (prawy brzeg – m.in. Miedzeszyn, Gocław, Saska Kępa, Tarchomin, Nowodwory, lewy brzeg – m.in. Wilanów, Sadyba, Siekierki, fragmenty Powiśla), obiektów komunalnych kluczowych dla miasta (oczyszczalnia ścieków „południe”, elektrociepłownia Siekierki), obiektów kulturalno-naukowych (Ogród Zoologiczny, Centrum Nauki Kopernik, Biblioteka Uniwersytecka, park wraz

z pałacem w Wilanowie). Na obszarze miasta zdarzały się przypadki dużych zalewów [10, 11, 14, 16].

W celu skuteczniejszej ochrony przeciwpowodziowej Warszawy wg [20] istnieje potrzeba obwałowania o wysokości korony wyższej niż rzędna stanu wody odpowiadająca przepływowi o prawdopodobieństwie 0,2% (dla wody 500-letniej). Obecnie na całym odcinku miejskim, korony obwałowań mają w większości



Rys. 1. Tereny zagrożenia powodziowego doliny Wisły w Warszawie

Źródło: opracowanie własne na podstawie mapy: Ocena zagrożenia powodziowego m.st. Warszawy opracowanego przez firmę Hydroprojekt w 2003 r. na potrzeby Wydziału Zarządzania Kryzysowego i Ochrony Ludności urzędu m.st. Warszawy.

wysokość powyżej wody stuletniej ($Q_{p=1\%}$). Podwyższenie bezpieczeństwa przeciwpowodziowego prowadzi więc do konieczności wzmocnienia bądź podniesienia wszystkich obwałowań. Nie należy jednak zapominać, że stuprocentowej gwarancji bezpieczeństwa nie osiągnie się nigdy, co wynika z faktu wymiarowania wszystkich obiektów hydrotechnicznych na określone prawdopodobieństwo zdarzenia niepożądanego, jakim jest powódź. Inna racjonalna metoda wymiarowania jednak nie istnieje i rachunek ekonomiczny narzuca wybór pomiędzy poziomem bezpieczeństwa, a wielkością potencjalnych strat.

Oprócz podnoszenia korony obwałowań w mieście, istotny jest problem przesiąkania wałów przeciwpowodziowych, a tym samym ich konstrukcji. W czasie maksymalnych wezbrań w 2010 r. występowało wiele przesiąknięć wałów, szczególnie w okolicy Portu Praskiego oraz Wału Miedzeszyńskiego. W konsekwencji zamknięto jedną z ważniejszych arterii w mieście, jaką jest ulica Wał Miedzeszyński w obawie przed przerwaniem właśnie na skutek przesiąkania, które w przypadku drgań i wzmożonego ruchu samochodowego mogło ulec przyspieszeniu.

Podjęcie prac mających na celu zmniejszenie przesiąkania poprzez ekranowanie obwałowania może okazać się niewystarczające. Przesiákanie przez obwałowanie można co najwyżej zmniejszyć, ale nie zlikwidować. Coraz większym problemem staje się zagrożenie wymycia części obwałowania w mieście, z powodu przesiákania przez niego wody, niż przelania przez koronę wału. Tak więc zagrożenie przerwania obwałowania nadal będzie istniało nawet przy poziomie zwierciadła wody znacznie niższym niż korona wału i w konsekwencji może dojść do zalania terenów uznanych jako potencjalnie zagrożonych powodzią. W wyniku pęknięcia obwałowania duże obszary na lewym i prawym brzegu miasta mogą zostać zalane, w tym wielkie osiedla mieszkaniowe.

Niebezpieczeństwo przerwania wału potęguje **brak obwałowań poprzecznych**, które istniały jeszcze przed budową osiedla Gocław. Obecnie tych obwałowań brakuje i w przypadku przerwania obwałowania wzdłuż Wisły, może być zalany praktycznie cały obszar zagrożony, powodując olbrzymie straty powodziowe. W mieście istnieje kilkanaście miejsc stanowiących zagrożenie podczas powodzi¹ charakteryzujących się podwyższoną podatnością na przerwanie obwałowania. W większości znajdują się w prawobrzeżnej części miasta, głównie na odcinku obwałowania: 508–510 km (Wał Miedzeszyński), 513 km (Port Praski), 515 km (wylot ulicy Ratuszowej i ZOO), 521 km (okolice ulicy Nowodworskiej na Białołęce). Wyeliminowanie takich najsłabszych punktów w obwałowaniach poprzez ich odpowiednią modernizację jest bardzo istotne z punktu widzenia ochrony przeciwpowodziowej.

Analizując historie powodzi w Warszawie, zauważa się, że w ciągu kilkunastu lat nie odnotowano poważniejszych strat powodziowych. Nawet w czasie wezbrania powodziowego w 2010 r., kiedy już niewiele brakowało do katastrofy, stan

¹ Na podstawie mapy: Ocena zagrożenia powodziowego m.st. Warszawy opracowanego przez firmę Hydroprojekt w 2003 r. na potrzeby Wydziału Zarządzania Kryzysowego i Ochrony Ludności urzędu m.st. Warszawy.

wody w Porcie Praskim nie przekroczył 780 cm, a przepływ osiągnął 5940 m³/s. Błędne jest jednak przypuszczenie, że powódź w mieście nie wystąpi. Podczas wspomnianego wyżej wezbrania powodziowego w 2010 r., na skutek przesiąkania omal nie doszło do przerwania obwałowania prawej części miasta, zaś jeden ze znanych przypadków przerwania obwałowania wystąpił w marcu 1924 r., przy stanie wód mniejszym niż w 2010 r., a mianowicie 758 cm i przepływie 5860 m³/s.

W wyniku przerwania lub przelania wody przez obwałowanie **w zależności od miejsca zdarzenia**, może wystąpić sytuacja, że na skutek spadku terenu woda $Q_{p=5\%}$ zaleje tereny zagrożone wodą $Q_{p=1\%}$ położone niżej z biegiem rzeki. Różnica poziomu zwierciadła wielkich wód pomiędzy południową częścią Warszawy, a północną wynosi około 8 metrów [26, 27], np.: na odcinku Wilanowa spadek podłużny wynosi ok. 1 metra, ale z Wilanowa do Śródmieścia spadek wzrasta do ok. 4,5 m. W rezultacie, przy granicy prawobrzeżnej w Konstancinie, w przypadku awarii obwałowania mogą zostać zalane większe połacie miejskie niż były zaznaczone na mapach potencjalnego zalewu (rys. 1), np.: woda $Q_{p=5\%}$ może wdrzeć się na tereny potencjalnego zalewu wodą $Q_{p=1\%}$, miasteczka Wilanów oraz zalać kolejne fragmenty Solec, Dolnego Mokotowa i Śródmieścia. Dodatkowe straty mogą powstać w wyniku spiętrzenia wód wynikłe z braku otworu wylotowego dla wód powodziowych w obwałowaniu, wskutek czego mogą być zalewane kolejne obszary miejskie. W konsekwencji zalaniu mogą ulec obszary zagrożone wodą stu- i tysiącletnią, jak również obszary, które w ogóle nie były zaznaczone na mapie jako zagrożone powodzią.

W przypadku Wilanowa również przerwanie obwałowania w okolicach Góry Kalwarii, czyli powyżej granic Warszawy jest bardzo niebezpieczne. Woda mogłaby się wdrzeć od strony Ursynowa, powodując o wiele większe straty niż w przypadku przerwania obwałowania w samej dzielnicy.

W analogiczny sposób należy rozpatrywać sytuację w przypadku przerwania obwałowania poniżej Wilanowa, w wyniku czego np.: woda $Q_{p=1\%}$ w dzielnicy Śródmieście może spowodować zalanie obszarów mniejszych niż woda $Q_{p=5\%}$ w dzielnicy Wilanów. Podobne sytuacje mogą również wystąpić w drugiej z rozpatrywanych dzielnic Warszawy – Pragi Południe. W przypadku przerwania obwałowania w Wawrze poziom wody dwudziesto-letniej może spowodować zalanie tarasów Pragi Południe zagrożonych wodą stuletnią, zaś w dalszej części mogą ulec zalaniu fragmenty Pragi Północ, Targówka i Białołęki Dworskiej, nawet do poziomu wody tysiącletniej. Naturalnym fragmentem (z licznymi mostami i przejazdami drogowymi, pieszymi) obwałowania Pragi Południe od Pragi Północ są nasypy kolejowe, które w określonych warunkach mogłyby oddzielać wody powodziowe między dwoma dzielnicami, jednak w przypadku rozmycia nasypów, straty w obu dzielnicach mogłyby być o wiele większe, jak również zasięg poszczególnych zalewów mógłby być większy niż zostało to przedstawione w niniejszym opracowaniu.

4. Ocena potencjalnych strat popowodziowych

Problematyce potencjalnych strat popowodziowych poświęca się coraz więcej uwagi [1, 6, 9, 13]. Ocena strat popowodziowych na terenach o małej gęstości i złożoności zabudowy jest procesem mniej złożonym, wymagającym zdecydowanie mniejszej bazy informacji niż na terenach zurbanizowanych o gęstej zabudowie, np.: w miastach, gdzie trudno jest wyrazić straty w poszczególnych obiektach z osobna. W Warszawie występują obiekty dziedzictwa narodowego, muzea, galerie dzieł sztuki, których wartość jest trudna do oszacowania. Ponadto istnieje skomplikowana sieć transportu publicznego, m.in. z torowiskami tramwajowymi, metrem, dużymi centrami handlowymi, co powoduje trudności w ocenie potencjalnych strat poszczególnych obiektów, takich jak drogi, parki, bloki mieszkalne itp.

Dlatego do oceny wartości potencjalnych strat w aglomeracjach miejskich stosuje się tzw. **metodę typizacji**, która bazuje na tzw. stratach jednostkowych umożliwiających ocenę strat w powyższych obiektach [18]. Wskaźnik strat jednostkowych jest wyrażony na 1 hektar określonego typu zagospodarowania. Obejmuje wycenę 3 podstawowych rodzajów obiektów miejskich: ulice, budynki i tereny zielone, przy czym przyjmuje się, że:

Ulice, to wszelkie szlaki komunikacyjne występujące w mieście, w tym m.in.: drogi, torowiska tramwajów, pociągów, metra, przystanki, stacje, drzewa wzdłuż ulic;

Budynki, to wszelkie budynki występujące w mieście, w tym m.in.: bloki mieszkalne, obiekty użyteczności publicznej, zabudowa jednorodzinna;

Tereny zielone, to wszelkie obiekty pełniące funkcję rekreacyjno-wypoczynkową w mieście, pokryte szatą roślinności, w tym m.in.: parki, skwery, lasy, cmentarze.

Przy tak przyjętej charakterystyce obiektów miejskich, klasyfikację typów zagospodarowania przyjmuje się następująco [18]:

- Typ A – tereny zielone (100%);
- Typ B – tereny zielone (80%) + bardzo rzadka sieć komunikacyjna (10%) + bardzo rzadka zabudowa (10%);
- Typ C – tereny zielone (50%) + rzadka sieć komunikacyjna (15%) + rzadka zabudowa (35%);
- Typ D – tereny zielone (30%) + gęsta sieć komunikacyjna (20%) + gęsta zabudowa (50%);
- Typ E – tereny zielone (10%) + bardzo gęsta sieć komunikacyjna (25%) + bardzo gęsta zabudowa (65%).

Przypisując poszczególnym obszarom miasta typy zagospodarowania (A – E) z uwzględnieniem ich wielkości obszarowej wyrażonej np. w ha, można uzyskać wartość sumaryczną strat potencjalnych lub realnych dla badanego obszaru miejskiego.

Do szacowania strat, potrzebne są wskaźniki jednostkowe strat dla wybranego obszaru, które zostały określone w tabeli 1, gdzie podano aktualne wskaźniki jed-

nostkowych strat powodziowych w województwie mazowieckim w 2012 r. Do szacowania strat wykorzystuje się mapę topograficzną, wyposażoną w siatkę kilometrową. Elementy nie uwzględnione w 3 podstawowych typach obszarów miejskich, jak np.: mosty, obwałowania, można uwzględnić oddzielnie na podstawie danych z tabeli 1. Do kwoty strat bezpośrednich dolicza się narzut w wysokości 25% [3], wynikający z trudnych do policzenia strat obiektowych, takich jak zniszczone kościoły, muzea, galerie sztuki, zakłady przemysłowe itp. Powyższe uproszczenie optymalizuje poziom dokładności szacowania strat.

Tabela. 1. Proponowane wskaźniki jednostkowe strat powodziowych w województwie mazowieckim w 2012 r.

Lp.	Rodzaj zagospodarowania (kategoria)	Jednostka wskaźnika	Wartość wskaźnika średniego	Zakres szacowanej wartości uszkodzenia [%]	Wartość wskaźnika
1	Grunty orne	tys. zł/ha	3	0,8 – 1,2	2,5 – 3,8
2	Użytki zielone	tys. zł/ha	1	0,4 – 0,8	0,6 – 1,2
3	Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe	tys. zł/ha	51	0,8 – 1,2	40 – 60
4	Wały ochronne	mln zł/km	0,6	10 – 20	0,4 – 0,8
5	Budynki	tys. zł/szt.	25	1 – 20	20 – 50
6	Drogi – ogólnie	tys. zł/km	220	1,5 – 4,5	110 – 340
7	Drogi krajowe	tys. zł/km	130	2 – 6	70 – 200
8	Drogi lokalne	tys. zł/km	90	1 – 3	45 – 13
9	Mosty	mln zł/szt.	0,9	2 – 8	0,3 – 14
10	Mosty krajowe	mln zł/szt.	0,6	2 – 6	0,3 – 1
11	Mosty lokalne	mln zł/szt.	0,2	2 – 10	0,1 – 0,4
12	Szkoła	tys. zł/szt.	56	1 – 20	6 – 120
13	Brzegi uregulowane	tys. zł/km	120	1 – 6	35 – 210
14	Tereny przemysłowe	mln zł/ha	5,5	20 – 80	1,8 – 7,5
15	Lasy	zł/ha	80	0,8 – 1,2	60 – 100

Źródło: opracowanie własne na podstawie: M. Maciejewski, Model kompleksowej ochrony przed powodzią, IMGW, Kraków 2000, s. 415.

Oprócz strat określonych jako bezpośrednie straty powodziowe mogą być trudne do oszacowania i określone jako straty pośrednie, wynikające m.in. z cierpień, utraty życia i zdrowia przez poszkodowanych, utraty miejsc pracy, utraty wypracowanego potencjalnego zysku oraz straty wynikające z niższych podatków oraz wypłacanych zapomóg dla rodzin i przedsiębiorców.

Dokładne obliczenie strat pośrednich nie wydaje się możliwe, dlatego aby je wyrazić przyjmowane są jako procentowe wartości strat bezpośrednich. Brak wypracowanych wytycznych przepisów powoduje dużą dowolność tych ocen. Według [24] wskaźnik strat pośrednich w rolnictwie nie powinien przekroczyć 20%, natomiast problematyczne jest wyrażenie wartości procentowej dla aglomeracji miejskiej, gdyż straty mogą być wyższe niż w rolnictwie i zawierać się w granicach 50% – 100%.

Na potrzeby niniejszego opracowania do szacowania strat pośrednich przyjęto zmodyfikowaną klasyfikację [6, 18]:

- Typ A – 40% strat bezpośrednich;
- Typ B – 60% strat bezpośrednich;
- Typ C – 80% strat bezpośrednich;
- Typ D – 100% strat bezpośrednich;
- Typ E – 120% strat bezpośrednich.

5. Szacowanie potencjalnych strat powodziowych na przykładzie Pragi Południe i Wilanowa

Znaczna część **Pragi Południe** znajduje się na mapach potencjalnego zalewu wodą 100-letnią, a ponad 50% jest zagrożone zalaniem wodą dwudziestoletnią. Przy ocenie potencjalnych strat szczególnej uwagi wymagają osiedla mieszkaniowe Wilga, Jantar, Orlik – wybudowane na dawnym lotnisku sportowym Gocław, które było i potencjalnie jest polderem powodziowym. Obwałowania te na kilometrze od 495 do 511 posiadają wiele odcinków szczególnie narażonych na przesiąkanie, a nawet przerwanie (rys. 2).

Wilanów jest chroniony przed wodami powodziowymi Wisły Wałem Zawadowskim, usypanym jeszcze w XIX wieku. Podczas powodzi 2010 roku i wcześniej w kilku miejscach dochodziło do przesiąkania wody przez obwałowanie, co groziło jego przerwaniem. Na obszarach zalania wodą stuletnią znajduje się zabudowa willowa zlokalizowana wokół Pałacu w Wilanowie oraz jedno z najdroższych miejsc stolicy – miasteczka Wilanów i Natolin z licznymi apartamentowcami.

W celu oszacowania potencjalnych strat powodziowych Pragi Południe i Wilanowa za podstawę przyjęto:

- Dane z mapy topograficznej terenów potencjalnego zalewu wodami i rzeki Wisły dla Warszawy (mapa w skali 1:25 000).
- Wskaźniki jednostkowe strat powodziowych w województwie mazowieckim uznane jako aktualne w 2012 roku (tabela 1).
- Zmodyfikowane ceny jednostkowe obowiązujące w województwie mazowieckim w 2012 r. dla poszczególnych typów obiektów zagospodarowania, takich jak budynki, tereny zielone, drogi. Modyfikacja wynikała, z innych niż w województwie kosztów inwestycji oraz cen rynkowych gruntów i nieruchomości w Warszawie [1, 21].

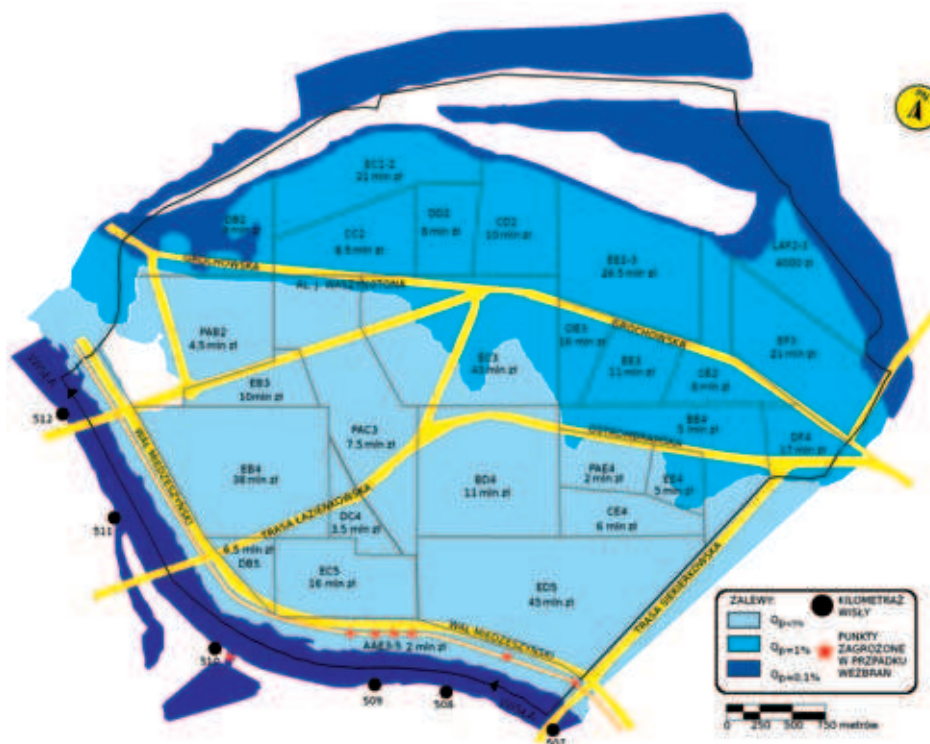
Z powodu nieprzerwania obwałowania w Warszawie w minionych latach oraz ze względu na zbliżony charakter zabudowy Wrocławia i Krakowa, uwzględniono analizy statystyczne strat powodziowych tych miast z 1997 r. Synteza danych statystycznych doprowadziła do następujących wartości wskaźników jednostkowych strat dla poszczególnych rodzajów obiektów w Warszawie [21, 22, 28]:

- użytki zielone – 1274 zł/ha;
- las – 80 zł/ha;

- tereny rekreacyjno-wypoczynkowe – 61 200 zł/ha;
- wały ochronne – 0,8 mln zł/km;
- budynki – 115 tys. zł/szt.;
- ulice – 540 tys. zł/km;
- szkoły – 240 tys. zł/szt.;
- mosty lokalne – 410 tys. zł/szt.;
- tereny przemysłowe – 5,65 mln zł/ha;
- brzegi uregulowane – 208 tys. zł/km.

W celu określenia wartości strat, w poszczególnych obszarach miejskich dokonano kwalifikacji potencjalnych strat ze względu na typ zagospodarowania. Wskaźniki dla poszczególnych typów (A – E) zagospodarowania przestrzennego przyjęto:

- Typ A – 1600 zł/ha;
- Typ B – 83 tys. zł/ha;
- Typ C – 152 tys. zł/ha;
- Typ D – 207 tys. zł/ha;
- Typ E – 261 tys. zł/ha.



Rys. 2. Typy zagospodarowania przestrzennego Pragi Południe wraz z zaznaczonymi typami i z przypisanymi im wartościami potencjalnych strat powodziowych bezpośrednich odpowiadającym przepływowi prawdopodobnemu Wisły $Q_{p=1\%}$ i $Q_{p=5\%}$

Źródło: opracowanie własne.

Z powodu występowania dużych rozbieżności dla terenów zielonych Warszawy i województwa mazowieckiego zostały wprowadzone dodatkowe podkategorie dla typów A i E:

- PA – tereny rekreacyjno-wypoczynkowe – 61 tys. zł/ha;
- LA – lasy 80 zł/ha;
- PE – tereny przemysłowe – 5,65 mln zł/ha.

Ustalono także powierzchnie wybranych typów obszarów zagospodarowania przestrzennego (A–E) i obliczono dla nich wartości strat, zgodnie z przyjętymi powyżej wskaźnikami (tabela 2).

Tabela 2. Potencjalne straty powodziowe określone metodą typizacji dla dzielnicy Praga Południe

Lp.	Numer identyfikacyjny	Obszar zagrożenia zalewowego	Powierzchnia (ha)	Wskaźnik jednostkowy	Suma (zł)	Straty pośrednie (zł)
1	2	3	4	5	6	7
1	AAE 3-5	Wał Miedzeszyński – Q5% i Q1%	98,76	1600 zł	2 mln zł	0,8 mln zł
2	PAC3	Park Skaryszewski i ogródki działkowe – Q5% i Q1%	119,03	61 tys. zł	7,5 mln zł	3 mln zł
3	PAB2	Park Skaryszewski – Q5% i Q1%	74,88	61 tys. zł	4,5 mln zł	1,8 mln zł
4	PAE4	Ogródki działkowe okolice Perkuny – Q5% i Q1%	31,86	61 tys. zł	2 mln zł	0,8 mln zł
5	LAF2-3	Olszyna Grochowska – Q5% i Q1%	46,80	80 zł	4000 zł	1 600 zł
6	BD4	Przyczółek Grochowski – Q5% i Q1%	112,75	83 tys. zł	11 mln zł	6,6 mln zł
7	BE4	Os. Ostrobramska – Q5% i Q1%	69,25	83 tys. zł	5 mln zł	2,58 mln zł
8	CC2	Okolice Podskarbińskiej – Q1%	52,25	152 tys. zł	8,5 mln zł	6,24 mln zł
9	CD2	Szaserów – Q1%	58,12	152 tys. zł	10 mln zł	8 mln zł
10	CE2	Witolin – Q1%	49,96	152 tys. zł	8 mln zł	6,4 mln zł
11	CE4	Kanał Gocławski – Q5% i Q1%	33,74	152 tys. zł	6 mln zł	5,12 mln zł
12	DB2	Okolice Dworca Wschodniego – Q1%	41,25	207 tys. zł	9 mln zł	9 mln zł
13	DC4	Okolice Międzynarodowej – Q5% i Q1%	15,90	207 tys. zł	3,5 mln zł	3,5 mln zł
14	DB5	Okolice Paryskiej – Q5% i Q1%	31,50	207 tys. zł	6,5 mln zł	6,5 mln zł
15	DD2	Grochów – Q1%	33,52	207 tys. zł	8 mln zł	8 mln zł
16	DE3	Grochów – Q1%	23,46	207 tys. zł	16 mln zł	16 mln zł
17	DF4	Okolice King Cross Praga – Q1%	41,17	207 tys. zł	17 mln zł	17 mln zł
18	EB3	Adampolska – Q5% i Q1%	31,80	261 tys. zł	10 mln zł	12 mln zł
19	EB4	Saska Kępa – Q5% i Q1%	124,27	261 tys. zł	36 mln zł	43,2 mln zł
20	EC1-2	Okolice Mińskiej i Chodakowskiej – Q1%	78,35	261 tys. zł	21 mln zł	25,2 mln zł
21	EC3	Os. Kinowa Q5% i Q1%	149,83	261 tys. zł	43 mln zł	51,6 mln zł
22	EC5	Kępa Gocławska – Q5% i Q1%	62,50	261 tys. zł	16 mln zł	19,2 mln zł
23	ED5	Os. Jantar i os. Wilga – Q5% i Q1%	167,25	261 tys. zł	45 mln zł	54 mln zł
24	EE2-3	Os. Młodych i Chłopickiego – Q1%	101,24	261 tys. zł	26,5 mln zł	31,8 mln zł
25	EE3	Okolice Żółkiewskiego – Q1%	40,17	261 tys. zł	11 mln zł	13,2 mln zł
26	EE4	Centrum Optyczne Okolice Ostrobramskiej – Q5% i Q1%	16,09	261 tys. zł	5 mln zł	6 mln zł
27	EF3	Okolice Szaserów przy Olszynie Grochowskiej – Q1%	75,00	261 tys. zł	21 mln zł	25,2 mln zł
SUMA					332 mln zł	381 mln zł

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Potencjalne straty powodziowe określone metodą typizacji dla dzielnicy Wilanów

Lp.	Numer identyfikacyjny	Obszar zagrożenia zalewowego	Powierzchnia (ha)	Wskaźnik jednostkowy	Suma (zł)	Straty pośrednie (zł)
1	2	3	4	5	6	7
1	A4-6 HI	Powsin – Q5% i Q1%	187,38	1600 zł	0,3 mln zł	0,12 mln zł
2	A4 G	Łąki Kośne – Q5% i Q1%	533,46	1600 zł	3,475 mln zł	1,39 mln zł
3	A7 FG	Nabrzeże Wiślane – Q5% i Q1%	43,80	1600 zł	1,1 mln zł	0,44 mln zł
4	A4-8	Wybrzeże Wiślane (wał Zawadowski) – Q5% i Q1%	155,77	1600 zł	4,5 mln zł	1,8 mln zł
5	A 1-2 D	Okolice osiedla Królewska – Q5% i Q1%	37,37	1600 zł	0,06 mln zł	0,024 mln zł
6	A4 D	Marysin – Q5% i Q1%	93,48	1600 zł	0,1 mln zł	0,04 mln zł
7	PA3 C	Ogródki działkowe Sielanka – Q5% i Q1%	77,13	61 tys. zł	4,7 mln zł	1,88 mln zł
8	LA4 C	Rezerwat Leśny Marysin Q5% i Q1%	62,24	80 zł	0,005 mln zł	0,002 mln zł
9	B5 H	Okolice Zamościa – Q5% i Q1%	61,39	83 tys. zł	5,7 mln zł	3,42 mln zł
10	B6G	Kępa Latoszkowa i Zawadowska – Q5% i Q1%	198,45	83 tys. zł	15,7 mln zł	9,42 mln zł
11	B3 F	Okolice ul. Pałacowej – Q1%	17,60	83 tys. zł	1,5 mln zł	0,9 mln zł
12	B4 E	Sady SGGW – Q5% i Q1%	7,87	83 tys. zł	0,6 mln zł	0,36 mln zł
13	B5 E	Bartyki – Q5% i Q1%	44,37	83 tys. zł	4 mln zł	2,4 mln zł
14	B5 C	Zawady – Q5% i Q1%	21,58	83 tys. zł	2 mln zł	1,2 mln zł
15	C6 GH	Latoszki – Q5% i Q1%	62,43	152 tys. zł	10 mln zł	8 mln zł
16	C6 F	Kępa Zawadowska – Q5% i Q1%	60,09	152 tys. zł	9 mln zł	7,2 mln zł
17	C6 E	Okolice ul. Bruzdowej – Q5% i Q1%	97,03	152 tys. zł	15 mln zł	12 mln zł
18	C5 D	Okolice POD Wilanowska – Q5% i Q1%	94,00	152 tys. zł	15 mln zł	15 mln zł
19	C1-2 D	Okolice os. Arbusowa – Q1%	43,74	152 tys. zł	7 mln zł	5,6 mln zł
20	C4 C	Os. Ogrody Wilanowskie – Q5% i Q1%	86,00	152 tys. zł	13 mln zł	10,4 mln zł
21	D3 E	Okolice ul. Z. Vogla – Q1%	59,26	207 tys. zł	12 mln zł	12 mln zł
22	E2-3 D	Miasteczko Wilanów – Q1%	161,52	261 tys. zł	46,5 mln zł	55,8 mln zł
23	E5 D	Os. Iwonka – Q5% i Q1%	45,31	261 tys. zł	12 mln zł	12 mln zł
24	E2 C	Okolice ul. Wiertniczej – Q1%	70,38	261 tys. zł	18 mln zł	32,4 mln zł
25	E3 C	Okolice jeziora Sielanka – Q5% i Q1%	46,87	261 tys. zł	12 mln zł	12 mln zł
26	E3D	Okolice pałacu w Wilanowie – Q1%	32,96	261 tys. zł	8,5 mln zł	10,2 mln zł
27	PE7 EF	Hałda – Q5% i Q1%	54,12	5,65 mln zł	305 mln zł	366 mln zł
28	PE4 B	Oczyszczalnia ścieków Południe – Q5% i Q1%	66,25	5,65 mln zł	374 mln zł	488 mln zł
SUMA					907 mln zł	1 mld zł

Źródło: opracowanie własne.

W kolumnie pierwszej podano numer porządkowy każdego z zaznaczonych obszarów. Kolumna druga zawiera rodzaj zagospodarowania przestrzennego z uwzględnieniem podkategorii zgodnie z przyjętą metodą. W kolumnie trzeciej przedstawiono orientacyjną lokalizację wybranych typów zagospodarowania przestrzennego. W kolumnie czwartej zawarto szacowaną wartość powierzchni wybranych obszarów wyrażonych w hektarach, a w piątej podano wskaźniki strat jednostkowych, wyrażone w złotych, zgodnie z podziałem przyjętym dla każdego z typów zagospodarowania przestrzennego miasta.

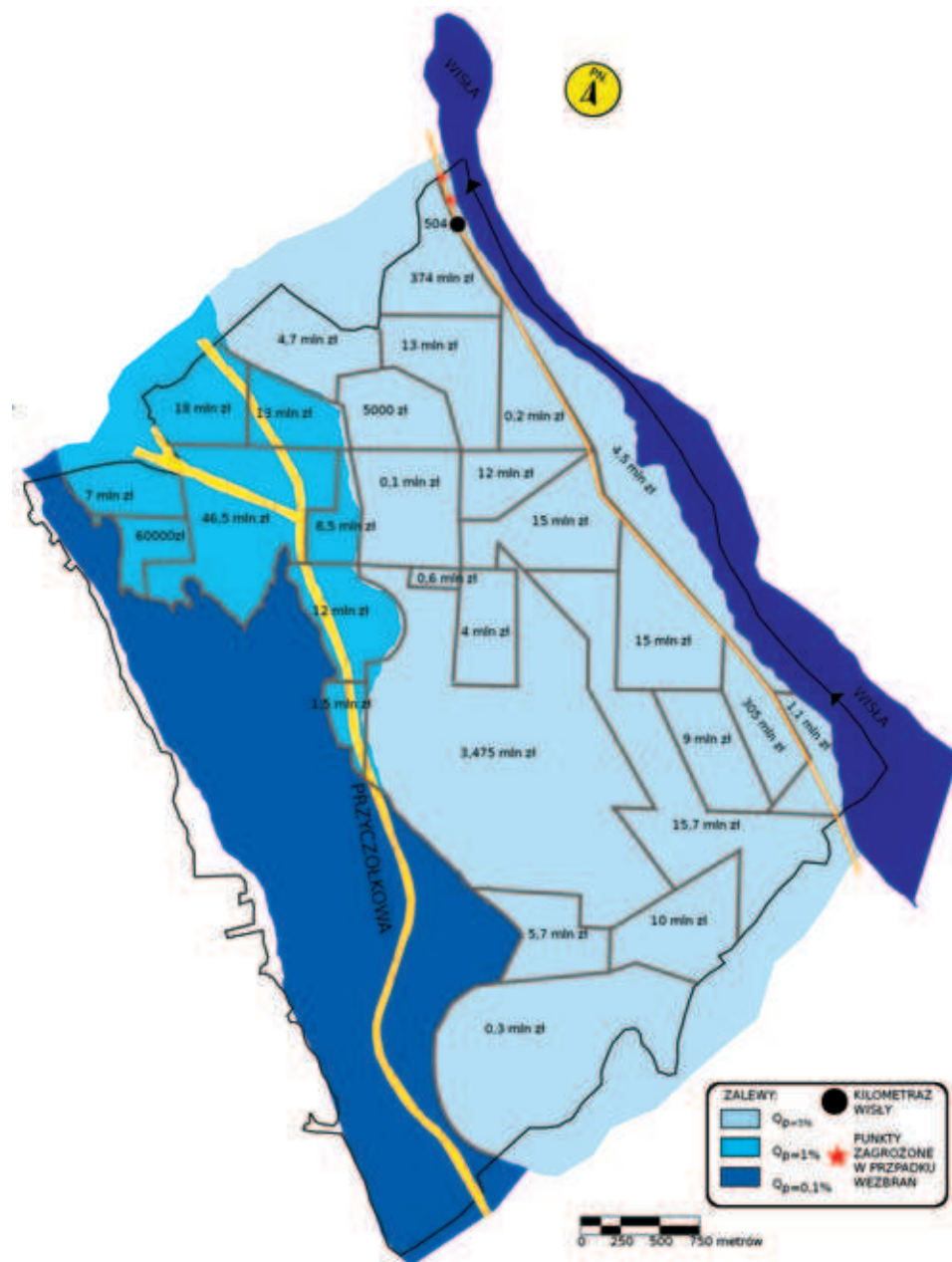
W szóstej kolumnie wyrażono łączną sumę potencjalnych strat mogących nastąpić bezpośrednio wskutek oddziaływania wód powodziowych na wybrany obszar. Wartości te wynikają z iloczynu powierzchni danego obszaru wyrażonego w hektarach i wskaźnika przypisanego danemu obszarowi, powiększone o wartość strat występujących w szkołach, lokalnych mostach i obwałowaniach. Miano „szkoły” obejmuje przedszkola, szkoły podstawowe, gimnazjalne oraz średnie, zamieszczone w spisie Biura Edukacji m.st. Warszawy [23], zaś przez „lokalne mosty” określa się obiekty takie jak przeprawy drogowo-pieszne przecinające lokalne ciek wodne oprócz mostów łączących prawobrzeżną z lewobrzeżną częścią miasta.

Kolumna siódma zawiera straty pośrednie czyli trudno policzalne, wynikłe z cierpień, utraty zdrowia i życia ludzkiego, wypłacanych przez państwo zapomóg, rent, odszkodowań, utraty potencjalnego zysku dla budżetu państwa w postaci wpływów z podatku, akcyzy wpłacanej przez podmioty poszkodowane, które musiałyby zawiesić lub zmniejszyć swoją działalność w wyniku zalania.

W celu lepszego zobrazowania występowania wielkości strat bezpośrednich, ze względu na rodzaj zabudowy w wybranych dzielnicach zostały sporządzone mapy z wartościami strat oraz przypisanym im rodzajem zagospodarowania terenu (rys. 2, 3). Kolorem jasnoniebieskim został zaznaczony obszar potencjalnego zalania wodami dwudziestoletnimi – 763 cm, kolorem niebieskim obszar potencjalnego zalania wodami stuletnimi – 855 cm, a ciemnoniebieskim obszar potencjalnego zalania wodami tysiącletnimi – 959 cm. Czarną linią zaznaczono granice administracyjne poszczególnych dzielnic. Brązowymi liniami zostały zaznaczone rodzaje obszarów zagospodarowania przestrzennego dzielnic miasta wraz z przypisanymi im wartościami potencjalnych bezpośrednich strat powodziowych. Czarnymi kropkami zaznaczono kilometrąż Wisły, a czerwonymi gwiazdkami obszary obwałowań szczególnie wrażliwych na przerwanie w wyniku wezbrania.

Uwzględniając straty niewyceniane, jak: kościoły, muzea, galerie sztuki, do strat bezpośrednich należy, zgodnie z przyjętą metodą, doliczyć narzut w wysokości 25%.

Na sumę wszystkich potencjalnych strat powodziowych dzielnic Praga Południe i Wilanów oprócz strat bezpośrednich składają się również straty pośrednie (tabela 4).



Rys. 3. Typy zagospodarowania przestrzennego Wilanowa wraz z zaznaczonymi typami i z przypisanymi im wartościami potencjalnych strat powodziowych bezpośrednich odpowiadającym przepływowi prawdopodobnym Wisły $Q_p=1\%$ i $Q_p=5\%$

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Potencjalne straty popowodziowe w mln zł odpowiadające zalewowi $Q_{p=1\%}$ i $Q_{p=5\%}$ wybranych dzielnic Warszawy

Rodzaje strat	Praga Południe (mln zł)		Wilanów (mln zł)	
	$Q_{p=5\%}$	$Q_{p=1\%}$	$Q_{p=5\%}$	$Q_{p=1\%}$
Straty bezpośrednie	144	332	797	907
Strat bezpośrednie z narzutem 25%	180	415	996	1100
Straty pośrednie	189	381	911	1000
Suma	369	796	1900	2100
Powierzchnia potencjalnego zalewu (km ²)	10,2	17,8	20,5	25,2

Źródło: opracowanie własne.

Uzyskane wyniki (tabela 4) wskazują, że w przypadku zalewu stuletniego – $Q_{p=1\%}$, suma potencjalnych strat bezpośrednich w dzielnicy Praga Południe wynosi 415 mln zł, zaś Wilanowa 1,1 mld zł. Suma potencjalnych strat pośrednich wynosi odpowiednio 381 mln zł do 1 mld zł. Łączna suma potencjalnych strat powodziowych bezpośrednich i pośrednich dla analizowanych dzielnic w przypadku zalewu $Q_{p=1\%}$, została oszacowana na 2,9 mld zł, odpowiadająca około 8% (43 km²) obszaru Warszawy.

Natomiast dla zalewu wód dwudziestoletnich – $Q_{p=5\%}$, suma potencjalnych strat bezpośrednich dla Pragi Południe wynosi 180 mln zł, a Wilanowa 996 mln zł, zaś suma potencjalnych strat pośrednich odpowiednio 189 mln zł do 911 mln zł. Łączna suma potencjalnych strat powodziowych bezpośrednich i pośrednich dla zalewu $Q_{p=5\%}$ badanych dzielnic, została oszacowana na ponad 2 mld zł, obejmująca powierzchnię 6,7% (31 km²) obszaru Warszawy.

6. Dyskusja wyników

Zgodnie z analizą powodzi historycznych w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat nie odnotowano poważnych strat powodziowych. Nie jest to jednak zasługa organizacyjno-prawna ani lepszy stan czy zmienione usytuowania obwałowania w mieście. Stan wody Wisły na wodowskazie w Porcie Praskim od 1960 r. nie przekroczył 780 cm przy natężeniu przepływu 5940 m³/s (powódź 2010). Wszelkie straty powodziowe w przeszłości wiązały się zazwyczaj ze stanami wody powyżej 787 cm, co odpowiada prawdopodobieństwu rocznemu poniżej 4%, czyli występuje średnio raz na 25 lat lub rzadziej.

Z powyższych ocen dotyczących zagrożeń i potencjalnych strat powodziowych nasuwają się następujące wnioski:

- **Wartości potencjalnych strat popowodziowych w Warszawie są znaczne**

Różnica w ocenie wartości potencjalnych strat powodziowych między Wilanowem, a Pragą Południe, wynika z usytuowania na terenie pierwszej z wymienionych dzielnic oczyszczalni ścieków „Południe” oraz hałdy popiołów w Zawadach, których zalanie spowodowałoby kosztowne oraz trudne do przewidzenia straty materialne i skażenie środowiska.

Znaczna rozbieżność między wskaźnikiem wartości strat przemysłowych, a pozostałymi wskaźnikami strat wynika z kosztów rozbudowy oczyszczalni ścieków „Czajka” (zlokalizowaną na Białołęce) wynoszących około 3,5 mld zł oraz oczyszczalni ścieków „Południe” wynoszących ponad 0,5 mld zł.

Przy stanie wody 855 cm odpowiadającym stuletniej wodzie ($Q_{p=1\%}$), w przypadku przerwania obwałowania po stronie Pragi Południe, zalaniu ulega około 80% terenów. Jedynie 20% obszaru dzielnicy znajduje się poza zasięgiem wód stuletnich i stanowią głównie tereny kolejowe. Ponad 45% terenów dzielnicy znajduje się w zasięgu wód dwudziestoletnich.

Po stronie Wilanowa przerwanie obwałowania przy stanie wody odpowiadającym stuletniej wodzie $Q_{p=1\%}$ spowoduje zalanie ponad 70% obszaru dzielnicy. W zasięgu wody dwudziestoletniej znajduje się ponad 56% dzielnicy.

W obszarze potencjalnego zagrożenia powodziowego znajduje się około 30 km² [13], wg [19] około 23%, zaś wg [20] 30% miasta. Można postawić hipotezę, że przy zalaniu około 1/3 Warszawy straty mogłyby wynieść ponad 10 mld zł tym bardziej, że na terenie około 8% miasta straty mogą wynieść 3 mld zł. Jednak analizując rodzaj i gęstość zabudowy, m.in. na Mokotowie, Bielanych i Białołęce (zasięg wód powodziowych $Q_{p=5\%}$, $Q_{p=1\%}$), lokalizację m.in.: Centrum Nauki Kopernik, budowaną stację metra Powiśle, remontowane bulwary wiślane oraz tunel Wisłostrady (zasięg wód powodziowych $Q_{p=1\%}$) oraz przyszłościowo na Pradze Północ, spodziewane wartości mogą być znacznie wyższe.

Realna wartość i zasięg zalewu zależy w dużej mierze od **miejsca przelania** przez obwałowanie lub **przerwania** obwałowania oraz od **rzeźby i ukształtowania** terenu. Różnica poziomu terenu między północną a południową częścią Warszawy wynosi około 8 metrów. W przypadku awarii obwałowania w Wawrze wodą $Q_{p=5\%}$ istnieje możliwość zalania terenów Pragi Południe przewidzianych dla zalewu wodą $Q_{p=1\%}$, a w dalszej części miasta nawet terenów przewidzianych dla wód $Q_{p=0,1\%}$. Również w przypadku przerwania obwałowania w Śródmieściu wodą $Q_{p=5\%}$ istnieje możliwość, że na terenie Wilanowa występować będą tylko lokalne podtopienia. W skrajnie niekorzystnym wariantcie może zdarzyć się sytuacja, w której wodą $Q_{p=5\%}$ zostaną zalane tereny nawet spoza zalewu wodą $Q_{p=0,1\%}$. W każdym z rozpatrywanych przypadków wartość potencjalnych strat powodziowych dla Warszawy będzie znaczna. Dlatego należy poczynić wszelkie starania, aby nie dopuścić do wystąpienia sytuacji zagrażającej przerwaniem obwałowania w mieście.

• **Wartości potencjalnych strat popowodziowych będą wzrastały na skutek zabudowy kolejnych obszarów w zasięgu wody dwudziestoletniej i stuletniej**

Ze względu na znaczny stopień zurbanizowania Pragi Południe na obszarach potencjalnego zalewu pomiędzy $Q_{p=5\%}$ a $Q_{p=1\%}$, wartość potencjalnych strat w przyszłości będzie przypuszczalnie utrzymywała się na stabilnym poziomie (z uwzględnieniem wartości inflacji, cen rynkowych terenu itp.), natomiast na

obszarze $Q_{p=5\%}$ może w kolejnych latach rosnać tym bardziej, że na terenach na których dawno nie występowała powódź, świadomość społeczna odnośnie zagrożenia jest mała i wzrasta chęć zabudowy takich terenów [2]. Potwierdzeniem tego jest nawet projektowany plan zagospodarowania przestrzennego, wg którego ponad 3 km² obszarów ogródków działkowych zostanie przekształcona na obszary mieszkaniowe z zabudową blokową średnio wysoką i wysoką.

W przypadku Wilanowa przerwanie obwałowania przy poziomie wód $Q_{p=1\%}$ spowoduje zalanie ponad 70% tego terenu. W obszarze wody dwudziestoletniej znajduje się ponad 56% powierzchni dzielnicy. Należy zauważyć, że w obszarze zalewu wód $Q_{p=5\%} \div Q_{p=1\%}$ znajdują się jedne z najdroższych gruntów w Warszawie intensywnie zabudowywane – m.in. miasteczko Wilanów, które prawdopodobnie w przeciągu najbliższych lat zostanie w pełni wybudowane pomimo poważnego zagrożenia powodziowego zalewu. Wartości potencjalnych strat powodziowych bezpośrednich będą więc miały tendencję powolnego wzrostu z oznaką stabilizacji na poziomie ok. 110 mln zł (według wskaźników z 2012 r.). W obszarze $Q_{p=5\%}$ wartość potencjalnych strat powodziowych będzie dynamicznie rosła w kolejnych latach z powodu występowania wielu obszarów rolnych i niezabudowanych, które według projektów urbanistycznych będą wykorzystywane jako tereny mieszkaniowo-usługowe (prawdopodobnie z przewagą zabudowy jednorodzinnej i niewysokich bloków mieszkalnych). Skutkiem dalszego zagospodarowywania terenów warszawskiego Wilanowa zagrożonych wodą $Q_{p=5\%}$ i $Q_{p=1\%}$, w ciągu najbliższych lat w przypadku powodzi będzie zauważalny istotny **wzrost strat**.

Bardzo niepokojący jest również fakt, że **największe straty** powodziowe w obydwu rozważanych dzielnicach mogą wystąpić na obszarach będących w zasięgu **wody dwudziestoletniej** (2 mld zł).

Prawdopodobieństwo tych strat jest pięciokrotnie większe niż w przypadku ewentualnych strat spowodowanych wodą stuletnią (2,9 mld zł). Ponieważ obszary zalewu $Q_{p=1\%}$ zawierają również obszary zalewu $Q_{p=5\%}$, to różnica strat wynosi tylko 0,9 mld zł na rzecz obszarów o prawdopodobieństwie zalania $Q_{p=1\%}$ i świadczy o zupełnie niewłaściwym trendzie zabudowy. Decyzje zabudowy tych terenów są zupełnie sprzeczne z zasadami zarządzania polegającego na minimalizacji ryzyka oraz wytycznymi Unii Europejskiej zawartymi w „Dobrych praktykach powodziowych”² [12].

Można zauważyć coraz częstsze zagospodarowywanie tarasów wzdłuż rzeki, w tym terenów potencjalnie zagrożonych powodzią. Powyższy trend również zaobserwowano w pozostałych dzielnicach miasta i innych dolin rzek kraju. Prawdopodobnie składa się na to kilka przyczyn, takich jak występowanie znacznych obszarów niezagospodarowanych wzdłuż rzeki, brak planów zagospodarowania przestrzennego, niska świadomość decydentów oraz ludzi osiedlających się na te-

² Jeden z głównych dokumentów odnoszących się do zagadnienia ograniczenia skutków powodzi, który prezentuje aktualny sposób podejścia do tego zagadnienia w Europie.

renach potencjalnego zalewu. **Założenie**, że Warszawie **nie grozi przerwanie** obwałowania, gdyż taka sytuacja nie wystąpiła w przeciągu ostatnich dziesięcioleci **jest błędem** i prowadzi do niewłaściwego zagospodarowania terenów zalewowych wzdłuż Wisły, narażając mieszkańców i państwo polskie na ryzyko dużych strat powodziowych. Gospodarze Wrocławia, zabudowując tereny zalewowe po II wojnie światowej również zakładali brak zagrożenia, ale powódź z 1997 r. uwydatniła, jak jest zagrożone miasto w zetknięciu z żywiołem i jak duże mogą być straty powodziowe w wyniku zalania.

• **Stan i usytuowanie infrastruktury ochrony przeciwpowodziowej może generować powstanie strat powodziowych w Warszawie**

W minionych latach można było zaobserwować transformację **dwóch fal wezbraniowych**, co skutkowało dłuższym czasem utrzymywania się wysokich stanów wód. Przy dłuższym utrzymywaniu się wysokich stanów wody zwiększa się prawdopodobieństwo występowania przesiąków, mogących spowodować przerwanie obwałowania oraz zalanie dużych terenów miejskich. Jak zauważono wcześniej, na odcinku warszawskim występuje wiele miejsc w obwałowaniach, które są zaznaczone jako szczególnie wrażliwe na przerwanie (rys. 1, 2). Miejsce przerwania obwałowania istotnie oddziałuje na wielkość zalewu i strat. Dlatego, po doświadczeniach zagrożenia powodziowego 2010 r. w Warszawie, bardzo ważną okazuje się wytrzymałość i odporność na przesiąkanie wody przez korpus obwałowań w mieście, a nie tylko ich wysokość. Duże znaczenie mają więc działania polegające na zmniejszaniu przepuszczalności wałów.

Problemem otwartym jest usytuowanie **obwałowań poprzecznych** wzdłuż Wisły na badanym odcinku, które w przypadku ich przerwania wzdłuż rzeki mogłyby w znacznym stopniu zmniejszyć potencjalne straty. Dla ochrony przeciwpowodziowej dwóch omawianych dzielnic rozważać można usytuowanie obwałowań, m.in.: wzdłuż linii średnicowej z zamykaną grodzia na Wybrzeżu Szczecińskim, w okolicach Trasy Siekierkowskiej po stronie Wawra oraz na granicy miasta Warszawy i Józefowa, zaś ulice przechodzące w poprzek względem obwałowania wskazane byłoby poprowadzić górą. Problemami, które mogą wystąpić podczas prac budowlanych jest występowanie lokalnych cieków, gleby przepuszczalne, wysokie koszty wykupu gruntów pod inwestycje oraz możliwość wystąpienia sprzeciwów społecznych, szczególnie na obszarach gęstej zabudowy. Istotną sprawą jest więc podejście kompleksowe do budowy obwałowań poprzecznych i uwzględnienie ich w wieloletnim planie ochrony przeciwpowodziowej Warszawy i Mazowsza.

Kolejnym problemem otwartym jest możliwość wystąpienia zagrożenia związanego z wezbraniem, którego szczyt przekroczy wysokość obwałowania lub utrzyma się zbyt długo na poziomie mogącym na skutek przesiąkania spowodować przerwanie wału. Pomimo stosunkowo dużego okresu wyprzedzenia prognozy, jakie jest możliwe w tak dużej aglomeracji miejskiej trudno liczyć na skuteczną ewakuację zagrożonych fragmentów miasta. Nie do zaakceptowania

jest również dopuszczenie do olbrzymich strat powodziowych. Wszelkiego rodzaju działania doraźne polegające na podwyższaniu obwałowania w miejscach o niskiej rzędnej mogą okazać się niewystarczające. Jeżeli pojawi się fala wezbraniowa o **trzydziestoletnim** lub większym okresie powtarzalności, co może wystąpić w każdym nawet najbliższym roku, to **prawie pewne** jest przerwanie obwałowania. Zalane zostaną duże obszary tarasów naturalnie zalewanych, które niestety w sposób nieodpowiedzialny zostały wcześniej zabudowane i nadal są zabudowywane wzdłuż rzeki. Gdyby w czasie wezbrania w 2010 r. na skutek niebezpiecznego przesiąkania przerwane zostało obwałowanie, wystąpiłaby potężna powódź, gdyż obecnie zabudowane są obszary zalewowe (miasteczko Wilanów, Gocław), które w czasie powodzi w 1960 r. były wolne od zabudowy.

Istnieją **możliwości** uchronienia miasta przed powodzią polegające na tzw. **zalewach sterowanych**. Jedną z nich jest przerwanie obwałowania w odpowiednim miejscu powyżej Warszawy i w odpowiednim momencie, zalewając obszary najlepiej niezabudowane lub mało zabudowane. Spowoduje to obniżenie szczytu fali na niższych ważniejszych odcinkach rzeki. Z uwagi na straty materialne, nawet niewielkich grup mieszkańców lub właścicieli terenów na obszarach zalewowych, jest to działanie mało akceptowalne społecznie i wymagające najczęściej decyzji na wysokim stopniu zarządzania i władzy.

Drugą z możliwości jest działanie długofalowe polegające na wytypowaniu powyżej Warszawy polderów z odpowiednim przygotowaniem już na etapie planowania przestrzennego, tak, aby zostały dostosowane i przydatne do zalewu w momencie wystąpienia zagrożenia powodziowego.

Praktycznie, **nie istnieją żadne inne możliwości** w pełni skutecznej ochrony Warszawy przed powodzią, ale **moment katastrofy** powodziowej może nadejść w każdej chwili, jest zatem tylko **sprawą czasu**.

Według Komisji Europejskiej [12] sukces w ograniczaniu szkód powodziowych można osiągnąć tylko stosując jednocześnie wszystkie dostępne środki techniczne i nietechniczne, zaś dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 23 października 2007 r. [7] jako prawo o charakterze nadrzędnym w stosunku do prawa polskiego, określa kolejne kroki jakie Polska powinna podjąć między innymi w sprawach tworzenia planów ochrony przed powodzią tak, aby ograniczać potencjalne straty.

LITERATURA

- [1] I. Biedroń, R. Bogdańska-Warmuz: Powódź 2010 – analiza strat i szkód powodziowych w Polsce, *Gospodarka Wodna* 2012, nr 4, s. 147–153.
- [2] W. Biernacki, A. Mokwa, J. Działek, T. Padło: Społeczności lokalne wobec zagrożeń przyrodniczych i klęsk żywiołowych, Wyd. Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków 2009.

- [3] J. Chojnacki: Metodyka ewidencji charakterystyki zagrożenia powodziowego terenów zalewowych i jej wdrożenie, *Gospodarka Wodna* 1988, nr 6, s. 11–15.
- [4] B. Fal: Powódź tysiąclecia?, *Wiedza i Życie* 1997, nr 10, s. 14–18.
- [5] B. Fal: Przepływy charakterystyczne głównych rzek polskich w latach 1951–1995, IMGW, Warszawa 1997.
- [6] J. Dierauner, N. Pinter, J.W.F. Remo: Evaluation of levee setbacks for flood-loss reduction, Middle Mississippi River USA, *Journal of Hydrology* 2012, nr 450–451, s. 1–8.
- [7] Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 23 października 2007 r. ws. Oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (DzU L 288/27 z 6.11.2007 r.).
- [8] R. Girguś, W. Strupczewski: Wyjątki ze źródeł historycznych o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologiczno-meterologicznych na ziemiach polskich w wiekach od X do XVI, WKiŁ, Warszawa 1965.
- [9] M. Gutry-Korycka (Ed.): *Urban Sprawl, Warsaw Agglomeration case study*, University of Warsaw Press, Warszawa 2010.
- [10] M. Gutry-Korycka: Katastrofalne powodzie Wisły poniżej Warszawy w zarysie historycznym [w:] *Hydrologia w ochronie i kształtowaniu środowiska*, red: A. Magnuszewski, KiS PAN 68, Warszawa 2010, s. 99–108.
- [11] M. Gutry-Korycka: Wielkie wody Wisły Środkowej w ujęciu historycznym, *Prace i Studia Geograficzne* 2010 nr 38, s. 85–104.
- [12] Komisja Europejska: *Best practices on flood prevention, protection and mitigation* 2003.
- [13] A. Krukowicz: Stan zagrożenia powodziowego Warszawy i niektóre problemy związane z ochroną przed powodzią, *Gospodarka Wodna* 2010, nr 3, s. 116–118.
- [14] P. Kuźniar, A. Magnuszewski: Przepływ wód wielkich Wisły w Warszawie: Rekonstrukcja powodzi historycznych [w:] *Hydrologia w ochronie i kształtowaniu środowiska*, Red: A. Magnuszewski, KiS PAN 68, s. 109–118.
- [15] P. Kuźniar: Woda 500-letnia w Warszawie w świetle materiałów historycznych i symulacji komputerowych, *Forum Naukowo-Techniczne „Powódź 1997”*, T 2, IMGW, Warszawa 1997, s. 143–155.
- [16] W. Łysiak: *Historia Saskiej Kępy*, Wyd. Nobilis, Warszawa 2008, s. 85–103.
- [17] M. Maciejewski: *Dorzecze Wisły*, monografia powodzi maj, czerwiec 2010, IMGW, Warszawa 2010, s. 83–85.
- [18] M. Maciejewski, *Model kompleksowej ochrony przed powodzią*, IMGW, Kraków 2000, s. 72.
- [19] A. Magnuszewski, M. Gutry-Korycka, Z. Mikulski: Historyczne i współczesne warunki przepływu wód wielkich Wisły w Warszawie. Część I, *Gospodarka Wodna* 2012, nr 1, s. 9–12.
- [20] D. Piotrowski: Zagospodarowanie przestrzenne dolin rzecznych a zagrożenie powodziowe województwa mazowieckiego, *AiS*, Warszawa 2008, s. 112.
- [21] Praca magisterska Piotra Komorowskiego napisana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Wojciecha Feluch: *Ocena potencjalnych strat powodziowych dla aglomeracji warszawskiej*, Warszawa 2012, s. 99.

- [22] Projekt rozporządzenia Ministerstwa Środowiska, Ministerstwa Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Ministerstwa Administracji i Cyfryzacji oraz Ministerstwa Spraw Wewnętrznych w sprawie opracowania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego, s. 18.
- [23] Serwis Biura Edukacji m.st. Warszawy [on line] dostępne 12.11.2012, <http://edukacja.warszawa.pl/index.php?k=125>
- [24] A. Symonowicz: Ekonomiczna efektywność inwestycji przeciwpowodziowych na przykładzie karpackich dopływów Wisły, SGPiS, Kraków 1969, s. 167.
- [25] Studium ekofizjograficzne dla obszaru położonego w rejonie Zakola Wawerskiego, Warszawa 2008 [on line] dostępne dnia 08.07.2008, <http://wydarzenia.um.warszawa.pl/studium/>.
- [26] Profil podłużny rzędnych korony wałów lewobrzeżnych i zwierciadeł wód powodziowych na terenie m.st. Warszawy – mapa wykonana w 2003 r. przez firmę Hydroprojekt.
- [27] Profil podłużny rzędnych korony wałów prawobrzeżnych i zwierciadeł wód powodziowych na terenie m.st. Warszawy – mapa wykonana w 2003 r. przez firmę Hydroprojekt.
- [28] Wojewoda Wrocławski, *Informacje o stratach poniesionych na skutek powodzi w lipcu 1997 roku w województwie wrocławskim*, Wrocław 1997.

Wojciech FELUCH
Piotr KOMOROWSKI

The Potential Loss of Flood Selected Districts of Warsaw

The paper presents the issue of flood losses in selected districts of Warsaw. Process analyses of historical floods in the city. On the basis of historical data identified the areas most commonly inundated during the flood, a typification method for estimating potential losses of floods in two districts of the city. The conclusions of the work relates to the size of potential losses, the negative trend of their and infrastructure of flood protection.

SUMMARY