

INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ
ODDZIAŁ W GDYNI/POZNANIU

*WYZNACZENIE GRANIC BEZPOŚREDNIEGO ZAGROŻENIA
POWODZIĄ W CELU UZASADNIONEGO ODTWORZENIA
TERENÓW ZALEWOWYCH*

WISŁA

CZĘŚĆ OPISOWA

Opracowanie wykonane na zlecenie Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gdańsku

Autorzy:	
IMGW Oddział Morski w Gdyni	IMGW Oddział w Poznaniu
mgr inż. Barbara Cygan	Dr hab.inż.prof Piotr Kowalczak Prof. IMGW
mgr Krzysztof Lubomirski	mgr inż. Andrzej Hański
mgr Waldemar Stepko	mgr Robert Siudak
mgr Anna Śledzka	mgr inż. Tomasz Krukowski
mgr inż. Leszek Kostrzębski	mgr inż. Maciej Jęch
Jarosław Płonka	mgr Roman Kurpisz
mgr Urszula Józwiak	mgr Przemysław Szrama
Aleksander Dombrowski	mgr inż. Grzegorz Krauze
Adam Kowalewski	IMGW Warszawa
Hieronim Zalewski	mgr inż. Andrzej Kadłubowki
Ryszard Moroz	mgr inż. Sławomir Wereski
Tomasz Szypryt	
Artur Śliwa	
Bronisław Ziótkowski	
mgr Mieczysław Dąbrowski	
mgr Tomasz Rogowski	
mgr Jakub Ordon	

Kierownik tematu
IMGW Oddział Morski Gdynia

Kierownik tematu
IMGW Oddział w Poznaniu

2003/2004

Spis treści

1. Podstawa opracowania	4
2. Zakres opracowania	5
3. Hydrologia rzeki Wisły (od Włocławka do ujścia)	8
3.1. Przepływy i stany charakterystyczne w posterunkach wodowskazowych... 8	
3.2. Przepływy charakterystyczne w charakterystycznych profilach niekontrolowanych	13
4. Obliczenia rzędnych zwierciadła wody przy wykorzystaniu modelu hydraulicznego.....	15
5. Opracowanie map cyfrowych zasięgu stref bezpośredniego zagrożenia powodziowego.	22
6. Literatura	28
7. Załączniki	29

Spis tabel

Tabela nr 1. Charakterystyka posterunków wodowskazowych w sieci podstawowej IMGW dla rzeki Wisły w granicach RZGW Gdańsk.	10
Tabela nr 2. Stany charakterystyczne SSW i SNW.	11
Tabela nr 3. Rzędne zwierciadła wody odpowiadające stanom o prawdopodobieństwie przewyższenia $p=1\%$ i $p=10\%$ dla profilu Świbno ...	11
Tabela nr 4. Przepływy charakterystyczne SSQ i SNQ.	12
Tabela nr 5. Wykaz przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla posterunków wodowskazowych na rzece Wiśle.	12
Tabela nr 6. Przepływy o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia i przepływy SSQ i SNQ przeniesione do punktów charakterystycznych wyznaczonych wg „Podziału Hydrograficznego Polski” dla rzeki Wisły.	13
Tabela nr 7. Zestawienie charakterystycznych rzędnych zwierciadła wody w przekrojach poprzecznych rzeki Wisły.	19
Tabela nr 8. Wykaz arkuszy map dla rzeki Wisły wykorzystanych w opracowaniu.	23

Spis rysunków

Rys.1 Porównanie obserwacji (Wobs) i wyników symulacji modelu (Wfor) dla wezbrania 2001, wodowskaz Tczew.	17
Rys.2 Porównanie obserwacji (Wobs) i wyników symulacji modelu (Wfor) dla wezbrania 2001, wodowskaz Toruń.	18

1. Podstawa opracowania

Praca została wykonana na zlecenie Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gdańsku zgodnie z umową nr 35/2003 z dnia 11.07.2003 roku. Celem pracy było wyznaczenie terenów bezpośredniego zagrożenia powodzią na mapach topograficznych w skali 1: 10 000.

2. Zakres opracowania

Zgodnie z Ustawą Prawo Wodne z dnia 18 lipca 2001r. Art. 82 pkt.1 obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi obejmują:

- 1) obszary bezpośredniego zagrożenia powodzią, tzn. tereny między wałem przeciwpowodziowym a linią brzegu, strefę wybrzeża morskiego oraz strefę przepływów wezbrań powodziowych określoną w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego na podstawie studium określającego w szczególności granice obszarów bezpośredniego zagrożenia powodzią,
- 2) obszary potencjalnego zagrożenia powodzią, obejmujące tereny narażone na zalanie w przypadku:
 - a) przelania się wód przez koronę wału przeciwpowodziowego,
 - b) zniszczenia lub uszkodzenia wałów przeciwpowodziowych,
 - c) zniszczenia lub uszkodzenia budowli piętrzących albo budowli ochronnych pasa technicznego.

Wymieniona ustawa nie definiuje, dla jakich przepływów należy określać granice stref zagrożenia powodziowego. Po porozumieniu z Zamawiającym i zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami na potrzeby opracowania przyjęto następujące założenia:

- jako podstawę określenia granic stref zagrożenia powodziowego uznaje się granice stref A1 i A10,
- strefa A1 określa zasięg obszaru zalewowego odpowiadającego wysokiemu powodziowemu przepływowi o objętości przepływu Q , którego prawdopodobieństwo przewyższenia wynosi 1%,
- strefa A10 to część strefy A1 o najwyższym poziomie zagrożenia powodziowego i określa ją zasięg powodzi odpowiadający przepływowi wysokiemu o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 10\%$.

Zastosowana metodyka wyznaczenia stref zagrożenia powodziowego zgodna jest z przyjętymi założeniami definiującymi strefy A1 i A10 jak również ogólnie funkcjonującymi zasadami ich wyznaczania. Polega ona na wyznaczeniu w kolejnych przekrojach poprzecznych rzeki rzędnych zwierciadła wody odpowiadających przepływowi maksymalnemu rocznemu o prawdopodobieństwie przekroczenia $p=1\%$ ($Q_{\max p1\%}$) i $p=10\%$ ($Q_{\max p10\%}$) oraz naniesieniu na mapy topograficzne obszaru zalewu odpowiadającemu tym rzędnym. Obliczenia wykonywane są za pomocą matematycznego modelu jednowymiarowego ruchu wody. Podstawą do obliczeń jest geometria koryta i doliny cieku oraz wielkości maksymalnych rocznych przepływów o prawdopodobieństwie przekroczenia $p=1\%$ i $p=10\%$ dla poszczególnych odcinków obliczeniowych rzeki.

Przeprowadzone prace obejmowały następujące punkty:

- wyznaczenia wartości maksymalnych rocznych przepływów o prawdopodobieństwie przewyższenia $p=1\%$ i $p=10\%$ w posterunkach wodowskazowych

- przyjęcie za „Podziałem Hydrograficznym Polski” 1983 wielkości powierzchni zlewni w profilach charakterystycznych rzeki

- wyznaczenie wartości maksymalnych rocznych przepływów o prawdopodobieństwie przewyższenia $p=1\%$ i $p=10\%$ w profilach charakterystycznych na podstawie przyjętej metodyki przenoszenia informacji z profilu kontrolowanego do niekontrolowanego

- wprowadzenie przekrojów poprzecznych Wisły wykonanych w ramach w ramach komponentu B1 Projektu Likwidacji Skutków Powodzi do modelu hydraulicznego

- przeprowadzenie kalibracji modelu w zakresie przepływów wysokich na podstawie obserwacji historycznych

- wykonanie obliczeń rzędnych zwierciadła wody dla przepływów maksymalnych rocznych o prawdopodobieństwie przewyższenia $p=1\%$ i $p=10\%$

- naniesienie na podkładowe mapy topograficzne w skali 1:10000 stref zalewu odpowiadających wyznaczonym rzędnym zwierciadła wody

Zagrożenie powodziowe w ujściowym odcinku Wisły generowane może być przez wystąpienie sztormowych wysokich stanów Zatoki Gdańskiej. Wartości rzędnych zwierciadła wody strefy A1 i A10 dla ostatniego przekroju obliczeniowego tj. posterunku wodowskazowego Świbno wyznaczone zostały

poprzez obliczenie maksymalnych rocznych stanów wody o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 1\%$ i $p = 10\%$.

Rzędne odwzorowują potencjalną sytuację wzrostu stanów wody w ujściu Wisły bez uwzględnienia falowania sztormowego (bez uwzględnienia przewyższenia nabiegającej fali). Tak przyjęte rzędne stanowiły dolny warunek brzegowy w modelu hydrodynamicznym rzeki, w którym przeprowadzono obliczenia dla $Q_{\max p1\%}$ i $Q_{\max p10\%}$

Wyznaczone rzędnych zwierciadła wody dla przepływów charakterystycznych SSQ i SNQ przeprowadzono według procedury opisanej powyżej. Dolny warunek brzegowy modelu stanowiły w tym przypadku rzędne odpowiadające stanom SSW i SNW dla Świbna.

Dodatkowo zamieszczono stany charakterystyczne wszystkich posterunków wodowskazowych pozostających w sygnalizacji przeciwpowodziowej.

Część graficzna opracowania składa się z map granic stref zagrożenia powodziowego, profilu podłużnego oraz przekroi poprzecznych.

Mapy zasięgu stref zagrożenia powodziowego wykonano w systemie GIS. Podkład mapowy stanowiły mapy topograficzne 1:10000 w układzie 1965 przeliczone do układu 1992. Zgodnie z wymaganiami Zamawiającego opracowane zostały dodatkowe wektorowe warstwy tematyczne kilometrażu, wałów przeciwpowodziowych, budowli mostowych, wodowskazów i granic gmin.

3. Hydrologia rzeki Wisły (od Włocławka do ujścia)

3.1. Przepływy i stany charakterystyczne w posterunkach wodowskazowych

Charakterystyki stanów i przepływów dla rzeki Wisły opracowano na podstawie danych z posterunków sieci podstawowej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

W przekrojach wodowskazowych określono następujące wielkości:

- stany charakterystyczne SSW i SNW,
- przepływy charakterystyczne SSQ i SNQ,
- przepływy o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia ($p = 1\%$ i $p = 10\%$)

oraz

- stany o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia dla posterunku wodowskazowego Świbno ($p = 1\%$ i $p = 10\%$).

Wartości stanów charakterystycznych średniego z wielolecia SSW oraz średniego niskiego z wielolecia SNW zestawiono dla 9 posterunków. Podstawą do ich wyznaczenia było wielolecie 1946-2000 (tab.2)

Pomiary natężenia przepływu w pełnym zakresie stanów pozwalającym na wyznaczenie krzywych natężenia przepływu i w rezultacie opracowania charakterystyk przepływów oraz obliczenia wartości maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia prowadzone są w trzech posterunkach wodowskazowych (tab.4):

- Włocławek
- Toruń
- Tczew

Ciągi obserwacyjne przepływów stanowiące podstawę wyznaczenia charakterystyk obejmowały okres 1924 – 2000. Do wyznaczenia przepływów prawdopodobnych zastosowana została metoda Kaczmarka.

Stany i przepływy charakterystyczne opracowane zostały przez IMGW Warszawa. Ich wartości zostały skonsultowane z Centralnym Biurem Prognoz Hydrologicznych.

Wartości maksymalnych rocznych stanów wody dla posterunku Świbno obliczone zostały przez zespół pod kierunkiem pani dr inż. Marzenny Sztobryn

("Raport z obliczeń maksymalnych poziomów wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia") (tab.3). Ciąg obserwacyjny do ich wyznaczonych obejmował okres 1946-2002. Ze względu na specyfikę rozkładów maksymalnych rocznych poziomów morza (asymetryczność) obliczenia poziomów morza o prawdopodobieństwie przewyższenia $p=1\%$ oraz $p=10\%$ przeprowadzono wg różnych metod dopasowania funkcji rozkładów teoretycznych, między innymi wykorzystując po zmodyfikowaniu ze względu na charakterystykę hydrologii morskiej metody podane w „Zasadach obliczania przepływów rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia” autorstwa prof. M. Ozgi-Zielińskiej i zespołu, jak też rozkład Jednorąta, Pearsona oraz rozkład Gumbela - metodę najczęściej stosowaną w badaniach ekstremalnych poziomów morza. Różnice pomiędzy poszczególnymi typami rozkładów były niewielkie.

Wyznaczenie granic bezpośredniego zagrożenia powodzią w celu uzasadnionego odtworzenia terenów zalewowych - WISŁA

Tabela nr 1 Charakterystyka posterunków wodowskazowych w sieci podstawowej IMGW dla rzeki Wisły w granicach RZGW Gdańsk.

Rzeka	Kilometraż	Wodowskaz	Pow. zlewni	Kilometraż podział hydrogr. IMGW 1983	Poziom zera wodowsk. Kr
			<i>[km²]</i>	<i>[km]</i>	<i>[m.n.p.m.]</i>
Wisła	679.4	Włocławek	172389	679,4	42,17
Wisła	734.7	Toruń	181033	734,7	31,96
Wisła	774.9	Fordon	186764	774,9	24,74
Wisła	806.8	Chełmno	187399	806,8	18,96
Wisła	835.0	Grudziądz	190291	835,0	13,81
Wisła	908.6	Tczew	194376	908,6	-0,58
Wisła	931.2	Gdańska Głowa	194414	931,2	-5,06
Wisła	936.0	Przegalina	194419	936,0	-5,08
Wisła	938.7	Świbno	194422	938,7	-5,08

Poniżej zebrano tabelarycznie dane dotyczące przepływów charakterystycznych, stanów charakterystycznych oraz przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla rzeki Wisły.

Tabela nr 2. Stany charakterystyczne SSW i SNW

L.p.	Rzeka	Wodowskaz	Km biegu rzeki	Pow. zlewni	SSW	SNW
			[km]	[km ²]	[cm]	[cm]
1	WISŁA	WŁOCLAWEK	679.4	172389	153	66
2	WISŁA	TORUŃ	734.7	181033	318	179
3	WISŁA	FORDON	774.9	186764	313	183
4	WISŁA	CHELMNO	806.8	187399	314	178
5	WISŁA	GRUDZIADZ	835.0	190291	321	180
6	WISŁA	TCZEW	908.6	194376	384	223
7	WISŁA	GDAŃSKA GŁOWA	931.2	194414	554	471
8	WISŁA	PRZEGALINA	936.0	194419	532	462
9	WISŁA	ŚWIBNO	938.7	194422	519	458

Tabela nr 3. Rzędne zwierciadła wody odpowiadające stanom o prawdopodobieństwie przewyższenia $p=1\%$ i $p=10\%$ dla profilu Świbno

Stacja	Rzędna $p=1\%$	Rzędna $p=10\%$
-	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]
Świbno	2.46	1.73

Tabela nr 4. Przepływy charakterystyczne SSQ i SNQ.

L.p.	Rzeka	Wodowskaz	Km biegu rzeki	Pow. zlewni	SSQ	SNQ
			[km]	[km ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
1	WISŁA	WŁOCLAWEK	679.4	172389	911	293
2	WISŁA	TORUŃ	734.7	181033	983	356
3	WISŁA	TCZEW	908.6	194376	1046	411

Tabela nr 5. Wykaz przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla posterunków wodowskazowych na rzece Wiśle.

L.p.	Rzeka	Wodowskaz	Km biegu rzeki	Pow. zlewni	Q_{maxp1%}	Q_{maxp10%}
			[km]	[km ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
1	WISŁA	WŁOCLAWEK	679.4	172389	8180	5700
2	WISŁA	TORUŃ	734.7	181033	8180	5700
3	WISŁA	TCZEW	908.6	194376	7660	5220

3.2. Przepływy charakterystyczne w charakterystycznych profilach niekontrolowanych

Dla profili niekontrolowanych poszczególne wartości przepływów charakterystycznych ($Q_{\max p1\%}$, $Q_{\max p10\%}$, SSQ i SNQ) obliczone w profilach wodowskazowych uzyskiwano poprzez interpolację metodą określającą zmianę przepływu w funkcji wielkości powierzchni zlewni wg wzoru:

$$Q_o = Q_{w1} + \frac{Q_{w2} - Q_{w1}}{A_{w2} - A_{w1}} (A_o - A_{w1}) \quad (1)$$

gdzie:

Q_o - wartość charakterystyki przepływu w przekroju obliczeniowym,

Q_w - wartość charakterystyki przepływu w przekroju wodowskazowym,

A_o - wielkość powierzchni zlewni zamkniętej przekrojem obliczeniowym,

A_w - wielkość powierzchni zlewni zamkniętej przekrojem wodowskazowym

Przepływy maksymalne roczne w wyznaczone dla Torunia posiadają wyższe wartości niż w Tczewie. Wskazuje to na fakt „płaszczenia” się fali wezbraniowej na tym odcinku Wisły, co potwierdzone zostało między innymi pomiarami objętości przepływu wykonanymi przez IMGW dla wezbrania letniego 2004 roku przy zastosowaniu najnowszych metod pomiaru (sond ADCP). Ponieważ „płaszczenie” fali zależne jest od retencji dolinowej wzdłuż biegu rzeki interpolację przepływów maksymalnych rocznych na tym odcinku przeprowadzono w funkcji odległości przekroju niekontrolowanego (kilometraża rzeki).

Dla odcinka Wisły poniżej Tczewa wartości przepływów charakterystycznych przyjęto jako równe przepływowi wyznaczonym dla posterunku wodowskazowego Tczew.

Tabela nr 6 Przepływy o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia i przepływy SSQ i SNQ przeniesione do punktów charakterystycznych wyznaczonych wg „Podziału Hydrograficznego Polski” dla rzeki Wisły.

Nazwa obiektu	Kilometraż	Pow. Zlewni	$Q_{\max p1\%}$	$Q_{\max p10\%}$	SSQ	SNQ
	[km]	[km ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Wod. Włocławek	679.4	172389	8180	5700	911	293
do uj. Mienia	703.7	174217	8180	5700	926	306

Wyznaczenie granic bezpośredniego zagrożenia powodzią w celu uzasadnionego odtworzenia terenów zalewowych - WISŁA

Nazwa obiektu	Kilometraż	Pow. Zlewni	Qmaxp1%	Qmaxp10%	SSQ	SNQ
	[km]	[km ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
za uj. Mienia		174592	8180	5700	929	309
do uj. Tążyny	718.2	174729	8180	5700	930	310
za uj. Tążyny		175224	8180	5700	935	314
wod. Silno	719.8	175226	8180	5700	935	314
do uj. Drwęcy	728.4	175300	8180	5700	935	314
za uj. Drwęcy		180644	8180	5700	980	353
wod. Toruń	734.7	181033	8180	5700	983	356
Wod. Solec Kujawski	762	181590	8100	5620	986	358
do uj. Brdy	771.4	182124	8070	5600	988	361
za uj. Brdy		186751	8070	5600	1010	380
wod. Fordon	774.9	186764	8060	5600	1010	380
Wod. Chełmno	806.8	187399	7960	5500	1013	382
do uj. Wdy	813.5	187405	7940	5480	1013	382
za uj. Wdy		189730	7940	5480	1024	392
Wod. Grudziądz	835	190291	7880	5420	1027	394
do uj. Osy	842.1	190326	7860	5400	1027	394
za uj. Osy		191921	7860	5400	1034	401
do uj. Maławy	852.4	191934	7830	5378	1034	401
za uj. Maławy		192391	7830	5378	1037	403
Do uj. Wierzycy	876.7	192556	7760	5310	1037	404
Za uj. Wierzycy		194159	7760	5310	1045	410
wod. Tczew	908.6	194376	7660	5220	1046	411

4. Obliczenia rzędnych zwierciadła wody przy wykorzystaniu modelu hydraulicznego.

Do obliczenia rzędnych zwierciadła wody dla przepływów charakterystycznych Wisły $Q_{\max p1\%}$, $Q_{\max p10\%}$, SSQ i SNQ zastosowano jednowymiarowy model hydrodynamiczny oparty na równaniach Saint - Venanta. Równania te tworzą nieliniowy układ równań różniczkowych cząstkowych pierwszego rzędu typu hiperbolicznego:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial z}{\partial t} - q_B = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{QB}{A} \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\alpha Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\alpha Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) = 0 \quad (3)$$

Równanie (2) opisuje prawo zachowania masy, a równanie (3) prawo zachowania pędu.

Przyjęto następujące oznaczenia:

Q - natężenie przepływu [m^3/s],

t - czas [s],

z - rzędna zwierciadła wody [m],

B - szerokość zwierciadła wody [m],

q - dopływ boczny rozłożony na jednostkę długości [m^2/s],

A - powierzchnia przekroju czynnego [m^2],

& - współczynnik korygujący dla niejednostajnego rozkładu prędkości w przekroju,

g - przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

K - przepustowość koryta przy jednostkowym spadku [m^3/s],

Zmiennymi niezależnymi w równaniach (2), (3) są t i x, a zmiennymi zależnymi z i Q. Do numerycznego rozwiązania układu równań (2), (3) wykorzystano metodę niejawną opartą na schemacie Preissmanna. Wykorzystano naturalną, nieschematyzowaną geometrię koryta. Przyjęto, że geometria i hydraulika koryta opisana jest przez m przekrojów poprzecznych, w których stabilizowane są zależności B(z), A(z), K(z). Funkcje B(z) i A(z)

konstruuje się wykorzystując zaniwelowane przekroje porzecznice koryta (doliny, polderu). Występujące we wzorze na przepustowość K współczynniki szorstkości Manninga, które mogą być zróżnicowane w przekroju poprzecznym są jedynymi parametrami modelu wymagającymi kalibracji.

Dyskretyzację zmiennych zależnych oraz ich pochodnych opisują następujące równania:

$$f(x, t) \approx \frac{\Theta}{2} \left(f_{j+1}^{n+1} + f_j^{n+1} \right) + \frac{1-\Theta}{2} \left(f_{j+1}^n + f_j^n \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \Theta \frac{f_{j+1}^{n+1} - f_j^{n+1}}{\Delta x} + (1-\Theta) \frac{f_{j+1}^n - f_j^n}{\Delta x} \quad (5)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} \approx \frac{f_{j+1}^{n+1} - f_{j+1}^n + f_j^{n+1} - f_j^n}{2 \Delta t} \quad (6)$$

gdzie:

Δx - długość kroku przestrzennego [m],

Δt - długość kroku czasowego [s],

f - wartość funkcji f w j -tym przekroju w chwili $n\Delta t$,

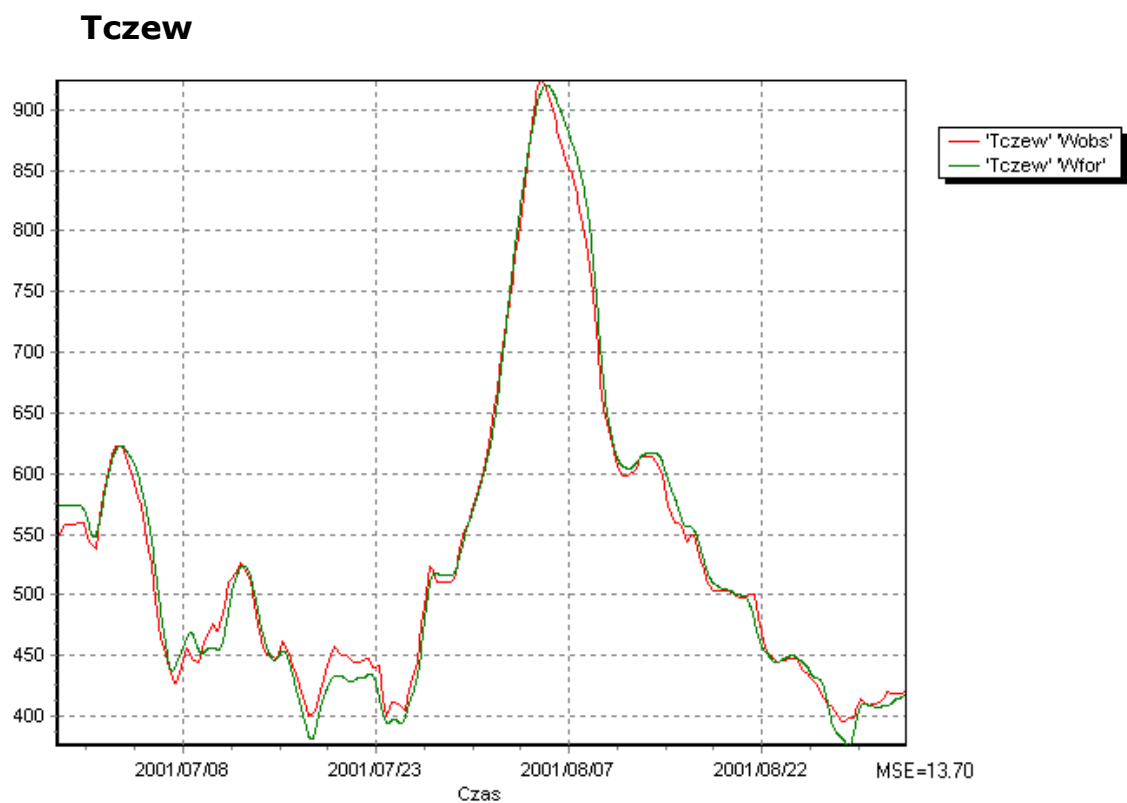
Φ - współczynnik wagowy, $0 < \Phi < 1$.

Stosując wzory (4), (5), (6) do równań (2), (3), dla każdego odcinka między przekrojami, otrzymujemy układ $2m - 2$ równań z $4m$ - niewiadomymi. Przyjmując, że znamy rozwiązanie w chwili $t = n\Delta t$, liczba niewiadomych wynosi $2m$. Aby liczba równań była równa liczbie niewiadomych dodajemy dwa dodatkowe równania stanowiące lewy i prawy warunek brzegowy. Ostatecznie otrzymujemy układ $2m$ równań z $2m$ niewiadomymi, który rozwiązywany jest metodą iteracyjną Raphsona - Newtona.

Aby otrzymać początkowe wartości niewiadomych w chwili $t = 0$ rozwiązywany jest układ równań (2), (3) dla przepływu ustalonego. Wpływ warunku początkowego na otrzymane rozwiązanie szybko zanika.

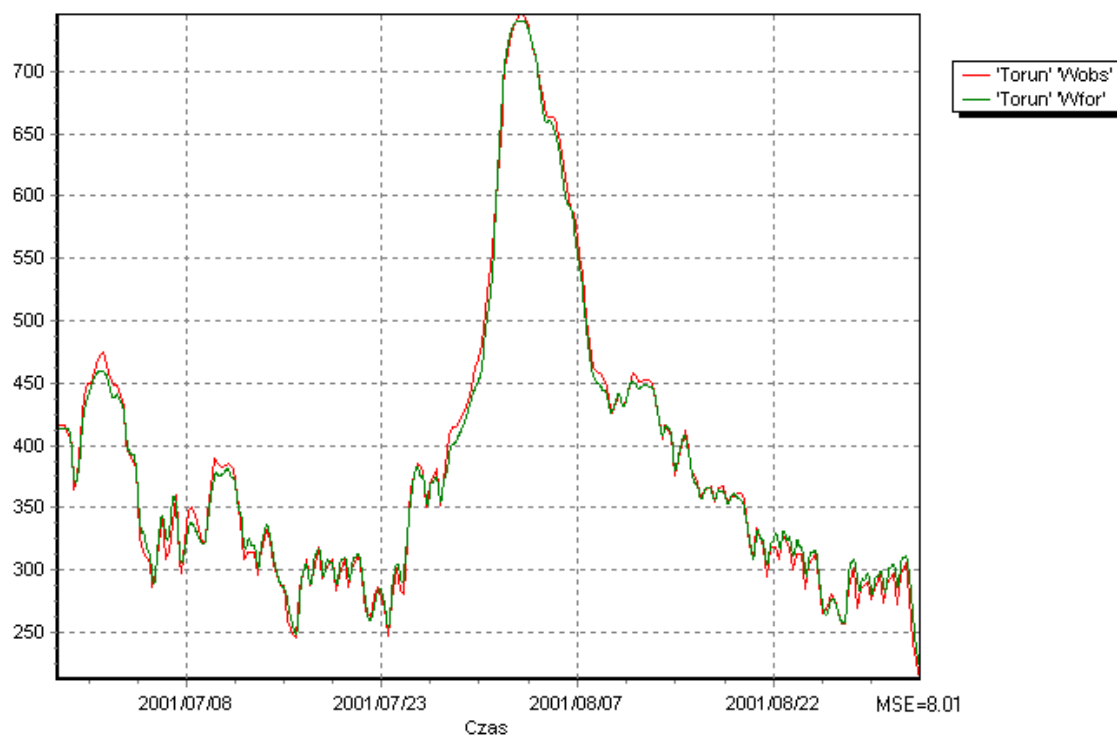
Wynikami symulacji są hydrogramy: rzędnych zwierciadła wody i natężenia przepływów w kolejnych przekrojach poprzecznych koryta.

Model wykalibrowano dla dużych przepływów ($p=10\%$ i $p=1\%$) w oparciu o przebieg najwyższego w ostatnich latach wezbrania z 2001 roku, a dla przepływów średnich i niskich w oparciu o przebieg stanów wody i przepływów w roku 2003.



Rys.1 Porównanie obserwacji (Wobs) i wyników symulacji modelu (Wfor) dla wezbrania 2001, wodowskaz Tczew

Toruń



Rys.2 Porównanie obserwacji (Wobs) i wyników symulacji modelu (Wfor) dla wezbrania 2001, wodowskaz Toruń.

Dolny warunek brzegowy stanowiły obliczone przez zespół pod kierunkiem pani dr inż. Marzenny Sztobryn rzędne zwierciadła wody dla wodowskazu Świbno. ("Raport z obliczeń maksymalnych poziomów wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia")

Obliczone rzędne dla profili wodowskazowych Toruń km 734.7 i Tczew km 908.6 są zgodne z obowiązującymi w IMGW krzywymi przepływu dla odpowiadających im przepływów. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli nr 7.

Wyznaczenie granic bezpośredniego zagrożenia powodzią w celu uzasadnionego odtworzenia terenów zalewowych - WISŁA

Tabela nr 7 Zestawienie charakterystycznych rzędnych zwierciadła wody w przekrojach poprzecznych rzeki Wisły.

Nr Przekroju	Nazwa obiektu	Kilometraż	Rz Qmaxp1%	Rz Qmaxp10%	Rz SSQ	Rz SNQ
		[km]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]
		676.90	51.08	49.60	44.20	42.64
		678.35	50.82	49.36	44.07	42.59
		679.30	50.65	49.23	44.03	42.57
		682.00	50.27	48.89	43.90	42.48
85		684.00	49.94	48.57	43.69	42.30
84		686.00	49.59	48.24	43.48	42.07
83		689.35	49.04	47.72	43.14	41.68
82		690.45	48.85	47.51	42.91	41.50
81		691.80	48.64	47.29	42.62	41.34
		693.60	48.34	47.00	42.35	41.15
		694.35	48.21	46.88	42.24	41.07
80		697.50	47.75	46.45	41.71	40.49
79		700.35	47.23	45.99	41.15	39.71
78		702.75	46.69	45.49	40.76	39.11
77		704.60	46.31	45.12	40.34	38.62
76		706.40	45.96	44.75	39.88	38.29
75		709.35	45.41	44.18	39.39	37.93
74		711.00	45.19	43.98	39.10	37.46
73		713.00	44.93	43.67	38.69	36.97
72		714.70	44.64	43.40	38.43	36.65
71		716.30	44.46	43.23	38.25	36.51
70		717.80	44.24	43.04	38.06	36.32
69		719.80	43.95	42.75	37.69	35.80
68		721.85	43.57	42.33	37.28	35.44
67		724.00	43.26	41.96	36.91	35.11
66		727.00	42.83	41.53	36.57	34.89
65		729.00	42.53	41.25	36.35	34.74
64		731.40	42.13	40.80	35.82	34.27
63		733.93	41.61	40.28	35.20	33.66
62		734.55	41.46	40.14	35.07	33.53
	Wod. Toruń	734.70	41.42	40.11	35.04	33.50
		734.73	41.39	40.08	35.03	33.50
61		735.55	41.20	39.90	34.87	33.36
		735.56	41.19	39.88	34.85	33.34
		738.05	40.63	39.33	34.27	32.65
60		740.10	40.20	38.90	33.82	32.16
59		744.60	39.23	37.92	32.79	31.05
58		750.27	38.07	36.89	32.16	30.51
57		753.50	37.51	36.35	31.82	30.18
56		756.50	37.01	35.81	31.45	29.87
55		759.90	36.31	35.10	30.95	29.47
54		762.00	35.93	34.74	30.64	29.19
53		765.55	35.33	34.21	30.28	28.76
52		767.65	34.96	33.88	29.87	28.26
51		770.00	34.55	33.51	29.42	27.70

Wyznaczenie granic bezpośredniego zagrożenia powodzią w celu uzasadnionego odtworzenia terenów zalewowych - WISŁA

Nr Przekroju	Nazwa obiektu	Kilometraż	Rz Qmaxp1%	Rz Qmaxp10%	Rz SSQ	Rz SNQ
		[km]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]
50		772.35	34.17	33.15	28.69	27.03
49		774.90	33.58	32.60	27.95	26.58
48		778.60	32.75	31.80	27.19	25.87
47		781.05	32.30	31.33	26.62	25.16
46		785.00	31.81	30.79	26.01	24.51
45		788.00	31.41	30.37	25.46	23.92
44		791.45	31.01	29.93	24.88	23.38
43		795.00	30.55	29.44	24.30	22.77
42		795.01	30.55	29.44	24.29	22.77
41		799.00	30.00	28.75	23.60	22.10
40		803.00	29.52	28.10	22.86	21.35
39		806.80	28.57	27.16	22.19	20.72
38		811.00	27.57	26.16	21.43	20.02
37		814.00	27.00	25.60	20.70	19.18
36		818.00	26.40	25.02	20.05	18.35
35		822.00	25.58	24.24	19.39	17.85
34		826.00	24.71	23.34	18.44	16.86
33		830.00	24.15	22.70	17.85	16.33
32		835.00	23.41	21.90	17.09	15.67
31		838.00	22.89	21.38	16.50	14.99
30		842.20	22.17	20.64	15.68	14.03
29		844.40	21.74	20.24	15.39	13.69
28		847.70	21.25	19.78	15.04	13.22
27		851.85	20.64	19.21	14.58	12.81
26		856.00	19.95	18.55	13.94	12.29
25		860.00	19.12	17.72	12.83	11.25
24		863.20	18.38	16.97	11.82	10.10
23		866.80	17.49	16.13	11.28	9.65
22		871.00	16.60	15.31	10.74	9.11
21		875.55	15.94	14.60	9.94	8.17
20		877.40	15.66	14.31	9.42	7.66
19		882.00	14.98	13.58	8.11	6.40
18		886.40	14.45	13.03	7.32	5.91
17		890.00	13.89	12.45	6.51	5.17
16		893.70	13.22	11.74	5.53	3.76
15		896.40	12.83	11.35	5.13	3.26
14		901.00	11.83	10.46	4.60	2.70
13		904.65	11.04	9.73	4.23	2.30
12		908.10	10.31	9.02	3.84	1.88
	Wod. Tczew	908.60	10.20	8.91	3.79	1.79
11		908.70	10.19	8.89	3.75	1.79
		908.73	10.18	8.89	3.74	1.79
		909.52	10.05	8.75	3.60	1.68
		910.00	9.91	8.61	3.28	1.08
		911.62	9.59	8.29	2.95	0.84
10		914.00	9.17	7.89	2.66	0.66
9		918.50	8.29	7.01	2.06	0.31
8		923.25	7.23	5.98	1.45	-0.01
7		927.20	6.42	5.20	0.90	-0.25

Wyznaczenie granic bezpośredniego zagrożenia powodzią w celu uzasadnionego odtworzenia terenów zalewowych - WISŁA

Nr Przekroju	Nazwa obiektu	Kilometraż	Rz Qmaxp1%	Rz Qmaxp10%	Rz SSQ	Rz SNQ
		<i>[km]</i>	<i>[m.n.p.m]</i>	<i>[m.n.p.m]</i>	<i>[m.n.p.m]</i>	<i>[m.n.p.m]</i>
6		929.00	6.09	4.90	0.73	-0.31
5		931.20	5.61	4.45	0.57	-0.36
4		933.80	4.78	3.67	0.37	-0.42
3		936.00	4.06	3.00	0.26	-0.46
	Wod. Świbno	938.70	2.46	1.73	0.12	-0.49

5. Opracowanie map cyfrowych zasięgu stref bezpośredniego zagrożenia powodziowego.

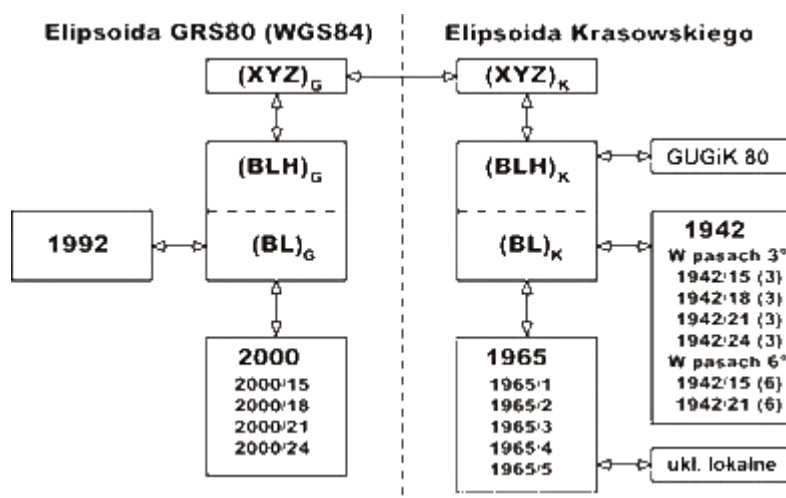
Do tworzenia map stref zagrożenia powodziowego zostały wykorzystane techniki tzw. GIS (Geograficznych Systemów Informacyjnych). Pozwoliło to na stworzenie mapy tematycznej, w której poszczególne elementy składowe mapy zapisane są w oddzielnych warstwach tematycznych.

Opracowanie podkładów rastrowych map topograficznych w skali 1:10 000

Podkłady mapowe wykorzystane do tworzenia warstw tematycznych map zagrożenia powodziowego rzeki Wisły stanowiły rastrowe mapy topograficzne w skali 1:10000 układzie "PUWG - 1965". Udostępnione zostały one wykonawcy przez Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Gdańsku.

W pierwszym etapie obrazy rastrowe zostały zarejestrowane do układu "1965". Rejestrację wykonano w oparciu o cztery punkty kontrolne o znanych współrzędnych dla każdego arkusza mapy. Następnie arkusze poddano rektyfikacji i obcięciu do granic ramki mapy przy pomocy oprogramowania z rodziny ArcGIS, firmy ESRI - ArcInfo 8.2. Rektyfikacja pozwala na trwałe nadanie obrazowi odniesienia przestrzennego oraz korekcję geometryczną na obszarze obrazu. W procesie rektyfikacji dla potrzeb niniejszego projektu wykorzystano metodę najbliższego sąsiedztwa. Obrazy rastrowe map topograficznych zostały zapisane w formacie GeoTIFF.

Przejścia transformacyjne realizowane były na podstawie następującego schematu:



Przy tworzeniu nowych przeliczonych plików wykorzystano metodę interpolacji najbliższego sąsiedztwa. W metodzie tej wartość nowego piksela zostaje przypisana na podstawie wartości piksela najbliższego do transformowanego.

Tabela nr 8 Wykaz arkuszy map dla rzeki Wisły wykorzystanych w opracowaniu.

Godło	Gmina				
315.432	Gdańsk	Stegna			
315.434	Gdańsk	Stegna			
325.212	Cedry Wielkie	Stegna	Gdańsk		
325.214	Ostaszewo	Cedry Wielkie			
325.231	Suchy Dąb	Ostaszewo	Cedry Wielkie		
325.232	Ostaszewo				
325.233	Tczew	Suchy Dąb	Ostaszewo	Lichnowy	
325.411	Tczew	Lichnowy	Miłoradz		
325.413	Subkowy	Tczew	Miłoradz		
325.431	Subkowy	Miłoradz			
325.433	Pelplin	Subkowy	Miłoradz	Sztum	
335.211	Gniew	Pelplin	Sztum		
335.212	Ryjewo	Gniew	Sztum		
335.213	Ryjewo	Gniew			
335.214	Ryjewo				
335.231	Gniew	Kwidzyn	Ryjewo		
335.233	Gniew	Kwidzyn			
335.342	Nowe				
335.344	Nowe				
335.411	Gniew	Kwidzyn			
335.413	Sadlinki	Nowe	Gniew	Kwidzyn	

Wyznaczenie granic bezpośredniego zagrożenia powodzią w celu uzasadnionego odtworzenia terenów zalewowych - WISŁA

Godło	Gmina				
335.431	Sadlinki	Nowe			
335.433	Grudziądz	Nowe	Sadlinki		
344.444	Dobrcz	Dąbrowa Chełmińska			
345.124	Dragacz				
345.134	Świecie	Chełmno			
345.142	Dragacz	Grudziądz			
345.143	Świecie	Chełmno	Dragacz		
345.144	Grudziądz	Chełmno	Dragacz		
345.211	Grudziądz	Dragacz	Nowe		
345.213	Grudziądz	Dragacz			
345.231	Grudziądz				
345.312	Chełmno	Świecie	Unisław		
345.313	Świecie	Chełmno	Unisław		
345.314	Unisław	Chełmno			
345.331	Unisław	Pruszcz	Świecie	Chełmno	
345.333	Dąbrowa Chełmińska	Dobrcz	Pruszcz	Unisław	
354.222	Bydgoszcz	Dąbrowa Chełmińska	Osielsko	Dobrcz	
354.224	Bydgoszcz	Dąbrowa Chełmińska			
354.241	Bydgoszcz				
354.242	Solec Kujawski	Bydgoszcz	Dąbrowa Chełmińska	Zławieś Wielka	
354.244	Solec Kujawski	Zławieś Wielka			
355.111	Dąbrowa Chełmińska				
355.131	Zławieś Wielka				
355.133	Solec Kujawski	Zławieś Wielka			
355.134	Zławieś Wielka	Solec Kujawski			
355.312	Wielka Nieszawka	Zławieś Wielka	Solec Kujawski	Toruń	
355.321	Toruń	Wielka Nieszawka			
355.322	Toruń	Lubicz			
355.324	Toruń				
355.324	Wielka Nieszawka	Toruń	Lubicz	Obrowo	
355.342	Wielka Nieszawka	Obrowo	Aleksandrów Kujawski		
355.413	Lubicz	Obrowo			
355.431	Aleksandrów Kujawski	Wielka Nieszawka	Obrowo	Ciechocinek	
355.433	Ciechocinek	Obrowo	Aleksandrów Kujawski	Czernikowo	Raciażek
355.434	Raciażek	Czernikowo	Obrowo	Nieszawa	
365.212	Waganiec	Nieszawa	Raciażek	Czernikowo	Bobrowniki
365.214	Lubanie	Waganiec	Bobrowniki		
365.223	Bobrowniki				
365.241	Włocławek	Lubanie	Bobrowniki		
365.243	Włocławek	Fabianki			

Opracowanie warstw tematycznych

Na podstawie uzyskanych informacji z różnych ośrodków administracji, pomiarów terenowych, obliczeń hydraulicznych i opracowanych podkładów rastrowych opracowano dla rzeki Wisły następujące warstwy tematyczne:

- kilometraż rzeki,

- przekroje poprzeczne doliny i koryta rzeki,
- strefy bezpośredniego zagrożenia powodziowego A1 i A10,
- wodowskazy,
- budowle mostowe,
- wały przeciwpowodziowe,
- granice gmin

Kilometraż

Typ warstwy - punkty

Warstwę kilometrażu Wisły opracowano na podstawie kilometrażu zaznaczonego na podkładowych mapach topograficznych .

Przekroje poprzeczne

Typ warstwy – linie.

Warstwa wykonana w ramach w ramach komponentu B1 Projektu Likwidacji Skutków Powodzi.

Strefy zagrożenia powodziowego A1 i A10

Rodzaj warstwy – poligon.

Podczas realizacji projektu nie dysponowano Numerycznym Modelem Terenu doliny rzeki Wisły, który umożliwiłby automatyczne wygenerowanie obszaru zalewu dla strefy A1 i A10 za pomocą procedur GIS. Opracowanie stref zagrożenia odbywało się metodą tradycyjną – poprzez „ręczne” naniesienie warstwy wektorowej. Podstawą do wyznaczenia granic stref były punkty pomiarowe przekrojów poprzecznych oraz podkład mapowy ze szczególnym uwzględnieniem informacji o rzeźbie terenu doliny rzeki tj. warstwic i pikiet wysokościowych. Naniesienie warstw wykonano za pomocą narzędzi umożliwiających digitalizację na ekranie monitora. Do digitalizacji na ekranie wykorzystano narzędzia dostępne w standardowym pakiecie oprogramowania, jak również ogólnodostępne narzędzia zamieszczone w Internecie.

Ponieważ za podstawę wykreślenia granic przyjęto dane wysokościowe z map topograficznych w skali 1:10 000, może powodować to niedokładności zasięgu zalewu w stosunku do map bardziej dokładnych (np. map do celów projektowych). W przypadku wystąpienia w/w niedokładności decyduje rzędna zwierciadła wody. Rzędna można odczytać z tabeli Kamienica-przekrój podłużny

.xls w katalogu PROFILE_POPRZ_PODL_ZDJ_BUDOWLE na płycie CD. Rzędne pomiędzy punktami załamania można obliczać korzystając z metody aproksymacji liniowej (jest to linia prosta).

Wodowskazy

Typ warstwy – punkty.

Warstwa lokalizacji posterunków wodowskazowych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej została opracowana na podstawie danych własnych IMGW.

Budowle mostowe

Typ warstwy – linie.

Warstwa lokalizacji budowli mostowych opracowana na podstawie map podkładowych w skali 1:10000.

Wały przeciwpowodziowe

Typ warstwy – linia.

Warstwa lokalizacji wałów przeciwpowodziowych opracowana na podstawie map podkładowych w skali 1:10 000.

Gminy

Typ warstwy – poligon.

Warstwa przebiegu granic pomiędzy gminami. Różnica pomiędzy przebiegiem granic gmin na mapach topograficznych, a wektorową warstwą podziału administracyjnego wynika z wykorzystania jako źródła danych dla warstwy wektorowej map topograficznych w mniejszej skali tzn. 1: 100 000. Stąd też granice w formie wektorowej nie są tak dokładne jak granice jednostek administracyjnych przedstawione na podkładowych mapach topograficznych 1:10 000.

Część geometryczna wektorowych warstw tematycznych została uzupełniona o tabele danych atrybutowych dla poszczególnych obiektów. Aby uniknąć błędów powstałych podczas tworzenia warstw wektorowych poddano je procedurze czyszczenia i budowania. Pozwala to na wyeliminowanie „wiszących węzłów”, niedociągnięć itp.

Wszystkie warstwy wektorowe zostały zapisane w formacie *.shp (programu ArcView).

Wydruki

Kompozycje map zawierających obrazy rastrowe map topograficznych oraz zestawy danych wektorowych zostały wydrukowane barwnie. Obszar wydruku map jest zgodny z obszarem podkładowych map topograficznych w skali 1:10 000.

6. Literatura

1. Nachlik E., Kostecki S., Gądek W., Stochmal R. „Strefy zagrożenia Powodziowego” Biuro Koordynacji Projektu Banku Światowego, Wrocław 2000
2. Bajkiewicz-Grabowska E., Magnuszewski A., Mikulski Z., Hydrometria, PWN, Warszawa 1993
3. IMPEXGEO, Instrukcja Obsługi Rejestratora GPS Trimble TSCe.
4. IMPEXGEO, Odbiorniki GPS 5700.
5. IMPEXGEO, Oprogramowanie Rejestratora GPS Trimble TSCe Survey Controller v.10.6. Podstawowe informacje użytkownika.
6. IMPEXGEO, Oprogramowanie TRIMBLE GEOMATICS OFFICE.
7. IMPEXGEO, TOTAL STATION Seria DTM – 501, Instrukcja obsługi.
8. Kietlińska Z., Walczak S., Miernictwo w Budownictwie Lądowym i Wodnym, WSzIP, Warszawa 1997.
9. Kosiński W., Geodezja, Wyd. SGGW, Warszawa 2002.
10. Paślawski Z., Metody Hydrometrii Rzecznej, IMGW, WKiŁ, Warszawa 1973.
11. Praca zbiorowa pod kier. Juliusza Stachy, Podział Hydrologiczny Polski, IMGW, Warszawa 1986.
12. Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., Hydrologia stosowana, PWN, Warszawa 1994.

7. Załączniki

- Profile:
 - podłużny
 - poprzeczne
- Mapy granic stref bezpośredniego zagrożenia powodzią na rzece Wiśle
- Opracowanie w formie elektronicznej na płycie CD

Zawartość płyty nr 1:

1. Katalog "Opracowanie" zawiera dokument w formacie *.doc z opisową częścią projektu.
2. Katalog "Profile_poprz_podl_zdj_budowle" zawiera pliki w formacie *.xls z danymi dotyczącymi przekrojów poprzecznych, przekroju podłużnego oraz budowli i pozwoleń wodno-prawnych.
Podkatalog "Wisła zdjęcia budowli" - zdjęcia budowli mostowych w formacie *.jpg,
3. Katalog "Warstwy_map" zawiera podkatalogach warstwy wektorowe w formacie *.shp:
 - "budowle_drogowe" - lokalizacja mostów drogowych,
 - "budowle_hydrotechniczne"- lokalizacja budowli hydrotechnicznych,
 - "kilometraz" - warstwa punktowa kilometrażu rzeki,
 - "obwałowania" - lokalizacja obwałowań,
 - "posterunki_wodowskazowe" - lokalizacja posterunków wodowskazowych,
 - "przekroje_poprzeczne" - lokalizacja punktów pomiarowych przekroi poprzecznych,
 - "strefy" - zasięg stref zagrożenia powodziowego,oraz podkatalog:
 - "rastry_1" - warstwy rastrowe podkładów topograficznych w formacie *tif dla górnej części Wisły.

Zawartość płyty nr 2:

1. Katalog "rastry_2" zawiera warstwy rastrowe podkładów topograficznych w formacie *tif dla środkowej części Wisły

Zawartość płyty nr 3:

1. Katalog "rastry_3" - zawiera warstwy rastrowe podkładów topograficznych w formacie *tif dla dolnej części Wisły
2. Katalog "Wydruki" zawiera w podkatalogach ("eps", "jpg") przygotowane do wydruku kompozycje map w formatach *.eps i *.jpg

Zawartość płyty nr 4:

1. Wisła przekroje poprzeczne z AutoCad
 - w katalogu znajdują się przekroje poprzeczne Wisły w formacie *.dwg, *.dxf i *.jpg
 -
2. Wisła przekrój podłużny z AutoCad w katalogu znajduje się profil podłużny Wisły w formacie *.dwg, *.dxf i *.jpg