

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

ŁEBA

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. 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 Oddział w Krakowie
Hieronim Zalewski	mgr inż. Jerzy Niedbała
Ryszard Moroz	
Tomasz Szypryt	
Artur Śliwa	
Bronisław Ziółtkowski	
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
3. Hydrologia rzeki Łeby	8
3.1. Przepływy i stany charakterystyczne w posterunkach wodowskazowych.....	8
3.2. Przepływy charakterystyczne w charakterystycznych profilach niekontrolowanych	13
4. Wyznaczenie przekrojów poprzecznych koryt i dolin rzecznych w punktach charakterystycznych.....	16
5. Obliczenia rzędnych zwierciadła wody przy wykorzystaniu modelu hydraulicznego	18
6. Opracowanie map cyfrowych zasięgu stref bezpośredniego zagrożenia powodziowego.....	24
7. Literatura	29
8. Załączniki.....	30

Zgodnie z art. 18 ustawy z dnia 17.05.1989 r. – Prawo geodezyjne i kartograficzne (t.j. Dz. U. 2000 r. Nr 100, poz. 1086, ze zm.) rozpowszechnianie, rozprowadzanie oraz reprodukowanie w celu rozpowszechniania, rozprowadzania niniejszych materiałów wymaga zezwolenia Marszałka Województwa.

Spis tabel

Tabela nr 1. Charakterystyka posterunków wodowskazowych w sieci podstawowej IMGW dla rzeki Łeby.....	10
Tabela nr 2. Stany charakterystyczne SSW i SNW.....	10
Tabela nr 3. Stany charakterystyczne SSW i SNW i o prawdopodobieństwie przekroczenia $p=1\%$ i $p=10\%$ dla posterunku Łeba i Izbica	11
Tabela nr 4. Przepływy charakterystyczne SSQ i SNQ.....	11
Tabela nr 5. Wykaz przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla posterunków wodowskazowych.....	12
Tabela nr 6. Przepływy o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia oraz przepływy SSQ i SNQ przeniesione do punktów charakterystycznych wyznaczonych wg „Podziału Hydrograficznego Polski”.	14
Tabela nr 7. Zestawienie rzędnych zwierciadła wody w przekrojach poprzecznych.....	21
Tabela nr 8. Wykaz arkuszy map dla rzeki Łeby wykorzystanych w opracowaniu.....	25

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 panującymi 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
- zaplanowanie, wykonanie (pomiar geodezyjne) i opracowanie przekrojów poprzecznych koryta i doliny rzeki Łeby
- wprowadzenie przekrojów poprzecznych do modelu hydraulicznego i przeprowadzenie jego kalibracji
- 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 Łeby generowane może być przez wystąpienie sztormowych wysokich stanów Bałtyku. Wartości rzędnych zwierciadła wody odpowiadające stanom o prawdopodobieństwie $p=1\%$, $p=10\%$, SSW oraz SNW wyznaczone zostały poprzez uśrednienie wartości obliczonych dla posterunków Łeba.

Jednocześnie wyznaczono stany maksymalne prawdopodobne i charakterystyczne SSW i SNW dla posterunku Izbica na Jez. Łebsko. Stanowiły one dolny warunek brzegowy dla modelu hydraulicznego. Rzędne zwierciadła wody w przekrojach poprzecznych na odcinku pomiędzy Jez. Łebsko a morzem wyznaczono na drodze interpolacji liniowej. Rzędne odwzorowują potencjalną sytuację wzrostu stanów wody w ujściowym odcinku Łeby bez uwzględnienia falowania sztormowego (bez uwzględnienia przewyższenia nabiegającej fali).

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 Łeby

3.1. Przepływy i stany charakterystyczne w posterunkach wodowskazowych

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

Dla rzeki Łeby obliczenia hydrologiczne zostały przeprowadzone dla następujących profili wodowskazowych:

Rzeka Łeba:

- Miłoszewo,
- Lębork,
- Cecenowo.

Dla każdego z w/w profili wodowskazowych określono następujące wielkości:

- stany charakterystyczne SSW i SNW,
- przepływy charakterystyczne SSQ i SNQ,
- przepływy maksymalne roczne o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 1\%$ i $p = 10\%$

oraz

- stany o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia dla posterunku wodowskazowego Łeba ($p = 1\%$ i $p = 10\%$).
- stany o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia dla posterunku wodowskazowego na Jeziorze Łebsko – Izbica ($p = 1\%$ i $p = 10\%$).

Wartości stanów charakterystycznych średniego z wielolecia SSW oraz średniego niskiego z wielolecia SNW zestawiono dla trzech posterunków. Podstawą do ich wyznaczenia było wielolecie 1951 – 2000 (tab. 2.).

Ciągi obserwacyjne przepływów stanowiące podstawę wyznaczenia charakterystyk obejmowały okres 1951 – 2000 (tab. 4). Do wyznaczenia przepływów prawdopodobnych zastosowana została metoda Kaczmarka.

Poszczególne ciągi obserwacyjne przepływów rocznych wydłużano jawnie poprzez zastosowanie interpolacji i ekstrapolacji metodą określającą zmianę przepływu w funkcji wielkości powierzchni zlewni:

Rzeka Łeba

- Miłoszewo: Przepływy średnie roczne wydłużone względem Lęborka – lata 1956-1968,
- Lębork: Przepływy średnie roczne wydłużone względem Cecenowa – lata 1956-1960.

Wartości maksymalnych rocznych stanów wody dla posterunku Łeba 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 - ŁEBA

Tabela nr 1. Charakterystyka posterunków wodowskazowych w sieci podstawowej IMGW dla rzeki Łeby.

Rzeka	Kilometraż	Wodowskaz	A	Kilometraż podz. Hydrogr. IMGW 1983	Poziom zera wodowsk. Kr60	Poziom zera wodowsk. Kr86
	[km]		[km ²]	[km]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]
Łeba	104,410	Miłoszewo	180,2	95,000	121,28	121,25
Łeba	56,830	Lębork2	552,0	55,200	14,57	14,65
Łeba	25,880	Cecenowo	1120,2	25,500	1,16	1,13
Jez. Łebsko	-	Izbica	1608,0	-	-5,07	-5,08

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

Tabela nr 2. Stany charakterystyczne SSW i SNW.

Rzeka	Przekrój	km rzeki	Powierzchnia zlewni	SSW	SNW
		[km]	[km ²]	[cm]	[cm]
Łeba	Miłoszewo*	104,410	180,2	161*	138*
Łeba	Lębork2	56,830	552,0	124	102
Łeba	Cecenowo	25,880	1120,2	121	78

*Dotyczy okresu 1975-2000

Tabela nr 3. Stany charakterystyczne SSW i SNW i o prawdopodobieństwie przekroczenia $p=1\%$ i $p=10\%$ dla posterunku Łeba i Izbica

Stacja	Rzędna zera wodowskazu Kr86	Stan $p=1\%$	Stan $p=10\%$	SSW	SNW
-	[m.n.p.m]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
Łeba	-5,09	652	611	503	447
Izbica (Jez. Łebsko)	-5,08	614	584	510	478

Tabela nr 4. Przepływy charakterystyczne SSQ i SNQ.

Rzeka	Przekrój	km rzeki	Powierzchnia zlewni	SSQ	SNQ
		[km]	[km ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Łeba	Miłoszewo	104,410	180,2	1.55	0.48
Łeba	Lębork2	56,830	552,0	5.75	2.56
Łeba	Cecenowo	25,880	1120,2	11.7	6.51

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

<i>p</i> %	<i>Przepływ Q [m³/s]</i>		
	<i>Miłoszewo</i>	<i>Lębork</i>	<i>Cecenowo</i>
0.1	21.1	30.3	67.2
0.2	19.5	28.5	63.0
0.5	17.4	26.2	57.5
1.0	15.9	24.4	53.4
2.0	14.4	22.6	49.2
3.0	13.4	21.4	46.6
5.0	12.2	20.0	43.4
10.0	10.6	18.1	38.9
20.0	8.88	16.0	34.1
30.0	7.82	14.7	31.2
50.0	6.38	12.9	27.1
80.0	4.82	10.9	22.5
90.0	4.32	10.2	20.9
95.0	4.04	9.77	19.9
99.0	3.70	9.22	18.7
100.0	3.51	8.83	17.8

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 bądź ekstrapolację metodą określającą zmianę przepływu w funkcji wielkości powierzchni zlewni wg wzorów:

$$Q_o = Q_w * \left(\frac{A_o}{A_w} \right)^n \quad (1)$$

$$Q_o = Q_{w1} + \frac{Q_{w2} - Q_{w1}}{A_{w2} - A_{w1}} (A_o - A_{w1}) \quad (2)$$

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

n - parametr empiryczny.

Do wyznaczenia wartości przepływów SSQ i SNQ przyjęto wartość $n = 1$, natomiast do obliczenia przepływów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia przyjęto $n = 2/3$.

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

Nazwa punktu	Powierzchnia zlewni	Q_{maxp1%}	Q_{maxp10%}	SSQ	SNQ
	[km ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Źródło	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ujście z Jez. Wielkiego	21,20	3,82	2,54	0,18	0,06
Przed dopł. spod Pomieczyńskiej Huty	34,00	5,23	3,48	0,29	0,09
Za dopł. spod Pomieczyńskiej Huty	60,00	7,64	5,08	0,51	0,16
Przed dopł. Dębica	74,60	8,84	5,87	0,64	0,20
Za dopł. Dębica	122,40	12,29	8,17	1,05	0,33
Przed dopł. spod Łączek	136,80	13,24	8,80	1,17	0,37
Za dopł. spod Łączek	169,00	15,24	10,13	1,45	0,45
Wod. Miłoszewo	180,20	15,91	10,57	1,55	0,48
Do dopł. spod Strzeczca	187,90	16,09	10,72	1,64	0,52
Za dopł. spod Strzeczca	199,20	16,34	10,95	1,76	0,59
Przed dopł. Jeżowska Struga	290,10	18,41	12,78	2,79	1,09
Za dopł. Jeżowska Struga	301,50	18,67	13,01	2,92	1,16
Przed dopł. Węgorza	389,00	20,66	14,77	3,91	1,65
Za dopł. Węgorza	446,30	21,96	15,92	4,56	1,97
Przed dopł. Okalica	454,80	22,15	16,09	4,65	2,02
Wod. Lębork2 (Za dopł. Okalica)	552,00	24,36	18,05	5,75	2,56
Przed dopł. Kisewska Struga	566,40	25,10	18,58	5,90	2,66
Za dopł. Kisewska Struga	702,40	32,05	23,57	7,32	3,61

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

Nazwa punktu	Powierzchnia zlewni	$Q_{maxp1\%}$	$Q_{maxp10\%}$	SSQ	SNQ
	[km ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Wod. Chocielewko	742,10	34,08	25,03	7,74	3,88
Rozgałęzienie na Łebę i Kanał Łebski	774,10	35,71	26,20	8,08	4,10
Dopł. Pogorzelica	868,20	40,52	29,66	9,06	4,76
Dopł. spod Skórowa	902,20	42,26	30,91	9,42	5,00
Przed dopł. spod Łebienia	1059,50	50,30	36,68	11,06	6,09
Połączenie rozgałęzienia Łeby i Kanału Łebskiego	1113,00	53,03	38,65	11,62	6,46
Wod. Cecenowo	1120,20	53,40	38,91	11,70	6,51
Przed dopł. Charbowska Struga	1145,50	54,20	39,49	11,96	6,66
Za dopł. Charbowska Struga	1182,40	55,36	40,34	12,35	6,87
Ujście do Jez. Łebsko	1219,30	56,50	41,17	12,73	7,09
Wod. Łeba	1611,40	68,05	49,58	16,83	9,37
Dopł. Chełst	1800,50	73,27	53,39	18,80	10,47
Ujście do morza	1801,20	73,29	53,40	18,81	10,47

4. Wyznaczenie przekrojów poprzecznych koryt i dolin rzecznych w punktach charakterystycznych.

Jednym z etapów realizacji projektu było wykonanie przekrojów poprzecznych koryt rzecznych w miejscach charakterystycznych wraz z charakterystycznymi przekrojami dolinowymi oraz, w oparciu o przekroje poprzeczne koryt rzecznych, wykonanie przekrojów podłużnych rzek. Prace pomiarowe na rzekach: Wiśle, Słupii, Skotawie, Kamienicy, Łebie, Łupawie i Piaśnicy wykonano w dniach 10 września – 20 listopada 2003 roku.

Do pomiarów geodezyjnych wykorzystano stację tachimetryczną NIKON DTM-501 oraz aparaturę opartą o technikę GPS (Globalny System Pozycyjny). Użyto odbiorników GPS Trimble 5700 z anteną Zephyr – odbiornik ruchomy i Zephyr Geodetic – odbiornik bazowy z radiową transmisją „sygnału korekcyjnego” w czasie rzeczywistym oraz rejestratora GPS Trimble TSC [2, 3, 4, 5]. Część pomiarów wykonano pracując w opcji RTK (pomiar w czasie rzeczywistym), a część wykonując pomiary statyczne w opcji FastStatic (postprocessing). Zastosowany sprzęt umożliwia wykonanie pomiarów z dokładnością wymaganą przez Instrukcję Techniczną GUGiK G-1-10 oraz pozwala na wykonywanie pomiarów bez konieczności zakładania sieci poligonów. Na zlokalizowanych w terenie profilach poprzecznych wyznaczano po dwa punkty to jest: stanowisko stacji tachimetrycznej oraz punkt namiarowy. Współrzędne tych punktów określano metodą statyczną GPS. Do pomiarów były używane dwa odbiorniki TRIMBLE 5700 pracujące w trybie FastStatic. Stacje bazowe ustawiano na punktach należących do sieci punktów POLREF, których współrzędne w układzie WGS-84 i „1992” wraz z wysokościami elipsoidalnymi otrzymano z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjno-Kartograficznej w Warszawie. Obliczenia na elipsoidzie WGS-84 wykonano przy pomocy oprogramowania TRIMBLE GEOMATICS OFFICE Version 1.61. Różnice wysokości geoidy niwelacyjnej i elipsoidy odniesienia obliczono z modelu „Geoidy niwelacyjnej 2001” wprowadzonej do stosowania przez Głównego Geodetę Kraju. Wyznaczenie tych różnic jest konieczne do przeliczeń wysokości elipsoidalnych do obowiązującego układu wysokości.

Pomiary na przekrojach wykonano przy pomocy stacji tachimetrycznej NIKON serii DTM-501. Przeliczenia współrzędnych pomiędzy układami „1965” i

„1992” wykonano posługując się oprogramowaniem GEONET_unitrans wersja 8.2. Obliczenia pikiet wykonano programem WinKalk wersja 3.7.

5. Obliczenia rzędnych zwierciadła wody przy wykorzystaniu modelu hydraulicznego

Do obliczeń przeprowadzonych dla rzeki Łeby wykorzystano model MIKE 11 HD. System MIKE11 HD bazuje na matematycznym opisie nieustalonego wolnozmiennego ruchu wody w korytach naturalnych opartym na układzie równań Saint Venanta:

- Równanie ciągłości

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

- Równanie ruchu

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha Q^2 / A)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (2)$$

gdzie:

- Q – natężenie przepływu (m^3/s),
- h – rzędna zwierciadła wody (m.),
- x – współrzędna położenia (m.),
- A – pole przekroju przepływu (m^2),
- t – czas (s),
- g – przyspieszenie ziemskie (m/s^2),
- q – dopływ boczny (m^3/s),
- R – promień hydrauliczny (m),
- C – współczynnik Chezy'ego ($m^{1/2}s^{-1}$),
- α – współczynnik Saint-Venanta (-),

Równania (1) i (2) tworzą układ równań nieliniowych różniczkowych cząstkowych rzędu pierwszego typu hiperbolicznego, których rozwiązania można szukać metodami numerycznymi. Do ich rozwiązania zastosowano niejawną 6-

punktowy schemat różnicowy Abbotta-Ionescu. Wymaga on siatki przesuniętej względem osi x , umożliwiając wyznaczenie niewiadomych w węzłach leżących naprzemiennie – w jednym Q , w następnym h . Generowana jest automatycznie po sprecyzowaniu przez użytkownika kroku przestrzennego dla którego wyznaczone mają być wartości h .

Do rozwiązania równań wymagana jest znajomość warunków brzegowych na obu końcach modelowanego odcinka rzeki.

Jako górny warunek brzegowy zdefiniować można:

- hydrogram stanów
- hydrogram przepływów

Dolny warunek brzegowy definiowany może być jako:

- hydrogram stanów
- hydrogram przepływów
- empiryczna krzywa natężenia przepływu

Jeżeli krok czasowy w zdefiniowanych warunkach brzegowych (hydrogramie stanów lub przepływów) jest większy od obliczeniowego kroku czasowego dokonywana jest interpolacja linowa ich wartości.

Przekroje poprzeczne rzeki reprezentowane są w modelu w sposób jawny. Na ich podstawie tablicowane są wartości pola powierzchni, obwodu zwilżonego, szerokości zwierciadła wody w funkcji napełnienia przekroju.

Model Łeby obejmował odcinek od Jez. Reskowo do ujścia. Kalibracja parametrów modelu polegała na dopasowaniu współczynników szorstkości, kroku czasowego i kroku przestrzennego w taki sposób aby otrzymać zgodność hydrogramu przepływów i stanów przekrojach wodowskazowych. Kalibrację parametrów przeprowadzono dla lat hydrologicznych 2001 –2003.

W profilach budowli piętrzących jako rzędne górnej wody odpowiadające profilowi zwierciadła wody $p=1\%$ i $p=10\%$ przyjmowano maksymalny poziom piętrzenia odczytany z pozwoleń wodnoprawnych poszczególnych budowli. Rzędne dla SSQ oraz SNQ przyjęto jako równe pomierzonym w trakcie pomiarów geodezyjnych. W przypadku braku pozwoleń wodnoprawnych dla budowli ich rzędne $p=1\%$ i $p=10\%$ przyjmowane były również jako równe pomierzonemu poziomowi piętrzenia.

Uzyskane wyniki rzędnych zwierciadła wody dla poszczególnych przepływów w poszczególnych przekrojach przedstawiono w tabeli nr 7.

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

Tabela nr 7. Zestawienie rzędnych zwierciadła wody w przekrojach poprzecznych.

Nr prze kr.	Kilometraż	Nazwa obiektu	Rz Q_{maxp1%}	Rz Q_{maxp10%}	Rz SSQ	Rz SNQ	max pp PW (Kr)
	[km]		[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]
	119.570	Jezero Reskowo	160.93	160.85	160.74	160.60	
52	119.500		160.85	160.75	160.51	160.40	
	118.710	stary Górny Młyn	160.00	160.00	160.00	160.00	
	118.710	stary Górny Młyn	159.30	159.10	158.45	158.35	
51	116.150		143.90	143.80	143.73	143.65	
	116.120	Dolny Młyn	143.62	143.62	143.62	143.62	
	116.110		141.29	141.16	140.64	140.50	
	115.900	Jezero Sianowskie	140.25	140.15	140.05	139.95	
	115.550		140.25	140.15	140.05	139.95	
	114.500		140.25	140.15	140.05	139.95	
	114.180	Jezero Sianowskie	140.25	140.15	140.05	139.95	
50	114.040		140.15	140.05	139.95	139.86	
	113.100	Młyn Cieszonko	139.60	139.60	139.30	139.30	139.60
	113.100	Młyn Cieszonko	139.20	139.00	138.23	137.94	
	113.000		136.63	136.40	135.43	134.95	
49	111.820		133.56	133.33	132.24	131.81	
48	109.990		131.14	130.83	130.46	130.38	
	109.780	zapora Strysza Buda	130.34	130.34	130.34	130.34	
	109.780	zapora Strysza Buda	129.90	129.60	128.60	128.20	
47	109.660		129.62	129.20	127.75	127.42	
46	107.380		127.37	127.06	125.27	125.00	
	104.410	wodowskaz Miłoszewo	124.61	124.13	123.03	122.72	
45	104.400		124.60	124.12	123.02	122.72	
44	101.210		117.24	116.94	116.07	115.80	
	99.800	zastawka Tłuczewo gosp ryb	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00
	99.800	zastawka Tłuczewo gosp ryb	114.32	114.06	113.42	113.06	
	98.860	jaz EW Tłuczewo	112.85	112.85	112.78	112.78	112.85
	98.860	jaz EW Tłuczewo	112.23	112.02	111.46	111.03	
43	98.690		110.54	110.36	109.87	109.77	
	98.640	jaz Tłuczewo	110.42	110.22	109.75	109.75	
	98.640	jaz Tłuczewo	110.37	110.16	109.45	109.25	
42	92.710		87.40	86.97	86.21	85.85	
	92.250	próg piętrzący	85.90	85.74	84.83	84.65	
	92.245		85.80	85.64	84.37	84.16	
	91.200	ruina młynu Polski Młyn	82.12	81.90	80.94	80.75	
	91.200	ruina młynu Polski Młyn	81.90	81.70	80.50	80.25	
41	89.920		76.52	76.34	75.44	75.18	
	89.320	jaz Porzecze	74.85	74.85	74.85	74.85	74.85
	89.320	jaz Porzecze	74.80	74.70	73.69	73.60	
40	87.190		63.15	62.85	62.50	62.40	
	86.940	Elektrownia W. Paraszyno	62.00	62.00	62.00	62.00	brak pw
	86.940	Elektrownia W. Paraszyno	60.98	60.72	59.53	59.20	
	85.200	Paraszyno zastawka, próg z kamieni	56.18	55.84	54.90	54.60	
	85.190		56.10	55.78	54.23	53.94	
39	83.590		50.85	50.57	49.74	49.61	

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

Nr prze kr.	Kilometraż	Nazwa obiektu	Rz Qmaxp1%	Rz Qmaxp10%	Rz SSQ	Rz SNQ	max pp PW (Kr)
	[km]		[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]
	81.450		46.50	46.50	46.50	46.50	46.50
	81.450		45.80	45.48	44.73	44.70	
38	81.350		45.61	45.29	44.64	44.32	
	80.610	jaz Bożepole Wielkie	43.78	43.78	43.50	43.50	43.78
	80.610	jaz Bożepole Wielkie	43.24	43.01	42.00	41.80	
37	80.130		42.36	42.13	41.09	40.84	
36	79.380		40.80	40.45	39.36	39.20	
35	77.910		37.94	37.64	36.70	36.22	
	76.130	jaz Wielistowo	35.60	35.60	35.60	35.60	35.60
	76.130	jaz Wielistowo	35.50	35.30	34.60	34.20	
34	71.140		30.63	30.47	29.71	29.25	
33	68.500		27.98	27.97	27.90	27.74	
	68.450	Młyn Łęczyce	27.72	27.72	27.72	27.72	27.72
	68.450	Młyn Łęczyce	27.60	27.40	26.64	26.27	
32	68.220		27.39	27.10	26.31	26.09	
31	66.770		26.23	25.88	24.79	24.47	
30	64.370		23.74	23.39	22.29	21.92	
29	60.800		21.88	21.51	20.23	19.70	
28	59.400		21.25	20.50	19.81	19.52	
27	58.450		20.40	20.00	19.67	19.51	
26	57.740		19.92	19.72	19.49	19.49	
25	57.720		19.90	19.70	19.49	19.49	
24	57.400		19.53	19.53	19.47	19.47	
	57.360	jaz, kładka	19.53	19.53	19.47	19.47	19.53
	57.360	jaz, kładka	17.72	17.46	16.77	16.48	
23	57.350		17.70	17.44	16.75	16.46	
22	57.300		17.68	17.43	16.74	16.43	
21	57.250		17.65	17.41	16.72	16.40	
20	57.130		17.35	17.08	16.55	16.10	
19	56.910		16.95	16.65	15.96	15.65	
	56.830	wodowskaz Lębork2	16.75	16.45	15.76	15.45	
18	56.530		16.57	16.15	15.04	14.72	
17	56.020		16.14	15.70	14.17	13.85	
16	55.220		15.92	15.36	13.67	13.34	
15	54.040		15.55	14.94	12.90	12.55	
14	51.100		13.77	13.46	11.81	11.44	
13	46.480		11.22	11.10	10.50	10.43	
	45.880	jaz Chocielewko	10.90	10.90	10.40	10.40	10.90
	45.880	jaz Chocielewko	10.80	10.60	8.64	8.30	
12	43.720		9.80	9.30	8.13	7.71	
11	38.570		7.95	7.51	5.95	5.51	
	37.610		7.54	7.16	5.62	5.17	
10	35.760		6.76	6.49	4.97	4.51	
9	31.940		5.75	5.38	3.96	3.48	
8	28.950		5.44	5.08	3.25	2.77	
	25.880	wodowskaz Cecenowo	4.52	3.95	2.51	1.99	
7	24.900		3.87	3.56	2.17	1.82	
6	20.710		2.56	2.27	1.08	0.61	
5	15.550		1.38	1.09	0.08	-0.22	

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

Nr prze kr.	Kilometraż	Nazwa obiektu	Rz Qmaxp1%	Rz Qmaxp10%	Rz SSQ	Rz SNQ	max pp PW (Kr)
	[km]		[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]
	14.400	Jezioro Łebsko	1.06	0.76	0.02	-0.30	
	13.000		1.06	0.76	0.02	-0.30	
	10.200		1.06	0.76	0.02	-0.30	
	8.000		1.06	0.76	0.02	-0.30	
	5.600		1.06	0.76	0.02	-0.30	
	3.070	Jezioro Łebsko	1.06	0.76	0.02	-0.30	
4	2.220		1.20	0.86	-0.01	-0.42	
3	1.350		1.34	0.95	-0.04	-0.54	
2	0.760		1.44	1.02	-0.06	-0.62	
1	0.060		1.44	1.02	-0.06	-0.62	

6. 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.

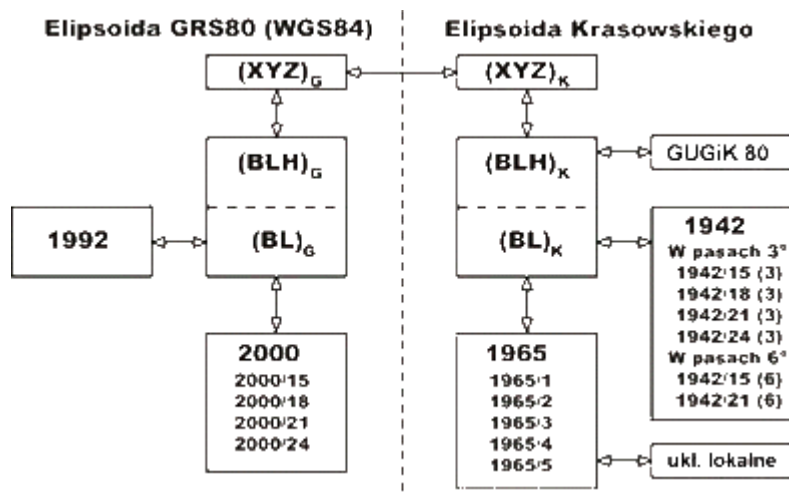
Opracowanie podkładów rastrowych map topograficznych w skali 1:10 000

Podkłady mapowe wykorzystane do tworzenia warstw tematycznych map zagrożenia powodziowego rzeki Łeby stanowiły rastrowe mapy topograficzne w skali 1:10 000 w układzie "PUWG - 1965" zakupione w Wojewódzkim Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Gdańsku. Obrazy rastrowe zostały zapisane jako monochromatyczne w formacie TIFF z rozdzielczością 300dpi.

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.

Następnie zostały przeliczone do układu PUWG-1992 zgodnie z algorytmami przeliczeniowymi zawartymi w instrukcji *"Wytyczne techniczne. G-1.10. Formuły odwzorowawcze i parametry układów współrzędnych."*

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 Łeby wykorzystanych w opracowaniu.

Rzeka	Godło mapy	Gmina		
Łeba	324.212	Sulęczyno	Chmielno	
	314.434	Chmielno		
	314.443	Chmielno		
	314.441	Kartuzy	Chmielno	
	314.423	Kartuzy		
	314.414	Linia	Kartuzy	
	314.412	Linia		
	314.234	Linia	Łęczycze	
	314.232	Łęczycze		
	314.214	Łęczycze		
	314.213	Łęczycze		
	314.231	Nowa Wieś Lęborska		
	314.142	Lębork	Nowa Wieś Lęborska	
	314.144	Lębork	Nowa Wieś Lęborska	
	314.143	Nowa Wieś Lęborska	Potęgowo	
	314.141	Główczyce	Nowa Wieś Lęborska	Potęgowo
	314.123	Główczyce	Nowa Wieś Lęborska	
	314.121	Główczyce	Wicko	Nowa Wieś Lęborska
	314.112	Główczyce	Wicko	
	314.111	Smołdzino	Główczyce	
	304.334	Smołdzino	Główczyce	Wicko
	304.333	Smołdzino	Smołdzino	Główczyce
303.444	Smołdzino			
304.331	Smołdzino	Wicko		

<i>Rzeka</i>	<i>Godło mapy</i>	<i>Gmina</i>		
Łeba	303.442	Smółdzino		
	304.332	Smółdzino	Łeba	Wicko
	304.341	Łeba	Wicko	
	304.314	Łeba		
	304.323	Łeba		

Opracowanie warstw tematycznych

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

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

Kilometraż

Warstwa kilometrażu została opracowana w celu właściwego odwzorowania odległości pomiędzy poszczególnymi przekrojami poprzecznymi. Wyznaczony został poprzez pomiar odległości w linii nurtu koryta rzeki na podkładach mapowych w skali 1:10 000. Próby określenia lokalizacji przekroji na podstawie kilometrażu według „Podziału hydrograficznego Polski” IMGW 1983 prowadziły do występowania niewłaściwych odległości pomiędzy przekrojami. Przyczyny takiego stanu rzeczy upatrywać należy w tym, iż kilometraż przedstawiony w „Podziale hydrograficznym Polski” opracowany był na podstawie map w skali 1:50000. Zestawienie wartości dla punktów charakterystycznych według kilometrażu opracowanego na potrzeby niniejszego projektu oraz według „Podziału hydrograficznego Polski” zawarto w zestawieniach na płycie CD.

Przekroje poprzeczne

Typ warstwy – punkty.

Warstwa zawiera lokalizację pikiet wysokościowych w poszczególnych przekrojach poprzecznych.

Strefy zagrożenia powodziowego A1 i A10

Rodzaj warstwy – poligon.

Podczas realizacji projektu nie dysponowano Numerycznym Modelem Terenu doliny rzeki Łeby, 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 Łeba-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 hydrotechniczne – budowle piętrzące

Typ warstwy – punkty.

Warstwę lokalizacji budowli piętrzących opracowano na podstawie materiałów przekazanych przez OKI RZGW Gdańsk, pomiarów terenowych jak również informacji pozyskanych w powiatach oraz gminach na terenie, których znajdowały się budowle.

Budowle mostowe

Typ warstwy – punkty.

Warstwa lokalizacji budowli mostowych opracowana została na podstawie map podkładowych w skali 1:10 000 oraz pomiarów terenowych.

Wały przeciwpowodziowe

Typ warstwy – linia.

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

Gminy

Typ warstwy – linia.

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.

7. Literatura

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

8. Załączniki

- Profile:
 - podłużny
 - poprzeczne – cz. I
- Mapy granic stref bezpośredniego zagrożenia powodzią na rzece Łebie
- Opracowanie w formie elektronicznej na płycie CD

Zawartość płyty:

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.

Ponadto podkatalogi:

- "Łeba podłużny z a-cad" - profile podłużne,
- "Łeba poprzeczne z a-cad"- profile poprzeczne,
zapisane w formatach *.dxf, *.dwg, *.txt i *.jpg
oraz

- "Zdjęcia-budowle hydro Łeba" - zdjęcia budowli hydrotechnicznych 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" - warstwy rastrowe podkładów topograficznych w formacie *.tif.

4. Katalog "Wydruki" zawiera w podkatalogach ("eps", "jpg") przygotowane do wydruku kompozycje map w formatach *.eps i *.jpg