

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

**ŁUPAWA**

**CZĘŚĆ OPISOWA**

Opracowanie wykonane na zlecenie Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej  
w Gdańsku

<b>Autorzy:</b>	
<b>IMGW Oddział Morski w Gdyni</b>	<b>IMGW Oddział w Poznaniu</b>
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	
Hieronim Zalewski	
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
2. Zakres opracowania .....	5
3. Hydrologia rzeki Łupawy .....	8
3.1. Przepływy i stany charakterystyczne w posterunkach wodowskazowych.....	8
3.2. Przepływy charakterystyczne w charakterystycznych profilach niekontrolowanych .....	12
4. Wyznaczenie przekrojów poprzecznych koryt i dolin rzecznych w punktach charakterystycznych.....	14
5. Obliczenia rzędnych zwierciadła wody przy wykorzystaniu modelu hydraulicznego .....	16
6. Opracowanie map cyfrowych zasięgu stref bezpośredniego zagrożenia powodziowego.....	21
7. Literatura .....	27
8. Załączniki.....	28

*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 reprodukcje w celu rozpowszechniania, rozprowadzania niniejszych materiałów wymaga zezwolenia Marszałka Województwa.*

## Spis tabel

Tabela nr 1 Charakterystyka posterunków wodowskazowych w sieci podstawowej IMGW dla rzeki Łupawy.....	10
Tabela nr 2. Stany charakterystyczne SSW i SNW.....	10
Tabela nr 3. Przepływy charakterystyczne SSQ i SNQ.....	11
Tabela nr 4. Wykaz przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla posterunków wodowskazowych.....	11
Tabela nr 5. Przepływy o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia oraz przepływy SSQ i SNQ przeniesione do punktów charakterystycznych wyznaczonych wg „Podziału Hydrograficznego Polski”.....	13
Tabela nr 6. Zestawienie rzędnych zwierciadła wody w przekrojach poprzecznych.....	19
Tabela nr 7 Wykaz arkuszy map dla rzeki Łupawa wykorzystanych w opracowaniu.....	22

## Spis rysunków

Rys.1. Zastosowanie zasady zachowania energii.....	17
--	----

## **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 Łupawy
- 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 Łupawy 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 Ustka i Łeba.

Jednocześnie wyznaczono stany maksymalne prawdopodobne i charakterystyczne SSW i SNW dla posterunku Gardna Wielka na Jez. Gardno. Stanowiły one dolny warunek brzegowy dla modelu hydraulicznego. Rzędne zwierciadła wody w przekrojach poprzecznych na odcinku pomiędzy Jez. Gardno a morzem wyznaczono na drodze interpolacji liniowej. Rzędne odwzorowują potencjalną sytuację wzrostu stanów wody w ujściowym odcinku łupawy 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 Łupawy**

#### **3.1. Przepływy i stany charakterystyczne w posterunkach wodowskazowych**

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

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

##### Rzeka Łupawa:

- Zawiaty,
- Łupawa,
- Damno,
- Smołdzino.

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 posterunków wodowskazowych Łeba i Ustka ( $p = 1\%$  i  $p = 10\%$ ).
- stany o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia dla posterunku wodowskazowego na Jeziorze Gardno – Gardna Wielka ( $p = 1\%$  i  $p = 10\%$ ).



Wartości stanów charakterystycznych średniego z wielolecia SSW oraz średniego niskiego z wielolecia SNW zestawiono dla posterunków Łupawa, Smołdzino, Zawiaty i Damno. Dla posterunków Łupawa i Smołdzino podstawą do ich wyznaczenia było wielolecie 1951-2000, dla posterunku Zawiaty wielolecie 1951-2000, natomiast dla posterunku Damno wielolecie 1951-1992.

Ciągi obserwacyjne przepływów stanowiące podstawę wyznaczenia charakterystyk obejmowały okres 1951-2000 dla posterunków Zawiaty, Łupawa, Smołdzino, natomiast dla posterunku Damno okres 1951-1992. Do wyznaczenia przepływów prawdopodobnych zastosowana została metoda Kaczmarka.

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

Rzeka Łupawa:

- Zawiaty: Przepływy średnie dla roku wydłużone względem Łupawy – lata 1951-1970,
- Łupawa: Przepływy średnie dla roku wydłużone względem Damna – lata 1951-1960,
- Damno: Przepływy średnie dla roku wydłużone względem Smołdzina – lata 1951-1960.

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

<i>Rzeka</i>	<i>Kilometraż</i>	<i>Wodowskaz</i>	<i>Pow. zlewni</i>	<i>Kilometraż podział hydrogr. IMGW 1983</i>	<i>Poziom zera wodowsk. Kr60</i>	<i>Poziom zera wodowsk. Kr86</i>
	[km]		[km <sup>2</sup> ]	[km]	[m.n.p.m.]	[m.n.p.m.]
Łupawa	89.810	Zawiaty	78.30	81.900	112.25	112.21
Łupawa	63.780	Łupawa	441.30	58.800	67.02	66.98
Łupawa	40.700	Damno	676.30	38.400	31.32	31.28
Łupawa	13.310	Smółdzino	804.60	13.300	2.34	2.31
Jez.Gardo	8.080	Gardna Wielka	922.30	8.000	-5.07	-5.08

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

Tabela nr 2. Stany charakterystyczne SSW i SNW.

<i>Rzeka</i>	<i>Przekrój</i>	<i>km rzeki</i>	<i>Powierzchnia zlewni</i>	<i>SSW</i>	<i>SNW</i>
		[km]	[km <sup>2</sup> ]	[cm]	[cm]
<b>Łupawa</b>	Zawiaty	89.810	78.9	37	30
<b>Łupawa</b>	Łupawa	63.780	441.3	56	44
<b>Łupawa</b>	Damno	40.700	676.3	67	50
<b>Łupawa</b>	Smółdzino	13.310	804.6	58	32
<b>Jez. Gardno</b>	Gardna Wielka	-	922,3	522	486

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

Tabela nr 3. Przepływy charakterystyczne SSQ i SNQ.

<i>Rzeka</i>	<i>Przekrój</i>	<i>km rzeki</i>	<i>Powierzchnia zlewni</i>	<i>SSQ</i>	<i>SNQ</i>
		[km]	[km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
<b>Łupawa</b>	Zawiaty	89.810	78.9	0.82	0.50
<b>Łupawa</b>	Łupawa	63.780	441.3	4.44	2.54
<b>Łupawa</b>	Damno	40.700	676.3	6.72	4.28
<b>Łupawa</b>	Smółdzino	13.310	804.6	8.29	4.30

Tabela nr 4. Wykaz przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla posterunków wodowskazowych.

<i>p%</i>	<i>Przepływ Q [m<sup>3</sup>/s]</i>			
	<i>Zawiaty</i>	<i>Łupawa</i>	<i>Damno</i>	<i>Smółdzino</i>
0.1	3.65	23.9	32.7	39.8
0.2	3.43	22.3	30.7	37.3
0.5	3.13	20.2	27.9	34.0
<b>1.0</b>	<b>2.91</b>	<b>18.6</b>	<b>25.8</b>	<b>31.5</b>
2.0	2.68	17.0	23.7	29.0
3.0	2.54	15.9	22.4	27.4
5.0	2.37	14.8	20.8	25.5
<b>10.0</b>	<b>2.13</b>	<b>13.0</b>	<b>18.5</b>	<b>22.8</b>
20.0	1.88	11.3	16.2	20.0
30.0	1.72	10.1	14.7	18.2
50.0	1.50	8.58	12.7	15.8
80.0	1.25	6.86	10.4	13.0
90.0	1.17	6.28	9.56	12.1
95.0	1.11	5.95	9.12	11.5
99.0	1.05	5.51	8.53	10.8
100.0	1.00	5.24	8.13	10.2

### 3.2. Przepływy charakterystyczne w charakterystycznych profilach niekontrolowanych

Dla profili niekontrolowanych poszczególne wartości przepływów charakterystycznych ( $Q_{\max 1\%}$ ,  $Q_{\max 10\%}$ , 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  $n = 2/3$ .

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

Tabela nr 5. Przepływy o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia oraz przepływy SSQ i SNQ przeniesione do punktów charakterystycznych wyznaczonych wg „Podziału Hydrograficznego Polski”.

<b>Nazwa punktu</b>	<b>Powierzchnia zlewni</b>	<b><math>Q_{maxp1\%}</math></b>	<b><math>Q_{maxp10\%}</math></b>	<b>SSQ</b>	<b>SNQ</b>
	<i>[km<sup>2</sup>]</i>	<i>[m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>[m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>[m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>[m<sup>3</sup>/s]</i>
Źródło	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jez. Jasień	30,4	1,55	1,13	0,32	0,19
Wod. Zawiaty	78,3	2,91	2,13	0,82	0,50
Dopł. spod Smolnik	153,6	6,16	4,39	1,57	0,92
Dopł. Bukowina	364,2	15,24	10,71	3,67	2,11
Młyn Podkomorki	389,8	16,35	11,48	3,93	2,25
Wod. Łupawa	441,3	18,57	13,03	4,44	2,54
Do dopł. Charstnica	614,5	23,90	17,07	6,12	3,82
Za dopł. Charstnica	661,6	25,35	18,17	6,58	4,17
Wod. Damno	676,3	25,80	18,51	6,72	4,28
Do dopł. z Wielkiej Wsi	697,4	26,74	19,22	6,98	4,28
Za dopł. z Wielkiej Wsi	705,0	27,08	19,48	7,07	4,28
Wod. Smołdzino	804,6	31,52	22,84	8,29	4,30
Jez. Gardno	809,2	31,64	22,93	8,34	4,32
Ujście z Jez. Gardno	922,3	34,52	25,02	9,50	4,93
Wod. Rowy Małe	924,1	34,57	25,05	9,52	4,94
Ujście do morza	924,5	34,58	25,06	9,53	4,94

#### **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 Łupawy wykorzystano model HEC-RAS (model hydrauliczny autorstwa US Army Corps of Engineers). Jest on jednym z modeli rekomendowanych w opracowaniu E. Nachlik „Strefy zagrożenia powodziowego”.

Oprogramowanie HEC – RAS należy do rodziny HEC (HEC1, HEC2, HEC-RAS) i jest powszechnie stosowane w Europie. Model ten odwzorowuje przepływ ustalony uwzględniając różne możliwe sytuacje w korycie rzeki.

Ponieważ analizowane są przepływy z zakresu przepływów wysokich i najwyższych, obejmujących zasięgiem zalewu znaczne obszary terenów przybrzeżnych o zróżnicowanym zagospodarowaniu – jako wskazane i zalecane do zastosowania w obliczeniach i analizie krzywej zwierciadła wody jest równanie energii mechanicznej.

Równanie energii mechanicznej dla dwóch kolejnych poprzecznych przekrojów przepływu przybiera postać

$$Zd_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Zd_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_e \quad (3)$$

gdzie:

$$h_e \cdot \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right| \quad (4)$$

gdzie:

- L - reprezentuje średnią ważoną odległość między przekrojami,
- $\bar{S}_f$  - reprezentuje spadek tarcia pomiędzy dwoma przekrojami,
- C - jest współczynnikiem kontrakcji lub dyfuzji w zależności od kształtu strumienia w planie.



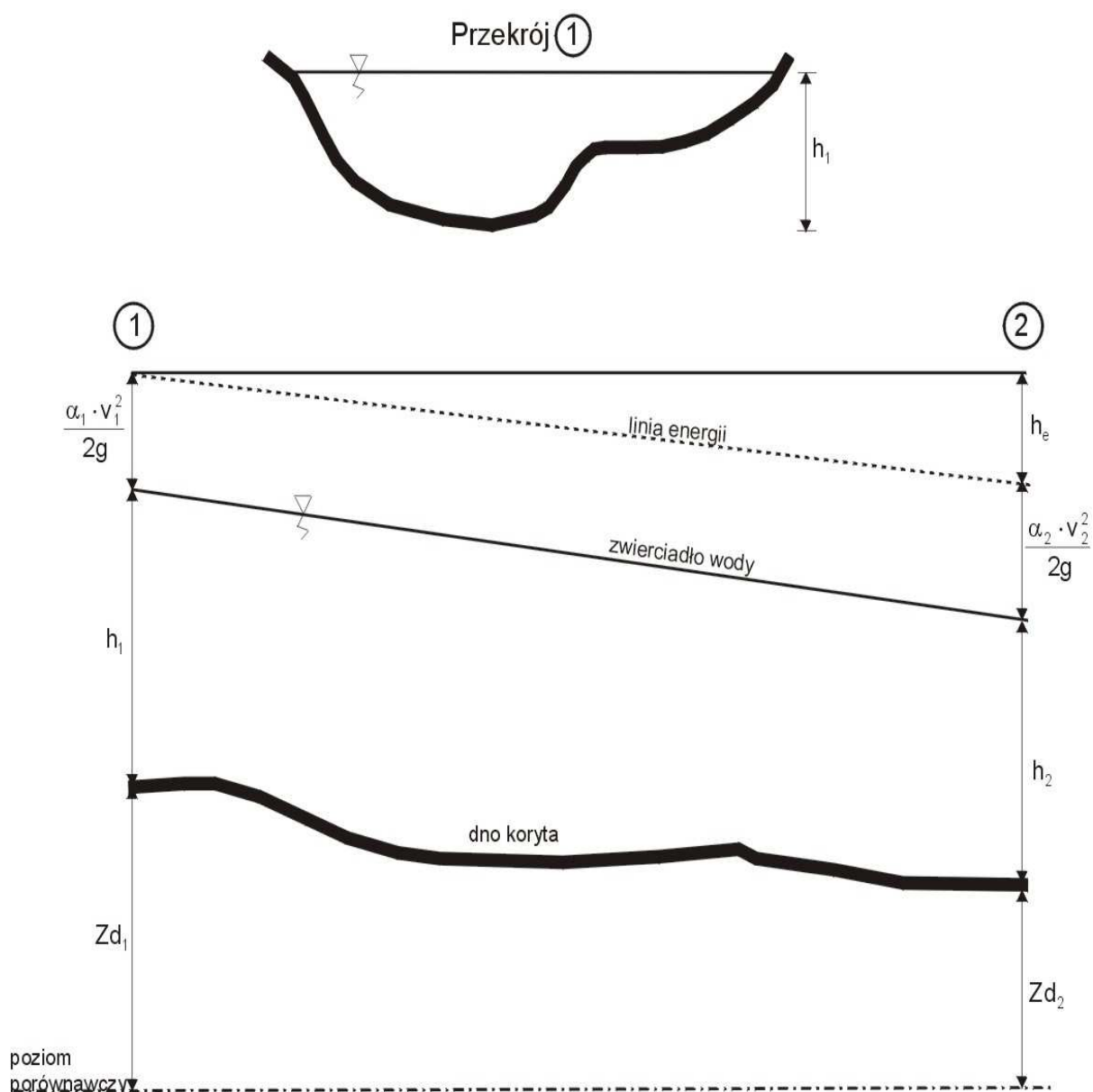
Średnia odległość pomiędzy przekrojami obliczona jest ze wzoru:

$$L = \frac{LL_{1-2} \cdot \bar{Q}_L + LG_{1-2} \cdot \bar{Q}_G + LP_{1-2} \cdot \bar{Q}_P}{\bar{Q}_L + \bar{Q}_G + \bar{Q}_P} \quad (5)$$

gdzie:

$LL_{1-2}$ ,  $LG_{1-2}$ ,  $LP_{1-2}$  - są to odległości pomiędzy przekrojami 1 i 2 liczone wzdłuż: lewej terasy, koryta głównego i prawej terasy,

$\bar{Q}_L$ ,  $\bar{Q}_G$ ,  $\bar{Q}_P$  - są to uśrednione dla przekrojów 1 i 2 wartości objętości przepływu odpowiadające: lewej terasie, koryta głównemu i prawej terasie.



Rys.1. Zastosowanie zasady zachowania energii.

Kalibracja modelu polegała na odtworzeniu profilu zwierciadła wody pomierzonego w trakcie pomiarów geodezyjnych. W pierwszym etapie określone zostały wartości przepływów chwilowych przy których dokonywane były pomiary w poszczególnych przekrojach poprzecznych. Wyznaczone zostały one poprzez zastosowanie identycznej metody przenoszenia informacji hydrologicznej z wodowskazów do profili niekontrolowanych jaka stosowano do obliczeń wartości przepływów charakterystycznych i prawdopodobnych. Następnie poszukiwany był taki zestaw współczynników szorstkości w poszczególnych przekrojach poprzecznych za pomocą, którego rzędne zwierciadła wody wzdłuż odcinka obliczeniowego były najbardziej zgodne z pomiarami. Tak wyznaczony zestaw współczynników szorstkości stanowił podstawę obliczeń dla przepływów SSQ i SNQ. Dla przepływów maksymalnych rocznych o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p=1\%$  i  $p=10\%$  przyjmowano dodatkowo współczynniki szorstkości dla lewej i prawej terasy zalewowej.

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 6.

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

Tabela nr 6. Zestawienie rzędnych zwierciadła wody w przekrojach poprzecznych.

<b>Nr przekr.</b>	<b>Kilometraż</b>	<b>Nazwa obiektu</b>	<b>Rz Qmaxp1%</b>	<b>Rz Qmaxp10%</b>	<b>Rz SSQ</b>	<b>Rz SNQ</b>	<b>max pp PW (Kr)</b>
	[km]		[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]
	89.900	Jezioro Jasień	113.15	113.05	112.9	112.80	
53	89.810	wod. Zawiaty	113.08	112.92	112.64	112.53	
52	88.760		111.96	111.78	111.44	111.37	
51	85.960		109.35	109.15	108.63	108.44	
50	84.040		108.68	108.46	108.11	108.02	
49	82.960		108.13	107.99	107.85	107.75	
	82.810	jaz Kozin	107.80	107.80	107.7	107.70	107.80
	82.810	jaz Kozin	106.74	106.54	106	105.78	
48	82.240		105.68	105.44	104.74	104.49	
47	80.920		105.00	104.74	104.15	103.93	
46	78.270		98.45	98.31	98.01	97.92	
45	75.730		94.68	94.54	94.29	94.21	
44	75.440		93.81	93.66	93.21	93.15	
43	73.430		87.14	86.89	86.37	86.19	
42	71.370		80.42	80.27	79.90	79.77	
41	69.250		73.22	73.06	72.64	72.43	
40	64.730		70.84	70.67	70.20	70.02	
	64.200	EW Łupawa	70.30	70.30	69.980	69.980	70.30
	64.200	EW Łupawa	68.43	68.32	68.19	68.10	
39	63.780	wod. Łupawa	68.05	67.91	67.55	67.46	
38	63.300		67.38	67.21	66.75	66.56	
37	60.360		63.95	63.83	63.21	63.04	
36	59.250		63.28	63.13	62.65	62.54	
	58.790	EW Poganice	62.85	62.85	62.4	62.40	62.85
	58.790	EW Poganice	61.45	61.25	60.71	60.55	
35	58.680		61.36	61.15	60.68	60.50	
34	56.650		58.58	58.43	58.11	58.01	
33	53.350		53.02	52.85	52.46	52.33	
32	50.020		49.02	48.80	48.17	47.83	
	49.690	EW Łebień	48.08	48.08	47.6	47.60	48.08
	49.690	EW Łebień	46.25	46.05	45.65	45.35	
31	49.520		45.37	45.22	44.83	44.75	
30	47.240		41.02	40.81	40.16	40.01	
29	46.380		40.24	40.08	39.66	39.52	
28	42.840		34.37	34.11	33.66	33.50	
27	42.450		33.77	33.49	32.68	32.49	
26	40.700	wod. Damno	32.13	31.97	31.03	30.73	
25	37.550		30.70	30.49	29.71	29.49	
24	34.020		28.20	27.94	27.28	27.18	
	33.400	EW Drzeżewo	27.70	27.70	27.15	27.15	27.70
	33.400	EW Drzeżewo	26.33	26.00	25.39	25.18	
23	33.340		26.21	25.85	25.21	25.05	
22	32.620		25.51	25.16	24.5	24.28	
21	31.470		24.14	23.84	23.32	23.17	
20	28.530		20.20	20.18	19.4	19.35	
	28.490	jaz dla EW Żelkowo	20.15	20.15	19.35	19.35	21.15
	28.490	jaz dla EW Żelkowo	17.88	17.65	16.75	16.58	
19	27.200		16.67	16.36	15.67	15.60	

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

<b>Nr przekr.</b>	<b>Kilometraż</b>	<b>Nazwa obiektu</b>	<b>Rz Qmaxp1%</b>	<b>Rz Qmaxp10%</b>	<b>Rz SSQ</b>	<b>Rz SNQ</b>	<b>max pp PW (Kr)</b>
	[km]		[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]	[m.n.p.m]
18	25.630		13.65	13.65	13.07	12.96	
17	25.530		13.65	13.65	12.91	12.77	
16	24.890		13.65	13.65	12.82	12.74	
	24.820		13.65	13.65	12.70	12.70	13.65
	24.820		12.28	12.08	11.52	11.25	
15	24.780		12.28	12.08	11.51	11.22	
14	23.660		12.05	12.02	10.67	10.62	
	23.450	jaz Czarny Młyn Górny	12.00	12.00	10.57	10.57	12.00
	23.450	jaz Czarny Młyn Górny	11.04	10.80	10.11	9.89	
13	23.430		11.04	10.80	10.11	9.89	
	22.280	jaz Czarny Młyn Dolny	10.00	10.00	9.24	9.24	10.00
	22.280	jaz Czarny Młyn Dolny	9.90	9.69	9.04	8.73	
12	22.150		9.69	9.51	8.9	8.59	
11	18.840		8.05	7.90	7.25	6.87	
10	16.760		6.85	6.71	6.24	5.91	
9	15.020		6.09	5.97	5.65	5.39	
8	13.810		5.61	5.56	5.36	5.14	
	13.600	EW Smołdzino	5.52	5.52	5.1	5.10	5.52
	13.600	EW Smołdzino	4.92	4.43	3.6	2.99	
7	13.520		4.80	4.27	3.14	2.77	
	13.310	wod. Smołdzino	4.44	3.83	2.87	2.65	
6	12.990		3.55	3.25	2.27	2.00	
5	12.630		3.29	3.06	2.09	1.80	
	11.720	jaz Człuchowski	2.65	2.43	1.7	1.50	
	11.720	jaz Człuchowski	2.60	2.35	1.22	0.85	
4	9.810		1.32	1.11	0.59	0.12	
	8.080	Jezioro Gardno	1.28	0.94	0.14	-0.22	
	5.000		1.28	0.94	0.14	-0.22	
	1.870	Jezioro Gardno	1.28	0.94	0.14	-0.22	
3	1.300		1.35	0.98	0.07	-0.37	
2	0.490		1.45	1.04	-0.02	-0.57	
1	0.120		1.49	1.07	-0.06	-0.67	

## **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.

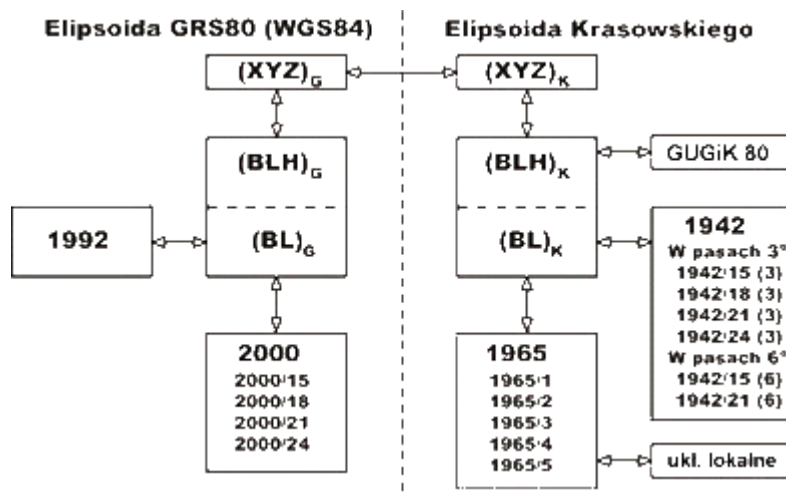
### **Opracowanie podkładów rastrowych map topograficznych w skali 1:10 000**

Podkłady mapowe wykorzystane do tworzenia warstw tematycznych map zagrożenia powodziowego rzeki Łupawy 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 7 Wykaz arkuszy map dla rzeki Łupawa wykorzystanych w opracowaniu.

<i>Rzeka</i>	<i>Godło mapy</i>	<i>Gmina</i>	
Łupawa	314.343	Czarna Dąbrówka	
	314.341	Czarna Dąbrówka	
	314.332	Potęgowo	
	314.314	Potęgowo	
	314.313	Potęgowo	
	314.311	Potęgowo	Damnica
	314.133	Damnica	
	313.244	Damnica	
	314.131	Główczyce	Damnica
	313.242	Główczyce	
	313.224	Smołdzino	Główczyce
	313.223	Smołdzino	
	313.222	Smołdzino	
	303.444	Smołdzino	
	313.221	Smołdzino	Ustka
	303.443	Smołdzino	
313.212	Ustka		

### Opracowanie warstw tematycznych

Na podstawie uzyskanych informacji z różnych ośrodków administracji, pomiarów terenowych, obliczeń hydraulicznych i opracowanych podkładów rastrowych opracowano dla rzeki Łupawy 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 przekroi 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 Łupawy, 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 Łupawa-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. Paślawski 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 Łupawa
- 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:

- "Łupawa podłużny z a-cad" - profile podłużne,

- " Łupawa poprzeczne z a-cad"- profile poprzeczne,

zapisane w formatach \*.dxf, \*.dwg, \*.txt i \*.jpg

oraz

- "Zdjęcia-budowle hydro Łupawa " - 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