

INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
Ośrodek Hydrologii
Zespół Ekspertyz, Opinii i Udostępniania Danych
01-673 Warszawa ul. Podleśna 61
tel. 22 56-94-381

*Opracowanie rzędnych zwierciadła wody
odpowiadających przepływowom maksymalnym
rocznym o prawdopodobieństwie przewyższenia
0,1% i 1% oraz rzędnej zwierciadła wody
odpowiadającej przepływowi średniemu*

Zamawiający: **Gmina Mielnik**
 ul. Piaskowa 38
 17-307 Mielnik

Wykonawcy:
mgr Sławomir Wereski
mgr inż. Agnieszka Pietrzykowska
mgr inż. Monika Sawicka
mgr inż. Anna Strzelczak
mgr inż. Krzysztof Kasprzak
mgr Tomasz Lewicki
Michał Mazgajski
mgr Ksawery Skąpski

Warszawa, listopad-grudzień 2012 r.

Zakres opracowania

Opracowanie wykonano na zlecenie Gminy Mielnik z siedzibą w Mielniku (kod pocztowy 17-307) na podstawie zaakceptowanej oferty IMGW-PIB z dnia 29.10.2012 roku oraz zgodnie z umową nr YK/K/7179/ZH z dnia 15.11.2012 roku dla potrzeb opracowania dokumentacji technicznej zadania „Budowa kładki pieszo-rowerowej przez rzekę Bug w miejscowości Niemirów”. Zadanie to stanowi integralną część projektu pn. „Trasy rowerowe w Polsce Wschodniej – województwo podlaskie” realizowanego przez Województwo Podlaskie w ramach RPO PW oś priorytetowa V Zrównoważony rozwój potencjału turystycznego opartego o warunki naturalne.

Zakres opracowania obejmuje wykonanie prac pomiarowych terenowych oraz kameralnych obliczeniowych niezbędnych do określenia poziomów zwierciadła wody odpowiadających przepływowi miarodajnym.

Wykonano następujące prace:

I. Prace terenowe:

- ✓ lokalizacja badanego profilu,
- ✓ zdjęcie przekroju poprzecznego rzeki,
- ✓ dowiązanie niwelacyjne przekroju i zwierciadła wody do sieci niwelacji państwowej,
- ✓ zdjęcie niwelacyjne spadku zwierciadła wody,
- ✓ pomiar natężenia przepływu w badanym profilu.

II. Prace kameralne:

- ✓ opracowanie wyników prac terenowych,
- ✓ obliczenie przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia i przepływu średniego,
- ✓ obliczenie napełnienia koryta rzeki i opracowanie krzywej natężenia przepływu,
- ✓ określenie rzędnych zwierciadła wody odpowiadających określonym przepływowi.

Charakterystyka przekroju pomiarowego dla rzeki Bug

Przekrój obliczeniowy w miejscowości Niemirów zlokalizowany został w miejscu wskazanym przez Zleceniodawcę, w prostym odcinku rzeki, w przekroju planowanej kładki pieszo-rowerowej przez rzekę Bug, na wysokości cmentarza parafialnego w Niemirowie. Lokalizacja przekroju obliczeniowego oraz widok w górę i w dół biegu rzeki przedstawiają zdjęcia 1-4.

Prace terenowe zostały wykonane w dniu 14 listopada 2012 roku. W dniu wykonywanego pomiaru stan wody rzeki Bug układał się na pograniczu strefy wody średniej i niskiej. W przekrojach najbliższych stacji wodowskazowych: we Frankopolu (km biegu 163,2, wg MPHP 138,12) wynosił 114 cm (o godzinie 6 UTC), natomiast w Krzyczewie (km biegu 268,7, wg MPHP 244,47) wynosił 181 cm (o godzinie 6 UTC). W wyznaczonym przekroju wykonano pomiar objętości przepływu przy rzędnej zwierciadła wody 120,56 m nad Kr., a następnie wykonano przekrój geodezyjny doliny rzecznej. Przekrój został nawiązany do niwelacji państwowej do repera umieszczonego w budynku przy ulicy Brzeskiej 43 w miejscowości Niemirów:

- Reper wysokościowy B-VI AU 0472 o rzędnej 126,84 m nad Kr.

Zdjęcie przekroju poprzecznego o łącznej długości ok. 1900 m wraz z wynikami sondowania koryta rzeki przedstawiają rys. 1 oraz tabela 1. Wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 2.

Kilometr biegu rzeki dla stacji wodowskazowych zostały podane wg *Podziału Hydrograficznego Polski* (IMGW, Warszawa, 1983) oraz dla porównania wg *Atlasu Podziału Hydrograficznego Polski* (IMGW, Warszawa, 2005) i *Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP)* (2005, ze zmianami).

Przepływy miarodajne

Przepływy maksymalne roczne o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia oraz wielkość przepływu średniego wraz z odpowiadającymi im rzędnymi zwierciadła wody na stan koryta z dnia 14 listopada 2012 roku przedstawia tabela 3.

Wartości przepływów zostały obliczone na podstawie pomiarów dokonanych na stacji wodowskazowej Frankopol (km biegu 163,2, wg MPHP 138,12) na rzece Bug w okresie 1951-2010, a następnie przeniesione metodą transformacji statycznej do przekroju niekontrolowanego w przekroju projektowanej kładki pieszko-rowerowej przez rzekę Bug w miejscowości Niemirów.

Metodyka obliczania przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia

Zalecana metodyka opracowywania przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia do wykorzystywania w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym została zamieszczona w Zarządzeniu nr 57 Dyrektora IMGW-PIB z dnia 20.10.2011 roku i dotyczy działania programu obliczeniowego PrzepływyMax2011.exe.

Dane wejściowe

Danymi wejściowymi do opracowywania przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia są ciągi jednorodnych przepływów maksymalnych rocznych obserwowanych na badanej stacji wodowskazowej o długości nie mniejszej niż 30 lat z wielolecia 1951-2010. Stosowane w metodyce rozkłady prawdopodobieństwa zostały wyprowadzone na drodze teoretycznej dla znanego i nieobciążonego uproszczeniami modelu losowego odwzorowującego w sposób adekwatny mechanizm powstawania badanej zmiennej losowej. Liczebność zbioru wyników obserwacji była dostatecznie duża dla przeprowadzenia weryfikacji rozkładu w całym interesującym obszarze zmienności badanego zjawiska. Warunki te w praktyce nie są spełnione. W takiej sytuacji funkcja rozkładu poza obszarem skrajnych obserwacji powinna być traktowana jako niesprawdzona hipoteza statystyczna.

Roczne przepływy maksymalne powinny być próbą prostą, dlatego też przed przystąpieniem do estymacji rozkładów, należy przeprowadzić testy sprawdzające. W programie testowano następujące hipotezy:

- ✓ równości dystrybuant podzielonego na części ciągu pomiarowego – test sumy rang Kruskala – Wallisa;

- ✓ braku trendu wartości średniej – test korelacji rangowej Spearmana na trend wartości średniej;
- ✓ braku trendu wartości wariancji – test korelacji rangowej Spearmana na trend wariancji;
- ✓ losowości ciągu pomiarowego – test serii;
- ✓ jednorodności ciągu pomiarowego – test Grubbsa – Becka.

Estymacja rozkładów prawdopodobieństwa

Badano zgodność rocznych przepływów maksymalnych z następującymi rozkładami:

- ✓ Persona III typu o funkcji gęstości:

$$f_1(x) = \frac{\beta^\lambda}{\Gamma(\lambda)} (x - \varepsilon)^{\lambda-1} e^{-\beta(x-\varepsilon)} \quad \text{z parametrami } \beta, \lambda, \varepsilon$$

gdzie: β – parametr skali, λ – parametr kształtu, ε – dolne ograniczenie

- ✓ Log-normalny o funkcji gęstości:

$$f_2(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}(x-\varepsilon)} e^{-\frac{(\ln(x-\varepsilon)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{z parametrami } \mu, \sigma, \varepsilon$$

gdzie: μ – parametr skali, σ – parametr kształtu, ε – dolne ograniczenie,

- ✓ Gumbela (Fishera – Tippetta I typu)

$$f_3(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\varepsilon)} e^{-e^{-\alpha(x-\varepsilon)}} \quad \text{z parametrami } \alpha, \varepsilon$$

gdzie: ε – parametr położenia, $\alpha, (\alpha > 0)$ – parametr skali

- ✓ GEV (Uogólnionych wartości ekstremalnych)

$$f_5(x) = \frac{1}{\sigma} \left(1 + \frac{\xi}{\sigma} (x - \mu) \right)^{-\frac{1}{\xi}-1} e^{-\left(1 + \frac{\xi}{\sigma} (x - \mu) \right)^{-\frac{1}{\xi}}} \quad \text{z parametrami } \mu, \sigma, \xi.$$

gdzie: μ – parametr położenia, σ – parametr skali, ξ – parametr kształtu.

Estymację nieznanymi parametrów przeprowadzono następująco:

- ✓ w rozkładzie Persona III typu dla danego dolnego ograniczenia (wartość mniejsza od ostatniego wyrazu uporządkowanego malejąco ciągu rozdzielczego) ε dwa pozostałe parametry β, λ estymowano metodą największej wiarygodności. Parametr ε dobrano tak, aby minimalizowane było kryterium informacyjne Akaike;
- ✓ w rozkładzie log-normalnym dla danego ε dwa pozostałe parametry μ, σ estymowano metodą największej wiarygodności. Parametr ε dobrano tak, aby minimalizowane było kryterium informacyjne Akaike;
- ✓ w rozkładzie Gumbela parametry α, ε estymowano metodą największej wiarygodności;
- ✓ w rozkładzie GEV parametry μ, σ, ξ estymowano metodą największej wiarygodności.

Jednostronny przedział ufności dla kwantyla rozkładu przepływów maksymalnych wyznaczono w oparciu o nierówność informacyjną Rao – Cramera. Przedział ufności wyznaczany jest na podstawie estymatorów wyznaczanych metodą największej wiarygodności.

Obliczenie napełnienia koryta rzeki Bug w miejscowości Niemirów

W celu skonstruowania krzywej natężenia przepływu w przekroju obliczeniowym przeprowadzono obliczenia napełnienia koryta i terenów zalewowych dla określonych poziomów zwierciadła wody. Obliczenia wykonano wg wzoru:

$$Q = F V$$

gdzie:

Q - przepływ w m³/s,

F - powierzchnia przekroju poprzecznego wg zdjęcia niwelacyjnego,

V - prędkość przepływu wody wg wzoru Manninga:

$$V = R^{2/3} I^{1/2} / n$$

gdzie:

R - promień hydrauliczny

I - spadek zwierciadła wody

n - współczynnik szorstkości

Współczynnik szorstkości przyjęto wg Manninga w zależności od charakteru koryta i pokrycia terenu zalewowego:

koryto główne	$n = 0,028$
terasa zalewowa lewa	$n = \text{od } 0,040 \text{ do } 0,070$
terasa zalewowa prawa	$n = \text{od } 0,035 \text{ do } 0,050$

Na podstawie wyników napełnienia koryta wykreślono krzywą natężenia przepływu w przekroju pomiarowym. Graficzną postać krzywej przedstawia rys.2.

Tabela 1

Przekrój poprzeczny rzeki Bug w miejscowości Niemirów

Odległość m	Rzędna m nad Kr.	Odległość m	Rzędna m nad Kr.	Odległość m	Rzędna m nad Kr.
0,0	129,40	1087,9	125,15	1705,1	119,46
34,0	128,38	1112,7	125,51	1708,7	119,56
34,0	127,23	1143,3	125,39	1712,6	119,6
37,2	126,08	1163,7	124,88	1716,6	119,53
38,1	126,05	1175,1	123,70	1720,8	119,58
41,9	127,31	1204,3	124,09	1725,0	119,54
145,1	127,58	1220,3	123,80	1729,1	119,62
187,2	127,78	1236,2	124,27	1733,0	119,56
199,4	126,83	1278,9	124,11	1736,7	119,48
242,3	126,66	1308,9	123,80	1740,5	119,54
246,7	127,05	1349,0	123,22	1744,2	119,59
249,9	126,70	1371,5	122,88	1748,0	119,58
252,3	125,69	1411,7	121,91	1752,0	119,49
253,6	125,62	1444,2	121,77	1756,0	119,5
255,4	126,50	1463,3	121,62	1760,3	119,52
355,4	127,40	1479,4	122,76	1764,8	119,52
410,9	126,41	1484,2	123,04	1769,4	119,57
447,3	126,92	1489,9	122,52	1773,4	119,61
502,3	126,90	1504,2	122,85	1777,0	119,65
561,0	125,63	1521,9	122,71	1781,4	119,7
594,4	125,59	1548,4	122,36	1786,1	119,75
606,8	125,33	1578,7	122,27	1791,9	119,74
608,1	124,63	1594,0	122,81	1797,2	119,78
609,4	124,65	1605,9	123,05	1808,5	119,83
611,0	125,34	1627,1	123,44	1808,5	119,84
612,7	125,60	1650,3	123,65	1812,1	119,85
771,9	125,14	1654,1	123,29	1814,4	119,85
863,1	125,06	1659,4	122,76	1816,3	119,97
868,9	125,64	1668,9	121,75	1817,4	120,56
884,2	125,33	1671,5	121,22	1819,0	120,61
914,1	125,48	1672,0	120,56	1824,5	120,90
926,0	125,44	1675,0	119,55	1828,3	121,87
929,1	124,15	1679,4	118,95	1837,2	122,99
931,5	124,15	1683,4	118,63	1843,0	125,43
933,9	125,59	1687,3	118,77	1849,6	128,51
935,1	125,75	1691,0	119,19	1861,8	128,53
977,0	125,78	1694,7	119,49	1869,2	131,62
1042,9	124,65	1698,3	119,59	1881,0	132,41
1063,7	124,87	1701,8	119,52	1890,5	131,66

Tabela 2

**Wyniki pomiaru natężenia przepływu rzeki Bug
w przekroju pomiarowym w miejscowości Niemirów**

Element pomiaru	Oznaczenie	Jednostka	Wartość
Rzędna zw. wody	$P_{z.w.}$	m nad Kr.	120,56
Powierzchnia przekroju	F	m ²	147,7
Szerokość zw. wody	B	m	145,40
Głębokość średnia	T_m	m	1,01
Głębokość maksymalna	T_{max}	m	1,97
Prędkość średnia	V_m	m/s	0,538
Prędkość maksymalna	V_{max}	m/s	0,980
Objętość przepływu	Q	m ³ /s	79,4
Spadek	I	‰	0,133

Data wykonania pomiaru 14 listopada 2012r.

Tabela 3

**Wartości przepływu średniego i przepływów maksymalnych rocznych
o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia
wraz z odpowiadającymi im rzędnymi zwierciadła wody**

Rzeka: **BUG**

Przekrój: **NIEMIRÓW**

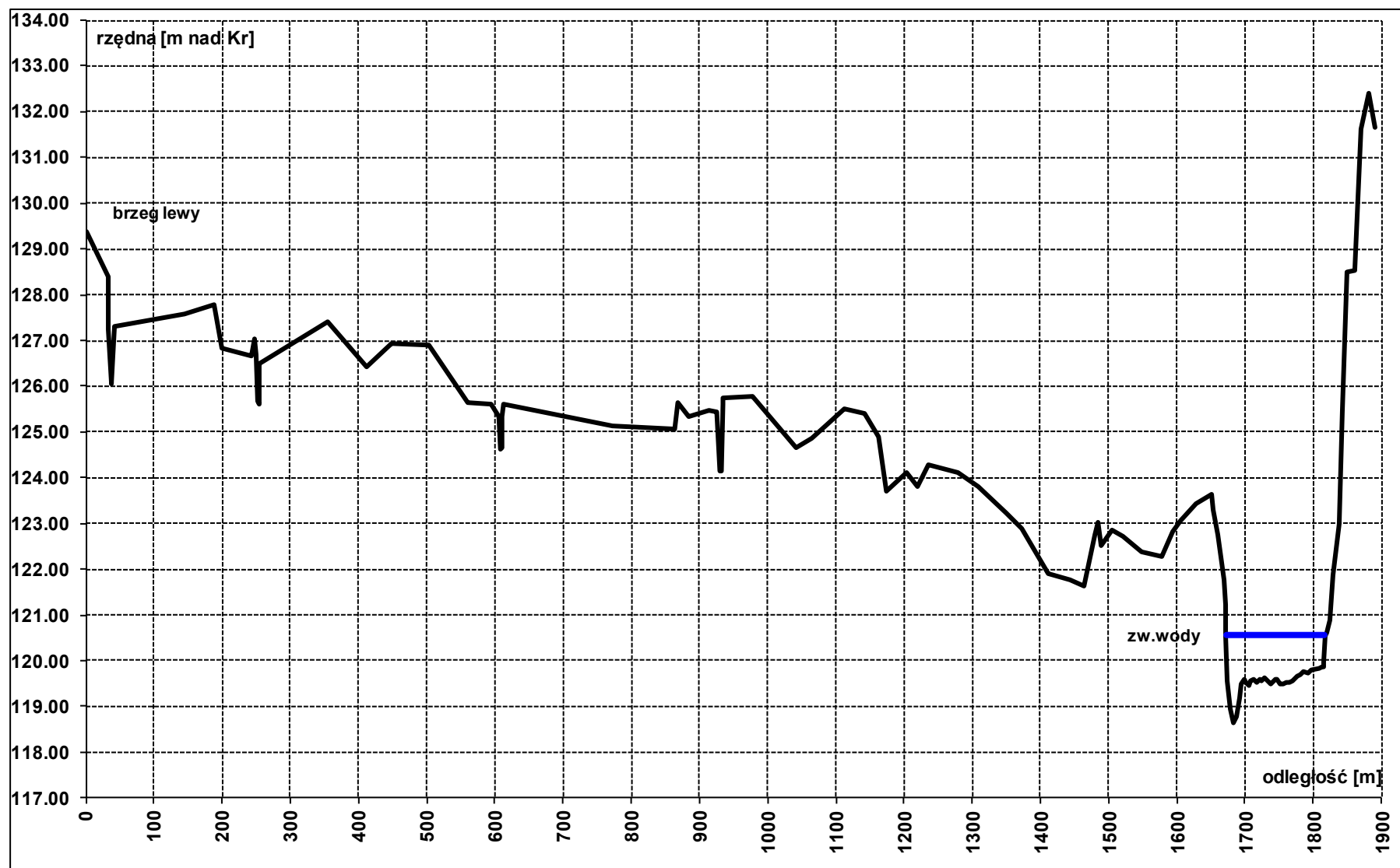
Powierzchnia zlewni: **$A = 29\,308,1\text{ km}^2$**

Km biegu rzeki: **198,08**

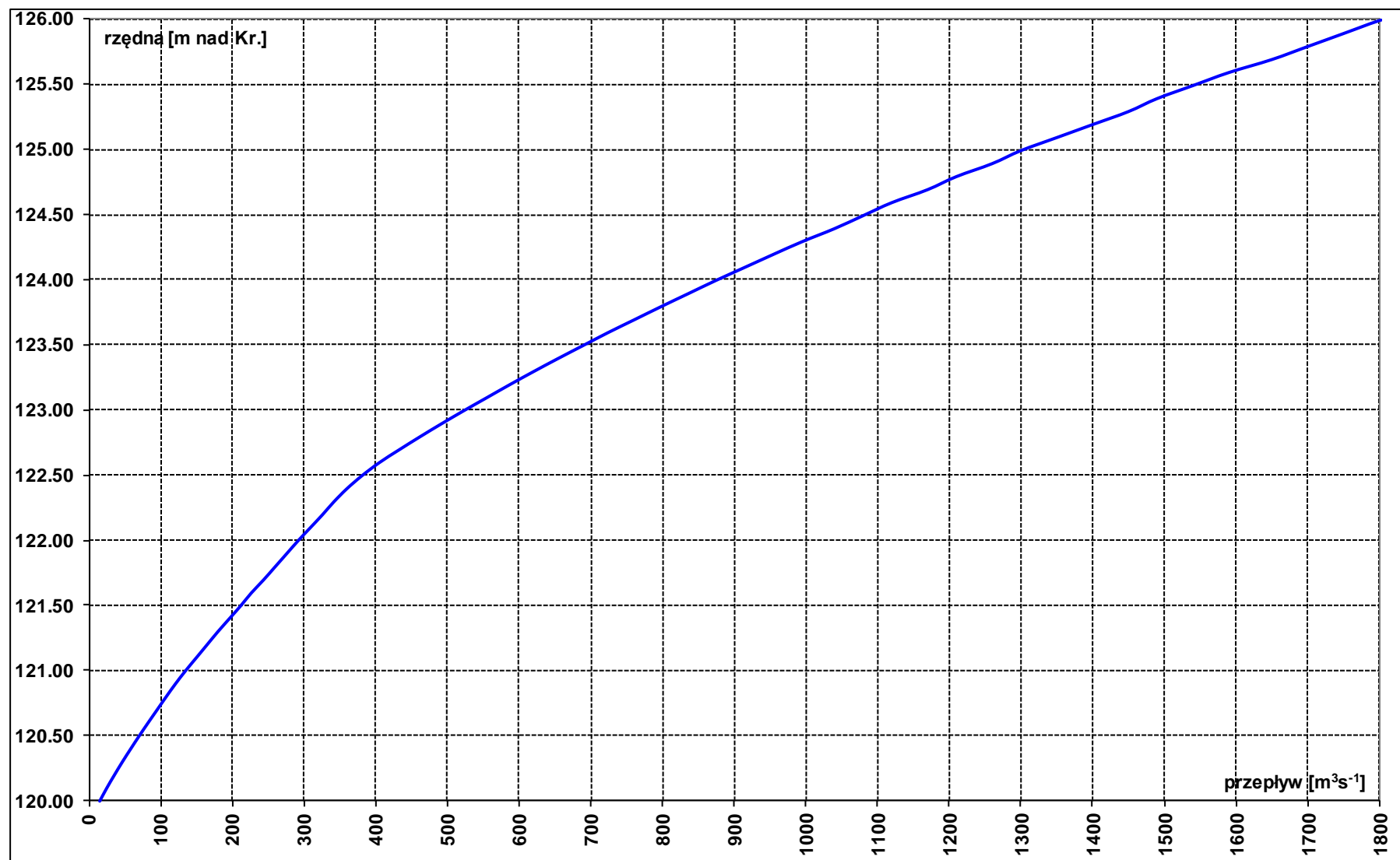
Oznaczenie przepływu	Przepływ [m ³ /s]	Rzędna zwierciadła wody [m nad Kr.]
Maksymalny roczny o prawdopodobieństwie przewyższenia 0,1%	1690	125,78
Maksymalny roczny o prawdopodobieństwie przewyższenia 1%	1220	124,81
Średni	119	120,88

Dla przekroju obliczeniowego kilometr biegu i powierzchnia zlewni wyznaczone zostały wg *Mapy Podziału Hydrograficznego Polski* (2005, ze zmianami).

Rys.1. Przekrój poprzeczny rzeki Bug w miejscowości Niemirów



Rys.2. Krzywa natężenia przepływu dla profilu obliczeniowego rzeki Bug w miejscowości Niemirów





Zdjęcie 1. Koryto rzeki Bug w przekroju obliczeniowym, widok na prawy brzeg



Zdjęcie 2. Przekrój obliczeniowy, widok na lewy brzeg



Zdjęcie 3. Rzeka Bug, widok w górę rzeki



Zdjęcie 4. Rzeka Bug, widok w dół rzeki