

**Wariantowa analiza wskazanych w „Planie zarządzania  
ryzykiem powodziowym dla obszaru dorzecza Wisły”  
zbiorników przeciwpowodziowych na rzece Prądniku  
w miejscowości Zielonki-Pękowice i rzece Garliczce  
w miejscowości Garlica Murowana gm. Zielonki**

Opracowali: mgr inż. Michał Malik  
Upewnienia do projektowania  
w specjalności konstrukcyjno-budowlanej  
nr 466/2001

mgr inż. Mikołaj Olbrych  
Kwalifikacje do wykonywania  
dokumentacji hydrologicznych  
Świadectwo nr 41/2004

mgr inż. Dagmara Buniowska

mgr inż. Dominika Turska



## SPIS ZAWARTOŚCI

<b>1. WSTĘP .....</b>	<b>5</b>
1.1. Przedmiot i zakres opracowania .....	5
1.2. Materiały wyjściowe do analizy zlewni Prądnika i Garliczki .....	6
<b>2. OBLICZENIA HYDROLOGICZNE .....</b>	<b>8</b>
2.1. Charakterystyka hydrograficzna.....	9
2.2. Model transformacji opadu.....	11
2.2.1. Przygotowanie danych wejściowych do modelu opad – odpływ. ....	12
2.2.2. Obliczenia – model zintegrowany opad-odpływ oraz model hydrauliczny HEC-HMS .....	32
2.2.3. Obliczenie przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla rzeki Prądnik w miejscowości Pękowice – IMGW .....	41
<b>3. KONCEPCJA ROZWIĄZAŃ ORAZ LOKALIZACJI ZBIORNIKA/KASKADY ZBIORNIKÓW .....</b>	<b>42</b>
3.1. Warianty budowy zbiorników .....	43
3.1.1. WARIANT 1 - 2 zbiorniki retencyjno – przeciwpowodziowe w układzie kaskadowym na Prądniku.....	46
3.1.2. WARIANT 2 - 2 zbiorniki retencyjno – przeciwpowodziowe w układzie kaskadowym na Prądniku.....	47
3.1.3. WARIANT 3 - 2 zbiorniki retencyjno – przeciwpowodziowe w układzie kaskadowym na Prądniku.....	48
3.1.4. Garliczka – 1 zbiornik retencyjno - przeciwpowodziowy .....	49
3.1.5. Widoki 3D.....	50
3.2. Parametry zbiorników i zapór.....	63
3.2.1. Prądnik – ZBIORNIK 1.....	63
3.2.2. Prądnik – ZBIORNIK 2.....	64
3.2.3. Garliczka – ZBIORNIK 3.....	65
3.3. Krzywe pojemności oraz parametry zbiorników .....	66
3.3.1. Prądnik – krzywa pojemności - ZBIORNIK 1 .....	66
3.3.2. Prądnik – krzywa pojemności - ZBIORNIK 2 .....	72
3.3.3. Garliczka – krzywa pojemności - ZBIORNIK 3 .....	74
<b>4. OBLICZENIA HYDRAULICZNE – SYMULACJE PRACY ZBIORNIKÓW .....</b>	<b>76</b>
4.1. Redukcja kulminacji fal .....	76
4.2. Podsumowanie redukcji przepływu dla wszystkich scenariuszy .....	79
4.3. Redukcja zagrożenia powodziowego .....	80
<b>5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....</b>	<b>85</b>

## ZAŁĄCZNIKI

Zał. 1 Obliczenie przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla rzeki Prądnik w miejscowości Pękowice. IMGW 11.2020.

## SPIS RYSUNKÓW

- Rys. 1. Plan orientacyjny.
- Rys. 2.1. Plan sytuacyjny. Zbiornik 1 i 2. Prądnik. Wariant 1.
- Rys. 2.2. Plan sytuacyjny. Zbiornik 1 i 2. Prądnik. Wariant 2.
- Rys. 2.3. Plan sytuacyjny. Zbiornik 1 i 2. Prądnik. Wariant 3.
- Rys. 2.4. Plan sytuacyjny. Zbiornik 3. Garliczka.
- Rys. 3.1. Profil podłużny. Zbiornik 1 i 2. Prądnik.
- Rys. 3.2. Profil podłużny. Zbiornik 3. Garliczka.
- Rys. 4.1. Profil. Zapora 1. Prądnik.
- Rys. 4.2. Profil. Zapora 2. Prądnik.
- Rys. 4.3. Profil. Mur oporowy. Prądnik. Wariant 2.

*Temat: Wariantowa analiza wskazanych w „Planie zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszaru dorzecza Wisły” zbiorników przeciwpowodziowych na rzece Prądniku w miejscowości Zielonki-Pękowice i rzece Garliczce w miejscowości Garlica Murowana gm. Zielonki*

Rys. 4.4. Profil. Zapora 3. Garliczka.

Rys. 5.1. Przekroje poprzeczne. Zbiornik 1. Prądnik. Arkusz I. Wariant 1.

Rys. 5.2. Przekroje poprzeczne. Zbiornik 1. Prądnik. Arkusz II. Wariant 1.

Rys. 5.3. Przekroje poprzeczne. Zbiornik 2. Prądnik.

Rys. 5.4. Przekroje poprzeczne. Zbiornik 3. Garliczka. Arkusz I.

Rys. 5.5. Przekroje poprzeczne. Zbiornik 3. Garliczka. Arkusz II.

## 1. WSTĘP

Niniejsze opracowanie pn.: *Wariantowa analiza wskazanych w „Planie Zarządzania Ryzykiem Powodziowym dla obszaru dorzecza Wisły” zbiorników przeciwpowodziowych na rzece Prądniku w miejscowości Zielonki-Pękowice i rzece Garliczce w miejscowości Garlica Murowana gm. Zielonki* powstało z uwagi na zgłoszoną przez Zamawiającego konieczność przeprowadzenia analiz wariantowych przedstawionych w PZRP rozwiązań technicznych, służących zwiększeniu retencji wody oraz zabezpieczeniu przeciwpowodziowemu w dolinie Prądnika i Garliczki. Niniejsze opracowanie zawiera szczegółowe analizy hydrologiczną i hydrauliczną.

### 1.1. Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem zamówienia, zgodnie z Umową jest wykonanie zadania pn.: *Wariantowa analiza wskazanych w „Planie Zarządzania Ryzykiem Powodziowym dla obszaru dorzecza Wisły” zbiorników przeciwpowodziowych na rzece Prądniku w miejscowości Zielonki-Pękowice i rzece Garliczce w miejscowości Garlica Murowana gm. Zielonki w zakresie:*

- opracowanie alternatywnych wariantów ukształtowania czaszy zbiorników (modelowanie Numerycznego Modelu Terenu 3D),
- określenie pracy zbiorników w analizowanych wariantach z wykorzystaniem modeli hydraulicznych 2D, bazujących na przygotowanych wariantach NMT,
- analiza stopnia ochrony przeciwpowodziowej w analizowanych wariantach,
- opracowanie wniosków i zaleceń.

Dodatkowo, w trakcie wykonywania ww. prac wspólnie z Zamawiających zdecydowano poszerzyć zakres opracowania o rozszerzoną analizę hydrologiczną, obejmującą zarówno zamówienie Obliczeń przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla rzeki Prądnik w miejscowości Pękowice w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej, jak i opracowanie modeli hydrologicznych, uwzględniających opady o różnym czasie trwania. Konieczność ta wynika z jednej strony faktu przyjęcia w PZRP wielkości przepływów o wartościach znacznie przewyższających te, które wynikają z analiz IMGW dla Prądnika, a z drugiej z przyjęcia w ramach PZRP jako miarodajnego opadu o tylko jednym czasie trwania 1 doby, co dla zlewni Prądnika i Garliczki wymaga weryfikacji (z uwagi na obserwowane szybkie powodzie, powodowane opadami o czasie trwania kilkugodzinnym i krótszym).

Opracowanie obejmuje koncepcję lokalizacji 2 zbiorników (kaskady zbiorników) na Prądniku oraz 1 zbiornika na Garliczce z uwzględnieniem kształtowania czaszy zbiorników w obu przypadkach.

Opracowanie zawiera:

- Pozyskanie danych wyjściowych niezbędnych do analizy zlewni Prądnika i Garliczki:
  - o dane IMGW - *Obliczenie przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla rzeki Prądnik w miejscowości Pękowice*,
  - o rozpoznanie budowy geologicznej, pokrycia zlewni rodzajami gleb,
  - o dane geodezyjne (numeryczny model terenu, ortofotomapa),
  - o dane o zagospodarowaniu zlewni,
- Wykonanie modelowych obliczeń hydrologiczno-hydraulicznych oraz wyznaczenie stref zagrożenia powodziowego dla określonego prawdopodobieństwa: 1% i 10% dla terenów położonych bezpośrednio poniżej zapory,
- Koncepcję rozwiązań oraz lokalizacji zbiornika/kaskady zbiorników na Prądniku i Garliczce, w odniesieniu do rozwiązań zaproponowanych w PZRP
- Wnioski.
- Część rysunkową:
  - o Plan orientacyjny,
  - o Plany sytuacyjne rozwiązań optymalnych,
  - o Profile podłużne i poprzeczne wzdłuż wykopów,
  - o Profile wzdłuż zapór i muru oporowego.

## 1.2. Materiały wyjściowe do analizy zlewni Prądnika i Garliczki

- Obliczenie przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla rzeki Prądnik w miejscowości Pękowice. IMGW 11.2020.
- Numeryczny Model Terenu.
- Plan Zarządzania Ryzykiem Powodziowym w dorzeczu Wisły, KZGW,
- Wielowariantowy program inwestycyjny wraz z opracowaniem strategicznej oceny oddziaływania na środowisko dla cieków Aglomeracji Krakowskiej z wyłączeniem rzeki Wisły, Arcadis,
- Materiały własne.
- Ustawa Prawo Wodne
- Mapa topograficzna Polski w skali 1:25000, 1:10 000,
- Mapa hydrograficzna w skali 1:50000,

---

*Temat: Wariantowa analiza wskazanych w „Planie zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszaru dorzecza Wisły” zbiorników przeciwpowodziowych na rzece Prądniku w miejscowości Zielonki-Pękowice i rzece Garliczce w miejscowości Garlica Murowana gm. Zielonki*

- Atlas podziału Hydrograficznego Polski,
- BDOT (Baza Danych o Terenie)
- HEC-HMS User's Manual,
- HEC-RAS User's Manual,

## 2. OBLICZENIA HYDROLOGICZNE

W związku z faktem, że zlewnia Prądnika jest zlewnią obecnie niekontrolowana, o nietypowym, krasowym charakterze, odbiegającym charakterem od sąsiednich zlewni, przeprowadzanie obliczeń przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia metodami empirycznymi jest obarczone dużą niepewnością. Do roku 1999 w Krakowie funkcjonował wodowskaz, z którego dane, jako cenny materiał informacyjny powinny być brane pod uwagę przy ocenie wielkości przepływów kulminacyjnych.

Wartości przepływów kulminacyjnych, przyjęte do analiz prowadzonych w ramach opracowania *Wielowariantowego programu inwestycyjnego wraz z opracowaniem strategicznej oceny oddziaływania na środowisko dla cieków Aglomeracji Krakowskiej z wyłączeniem rzeki Wisły* określono na podstawie opracowanego modelu hydrologicznego typu „opad-odpływ”, w którym określono falę o kulminacji na poziomie przepływu „wody stuletniej”. Wejściem do modelu był opad dobowy o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p=1\%$ . Z uwagi na fakt, że obserwowane, historyczne powodzie w Zielonkach są zwykle efektem deszczów o krótszym czasie trwania, w ramach niniejszego opracowania, a również w celu określenia przepływów maksymalnych o innych poziomach prawdopodobieństwa zachodzi konieczność wykonania rozszerzonych analiz hydrologicznych.

Przedmiotem tych obliczeń hydrologicznych i hydraulicznych jest analiza warunków, panujących w zlewniach i korytach Prądnika i Garliczki.

W ramach obliczeń hydrologicznych i hydraulicznych wykonano zatem szereg odpowiednich analiz.

- wykonanie modelu całości hydrologicznego zlewni w celach modelowania opadu w odpływ i określenia przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia w dowolnym przekroju, dla kilku scenariuszy opadowych,
- wykonanie modelu hydraulicznego koryta i doliny zlewni (stan aktualny) w celach modelowania hydraulicznego przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia i określenia zagrożenia powodziowego,
- optymalizacja lokalizacji ewentualnych lokalizacji zbiorników retencyjnych (określenie możliwej i wymaganej pojemności retencyjnej, określenie stopnia redukcji przepływów powodziowych),
- optymalizacja pracy zaproponowanych zbiorników retencyjnych,
- analizy skuteczności działania zaproponowanych rozwiązań,



- odniesienie się do planowanych inwestycji w obszarze zbiorników,
- - odniesienie się do wartości przepływów, obliczonych w ramach wcześniejszych opracowań oraz opracowania IMGW.

## 2.1. Charakterystyka hydrograficzna

### PRĄDNIK

Prądnik (w dolnym biegu na obszarze Krakowa pod nazwą Białuża) – rzeka w województwie małopolskim, na Wyżynie Krakowsko - Częstochowskiej, lewy dopływ Wisły. Źródła znajdują się we wsi Sułoszowa na Wyżynie Olkuskiej. W górnym biegu płynie głębokim wąwozem (Dolina Prądnika na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego). Rzeka uchodzi do Wisły w Krakowie w okolicach Dąbia. Największymi dopływami rzeki Prądnik są: Dopływ ze Skały, Sąspówka, Korzkiewka i Garliczka.

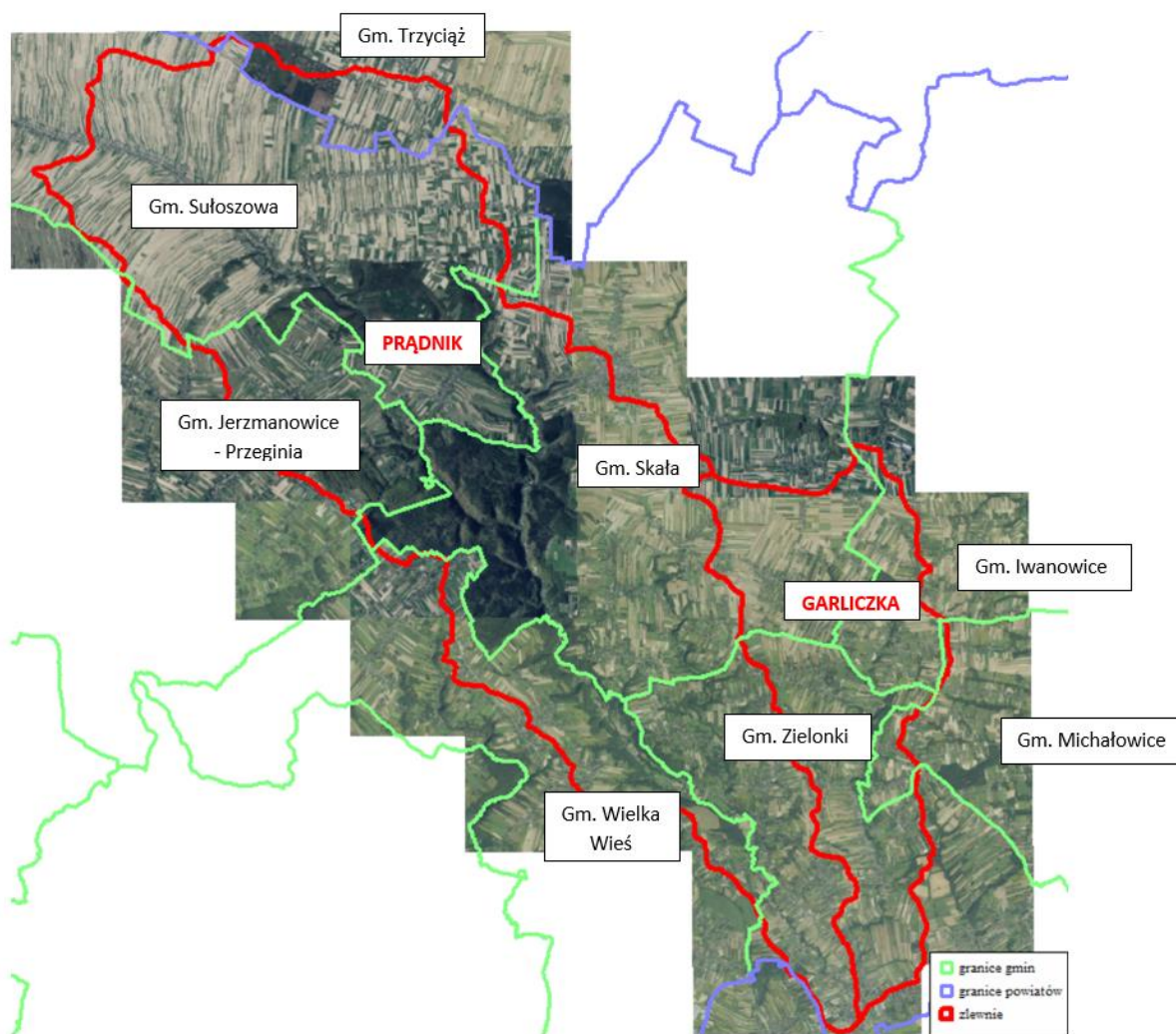
Nad Prądnikiem usytuowane są miejscowości: Sułoszowa, Pieskowa Skała, Ojców, Prądnik, Korzkiewski, Giebułtów, Januszowice, Pękowice i Zielonki oraz dzielnice Krakowa: Prądnik Biały, Prądnik Czerwony, Stare Miasto i Grzegórzki.

Zlewnia Prądnika do analizowanego przekroju (ok 10+439 km rzeki, zgodnie z Mapą Podziału Hydrograficznego Polski) ma powierzchnię 135.65 km<sup>2</sup>.

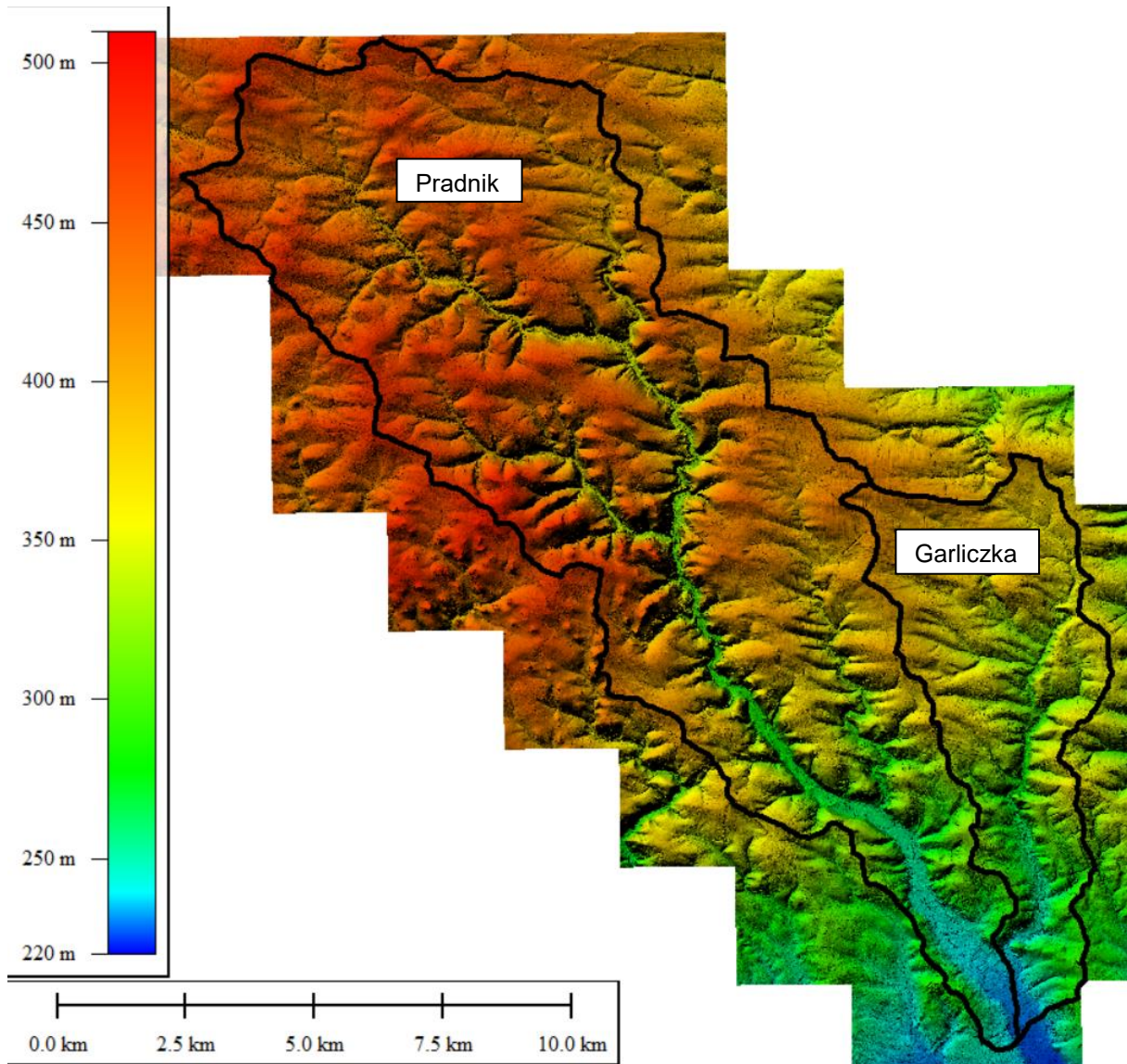
### GARLICZKA

Garliczka to lewy dopływ Prądnika o długości około 7.85 km i powierzchni zlewni 27.823 km<sup>2</sup>. Potok uchodzi do Prądnika w centrum Zielonek.

Na Rys. 1 przedstawiono zlewnię Garliczki i Prądnika na tle granic podziału administracyjnego (powiat krakowski - gmina: Sułoszowa, Jerzmanowice – Przegonia, Skała, Iwanowice, Zielonki, Michałowice, Wielka Wieś; powiat olkuski – gmina: Trzyciąż).



Rys.1 Zlewnia Garliczki i Prądnika do analizowanych przekrojów na tle ortofotomapy. Podział administracyjny (powiat krakowski - gmina: Sułoszowa, Jerzmanowice – Przegonia, Skąła, Iwanowice, Zielonki, Michałowice, Wielka Wieś; powiat olkuski – gmina: Trzyciąż).



Rys.2 Zlewnia Garliczki i Prądnika do analizowanych przekrojów na tle numerycznego modelu terenu.

## 2.2. Model transformacji opadu

Obliczenia w analizowanych zlewniach niekontrolowanych dokonano z wykorzystaniem modeli matematycznych typu opad-odpływ. Problem symulacji hydrogramu odpływu powierzchniowego (stworzenie hydrogramu hipotetycznego) rozwiązano metodą hydrogramu jednostkowego.

W tym celu skorzystano z oprogramowania HEC-HMS opracowanego przez Korpus Inżynierów Armii Amerykańskiej.

Przy opracowaniu danych wejściowych do modelu kierowano się następującymi zasadami:

- w obliczeniach przyjęto założenie o równości prawdopodobieństwa wystąpienia opadu i wywołanego nim wezbrania (w ramach przyjętego przedziału czasowego),
- do obliczeń przyjęto opad o prawdopodobieństwie wystąpienia 1% i 10% o czasie trwania 3h, 6h, 12h i 24h,
- rozkład wysokości opadu 24 godzinnego w czasie (hietogramy hipotetyczne) dokonano wykorzystując metodę zaproponowaną przez DVWK. Zgodnie z podanymi tam zasadami przez pierwsze 30% czasu trwania opadu wystąpi 20% jego wysokości. Po czasie równym połowie trwania opadu pojawi się 70%, a pozostałe 30% całkowitego opadu wystąpi w drugiej połowie czasu trwania zjawiska [DVWK 1985]. Dla deszczy o krótszym czasie trwania przyjęto stały rozkład w czasie.

Dla celów modelowania transformacji opadu całkowitego w opad efektywny wybrano szeroko stosowaną na świecie metodę SCS. Opadem efektywnym nazywamy tę część średniego opadu całkowitego, która poprzez spływ powierzchniowy kształtuje hydrogram odpływu powierzchniowego. Wysokość opadu efektywnego obliczono na podstawie pokrycia gleb i zagospodarowania terenu w zlewni modelem o parametrach rozłożonych, odejmując od opadu całkowitego wysokość intercepcji, infiltracji i lokalną retencję powierzchniową.

### 2.2.1. Przygotowanie danych wejściowych do modelu opad – odpływ.

#### **GLEBY**

- Dane wejściowe do modelu tj. opad efektywny określono metodą SCS-CN, z uwzględnieniem wpływu zagospodarowania terenu, rodzaju gleb, charakteru pokrywy roślinnej oraz stanu uwilgotnienia zlewni - do obliczeń przyjęto I i II stopnia uwilgotnienia gruntu (AMC I i AMC II). W przypadku długiego opadu dobowego jako odpowiedni przyjęto stopień uwilgotnienia gruntu jako stopień I, w przypadku opadów kilkugodzinnych przyjęto stopień II:
  - AMC I – najmniejsza możliwość wystąpienia odpływu powierzchniowego. Brak opadów w dobach poprzednich,
  - AMC II – warunki przeciętne, stan zalecany do określania przepływów miarodajnych do projektowania obiektów hydrotechnicznych i projektowania stref zagrożenia powodziowego,



- AMC III – największa możliwość wystąpienia odpływu powierzchniowego, ziemia nasycona wodą z poprzednich opadów.
- Identyfikację rodzaju gleb przeprowadzono w oparciu o mapę glebowo - rolniczą w skali referencyjnej 1:50 000 opracowaną w Instytucie Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Bazując na typach gleb zawartych w przedmiotowej mapie dokonano ich agregacji, a następnie przypisano je do jednej z 4 grup (A, B, C, D) wymaganych przez metodę SCS-CN:
- A - Gleby charakteryzujące się dobrą przepuszczalnością i dużymi współczynnikami filtracji; do których zaliczamy głębokie piaski, piaski z niewielką domieszką gliny, żwiry, głębokie lessy.
  - B - Gleby o przepuszczalności powyżej średniej i średnim współczynniku filtracji. Należą do nich gleby piaszczyste średnio głębokie, płytkie lessy oraz ropy piaszczyste
  - C - Gleby o przepuszczalności poniżej średniej jak gleby uwarstwione z wkładkami słabo przepuszczalnymi, ropy gliniaste, płytkie ropy piaszczyste, gleby o niskiej zawartości części organicznych, gliny o dużej zawartości części ilastych
  - D - Gleby o bardzo niskiej przepuszczalności i małym współczynniku filtracji. Są to gleby gliniaste, gliny pylaste, gliny zasolone, gliny uwarstwione z wkładkami nieprzepuszczalnymi.

*Tab. 1 Przyporządkowanie rodzaju gleb do grupy glebowej*

<b>Symbol gleby</b>	<b>Rodzaj/gatunek gleby lub typ gleby</b>	<b>Grupa gleb (NRCS)</b>
żp <sup>1)</sup>	żwiry piaszczyste	A
żg <sup>1)</sup>	żwiry gliniaste	A
pl <sup>1)</sup>	piaski luźne	A
ps <sup>1)</sup>	piaski słabo gliniaste	B
pgl <sup>1)</sup>	piaski gliniaste lekkie	B
pgm <sup>1)</sup>	piaski gliniaste mocne	B
pgmp <sup>1)</sup>	piaski gliniaste mocne pylaste	B
gl <sup>1)</sup>	gliny lekkie	C
glp <sup>1)</sup>	gliny lekkie pylaste	C
gs <sup>1)</sup>	gliny średnie	D

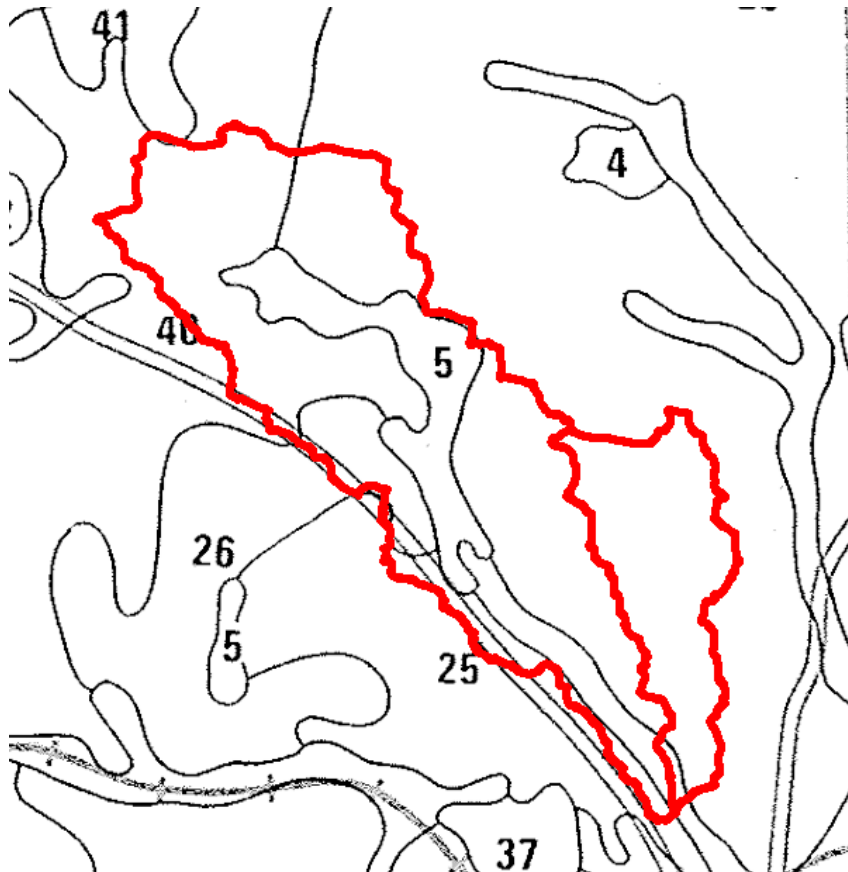
gsp <sup>1)</sup>	gliny średnie pylaste	D
gc <sup>1)</sup>	gliny ciężkie	D
gcp <sup>1)</sup>	gliny ciężkie pylaste	D
i <sup>1)</sup>	iłły zwykłe	D
ip <sup>1)</sup>	iłły pylaste	C
płz <sup>1)</sup>	pyły zwykłe	B
płi <sup>1)</sup>	pyły ilaste	C
ls <sup>2)</sup>	lessy zwykłe	B
li <sup>2)</sup>	lessy ilaste	C
bl <sup>2)</sup>	Rędziny bardzo lekkie/mady bardzo lekkie	A
l <sup>2)</sup>	rędziny lekkie/mady lekkie	B
s <sup>2)</sup>	rędziny średnie/mady średnie	B
c <sup>2)</sup>	rędziny ciężkie/mady ciężkie	C

<sup>1)</sup> Oznaczenia pochodzące z mapy glebowo - rolniczej w skali referencyjnej 1:100 000 oraz 1:500 000 opracowane w Instytucie Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach

<sup>2)</sup> Oznaczenia pochodzące z Polskiej Mapy Gleb w skali 1:500 000 opracowanej pod redakcją B. Dobrzański (przewodniczący) i in (1972 r.).

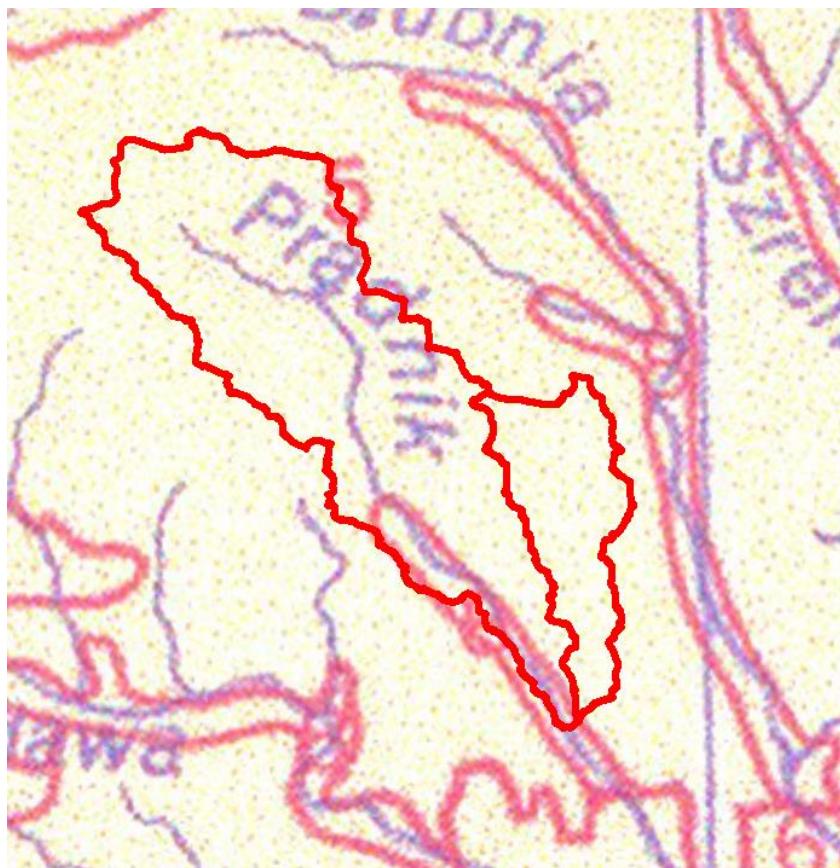
Przy identyfikacji klasy glebowej skorzystano dodatkowo z podziału gleb opracowanego przez Ignara [1988], który umożliwia bezpośrednie stosowanie metody SCS w warunkach polskich.

Na analizowanym terenie występują gleby gliniaste, ilaste oraz rędziny. Poniżej na rysunku przedstawiono podział na rodzaje gleb w zlewni oraz przyjęty uproszczony schemat z podziałem na gleby **B i C**.



Rys.3 Zlewnia Garliczki i Prądnika do analizowanych przekrojów  
 na tle mapy glebowej 1:50 000

5	Rędziny z utworów jurajskich i triasowych
9	Mady pyłowe, gliniaste i ilaste
25	<b>GLEBY WYTWORZONE Z LESSÓW</b>
26	<b>GLEBY WYTWORZONE Z UTWORÓW LESSOWATYCH</b>
40	<b>GLEBY WYTWORZONE Z LESSÓW</b>



Rys.4 Zlewnia Garliczki i Prądnika do analizowanych przekrojów na tle mapy glebowej 1:100 000

5	$\varphi = 0,55$ Lessy i pyły
6	$\varphi = 0,88$ Gliny i ily

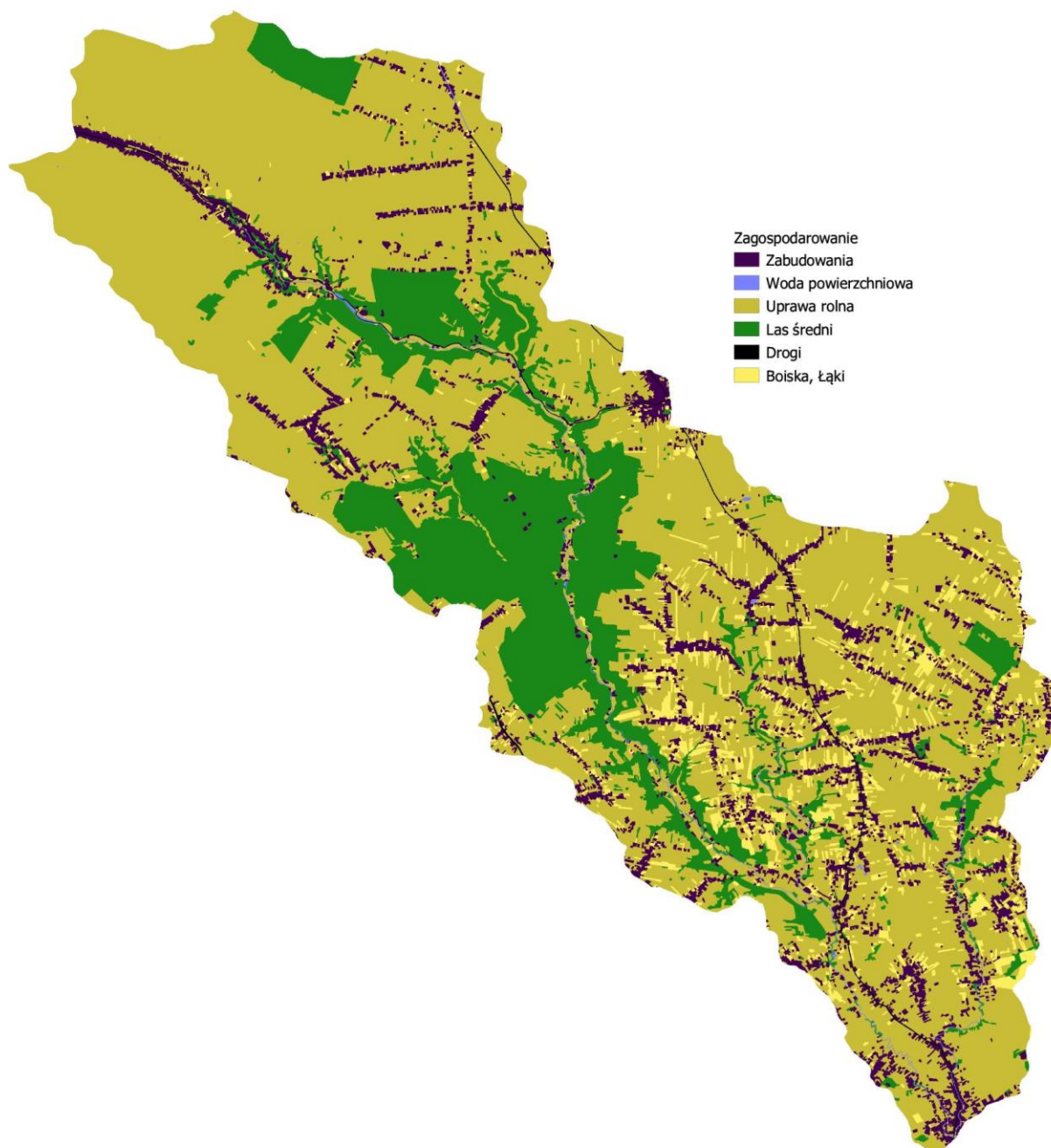




*Rys.5 Rodzaj gleb w zlewni Prądnika i Garliczki*

### **Szacowanie parametru CN**

Klasy zagospodarowania terenu, użyte dla celów modelowania hydraulicznego opracowano w oparciu o bazę danych BDOT (wykonanej na bazie danych wektorowych), o bardzo dużym stopniu szczegółowości, zweryfikowaną dodatkowo przez wykonaną analizę aktualnej ortofotomapy.



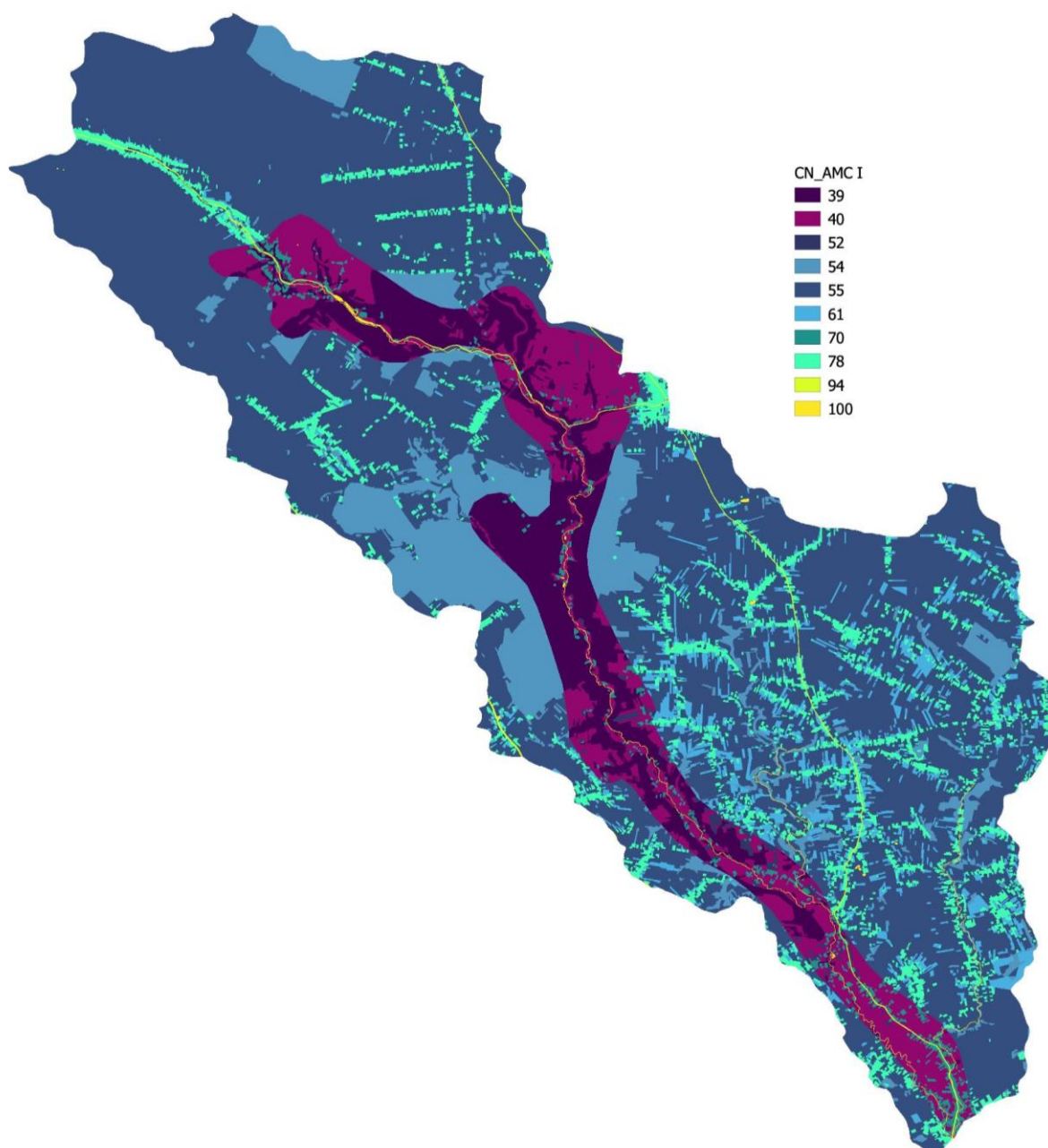
*Rys.6 Zagospodarowanie terenu w zlewni Prądnika i Garliczki.*

Na podstawie grupy glebowej oraz klasy zagospodarowania terenu wyznaczono parametr CN. Parametr ten przyjmuje wartości od 0 do 100, przy czym CN = 100 oznacza stan pełnego uwilgotnienia zlewni, a zatem w takim przypadku opad efektywny jest równy opadowi całkowitemu.

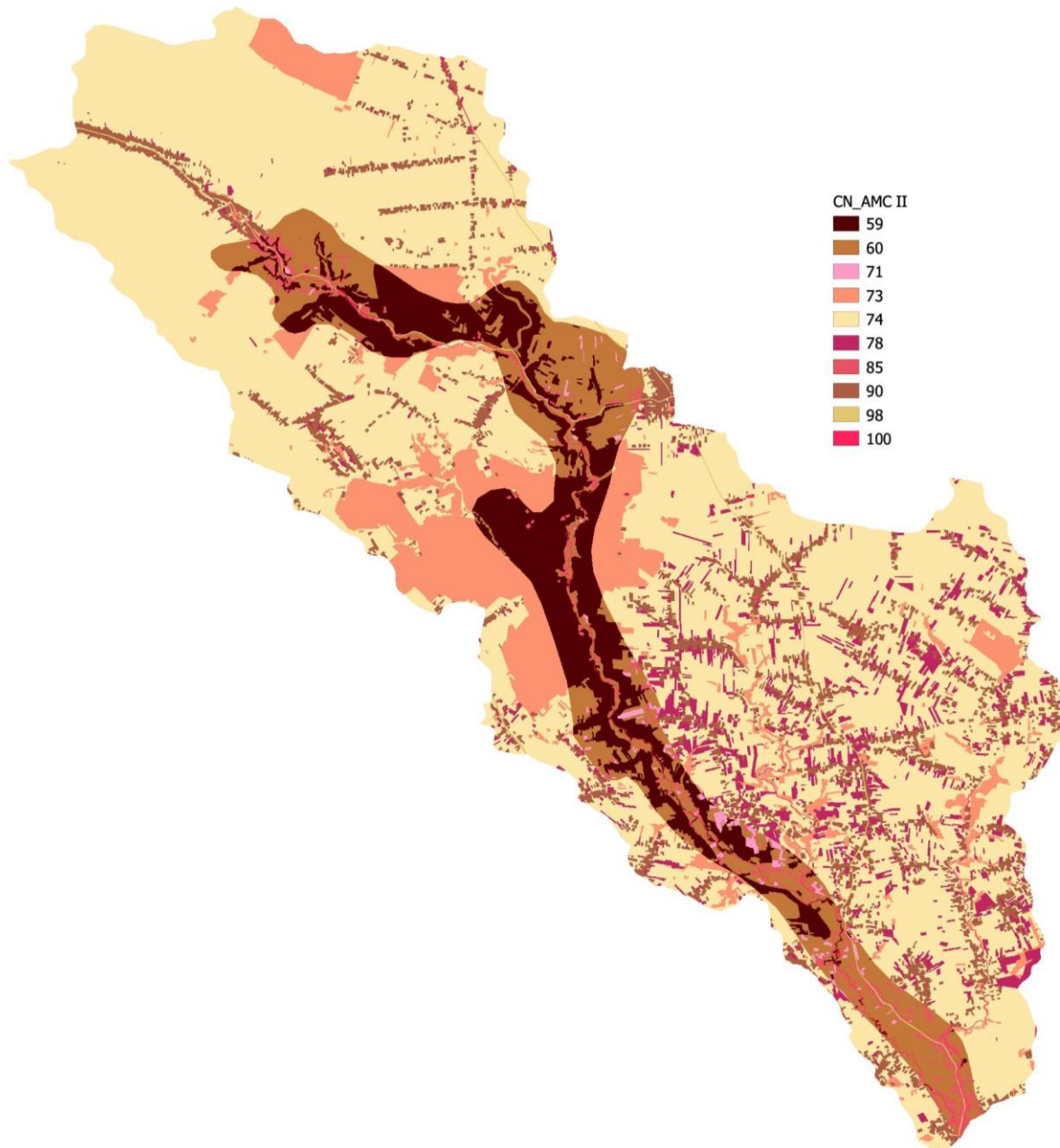
Tab. 2. Wartości parametru CN w zależności od klasy użytkowania terenu i grupy glebowej

Rodzaj zagospodarowania	AMC I		AMC II	
	Gleba B	Gleba C	Gleba B	Gleba C
Zabudowania	70	78	85	90
Woda powierzchniowa	100	100	100	100
Grunty rolne	40	55	60	74
Las średni	39	54	59	73
Drogi	94	94	98	98
Boiska, łąki	52	61	71	78

Każdemu rodzajowi określonego pokrycia-zagospodarowania powierzchni zlewni, w zależności od rodzaju gleby przypisano wartość SCS-CN. Do celów modelowania hydrologicznego wartość CN przyjmowano jako średnią arytmetyczną. Obliczenia wykonano przy pomocy narzędzi GIS, wykonując analizy strefowe średniej wartości współczynnika CN dla każdego obszaru zlewni.



Rys.7 Wartość CN w zlewni Prądnika i Garliczki (wskaźnik uwilgotnienia - AMC I)



Rys.8 Wartość CN w zlewni Prądnika i Garliczki (wskaźnik uwilgotnienia - AMC II)

Dla każdej podzlewni określono średnią wartość parametru CN.

$$CN = CN_{sr} = \frac{CN_r A_r}{A}$$

gdzie:

$CN_{sr}$  - średnia wartość parametru CN,

$CN_r$  - wartość parametru CN,

$A_r$  - powierzchnia jednostki zadaniowej w  $km^2$ ,

$A$  - całkowita powierzchnia zlewni w  $km^2$ .



Obliczenia wykonano przy pomocy narzędzi GIS, wykonując analizy strefowe średniej wartości współczynnika CN dla każdego obszaru analizy.

W kolejnym kroku wyznaczono potencjalną retencję zlewni oraz wysokość strat początkowych, a następnie natężenie opadu efektywnego, według wzorów zamieszczonych poniżej:

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

gdzie:

S - maksymalna retencja zlewni [mm]

CN – parametr modelu

Opad efektywny  $H_t$  po czasie  $t = i \Delta t$  (gdzie  $\Delta t$  jest przyjętym przedziałem czasowym, a  $i$  jest liczbą przedziałów) obliczamy ze wzoru:

$$\begin{cases} H_t = \sum_{j=1}^i \Delta H_j = 0 & \text{gd}y \ (P_t - 0.2S) \leq 0 \\ H_t = \sum_{j=1}^i \Delta H_j = \frac{(P_t - 0.2S)^2}{P_t + 0.8S} & \text{gd}y \ (P_t - 0.2S) > 0 \end{cases}$$

gdzie:

$H_t$  - wysokość średniego w zlewni opadu efektywnego w przedziale czasu (0, t) w mm,

$P_t$  - wysokość opadu średniego w zlewni w przedziale czasu (0, t), w mm,

$\Delta H_j$  - wysokość opadu efektywnego w przedziale  $\Delta t$  w mm,

Z podanych zależności obliczono wartość parametru CN zależną od rodzaju gleb i użytkowania powierzchni z tablic opracowanych przez SCS.

Określenie retencji S odbywa się automatycznie w ramach modelu HMS.

Dla określenia czasu opóźnienia dla każdej podzlewni posłużono się formułą SCS:

$$T_{lag} = \frac{(L * 3,28 * 10^3)^{0.8} * \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1900 * \sqrt{I}}$$

gdzie:

$T_{lag}$  - czas opóźnienia [h]

L – maksymalna długość drogi spływu [km]

I - średni spadek zlewni [%]

CN - parametr zależny od klasy glebowej, pokrycia terenu i warunków hydrologicznych [-]

3,28 - przelicznik [1 metr = 3,28083989501 stopy]

Długości zlewni określono przy pomocy narzędzi GIS, wykonując analizy najdłuższej drogi spływu w każdym obszarze (oczko siatki analizowanego modelu terenu – 1 m).

Dla określenia hydrogramów odpływu z poszczególnych zlewni wykorzystano oprogramowanie opracowane przez Ośrodek Inżynierii Hydrologicznej Korpusu Inżynierskiego Armii Stanów Zjednoczonych - HEC-HMS 4.6.1

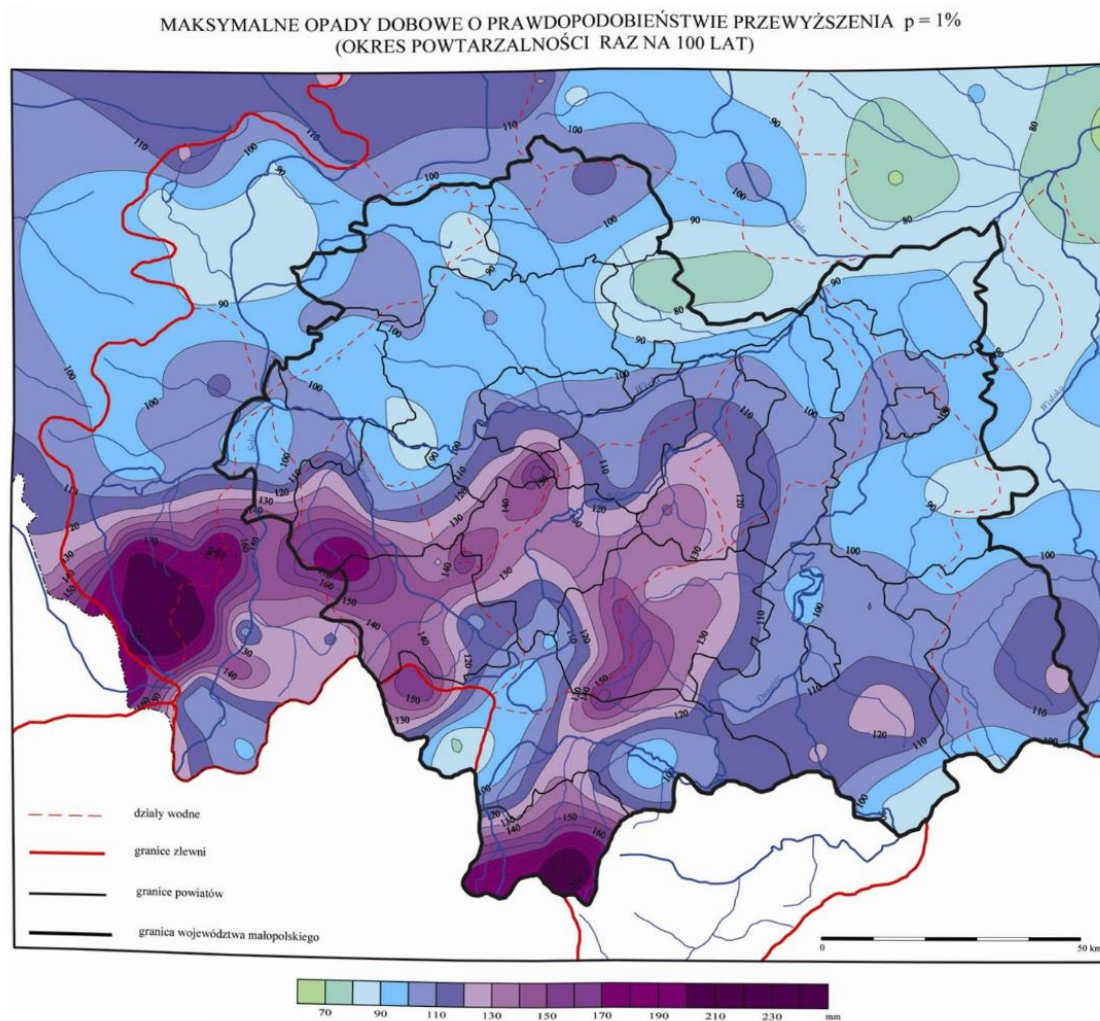
Poszczególne parametry niezbędne do wykonania obliczeń przedstawiają poniższe tabele:

*Tabela 1. Parametry podzlewni*

Nazwa zlewni MPHP	Powierzchnia zlewni [km <sup>2</sup> ]	średni spadek zlewni [%]	Max długość drogi pływu [km]	AMC I			AMC II		
				Średni CN [-] AMC I	Tłag [min]	Prędkość [m/s]	Średni CN [-] AMC II	Tłag [min]	Prędkość [m/s]
Prądnik do dopływu ze Skały	44.661	10.80	12.071	53.79	222.9	0.90	72.46	137.3	1.47
Dopływ ze Skały	2.622	12.57	2.498	48.59	66.9	0.62	67.02	41.8	1.00
Prądnik od dopływu ze Skały do Sąsłówki	5.975	19.10	3.327	48.87	67.7	0.82	68.03	41.5	1.34
Sąsłówka	13.374	16.63	7.252	55.17	115.4	1.05	73.74	71.0	1.70
Prądnik od Sąsłówki do Korzkiewki	16.671	17.85	8.899	51.03	145.7	1.02	69.66	90.3	1.64
Korzkiewka	16.198	10.55	11.73	58.46	195.9	1.00	76.29	121.7	1.61
Białucha od Korzkiewki do Garliczki	8.325	11.20	6.486	55.05	129.0	0.84	72.86	81.1	1.33
Garliczka	27.823	10.31	14.602	58.17	237.9	1.02	76.11	147.5	1.65

## **OPADY**

Maksymalny opad dobowy wyznaczono na podstawie publikowanej mapy opadów maksymalnych o prawdopodobieństwie przewyższenia p=1% (Rys. 9).



*Rys.9 Mapa maksymalnych opadów dobowych o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p=1\%$  (województwo małopolskie).*

Z uwagi na konieczność oszacowania wysokości opadów prawdopodobnych o innych czasach trwania niż 24 godziny zdecydowano się wykorzystać szeroko stosowany model Bogdanowicz i Stachy.

#### Model Bogdanowicz i Stachy

Bogdanowicz i Stachy, na podstawie ogólnopolskich pomiarów deszczy w latach 1960 – 1990 na 20 stacjach meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, opublikowali w 1998 roku tzw. „charakterystyki projektowe” opadów, w postaci modelu probabilistycznego maksymalnych wysokości, będących kwantylem przyjętego rozkładu prawdopodobieństwa Weibulla:

$$h_{max} = 1.42t^{0.33} + \alpha(R, t) * (-\ln p)^{0.584}$$



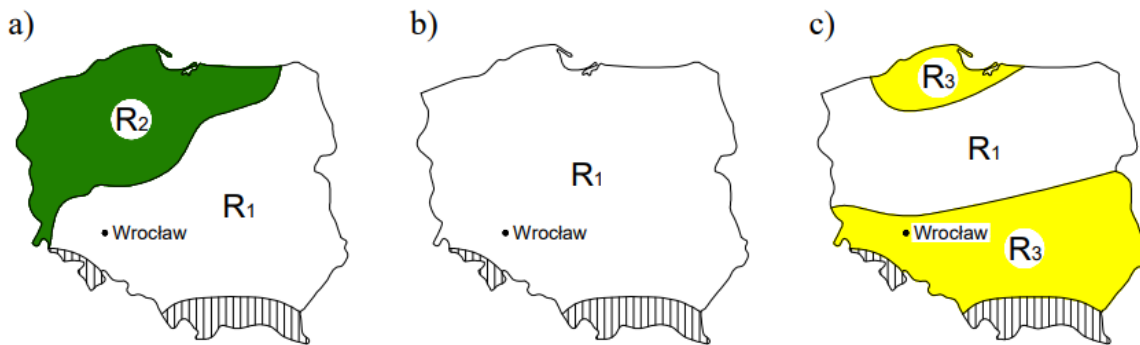
Gdzie:

$h_{max}$  – maksymalna wysokość opadu, mm,

$t$  – czas trwania deszczu, min,

$p$  – prawdopodobieństwo przewyższenia opadu:  $p \in (0;1)$

$\alpha$  – parametr (skali) zależny od regionu Polski (wg rys. 10) i czasu  $t$



Rys.10 Regiony opadów maksymalnych: a) dla czasów trwania deszczu  $t \in [5;60]$  min; b) dla  $t \in [60;720]$  min; c) dla  $t \in [720; 4320]$  min ( $R_1$  – region centralny;  $R_2$  – region północno – zachodni;  $R_3$  – regiony południowy i nadmorski)

Do opracowania modelu przyjęto za podstawę 31 opadów maksymalnych, po jednym największym, z każdego roku obserwacji (1960-1990), dla każdej z 20 stacji meteorologicznych IMGW. Po szeregowaniu malejąco przedziałowych wartości wysokości opadów w 14 interwałach czasowych (od 5 minut do 72 godzin), deszcz syntetyczny na 31 pozycji otrzymał prawdopodobieństwa przewyższenia  $p=1$  (czyli częstość występowania  $C = 1$  rok). Tak więc dla  $p=1$  model upraszcza się do funkcji, będącej dolnym ograniczeniem rozkładu prawdopodobieństwa Weibulla, postaci:

$$h_{max} = 1.42t^{0.33}$$

Dla prawdopodobieństw przewyższenia  $p < 1$  (czyli dla  $C > 1$ ) w regionie centralnym Polski ( $R_1$ ) parametr  $\alpha$  obliczany jest ze wzorów (rys. 2.1):

$$\alpha(R, t) = 4.693 \ln(t + 1) - 1.249, \text{ dla } t \in [5; 120] \text{ min}$$

$$\alpha(R, t) = 2.223 \ln(t + 1) - 10.639, \text{ dla } t \in [120; 1080] \text{ min}$$

$$\alpha(R, t) = 3.01 \ln(t + 1) - 5.173, \text{ dla } t \in [1080; 4320] \text{ min}$$

Analogicznie, dla regionu północno – zachodniego ( $R_2$ ) parametr  $\alpha$  obliczany jest ze wzoru:

$$\alpha(R, t) = 3.92 \ln(t + 1) - 1.662, \text{ dla } t \in [5; 30] \text{ min}$$

Przy czym „region północno – zachodni” zanika po 30 minutach trwania opadów, a po czasie jednej godziny „przechodzi do regionu centralnego” ( $R_1$ ). Implikuje to powstanie nieciągłości w przebiegu parametru  $\alpha$  w tym przedziale czasu, a co za tym idzie również  $h_{max}$ . Problem rozwiązano dokonując interpolacji  $\alpha$  funkcją o równaniu:

$$\alpha(R, t) = 9.160 \ln(t + 1) - 19.6, \text{ dla } t \in [30; 60] \text{ min}$$

co jest rozwiązaniem bezpiecznym, przynoszącym wartości wyższe w stosunku do zamierzonych.

Dla regionów południowych i nadmorskich ( $R_3$ ) parametr  $\alpha$  obliczany jest ze wzoru:

$$\alpha(R, t) = 9.472 \ln(t + 1) - 37.032, \text{ dla } t \in [720; 4320] \text{ min}$$

Model nie obejmuje jednak obszarów górskich, zakreskowanych na rysunku powyżej.

Poniżej w tabelach przedstawiono zestawienie sum opadów dla poszczególnych prawdopodobieństw i czasów trwania.

Tab. 3 Zestawienie sum opadów dla Prądnika i Garliczki – prawdopodobieństwo p1%

p=1%				
Czas trwania	Suma opadu	Miarodajne natężenie deszczu	mm/min.	mm/h
t	P [mm]	q [l/ha*s]		
15 min	32.2	357.4	2.145	
30 min	40.6	225.7	1.354	
60 min	49.5	137.5	0.825	
3 h	62.0	57.4		20.677
6 h	67.8	31.4		11.300
12 h	74.2	17.2		6.181
24 h	93.4	10.8		3.891

Tab. 4 Zestawienie sum opadów dla Prądnika i Garliczki – prawdopodobieństwo p10%

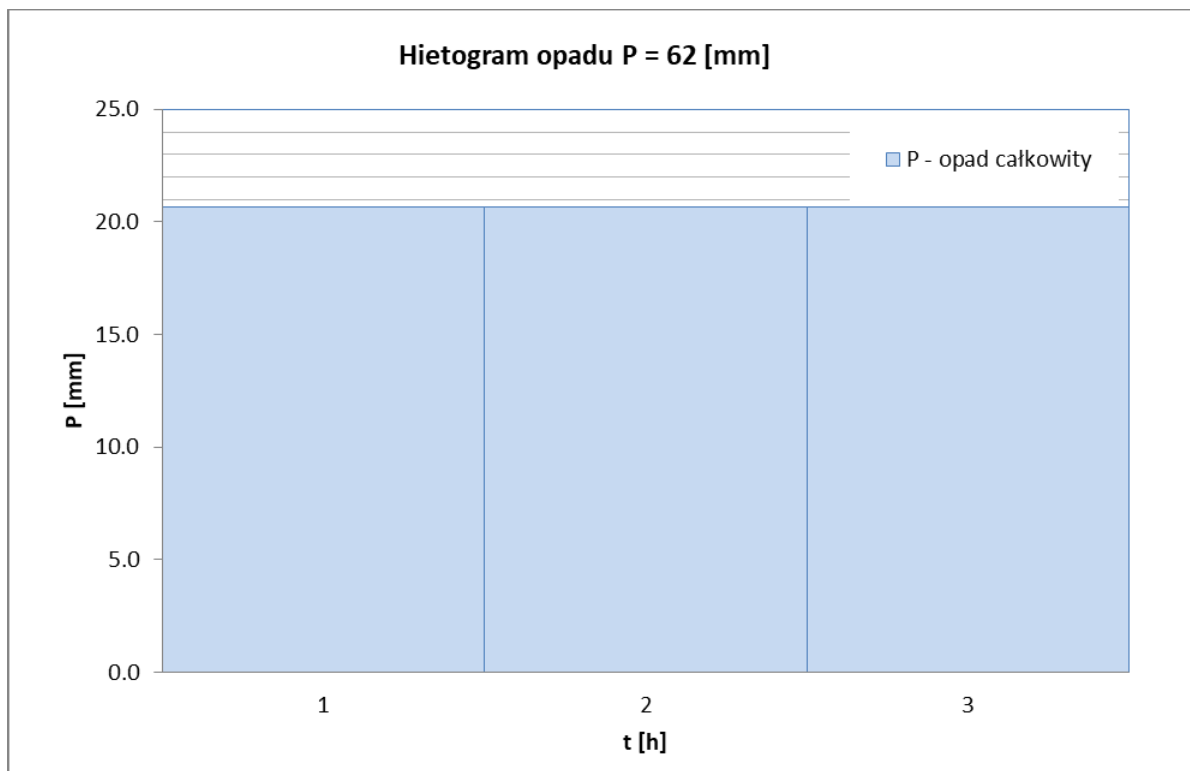
p=10%				
Czas trwania	Suma opadu	Miarodajne natężenie deszczu	mm/min.	mm/h
t	P [mm]	q [l/ha*s]		
15 min	22.6	251.3	1.508	
30 min	28.6	158.7	0.952	
60 min	34.9	96.8	0.581	
3 h	44.0	40.7		14.668
6 h	48.5	22.5		8.088
12 h	53.6	12.4		4.469
24 h	67.5	7.8		2.813

Obliczenia przeprowadzono dla 4 scenariuszy opadowych dla deszczu o prawdopodobieństwie p1% i p10%, tj. dla czasu trwania opadu 24 h, 12 h, 6 h oraz 3h.

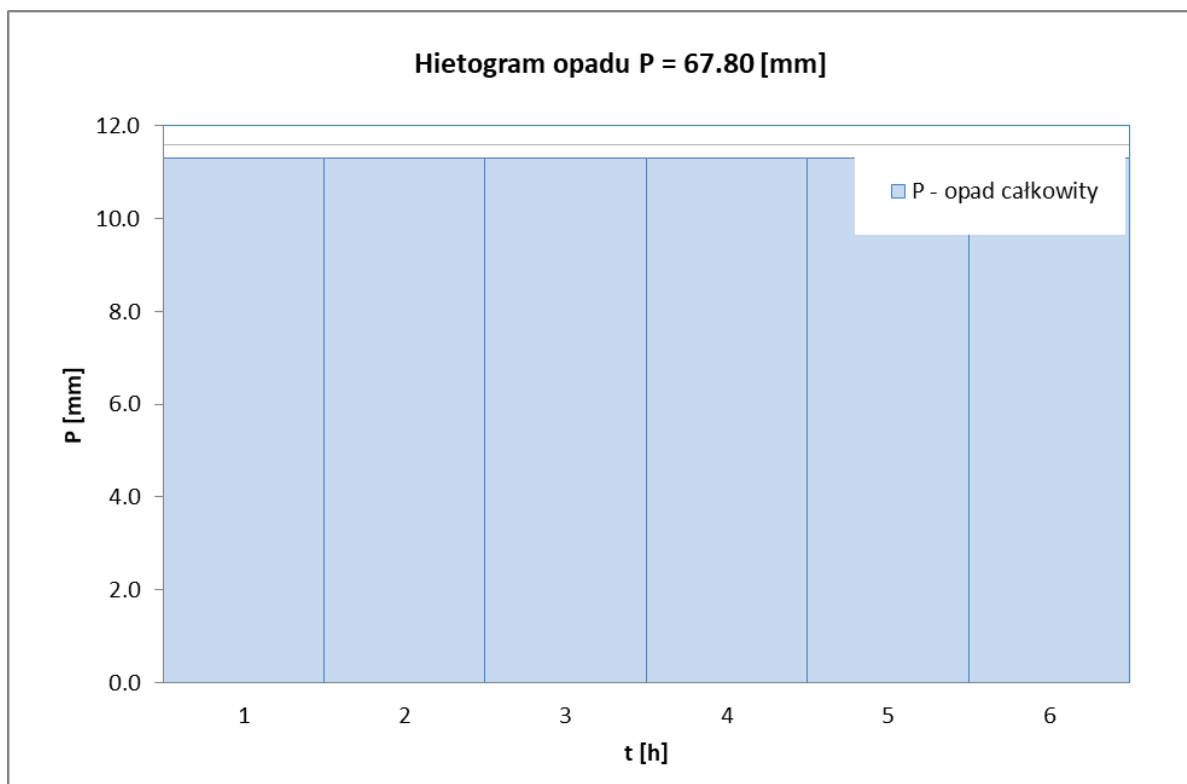
#### Hietogramy opadu dla podzlewni Prądnika i Garliczki

Wejściem do obliczeń hydrologicznych w modelu HEC-HMS były hietogramy opadu, wyznaczone na podstawie sumy opadu.

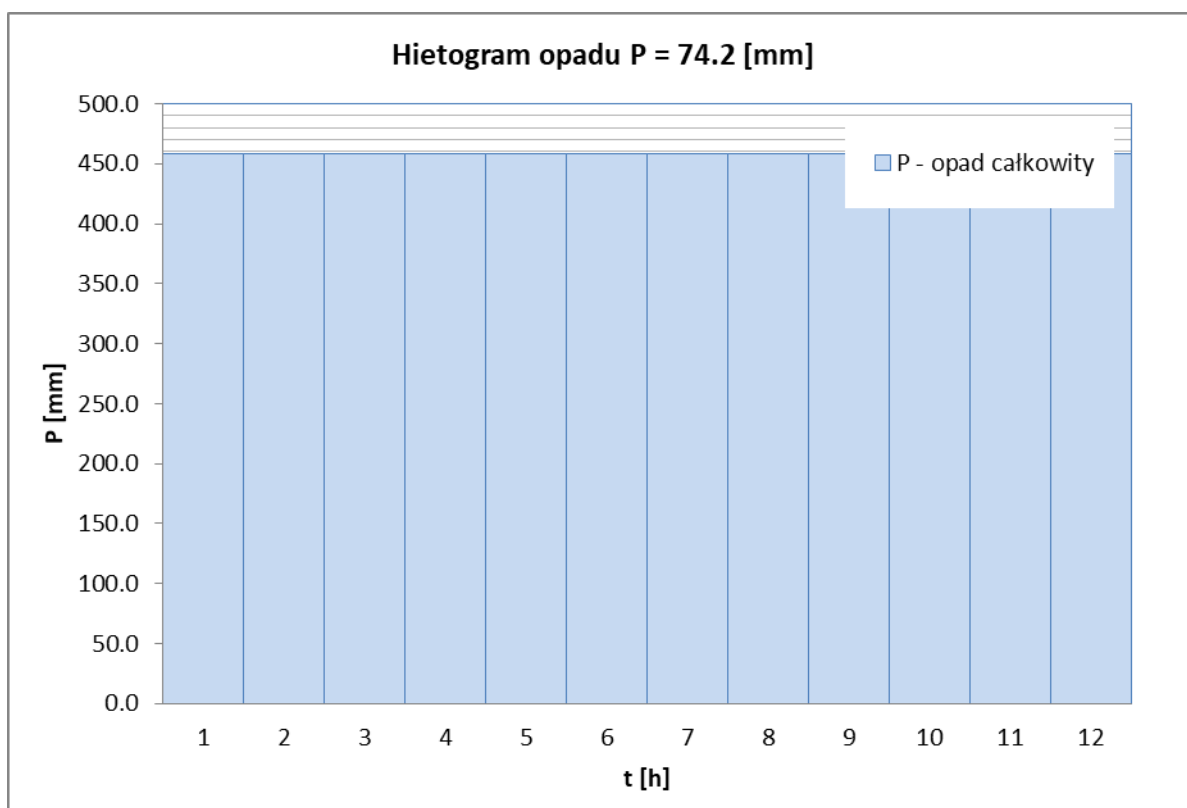
Poniżej na wykresach przedstawiono te hietogramy.



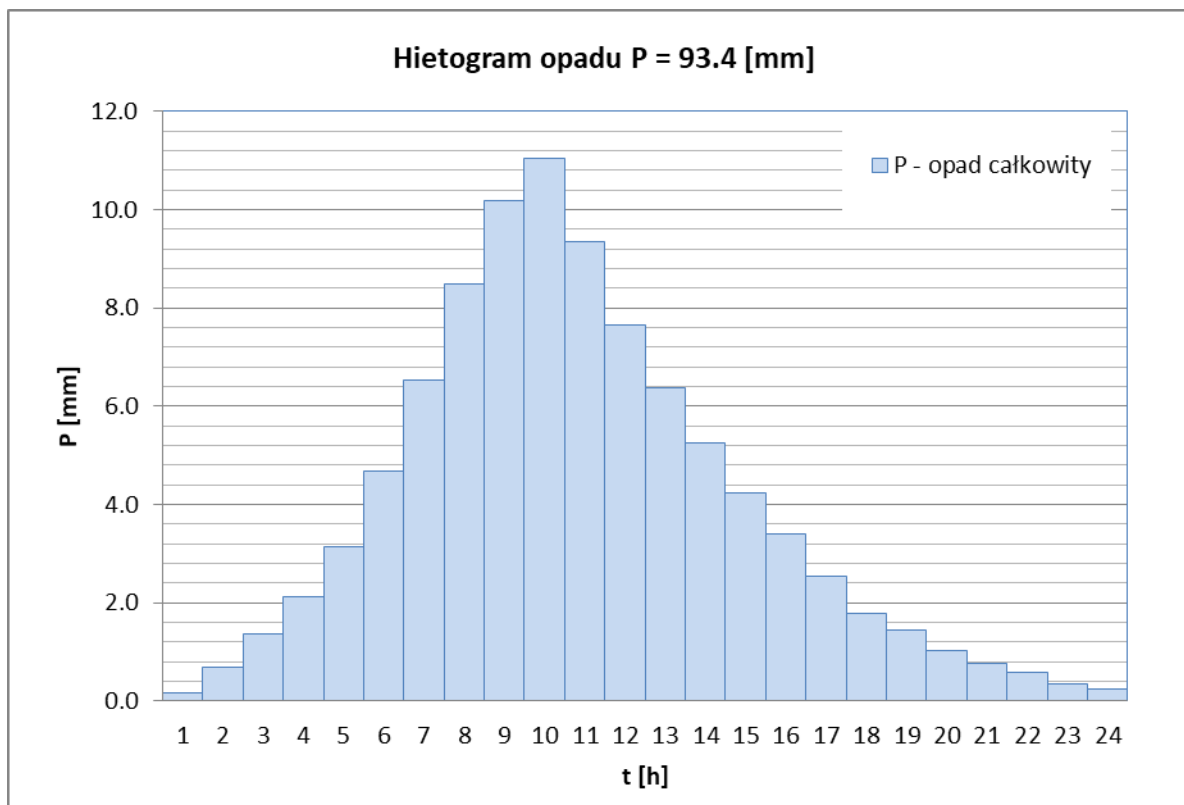
Rys.11 Hietogram opadu p10%3h P=62 [mm]



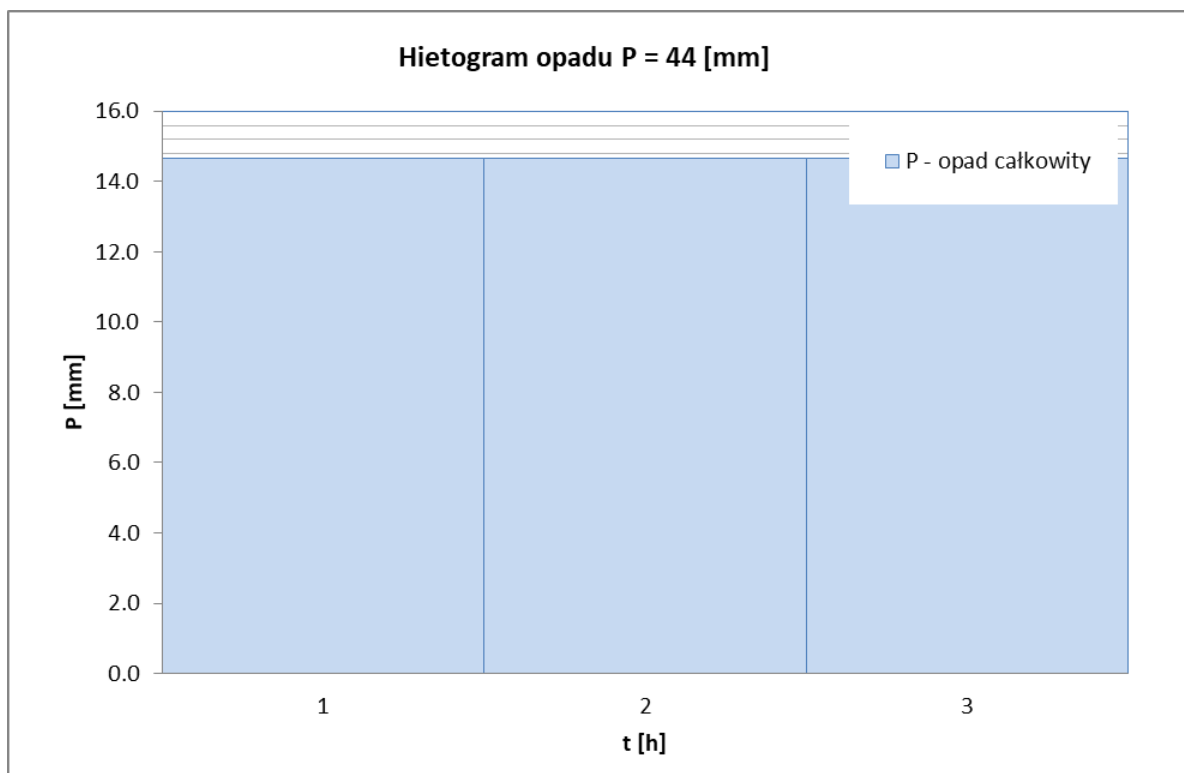
Rys.12 Hietogram opadu p10%6h P=67.8 [mm]



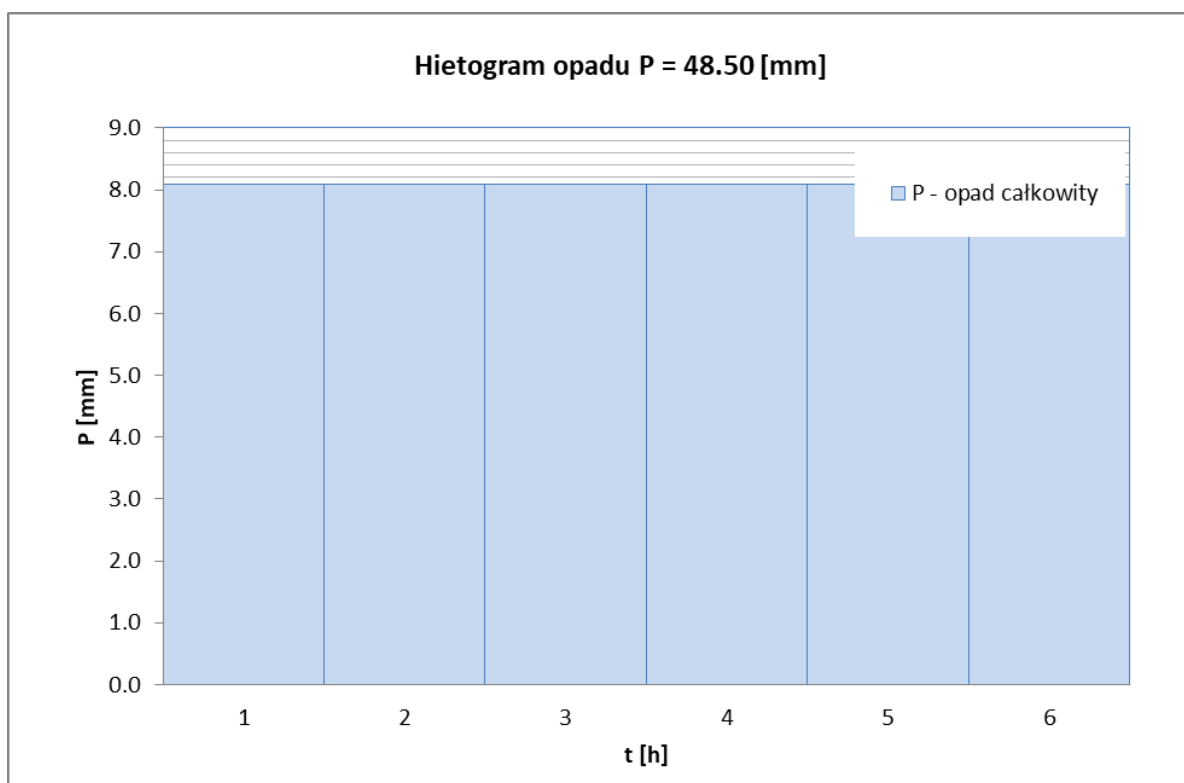
Rys.13 Hietogram opadu p10%12h P=74.2 [mm]



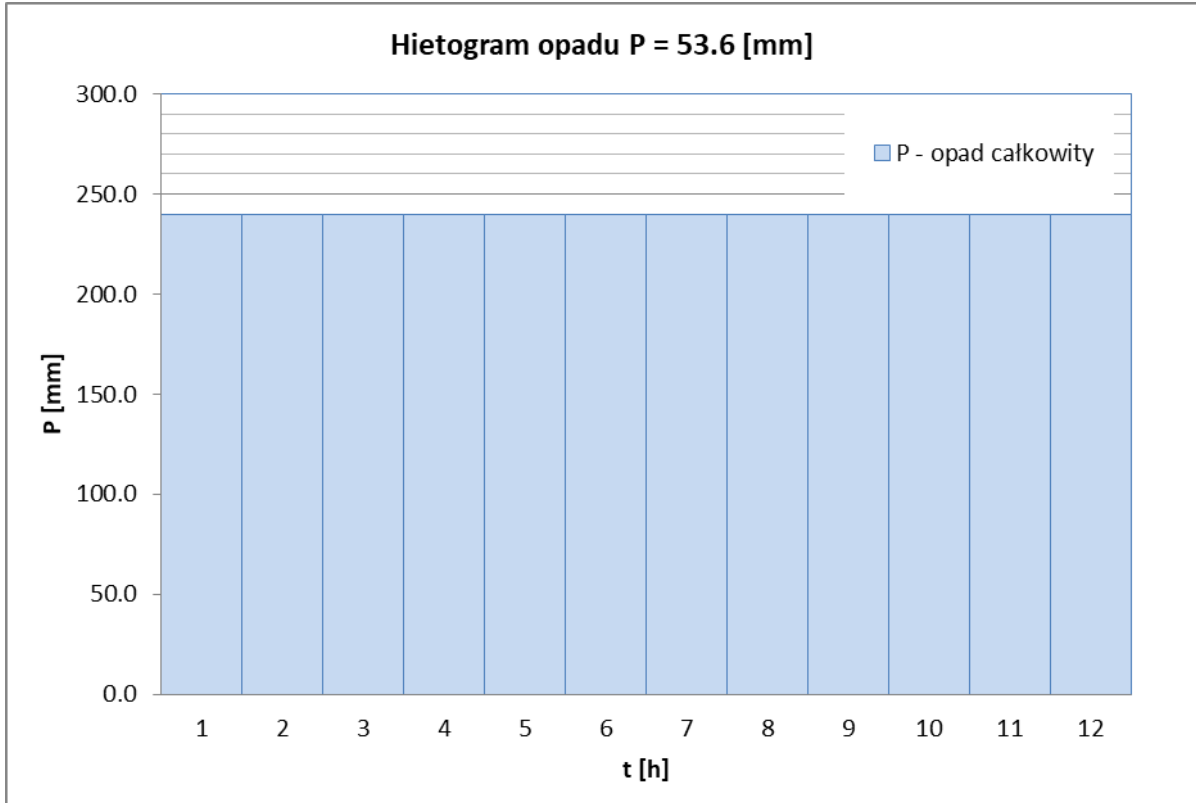
Rys.14 Hietogram opadu p1%24h P=93.4 [mm]



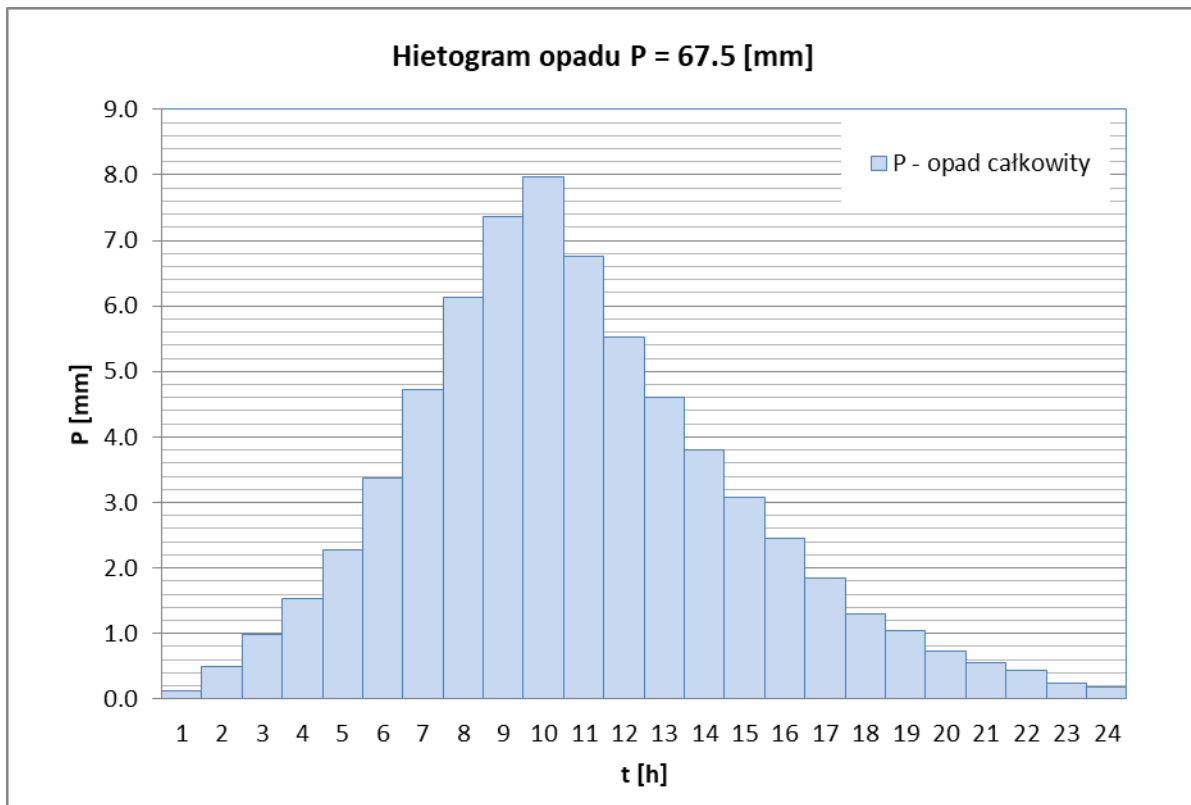
Rys.15 Hietogram opadu p10%3h P=44 [mm]



Rys.16 Hietogram opadu p10%6h P=48.5 [mm]



Rys.17 Hietogram opadu p10%12h P=53.6 [mm]



Rys.18 Hietogram opadu p10%24h P=67.5 [mm]

## 2.2.2. Obliczenia – model zintegrowany opad-odpływ oraz model hydrauliczny HEC-HMS

Obliczenia w zlewniach niekontrolowanych dokonano z wykorzystaniem modelu matematycznego typu opad-odpływ. W tym celu skorzystano z oprogramowania HEC-HMS opracowanego przez Korpus Inżynierów Armii Amerykańskiej.

Zlewnia Prądnika do analizowanego przekroju została podzielona na zlewnie cząstkowe (na podstawie Mapy Podziału Hydrograficznego Polski 1:10 000). W przypadku stworzonego modelu szczegółowego wydzielono 8 podzlewni.



Rys.19 Jednostki zadaniowe w zlewni Prądnika i Garliczki – schemat modelu HechMS

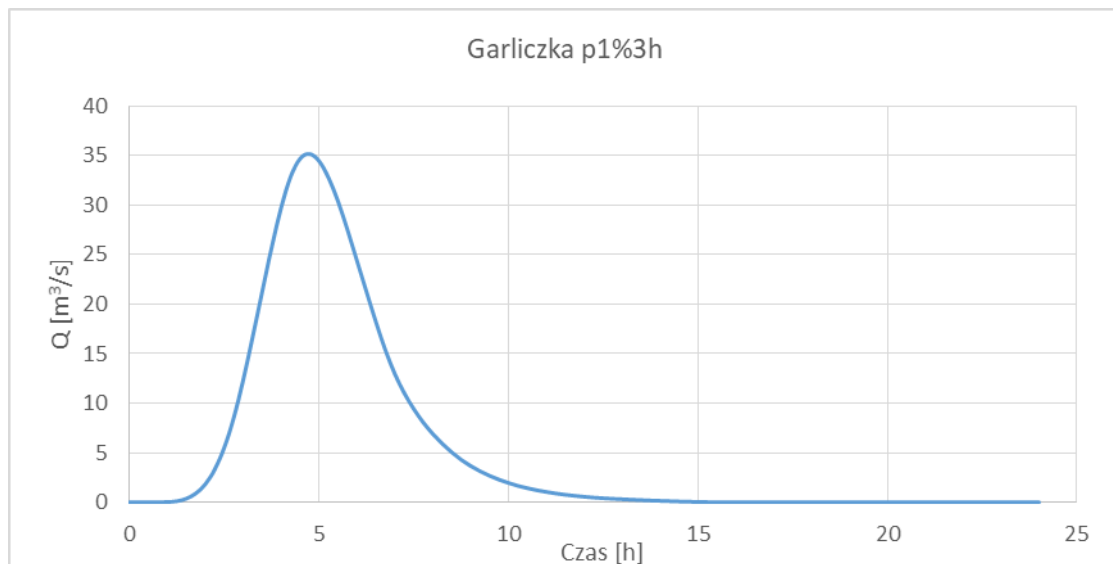


W wyniku przeprowadzonych symulacji otrzymano wartości kulminacji dla różnych scenariuszy opadowych w każdej podzlewni. Poniżej w tabeli zestawiono wartości kulminacji fal powodziowych, a na wykresach przedstawiono hydrogramy wynikowe dla przekrojów obliczeniowych (lokalizacja zapór) na Garliczce oraz na Prądniku.

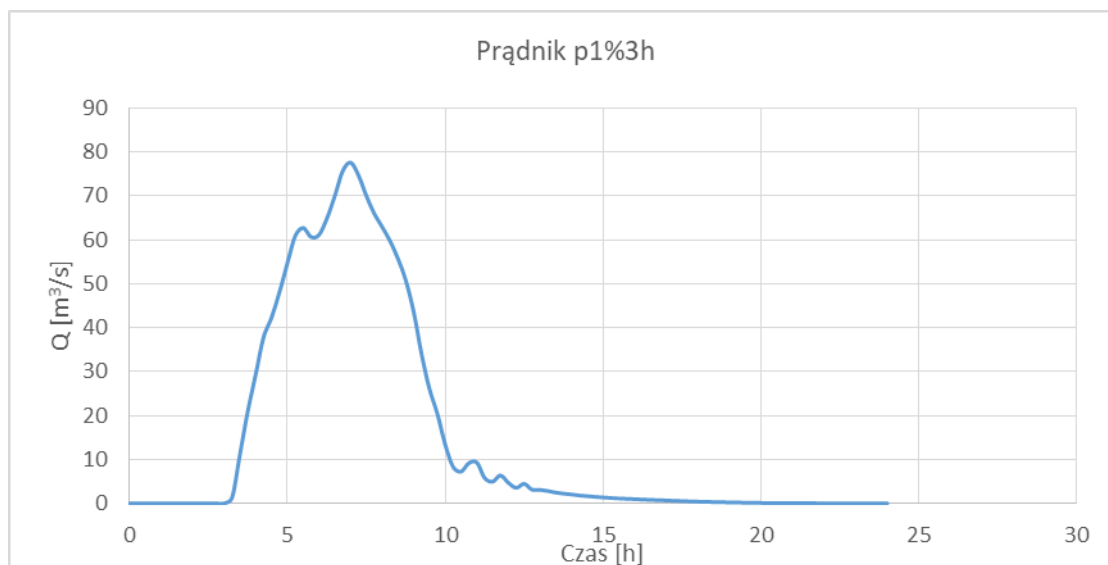
Tab. 5 Zestawienie wartości kulminacji dla wszystkich analizowanych wariantów.

Prawdopodobieństwo p%	Czas trwania opadu [h]	Garliczka [m <sup>3</sup> /s]	Prądnik [m <sup>3</sup> /s]
1	3	35.19	77.60
	6	34.41	86.87
	12	26.38	74.53
	24*	10.42	26.45
10	3	15.54	34.74
	6	16.93	35.97
	12	14.42	36.84
	24*	3.59	7.10

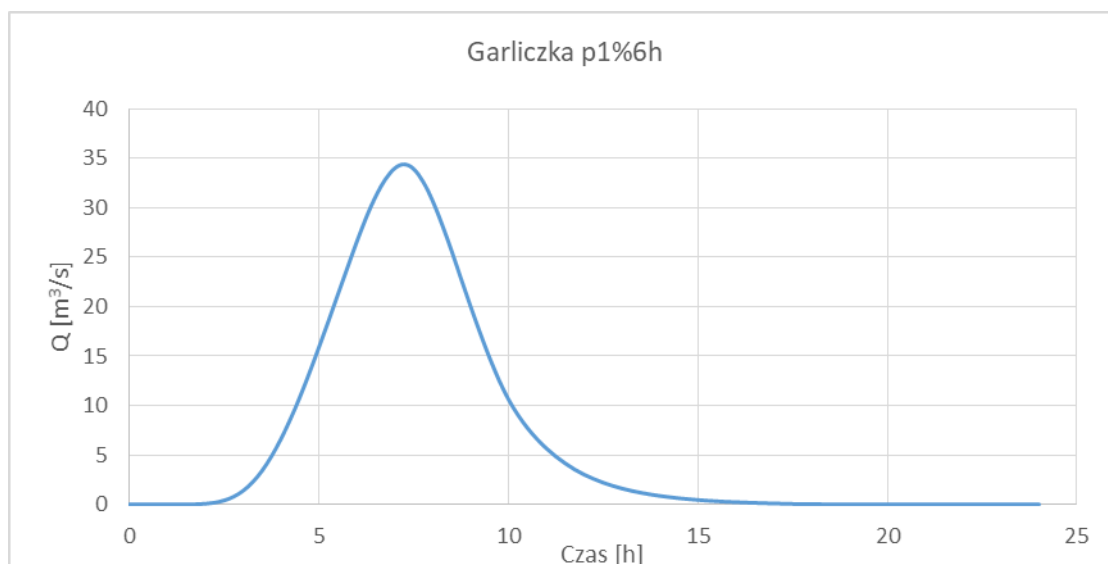
\* dla opadu dobowego przyjęto stopień uwilgotnienia gleby AMC I, dla pozostałych opadów AMC II



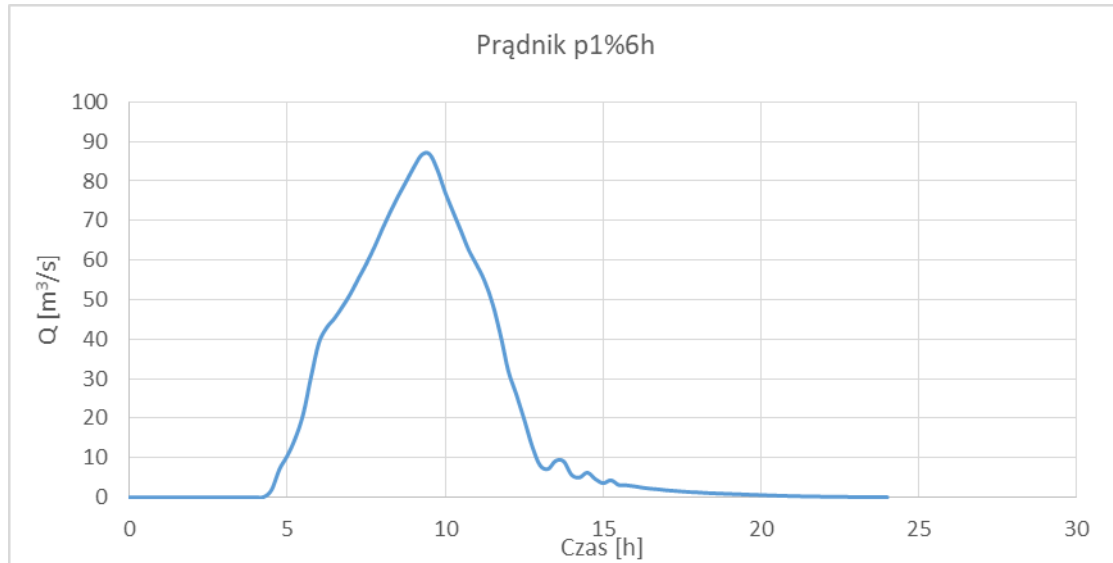
Rys.20 Hydrogram przepływu dla Garliczki – p1% 3h



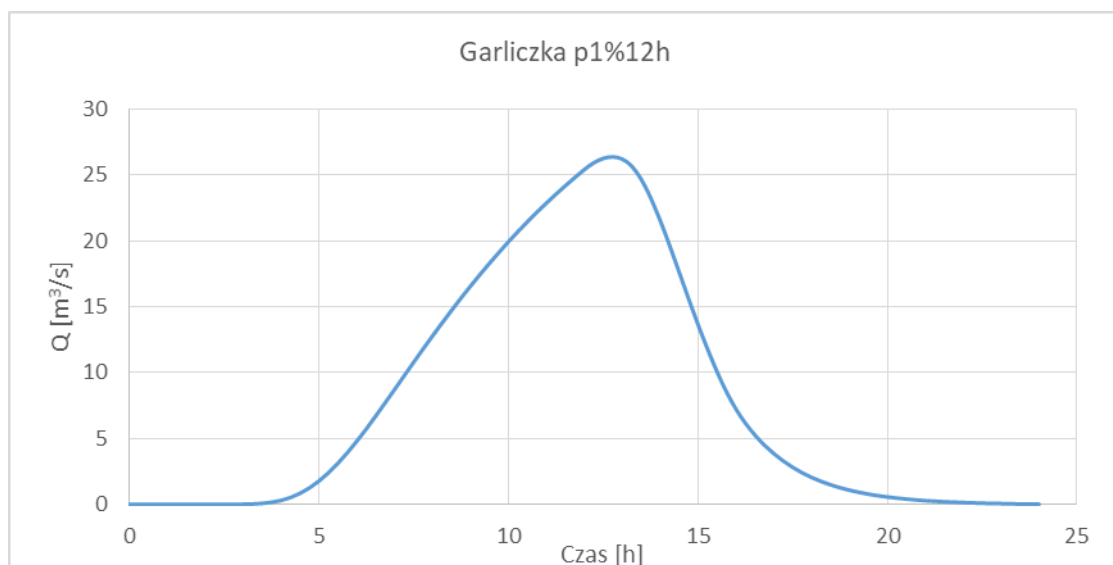
Rys.21 Hydrogram przepływu dla Prądnika – p1% 3h



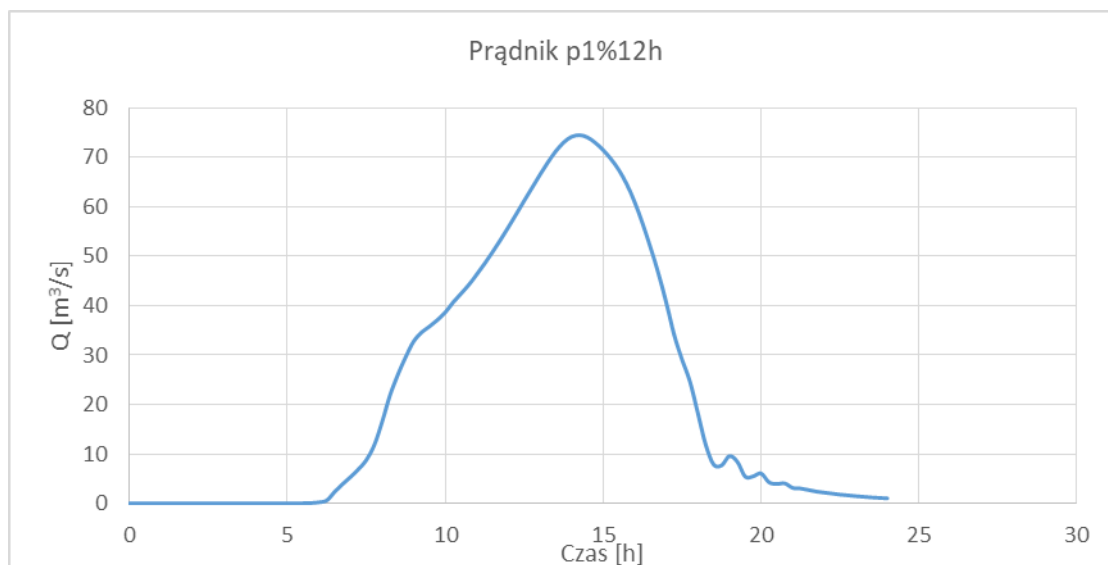
Rys.22 Hydrogram przepływu dla Garliczki – p1% 6h



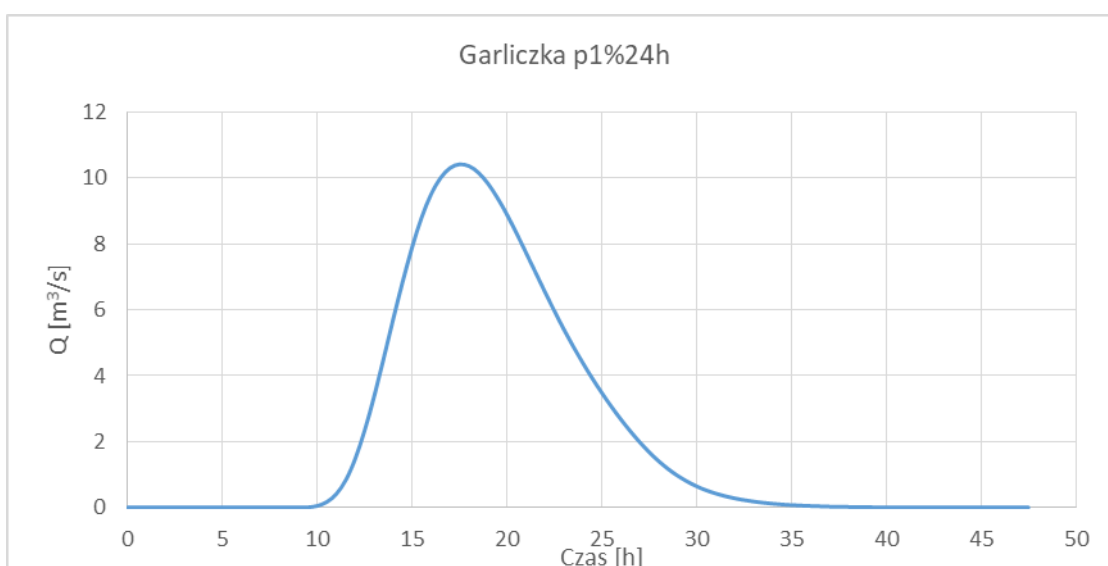
Rys.23 Hydrogram przepływu dla Prądnika – p1% 6h



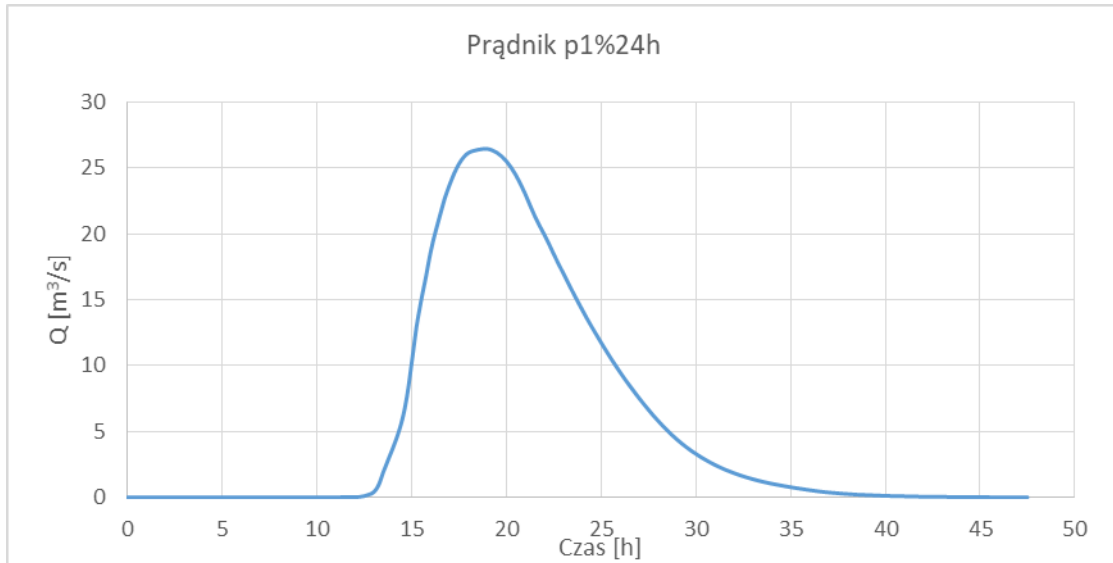
Rys.24 Hydrogram przepływu dla Garliczki – p1% 12h



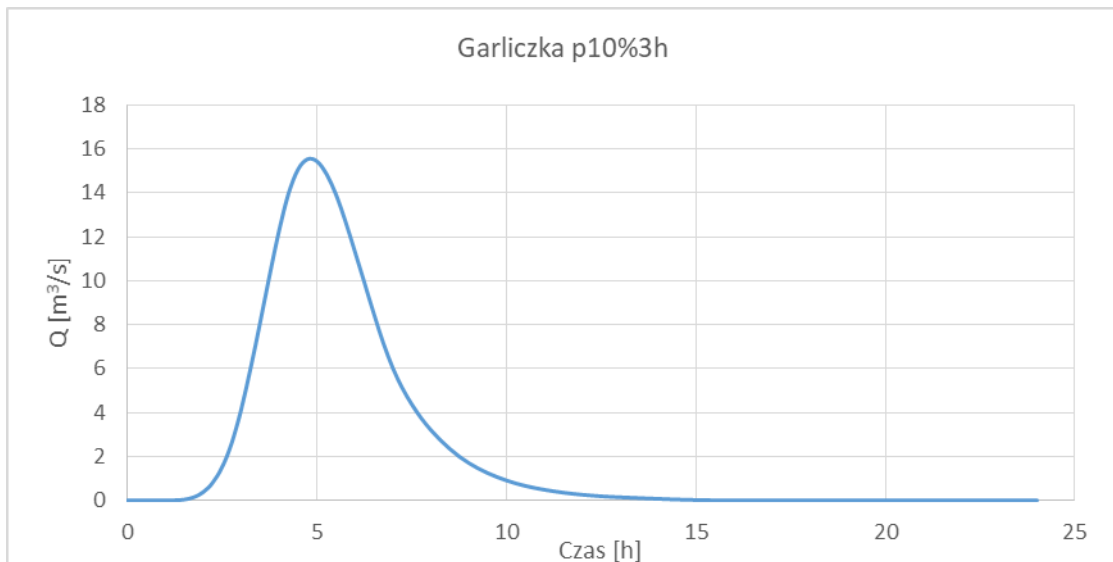
Rys.25 Hydrogram przepływu dla Prądnika – p1% 12h



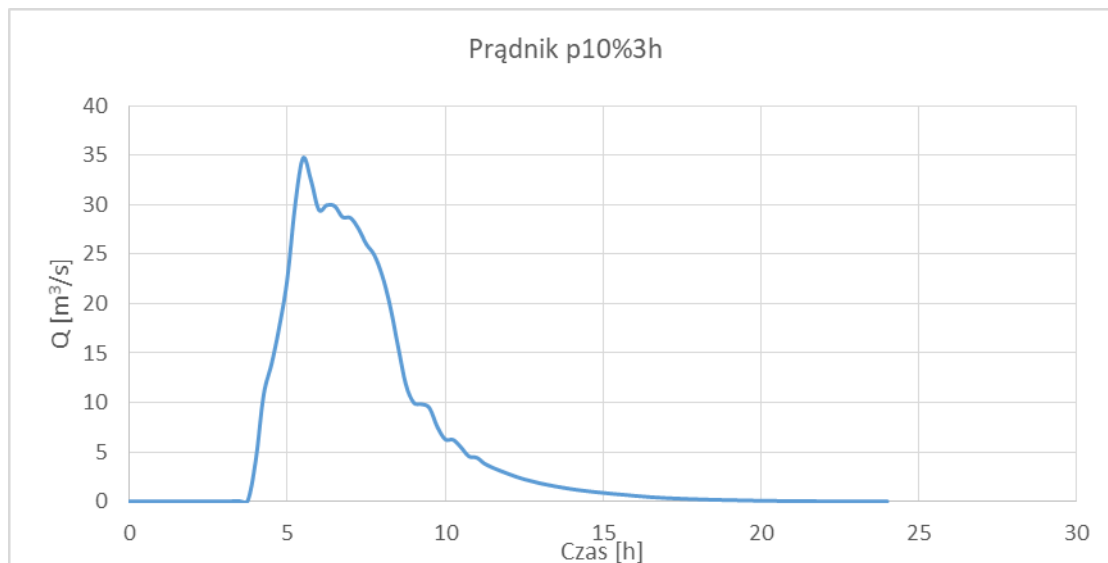
Rys.26 Hydrogram przepływu dla Garliczki – p1% 24h



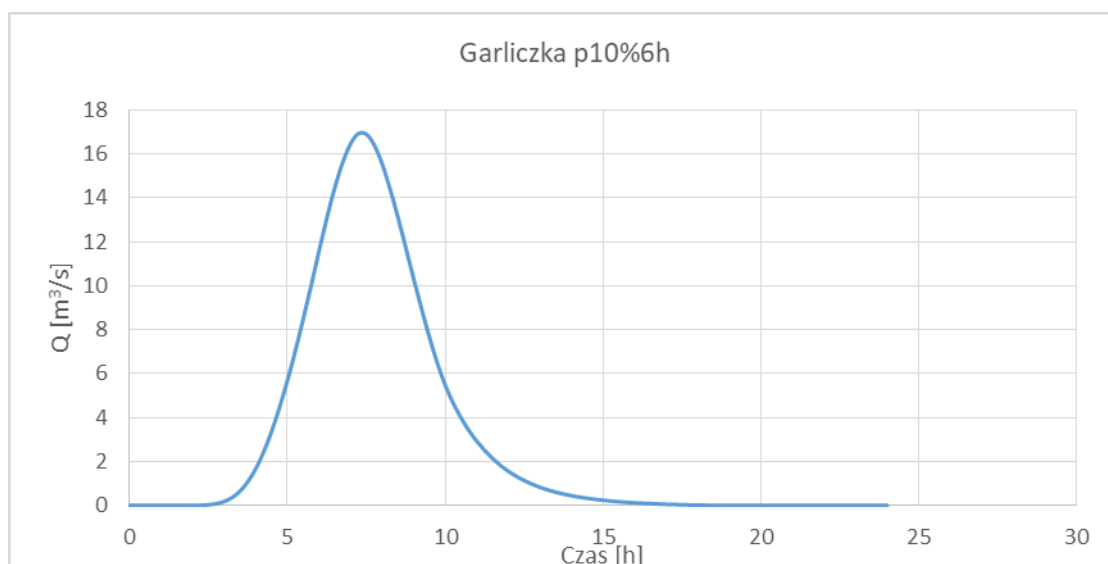
Rys.27 Hydrogram przepływu dla Prądnika – p1% 24h



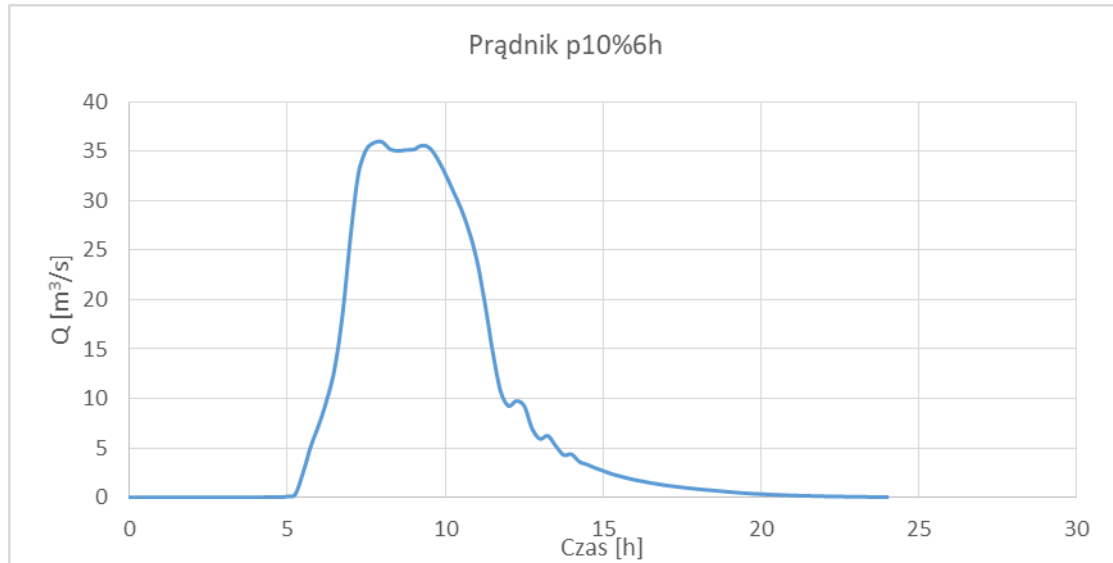
Rys.28 Hydrogram przepływu dla Garliczki – p10% 3h



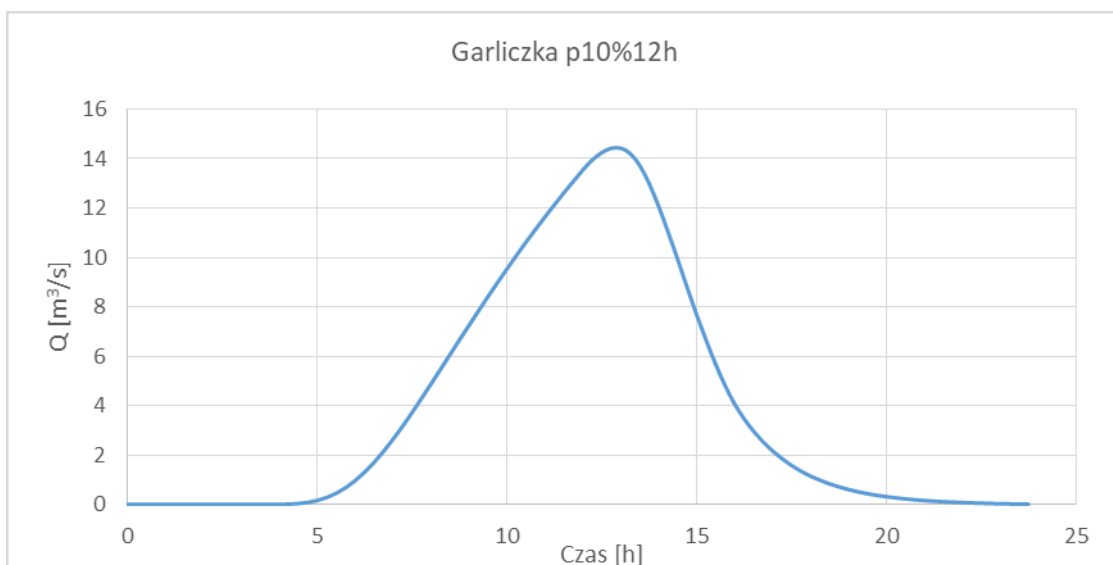
Rys.29 Hydrogram przepływu dla Prądnika – p10% 3h



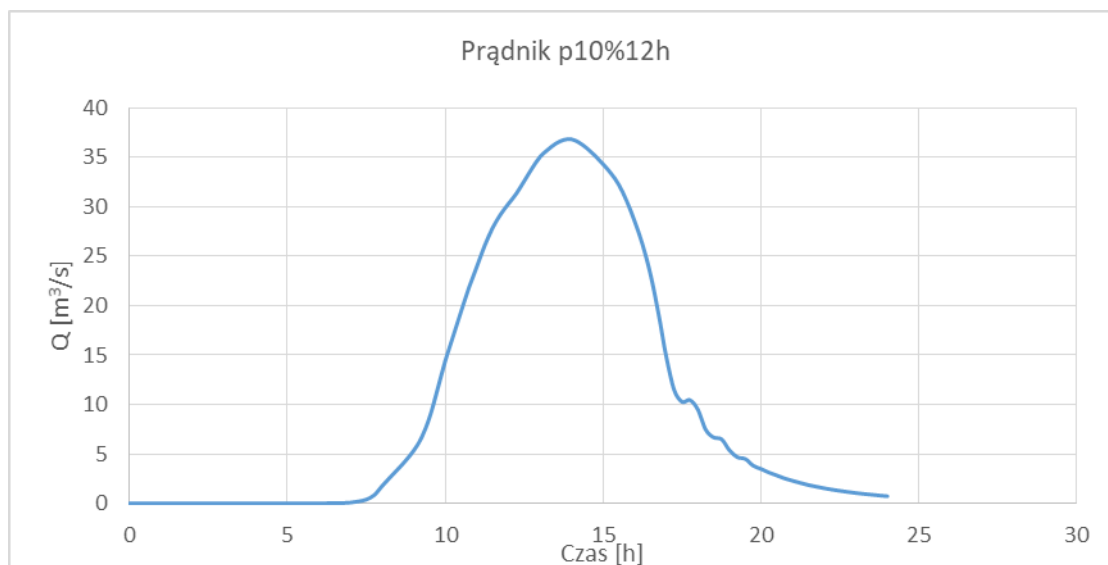
Rys.30 Hydrogram przepływu dla Garliczki – p10% 6h



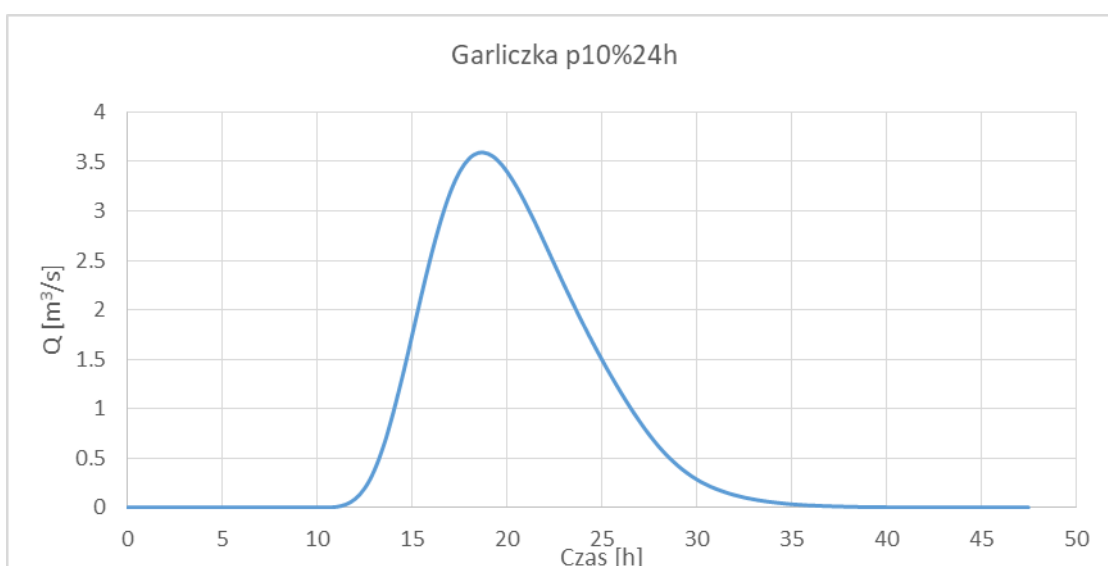
Rys.31 Hydrogram przepływu dla Prądnika – p10% 6h



Rys.32 Hydrogram przepływu dla Garliczki – p10% 12h

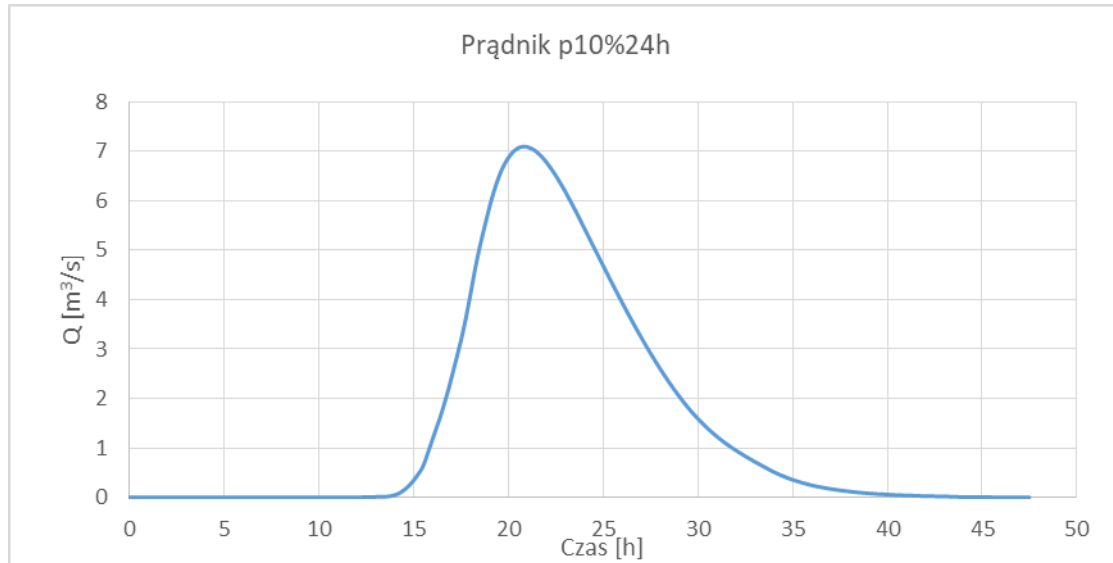


Rys.33 Hydrogram przepływu dla Prądnika – p10% 12h



Rys.34 Hydrogram przepływu dla Garliczki – p10% 24h





Rys.35 Hydrogram przepływu dla Prądnika – p10% 24h

### 2.2.3. Obliczenie przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla rzeki Prądnik w miejscowości Pękowice – IMGW

Na potrzeby niniejszego opracowania Wójt gminy Zielonek zamówił w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej *Obliczenie przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla rzeki Prądnik w miejscowości Pękowice*. Z uwagi na fakt, że zlewnia niegdyś była kontrolowana, obliczenia wykonano, bazując na zlikwidowanym w 1999 roku wodowskazie w Krakowie. Otrzymane wartości z jednej strony różnią się (są mniejsze) od otrzymanych wielkości, uzyskanych przy pomocy stworzonego modelu opad-odpływ dla wejściowych warunków uwilgotnienia przyjętych jako AMC II (wilgotny teren na początku opadu), z drugiej jednak, przy przyjęciu wejściowych warunków uwilgotnienia jako AMC I (suchy teren na początku opadu) pozostają na zbliżonym poziomie. Wartości, zgodne z opracowaniem IMGW są również mniejsze od wartości uzyskanych w opracowaniu *Wielowariantowy program inwestycyjny wraz z opracowaniem strategicznej oceny oddziaływania na środowisko dla cieków Aglomeracji Krakowskiej z wyłączeniem rzeki Wisły*.

Sytuacja taka może wynikać z faktu, że zlewnia Prądnika dzieli się wyraźnie na dwie części – górną, wyżynną, o dużych spadkach zboczy i cieków oraz dolną, zlokalizowaną w szerokiej pradolinie Wisły, gdzie spadki terenu są minimalne. Nawalne opady burzowe, będące, jak wynika z obserwacji najczęstszym źródłem wezbrań w Zielonkach swoim zasięgiem obejmują właśnie górną część zlewni. Pola opadów o dużej intensywności opadów nie

*Temat: Wariantowa analiza wskazanych w „Planie zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszaru dorzecza Wisły” zbiorników przeciwpowodziowych na rzece Prądniku w miejscowości Zielonki-Pękowice i rzece Garliczce w miejscowości Garlica Murowana gm. Zielonki*

pokrywają całej zlewni Prądnika (ok. 200 km<sup>2</sup>). Prawdopodobną przyczyną mniejszych przepływów kulminacyjnych przy ujściu do Wisły może być właśnie spłaszczenie wysokich, ale krótkich fal wezbraniowych, obserwowanych na wyjściu Prądnika z terenu wyżynnego.

Wartości przepływów kulminacyjnych, przyjęte do analiz prowadzonych w ramach *opracowania Wielowariantowego programu inwestycyjnego wraz z opracowaniem strategicznej oceny oddziaływania na środowisko dla cieków Aglomeracji Krakowskiej z wyłączeniem rzeki Wisły* określone na podstawie opracowanego modelu hydrologicznego typu „opad-odpływ”, w którym określono falę o kulminacji na poziomie przepływu „wody stuletniej” (wejściem do modelu był opad dobowy o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p=1\%$ ) są znacznie wyższe zarówno od obliczeń IMGW, jak i obliczeń, wykonanych w ramach niniejszego opracowania.

Z uwagi na fakt, że obliczenia, wykonane w ramach niniejszego opracowania są dokładniejsze (wiele wariantów opadów) oraz na zbieżność wyników z obliczeniami IMGW (deszcz dobowy, stopień uwilgotnienia AMC I) i mogą być podstawą wykonania szeregu symulacji (a nie tylko jednej), dla różnych czasów trwania opadu i różnych prawdopodobieństw, dają pełniejszy obraz możliwości redukcji fal wezbraniowych przy przyjętych rozwiązaniach technicznych.

W celu dokładniejszego określenia charakterystyk hydrologicznych w zlewni Prądnika konieczne jest stworzenie posterunków obserwacyjnych i prowadzenie ciągłych pomiarów stanów i przepływów. Tylko dane, pochodzące z takiej sieci obserwacyjnej mogą rozwiązać ostatecznie wszelkie wątpliwości.

### **3. KONCEPCJA ROZWIĄZAŃ ORAZ LOKALIZACJI ZBIORNIKA/KASKADY ZBIORNIKÓW**

Zaproponowano lokalizację kaskady 2 zbiorników na Prądniku oraz 1 zbiornika na Garliczce wraz z kształtowaniem czaszy zbiorników w obu przypadkach. Szczegółowa lokalizacja została przedstawiona w części rysunkowej.

Podstawową funkcją tych zbiorników będzie retencja wód oraz ochrona przed powodzią.

Lokalizacja i rozwiązania techniczne zapór wynikają z analizy warunków terenowych oraz możliwych do uzyskania pojemności retencyjnych przy uwzględnieniu minimalizacji oddziaływania na środowisko oraz tereny zurbanizowane ze szczególnym uwzględnieniem propozycji Zamawiającego, na bieżąco konsultowanych w trakcie opracowania. Każdorazowo przyjęto w obrębie zbiorników, że dno zbiornika będzie dodatkowo kształtowane w celu maksymalizacji możliwej do uzyskania pojemności retencyjnej.

### 3.1. Warianty budowy zbiorników

W trakcie opracowania, z uzgodnieniu z Zamawiającym analizowano na roboczo różne rozwiązania techniczne, możliwości zwiększenia pojemności retencyjnych, warianty z różną ilością zapór w obrębie wskazanych w PZRP lokalizacji. Z uwagi na fakt, że kluczowe jest uzyskanie jak największej pojemności retencyjnej, właśnie rozwiązania, zapewniające największe pojemności przyjęto do dalszych analiz.

W przypadku zbiorników na Prądniku przyjęto trzy warianty rozwiązań technicznych dla Zbiornika 1:

- WARIANT 1 zakłada, że koryto cieku (oprócz miejsca lokalizacji zapór) zostanie nienaruszone, natomiast od górnych skarp lewego brzegu, z zachowaniem odpowiedniego pasa buforowego (z uwagi na liczne meandry rzeki z wyrównaniem jego przebiegu w planie) w kierunku od koryta na zewnątrz przeprowadzona zostanie korekta terenu, tak aby zachować minimalne spadki. Z uwagi na ukształtowanie terenu oraz istniejąca infrastrukturę prawa terasa nie została zmodyfikowana,

- WARIANT 2 zakłada dodatkowo minimalizację wpływu inwestycji na zabudowania poprzez budowę muru oporowego na prawym brzegu (w miejsce zapory ziemnej), co znacznie ogranicza zajętość terenu i daje możliwości jego elastycznego poprowadzenia. Rozwiązanie to jednak zmniejsza możliwości retencyjne w stosunku do wariantu 1,

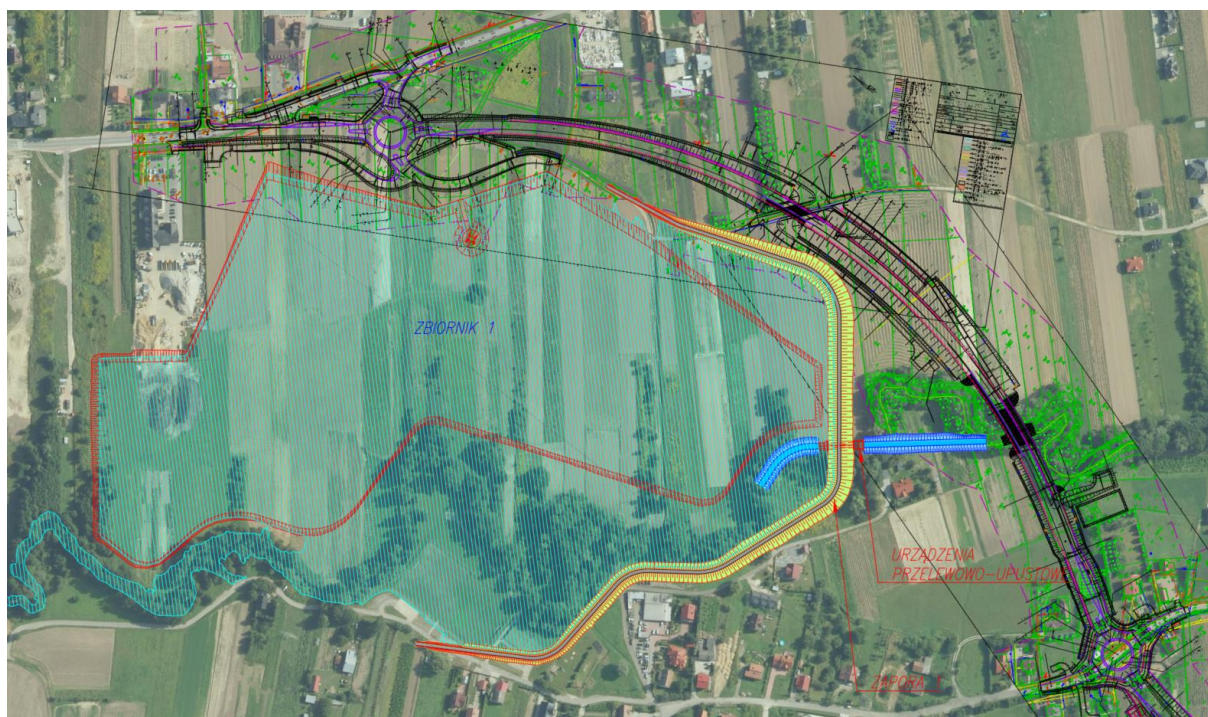
- WARIANT 3 zakłada odcinkowe przebudowy koryta Prądnika, likwidację meandrów, co pozwala na zbliżenie zapory bocznej na prawym brzegu.

Dla każdego z wariantów oraz zbiorników będzie konieczna lokalna przebudowa koryta w miejscach zbliżeń zapór bocznych/muru do koryta.

Zbiornik 2 (z uwagi na mniejsza gęstość infrastruktury) bez wariantowania.

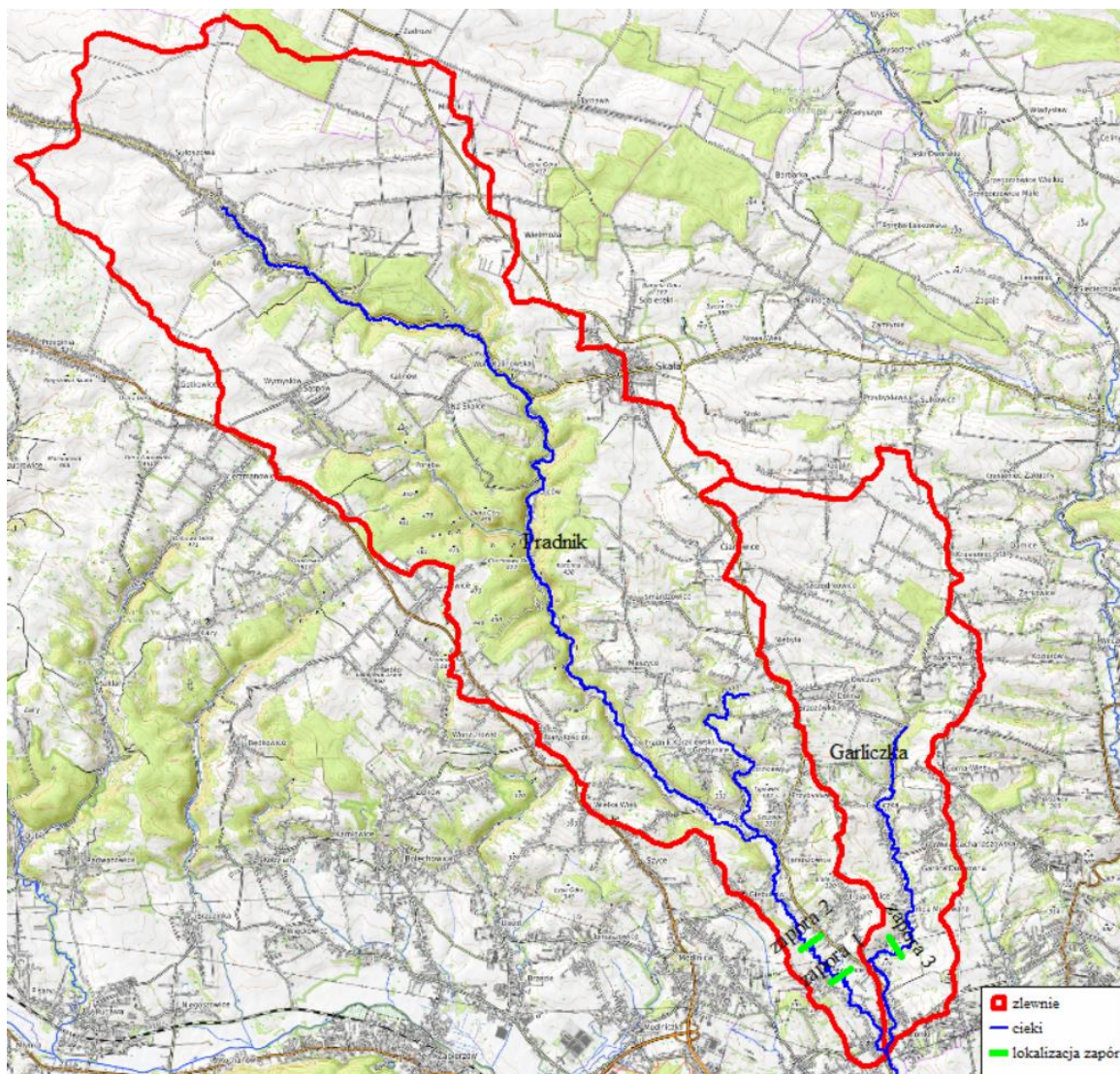
W przypadku zbiornika na Garliczce (bez wariantowania) podobne działania przyjęto na prawej terasie zalewowej.

Przy określeniu zasięgu Zbiornika 1 wzięto pod uwagę projektowaną obecnie „Trasę wolbromską, zgodnie z rysunkiem poniżej.



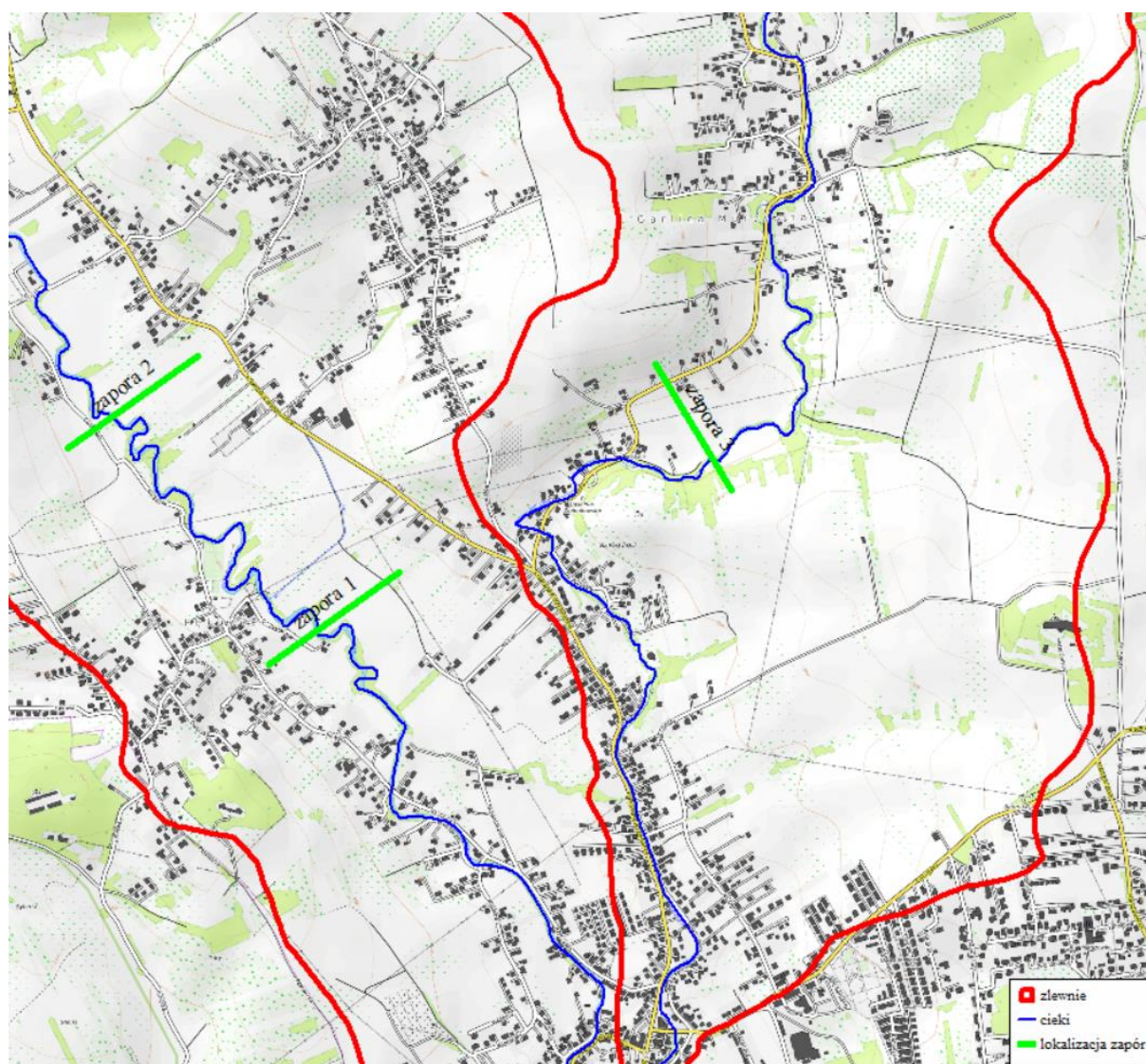
Rys.36 Przebieg „Trasy wolbromskiej”.





Rys.37 Plan orientacyjny projektowanych zbiorników.





Rys.38 Plan orientacyjny projektowanych zapór – zbliżenie w rejonie inwestycji.

### 3.1.1. WARIANT 1 - 2 zbiorniki retencyjno – przeciwpowodziowe w układzie kaskadowym na Prądniku

W wariantcie 1 na Prądniku zaprojektowano budowę dwóch zapór ziemnych (zapora 1 i zapora 2) oraz zbiorników „suchych” w układzie kaskadowym pełniących funkcje retencyjne i przeciwpowodziowe.

Zapora 1 ma wysokość 6 m. W ramach budowy zapory 1 konieczne jest wykonanie zapory czołowej o długości 183 m, zapory bocznej lewej o długości 215 m i zapory bocznej prawej o długości 412 m. Łączna długość obwałowania wyniesie ok. 810 m.

Zapora 2 ma wysokość 5 m. W ramach budowy zapory 2 konieczne jest wykonanie zapory czołowej o długości 227 m, zapory bocznej lewej o długości 407 m i zapory bocznej prawej o długości 397 m. Łączna długość obwałowania wyniesie ok. 1031 m.

Zaprojektowano również przebudowę koryta Prądnika w rejonie zapory 1 na długości ok. 235 m oraz w rejonie zapory 2 na długości ok. 184 m.

W projekcie przewidziano kształtowanie czaszy obu zbiorników polegające na pogłębieniu terenu powyżej zapór, zgodnie z metodyką opisaną powyżej, co pozwoli na zwiększenie możliwości retencyjnych zbiorników.



*Rys.39 Plan sytuacyjny – Zapory i zbiorniki na Prądniku – WARIANT 1*

### 3.1.2. WARIANT 2 - 2 zbiorniki retencyjno – przeciwpowodziowe w układzie kaskadowym na Prądniku

W wariantcie 2 na Prądniku zaprojektowano budowę dwóch zapór ziemnych (zapora 1 i zapora 2) oraz zbiorników „suchych” w układzie kaskadowym pełniących funkcje retencyjne i przeciwpowodziowe.

Zapora 1 ma wysokość 6 m. W ramach budowy zapory 1 konieczne jest wykonanie zapory czołowej o długości 183 m, zapory bocznej lewej o długości 215 m i zapory bocznej prawej o długości 175 m. Łączna długość obwałowania wyniesie ok. 573 m. Dodatkowo zaprojektowano mur oporowy o długości 492 m jako przedłużenie zapory bocznej prawej wzdłuż Prądnika.

Przebudowa koryta Prądnika w rejonie zapory 1 i 2 według Wariantu 1.

Zapora 2 zaprojektowana według Wariantu 1.

W projekcie przewidziano kształtowanie czaszy obu zbiorników polegające na pogłębieniu terenu powyżej zapór, zgodnie z metodyką opisaną powyżej, co pozwoli na zwiększenie możliwości retencyjnych zbiorników.





Rys.40 Plan sytuacyjny – Zapory i zbiorniki na Prądniku – WARIANT 2

### 3.1.3. WARIANT 3 - 2 zbiorniki retencyjno – przeciwpowodziowe w układzie kaskadowym na Prądniku

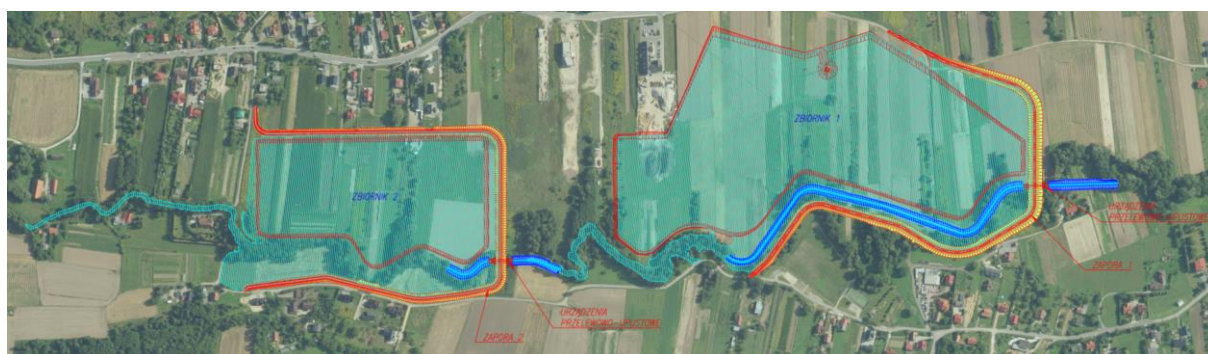
W wariantcie 3 na Prądniku zaprojektowano budowę dwóch zapór ziemnych (zapora 1 i zapora 2) oraz zbiorników „suchych” w układzie kaskadowym pełniących funkcje retencyjne i przeciwpowodziowe.

Zapora 1 ma wysokość 6 m. W ramach budowy zapory 1 konieczne jest wykonanie zapory czołowej o długości 183 m, zapory bocznej lewej o długości 242 m i zapory bocznej prawej o długości 517 m. Łączna długość obwałowania wyniesie ok. 942 m.

Zaprojektowano również przebudowę koryta Prądnika w rejonie zapory 1 na długości ok. 699 m oraz w rejonie zapory 2 na długości ok. 184 m.

Zapora 2 zaprojektowana według Wariantu 1.

W projekcie przewidziano kształtowanie czaszy obu zbiorników polegające na pogłębieniu terenu powyżej zapór, zgodnie z metodyką opisaną powyżej, co pozwoli na zwiększenie możliwości retencyjnych zbiorników.



Rys.41 Plan sytuacyjny – Zapory i zbiorniki na Prądniku – WARIANT 3



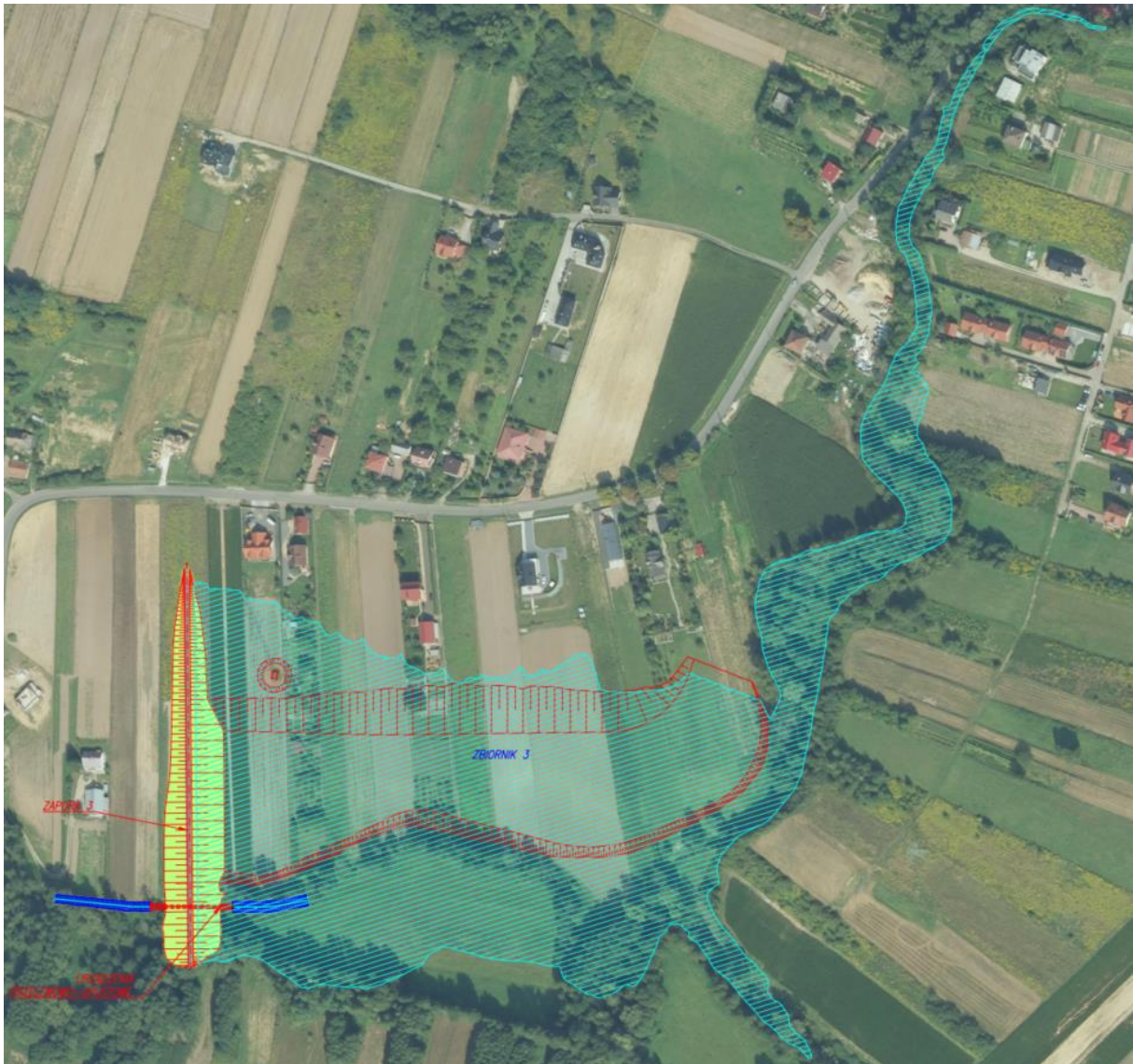
### 3.1.4. Garliczka – 1 zbiornik retencyjno - przeciwpowodziowy

Na Garliczce zaproponowano budowę zapory ziemnej (zapora 3) oraz zbiornika retencyjnego z funkcją przeciwpowodziową.

Zaprojektowano zaporę o długości 248 m i wysokości 8 m. Poniżej przedstawiono lokalizację zapory wraz ze zbiornikiem.

Zaprojektowano również przebudowę koryta Garliczki w rejonie zapory na długości ok. 158 m.

W projekcie przewidziano kształtowanie czaszy zbiornika polegające na pogłębieniu terenu powyżej zapory, zgodnie z metodyką opisaną powyżej, co pozwoli na zwiększenie możliwości retencyjnych zbiornika.

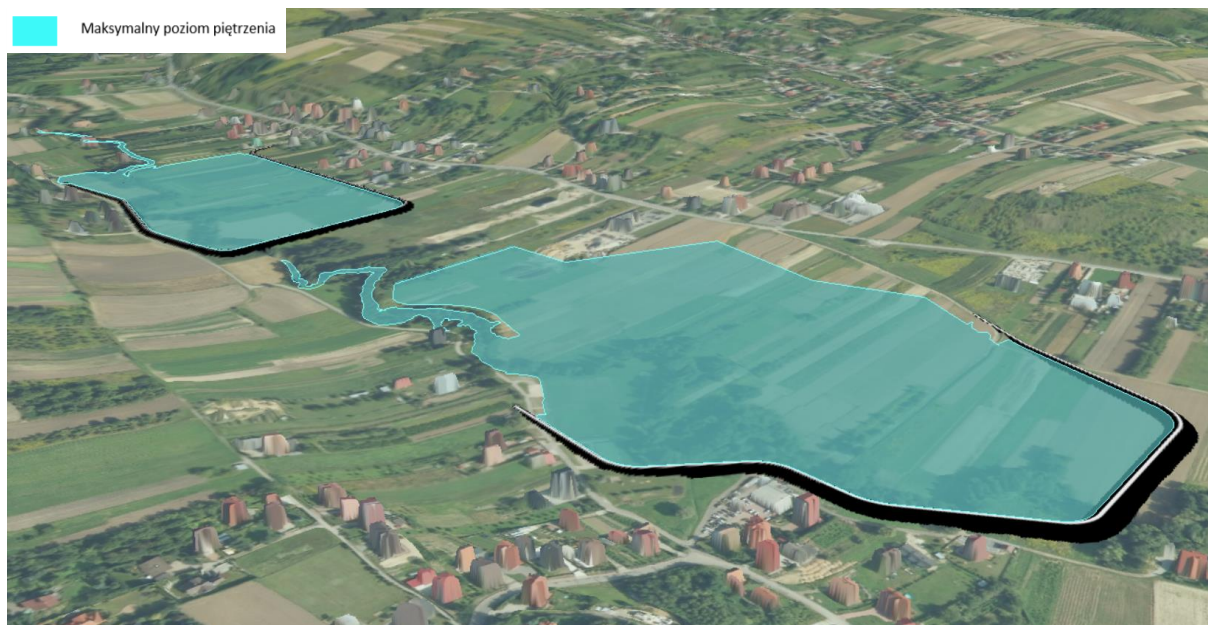


Rys.42 Plan sytuacyjny – Zapora i zbiornik na Garliczce



### 3.1.5. Widoki 3D

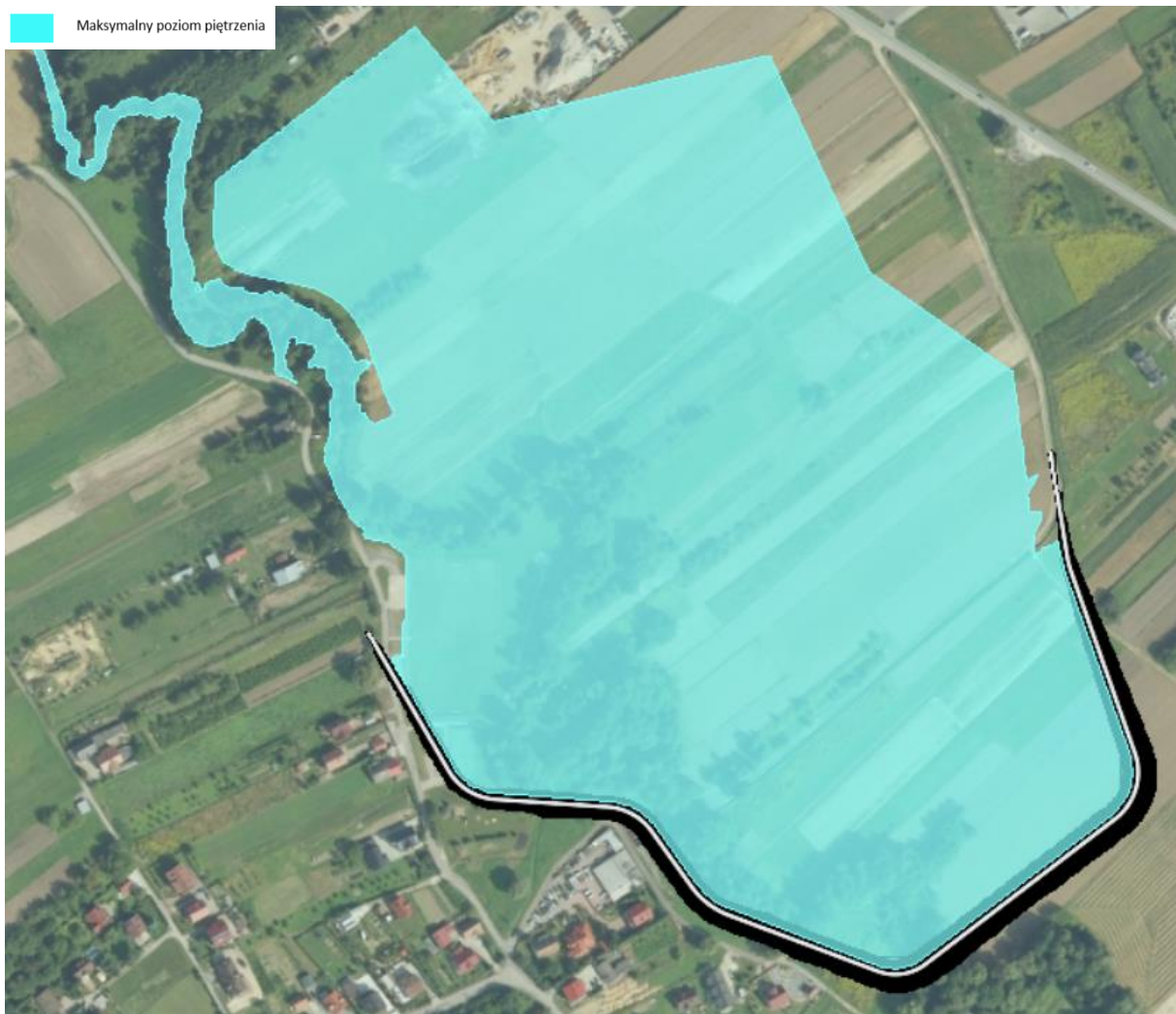
#### WARIANT 1 - Prądnik – 2 zbiorniki w układzie kaskadowym



*Rys.43 Zbiornik 1 z widokiem na zbiornik 2 – Prądnik WARIANT 1*



*Rys.44 Zbiornik 1 – Prądnik WARIANT 1*



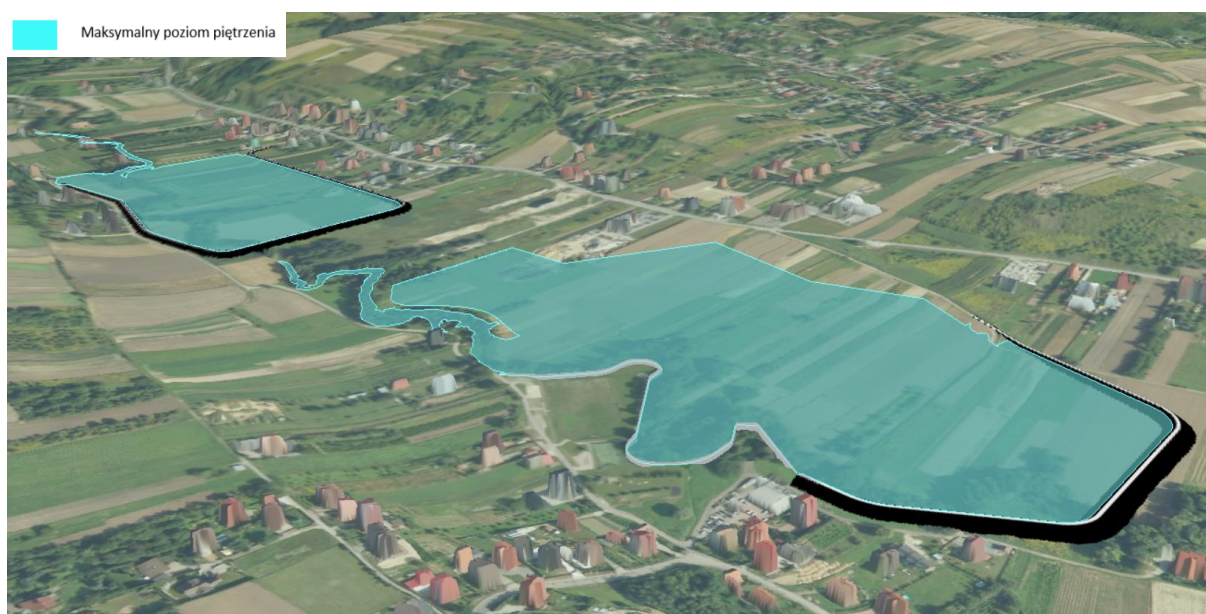
*Rys.45 Zbiornik 1 – Prądnik WARIANT 1*





Rys.46 Zbiornik 2 z widokiem na zbiornik 1 – Prądnik WARIANT 1

WARIANT 2 - Prądnik – 2 zbiorniki w układzie kaskadowym

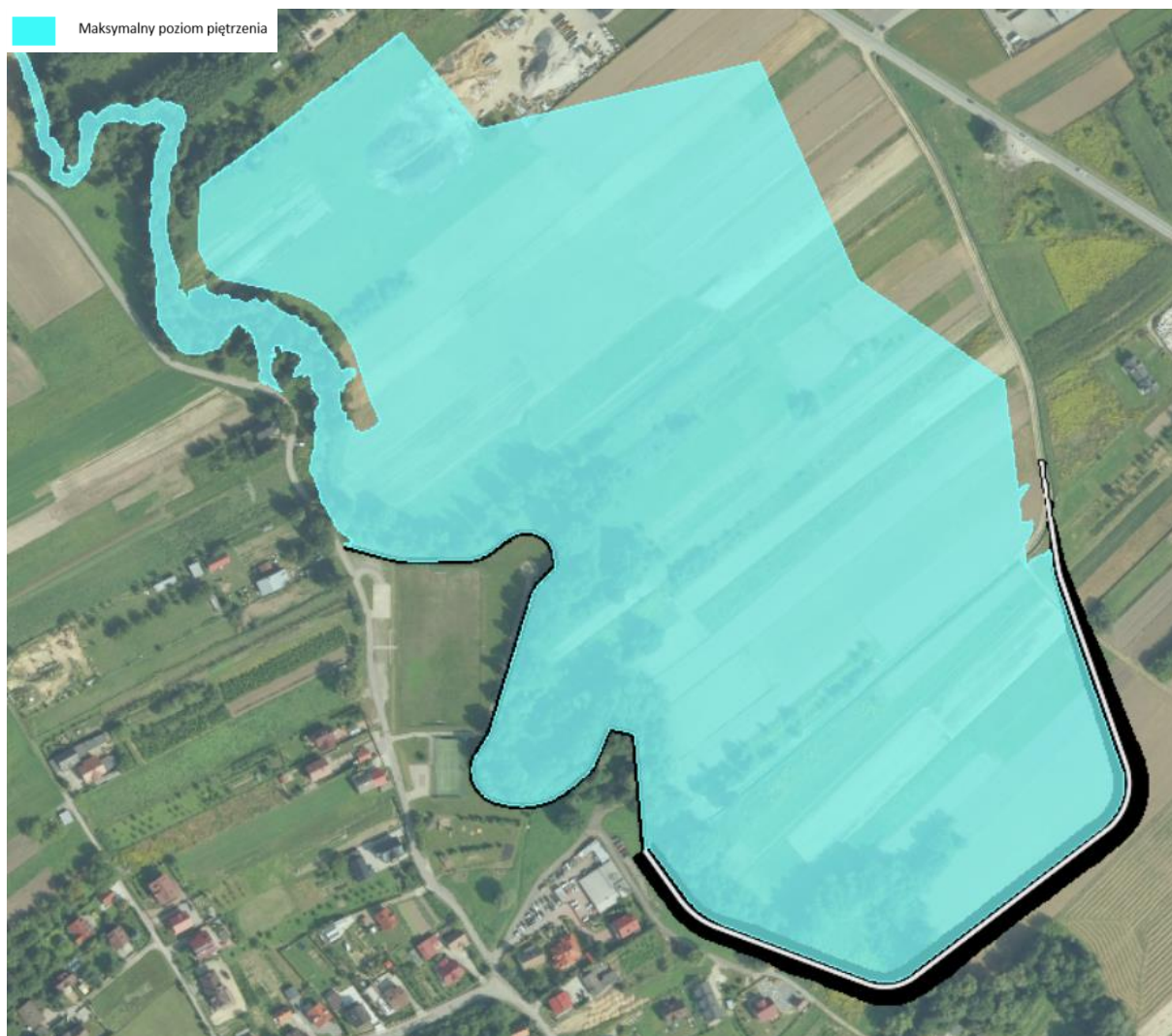


Rys.47 Zbiornik 1 z widokiem na zbiornik 2 – Prądnik WARIANT 2



*Rys.48 Zbiornik 1 – Prądnik WARIANT 2*





Rys.49 Zbiornik 1 – Prądnik WARIANT 2





Rys.50 Zbiornik 2 z widokiem na zbiornik 1 – Prądnik WARIANT 2

WARIANT 3 - Prądnik – 2 zbiorniki w układzie kaskadowym

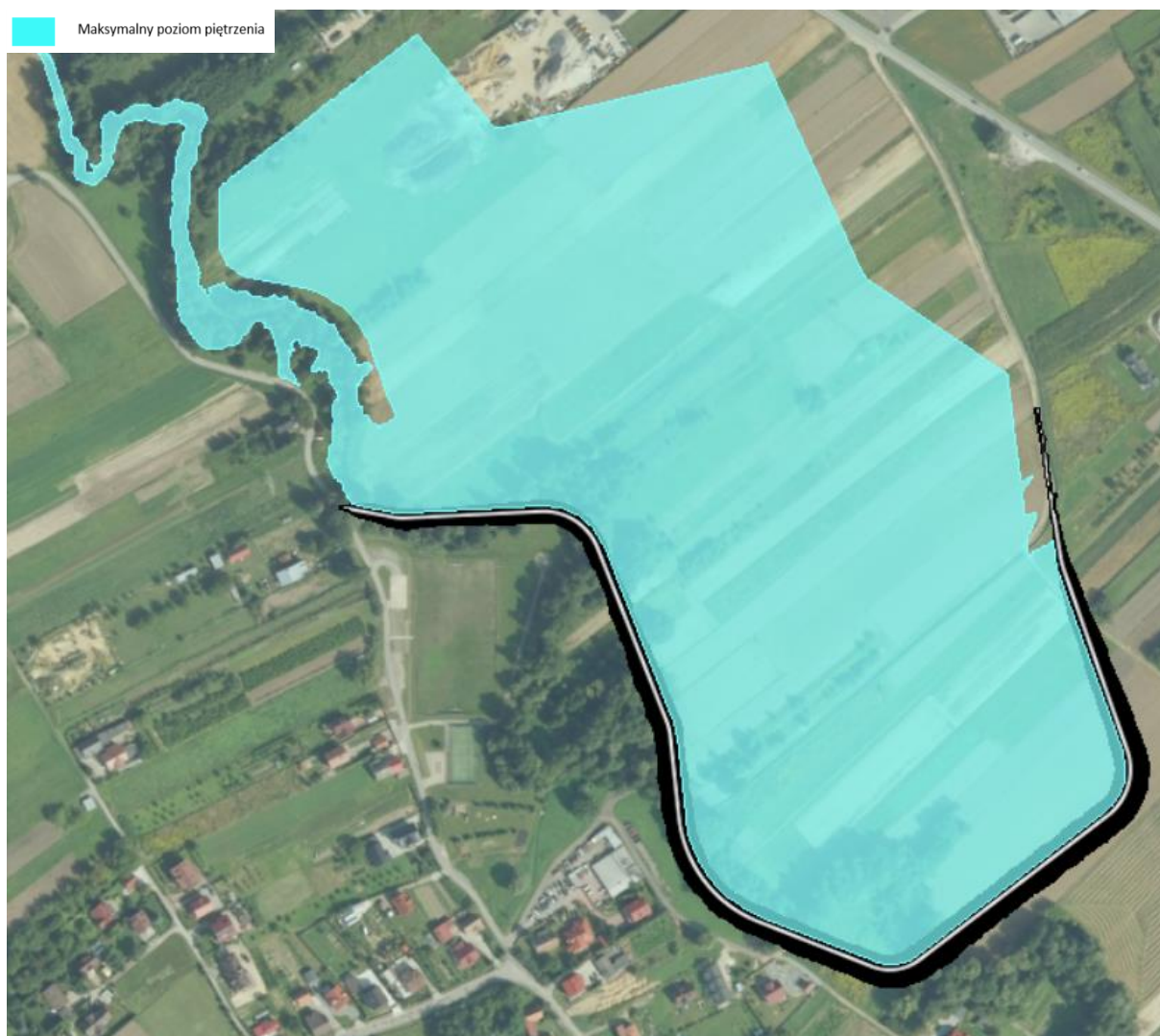


Rys.51 Zbiornik 1 z widokiem na zbiornik 2 – Prądnik WARIANT 3



*Rys.52 Zbiornik 1 – Prądnik WARIANT 3*

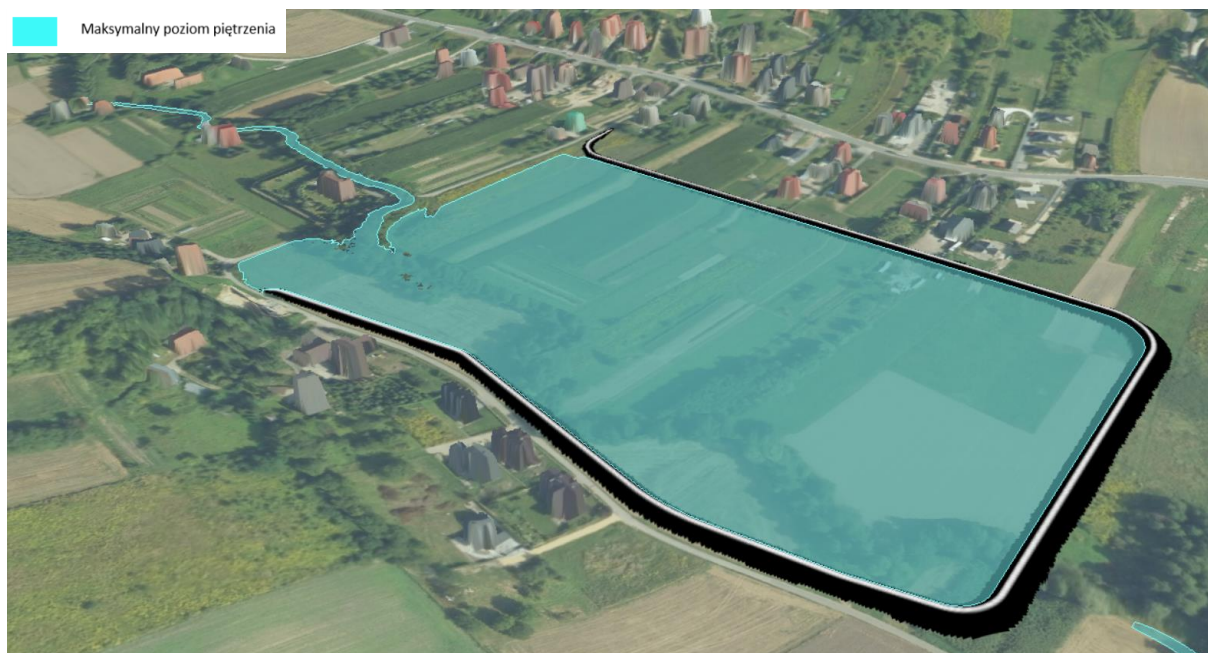




*Rys.53 Zbiornik 1 – Prądnik WARIANT 3*



Rys.54 Zbiornik 2 z widokiem na zbiornik 1 – Prądnik WARIANT 3



Rys.55 Zbiornik 2 – Prądnik





*Rys.56 Zbiornik 2 – Prądnik*

Garliczka – Zbiornik 3



Rys.57 Zbiornik 3 - Garliczka





*Rys.58 Zbiornik 3 - Garliczka*



Rys.59 Zbiornik 3 - Garliczka.

### 3.2. Parametry zbiorników i zapór

Poniżej przedstawiono parametry zbiorników i zapór. Zbiornik 1 i zapora 1 na Prądniku została zaprojektowana w 3 wariantach.

#### 3.2.1. Prądnik – ZBIORNIK 1

##### W WARIANCIE 1

Zaporę 1 o wysokości ok. 6 m zaproponowano w km 12+713 Prądnika.

##### **Parametry zapory 1**

Klasa budowli	III
Wysokość zapory	6 m
Długość zapory czołowej	183 m
Długość zapory bocznej lewej	215 m
Długość zapory bocznej prawej	412 m
Rzędna korony zapory	244 m n.p.m.
Nachylenie skarpy odwodnej	1:2.5
Nachylenie skarpy odpowietrznej	1:2
Kubatura nasypu zapory	25500 m <sup>3</sup>

##### **Parametry zbiornika**

Rzędna MaxPP	243.00 m n.p.m.
Powierzchnia zalewu przy MaxPP	19.23 ha
Pojemność powodziowa	0.45675 mln m <sup>3</sup>

##### W WARIANCIE 2

Zaporę 1 o wysokości ok. 6 m zaproponowano w km 12+713 Prądnika.

##### **Parametry zapory 1**

Klasa budowli	III
Wysokość zapory	6 m
Długość zapory czołowej	183 m
Długość zapory bocznej lewej	215 m
Długość zapory bocznej prawej	175 m
Rzędna korony zapory	244 m n.p.m.
Nachylenie skarpy odwodnej	1:2.5

Nachylenie skarpy odpowietrznej	1:2
Kubatura nasypu zapory	21600 m <sup>3</sup>
Kubatura muru	3700 m <sup>3</sup>
Długość muru	492 m

**Parametry zbiornika**

Rzędna MaxPP	243.00 m n.p.m.
Powierzchnia zalewu przy MaxPP	18.12 ha
Pojemność powodziowa	0.44369 mln m <sup>3</sup>

**W WARIANCIE 3**

Zaporę 1 o wysokości ok. 6 m zaproponowano w km 12+713 Prądnika.

**Parametry zapory 1**

Klasa budowli	III
Wysokość zapory	6 m
Długość zapory czołowej	183 m
Długość zapory bocznej lewej	242 m
Długość zapory bocznej prawej	517 m
Rzędna korony zapory	244 m n.p.m.
Nachylenie skarpy odwodnej	1:2.5
Nachylenie skarpy odpowietrznej	1:2
Kubatura nasypu zapory	31400 m <sup>3</sup>

**Parametry zbiornika**

Rzędna MaxPP	243.00 m n.p.m.
Powierzchnia zalewu przy MaxPP	16.65 ha
Pojemność powodziowa	0.41871 mln m <sup>3</sup>

**3.2.2. Prądnik – ZBIORNIK 2**

Zapora 2 o wysokości ok. 5 m zaproponowano w km 14+215 Prądnika.

**Parametry zapory 2**

Klasa budowli	III
Wysokość zapory	5 m

Długość zapory czołowej	227 m
Długość zapory bocznej lewej	407 m
Długość zapory bocznej prawej	397 m
Rzędna korony zapory	248.5 m n.p.m.
Nachylenie skarpy odwodnej	1:2.5
Nachylenie skarpy odpowietrznej	1:2
Kubatura nasypu zapory	34300 m <sup>3</sup>

### **Parametry zbiornika**

Rzędna MaxPP	247.50 m n.p.m.
Powierzchnia zalewu przy MaxPP	9.31 ha
Pojemność powodziowa	0.22358 mln m <sup>3</sup>

### **3.2.3. Garliczka – ZBIORNIK 3**

Zapora 3 o wysokości ok. 8 m zaproponowano w km 2+802 Garliczki.

### **Parametry zapory 3**

Klasa budowli	III
Wysokość zapory	8 m
Długość zapory	248 m
Rzędna korony zapory	252 m n.p.m.
Nachylenie skarpy odwodnej	1:2.5
Nachylenie skarpy odpowietrznej	1:2
Kubatura nasypu zapory	18700 m <sup>3</sup>

### **Parametry zbiornika 3**

Rzędna MaxPP	251.00 m n.p.m.
Powierzchnia zalewu przy MaxPP	7.92 ha
Pojemność powodziowa	0.29346 mln m <sup>3</sup>



### 3.3. Krzywe pojemności oraz parametry zbiorników

W oparciu o Numeryczny Model Terenu (NMT) ustalono zależności pomiędzy rozpatrywanymi poziomami piętrzenia, a wartością powierzchni zalewu i pojemnością zbiornika.

Analizując pojemność zbiornika wzięto pod uwagę uwarunkowania zarówno hydrologiczne, topograficzne, geologiczne jak i planowane inwestycje. Zaproponowano lokalizację kaskady 2 zbiorników na Prądniku oraz 1 zbiornika na Garliczce wraz z ukształtowaniem czaszy zbiorników w obu przypadkach.

Z uwzględnieniem krzywej pojemności zbiornika i powierzchni zalewu określono rzędną maksymalnego poziomu piętrzenia (MaxPP) oraz maksymalną pojemność zbiornika.

#### 3.3.1. Prądnik – krzywa pojemności - ZBIORNIK 1

##### W WARIANCIE 1

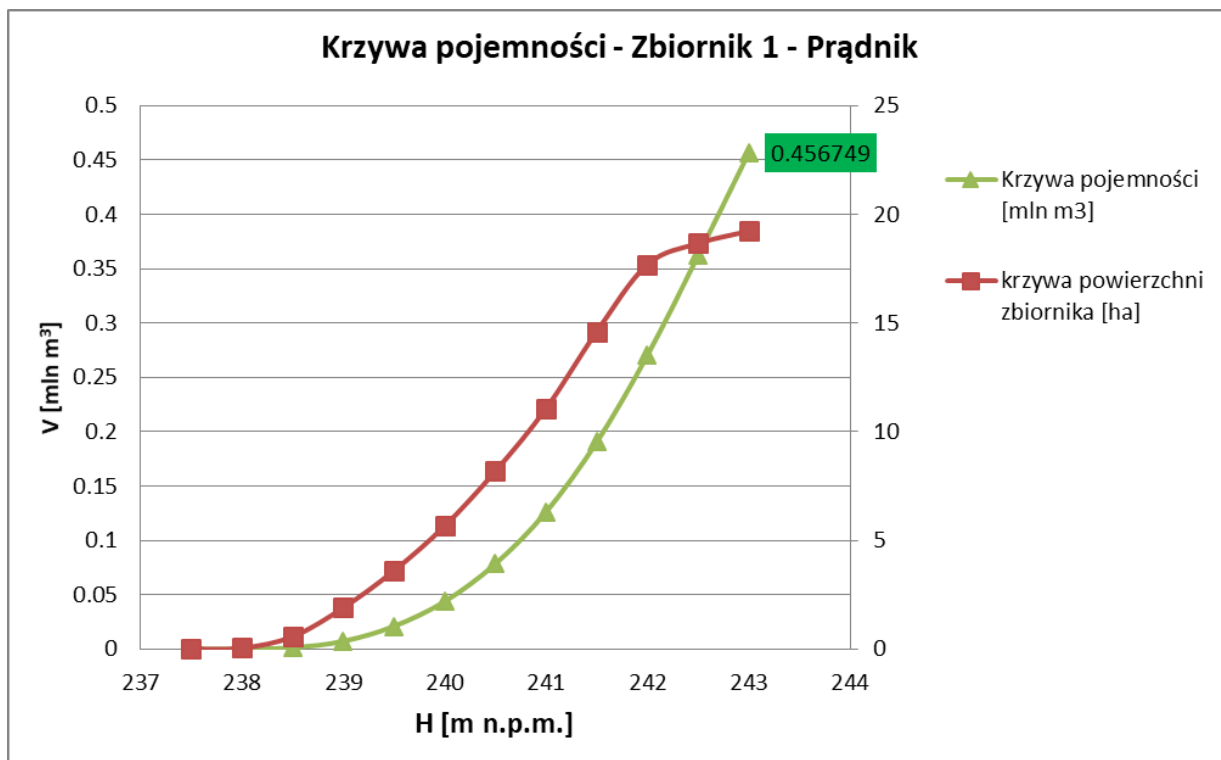
Przy założonym maksymalnym poziomie piętrzenia na rzędnej **243.00 m n.p.m.** objętość powodziowa wynosi  **$V_p=0.45675$  mln m<sup>3</sup>.**

Przy tak przyjętej rzędnej MaxPP w celu ograniczenia zasięgu zwierciadła wody konieczna będzie budowa wału w celu zabezpieczenia posesji zlokalizowanych w sąsiedztwie cofki oraz kształtowanie czaszy zbiornika. Przyjęcie odpowiedniego rozwiązania powinno odbyć się w fazie projektu budowlanego.



Tab. 6 Krzywa pojemności zbiornika 1 w wariantcie 1

Krzywa pojemności - zbiornik 1 - Prądnik		
[m n.p.m.]	[ha]	[mln m <sup>3</sup> ]
237.5	0.00398	0
238	0.051	0.00013
238.5	0.575	0.00139
239	1.907	0.00731
239.5	3.61	0.02103
240	5.67	0.04392
240.5	8.19	0.07848
241	11.07	0.12622
241.5	14.61	0.19047
242	17.7	0.27039
242.5	18.67	0.36200
MaxPP	243	19.23
		0.45675



Rys.60 Krzywa pojemności zbiornika 1 w wariantcie 1

- Klasa budowli

Klasę budowli na projektowanym zbiorniku określono według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie Dz. U. 2007 r. Nr 86 poz.

579. Ze względu na wysokość piętrzenia projektowaną budowlę zaliczono do **budowli klasy III**.

Ostatecznie przyjęto min. rzędną korony zapory **244.00 m n.p.m.**

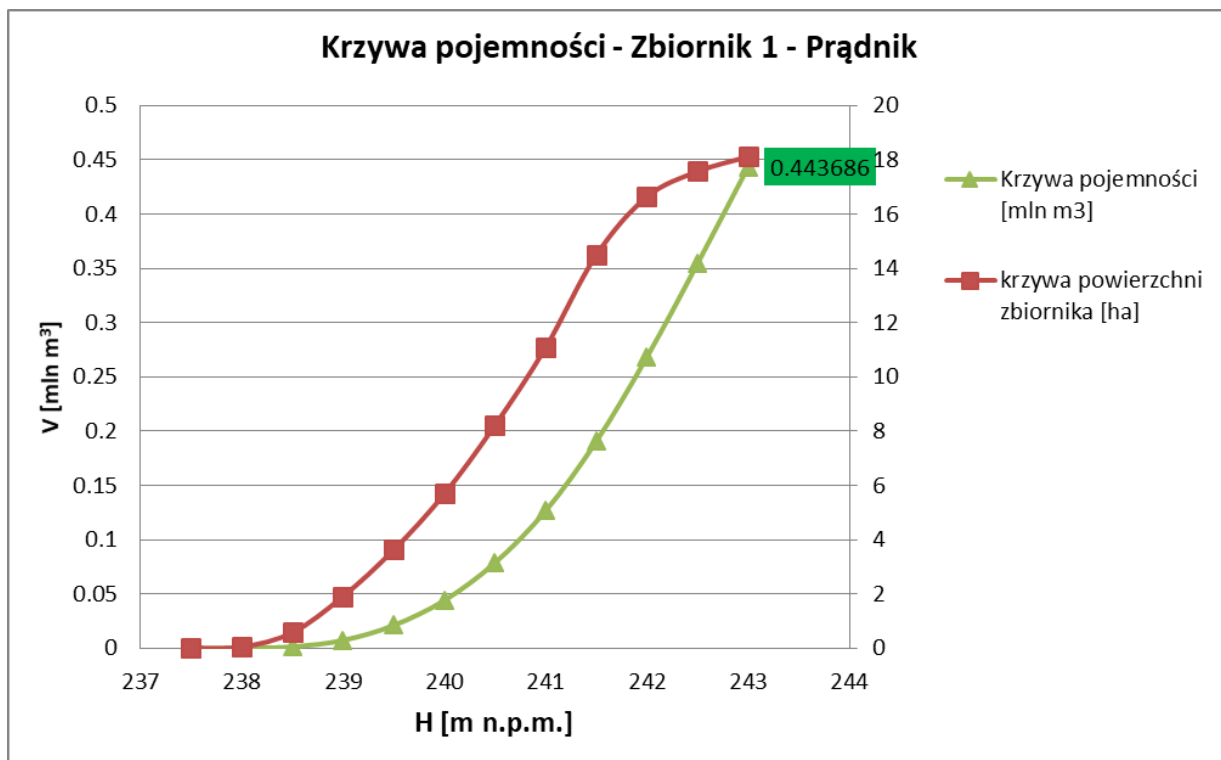
#### W WARIANCIE 2

Przy założonym maksymalnym poziomie piętrzenia na rzędnej **243.00 m n.p.m.** objętość powodziowa wynosi  **$V_p=0.44369$  mln m<sup>3</sup>**.

Przy tak przyjętej rzędnej MaxPP w celu ograniczenia zasięgu zwierciadła wody konieczna będzie budowa wału oraz muru oporowego w celu zabezpieczenia posesji zlokalizowanych w sąsiedztwie cofki oraz kształtowanie czaszy zbiornika. Przyjęcie odpowiedniego rozwiązania powinno odbyć się w fazie projektu budowlanego.

Tab. 7 Krzywa pojemności zbiornika 1 w wariancie 2

Krzywa pojemności - zbiornik 1 - Prądnik		
[m n.p.m.]	[ha]	[mln m <sup>3</sup> ]
237.5	0.00474	0
238	0.0519	0.00014
238.5	0.578	0.00142
239	1.914	0.00736
239.5	3.626	0.02113
240	5.69	0.04413
240.5	8.22	0.07880
241	11.08	0.12665
241.5	14.49	0.19063
242	16.64	0.26827
242.5	17.57	0.35447
MaxPP	243	18.12
		0.44369



Rys.61 Krzywa pojemności zbiornika 1 w wariancie 2

- Klasa budowli

Klasę budowli na projektowanym zbiorniku określono według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie Dz. U. 2007 r. Nr 86 poz.

579. Ze względu na wysokość piętrzenia projektowaną budowlę zaliczono do **budowli klasy III**.

Ostatecznie przyjęto min. rzędną korony zapory **244.00 m n.p.m.**

### W WARIANCIE 3

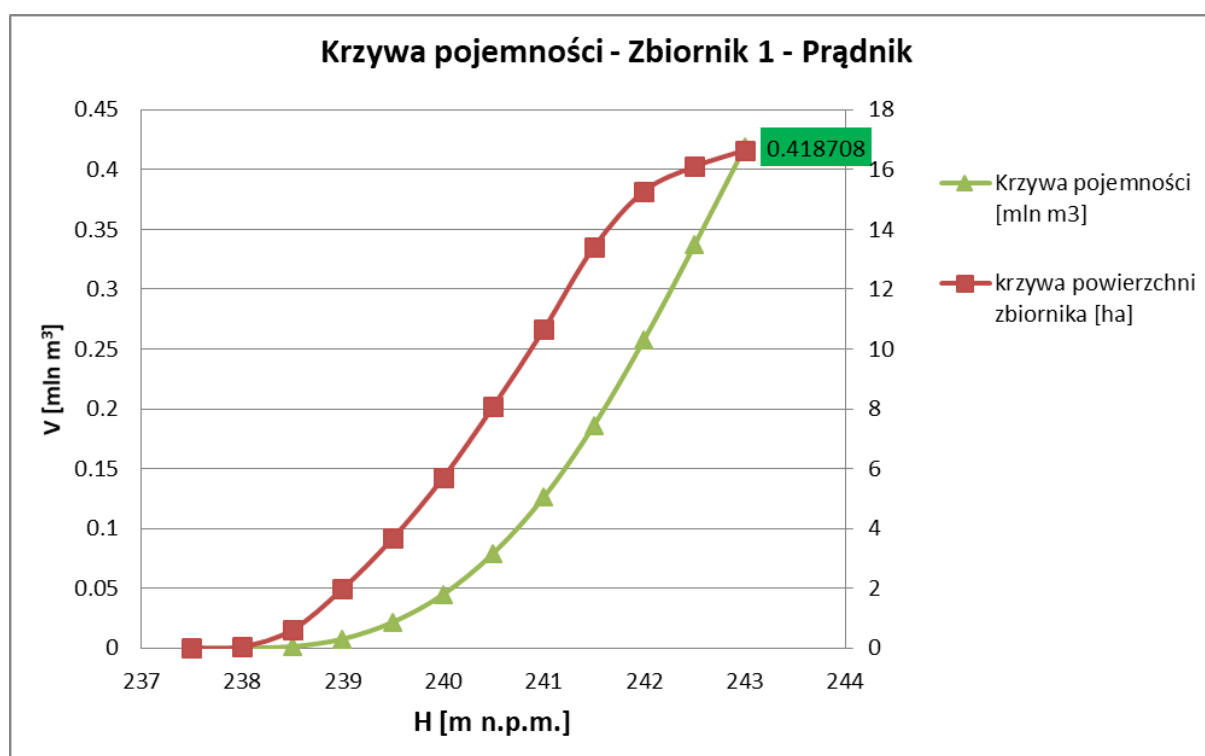
Przy założonym maksymalnym poziomie piętrzenia na rzędnej **243.00 m n.p.m.** objętość powodziowa wynosi  **$V_p=0.41871$  mln m<sup>3</sup>**.

Przy tak przyjętej rzędnej MaxPP w celu ograniczenia zasięgu zwierciadła wody konieczna będzie budowa wału w celu zabezpieczenia posesji zlokalizowanych w sąsiedztwie cofki oraz kształtowanie czaszy zbiornika. Przyjęcie odpowiedniego rozwiązania powinno odbyć się w fazie projektu budowlanego.



Tab. 8 Krzywa pojemności zbiornika 1 w wariancie 3

Krzywa pojemności - zbiornik 1 - Prądnik		
[m n.p.m.]	[ha]	[mln m <sup>3</sup> ]
237.5	0.0043	0
238	0.0526	0.00014
238.5	0.611	0.00149
239	1.988	0.00770
239.5	3.679	0.02180
240	5.7	0.04496
240.5	8.09	0.07941
241	10.65	0.12601
241.5	13.41	0.18628
242	15.28	0.25790
242.5	16.1	0.33681
MaxPP	243	16.65
		0.41871



Rys.62 Krzywa pojemności zbiornika 1 w wariancie 3

- Klasa budowli

Klasę budowli na projektowanym zbiorniku określono według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie Dz. U. 2007 r. Nr 86 poz.

579. Ze względu na wysokość piętrzenia projektowaną budowlę zaliczono do **budowli klasy III**.

Ostatecznie przyjęto min. rzędną korony zapory **244.00 m n.p.m.**

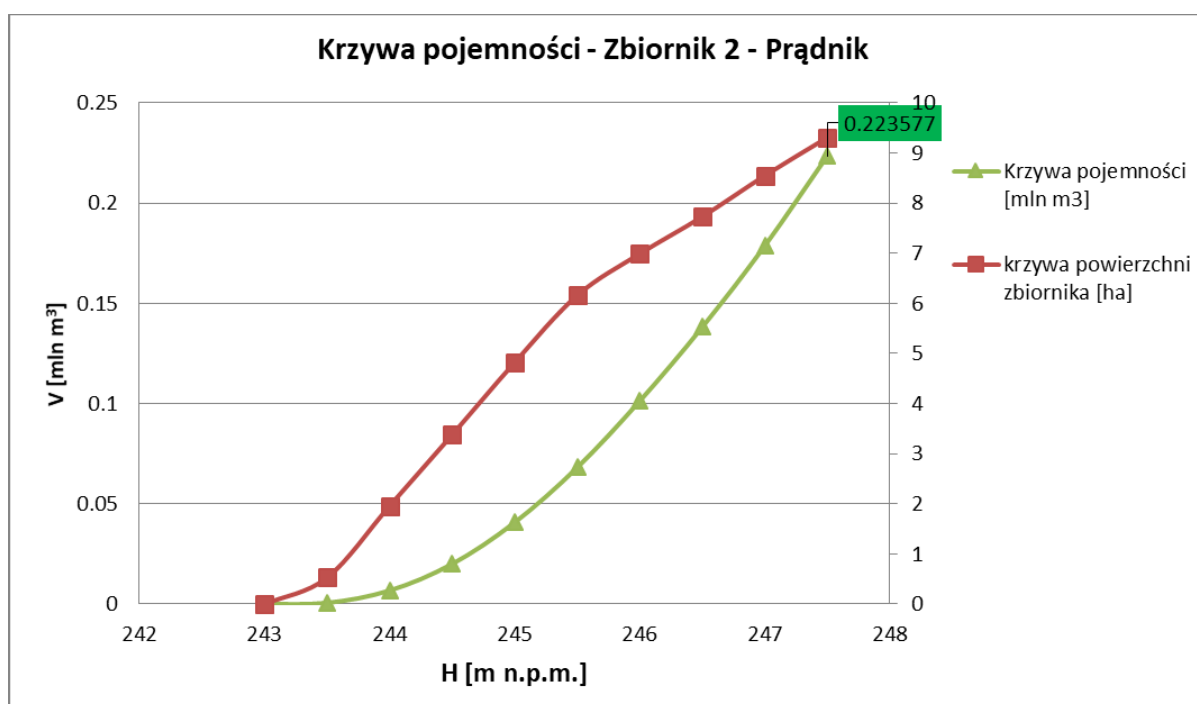
### 3.3.2. Prądnik – krzywa pojemności - ZBIORNIK 2

Zbiornik 2 zlokalizowany jest bezpośrednio powyżej zbiornika 1 również w rejonie lokalizacji wskazanej w PZRP. Przy założonym maksymalnym poziomie piętrzenia na rzędnej **247.50 m n.p.m.** objętość powodziowa wynosi  $V_p=0.22358 \text{ mln m}^3$ . Budowa drugiej zapory z korycie wynika z dążenia do maksymalizacji pojemności retencyjnej na wskazanym obszarze.

Przy tak przyjętej rzędnej MaxPP w celu ograniczenia zasięgu zwierciadła wody konieczna będzie budowa wału w celu zabezpieczenia posesji zlokalizowanych w sąsiedztwie cofki oraz kształtowanie czaszy zbiornika. Przyjęcie odpowiedniego rozwiązania powinno odbyć się w fazie projektu budowlanego.

Tab. 9 Krzywa pojemności zbiornika 2

Krzywa pojemności - zbiornik 2 - Prądnik		
[m n.p.m.]	[ha]	[mln m <sup>3</sup> ]
243	0	0
243.5	0.528	0.00062
244	1.96	0.00679
244.5	3.379	0.02005
245	4.822	0.04073
245.5	6.16	0.06812
246	6.99	0.10132
246.5	7.73	0.13814
247	8.55	0.17871
MaxPP	247.5	9.31
		0.22358



Rys.63 Krzywa pojemności zbiornika 2

- Klasa budowli

Klasę budowli na projektowanym zbiorniku określono według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie Dz. U. 2007 r. Nr 86 poz. 579. Ze względu na wysokość piętrzenia projektowaną budowlę zaliczono do **budowli klasy III**.

Ostatecznie przyjęto min. rzędną korony zapory **248.50 m n.p.m.**

### 3.3.3. Garliczka – krzywa pojemności - ZBIORNIK 3

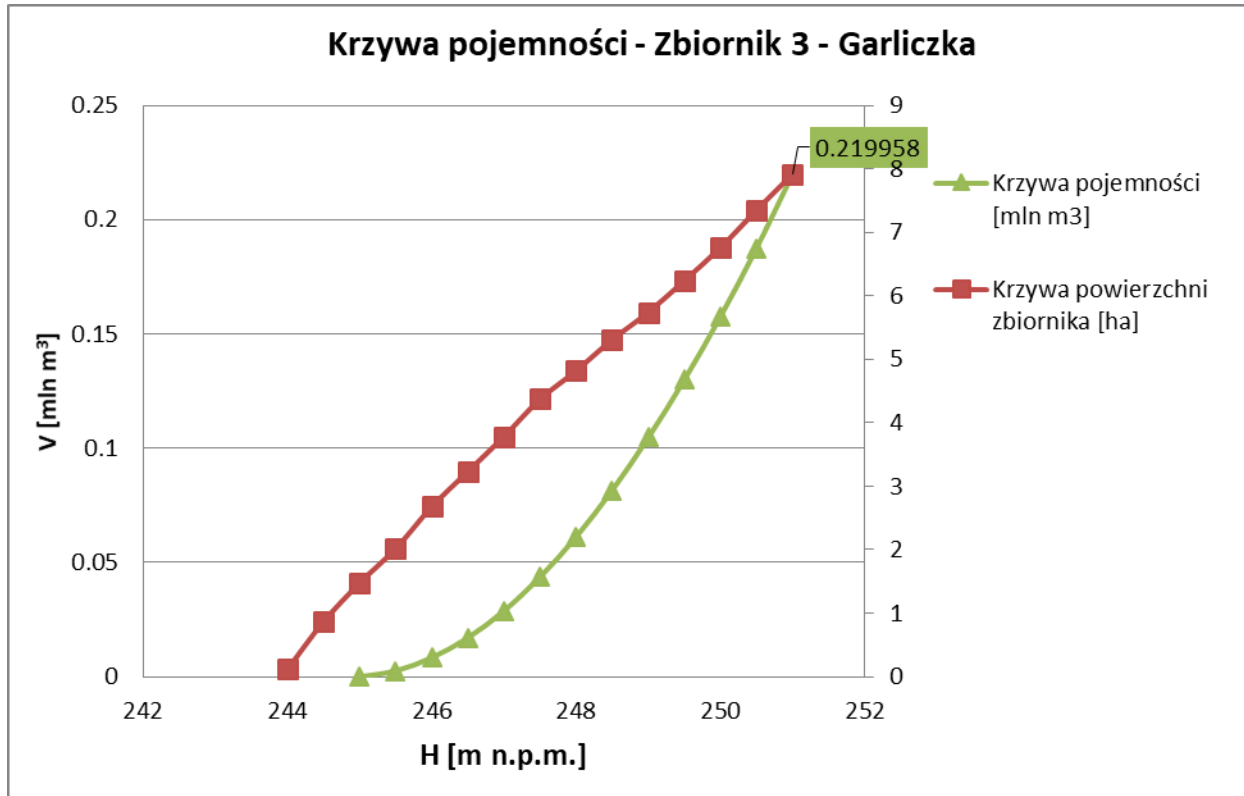
Przy założonym maksymalnym poziomie piętrzenia na rzędnej **251,00 m n.p.m.** objętość powodziowa wynosi  **$V_p=0,29346$  mln m<sup>3</sup>**.

Przy tak przyjętej rzędnej MaxPP w celu ograniczenia zasięgu zwierciadła wody konieczne będzie kształtowanie czaszy zbiornika. Przyjęcie odpowiedniego rozwiązania powinno odbyć się w fazie projektu budowlanego.

Tab. 10 Krzywa pojemności zbiornika 3

Krzywa pojemności - zbiornik 3 - Garliczka		
[m n.p.m.]	[ha]	[mln m <sup>3</sup> ]
244	0.1177	0
244.5	0.864	0.00256
245	1.476	0.00832
245.5	2.018	0.01701
246	2.677	0.02877
246.5	3.231	0.04361
247	3.783	0.06114
247.5	4.371	0.08155
248	4.819	0.10459
248.5	5.31	0.12992
249	5.74	0.15755
249.5	6.24	0.18752
250	6.76	0.21996
250.5	7.35	0.25531
MaxPP 251	7.92	0.29346





Rys.64 Krzywa pojemności zbiornika 3

- Klasa budowli

Klasę budowli na projektowanym zbiorniku określono według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie Dz. U. 2007 r. Nr 86 poz. 579. Ze względu na wysokość piętrzenia projektowaną budowlę zaliczono do **budowli klasy III**.

Ostatecznie przyjęto min. rzędną korony zapory **252.00 m n.p.m.**

## 4. OBLICZENIA HYDRAULICZNE – SYMULACJE PRACY ZBIORNIKÓW

Symulacje pracy zbiorników przy przejściu fal powodziowych (prezentowane poniżej wykresy dotyczące fal o kulminacji  $p=1\%$  - woda stuletnia, (najbardziej niekorzystne objętościowo fale, o najwyższych kulminacjach, wynikające z opadu o czasie trwania odpowiadającym czasowi koncentracji w zlewni), odpowiednich do oszacowania redukcji zagrożenia powodziowego prowadzono przy pomocy oprogramowania, umożliwiającego dynamiczne w czasie modelowanie zbiornika retencyjnego i pracy urządzeń spustowo-przelewowych (o geometrii, wynikającej z optymalizacji). Symulację na Prądniku przeprowadzono dla zbiorników w wariantcie 1.

### 4.1. Redukcja kulminacji fal

#### PRĄDNIK

##### Zbiornik 1

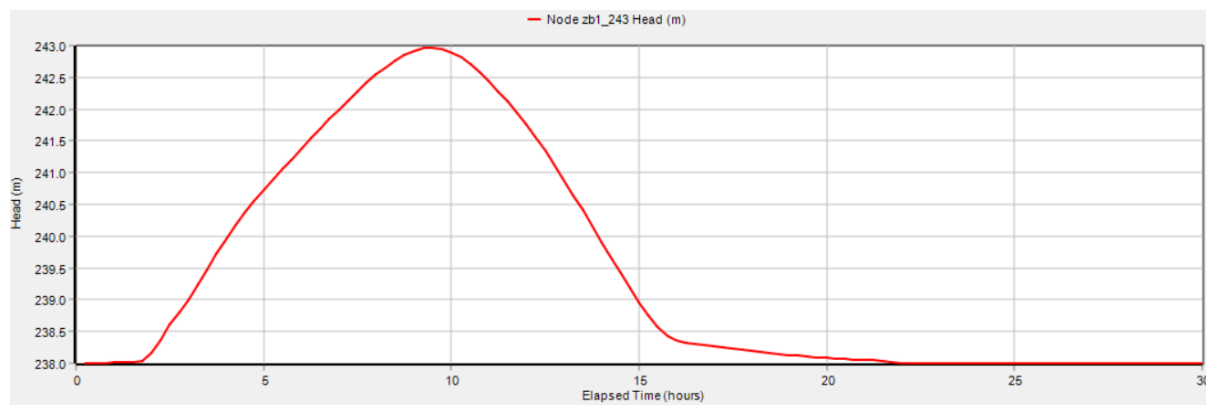
Rzędna dna zbiornika – 238 m n.p.m.

MaxPP – 243 m n.p.m.

Rzędna przelewu – 242.8 m n.p.m.

Szerokość przelewu – 2 m

Upust 3.95 m x 3 m [b x h]



*Rys.65 Napełnienie w zbiorniku 1 na Prądniku - p1%6h*

##### Zbiornik 2

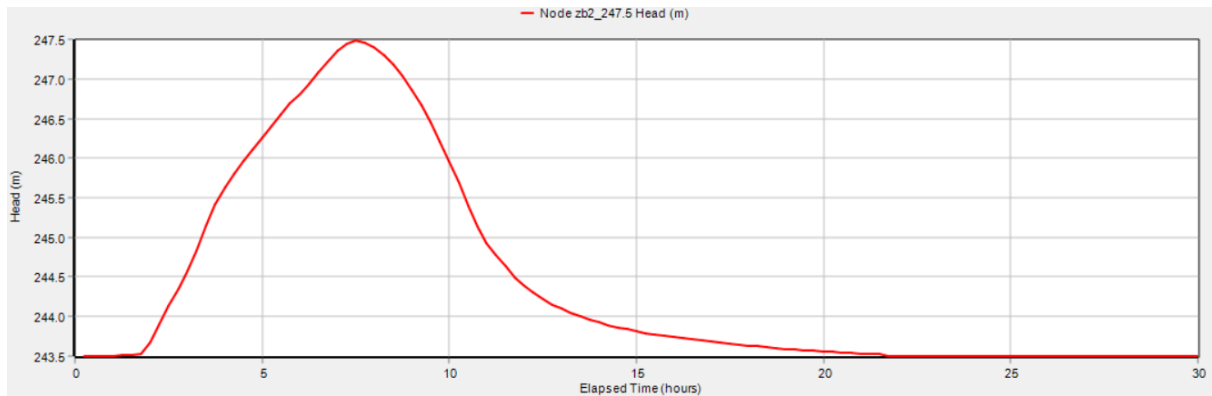
Rzędna dna zbiornika – 243.5 m n.p.m.

MaxPP – 247.5 m n.p.m.

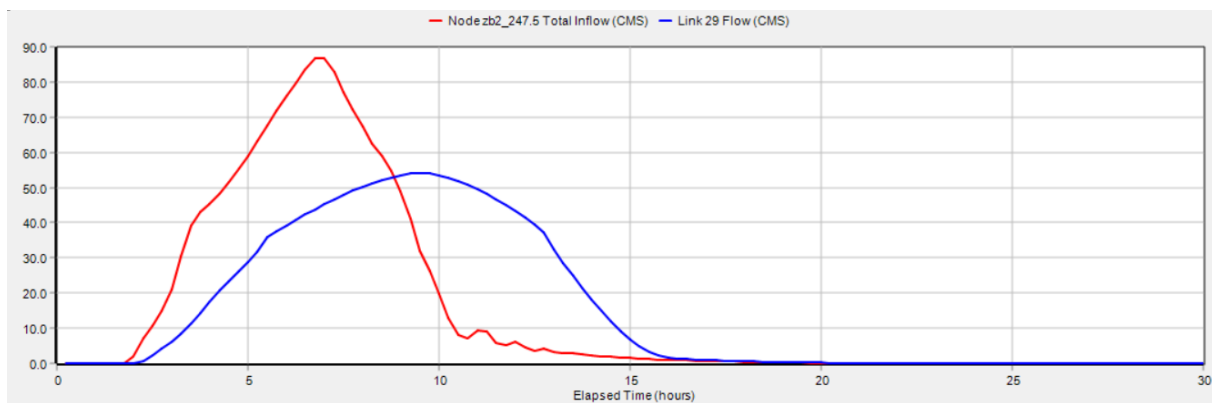
Rzędna przelewu – 247.3 m n.p.m.

Szerokość przelewu – 2 m

Upust 5 m x 3.2 m [b x h]



Rys.66 Napełnienie w zbiorniku 2 na Prądniku - p1%6h



Rys.67 Redukcja fali – Prądnik - p1%6h

## GARLICZKA

### Zbiornik 3

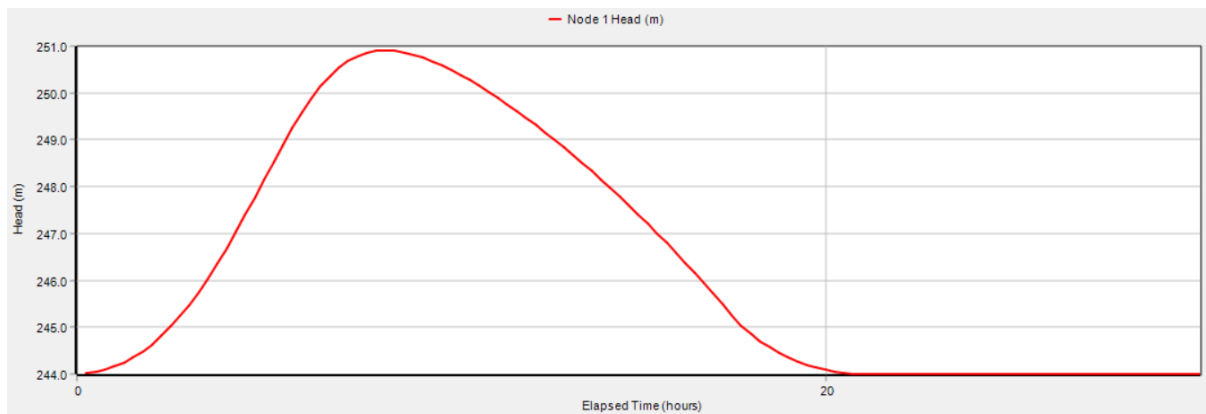
Rzędna dna zbiornika – 244 m n.p.m.

MaxPP – 251 m n.p.m.

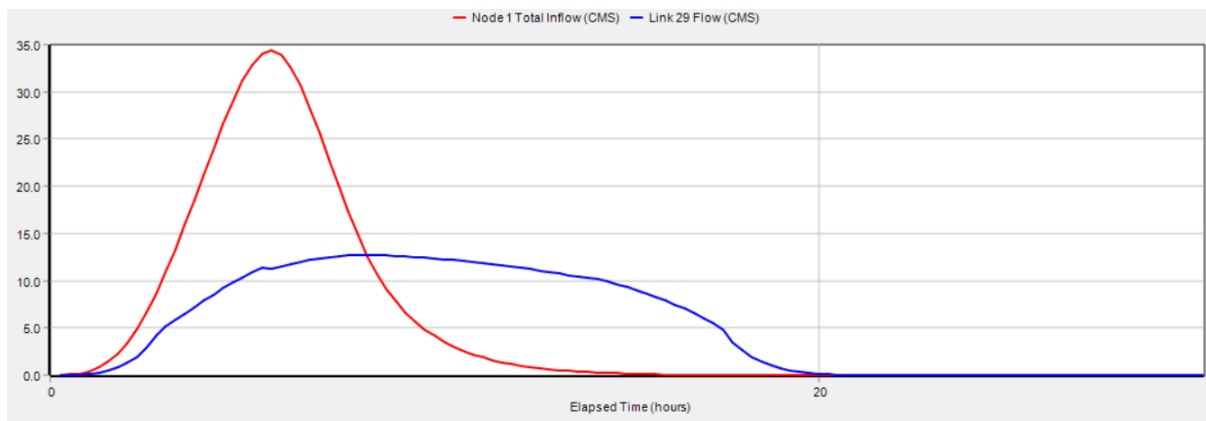
Rzędna przelewu – 250.8 m n.p.m.

Szerokość przelewu – 1 m

Upust 1.6 m x 1.2 m [b x h]



*Rys.68 Napełnienie w zbiorniku 3 na Garliczce - p1%6h*



*Rys.69 Redukcja fali – Garliczka - p1%6h*

## 4.2. Podsumowanie redukcji przepływu dla wszystkich scenariuszy

W tabeli poniżej zestawiono stopień redukcji przepływów maksymalnych oraz napełnienie z zbiornikach dla kilku analizowanych scenariuszy opadowych.

Z uwagi na fakt, że zbiorniki powinny pracować bezobsługowo wymiarowanie urządzeń przelewowo-spustowych przyjęto, mając na celu maksymalizację stopnia redukcji dla przepływu  $Q_{\max 1\%}$ . Przy takim podejściu (z uwagi na dużą przepustowość upustów), stopień redukcji dla fal o kulminacjach mniejszych niż  $Q_{\max 1\%}$  jest mniejszy.

*Tab. 11 Stopień redukcji przepływów maksymalnych oraz napełnienia w zbiornikach – Prądnik - zbiorniki zwymiarowane na wodę o prawdopodobieństwie p1%*

prawdopodobieństwo p%	Czas trwania opadu	Objętość hydrogramu	Prądnik - przepływ	redukcja przepływu - Prądnik	Redukcja przepływu	Napełnienie zbiornika 1	Napełnienie zbiornika 2
	[h]	[mln m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[%]	[ m n.p.m.]	[ m n.p.m.]
1	3	1.309	77.60	49.42	36	242.45	247.05
	<b>6</b>	<b>1.616</b>	<b>86.87</b>	<b>54.11</b>	<b>38</b>	<b>242.97</b>	<b>247.48</b>
	12	1.971	74.53	54.07	27	242.97	247.12
	24*	0.937	26.45	24.81	6	240.43	245.36
10	3	0.508	34.74	25.57	26	240.48	245.48
	6	0.681	35.97	30.82	14	240.83	245.74
	12	0.895	36.84	32.62	11	240.94	245.79
	24*	0.249	7.10	3.54	50	238.66	244.00

\* w przypadku opadu dobowego przyjęto stopień uwilgotnienia gleby na poziomie AMC I

*Tab. 12 Stopień redukcji przepływów maksymalnych oraz napełnienia w zbiorniku - Garliczka - zbiornik zwymiarowany na wodę o prawdopodobieństwie p1%*

Prawdopodobieństwo p%	Czas trwania opadu	Objętość hydrogramu	Garliczka - przepływ	redukcja przepływu - Garliczka	Redukcja przepływu	Napełnienie zbiornika 3
	[h]	[mln m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[%]	[ m n.p.m.]
1	3	0.470	35.19	12.18	65	250.29
	6	0.569	34.41	12.76	63	250.91
	<b>12</b>	<b>0.684</b>	<b>26.38</b>	<b>12.97</b>	<b>51</b>	<b>250.96</b>
	24*	0.376	10.42	8.5	18	246.96
10	3	0.203	15.54	8.92	43	247.19
	6	0.263	16.93	9.73	43	247.68
	12	0.336	14.42	9.82	32	247.73
	24*	0.125	3.59	3.49	3	245.10

\* w przypadku opadu dobowego przyjęto stopień uwilgotnienia gleby na poziomie AMC I

W przypadku, gdyby założyć, że zbiornik powinien chronić tereny położone poniżej niego przed powodzią mniejszymi niż woda stuletnia oraz odpowiednio zwymiarować urządzenia upustowe.



Tab. 13 Stopień redukcji przepływów maksymalnych oraz napełnienia w zbiornikach – Prądnik – zbiorniki zwymiarowane na wodę o prawdopodobieństwie p10%

prawdopodobieństwo p%	Czas trwania opadu	Objętość hydrogramu	Prądnik - przepływ	redukcja przepływu - Prądnik	Redukcja przepływu	Napełnienie zbiornika 1	Napełnienie zbiornika 2
	[h]	[mln m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[%]	[ m n.p.m.]	[ m n.p.m.]
10	3	0.508	34.74	10.64	69	241.84	246.44
	6	0.681	35.97	12.19	66	242.43	247.16
	<b>12</b>	<b>0.895</b>	<b>36.84</b>	<b>13.25</b>	<b>64</b>	<b>243.00</b>	<b>247.50</b>
	24*	0.249	7.10	3.23	55	239.22	244.11

\* w przypadku opadu dobowego przyjęto stopień uwilgotnienia gleby na poziomie AMC I

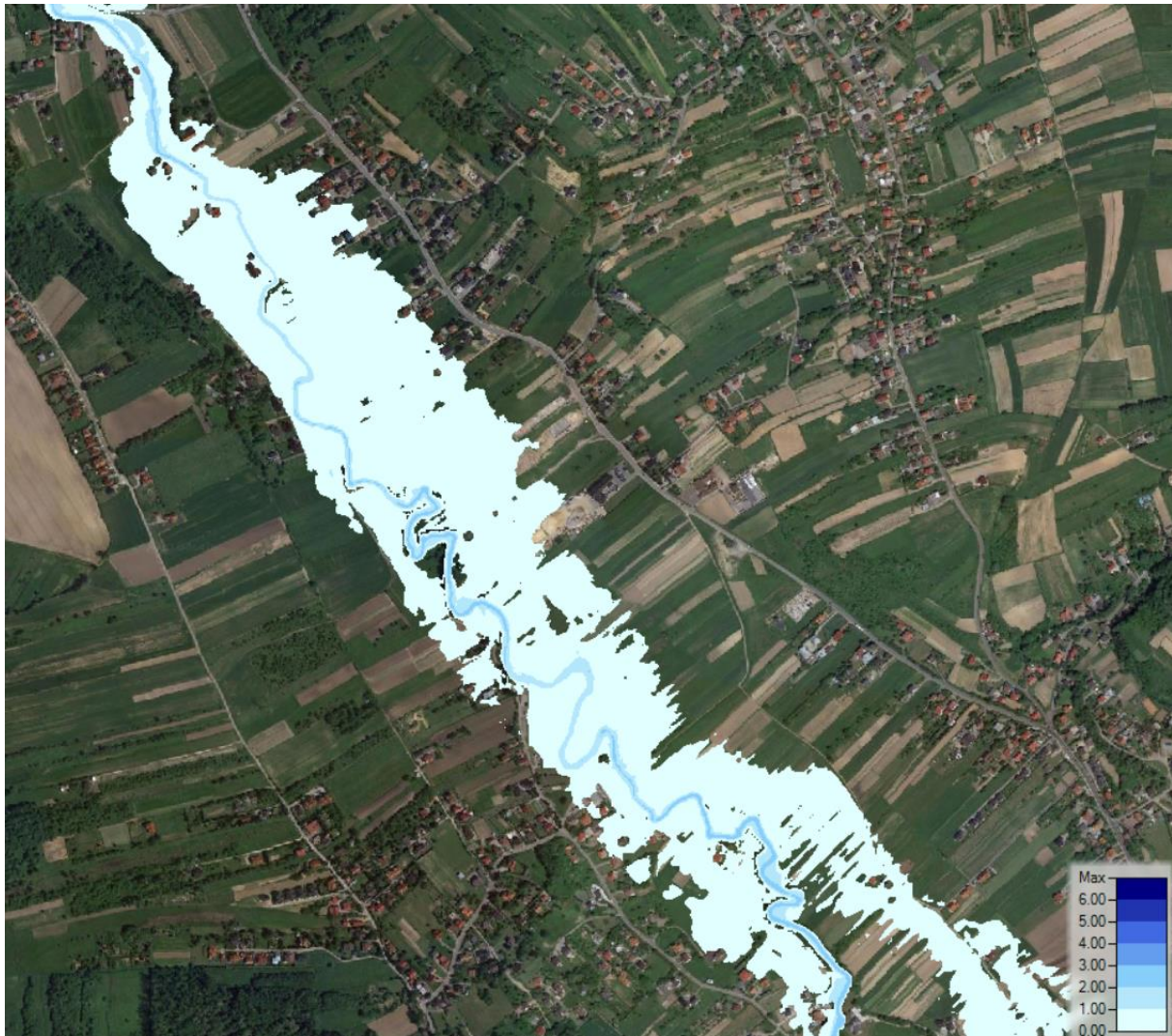
Tab. 14 Stopień redukcji przepływów maksymalnych oraz napełnienia w zbiornikach – Garliczka – zbiornik zwymiarowany na wodę o prawdopodobieństwie p10%

prawdopodobieństwo p%	Czas trwania opadu	Objętość hydrogramu	Garliczka - przepływ	redukcja przepływu - Garliczka	Redukcja przepływu	Napełnienie zbiornika 3
	[h]	[mln m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[%]	[ m n.p.m.]
10	3	0.203	15.54	0.99	94	249.30
	6	0.263	16.93	1.06	94	250.14
	<b>12</b>	<b>0.336</b>	<b>14.42</b>	<b>1.25</b>	<b>91</b>	<b>250.97</b>
	24*	0.125	3.59	0.84	77	247.51

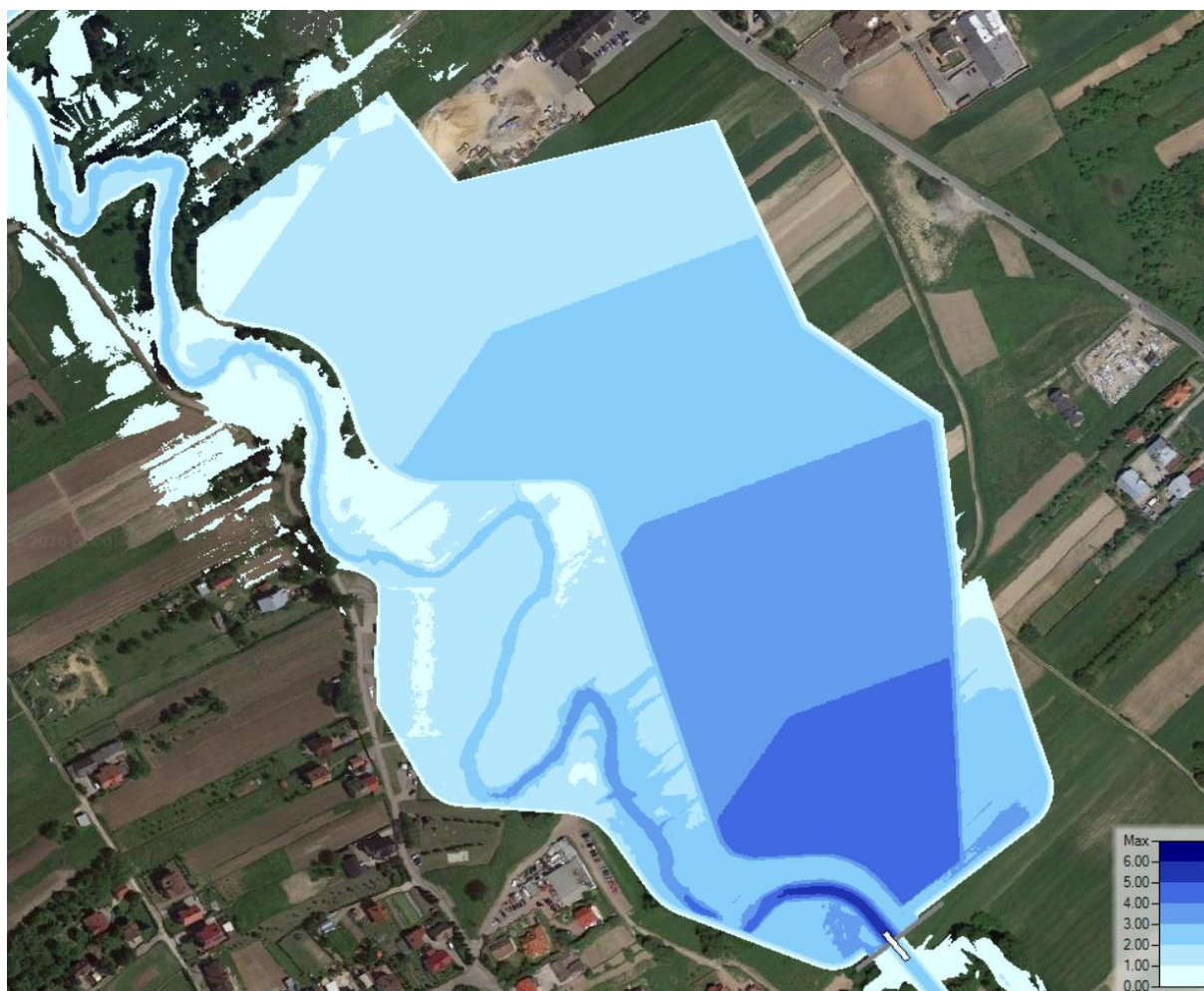
\* w przypadku opadu dobowego przyjęto stopień uwilgotnienia gleby na poziomie AMC I

#### 4.3. Redukcja zagrożenia powodziowego

Na rysunkach poniżej przedstawiono zasięg zwierciadła wody  $Q_{\max p1\%}$  (rozkład głębokości) na analizowanym odcinku doliny bezpośrednio poniżej zapór w stanie istniejącym oraz w stanie z projektowanymi zbiornikami na Prądniku (Wariant 1) oraz Garliczce dla deszczu o czasie trwania 6h.

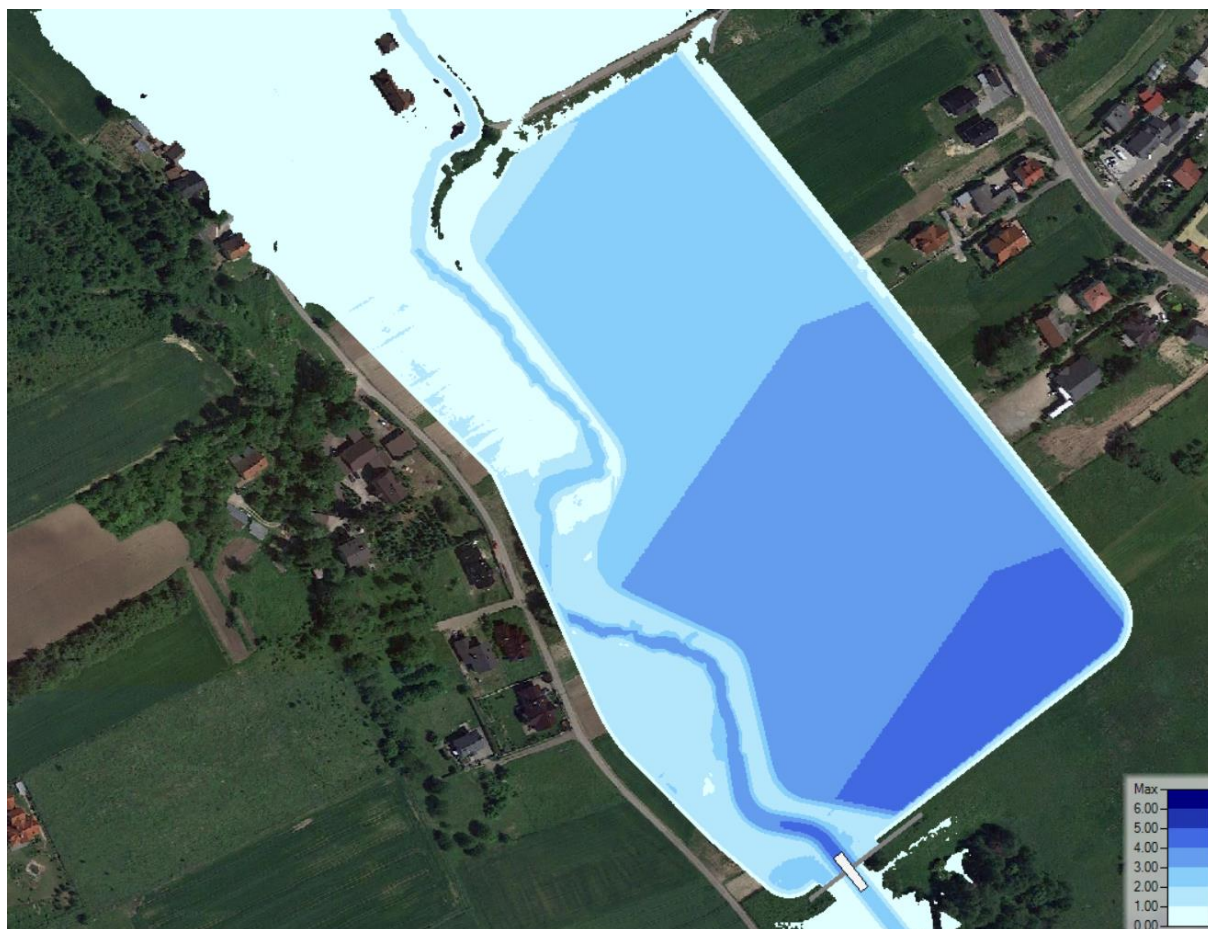


*Rys.70 Rozkład głębokości na Prądniku – p1% 6h – stan istniejący.*



Rys.71 Rozkład głębokości na Prądniku – p1% 6h – stan projektowany W1 – zbiornik 1.



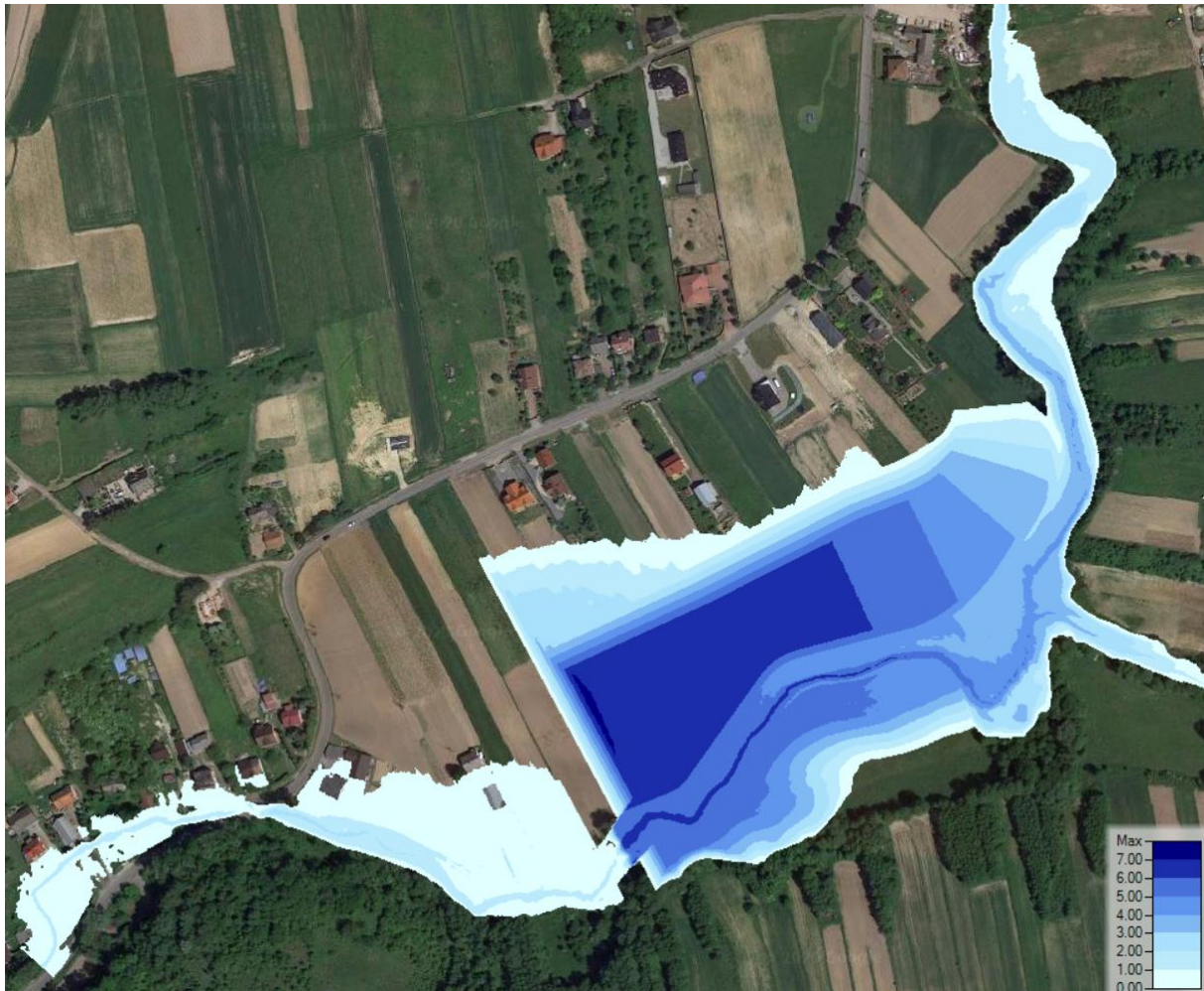


Rys.72 Rozkład głębokości na Prądniku – p1% 6h – stan projektowany W1 – zbiornik 2.



Rys.73 Rozkład głębokości na Garliczce – p1% 6h – stan istniejący.





Rys.74 Rozkład głębokości na Garliczce – p1% 6h – stan projektowany.

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Po dokonaniu odpowiednich obliczeń i analiz nasuwają się następujące wnioski.

- Prądnik jest potokiem o charakterze górskim i podgórskim, charakteryzującym się dużą zmiennością przepływów. To sprawia, że powoduje zagrożenie powodziowe dla terenów zlokalizowanych w sąsiedztwie koryta (w szczególności w obszarze Zielonek).

- W dolinie Prądnika i Garliczki w rejonie wskazanym w Planach Zarządzania Ryzykiem Powodziowym brak jest możliwości lokalizacji zapór, mogących bez ogromnych kosztów oraz bez dużej ingerencji w istniejącą zabudowę i infrastrukturę zapewnić pełne bezpieczeństwo przeciwpowodziowe dla terenów położonych poniżej, w tym na obszarze miasta Krakowa.

- Należy przeprowadzić analizę lokalizacji zbiorników w alternatywnych miejscach, na terenach rolniczych i mniej zurbanizowanych, co zmniejszy koszty wykupu terenu oraz realizacji inwestycji.

- Proponowane rozwiązania, ograniczające obszar zajęty pod zbiorniki w stosunku do rozwiązań wskazanych w Planach Zarządzania Ryzykiem Powodziowym, przy odpowiednim kształtowaniu dna zbiornika są w stanie znacząco zmniejszyć zagrożenie powodziowe na terenach położonych poniżej nich, w szczególności w przypadku krótkich opadów nawalnych oraz dla opadów o prawdopodobieństwach niższych niż  $p=1\%$  (ale nadal stanowiących zagrożenie dla nisko położonych teras zalewowych Prądnika), co stanowić może zauważalną zmianę dla mieszkańców gminy.

- Zbiorniki na terenie gminy Zielonek, aby zapewnić pełną ochronę przeciwpowodziową powinny być elementem większej sieci zbiorników, zlokalizowanych również poza Gminą, w górze rzeki.

- W związku z faktem, że zbiorniki powinny pracować jako „suche”, wypełniając się czasowo wodą tylko podczas większych wezbrań możliwe jest prowadzenie gospodarki rolniczej w ich obrębie, a także w ograniczonym zakresie zagospodarowanie terenu infrastrukturą rekreacyjną.

- Wartości przepływów maksymalnych rocznych zgodnie z opracowaniem IMGW są znacznie mniejsze niż wartości użyte w opracowaniu, na podstawie którego zaplanowano zbiorniki, przedstawione w Planach Zarządzania Ryzykiem Powodziowym.

- W celu dokładniejszego określenia charakterystyk hydrologicznych w zlewni Prądnika oraz jednoznacznego rozstrzygnięcia w sprawie wysokości przepływów powodziowych Prądnika konieczne jest stworzenie posterunku obserwacyjnego i prowadzenie ciągłych pomiarów stanów i przepływów. Tylko na podstawie takich, wiarygodnych danych można zaproponować odpowiednie rozwiązania techniczne. Dane te powinny zostać uwzględnione przy kolejnych aktualizacjach Planów Zarządzania Ryzykiem Powodziowym.

- Proponowane alternatywne rozwiązania zapewniają redukcję kulminacji powodziowej Prądnika ( $Q_{\max p1\%}$ ) o od ok 6% do ok. 40% (w zależności od długości trwania opadu) oraz redukcję kulminacji powodziowej Prądnika ( $Q_{\max p10\%}$ ) o od ok 55% do ok. 70% (w zależności od długości trwania opadu).

- Przy założeniu lokalizacji zbiorników w przekrojach, wskazanych w Planach Zarządzania Ryzykiem Powodziowym ze względu na aspekt ekonomiczny, społeczny i przyrodniczy najbardziej właściwy wariant to Wariant 2.