



Centrala:  
ul. Złota 61/100  
00-819 Warszawa  
tel.: +48 22 25 78 774  
fax: +48 22 25 78 776

Oddział Białystok  
ul. Hetmańska 103  
15-727 Białystok  
tel. +48 85 74 59 760  
fax +48 85 74 59 761

Aktualizacja programu zagospodarowania wód  
opadowych i rozbudowy kanalizacji deszczowej  
w granicach administracyjnych miasta Białegostoku  
wraz z racjonalnym rozmieszczeniem zbiorników  
retencyjnych, rowów i odparowników

## ETAP I

Zespół autorski:

mgr inż. Kamil Świętchowski, mgr inż. Anna Tomas, mgr inż. Michał Targoński,  
mgr inż. Szymon Chmur, mgr inż. Łukasz Latkowski, mgr inż. Anna Śliwko,  
mgr inż. Jakub Bobrowski, mgr inż. Sebastian Gajek

Białystok, 2018 r.

## **Spis treści**

1. Przedmiot opracowania .....	4
2. Cel opracowania.....	4
3. Materiały wyjściowe do opracowania .....	4
4. Charakterystyka miasta.....	6
5. Podział hydrograficzny .....	7
6. Stan istniejący kanalizacji deszczowej .....	8
7. Analiza opracowania pierwotnego .....	9
8. Analiza hydrauliczna systemu kanalizacji deszczowej .....	10
9. Miejsca newralgiczne i narażone na zalewanie .....	21
10. Wnioski, zalecenia i propozycje rozwiązań .....	23

## Spis rysunków

<b>Rysunek 1</b> Zlewnie topograficzne rzek w rejonie Białegostoku (Kwiatkowski, Gajko, 2011) ....	8
<b>Rysunek 2</b> Zlewnie rzek Biała, Horodnianka i Jarosówka .....	9
<b>Rysunek 3</b> Regiony opadów atmosferycznych (A. Kotowski 2011) .....	12
<b>Rysunek 4</b> Pokrycie terenu miasta Białegostoku .....	14
<b>Rysunek 5</b> Przepuszczalność gruntu na terenie miasta Białegostoku .....	15

## Spis tabel

<b>Tabela 1</b> Zestawienie powierzchniowe pod względem rodzaju terenu miasta Białegostoku ....	6
<b>Tabela 2</b> Wartość parametru CN dla różnego porcyia terenu i grup glebowych (SCS 1986) ...	15
<b>Tabela 3</b> Zestawienie ilości i długości odcinków obliczeniowych w zależności od poziomu napełnienia przewodu przy natężeniu deszczu 210 l/s/h .....	20

## Spis załączników

<b>Załącznik nr 1</b> Obliczenia hydrauliczne odcinków obliczeniowych.
<b>Załącznik nr 2a</b> Obliczenia hydrauliczne zlewni cząstkowych (deszcz 130l).
<b>Załącznik nr 2b</b> Obliczenia hydrauliczne zlewni cząstkowych (deszcz 210l).
<b>Załącznik 3</b> Obliczenia hydrauliczne węzłów obliczeniowych.
<b>Załącznik nr 4</b> Zestawienie gleb w zlewniach głównych.
<b>Załącznik nr 5</b> Zestawienie pokrycia terenu w zlewniach głównych.
<b>Załącznik nr 6</b> Zestawienie wartości parametru SCS_CN.
<b>Załącznik nr 7</b> Zestawienie tabelaryczne urządzeń podczyszczających.
<b>Załącznik nr 8</b> Zestawienie tabelaryczne zbiorników retencyjnych.
<b>Załącznik nr 9</b> Zestawienie tabelaryczne studni chłonnych.
<b>Załącznik nr 10</b> Zestawienie tabelaryczne rowów i cieków wodnych.
<b>Załącznik nr 11</b> Mapa pokrycia terenu.
<b>Załącznik nr 12</b> Mapa przepuszczalności gruntów.

## 1. Przedmiot opracowania

Przedmiotem opracowania jest „Aktualizacja programu zagospodarowania wód opadowych i rozbudowy kanalizacji deszczowej w granicach administracyjnych miasta Białegostoku wraz z racjonalnym rozmieszczeniem zbiorników retencyjnych, rowów i odprowadników”.

Etap I swym zakresem obejmuje:

1. wykonanie mapy podziału zlewni w granicach administracyjnych miasta wraz z opisem,
2. wykonanie analizy hydraulicznej istniejącego systemu kanalizacji deszczowej, oraz wykonanie mapy sieci kanalizacji deszczowej ze wskazaniem istniejących i wymaganych odbiorników (rowów, zbiorników retencyjnych, cieków wodnych) niezbędnych do odprowadzania wód opadowych wraz z opisem,
3. wskazanie miejsc newralgicznych, narażonych na zalewanie,
4. wnioski, zalecenia, propozycje rozwiązań.

## 2. Cel opracowania

Celem realizacji przedmiotu zamówienia jest aktualizacja wytycznych rozwojowych w zakresie zagospodarowania wód deszczowych dla terenu miasta Białegostoku, niezbędnych przede wszystkim do zabezpieczenia przed skutkami intensywnych opadów deszczu, poprzez prawidłowe odprowadzanie nadmiaru wód opadowych do odbiorników oraz planowania prac urbanistycznych i inwestycyjnych. Dokumentacja wykonana w ramach niniejszego zamówienia ma być formalno-prawną i technologiczną podstawą do wydawania warunków technicznych podłączenia do sieci kanalizacji deszczowej i określania parametrów technicznych tych sieci, do wykonania projektów budowlanych i działań organizacyjnych, wynikających z przyjętych planów zagospodarowania przestrzennego, kierunków rozwoju i przebudowy kanalizacji miasta Białegostoku.

## 3. Materiały wyjściowe do opracowania

1. S. Tyszewski, I. Kardel i inni, Studium hydrograficzne doliny rzeki Białej z wytycznymi do zagospodarowania rekreacyjno-wypoczynkowego i elementami małej retencji oraz prace hydrologiczne niezbędne do sporządzenia dokumentacji hydrologicznej, Warszawa 2009

2. Nazewnictwo geograficzne Polski. Tom 1. Hydronimy. Część 1. Wody płynące, źródła, wodospady, <http://ksng.gugik.gov.pl>
3. Nazewnictwo geograficzne Polski. Tom 1. Hydronimy. Część 2. Wody Stojące, <http://ksng.gugik.gov.pl>
4. Spis miejsc newralgicznych przekazanych przez Urząd Miejski w Białymstoku
5. W. Żmieńka, Ekspertyza pod kątem docelowych rozwiązań odwodnienia działek gminnych o nr: 1/15, 1/14, 1/11 położonych w Białymstoku, obr. 22 – Krywlany, Białystok 2011
6. A. Kalinowski, Koncepcja budowy układu drogowego wokół lotniska Krywlany, Białystok 2017
7. M. Burakowski, Program zagospodarowania wód opadowych i rozbudowy kanalizacji deszczowej miasta Białegostoku, Białystok 2011
8. Mapa przeznaczenia terenów w Miejscowych planach Zagospodarowania Przestrzennego w skali 1:15 000
9. Mapa „Struktura użytkowania gruntów- kontury klasyfikacyjne”
10. Mapa „ Grupy rejestrowe właścicieli nieruchomości i władających według
11. Rozporządzenia Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków
12. B. Kaźmierczak, A. Kotowski, Weryfikacja przepustowości kanalizacji deszczowej w modelowaniu hydrodynamicznym, Wrocław 2012
13. B. Osmulka-Mróz, M. Fidała-Szope, M. Kierzenkowska, Obliczeniowe a rzeczywiste natężenia przepływów w kanalizacji deszczowej, Ochrona Środowiska, Nr. 434, s.2932, 1984
14. R. Szymkiewicz, D. Gąsiorowski, Podstawy hydrologii dynamicznej, WNT, Warszawa 2010
15. K. Banasik, Wyznaczanie wezbrań powodziowych w małych zlewniach zurbanizowanych, Wyd. SGGW, Warszawa 2009
16. SCS (Soil Conservation Service), 1986. Urban hydrology for small watersheds. Tech. Report 55, US Dept of Agric., Washington, D.C.

17. W. Kwiatkowski, K. Gajko, Wstęp i diagnoza środowiska przyrodniczego, t.1, Białystok 2011

#### 4. Charakterystyka miasta

Miasto Białystok pełni funkcję administracyjnego, gospodarczego, naukowego i kulturalnego centrum województwa podlaskiego. Miasto Białystok jest największym miastem północno-wschodniej Polski i stolicą województwa podlaskiego, które zamieszkuje według danych GUS na rok 2017 297 132 osoby. Miasto zajmuje powierzchnię 102,13 km<sup>2</sup>. Na terenie miasta przeważa zabudowa jednorodzinna stanowiąca 13,26% całej powierzchni miasta, a zabudowa wielorodzinna stanowi 8,72% całkowitej powierzchni miasta. Strukturę zagospodarowania powierzchni przedstawiono w tabeli.

**Tabela 1** Zestawienie powierzchniowe pod względem rodzaju terenu miasta Białegostoku

Rodzaj pokrycia terenu	Powierzchnia [ha]	Udział procentowy
łąki	2 346,93	22,94%
lasy	2 320,51	22,68%
zabudowa jednorodzinna	1 356,50	13,26%
drogi	1 306,57	12,77%
zabudowa wielorodzinna	892,32	8,72%
teren przemysłowo - składowy	485,80	4,75%
ogrody działkowe	336,90	3,29%
tereny handlowo-usługowe	328,91	3,21%
teren rolny	246,66	2,41%
zagajniki i zadrzewienia	234,63	2,29%
place	195,55	1,91%
zbiorniki wodne i ciek	87,33	0,85%
cmentarze	64,26	0,63%
zarośla i krzewy	27,72	0,27%

## 5. Podział hydrograficzny

Według wykazu nazw wód płynących [<http://ksng.gugik.gov.pl> na terenie miasta Białegostoku występują następujące wody płynące:

- a) Bażantarka – struga, dopływ rzeki Biała
- b) Dolistówka – struga dopływ rzeki Biała
- c) Biała – rzeka, dopływ rzeki Supraśl

Według wykazu nazw wód stojących [<http://ksng.gugik.gov.pl>,] występują wody stojące w postaci:

- a) Dojlidzkie, Stawy, rodzaj stawy, obszar Supraśl-obszar wiejski

### Wody powierzchniowe płynące

Sieć hydrograficzna miasta Białegostoku tworzą rzeka Supraśl z lewobrzeżnymi dopływami w postaci rzeki Białej, rzeki Jaroszkówki wraz z kilkoma bezimiennymi ciekami oraz rzeka Horodnianka z kilkoma, bezimiennymi prawobrzeżnymi dopływami. Rzeka Supraśl oraz rzeka Horodnianka są prawobrzeżnymi dopływami rzeki Narew (Kwiatkowski, Gajko, 2011).

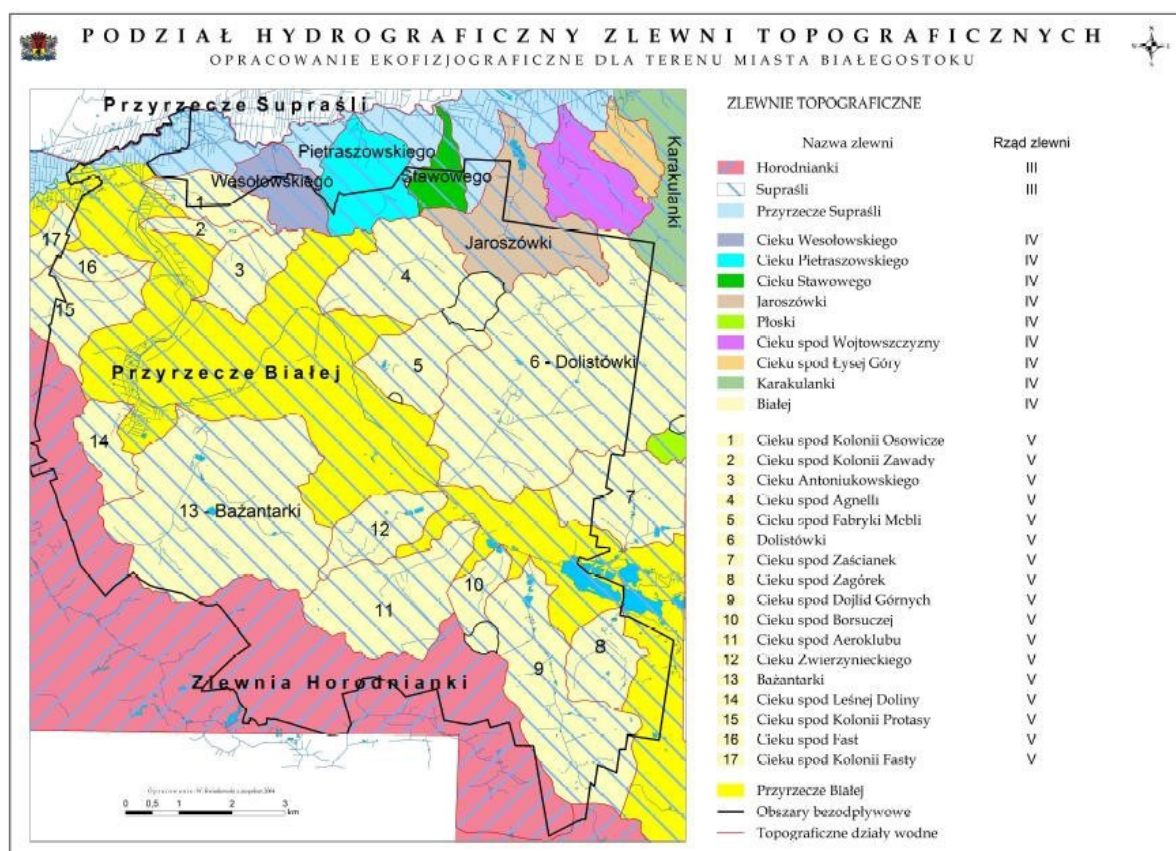
### Wody powierzchniowe stojące

Wody powierzchniowe stojące zajmują niewiele ponad 0,5% powierzchni miasta Białegostoku. Obecnie, wszystkie odbiorniki są to zbiorniki sztuczne, pochodzenia antropogenicznego. W granicach miasta można wyróżnić zbiorniki (Kwiatkowski, Gajko, 2011):

- a) Kompleks Stawów Dojlidzkich
- b) Kompleks Stawów Marczukowskich
- c) Stawy przy ul. Mickiewicza
- d) Staw przy ul. Octowej
- e) Staw przy ul. Bema
- f) Staw przy ul. Fredry/Szymanowskiego
- g) Staw pomiędzy ul Rolną a ul. Zacisze
- h) Staw przy ul. Niskiej
- i) Staw przy pałacyku Hasbacha w Dojlidach
- j) Staw na terenie Biaform S.A.
- k) Kompleks stawów w parku Lubomirskich i przy ul. J. Kuronia

## Podział hydrograficzny na terenie miasta Białegostoku

Miasto Białystok położone jest na obszarze zlewni rzeki Supraśl (zlewnia III rzędu) i rzeki Horodnianka (zlewnia III rzędu). Rzeka Supraśl i rzeka Horodnianka stanowią prawostronne dopływy rzeki Narew (zlewnia II rzędu). Podział hydrograficzny zlewni na terenie miasta Białegostoku oraz na terenach w rejonie miasta Białegostoku według Kwiatkowskiego i Gajko przedstawiono na poniższym rysunku.



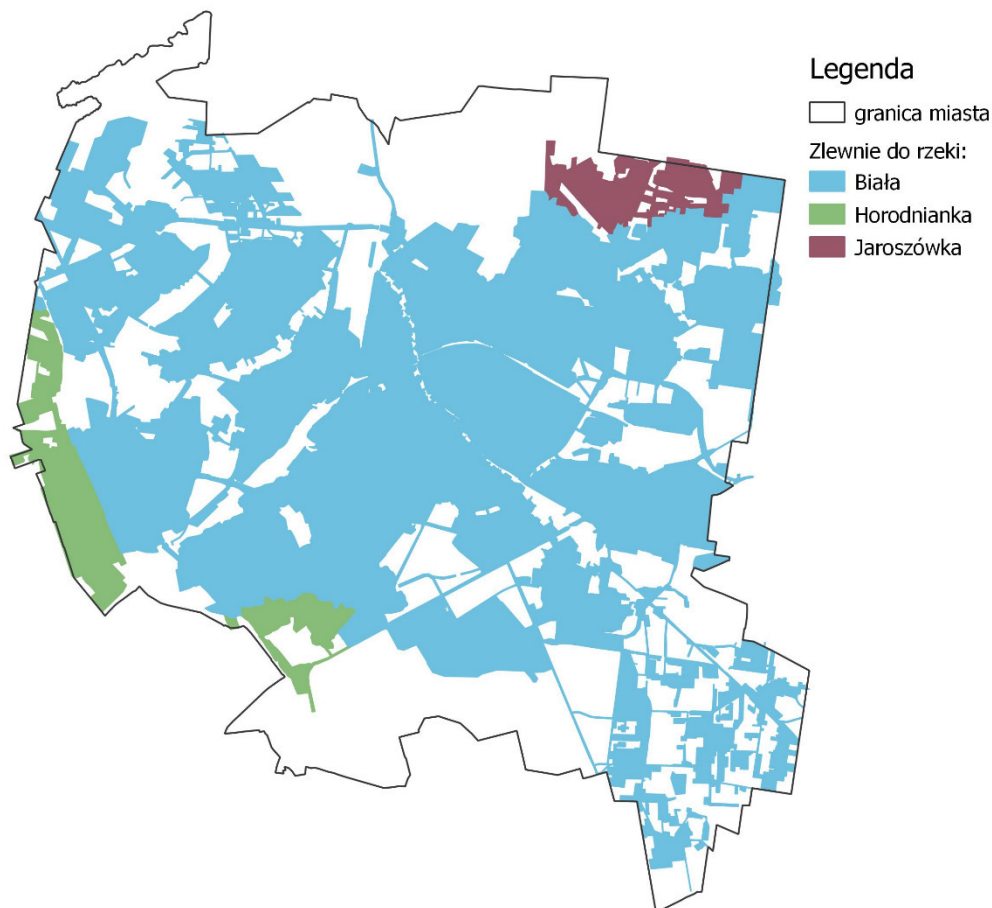
Rysunek 1 Zlewnie topograficzne rzek w rejonie Białegostoku (Kwiatkowski, Gajko, 2011)

## 6. Stan istniejącej kanalizacji deszczowej

W obrębie miasta Białegostoku wyodrębniono na podstawie układu sieci kanalizacji deszczowej oraz numerycznego modelu terenu 300 zlewni sieci kanalizacji deszczowej. 277 zlewni odprowadza wody opadowe z terenu miasta do rzeki Białej. 13 zlewni odprowadza wody opadowe z terenu miasta do rzeki Horodnianki. 10 zlewni odprowadza wody opadowe



z terenu miasta do rzeki Jaroszkówka. Obszar zlewni sieci kanalizacji deszczowej przedstawiono na rysunku.



**Rysunek 2** Zlewnie rzek Biała, Horodnianka i Jaroszkówka

## 7. Analiza opracowania pierwotnego

W 2011 r. na zlecenie Urzędu Miejskiego w Białymstoku powstało opracowanie pn. Program zagospodarowania wód opadowych i rozbudowy kanalizacji deszczowej miasta Białegostoku autorstwa p. M. Burakowskiego. W związku z faktem, iż w ciągu ostatnich lat nastąpiły znaczące przemiany urbanistyczne na terenie Białegostoku obejmujące budowę nowych osiedli i zmianę układu dróg w wielu częściach miasta pojawiła się potrzeba aktualizacji opracowania dotyczącego zagospodarowania wód opadowych i rozbudowy kanalizacji deszczowej na terenie Białegostoku. Fakt ten spotęgowany został dodatkowo pojawianiem się większej ilości deszczów o charakterze nawalnym, co przy wzroście poziomu uszczelnienia zlewni zurbanizowanych powoduje przekroczenie normalnych stanów pracy kanalizacji deszczowej na terenie miasta i w efekcie występowanie podtopień.

Opracowanie z 2011 r. wymagało aktualizacji z wielu powodów, m.in.:

- konieczność uwzględnienia inwestycji infrastrukturalnych w latach 2011-2018
- konieczność przanalizowania kierunków zmian zaproponowanych w 2011 r.
- zastosowane w 2011 r. metody obliczeniowe w literaturze naukowej zostały określone jako przestarzałe i należy z nich zrezygnować przy opracowaniach inżynierskich
- pojawiły się nowe dane inicjalne, w tym rozbudowane systemy informacji przestrzennej, Numeryczne Modele Terenu o wysokiej rozdzielczości terenowej, dzięki którym można wyznaczyć rzeczywiste zlewnie cząstkowe – i dzięki temu możliwe jest uzyskanie dokładniejszych wyników obliczeń
- konieczność przeliczenia zlewni kanalizacji deszczowej uwzględniając nowsze metody obliczeniowe dające obraz pracy kanalizacji deszczowej bardziej zbliżony do rzeczywistego

W związku z powyższym zespół autorski po uzgodnieniu z Urzędem Miasta wykorzystał nowe technologie takie jak systemy informacji przestrzennej oraz dane inicjalne wysokiej dokładności (baza danych sieci uzbrojenia terenu, numeryczne modele terenu) oraz wykonał na potrzeby niniejszego opracowania transpozycję danych o infrastrukturze do postaci grafu obliczeniowego sieci kanalizacyjnej i na jego podstawie oparł obliczenia stanowiące podstawę niniejszego opracowania.

## 8. Analiza hydrauliczna systemu kanalizacji deszczowej

W układzie sieci kanalizacji deszczowej wyodrębniono 5019 odcinków obliczeniowych. Odcinek obliczeniowy został zdefiniowany jako odcinek przewodu kanalizacyjnego o średnicy od  $\Phi$  250. W uzasadnionych przypadkach brano pod uwagę również przewody kanalizacyjne o średnicy mniejszej niż  $\Phi$  250, ale których położenie ma znaczący wpływ na obliczenia przepływu ścieków w zlewniach. Do każdego odcinka obliczeniowego została dopisana zlewnia cząstkowa. Zlewnie cząstkowe charakteryzują następujące parametry:

- a) powierzchnia całkowita,
- b) powierzchnia uwzględniająca rodzaj powierzchni i przepuszczalność gruntu,
- c) szerokość zlewni,
- d) średni spadek powierzchni zlewni.

Zlewnie cząstkowe wyznaczono na podstawie:

- a) odcinka obliczeniowego,

- b) układu przewodów kanalizacji deszczowej odprowadzającej wody opadowe do odcinka obliczeniowego a mające średnicę mniejsza niż  $\Phi$  250 lub będące przewodami leżącymi na działkach prywatnych
- c) kierunków linii spływu powierzchniowego wyznaczonego na podstawie Numerycznego Modelu Terenu

Do obliczeń wykorzystano aplikację EPA SWMM v.5.1.012. Jest to program typu „public domain” i umożliwia tworzenie modeli cyfrowych dowolnych systemów kanalizacyjnych, tak grawitacyjnych, jak i ciśnieniowych, które mogą być również wyposażone w obiekty specjalne, takie jak zbiorniki retencyjne, przelewy burzowe, regulatory, obiekty zagospodarowania ścieków opadowych (tzw. LID) i inne.

Dla rozpatrywanego systemu kanalizacyjnego na podstawie danych inwentaryzacyjnych zostały wstawione poszczególne węzły połączeniowe wraz z rzędnymi dna i terenu oraz odcinki kanałów wraz z ich średnicami. Rzędne dna w kilku przypadkach zostały skorygowane, o ile istniejące dane wskazywały na ewidentną pomyłkę.

Wielkość i usytuowanie zlewni, obciążających system wodami opadowymi, a także ich stopień uszczelnienia, zostały przyjęte wg informacji Zleceniodawcy i rozeznania w terenie.

Procedury obliczeniowe zostały zoptymalizowane pod względem ustawień szczegółowych, takich jak: krok obliczeń numerycznych, zasady obliczeń wg tzw. „fali dynamicznej” wraz z parametrami szczegółowymi, krok zapisu wyników i ich formaty graficzne i tabelaryczne.

Obliczenia hydrauliczne przeprowadzono dla deszczu o wysokości całkowitej opadu 18,74 mm (natężenie deszczu miarodajnego równe 210 l/s/h). Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu miarodajnego założono zgodnie z normą PN-EN 752:2008 jak dla centrów miast - na poziomie  $p=20\%$  (częstotliwość  $C=5$  lat). Według wzoru opracowanego przez IMGW do wyznaczania maksymalnej sumy opadu  $P_{pD}$  (Banasik, 2009). Rozkład sumy deszczu przyjęto na podstawie zaleceń DVWK z 1984 r. (Banasik, 2009).

Natężenie deszczu obliczono według formuły IMGW (Bogdanowicz, Stachy 1998):

$$P_{pD} = \varepsilon(D) + \alpha(R, D) \cdot (-\ln p)^{0,584}$$

gdzie:

$\varepsilon(D)$  – parametr skali równania (w mm) obliczany z zależności:

$$\varepsilon(D) = 1,42 \cdot D^{0,33}$$

$\alpha(R,D)$  – parametr położenia i skali (R – region) wyznaczany na podstawie lokalizacji rozpatrywanego obiektu i czasu trwania opadu D.



**Rysunek 3** Regiony opadów atmosferycznych (A. Kotowski 2011)

Parametr  $\alpha(R,D)$  obliczono ze wzoru (K. Banasik 2009) dla regionu centralnego i czasie trwania deszczu (D) między 5 min a 30 min:

$$\alpha(R, D) = 4,693 \cdot \ln(D + 1) - 1,249 \text{ [mm]}$$

Przyjęto, iż rozkład sumy deszczu zgodny jest z zaleceniami obliczeń DVWK (K.Banasik 2009) tj.:

- a) pierwsze 30% czasu trwania deszczu = 20 % sumy opadu
- b) kolejne 20% czasu trwania opadu = 50% sumy opadu
- c) ostatnie 50% czasu trwania opadu = 30% sumy opadu

Do obliczeń hydraulicznych przewodów wykorzystano wzory Saint Venant dla fali dynamicznej.

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{A}{B} \cdot \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{q_b}{B} \\ \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{v}{g} \cdot \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} + S_f - I - \frac{q_b}{g \cdot A} \cdot (v_q - v) = 0 \end{cases}$$

gdzie:

y – głębokość cieczy, [m],

v – prędkość przepływu cieczy, [m/s],

A – powierzchnia przekroju poprzecznego przepływającej cieczy, [m<sup>2</sup>],

B – szerokość zwierciadła cieczy, [m],

q<sub>b</sub> – rozłożony dopływ boczny cieczy, [m<sup>3</sup>/s],

g – przyspieszenie ziemskie, [m/s<sup>2</sup>],

I – nachylenie dna kanału, [-],

S<sub>f</sub> – spadek hydrauliczny, [-],

$v_q$  – składowa prędkości dopływu bocznego w dół kanału, [m/s].

Do wyznaczenia współczynników spływu wykorzystano mapy pokrycia terenu (Rysunek 4) oraz przepuszczalności gruntów dla miasta Białegostoku (Rysunek 5). Dla każdego typu pokrycia terenu oraz powierzchnię obszaru o danym współczynniku CN w zlewniach cząstkowych.

Wartość średnią współczynnika CN w zlewni cząstkowej obliczono ze wzoru:

$$CN_w = \frac{1}{A} \cdot \sum_{i=1}^n CN_i \cdot \Delta A_i$$

gdzie:

$CN_w$  – średnia ważona wartość parametru CN w zlewni,

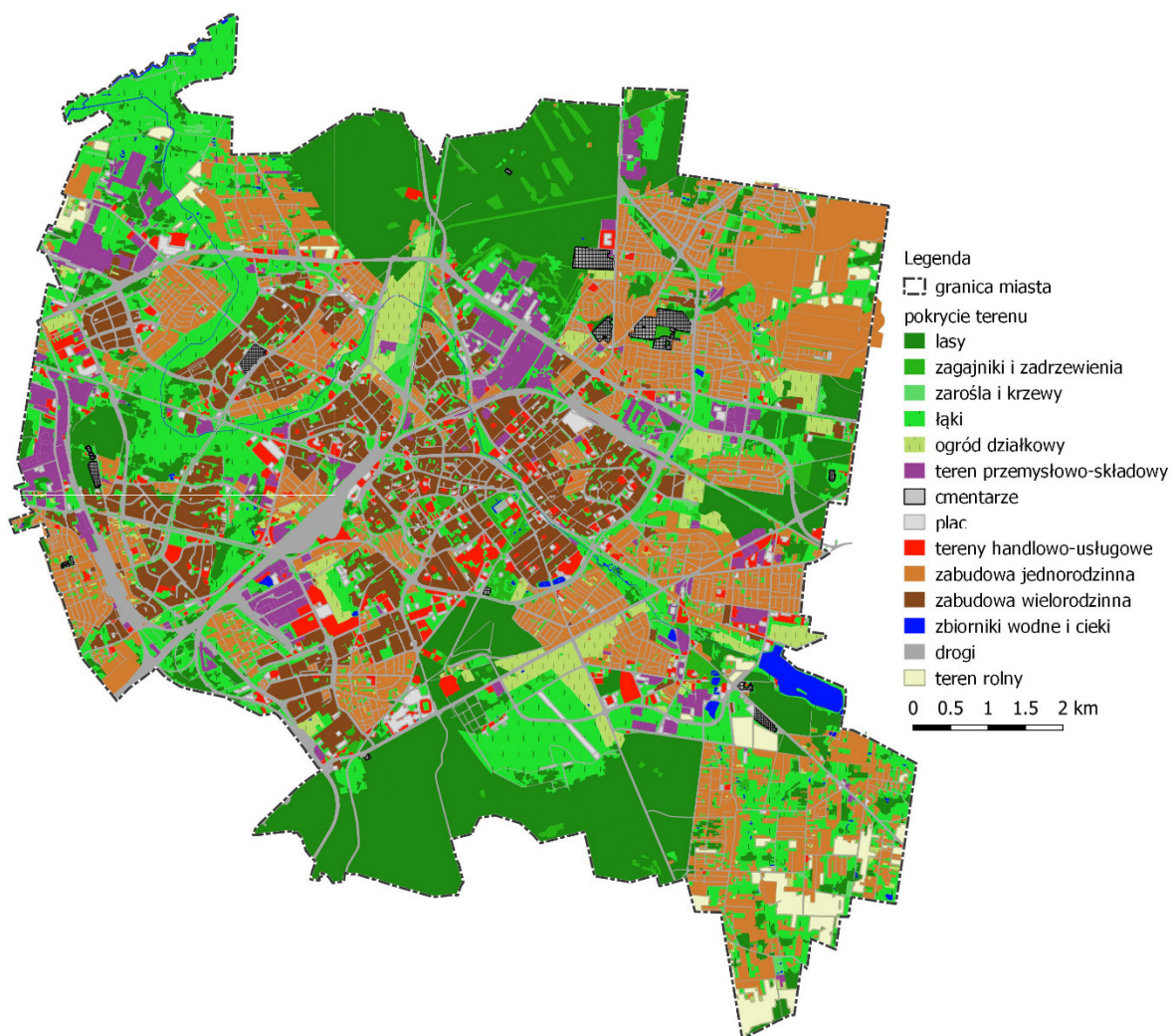
$CN_i$  – wartość parametru CN dla części zlewni  $\Delta A_i$ ,

$A$  – powierzchnia zlewni,  $A = \sum \Delta A_i$ ,

$\Delta A_i$  – część powierzchni zlewni przyjęta za homogeniczną (jednorodną w  $km^2$ ),

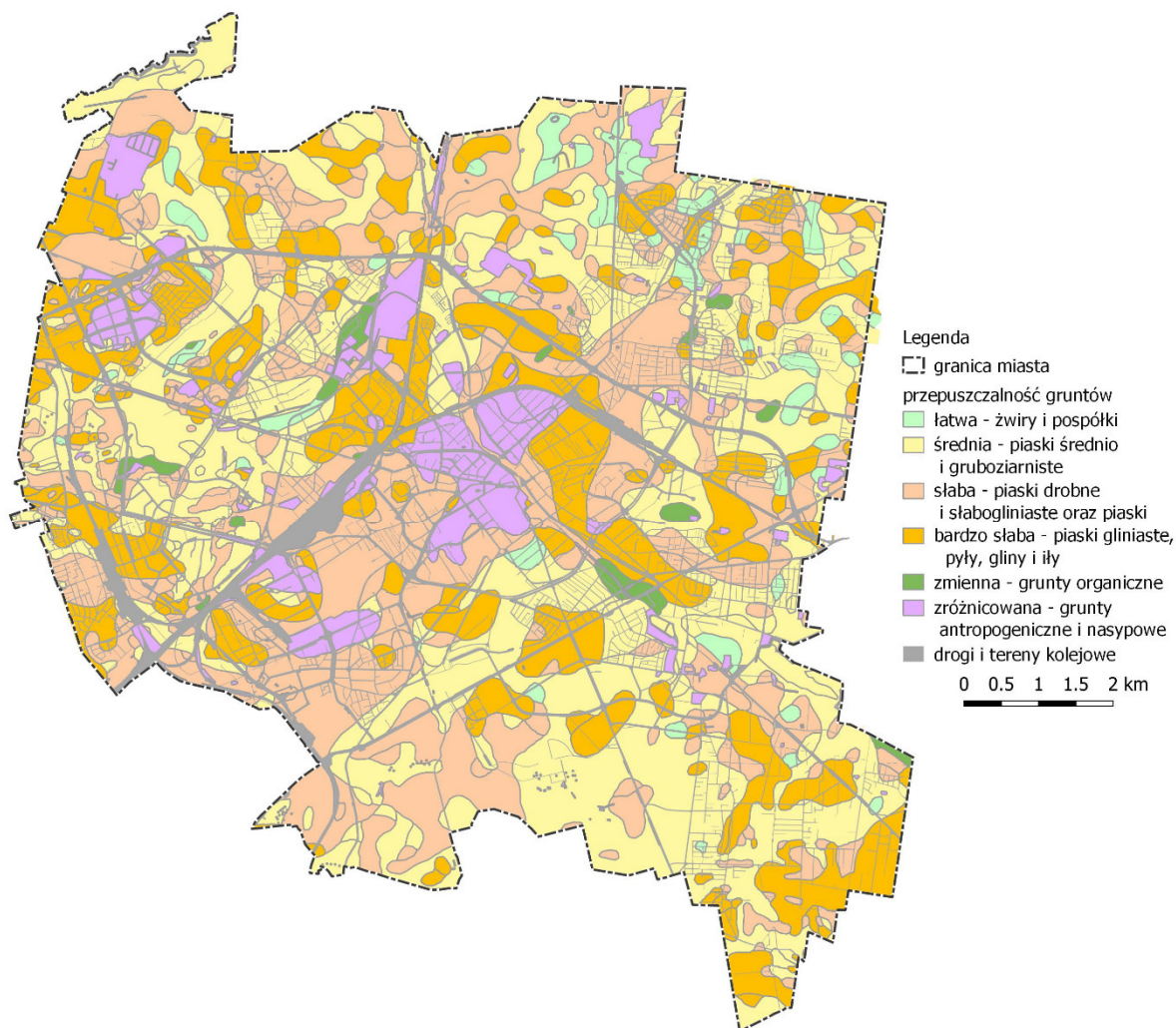
$n$  – liczba wyznaczonych w zlewni powierzchni homogenicznych.

Obliczone współczynniki spływu na podstawie wartości SCS CN dla zlewni cząstkowych zmieniają się w zakresie od 0,04 do 0,80. Średni współczynnik spływu wynosi 0,38.



**Rysunek 4** Pokrycie terenu miasta Białegostoku (uwzględniając przewidywany rozwój zabudowy zgodny z koncepcją rozbudowy kanalizacji za M. Burakowski, *Program zagospodarowania wód opadowych i rozbudowy kanalizacji deszczowej miasta Białegostoku*, Białystok 2011)





**Rysunek 5** Przepuszczalność gruntu na terenie miasta Białegostoku

**Tabela 2** Wartość parametru CN dla różnego porycia terenu i grup glebowych (SCS 1986)

		Grupy gleb			
		A	B	C	D
	Lasy	25	55	70	77
	Zagajniki i zadrzewienia	36	60	73	79
	Zarośla i krzewy	45	66	77	83
	Łąki	30	58	71	78

		<i>Grupy gleb</i>			
		A	B	C	D
<b>Rodzaj pokrycia terenu</b>	Ogródki działkowe	39	61	74	80
	Tereny przemysłowo-składowe	89	92	94	95
	Place	98	98	98	98
	Drogi	83	89	92	93
	Tereny handlowo-usługowe	89	92	94	95
	Zabudowa jednorodzinna	61	75	83	87
	Zabudowa wielorodzinna	77	85	90	92
	Tereny rolne	62	73	81	85
	Cmentarze	68	79	86	89

gdzie A, B, C i D to grupy gleb podzielone w zależności od możliwości powstawania odpływu powierzchniowego:

A - gleby o małej możliwości powstania odpływu powierzchniowego. Charakteryzują się dobrą przepuszczalnością, dużymi współczynnikami filtracji ( $k > 7.6$  mm/h). Do grupy tej zaliczyć można głębokie piaski, piaski z niewielką domieszką gliny, żwiry, głębokie lessy.

B - gleby o przepuszczalności powyżej średniej, średni współczynnik filtracji ( $3.8 < k \leq 7.6$  mm/h). Należą tu: gleby piaszczyste średnio głębokie, płytkie lessy oraz łąki piaszczyste.

C - gleby o przepuszczalności poniżej średniej ( $1.3 < k \leq 3.8$  mm/h). Należą tu: gleby uwarstwione, posiadające wkładki słabo przepuszczalne oraz łąki gliniaste, płytkie łąki piaszczyste, gleby o niskiej zawartości części organicznych, gliny o dużej zawartości części ilastych.

D - gleby o dużej możliwości powstawania odpływu powierzchniowego. Przepuszczalność gleby bardzo mała i bardzo mała wartość współczynnika filtracji ( $k \leq 1.3$  mm/h). Do grupy tej należą gleby gliniaste, gliny pylaste, gliny zasolone, gleby uwarstwione z warstewkami nieprzepuszczalnymi.

### **Opis wyników obliczeń**

W załączniku nr 1 zawarto tabelę z wynikami obliczeń hydraulicznych odcinków obliczeniowych. Tabela zawiera następujące informacje:



- a) ID odcinka [1] – numer identyfikacyjny odcinka.
- b) Nazwa odcinka obliczeniowego [2] – etykieta przypisana do poszczególnego odcinka obliczeniowego, np. P49 itp.
- c) Węzeł początkowy [3] – punkt początkowy odcinka obliczeniowego.
- d) Węzeł końcowy [4] – punkt końcowy odcinka obliczeniowego.
- e) Spadek przewodu [5] – różnica poziomów między węzłem początkowym a końcowym przewodu kanalizacyjnego w stosunku do jego długości; wyrażona w procentach. Spadek kanału musi zabezpieczać uzyskanie minimalnej prędkości zapewniającej samooczyszczanie kanału i nie przekraczać maksymalnej. Spadek mniejszy od minimalnego ( $i_{min}$  - dla danej średnicy), w efekcie zbyt małych prędkości przepływu ścieków, prowadziłyby do odkładania się osadów i tym samym do zamulenia kanału. Spadek większy od maksymalnego ( $i_{max}$  - dla danej średnicy) prowadziłyby do niszczenia kanałów - wskutek erozji, powodowanej głównie zawiesiną mineralną przy znacznych prędkościach przepływu.
- f) DN [6] – średnica nominalna przewodu wyrażona w milimetrach.
- g) Długość [7] – odległość pomiędzy węzłem początkowym o węzłem końcowym danego odcinka, wyrażona w metrach.
- h) Nr zlewni cząstkowej [8] – numer identyfikacyjny zlewni cząstkowej, np. Z52 itp.
- i) Nr zlewni głównej [9] – numer identyfikacyjny zlewni głównej, np. ZG2 itp.
- j) Wartość przepływu maksymalnego dla założonego deszczu obliczeniowego  $130\text{l/s}\cdot\text{ha}$  [10] – maksymalna wielkość przepływu ścieków deszczowych w kanale obliczona przy przyjętym natężeniu deszczu równym  $130\text{ l/s/ha}$ ; wyrażona w  $[\text{l/s}]$ .
- k) Wartość maksymalna prędkości dla założonego deszczu obliczeniowego  $130\text{ l/s/ha}$  [11] – maksymalna wielkość prędkości ścieków deszczowych w kanale obliczona przy przyjętym natężeniu deszczu równym  $130\text{ l/s/ha}$ ; wyrażona w  $[\text{m/s}]$ .
- l) Napełnienie maksymalne [12] – maksymalna wysokość ścieków deszczowych w kanale obliczona przy przyjętym natężeniu deszczu równym  $130\text{ l/s/ha}$ ; wyrażona w  $[\%]$ .
- m) Wartość przepływu maksymalnego dla założonego deszczu obliczeniowego  $210\text{l/s}\cdot\text{ha}$  [13] – maksymalna wielkość przepływu ścieków deszczowych w kanale obliczona przy przyjętym natężeniu deszczu równym  $130\text{ l/s/ha}$ ; wyrażona w  $[\text{l/s}]$ .
- n) Wartość maksymalna prędkości dla założonego deszczu obliczeniowego  $210\text{ l/s/ha}$  [14] – maksymalna wielkość prędkości ścieków deszczowych w kanale obliczona przy przyjętym natężeniu deszczu równym  $210\text{ l/s/ha}$ ; wyrażona w  $[\text{m/s}]$ .
- o) Napełnienie maksymalne [15] – maksymalna wysokość ścieków deszczowych w kanale obliczona przy przyjętym natężeniu deszczu równym  $210\text{ l/s/ha}$ ; wyrażona w  $[\%]$ .

- p) Maksymalny przepływ grawitacyjny [16] – maksymalna wielkość przepływu ścieków deszczowych w kanale, obliczona przy 100% wypełnieniu i braku pracy pod ciśnieniem (spływ grawitacyjny); wyrażona w [l/s].
- q) Maksymalna prędkości grawitacyjna [17] – maksymalna wielkość prędkości ścieków deszczowych w kanale, obliczona przy 100% wypełnieniu i braku pracy pod ciśnieniem (spływ grawitacyjny); wyrażona w [m/s].

W załączniku nr 2a zawarto tabelę z obliczeń hydraulicznych zlewni cząstkowych dla deszczu 130l/s\*ha. Tabela zawiera następujące informacje:

- a) ID [1] – numer identyfikacyjny zlewni.
- b) Nazwa zlewni [2] – etykieta przypisana do poszczególnej zlewni cząstkowej, np. Z41 itp.
- c) Zlewnia główna [3] – etykieta przypisana do poszczególnej zlewni głównej, np. ZG2 itp.
- d) Powierzchnia [4] – parametr opisujący pole obszaru zlewni; wyrażony w hektarach.
- e) Średni spadek [5] – średni spadek terenu w zlewni to różnica wysokości między punktem początkowym a końcowym w stosunku do odległości; wyrażona w procentach.
- f) SCS CN [6] – parametr zależny od rodzaju gleby i pokrycia terenu.
- g) Szerokość zlewni [7] – parametr opisujący średnią szerokość zlewni; wyrażony w metrach
- h) Węzeł – odbiornik [8] – nazwa węzła odbierającego spływ ze zlewni; jest to węzeł początkowy przewodu kanalizacyjnego , np. W10720.
- i) Wysokość opadu [9] – wartość założona dla przyjętych warunków brzegowych, równa 11,90 mm.
- j) Wysokość infiltracji [10] – wartość obliczona na podstawie wysokości opadu oraz krzywej SCS CN dla zlewni cząstkowych, wyrażona w milimetrach.
- k) Wysokość spływu [11] – wysokość opadu, która spływa z danej zlewni cząstkowej do kanalizacji deszczowej; wyrażona w milimetrach.
- l) Spływ całkowity [12] – objętość opadu z danej zlewni cząstkowej, która spływa do kanalizacji; wyrażona w [10<sup>6</sup> l]
- m) Najwyższy spływ [13] – wartość największego spływu wód opadowych ze zlewni cząstkowej w okresie deszczu , który trwał 15min; wyrażona w [ l/s]
- n) Współczynnik spływu [14] – wyraża stosunek ilości wody deszczowej, która spłynie z danej powierzchni zlewni cząstkowej, do ilości, która spadła na tę powierzchnię.

W załączniku nr 2b zawarto tabelę z obliczeń hydraulicznych zlewni cząstkowych dla deszczu 210l/s\*ha. Tabela zawiera następujące informacje:

- a) ID [1] – numer identyfikacyjny zlewni.
- b) Nazwa zlewni [2] – etykieta przypisana do poszczególnej zlewni cząstkowej, np. Z41 itp
- c) Zlewnia główna [3] – etykieta przypisana do poszczególnej zlewni głównej, np. ZG2 itp
- d) Powierzchnia [4] – parametr opisujący pole obszaru zlewni; wyrażony w hektarach
- e) Średni spadek [5] – średni spadek terenu w zlewni to różnica wysokości między punktem początkowym a końcowym w stosunku do odległości; wyrażona w procentach.
- f) SCS CN [6] – parametr zależny od rodzaju gleby i pokrycia terenu
- g) Szerokość zlewni [7] – parametr opisujący średnią szerokość zlewni; wyrażony w metrach
- h) Węzeł - odbiornik [8] – nazwa węzła odbierającego spływ ze zlewni; jest to węzeł początkowy przewodu kanalizacyjnego , np. W10720.
- i) Wysokość opadu [9] – wartość założona dla przyjętych warunków brzegowych, równa 18,74 mm.
- j) Wysokość infiltracji [10] – wartość obliczona na podstawie wysokości opadu oraz krzywej SCS CN dla zlewni cząstkowych, wyrażona w milimetrach.
- k) Wysokość spływu [11] – wysokość opadu, która spływa z danej zlewni cząstkowej do kanalizacji deszczowej; wyrażona w milimetrach.
- l) Spływ całkowity [12] – objętość opadu z danej zlewni cząstkowej, która spływa do kanalizacji; wyrażona w [10<sup>6</sup> l]
- m) Najwyższy spływ [13] – wartość największego spływu wód opadowych ze zlewni cząstkowej w okresie deszczu , który trwał 15min; wyrażona w [ l/s]
- n) Współczynnik spływu [14] – wyraża stosunek ilości wody deszczowej, która spłynie z danej powierzchni zlewni cząstkowej, do ilości, która spadła na tę powierzchnię.

W załączniku nr 3 zawarto tabelę z obliczeń hydraulicznych węzłów obliczeniowych. Tabela zawiera następujące informacje:

- a) ID [1] – numer identyfikacyjny węzła obliczeniowego.
- b) Nazwa węzła [2] – etykieta przypisana do poszczególnej węzła obliczeniowego, np. W57 itp
- c) Rzędna dna [3] – rzędna dna studzienki kanalizacyjnej w miejscu węzła obliczeniowego.

- d) Rzędna terenu [4] – poziom terenu w miejscu węzła obliczeniowego.
- e) Czas wypływu (210) [5] – czas wypływu wody z węzła jest to czas trwania wypływu w trakcie 15 minutowego deszczu przy natężeniu deszczu wynoszącym 210 l/s\*ha.
- f) Objętość wody (210) [6] – ilość wody, która nie wpłynęła do systemu kanalizacji deszczowej i pozostała na powierzchni terenu przy natężeniu deszczu wynoszącym 210 l/s\*ha.
- g) Czas wypływu (130) [7] – czas wypływu wody z węzła jest to czas trwania wypływu w trakcie 15 minutowego deszczu przy natężeniu deszczu wynoszącym 130 l/s\*ha.
- h) Objętość wody (130) [8] – ilość wody, która nie wpłynęła do systemu kanalizacji deszczowej i pozostała na powierzchni terenu przy natężeniu deszczu wynoszącym 130 l/s\*ha.

Do obliczeń przyjęto sumarycznie 619 742 m przewodów kanalizacji deszczowej. Z obliczeń wynika, iż 243 117,81 m przewodów kanalizacji deszczowej w trakcie założonego opadu pracuje przy 100 % napętnieniu. Szczegółowe dane zostały przedstawione w tabeli 3.

**Tabela 3** Zestawienie ilości i długości odcinków obliczeniowych w zależności od poziomu napętnienia przewodu przy natężeniu deszczu 210 l/s/h

<i><b>Napętnienie</b></i>	<i><b>Długość przewodów [m]</b></i>	<i><b>Udział w długości przewodów [%]</b></i>	<i><b>Liczba odcinków</b></i>	<i><b>Udział ilości odcinków [%]</b></i>
0-9%	2715,99	0,44	29	0,51
10-19%	7445,12	1,20	66	1,16
20-29%	17406,25	2,81	155	2,72
30-39%	23556,95	3,80	213	3,73
40-49%	34506,14	5,57	297	5,21
50-59%	49455,40	7,98	465	8,15
60-69%	61954,61	10,00	547	9,58
70-79%	77936,70	12,58	620	10,87
80-89%	64404,94	10,39	463	8,12
90-99%	37242,10	6,01	293	5,13
100%	243117,81	39,23	2557	44,82

## 9. Miejsca newralgiczne i narażone na zalewanie

W tabeli Obliczenia hydrauliczne odcinków obliczeniowych znajdujące się w Załącznik nr1 zamieszczono wyniki obliczeń w odcinkach obliczeniowych sieci kanalizacyjnej. Znajdujące się tam przewody można podzielić według wartości prędkości przepływu:

1. Przy założeniu deszczu obliczeniowego 130 l/(s\*ha):

- a) od 0 do 1 m/s – 2393 odcinki obliczeniowe,
- b) od 1,01 do 3 m/s – 3229 odcinków obliczeniowych,
- c) od 3,01 do 5 m/s – 76 odcinków obliczeniowych,
- d) powyżej 5 m/s – 7 odcinków obliczeniowych.

2. Przy założeniu deszczu obliczeniowego 210 l/(s\*ha):

- a) od 0 do 1 m/s – 1523 odcinki obliczeniowe,
- b) od 1,01 do 3 m/s – 4002 odcinki obliczeniowe,
- c) od 3,01 do 5 m/s – 171 odcinków obliczeniowych,
- d) powyżej 5m/s – 9 odcinków obliczeniowych.

Odcinki przewodów kanalizacyjnych z wartością przepływu maksymalnego równą 0,00 m/s i napełnieniem maksymalnym dla deszczu obliczeniowego różnym od zera informują, iż dany odcinek w trakcie opadów zachowuje się jak zbiornik retencyjny (retencja kanałowa). Odcinek taki w trakcie opadu napełnia się wodą, lecz nie dochodzi do jego opróżniania zgodnie z kierunkiem sptywu grawitacyjnego. Co powoduje chwilowy brak przepływu.

W tabeli Obliczenia hydrauliczne odcinków obliczeniowych znajdujące się w Załącznik nr1 zamieszczono wartości maksymalnego przepływu grawitacyjnego oraz maksymalnej prędkości grawitacyjnej obliczone dla danej średnicy przewodu przy danym spadku, z zastosowaniem wzorów Manninga. Wartość maksymalna przepływu/prędkości przy przepływie grawitacyjnym dla danej średnicy przy danym spadku przewodu może być mniejsza niż wartość przepływu maksymalnego/maksymalnej prędkości dla założonego deszczu obliczeniowego, ponieważ przeprowadzone obliczenia hydrauliczne uwzględniły możliwość pracy przewodów kanalizacyjnych podciśnieniem.

Analizując wyniki pod kątem maksymalnego obliczonego napełnienia w przewodach kanalizacji deszczowej. Przewody kanalizacji deszczowej podzielono według wartości napełnienia na 11 grup:

1. Przy założeniu deszczu obliczeniowego 130 l/(s\*ha):

- a) 0-9% - 48 odcinków obliczeniowych,
- b) 10-19% - 145 odcinków obliczeniowych,
- c) 20-29% - 332 odcinków obliczeniowych,

- d) 30-39% - 615 odcinki obliczeniowe,
- e) 40-49% - 800 odcinków obliczeniowych,
- f) 50-59% - 809 odcinki obliczeniowe,
- g) 60-69% - 804 odcinki obliczeniowe,
- h) 70-79% - 613 odcinków obliczeniowych,
- i) 80-89% - 345 odcinków obliczeniowych,
- j) 90-99% - 179 odcinków obliczeniowych,
- k) 100% - 1015 odcinków obliczeniowych.

2. Przy założeniu deszczu obliczeniowego  $210 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$ :

- a) 0-9% - 29 odcinków obliczeniowych,
- b) 10-19% - 66 odcinków obliczeniowych,
- c) 20-29% - 155 odcinków obliczeniowych,
- d) 30-39% - 213 odcinków obliczeniowych,
- e) 40-49% - 297 odcinków obliczeniowych,
- f) 50-59% - 465 odcinków obliczeniowych,
- g) 60-69% - 547 odcinków obliczeniowych,
- h) 70-79% - 620 odcinków obliczeniowych,
- i) 80-89% - 463 odcinków obliczeniowych,
- j) 90-99% - 293 odcinków obliczeniowych,
- k) 100% - 2557 odcinków obliczeniowych.

Newralgiczne miejsca kanalizacji deszczowej pod względem wypływu wody z węzła zostały zawarte na Mapie III w warstwie „miejsca podtopień wyliczone z obliczeń hydraulicznych”. Warstwa ta przedstawia 2455 węzłów z których w symulacji nastąpił wypływ z węzła na powierzchnię terenu na skutek całkowitego napełnienia studzienki oraz zbyt dużą ilością napływającej wody do węzła w stosunku do możliwości jej odbioru przez przewód odprowadzający wodę z węzła na powierzchnię terenu. Miejscami newralgicznymi są również węzły odbierające wodę ze zlewni cząstkowej, ale z uwagi na zbyt intensywny spływ ze zlewni nie są w stanie przyjąć do kanalizacji deszczowej napływającej ilości wody, przy założeniu deszczu obliczeniowego  $210 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$ .

W tabeli Obliczenia hydrauliczne węzłów obliczeniowych z załącznika nr 3 zamieszczono wyniki oblicz w węzłach obliczeniowych sieci kanalizacyjnej. Węzły można podzielić według wartości sumarycznego czasu wypływu wody opadowej z węzła na powierzchnię terenu w czasie 15-minutowego deszczu :

1. Przy założeniu deszczu obliczeniowego 210 l/(s\*ha):

- a) do 4 minut – 5 węzłów,
- b) od 5 min. do 7 min. – 104 węzły,
- c) od 8 min. do 10 min. – 514 węzłów,
- d) od 11min. do 13 min.– 647 węzłów,
- e) od 14 min. do 15 min. – 1005 węzłów,
- f) powyżej 15 min – 179 węzłów.

2. Przy założeniu deszczu obliczeniowego 130 l/(s\*ha):

- a) do 4 minut – 1 węzeł,
- b) od 5 min. do 7 min. – 3 węzły,
- c) od 8 min. do 10 min. – 76 węzłów,
- d) od 11min. do 13 min.– 297 węzłów,
- e) od 14 min. do 15 min. – 385 węzłów,
- f) powyżej 15 min – 205 węzłów.

## 10. Wnioski, zalecenia i propozycje rozwiązań

Analiza hydrauliczna systemu kanalizacji deszczowej dla przyjętych warunków brzegowych (deszcz o prawdopodobieństwie wystąpienia 20%, czasie trwania deszczu równy 15 min., natężenie deszczu równe 210 l/s/ha, wysokość całkowita opadu 21 mm oraz odcinki obliczeniowe dla przewodów od  $\Phi 250$ ) wykazała, iż w 171 odcinkach obliczeniowych prędkość przepływu wynosi między 3 a 5 m/s. W przypadku 9 odcinków obliczona prędkość jest większa niż 5 m/s.

Wyniki przeprowadzonej analizy hydraulicznej wykazały, iż prawie 45% odcinków obliczeniowych pracuje w pełnym napełnieniu przy przyjętym deszczu obliczeniowym. Prawie 60% odcinków przewodów przy deszczu o natężeniu 210 l/s/ha trwającym 15 min. pracuje powyżej 80% napełnienia.

Wyniki przeprowadzonej analizy hydraulicznej pod względem wypływu wody z węzłów obliczeniowych wykazały, iż problem z odprowadzeniem lub przyjęciem spływu powierzchniowego wykazuje 43,29% węzłów obliczeniowych.

Miejsca wypływu wody z węzłów obliczeniowych w wielu miejscach pokrywają się z przekazanymi informacjami z Departamentu Gospodarki Komunalnej Urzędu Miasta w Białymstoku.

Na podstawie wyników obliczeń, a zwłaszcza ilości węzłów ulegających podtopieniu, można wysunąć wniosek, iż problem podtopień w Białymstoku związany jest

z niedostatecznymi możliwościami układu sieci kanalizacji deszczowej w odprowadzeniu wody z powierzchni uszczelnionych (np. drogi, chodniki) do kanałów deszczowych. Należy zatem zadbać o prawidłowe działanie wpustów ulicznych, a także należy zadbać o odpowiednie projektowanie nowych i modernizowanych ulic w sposób umożliwiający szybki odbiór wód opadowych zanim te w trakcie spływu powierzchniowego dotrą do naturalnych lub sztucznych obniżen terenu powodując paraliż komunikacyjny w Białymstoku np. tunel Fieldrofa „Nila”, rondo przy skrzyżowaniu ul. Antoniukowska/Świętokrzyska/Wierzbowa oraz innych miejsc podtopień zidentyfikowanych jako problematyczne w związku z występowaniem deszczy nawalnych na terenie miasta.

W obliczeniach zdolności odprowadzania wód deszczowych przez system kanalizacji deszczowej pominięto, zgodnie z założeniami opisanymi w SIWZ, sprawdzenia wpływu odpływu wód ze zlewni do odbiorników, co może mieć istotne znaczenie w związku z małymi możliwościami odbioru wód przez rowy otwarte i cieki powierzchniowe.

W trakcie wykonywania map i baz danych niezbędnych do wykonania obliczeń hydraulicznych problemy stanowiły często niskiej jakości dane geodezyjne pozyskane z mapy zasadniczej. Wielokrotnie brakowało opisu przewodów kanalizacyjnych z uwzględnieniem średnicy przewodu lub informacja ta była niezgodna ze stanem faktycznym, np. przewód oznaczony jako kD970 to w rzeczywistości przewód o przekroju jajowatym 2000x970 (wysokość x szerokość). W przypadku studzienek kanalizacyjnych brakowało rzędnych dna lub/i rzędnej terenu. Wielokrotnie brakowało rzędnej wejścia przewodu kanalizacyjnego do studzienki. W skrajnych przypadkach rzędna wejścia przewodu do studzienki była niższa niż rzędna dna studzienki.

System kanalizacji deszczowej na terenie miasta Białegostoku wymaga głębokiego przeanalizowania pod względem podjęcia kroków nad poprawą jego przepustowości, tak aby nie dochodziło w przyszłości do powodzi opadowych na terenie miasta.

W kolejnym etapie należy przyrzeć się wynikom obliczeń hydraulicznych oraz danym historycznym o terenach zalewanych w trakcie opadów deszczu i wytypować przedsięwzięcia, które będą miały na celu ochronę miasta przed powodziami opadowymi.

Ważnym jest, aby przyszłe inwestycje (drogi, budynki, parkingi, itd.) były planowane z zagospodarowaniem wód opadowych na terenie inwestycji oraz aby sprawdzać jak ilość wód opadowych z planowanej inwestycji wpływa na cały system kanalizacji deszczowej oraz możliwości odbioru wód opadowych przez odbiorniki.

Po przeprowadzonej analizie hydraulicznej istniejącego systemu kanalizacji deszczowej zaleca się:

1. przeprowadzenie obliczeń hydraulicznych systemu kanalizacji deszczowej w połączeniu z obliczeniami zdolności odbioru wód deszczowych przez odbiorniki wód deszczowych.
2. przeprowadzenie pełnej inwentaryzacji systemu kanalizacji deszczowej.



3. korzystanie z przekazanych baz danych i projektów map jako podstawowego źródła zarządzania siecią kanalizacji deszczowej.
4. ciągłą aktualizację danych o systemie kanalizacji deszczowej oraz okresowe sprawdzanie wydajności całego systemu odprowadzania wód opadowych z uwagi, na fakt, iż system kanalizacji deszczowej ulega ciągłym zmianom związanym z rozwojem miasta,
5. sprawdzanie przy planowaniu nowych inwestycji, naturalnych kierunków spływu wód po powierzchni terenu oraz czy inwestycja nie zakłóca tego spływu, a jeżeli tak, to zaplanowanie działań, które przywrócą naturalny kierunek spływu lub będą mogły zmagazynować odpowiednie ilości wód opadowych tak, aby nie dochodziło do podtapiania okolicznych terenów planowanej inwestycji,
6. dbanie o zachowanie drożności rowów odprowadzających wody opadowe (cykliczne przeglądy w zależności od potrzeb, ale nie rzadziej niż raz w roku).