

**USŁUGI PROJEKTOWE "MEL-PRO"**  
**mgr inż. Karol Ślisiński**  
**ul. Bukowska 36 62-070 Dopiewo**  
***melpro@melpro.pl* +48 600 273 096**

---

*Przedsięwzięcie:*

**MODEL NATĘŻEŃ DESZCZÓW MIARODAJNYCH  
DLA POTRZEB HYDROLOGII MIEJSKIEJ  
W GLIWICACH**

*Miasto: Gliwice*

*woj. śląskie*

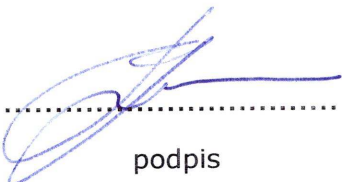
*Stadium dokumentacji:*

**ORACOWANIE ANALITYCZNE**

*Inwestor:*

**MIASTO GLIWICE**  
**ul. Zwycięstwa 21**  
**44-100 Gliwice**

opracował dr hab. inż. Paweł Licznar, prof. nadzw. PWr



podpis

Sierpień 2016r.

# **MODEL NATĘŻEŃ DESZCZÓW MIARODAJNYCH DLA POTRZEB HYDROLOGII MIEJSKIEJ W GLIWICACH**

Projekt realizowany przy wykorzystaniu danych na temat natężeń deszczów miarodajnych, pozyskanych w ramach projektu PANDa (Polski Atlas Natężeń Deszczów miarodajnych).

Sierpień 2016r.

## **Spis treści**

1. Podstawa i cel opracowania .....	4
2. Materiał badawczy .....	4
3. Wyznaczenie natężeń deszczów miarodajnych .....	6
4. Model natężeń deszczów miarodajnych dla Gliwic.....	16
5. Opad modelowy Eulera (typ II) .....	20
6. Podsumowanie końcowe.....	22
7. Bibliografia .....	24
8. Uwagi końcowe .....	25

## **1. Podstawa i cel opracowania**

Podstawą niniejszego opracowania była umowa nr PU.7021.13.31.2016 zawarta dnia 01.07.2016r. pomiędzy Miastem Gliwice a Usługi Projektowe MEL-PRO mgr inż. Karol Ślisiński.

Celem opracowania było sporządzenie lokalnego modelu opadowego dla miasta Gliwic, który będzie podstawą do zasilania tworzonych w przyszłości modeli hydrologicznych i hydrodynamicznych systemu odwodnienia miasta, złożonego z krytych układów kanałów deszczowych oraz uzupełniających ich układów koryt otwartych, często pełniących rolę odbiornika spływów wód opadowych. Modele te będą bazą do wyznaczenia stref zalewowych i obszarów zagrożonych podtopieniami na terenie miasta.

Wymaganiem stawianym przez Zamawiającego było, aby model opadowy bazował na rzeczywistych danych obserwacyjnych z okresu nie krótszego niż pięć lat. Domyślnie miały być to aktualne dane opadowe, najlepiej z ostatnich lat o wysokiej rozdzielczości czasowej, dostosowanej do specyfiki projektowania i modelowania miejskich systemów odwodnienia. Ponadto miały to być dane wiarygodne, pozyskane od oficjalnych służb meteorologicznych, a więc zarejestrowane z użyciem deszczomierzy spełniających przyjęte w kraju standardy pomiarowe i zainstalowanych w odpowiednich warunkach na stacjach meteorologicznych.

## **2. Materiał badawczy**

Model opadowy dla dowolnego miasta powinien bazować na wieloletnich, tzn. co najmniej około 20-30. letnich lokalnych szeregach opadowych. Niestety dla miasta Gliwice brak jest takich danych opadowych. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w ostatnim 30. leciu nie prowadził systematycznych rejestracji opadów na terenie miasta Gliwice w wysokiej rozdzielczości czasowej. Z uwagi na ograniczenia finansowe IMGW, na stacji opadowej w Gliwicach prowadzone były jedynie pomiary dobowych sum opadów, co jest niewystarczającym dla potrzeb niniejszego opracowania.

Mając to na uwadze, oparto się na danych opadowych, o wysokiej rozdzielczości czasowej, pochodzących z dwóch najbliższych stacji meteorologicznych IMGW w Katowicach i w Raciborzu. Stacja w Katowicach jest położona około 25 km na wschód od Gliwic, a stacja w Raciborzu o około 40 km na południowy zachód od Gliwic. Podstawowe informacje



o położeniu stacji w Katowicach i Raciborzu zawarto w tab. 2.1. Jak widać, stacje te znajdują się nie tylko w pobliżu miasta Gliwice (18,669°E i 50,310°N), ale także są położone na podobnej wysokości jak miasto Gliwice, dla którego wysokość terenu waha się w zakresie od około 200 do 278 m n.p.m. Można zatem uznawać dane opadowe z tych pobliskich stacji meteorologicznych za reprezentatywne, zwłaszcza pod względem statystycznym, dla miasta Gliwice.

Tab. 2.1. Położenie stacji meteorologicznych IMGW w Katowicach i Raciborzu

Nazwa stacji	Wysokość, m n.p.m.	Długość geograficzna °E	Szerokość geograficzna °N
Katowice	279	19,0158	50,1426
Racibórz	206	18,1127	50,0340

W przypadku stacji meteorologicznej Katowice do wyznaczenia maksymalnych natężeń opadów dysponowano szeregami rejestracyjnymi z łącznie 25 lat. Były to paski pluwiograficzne z lat 1986-1999 oraz zapisy z deszczomierza elektronicznego typu SEBA z lat: 2005-2015. W przypadku stacji meteorologicznej w Raciborzu dysponowano szeregami rejestracyjnymi z łącznie 18 lat. Były to analogiczne dane w postaci pasków pluwiograficznych z lat 1986-1996 oraz zapisy z deszczomierza elektronicznego typu SEBA z lat: 2009-2015. Zapisy ze starszych lat z obydwu stacji miały format analogowy, pasków pluwiograficznych, rejestrowanych na pluwiografach płytkowych (nazywanych też ombrografami). Szczegółowy opis konstrukcji i funkcjonowanie pluwiografów można znaleźć w pracach [1,2]. Przyrządy te z uwagi na brak systemu ogrzewania i możliwość zamarzania w zimie były stosowane jedynie w okresie dodatnich temperatur, a więc w okresie od około 1 maja do 30 października. Niemniej przyjmuje się, że zdecydowana większość najbardziej intensywnych opadów deszczów występuje właśnie we wspomnianym okresie letniego półrocza hydrologicznego. Szeregi opadowe z ostatnich lat na obydwu stacjach zarejestrowane były z wykorzystaniem elektronicznego deszczomierza korytkowego SEBA. Szczegółowy opis konstrukcji i funkcjonowania elektronicznych deszczomierzy korytkowych można znaleźć w pracy [2]. Deszczomierze korytkowe SEBA były wyposażone w system ogrzewania (zapobiegający zamarzaniu mechanizmu deszczomierza i topiący deponowane opady stałe, np. śniegu). Co zatem idzie, mogły one rejestrować opady przez cały rok, nie tylko w przypadku deszczów, ale także dla opadów stałych, jak np. śnieg. Z przyrządów tych dysponowano całorocznymi szeregami czasowymi wysokości opadów 1. minutowych o rozdzielczości 0,1 mm.

### 3. Wyznaczenie natężeń deszczów miarodajnych

Wyznaczanie natężeń deszczów rozpoczęto od digitalizacji zapisów pluwiograficznych, a więc ich odczytu i zapisu cyfrowego w formacie pseudo-szeregów czasowych o rozdzielczości czasowej 5 minut. Następnie cyfrowe szeregi czasowe pochodzące z digitalizacji pasków pluwiograficznych oraz z zapisów z deszczomierzy elektronicznych poddano analizie mającej na celu określenie wielkości natężeń chwilowych (przedziałowych) deszczów. Jak wskazuje się w pracy [1] i co wykazał praktycznie na podstawie badań szeregów opadowych z Wrocławia Licznar [3,4], analiza natężeń chwilowych prowadzi do uzyskiwania wyższych wartości natężeń opadów w stosunku do znacznie prostszej analizy natężeń średnich opadów. Dla przeprowadzenia analizy natężeń chwilowych opadów, tzn. wyszukania ich maksymalnych wartości opracowano specjalistyczną aplikację komputerową. Aplikacja ta w sposób iteracyjny wyszukiwała największe przedziałowe wysokości opadów  $h$ , wyrażone w mm, dla wszystkich możliwych przedziałów czasu trwania opadu w obrębie każdego z rocznych szeregów opadowych. Stosowano zatem standardową w teorii zdarzeń ekstremalnych metodykę wyszukiwania rocznych wartości maksymalnych, otrzymując w rezultacie roczne serie maksymalnych wartości (ang. Annual Maxima Series - AMS). Przedziałowe maksymalne wysokości opadów wyszukiwano dla całej hierarchii długości przedziałów czasowych równych odpowiednio: 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360, 720, 1080, 1440, 2160, 2880 i 4320 minut. Ostatnim elementem wyznaczania natężeń opadów miarodajnych na obydwu stacjach meteorologicznych w Katowicach i Raciborzu było uszeregowanie rocznych serii maksymalnych wartości przedziałowych wysokości opadów w szeregi rozdzielcze. W celu wyszukania miarodajnych wysokości i natężeń opadów dla poszczególnych prawdopodobieństw ich przewyższenia, w poszczególnych szeregach rozdzielczych wyeliminowano odpowiednią ilość wyższych obserwacji. Ostatecznie zestawione wartości wysokości i natężeń deszczów miarodajnych na stacjach Katowicach i Raciborzu pozwoliły na interpolację przestrzenną docelowych wartości wysokości i natężeń deszczów miarodajnych dla miasta Gliwice. Uzyskane w ten sposób wartości natężeń deszczów miarodajnych były podstawą opracowania modelu natężeń deszczów miarodajnych dla miasta Gliwice.



Proces digitalizacji zapisów pluwiograficznych ze stacji w Katowicach i Raciborzu bazował na metodyce konwersji zapisów pluwiograficznych opracowanej przez Licznara, szczegółowo opisanej w pracach [2,5]. Metodyka ta obejmowała:

- ✓ skanowanie pasków pluwiograficznych,
- ✓ wyświetlenie i kalibrację obrazów rastrowych z użyciem narzędzi Bentley Descartes,
- ✓ odwzorowanie przebiegu krzywej rejestracji zapisu opadów na obrazie rastrowym w środowisku graficznym MicroStation,
- ✓ eliminację segmentów spadkowych rejestracji, wynikających z opróżniania zbiornika pluwiografu przez syfon,
- ✓ przechwycenie współrzędnych zdigitalizowanych krzywych rejestracji, ich przeskalowanie w zakresie czasu oraz warstwy opadu i ostateczny zapis w formacie cyfrowym.

Odwzorowanie krzywej przebiegu rejestracji w środowisku graficznym MicroStation przeprowadzono zgodnie z metodą wydłużonej reprezentacji (ang. extended representation), zlecaną przez Barringa [8]. Ta metoda odwzorowania sprawdza się bardzo dobrze w przypadku zapisów dla których, jak w warunkach klimatycznych Polski, rejestracje opadów zmieniają swoje nachylenie (a więc natężenie) często w sposób wygładzony, a nie skokowo, jak np. w przypadku opadów monsunowych. Szczegółowa dyskusja różnic pomiędzy metodą wydłużonej reprezentacji, a mniej skomplikowanymi i mniej wiarygodnymi metodykami: stałych interwał czasu (ang. fixed time-resolution) i punktów załomu (ang. break-point) można odnaleźć w pracy [6].

Po zakończeniu operacji konwersji danych pluwiograficznych do formatu cyfrowego, na ich podstawie sporządzono pseudo-szeregi czasowe. Rozdzielczość czasową tych szeregów przyjęto za równą 5 minut. Teoretycznie metodyka konwersji zapisów pluwiograficznych z uwagi na swoją precyzję odczytu czasu zdecydowanie mniejszą od 1 minuty, dawała podstawę do wygenerowania szeregów o większej rozdzielczości, np. równej 1 minucie. Jednak z uwagi na ograniczenia precyzji samego pluwiografu zdecydowano się na wspomnianą rozdzielczość 5 minut. Przez ograniczenia precyzji pluwiografu rozumie się między innymi: bezwładność pływaką zatopionego w zbiorniku, do którego spada woda spływająca z otworu wlotowego, przerwy w rejestracji z uwagi na działanie syfonu opróżniającego zbiornik, czy też samo opóźnienie spływu wody przez wąski lejek wlotowy deszczomierza przy szczególnie

intensywnych opadach. Warto przy tym pamiętać, że interwał 5 minut odpowiada połowie podstawowej działki taśmy pluwiografu i jak dotąd w krajowych analizach deszczów miarodajnych był najkrótszym analizowanym czasem trwania deszczu [1,7]. Także z punktu widzenia użyteczności danych opadowych dla celów projektowania i modelowania systemów odwodnienia, w tym przede wszystkim kanalizacji deszczowych, interwał 5 minut, odpowiada wymogom aktualnie dostępnemu dla inżyniera warsztatu obliczeniowego i oprogramowania specjalistycznego.

Wyznaczone na podstawie zdigitalizowanych pseudo-szeregów czasowych z pluwiografów i szeregów czasowych z deszczomierzy elektronicznych, największe przedziałowe wysokości opadów  $h$ , wyrażone w mm, w poszczególnych latach dla stacji w Katowicach i w Raciborzu zestawiono odpowiednio w tab. 3.1 i 3.2. Te same wartości przedziałowych wysokości opadów dla czasów trwania od 5 do 4320 min. uszeregowano malejąco i zestawiono w tab. 3.3 i 3.4. Jak łatwo zauważyć, we wszystkich 4 tabelach wraz z wydłużeniem czasu trwania opadu obserwuje się naturalne zwiększenie się warstwy deponowanych opadów. Przyrosty warstw opadu nie mają jednak charakteru stałego i proporcjonalnego do wydłużenia czasu, gdyż w naturalnych opadach o długim czasie trwania mogą występować okresy o znacznie niższych natężeniach, a nawet okresy bez deszczu. Jednocześnie konfrontując uszeregowane przedziałowe warstwy opadu z tab. 3.3 i 3.4 można zauważyć, że wartości maksymalne zanotowane dla Katowic są wyższe od wartości dla Raciborza. Ta rozbieżność nie powinna jednak zaskakiwać, gdyż wartości maksymalne dla Katowic wyznaczono dla większego zbioru obserwacyjnego z 25 lat. W większym zbiorze obserwacyjnym prawdopodobieństwo odnalezienia wartości maksymalnych (będących osobliwościami procesu opadowego) jest zawsze większe, niż w mniejszym i mniej liczonym zbiorze obserwacyjnym, co wynika z podstaw samej teorii multrifraktali, dobrze opisującej szeregi opadowe [8]. Bardziej celowym jest zatem porównywanie miarodajnych wysokości opadów, a więc maksymalnych wysokości opadów dla różnych czasów trwania i dla określonych prawdopodobieństw ich przewyższenia.



Tab. 3.1. Największe przedziałowe wysokości opadów h, wyrażone w mm, w poszczególnych latach dla stacji w Katowicach

Rok	Czas trwania opadu, min															
	5	10	15	30	45	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1986	5.2	9.4	14.4	16.3	17.4	18.0	18.8	19.5	22.3	29.9	32.4	40.1	40.1	40.1	46.6	55.1
1987	12.6	12.6	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	15.1	20.2	30.6	40.5	44.0	45.3	47.3	51.1
1988	10.1	16.4	21.5	23.3	23.6	25.4	25.5	25.7	26.7	27.8	29.7	41.1	53.4	59.2	60.8	60.8
1989	4.6	9.2	12.0	16.3	18.5	18.6	18.6	28.8	32.7	32.9	32.9	33.7	33.7	33.7	33.7	34.1
1990	3.4	5.8	6.8	12.8	18.0	20.5	23.6	25.4	30.3	33.3	36.0	46.8	47.8	47.8	47.8	48.5
1991	8.3	14.2	20.1	28.2	31.0	32.3	35.2	36.7	36.9	37.0	38.9	39.3	39.3	40.5	47.4	48.0
1992	4.5	8.3	10.6	11.7	13.7	14.8	17.1	18.8	18.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8
1993	4.9	7.0	8.9	9.1	9.8	12.5	13.5	13.5	18.6	25.1	28.4	28.7	28.7	28.7	29.2	30.3
1994	4.8	8.5	11.3	15.4	16.3	20.7	27.6	33.5	40.0	45.7	48.2	48.2	48.2	48.2	48.2	48.2
1995	7.2	13.0	18.3	29.4	31.2	31.3	31.4	31.4	36.9	39.5	39.9	39.9	39.9	47.3	47.5	57.3
1996	6.8	10.9	15.0	17.3	17.6	17.6	17.7	17.8	20.0	29.8	40.9	42.1	42.3	43.9	46.6	51.9
1997	6.7	10.0	13.0	16.0	20.6	23.5	28.3	30.8	36.7	40.5	50.1	67.4	77.4	89.6	100.9	139.9
1998	5.5	8.5	11.9	12.9	19.2	21.4	22.3	24.0	27.1	37.4	42.7	42.7	62.6	65.4	65.4	65.4
1999	10.0	11.5	16.8	19.5	19.6	20.4	21.2	21.6	22.9	40.3	43.1	48.3	56.4	67.9	68.5	68.6
2005	6.1	9.6	11.8	18.3	23.5	26.2	28.5	32.2	37.6	46.1	48.2	53.7	56.4	57.1	57.4	57.4
2006	8.0	14.8	19.8	26.9	28.1	28.1	28.9	31.0	34.6	37.6	38.5	44.5	44.5	44.6	44.9	46.4
2007	8.0	14.8	19.8	26.9	28.1	28.1	28.9	31.0	34.6	37.6	38.5	44.5	44.5	44.6	44.9	46.4
2008	10.5	14.1	15.4	22.1	28.4	28.6	30.2	35.7	40.2	41.3	49.3	55.7	59.4	73.6	74.1	74.2
2009	7.9	13.0	19.0	26.7	31.6	34.3	47.3	48.4	49.4	49.8	50.9	51.8	51.8	51.8	51.8	64.8
2010	7.3	9.6	11.9	14.2	14.6	15.0	16.6	18.0	23.6	36.1	52.3	58.9	69.3	98.7	116.5	140.1
2011	8.8	15.3	22.4	41.1	50.3	53.7	56.8	58.8	68.4	73.0	74.9	74.9	75.5	75.5	75.5	77.1
2012	7.0	11.5	13.2	16.9	18.4	21.3	26.0	26.0	26.0	26.1	26.3	28.3	34.5	37.6	42.7	43.7
2013	6.0	10.9	14.5	21.6	21.8	21.9	22.0	22.1	29.3	41.7	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6
2014	6.2	7.5	8.2	12.3	13.8	15.1	18.3	19.5	19.5	19.8	25.3	31.7	38.7	38.7	41.1	49.1
2015	5.9	6.2	6.7	10.6	11.9	12.7	14.1	15.6	16.5	17.3	17.5	17.5	19.0	23.1	27.1	

Tab. 3.2. Największe przedziałowe wysokości opadów h, wyrażone w mm, w poszczególnych latach dla stacji w Raciborzu

Rok	Czas trwania opadu, min															
	5	10	15	30	45	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1986	5.8	9.3	10.5	11.3	11.3	13.1	14.0	14.1	15.7	17.6	19.7	22.0	22.0	30.9	35.6	35.6
1987	4.9	6.9	7.3	7.4	8.8	10.3	12.2	14.0	14.8	21.4	28.0	28.0	28.0	32.7	34.8	37.8
1988	4.8	7.8	9.7	10.9	13.3	14.4	19.2	21.5	25.1	32.9	38.6	38.6	40.5	41.3	41.3	41.3
1989	3.6	5.0	6.2	8.1	8.4	8.4	9.3	12.3	13.0	15.1	15.6	17.5	20.8	26.6	26.6	27.7
1990	7.6	10.8	11.3	15.1	17.3	18.7	20.0	20.2	20.7	21.0	27.0	27.0	32.7	36.7	36.7	38.5
1991	7.2	7.9	11.6	17.1	19.8	21.4	24.4	25.5	26.2	27.1	27.2	27.2	28.0	29.0	30.1	30.2
1992	8.1	13.9	14.3	17.8	18.9	20.5	21.0	21.0	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	22.2	22.2	26.6
1993	6.0	6.9	8.9	10.8	11.2	11.3	11.7	15.2	19.6	24.4	28.0	29.3	29.9	33.1	33.1	33.2
1994	5.1	5.7	6.0	6.0	9.5	9.5	9.5	12.7	12.8	14.3	17.4	20.4	24.3	25.0	25.0	25.2
1995	8.5	12.9	15.3	18.5	19.4	19.4	20.3	23.1	25.5	26.0	29.4	29.8	29.8	29.8	29.8	36.0
1996	3.8	6.5	6.8	8.0	8.1	8.1	8.5	11.0	12.7	17.5	26.8	32.0	35.9	40.3	40.7	42.3
2009	7.2	13.8	18.6	29.5	33.8	36.1	36.9	39.8	41.2	43.2	43.4	43.4	43.5	43.8	43.9	54.5
2010	6.7	7.5	10.0	12.1	16.5	21.2	26.8	27.3	32.5	40.8	40.9	41.0	41.0	49.2	62.6	68.9
2011	7.8	11.7	13.1	17.1	17.5	18.8	24.6	25.1	25.6	31.5	40.3	44.8	45.3	51.4	58.6	58.7
2012	8.7	15.5	20.7	28.2	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.8	41.3	45.0	45.6	45.7	46.6
2013	4.9	7.8	9.7	11.6	12.6	13.1	20.0	23.2	25.2	31.4	32.0	32.1	41.6	45.3	46.6	54.6
2014	6.8	11.9	16.1	24.4	25.7	26.6	29.6	30.3	30.3	39.6	58.3	62.2	62.3	65.2	66.4	66.4
2015	4.5	6.6	9.0	10.1	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	17.1	24.9	25.4	25.4	25.4	25.4	25.7



Tab. 3.3. Uszeregowanie największych przedziałowych wysokości opadów h, wyrażonych w mm, z okresu 25 lat obserwacji dla stacji w Katowicach

Lp.	Czas trwania opadu, min															
	5	10	15	30	45	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	12.6	16.4	22.4	41.1	50.3	53.7	56.8	58.8	68.4	73.0	74.9	74.9	77.4	98.7	116.5	140.1
2	10.5	15.3	21.5	29.4	31.6	34.3	47.3	48.4	49.4	49.8	52.3	67.4	75.5	89.6	100.9	139.9
<b>3</b>	<b>10.1</b>	<b>14.8</b>	<b>20.1</b>	<b>28.2</b>	<b>31.2</b>	<b>32.3</b>	<b>35.2</b>	<b>36.7</b>	<b>40.2</b>	<b>46.1</b>	<b>50.9</b>	<b>58.9</b>	<b>69.3</b>	<b>75.5</b>	<b>75.5</b>	<b>77.1</b>
4	10.0	14.8	19.8	26.9	31.0	31.3	31.4	35.7	40.0	45.7	50.1	55.7	62.6	73.6	74.1	74.2
<b>5</b>	<b>8.8</b>	<b>14.2</b>	<b>19.8</b>	<b>26.9</b>	<b>28.4</b>	<b>28.6</b>	<b>30.2</b>	<b>33.5</b>	<b>37.6</b>	<b>41.7</b>	<b>49.3</b>	<b>53.7</b>	<b>59.4</b>	<b>67.9</b>	<b>68.5</b>	<b>68.6</b>
6	8.3	14.1	19.0	26.7	28.1	28.1	28.9	32.2	36.9	41.3	48.2	51.8	56.4	65.4	65.4	65.4
7	8.0	13.0	18.3	23.3	28.1	28.1	28.9	31.4	36.9	40.5	48.2	48.3	56.4	59.2	60.8	64.8
8	8.0	13.0	16.8	22.1	23.6	26.2	28.5	31.0	36.7	40.3	43.6	48.2	53.4	57.1	57.4	60.8
9	7.9	12.6	15.4	21.6	23.5	25.4	28.3	31.0	34.6	39.5	43.1	46.8	51.8	51.8	51.8	57.4
10	7.3	11.5	15.0	19.5	21.8	23.5	27.6	30.8	34.6	37.6	42.7	44.5	48.2	48.2	48.2	57.3
11	7.2	11.5	14.5	18.3	20.6	21.9	26.0	28.8	32.7	37.6	40.9	44.5	47.8	47.8	47.8	55.1
12	7.0	10.9	14.4	17.3	19.6	21.4	25.5	26.0	30.3	37.4	39.9	43.6	44.5	47.3	47.5	51.9
<b>13</b>	<b>6.8</b>	<b>10.9</b>	<b>13.2</b>	<b>16.9</b>	<b>19.2</b>	<b>21.3</b>	<b>23.6</b>	<b>25.7</b>	<b>29.3</b>	<b>37.0</b>	<b>38.9</b>	<b>42.7</b>	<b>44.5</b>	<b>45.3</b>	<b>47.4</b>	<b>51.1</b>
14	6.7	10.0	13.0	16.3	18.5	20.7	22.3	25.4	27.1	36.1	38.5	42.1	44.0	44.6	47.3	49.1
15	6.2	9.6	12.7	16.3	18.4	20.5	22.0	24.0	26.7	33.3	38.5	41.1	43.6	44.6	46.6	48.5
16	6.1	9.6	12.0	16.0	18.0	20.4	21.2	22.1	26.0	32.9	36.0	40.5	42.3	43.9	46.6	48.2
17	6.0	9.4	11.9	15.4	17.6	18.6	18.8	21.6	23.6	29.9	32.9	40.1	40.1	43.6	44.9	48.0
18	5.9	9.2	11.9	14.2	17.4	18.0	18.6	19.5	22.9	29.8	32.4	39.9	39.9	40.5	44.9	46.4
19	5.5	8.5	11.8	12.9	16.3	17.6	18.3	19.5	22.3	27.8	30.6	39.3	39.3	40.1	43.6	46.4
20	5.2	8.5	11.3	12.8	14.6	15.1	17.7	18.8	20.0	26.1	29.7	33.7	38.7	38.7	42.7	43.7
21	4.9	8.3	10.6	12.7	13.8	15.0	17.1	18.0	19.5	25.1	28.4	31.7	34.5	37.6	41.1	43.6
22	4.8	7.5	8.9	12.3	13.7	14.8	16.6	17.8	18.8	20.8	26.3	28.7	33.7	33.7	33.7	34.1
23	4.6	7.0	8.2	11.7	12.7	12.7	14.1	15.6	18.6	20.2	25.3	28.3	28.7	28.7	29.2	30.3
24	4.5	6.2	6.8	10.6	11.9	12.7	13.5	13.5	16.5	19.8	20.8	20.8	20.8	20.8	23.1	27.1
<b>25</b>	<b>3.4</b>	<b>5.8</b>	<b>6.7</b>	<b>9.1</b>	<b>9.8</b>	<b>12.5</b>	<b>12.7</b>	<b>12.7</b>	<b>15.1</b>	<b>17.3</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>19.0</b>	<b>20.8</b>	<b>20.8</b>

Tab. 3.4. Uszeregowanie największych przedziałowych wysokości opadów h, wyrażonych w mm, z okresu 18 lat obserwacji dla stacji w Raciborzu

Lp.	Czas trwania opadu, min															
	5	10	15	30	45	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	8.7	15.5	20.7	29.5	33.8	36.1	36.9	39.8	41.2	43.2	58.3	62.2	62.3	65.2	66.4	68.9
<b>2</b>	<b>8.5</b>	<b>13.9</b>	<b>18.6</b>	<b>28.2</b>	<b>30.7</b>	<b>30.7</b>	<b>30.7</b>	<b>30.7</b>	<b>32.5</b>	<b>40.8</b>	<b>43.4</b>	<b>44.8</b>	<b>45.3</b>	<b>51.4</b>	<b>62.6</b>	<b>66.4</b>
3	8.1	13.8	16.1	24.4	25.7	26.6	29.6	30.3	30.7	39.6	40.9	43.4	45.0	49.2	58.6	58.7
<b>4</b>	<b>7.8</b>	<b>12.9</b>	<b>15.3</b>	<b>18.5</b>	<b>19.8</b>	<b>21.4</b>	<b>26.8</b>	<b>27.3</b>	<b>30.3</b>	<b>32.9</b>	<b>40.3</b>	<b>41.3</b>	<b>43.5</b>	<b>45.6</b>	<b>46.6</b>	<b>54.6</b>
5	7.6	11.9	14.3	17.8	19.4	21.2	24.6	25.5	26.2	31.5	38.6	41.0	41.6	45.3	45.7	54.5
6	7.2	11.7	13.1	17.1	18.9	20.5	24.4	25.1	25.6	31.4	32.0	38.6	41.0	43.8	43.9	46.6
7	7.2	10.8	11.6	17.1	17.5	19.4	21.0	23.2	25.5	30.7	30.8	32.1	40.5	41.3	41.3	42.3
8	6.8	9.3	11.3	15.1	17.3	18.8	20.3	23.1	25.2	27.1	29.4	32.0	35.9	40.3	40.7	41.3
<b>9</b>	<b>6.7</b>	<b>7.9</b>	<b>10.5</b>	<b>12.1</b>	<b>16.5</b>	<b>18.7</b>	<b>20.0</b>	<b>21.5</b>	<b>25.1</b>	<b>26.0</b>	<b>28.0</b>	<b>29.8</b>	<b>32.7</b>	<b>36.7</b>	<b>36.7</b>	<b>38.5</b>
10	6.0	7.8	10.0	11.6	13.3	14.4	20.0	21.0	21.2	24.4	28.0	29.3	29.9	33.1	35.6	37.8
11	5.8	7.8	9.7	11.3	12.6	13.1	19.2	20.2	20.7	21.4	27.2	28.0	29.8	32.7	34.8	36.0
12	5.1	7.5	9.7	10.9	11.3	13.1	14.0	15.2	19.6	21.2	27.0	27.2	28.0	30.9	33.1	35.6
13	4.9	6.9	9.0	10.8	11.2	11.3	12.2	14.1	15.7	21.0	26.8	27.0	28.0	29.8	30.1	33.2
14	4.9	6.9	8.9	10.1	10.2	10.3	11.7	14.0	14.8	17.6	24.9	25.4	25.4	29.0	29.8	30.2
15	4.8	6.6	7.3	8.1	9.5	10.2	10.2	12.7	13.0	17.5	21.2	22.0	24.3	26.6	26.6	27.7
16	4.5	6.5	6.8	8.0	8.8	9.5	9.5	12.3	12.8	17.1	19.7	21.2	22.0	25.4	25.4	26.6
17	3.8	5.7	6.2	7.4	8.4	8.4	9.3	11.0	12.7	15.1	17.4	20.4	21.2	25.0	25.0	25.7
<b>18</b>	<b>3.6</b>	<b>5.0</b>	<b>6.0</b>	<b>6.0</b>	<b>8.1</b>	<b>8.1</b>	<b>8.5</b>	<b>10.2</b>	<b>10.2</b>	<b>14.3</b>	<b>15.6</b>	<b>17.5</b>	<b>20.8</b>	<b>22.2</b>	<b>22.2</b>	<b>25.2</b>

W celu wyszukania miarodajnych wysokości i natężeń opadów dla poszczególnych prawdopodobieństw ich przewyższenia w poszczególnych szeregach rozdzielczych zestawionych w tab. 3.3 i 3.4 wyeliminowano odpowiednią ilość wyższych obserwacji. Liczba eliminowanych wyższych obserwacji zależała od przyjętych prawdopodobieństw oraz długości cykli obserwacyjnych. W niniejszym opracowaniu przyjęto stosowane standardowo dla potrzeb projektowania i zalecane w europejskiej normie kanalizacyjnej prawdopodobieństwa p równe: 10%, 20%, 50% i 100%, odpowiadające częstościom występowania deszczów miarodajnych C wynoszącym: 10 lat, 5 lat, 2 lata i 1 rok [9].

Przykładowo dla stacji Katowice dla prawdopodobieństwa  $p=20\%$ , przy cyklu obserwacji z 25 lat wyeliminowano  $\frac{20}{100} \cdot 25 = 5$  obserwacji wyższych. Co za tym idzie przedziałowe warstwy opadu miarodajnego dla  $p=20\%$  przyjęto na 5 poziomie tab. 3.3. Analogicznie dla Katowic i prawdopodobieństw p równych 10%, 50% i 100% przyjęto poziomy 3, 13 i 25 w tab. 3.3. Natomiast dla Raciborza z uwagi na krótszy 18. letni cykl obserwacji, dla prawdopodobieństw p równych 10%, 20%, 50% i 100% przyjęto odpowiednio poziomy 2, 4, 9 i 18 w tab. 3.4. Te przyjęte poziomy, oznaczone pogrubioną czcionką w tab. 3.3 i 3.4, zestawiono zbiorczo w tab. 3.5.

Wartości zawarte w tab. 3.5 dla Raciborza i Katowic były podstawą interpolacji przestrzennej wartości przedziałowych wysokości opadów miarodajnych dla miasta Gliwice. W tym celu zastosowano metodę odwrotnych odległości, według formuły jak poniżej:

$$h_G = \frac{\frac{h_R}{(l_{R-G})^m} + \frac{h_K}{(l_{K-G})^m}}{\frac{1}{(l_{R-G})^m} + \frac{1}{(l_{K-G})^m}} \quad (3.1)$$

gdzie:

$h_G$  - interpolowana przedziałowa wysokość opadu dla Gliwic, mm;

$h_R$  - przedziałowa wysokość opadu dla Raciborza, mm;

$h_K$  - przedziałowa wysokość opadu dla Katowic, mm;

$l_{R-G}$  – odległość stacji w Raciborzu od Gliwic, równa 40 km;

$l_{K-G}$  – odległość stacji w Katowicach od Gliwic, równa 25 km.

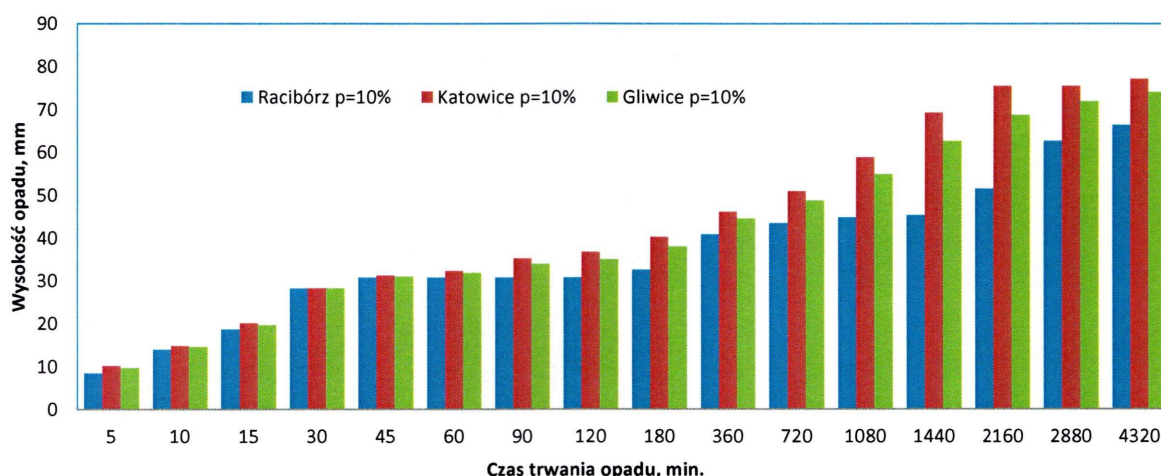
Wartości przedziałowych wysokości opadów miarodajnych wyznaczone według formuły (3.1) zestawiono zbiorczo w 3 panelu tab. 3.5. Wartości te przedstawiono graficznie dla analizowanych poziomów prawdopodobieństwa, odpowiednio na wykresach na rys. 3.1 ÷ 3.4. Ponadto



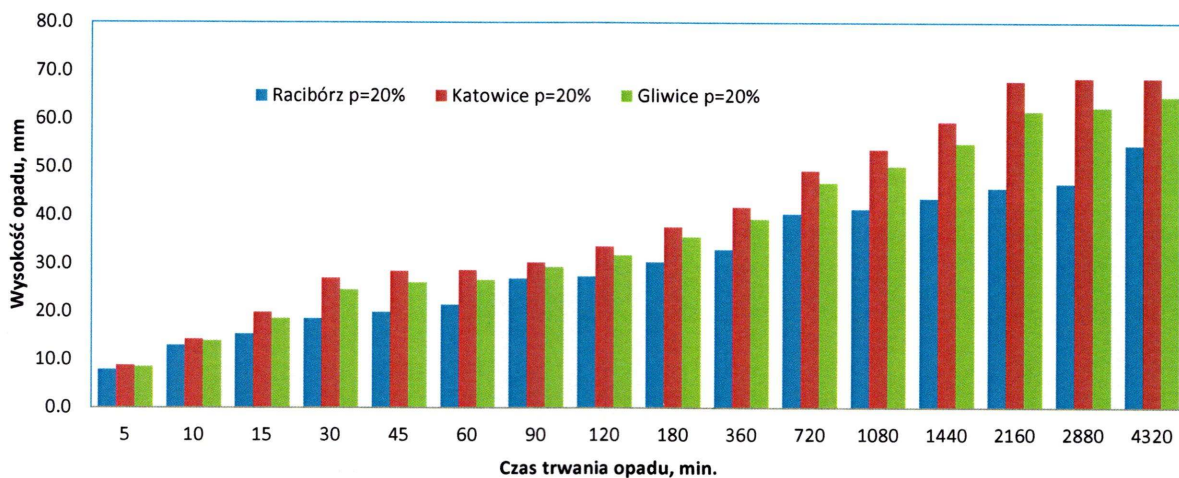
wyznaczone wysokości opadów miarodajnych dla Gliwic wykreślono w skali czasów ich trwania na rys. 3.5.

Tab. 3.4. Wyznaczone przedziałowe wysokości opadów miarodajnych  $h$ , wyrażonych w mm, dla prawdopodobieństw  $p$  równych 10%, 20%, 50% i 100% dla stacji w Raciborzu i Katowicach oraz interpolowane na ich podstawie wartości dla miasta Gliwice

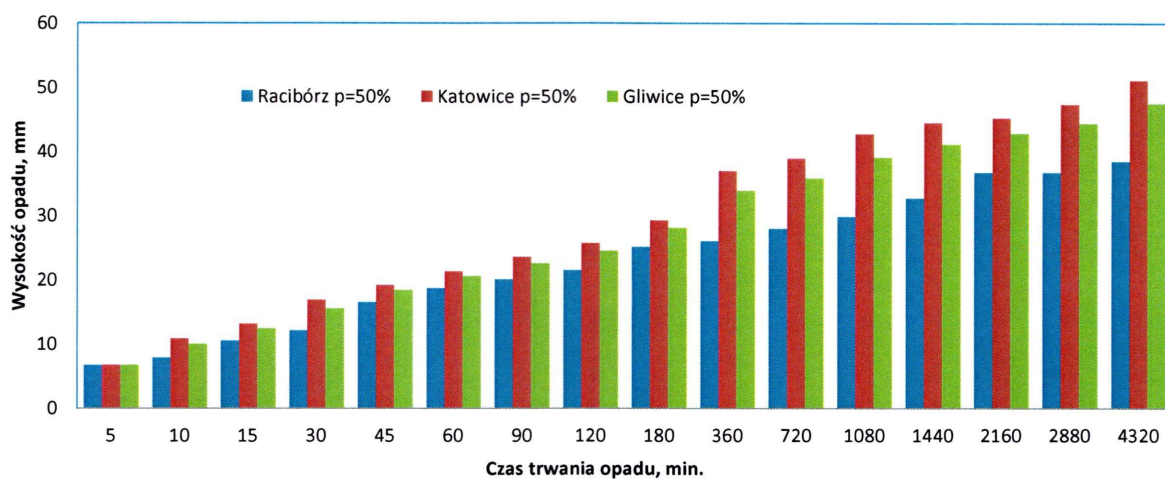
Czas, min.	Racibórz				Katowice				Gliwice			
	p=10%	p=20%	p=50%	p=100%	p=10%	p=20%	p=50%	p=100%	p=10%	p=20%	p=50%	p=100%
5	8.5	7.8	6.7	3.6	10.1	8.8	6.8	3.4	9.7	8.5	6.7	3.5
10	13.9	12.9	7.9	5.0	14.8	14.2	10.9	5.8	14.5	13.9	10.0	5.6
15	18.6	15.3	10.5	6.0	20.1	19.8	13.2	6.7	19.7	18.5	12.5	6.5
30	28.2	18.5	12.1	6.0	28.2	26.9	16.9	9.1	28.2	24.5	15.6	8.2
45	30.7	19.8	16.5	8.1	31.2	28.4	19.2	9.8	31.1	26.0	18.4	9.3
60	30.7	21.4	18.7	8.1	32.3	28.6	21.3	12.5	31.9	26.6	20.6	11.3
90	30.7	26.8	20.0	8.5	35.2	30.2	23.6	12.7	33.9	29.2	22.6	11.5
120	30.7	27.3	21.5	10.2	36.7	33.5	25.7	12.7	35.0	31.8	24.6	12.0
180	32.5	30.3	25.1	10.2	40.2	37.6	29.3	15.1	38.0	35.5	28.1	13.7
360	40.8	32.9	26.0	14.3	46.1	41.7	37.0	17.3	44.6	39.2	33.9	16.5
720	43.4	40.3	28.0	15.6	50.9	49.3	38.9	17.5	48.8	46.8	35.9	17.0
1080	44.8	41.3	29.8	17.5	58.9	53.7	42.7	17.5	54.9	50.2	39.1	17.5
1440	45.3	43.5	32.7	20.8	69.3	59.4	44.5	17.5	62.6	54.9	41.2	18.4
2160	51.4	45.6	36.7	22.2	75.5	67.9	45.3	19.0	68.7	61.6	42.8	19.9
2880	62.6	46.6	36.7	22.2	75.5	68.5	47.4	20.8	71.9	62.4	44.4	21.2
4320	66.4	54.6	38.5	25.2	77.1	68.6	51.1	20.8	74.1	64.6	47.6	22.0



Rys. 3.1. Wyznaczone przedziałowe wysokości opadów miarodajnych  $h$ , wyrażone w mm, dla miasta Gliwice dla prawdopodobieństwa  $p=10\%$ , na tle bazowych wartości dla stacji w Raciborzu i Katowicach

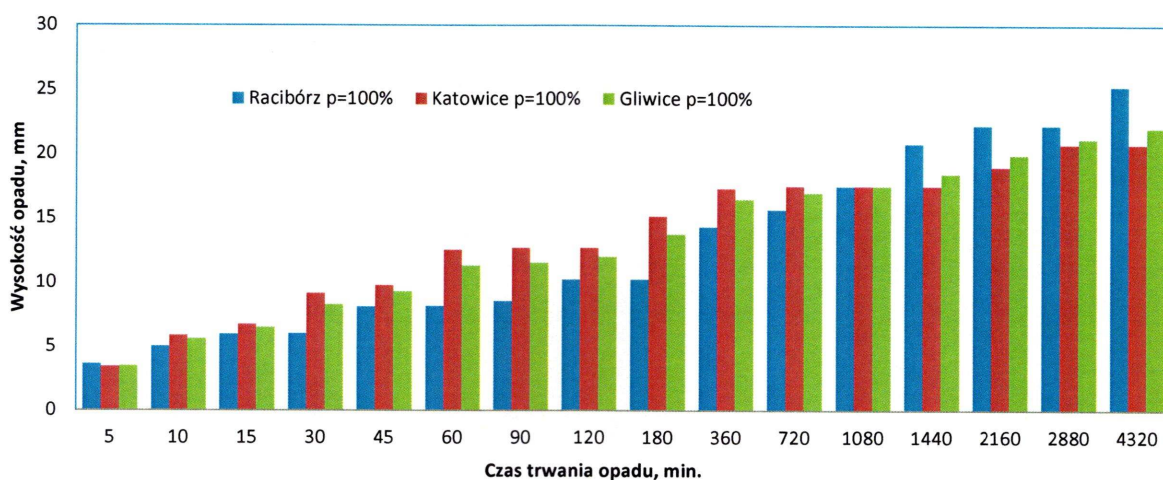


Rys. 3.2. Wyznaczone przedziałowe wysokości opadów miarodajnych  $h$ , wyrażone w mm, dla miasta Gliwice dla prawdopodobieństwa  $p=20\%$ , na tle bazowych wartości dla stacji w Raciborzu i Katowicach



Rys. 3.3. Wyznaczone przedziałowe wysokości opadów miarodajnych  $h$ , wyrażone w mm, dla miasta Gliwice dla prawdopodobieństwa  $p=50\%$ , na tle bazowych wartości dla stacji w Raciborzu i Katowicach

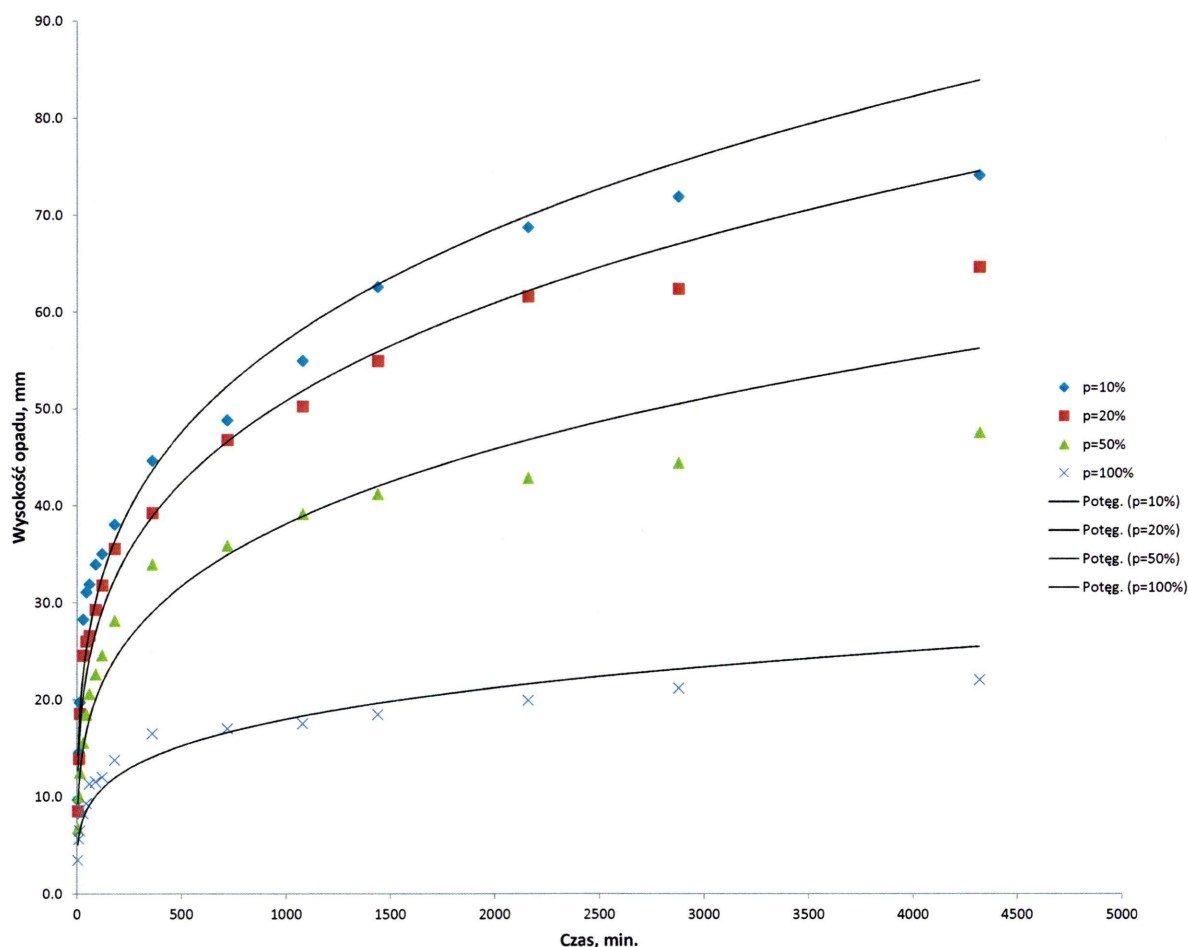




Rys. 3.4. Wyznaczone przedziałowe wysokości opadów miarodajnych  $h$ , wyrażone w mm, dla miasta Gliwice dla prawdopodobieństwa  $p=100\%$ , na tle bazowych wartości dla stacji w Raciborzu i Katowicach

Analiza wysokości opadów miarodajnych przedstawionych na rys. 3.1÷3.4 dowodzi, że dla wartości prawdopodobieństw równych 10%, 20% i 50%, a więc wartości najbardziej istotnych z punktu widzenia projektowania systemów odwodnienia na terenach zurbanizowanych warstwy opadów wyznaczonych dla stacji Racibórz i Katowice, położonych po dwóch różnych stronach miasta Gliwice, wykazywały zwykle dużą zgodność, dla krótkich czasów trwania opadów (dla czasów od 5 min. do około 120÷180 min.). Właśnie te krótkie czasy trwania opadów są najbardziej istotne dla funkcjonowania miejskich systemów kanalizacyjnych, gdzie spływ powierzchniowych jest bardzo krótki, trwa około kilku-klikunastu minut, a odpływ kanałami nie przekracza najczęściej 2-3 godzin. Stąd zgodność wyników otrzymanych dla stacji w Raciborzu i Katowicach, potwierdza reprezentatywność tych wyników także dla pobliskiego obszaru miasta Gliwice. Poważniejsze rozbieżności pomiędzy warstwami opadów miarodajnych dla stacji Racibórz i Katowice rysowały się w przypadku bardzo długich czasów trwania opadów, przekraczających około 6 godzin. Opady o tak długim czasie trwania są istotne dla hydrologii większych zlewni, o powierzchni rzędu już kilku-klikunastu  $\text{km}^2$ , odwadnianych zwykle przez cieki powierzchniowe, np. potoki. Dla tych dłuższych czasów i wartości prawdopodobieństw równych 10%, 20% i 50% regułą było obserwowanie wyższych wysokości opadów na stacji Katowice, niż na stacji Racibórz. Natomiast dla czasów trwania opadów dłuższych od 1 doby i prawdopodobieństwa  $p=100\%$  obserwowano odwrotną tendencję (patrz. rys. 3.4).





Rys. 3.5. Wyznaczone przedziałowe wysokości opadów miarodajnych  $h$ , wyrażone w mm, dla miasta Gliwice dla prawdopodobieństw  $p$  równych 10%, 20%, 50% i 100% i dla czasów trwania opadów w przedziale od 5 min. do 3 dni (4320 min.)

Wyznaczone przedziałowe wysokości opadów dla Gliwic wykazywały naturalny związek z czasem trwania opadu. Związek ten widoczny na rys. 3.5 mógł być w sposób przybliżony opisywany zależnościami funkcyjnymi o charakterze potęgowym. Niemniej, jak łatwo zauważyć, zależności potęgowe dobrane dla całego zakresu czasów trwania opadów nie pokrywały się idealnie z wyznaczonymi wartościami, a rozbieżności były szczególnie wyraźne dla długich czasów trwania opadów, powyżej 1 doby i prawdopodobieństw  $p$  równych 10%, 20% i 50%.

## 4. Model natężeń deszczów miarodajnych dla Gliwic

W praktyce inżynierskiej projektowania miejskich systemów odwodnienia częściej, niż warstwą opadu, operuje się jego natężeniem miarodajnym. Mając to na uwadze, przedziałowe wysokości opadów miarodajnych dla Gliwic z tab. 3.4 zostały przeliczone na odpowiadające im natężenia miarodajne i zestawione w tab. 4.1.

Tab. 4.1. Wyznaczone przedziałowe natężenia opadów miarodajnych I, wyrażone w  $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ , dla prawdopodobieństw  $p$  równych 10%, 20%, 50% i 100% dla miasta Gliwice

Czas trwania, min.	p=10%	p=20%	p=50%	p=100%
5	322.2	284.0	224.8	115.8
10	242.4	231.1	167.1	93.3
15	218.5	206.0	138.3	72.1
30	156.8	136.3	86.4	45.8
45	115.0	96.3	68.2	34.4
60	88.5	73.8	57.1	31.4
90	62.8	54.2	41.8	21.3
120	48.6	44.1	34.1	16.6
180	35.2	32.9	26.0	12.7
360	20.7	18.2	15.7	7.6
720	11.3	10.8	8.3	3.9
1080	8.5	7.7	6.0	2.7
1440	7.2	6.4	4.8	2.1
2160	5.3	4.8	3.3	1.5
2880	4.2	3.6	2.6	1.2
4320	2.9	2.5	1.8	0.8

Wartości przedziałowych natężeń opadów miarodajnych z tab. 4.1 wykreślono ponadto na wykresie na rys. 4.1. Wykres w sposób zamierzony został opracowany w podwójnie logarytmicznej skali osi  $x$  i  $y$ . W takiej skali, z uwagi na wspomnianą już w rozdziale 3 potęgową zależność pomiędzy warstwami opadów miarodajnych a ich czasami trwania, wartości natężeń deszczów miarodajnych układają się w zbliżony do liniowego, charakterystyczny sposób. Niemniej wartości natężeń deszczów nie układały się na rys. 4.1 wzdłuż pojedynczych linii prostych dla całego zakresu analizowanych czasów trwania opadów. Około czasu 30 min. obserwowana była wyraźna zmiana nachylenia układu punktów na wykresie. Dlatego proponując strukturę modelu fizykalnego natężeń deszczów miarodajnych, zaproponowano model oparty o klasyczne równanie natężeń deszczów miarodajnych (4.1), ale o różnych parametrach dla dwóch zakresów czasów trwania opadów (do 30 min. i powyżej 30 min.). Struktura modelu jest przedstawiona poniżej, a jego parametry zestawiono w tab. 4.2:

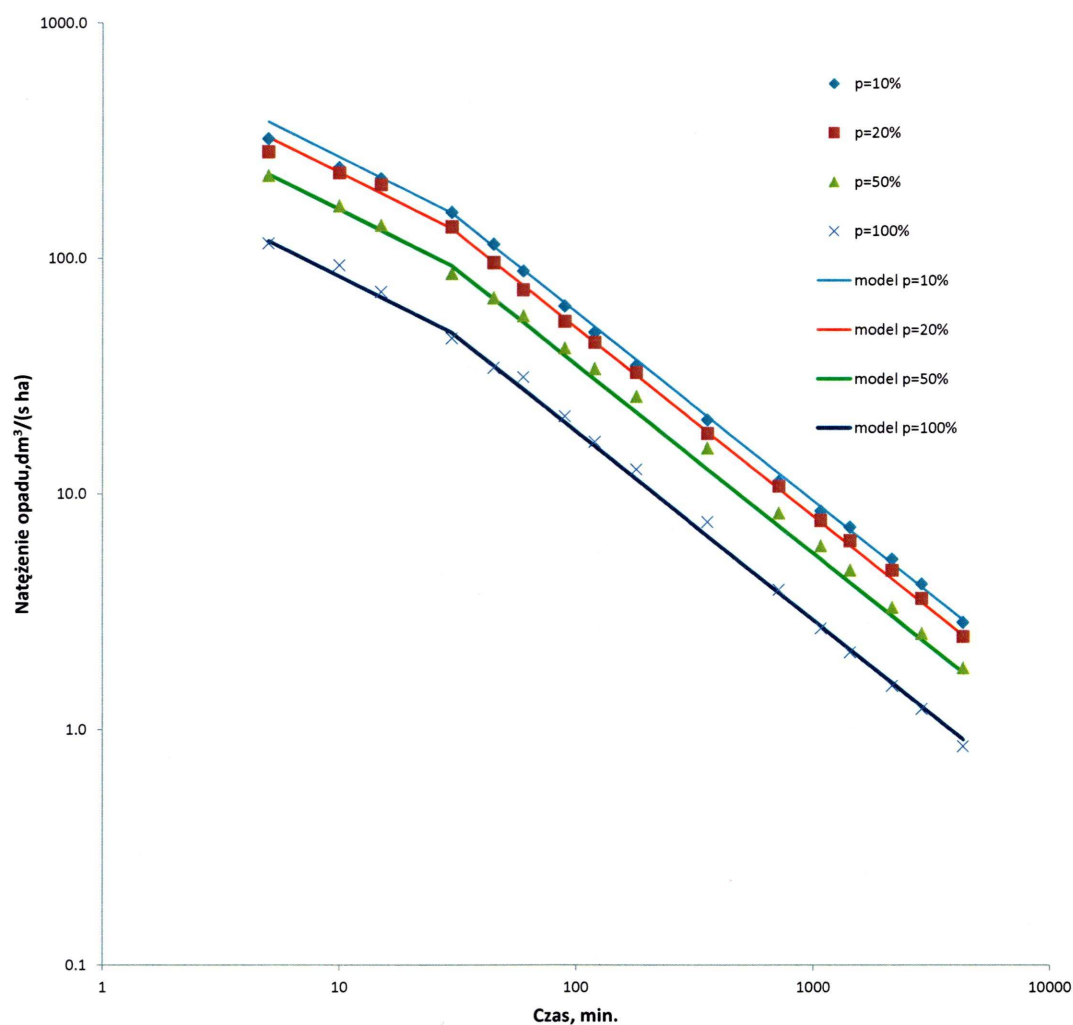
$$I = \frac{A}{t^n} \quad (4.1)$$

gdzie:

I – natężenie opadu miarodajnego,  $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ ;

t – czas trwania opadu, min.;

A, n – parametry zależne od czasu trwania t i prawdopodobieństwa p według tab. 4.2.



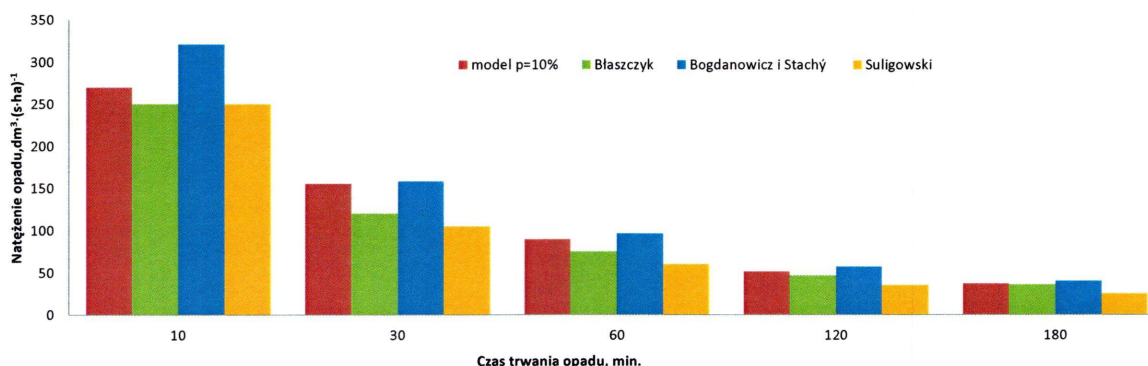
Rys. 4.1. Natężenia opadów miarodajnych I, wyrażone w  $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ , dla miasta Gliwice dla prawdopodobieństw p równych 10%, 20%, 50% i 100% i dla czasów trwania opadów w przedziale od 5 min. do 3 dni (4320 min.) wraz z dobranymi modelami opadowymi

Tab. 4.2. Parametry modelu natężeń deszczów miarodajnych dla miasta Gliwice

Czas trwania t od 5 do 30 min.				
Parametr	p=10%	p=20%	p=50%	p=100%
A	852.9	733.2	509.7	265.5
n	0.5	0.5	0.5	0.5
Czas trwania t od 30 do 4320 min.				
Parametr	p=10%	p=20%	p=50%	p=100%
A	2366	2034	1414	736.5
n	0.8	0.8	0.8	0.8

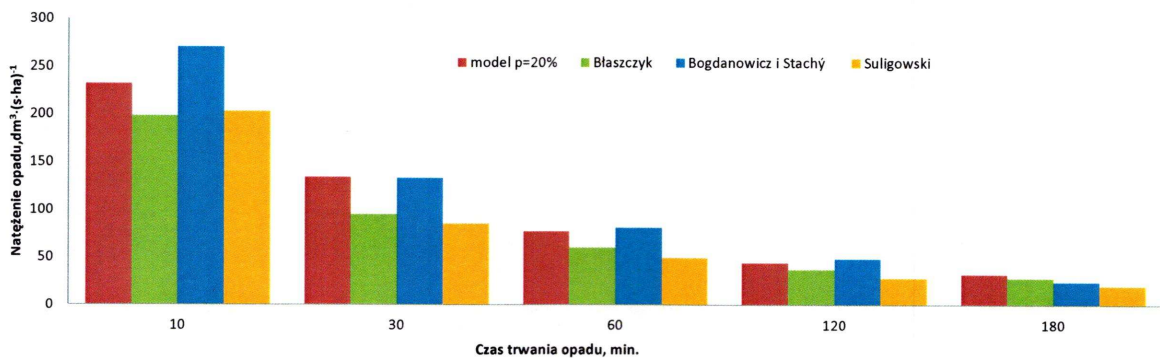
Jak można to zobaczyć na rys. 4.1, zaproponowany prosty model natężeń deszczów miarodajnych według równania (4.1) o parametrach zestawionych w tab. 4.2, zapewniał bardzo dobrą zgodność modelu z wartościami obserwacyjnymi. Potwierdzeniem tego były także obliczone wartości współczynników determinacji  $R^2$ , wynoszące odpowiednio: 0,993, 0,995, 0,999 i 0,998 dla prawdopodobieństw  $p$  równych 10%, 20%, 50% i 100%. Te bliskie 1 wartości współczynników  $R^2$ , świadczyły o bardzo dobrym dopasowaniu modelu.

Kończącym etapem weryfikacji opracowanego modelu było porównanie wartości natężeń deszczów miarodajnych według modelu z oszacowaniami według dotychczas stosowanych, historycznych już modeli natężeń deszczów miarodajnych autorstwa: Błaszczyka [1], Bogdanowicz i Stachy [7] oraz Suligowskiego [10]. W tym celu na portalu [www.retencja.pl](http://www.retencja.pl) w zakładce Kalkulator Natężeń Deszczów Miarodajnych odczytano wartości dla wymienionych wcześniej formuł historycznych. Wyniki porównania przedstawiono graficznie na rys. 4.2÷4.5.

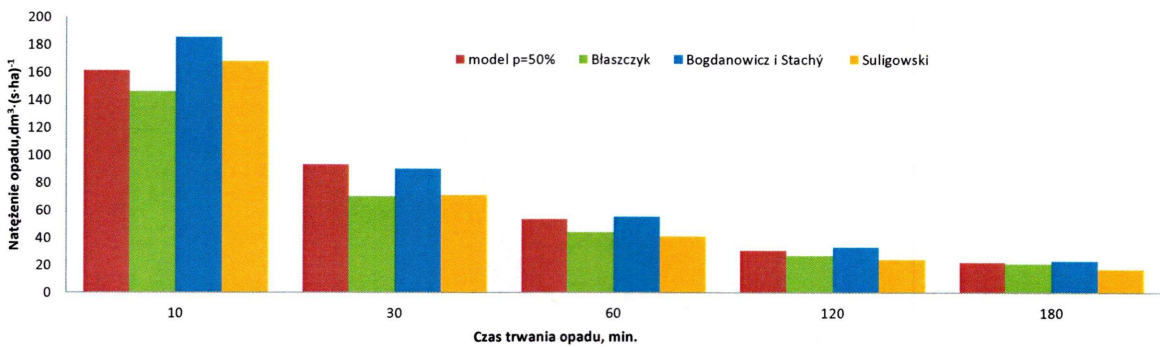


Rys. 4.2. Porównanie wartości natężeń opadów miarodajnych dla wybranych czasów trwania według modelu opracowanego dla Gliwic, z wartościami według formuł Błaszczyka, Bogdanowicz i Stachy oraz Suligowskiego dla prawdopodobieństwa  $p=10\%$



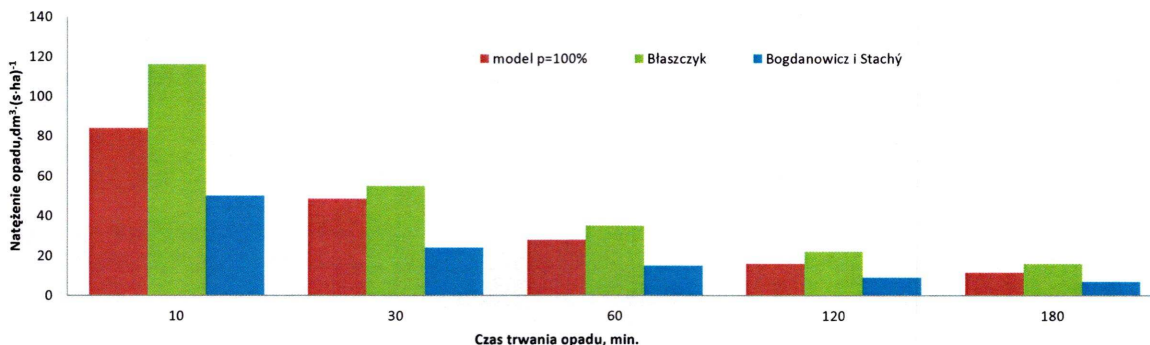


Rys. 4.3. Porównanie wartości natężeń opadów miarodajnych dla wybranych czasów trwania według modelu opracowanego dla Gliwic, z wartościami według formuł Błaszczyka, Bogdanowicz i Stachy oraz Suligowskiego dla prawdopodobieństwa  $p=20\%$



Rys. 4.4. Porównanie wartości natężeń opadów miarodajnych dla wybranych czasów trwania według modelu opracowanego dla Gliwic, z wartościami według formuł Błaszczyka, Bogdanowicz i Stachy oraz Suligowskiego dla prawdopodobieństwa  $p=50\%$





Rys. 4.5. Porównanie wartości natężeń opadów miarodajnych dla wybranych czasów trwania według modelu opracowanego dla Gliwic, z wartościami według formuł Błaszczyka oraz , Bogdanowicz i Stachy dla prawdopodobieństw  $p=100\%$

Analiza rys. 4.2÷4.5 przekonuje, że wartości natężeń miarodajnych według aktualnego modelu dla miasta Gliwic choć różnią się od wartości sugerowanych przez wcześniejsze formuły historyczne, to jednak mieszczą się w zakresie ich zmienności w obrębie różnych modeli. Można zaobserwować że dla krótkich czasów trwania opadów i prawdopodobieństw mniejszych od 100% wartości uzyskiwane z opracowanego modelu są zwykle wyższe od sugerowanych przez formuły Błaszczyka oraz Suligowskiego, a zarazem niższe od wyliczanych z formuły Bogdanowicz i Stachy.

## 5. Opad modelowy Eulera (typ II)

Opracowany model natężeń deszczów miarodajnych dla miasta Gliwic może znaleźć bezpośrednie zastosowanie do projektowania systemów odwodnienia, np. kanalizacji deszczowych na terenie miasta. Może on być także przydatny do modelowania hydrodynamicznego systemów odwodnienia. Na podstawie opracowanego modelu natężeń deszczów miarodajnych możliwym jest sporządzenie opadu modelowego, względnie całej grupy opadów modelowych, a więc teoretycznych hietogramów opadów o różnych czasach trwania i prawdopodobieństwach wystąpienia.

W Polsce jako opad modelowy do modelowania systemów odwodnienia najczęściej stosowany jest model Eulera (typ II). Ten hietogram teoretyczny (zwany też wzorcowym), chociaż zazwyczaj nie jest podobny do przebiegu rzeczywiście rejestrowanych opadów, czego

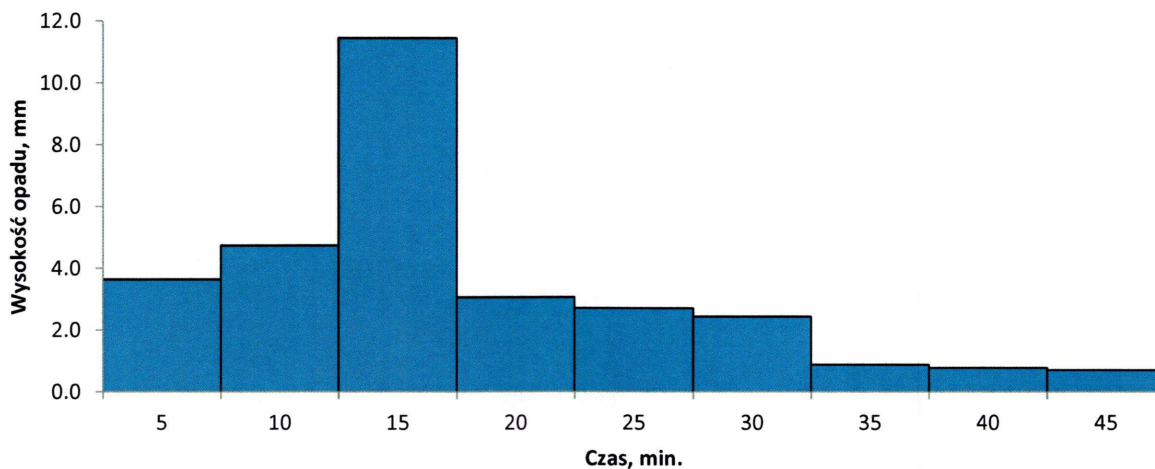
dowodły badania Licznara [11] w Warszawie, charakteryzuje się prostotą konstrukcji, a zarazem jest zalecany w niemieckich wytycznych technicznych [12].

Konstruując opad modelowy wg Eulera typ II, wyznacza się chwilę czasową początku przedziału deszczu o największej intensywności opadu na poziomie 0,3 czasu trwania opadu modelowego i zaokrągla się do wielokrotności 5 min. Następnie do przedziału tego, dołącza się z lewej strony na osi czasu następne, o niższych natężeniach opadu, aż osiągnie się chwilę czasową  $t=0$ . Kolejne przedziały opadu występują na osi czasu z prawej strony w stosunku do przedziału szczytowego i wypełniają okres do końca opadu modelowego [12].

Przykład konstrukcji opadu modelowego wg Eulera typ II o czasie trwania  $t=45$  min. i prawdopodobieństwie  $p=10\%$ , na podstawie opracowanego modelu natężeń deszczów miarodajnych dla Gliwic zaprezentowano w tab. 5.1, a opracowany opad modelowy jest przedstawiony na rys. 5.1.

Tab. 5.1. Przykład opracowania opadu modelowego wg Eulera typ II o czasie trwania  $t=45$  min. i prawdopodobieństwie  $p=10\%$  dla miasta Gliwice

Czas, min.	$I, \text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$	$h, \text{mm}$	$\Delta h, \text{mm}$	Euler (typ II)
5	381.4	11.4	11.4	3.6
10	269.7	16.2	4.7	4.7
15	220.2	19.8	3.6	11.4
20	190.7	22.9	3.1	3.1
25	170.6	25.6	2.7	2.7
30	155.7	28.0	2.4	2.4
35	137.6	28.9	0.9	0.9
40	123.7	29.7	0.8	0.8
45	112.6	30.4	0.7	0.7



Rys. 5.1. Przykładowy opad modelowy wg Eulera typ II o czasie trwania  $t=45$  min. i prawdopodobieństwie  $p=10\%$  opracowany dla miasta Gliwice

## 6. Podsumowanie końcowe

Podstawowym rezultatem niniejszego opracowanie są wyznaczone wartości natężeń deszczów miarodajnych do projektowania systemów odprowadzania wód opadowych na terenie miasta Gliwice zestawione w tab. 6.1.

W praktyce wartości natężeń deszczów miarodajnych dla różnych czasów trwania w zakresie od 5 do 4320 min. i prawdopodobieństw  $p$  równych 10%, 20%, 50% i 100% można dla miasta Gliwice wyliczać według prostego modelu o postaci:

$$I = \frac{A}{t^n} \quad (6.1)$$

gdzie:

$I$  – natężenie opadu miarodajnego,  $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ ;

$t$  – czas trwania opadu, min.;

$A, n$  – parametry zależne od czasu trwania  $t$  i prawdopodobieństwa  $p$  według tab. 6.2.

Tab. 6.1. Przedziałowe natężenia opadów miarodajnych I, wyrażone w  $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ , dla prawdopodobieństw p równych 10%, 20%, 50% i 100% dla miasta Gliwice

Czas trwania, min.	p=10%	p=20%	p=50%	p=100%
5	322.2	284.0	224.8	115.8
10	242.4	231.1	167.1	93.3
15	218.5	206.0	138.3	72.1
30	156.8	136.3	86.4	45.8
45	115.0	96.3	68.2	34.4
60	88.5	73.8	57.1	31.4
90	62.8	54.2	41.8	21.3
120	48.6	44.1	34.1	16.6
180	35.2	32.9	26.0	12.7
360	20.7	18.2	15.7	7.6
720	11.3	10.8	8.3	3.9
1080	8.5	7.7	6.0	2.7
1440	7.2	6.4	4.8	2.1
2160	5.3	4.8	3.3	1.5
2880	4.2	3.6	2.6	1.2
4320	2.9	2.5	1.8	0.8

Tab. 6.2. Parametry modelu natężeń deszczów miarodajnych dla miasta Gliwice

Czas trwania t od 5 do 30 min.				
Parametr	p=10%	p=20%	p=50%	p=100%
A	852.9	733.2	509.7	265.5
n	0.5	0.5	0.5	0.5
Czas trwania t od 30 do 4320 min.				
Parametr	p=10%	p=20%	p=50%	p=100%
A	2366	2034	1414	736.5
n	0.8	0.8	0.8	0.8



## 7. Bibliografia

1. Błaszczyk W., Roman M., Stamatello H., 1974: *Kanalizacja*. Arkady, Warszawa.
2. Licznar P., Łomotowski J., Rojek M., 2005: *Pomiary i przetwarzanie danych opadowych dla potrzeb projektowania i eksploatacji systemów odwodnieniowych*. Futura PZiITS Poznań.
3. Licznar P., Łomotowski J., 2005: *Analiza średnich natężeń deszczów miarodajnych we Wrocławiu*. *Ochrona Środowiska*, nr 1, 29-34.
4. Licznar P., Łomotowski J., 2005: *Analiza chwilowych natężeń deszczów miarodajnych we Wrocławiu*. *Ochrona Środowiska*, nr 2, 25-28.
5. Licznar P., 2001: *Automatyzacja przetwarzania danych pluwiograficznych w procesie wyznaczania wskaźnika erozyjności deszczy*. *Folia Univ. Agric. Stetin. 217 Agricultura (87)*, 125-128.
6. Barring L., 1992: *Comments on "Breakpoint representation of rainfall."* *Journal of Applied Meteorology* 31, 1520-1524.
7. Bogdanowicz E., Stachý J., 1998: *Maksymalne opady deszczu w Polsce. Charakterystyki projektowe*. *Materiały badawcze. Seria: Hydrologia i Oceanologia*. IMGW, Warszawa.
8. Licznar P., 2009: *Generatory syntetycznych szeregów opadowych do modelowania sieci kanalizacji deszczowych i ogólnospławnych*. *Monografie LXXVII*. UP we Wrocławiu.
9. PN-EN 752:2008 *Zewnętrzne systemy kanalizacyjne - wersja angielska*.
10. Suligowski R., 2004: *Struktura czasowa i przestrzenna opadów atmosferycznych w Polsce. Próba regionalizacji*. *Prace Instytutu Geografii Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach*, nr 12, Kielce.
11. Licznar P., Szelağ B., 2014: *Analiza zmienności czasowej opadów atmosferycznych w Warszawie*. *Ochrona Środowiska*, 36(3), 23–28.
12. Schmitt T. G., 2000: *Komentarz do ATV-A 118, Hydrauliczne wymiarowanie systemów odwadniających*. Wydawnictwo Seidel-Przywecki sp. z o.o., Warszawa.



## 8. Uwagi końcowe

Wyniki niniejszego opracowania stanowią jednocześnie załącznik do aplikacji komputerowej PANDa dla miasta Gliwice. Aplikacja komputerowa PANDa dla miasta Gliwice jest formą komercjalizacji ogólnopolskiego projektu PANDa.

PANDa to akronim Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa), a więc źródła aktualnej i niepodważalnej informacji o natężeniach deszczów miarodajnych, do projektowania oraz modelowania systemów odprowadzania i retencjonowania wód opadowych w Polsce.

Opracowanie Atlasu PANDa jest efektem interdyscyplinarnych prac B+R realizowanych przez portal RETENCJAPL Sp. z o.o. we współpracy z Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej w ramach projektu POIR.01.01.01-00-1428/15 dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

RETENCJAPL Sp. z o.o. zastrzega sobie prawo wprowadzania korekt w odniesieniu do danych wskazanych w niniejszym Opracowaniu, dotyczących wartości natężeń deszczów miarodajnych zawartych w finalnej wersji Opracowania Atlasu PANDa. Zastrzeżenie wskazane w zdaniu powyżej możliwe będzie np. z uwagi na konieczność uwzględnienia innych okolicznych stacji w opracowaniu geostatystycznym atlasu lub też stosowanie bardziej skomplikowanych form modelu, opartych na teoretycznych rozkładach prawdopodobieństwa opadów maksymalnych. Niniejsze Opracowanie zostało sporządzone wyłącznie na potrzeby miasta Gliwice i nie może być wykorzystywane przez inne podmioty.

Niniejsze Opracowanie zostało sporządzone wyłącznie na potrzeby miasta Gliwice i nie może być wykorzystywane przez inne podmioty.