



Politechnika Wroclawska

Wydział Inżynierii Środowiska
Katedra Wodociągów i Kanalizacji

Raport serii PRE nr/2020

**Opracowanie probabilistycznych modeli
opadów maksymalnych dla dorzecza
Górnej i Środkowej Odry**

mgr inż. MARCIN WDOWIKOWSKI

PRACA DOKTORSKA

Promotor: dr hab. inż. Bartosz Kaźmierczak, prof. uczelni

Słowa kluczowe: hydrologia,
opad deszczu,
opad maksymalny,
opad regionalny,
rozkład prawdopodobieństwa,
teoria wartości ekstremalnych,
model probabilistyczny,
krzywa DDF,
mapa wysokości opadów.

Wrocław, kwiecień 2020

mgr inż. Marcin Wdowikowski

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

Centrum Hydrologicznej Osłony Kraju

Biuro Prognoz Hydrologicznych we Wrocławiu

Wydział Prognoz i Opracowań Hydrologicznych we Wrocławiu

ul. Parkowa 30

51-616 Wrocław

Politechnika Wrocławska

Wydział Inżynierii Środowiska

Katedra Wodociągów i Kanalizacji

ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27

50-370 Wrocław

Niniejszy raport stanowi pracę doktorską, która została przedłożona Komisji ds. stopni naukowych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Politechniki Wrocławskiej w celu uzyskania stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych

Promotor: **dr hab. inż. Bartosz Kaźmierczak, prof. uczelni**

Recenzenci:

.....

.....

.....

„Tempora mutantur et nos mutamus in illis”

Długo oczekiwaną pracę dedykuję rodzicom: Marzenie, Wojciechowi, śp. Jadwidze i śp. Januszowi,
babiom: Irenie i Eugenii, ukochanej i nieocenionej żonie Ani oraz najwspanialszym córkom:
Blance i Matyldzie.

Profesorowi Andrzejowi Kotowskiemu i doktorowi Bartoszowi Kaźmierczakowi dziękuję za cierpliwość,
wrozumiałość i nade wszystko, za zaproszenie do magicznego świata nauk technicznych.

Pracownikom Wydziału Inżynierii Środowiska dziękuję za koleżeńską przychylność i liczne podowiedzi.

Koleżankom, kolegom oraz Dyrekcji IMGW-PIB dziękuję za otwartość, pomoc i wsparcie.

Recenzentom dziękuję za poświęcony czas i cenne wskazówki.

Bez udziału Was wszystkich, ta praca miała szansę nie powstać.

SPIS TREŚCI

Wykaz zastosowanych oznaczeń i akronimów	7
1. Wprowadzenie	9
2. Analiza dotychczasowego stanu wiedzy	15
2.1. Zagadnienia związane z występowaniem i zróżnicowaniem opadów	15
2.1.1. Cyrkulacyjne, synoptyczne i morfologiczne uwarunkowania występowania ekstremalnie wysokich opadów atmosferycznych	15
2.1.2. Pojęcie opadu maksymalnego	18
2.1.3. Zróżnicowanie czasowo-przestrzenne intensywnych opadów deszczu	28
2.2. Modelowanie opadów deszczu	34
2.2.1. Rozwój modeli opadowych	34
2.2.2. Rozwój teorii wartości ekstremalnych (<i>EVT</i>)	55
2.2.3. Tworzenie baz danych opadów maksymalnych	58
2.2.4. Stosowane rozkłady prawdopodobieństwa	64
2.2.5. Metody estymacji parametrów rozkładów	67
2.2.6. Ocena jakościowa modeli opadowych	71
2.3. Przykładowe atlasy opadowe	75
2.4. Podsumowanie i wnioski metodyczne do zastosowania w pracy	84
3. Teza, cel i zakres pracy	87
4. Obszar badań, materiał i metody	88
4.1. Charakterystyka obszaru badawczego	88
4.1.1. Dorzecze Górnej i Środkowej Odry	88
4.1.2. Stacje pomiarowe IMGW-PIB	89
4.2. Archiwalny materiał badawczy	91
4.3. Wstępna weryfikacja założeń metodycznych	92
4.3.1. Studium przypadku dla stacji meteorologicznej IMGW-PIB w Legnicy	92
4.3.2. Maksymalne dobowe wysokości opadów w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry	93
4.4. Przyjęte metody badawcze	94
4.4.1. Baza przedziałowych wysokości opadów deszczu	94
4.4.2. Teoretyczne rozkłady prawdopodobieństwa dla danych pomiarowych	98
4.4.3. Modele opadowe	102
4.4.4. Procedura formułowania modeli probabilistycznych opadów maksymalnych	103
4.4.5. Regionalizacja modeli opadowych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry	105
5. Wyniki badań	107
5.1. Modelowanie opadów maksymalnych	107
5.1.1. Próba losowa zmiennej (<i>h</i>) zbioru maksymalnych opadów deszczu	107
5.1.2. Estymacja parametrów rozkładów prawdopodobieństwa	109
5.1.3. Ocena zgodności dystrybuanty teoretycznej i empirycznej	112
5.1.4. Ocena jakości dopasowania wybranych rozkładów – kryterium informacyjne	113
5.1.5. Ocena jakości dopasowania wybranych rozkładów – kryterium błędów	114

5.1.6.	Optymalizacja parametrów wybranych rozkładów prawdopodobieństwa.....	121
5.2.	Probabilistyczne modele opadów maksymalnych dla badanych stacji IMGW-PIB.....	123
5.3.	Porównanie modeli opadowych dla wybranych stacji IMGW-PIB.....	132
5.3.1.	Modele dla Wrocławia i Legnicy.....	132
5.3.2.	Modele dla Zgorzelca i Görlitz (DWD KOSTRA).....	134
6.	Uogólnienie wyników badań.....	136
6.1.	Próba uśrednienia punktowych modeli opadowych.....	136
6.2.	Porównanie modelowanych wysokości opadów na wyodrębnionych obszarach.....	143
6.2.1.	Modele opadów maksymalnych dla regionu i obszarów nizinnych.....	143
6.2.2.	Modele opadów maksymalnych dla regionu i obszarów podgórskich.....	147
6.3.	Wizualizacja opadów maksymalnych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry.....	149
7.	Podsumowanie i wnioski końcowe.....	153
8.	LITERATURA.....	157
	SUMMARY.....	171
	SPIS FOTOGRAFII.....	174
	SPIS RYSUNKÓW.....	174
	SPIS TABEL.....	177

Wykaz zastosowanych oznaczeń i akronimów

Oznaczenia

A_0, B	– parametry równań regresyjnych Kupczyk–Suligowskiego, –,
A^2	– statystyka testu Andersona–Darlinga, –,
A^2_{kr}	– wartość krytyczna statystyki testu Andersona–Darlinga, –,
AIC	– Akaike information criterion - kryterium informacyjne Akaike, –,
C	– częstość (powtarzalność) występowania opadu, 1 raz na C lat,
C_S	– współczynnik skośności (momentu centralnego III rzędu), –,
D_{max}	– największy rozstęp między pomiędzy dystrybucjami teoretyczną i empiryczną w teście Kołmogorova–Smirnova, mm,
$E(X)$	– wartość oczekiwana zmiennej losowej X , mm,
$F(x)$	– dystrybuanta teoretyczna rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej x , –,
H	– opad normalny (średnia z wielolecia), mm,
h	– warstwa, wysokości opadu, mm,
H_0	– hipoteza zerowa testu statystycznego, –,
H_A	– hipoteza alternatywna testu statystycznego, –,
h_{max}	– wysokość opadu maksymalnego, mm,
h_p	– kwantyl zmiennej losowej dowolnego rzędu o zadanym prawdopodobieństwie p , mm,
$h_{p,t}$	– maksymalna wysokość opadu w funkcji prawdopodobieństwa przewyższenia $p \in (0;1]$ i czasu trwania opadu t , mm,
I	– intensywność opadu, $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
i, j	– iteratory liczby elementów ciągu zmiennych, –,
I_{max}	– intensywność maksymalnego opadu, $\text{mm} \cdot \text{godz}^{-1}$ lub $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
k, r	– liczba estymowanych parametrów rozkładu prawdopodobieństwa, –,
L	– funkcja wiarygodności rozkładu prawdopodobieństwa, –,
$\ln L_{max}$	– logarytm funkcji wiarygodności, –,
n	– liczba elementów ciągu zmiennych, –,
N	– liczba lat (okres) obserwacji (pomiarów), lata,
p	– prawdopodobieństwo, –,
$p(x)$	– prawdopodobieństwo empiryczne, –,
q	– natężenie jednostkowe opadu, $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$,
q_{max}	– jednostkowe maksymalne natężenie opadów, $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$,
R^2	– współczynnik korelacji funkcji liniowej lub nieliniowej, %,
s^2	– odchylenie standardowe, mm,
t	– czas trwania opadu, min,
t_p	– kwantyl zmiennej standaryzowanej rozkładu Gamma, –,
$var(x)$	– wariancja próby losowej x , mm,
W^2	– statystyka testu Cramera von Misesa, –,
W^2_{kr}	– wartość krytyczna statystyki testu Cramera von Misesa, –,
\bar{x}	– średnia arytmetyczna (moment początkowy I rzędu), mm,
α	– poziom istotności statystycznej, –,
$\alpha(R,t)$	– parametr (skali) do modelu Bogdanowicz–Stachy zależny od regionu Polski i czasu t , –,
α, β, γ	– parametry kształtu, skali i przesunięcia rozkładów prawdopodobieństwa, –,
$\hat{\alpha}$	– estymator uogólnionego parametru kształtu, mm^{-1} ,
$\hat{\beta}$	– estymator uogólnionego parametru skali, mm^{-1} ,
$\hat{\gamma}$	– estymator uogólnionego parametru przesunięcia, mm,

$\Gamma(\alpha)$	– funkcja Gamma Eulera, –,
λ	– statystyka testu Kołmogorova–Smirnova, –,
λ_{kr}	– wartość krytyczna statystyki testu Kołmogorova–Smirnova, –,
$\lambda_{1,\dots,\lambda_4}$	– momenty liniowe w metodzie estymacji parametrów rozkładów prawdopodobieństwa MML, mm,
τ_2, τ_3, τ_4	– bezwymiarowe związki miar liniowych w metodzie MML, –,
Φ	– transformata Laplaca, –,
χ^2	– statystyka testu Pearsona (testu Chi-kwadrat), –,
χ^2_{kr}	– wartości krytyczna statystyki testu Pearsona, –,

Akronimy

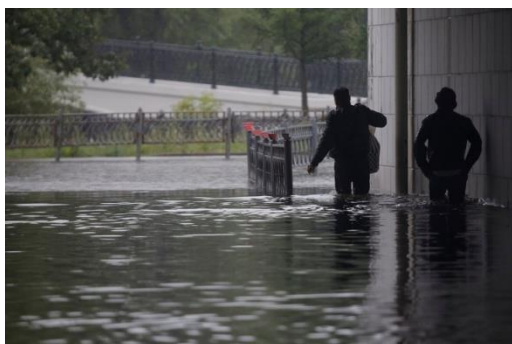
AMP	– annual maximum precipitation (maksymalny opad roczny)
AMS	– annual maximum series (seria rocznych opadów maksymalnych)
BIC	– Bayesian information criterion (bayesowskie kryterium informacyjne)
CDF	– cumulative distribution function (skumulowana dystrybuanta funkcji $F(x)$)
DDF	– depth duration frequency (powtarzalna wysokość opadów)
EV1	– rozkład Gumbela (Fishera–Tippeta typ I)
EV2	– rozkład Frecheta (Fishera–Tippeta typ II)
EV3	– rozkład Weibulla (Fishera–Tippeta typ III)
EVT	– Extreme Value Theory (teoria wartości ekstremalnych)
GED	– Generalized Exponential Distribution (uogólniony rozkład wykładniczy)
GEV	– Generalized Extreme Value (uogólniony rozkład wartości ekstremalnych)
GLog	– rozkład uogólniony logistyczny
GPA	– Generalized Pareto (uogólniony rozkład prawdopodobieństwa Pareto)
HQIC	– Haan-Quinn information criterion (kryterium informacyjne Haana–Quina)
IDF	– intensity duration frequency (powtarzalna intensywność opadu)
IMGW-PIB	– Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy
LogL	– rozkład logarytmiczno-logistyczny
LogN	– rozkład logarytmiczno-normalny
MAE	– mean absolute error (średni błąd bezwzględny)
MAPE	– mean absolute percentage error (średni bezwzględny błąd procentowy)
MML	– metoda momentów liniowych
MNW	– metoda największej wiarygodności
MSE	– mean squared error (średni błąd kwadratowy)
P3	– rozkład Pearsona typ III (Gamma)
PDF	– probability distribution function (funkcja gęstości prawdopodobieństwa)
PDS	– partial duration series (seria opadów przedziałowych)
POT	– peak-over-threshold (przewyższenie progu odcięcia)
RMSE	– root mean squared error (średni błąd kwadratowy pierwiastka)
rRMSE	– relative root mean squared error (względny średnio kwadratowy błąd resztowy)
WMO	– World Meteorological Organization (światowa organizacja meteorologiczna)
UTC	– universal time coordinated (skoordynowany czas uniwersalny)
PANDa	– Polski Atlas Natężeń Deszczy
KOSTRA	– KOordinierte STarkniederschlags Regionalisierung – Auswertung (wartości regionalnie skoordynowanych intensywności opadów)

1. Wprowadzenie

Nasilające się w ostatnich latach ekstremalne zjawiska przyrodnicze, takie jak gwałtowne bądź długotrwałe opady deszczu wywołują coraz częściej powodzie rzeczne czy wylewy z kanalizacji tzw. powodzie miejskie (*ang. urban flood*), które powodują znaczne straty gospodarcze, w tym paraliż komunikacyjny miast [Dumieński i inni 2019]. Fotografie 1.1 i 1.2 ilustrują przykłady powodzi miejskich w dużych miastach, jak Wrocław – w 2014 roku czy Moskwa – w 2016 roku.



Fot. 1.1. Powódź miejska (urban flood) we Wrocławiu, ul. Legnicka w dniu 27.05.2014
[<http://www.gazetawroclawska.pl>]

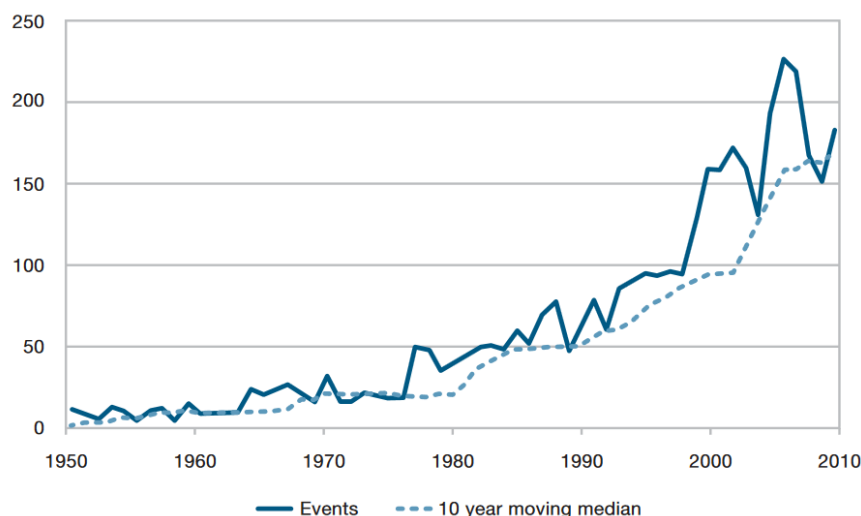


Fot. 1.2. Moskwa w dniu 15.08.2016 podczas największej powodzi miejskiej od 130 lat.
[<http://tvnmeteo.tvn24.pl>]

Raport Banku Światowego z 2012 roku wskazuje, że w okresie objętym analizą (1950–2010) liczba odnotowanych zdarzeń powodzi miejskich na świecie wzrosła o przeszło 300% (rys. 1.1). Oszacowano również, że w samym roku 2010 negatywnymi skutkami powodzi zostało doświadczonych 178 milionów osób, a straty powodziowe w latach 1998–2010 określono na ponad 40 mld USD [Jha i inni 2012].

Z uwagi na losową naturę opadów atmosferycznych niezawodność działania systemów odwodnień terenów zurbanizowanych, szczególnie narażonych na skutki występowania intensywnych epizodów opadowych, co do zasady jest nieosiągalna. Gwarantem osiągnięcia współczesnych standardów odwodnienia terenów, definiowanych jako przystosowanie systemu kanalizacyjnego do przyjęcia maksymalnych (prognozowanych) strumieni wód opadowych z częstością co najwyżej równą akceptowalnej społecznie częstości wystąpienia wylania na powierzchnię terenu, pozostaje jedynie bezpieczne projektowanie tj. zgodnie z najlepszą dostępną technologią – wiedzą (BAT – best available technology) [Peyron i inni 2002, Mrowiec 2009, 2014, Kwietniewski, Rak 2010, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e,

2015, 2017, Dąbrowski 2012, Zawilski, Brzezińska 2014, Nowakowska, Kotowski i inni 2018, Licznar 2018, Kaźmierczak 2019].



Rys. 1.1. Liczba zarejestrowanych zdarzeń powodzi miejskich w latach 1950–2010 [Jha i inni 2012]

W tabeli 1.1 zestawiono zalecane częstości obliczeniowe opadów deszczu oraz dopuszczalne częstości wylewów do projektowania systemów odwodnieniowych, zawarte w normie PN-EN 752:2008.

Tab. 1.1. Zalecane częstości projektowe deszczu obliczeniowego i dopuszczalne częstości wystąpienia wylewów kanalizacji deszczowej wg PN-EN 752:2008 [PN-EN 752:2008, Kotowski 2011e, Dąbrowski 2012, Wartalska 2019]

Rodzaj zagospodarowania terenu	Częstości projektowe: [1 raz na C lat]	
	- opadów	- wylewów
Tereny wiejskie	1 na 1	1 na 10
Tereny mieszkaniowe	1 na 2	1 na 20
Centra miast, tereny usług i przemysłu	1 na 5	1 na 30
Podziemne obiekty komunikacyjne, przejścia i przejazdy pod ulicami, itp.	1 na 10	1 na 50

W tabeli 1.2 przedstawiono częstości obliczeniowe opadów deszczu wymagane do projektowania odwodnienia dróg w Polsce [Rozporządzenie 1999, Sybilski 2009, Edel 2010, Kotowski 2011e, 2015]. Co istotne, do określenia natężenia deszczu obliczeniowego - miarodajnego zarówno do odwodnienia terenu (kanalizacji deszczowej wg PN-EN 752:2008) jak i odwodnienia dróg (wg PN-S-02204. Drogi samochodowe – Odwodnienie dróg) stosowano przez lata nieaktualną już formułę Błaszczyka [Kotowski 2011e, 2015].

Tab. 1.2. Zalecane częstości oraz prawdopodobieństwa projektowe deszczu obliczeniowego i dopuszczalne częstości wystąpienia wylewów wg PN-EN 752:2008 [Rozporządzenie 1999, Sybilski 2009, Edel 2010, Kotowski 2011e, 2015]

Klasa drogi	Częstość projektowe opadów	Prawdopodobieństwo
	[1 raz na C lat]	p [%]
Lokalna oraz dojazdowa	1 na 1	100
Główna oraz zbiorcza	1 na 2	50
Główna ruchu przyspieszonego	1 na 5	20
Autostrada oraz droga ekspresowa	1 na 10	10

Kotowski w pracach [Kotowski 2011e, 2015] podkreśla, że ustalenie związku pomiędzy zalecanymi częstościami deszczu obliczeniowego i dopuszczalnymi częstościami wylewów na etapie projektowania kanalizacji nie jest możliwe. Pomocne natomiast okazują się niemieckie zalecenia z 2006 roku operujące pojęciem częstości nadpiętrzenia do poziomu terenu, które co do wartości jest najbliższe występującym następnie wylaniu. Wykorzystanie wyników modelowania hydrodynamicznego do weryfikacji projektowanej sieci kanalizacyjnej umożliwia szczegółową analizę potencjalnych scenariuszy funkcjonowania kanalizacji w zależności od przyjętych „na wejściu” charakterystyk opadowych. Przytoczone zalecenia niemieckie wg DWA-A 118:2006, pokazano w tabeli 1.3 [DWA-A 118:2006, Kotowski 2011e, 2015].

Tab. 1.3. Dopuszczalne częstości nadpiętrzenia w systemie kanalizacyjnym do obliczeń sprawdzających wg DWA-A 118:2006 [DWA-A 118:2006, Kotowski 2011e, 2015]

Rodzaj zagospodarowania terenu	Częstości nadpiętrzenia
	[1 raz na C lat]
Tereny wiejskie	1 na 2
Tereny mieszkaniowe	1 na 3
Centra miast, tereny usług i przemysłu	Rzadziej niż 1 na 5
Podziemne obiekty komunikacyjne, przejścia i przejazdy pod ulicami, itp.	Rzadziej niż 1 na 10

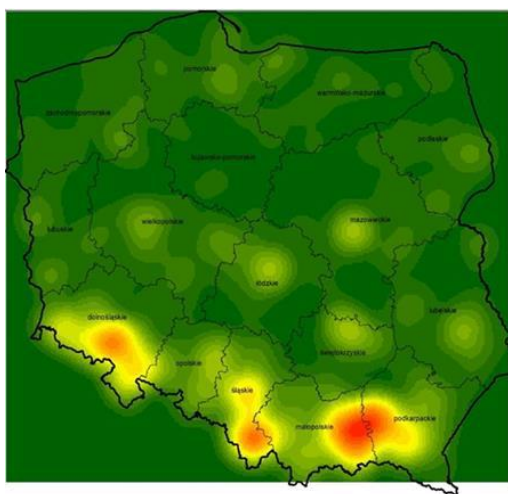
Najnowsza wersja normy kanalizacyjnej PN-EN-752 z 2017 roku, rozszerza dotychczasową klasyfikację zagospodarowania terenu oraz wprowadza ocenę wpływu zagrożenia wylewami na środowisko. Przewidziano między innymi możliwość dostosowania dopuszczalnych częstości wylań do szczególnych warunków terenowych poprzez zmniejszanie lub podwyższanie tych częstości, odpowiednio, w przypadku znacznych kosztów modernizacji istniejącego systemu lub w przypadku występowania szybko przemieszczających się wód powodziowych. W tabeli 1.4 zamieszczono przykładowe kryteria projektowe kanalizacji dla wylań wg nowelizacji normy PN-EN 752:2017.

Tab. 1.4. Przykładowe kryteria projektowe kanalizacji dla wylań wg PN-EN-752: 2017 [PN-EN-752: 2017, Kotowski i inni 2018, Licznar 2018, Wartalska 2019, Kaźmierczak 2019]

Wpływ	Przykładowe lokalizacje	Częstość wylewów, [1 raz na C lat]
Bardzo mały	Drogi lub otwarte przestrzenie z dala od budynków	1
Mały	Tereny rolnicze (zależnie od użytkowania, np. pastwiska, grunty orne)	2
Mały do średniego	Otwarte przestrzenie wykorzystywane do celów publicznych	3
Średni	Drogi lub otwarte przestrzenie w pobliżu budynków	5
Średni do wysokiego	Zalania w zamieszkałych budynkach z wyłączeniem piwnic	10
Wysokiego	Zalania w zamieszkałych piwnicach, przejazdach pod ulicami	30
Bardzo wysoki	Infrastruktura krytyczna	50

Zarówno obserwowany w ostatnich dziesięcioleciach wyraźny wzrost intensywności deszczów krótkotrwałych, jak i przewidywany wzrost częstości występowania intensywnych opadów w przyszłości skłaniają do refleksji na temat podstaw projektowania czy modernizacji istniejących systemów odwodnień [Toffol i inni 2008, Larsen i inni 2009, Kuchar i inni 2014, Suligowski 2013, 2014, Kotowski 2015, Licznar 2018, Wartalska 2019].

Występowanie ekstremalnych opadów atmosferycznych w znaczący sposób determinuje stosunki wodne doliny rzecznej Odry, jak i bezpośrednio sprzyja występowaniu zagrożeń związanych z gwałtownymi wezbraniem i podtopieniami terenów [Migoń 2010, Czaja 2011, Kaźmierczak 2011, Kotowski i inni 2010, Szalińska i inni 2014]. Długotrwałe opady o zasięgu regionalnym powodują przekroczenie zdolności retencyjnych gruntu i formowanie się wzmożonego spływu powierzchniowego w zlewniach. Jak podają autorzy opracowania *Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki* [Migoń 2010], na obszarze środkowej Odry przeszło 75% wezbrań spowodowane było długotrwałymi oraz intensywnymi deszczami. Występowanie wody z koryt rzecznych, powodujące lokalne podtopienia okresu wiosennego (przykład powodzi na górnej części zlewni Bobru w roku 2006, czy powódzie w zlewniach dopływów Nysy Kłodzkiej w rejonie Kotliny Kłodzkiej w roku 1998 czy 2009), powódzie o szerokim zasięgu terytorialnym (przykład roku 1997) czy też większe wezbrania na Odrze (w latach 1903, 1924, 1927, 1934, 1938, 1947, 1960, 1970, 1979, 1982, 1997, 2001, 2006, 2010 czy 2013), to konsekwencje coraz częstszych w tym regionie opadów o charakterze nawalnym [Migoń 2010, Czaja 2011, Szalińska i inni 2014], z czego powódź w roku 2010 jest wskazywana jako typowo opadowa, skutkująca dotkliwymi stratami w infrastrukturze i niestety także w ludziach [Maciejewski i inni, 2011]. Również analizy ekstremalnych zdarzeń opadowych przeprowadzone w ramach opracowania *Planów Zarządzania Ryzykiem Powodzi oraz Wstępnej Oceny Ryzyka Powodzi*, wskazują na obszar dorzecza górnej i środkowej Odry jako istotnie zagrożony występowaniem intensywnych i ulewnych opadów deszczu, zwłaszcza w okresie letnich konwekcji [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2016]. Przytoczone dokumenty opierają się zarówno na danych meteorologicznych opracowanych w ramach projektu *KLIMAT* jak i informacji z Państwowej Straży Pożarnej o liczbie interwencji usuwania skutków wystąpienia intensywnych opadów deszczu [WORP 2018]. Na rysunku 1.2 przedstawiono obszary „zagęszczenia” występowania negatywnych skutków spowodowanych deszczami nawalnymi w Polsce. Wyraźnie widać, że zarówno południowa część województwa dolnośląskiego (podnóże Karkonoszy i przedgórze Sudeckie) jak i południowa część województwa śląskiego, a więc obszary dorzecza Górnej i Środkowej Odry, były wskazane jako takie, gdzie skutki deszczów nawalnych odczuwane są najczęściej.



Rys. 1.2. Gęstość występowania negatywnych skutków spowodowanych deszczami nawalnymi w Polsce [WORP 2018]

Jak wykazano w wielu pracach, między innymi Kotowskiego, Kaźmierczaka, Licznara, Zawilskiego czy Węglarczyka, do projektowania systemów odwodnień terenów zurbanizowanych powszechnie stosowany był wzór Błaszczyka, którego podstawą były opady z przełomu XIX i XX wieku [Kotowski i inni 2010, Kaźmierczak 2011, 2012, Kotowski 2011d, 2011e, 2015, Węglarczyk 2014, Zawilski 2014, Licznar i inni 2015, Nowakowska, Kotowski 2017, Licznar 2016, 2018, Kotowski i inni 2018, Licznar i inni 2018]. Wyniki obliczeń natężeń jednostkowych deszczy na przykładzie opadów zmierzonych we Wrocławiu z okresu 1960–2009, opublikowane w roku 2010, wykazują zaniżanie wartości pochodzących z formuły Błaszczyka średnio o 40% [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011, 2015], a w skali całego kraju o 33% (badania przeprowadzone na 100 stacjach w ramach projektu PANDa) [Licznar i inni 2018]. Pomimo krytycznego stanowiska środowiska naukowego w Polsce odnośnie do stosowania modelu opadowego Błaszczyka do wymiarowania odwodnień terenów, w odniesieniu do normy PN-EN 752:2008 (tab. 1.1) oraz jej aktualizacji PN-EN 752:2017 (tab. 1.4), model ten formalnie pozostaje w użyciu, co skutkuje zwiększeniem częstości występowania wylewów z istniejących systemów kanalizacji w Polsce [Kotowski 2011c, 2011d, 2011e, 2015, Licznar i inni 2018]. Potrzeba zastąpienia modelu opadów Błaszczyka dokładniejszymi modelami opartymi na danych z ostatnich dziesięcioleci i opracowanych dla możliwie gęstej siatki stacji pomiarowych, wskazywana jest wyraźnie w wielu pracach naukowych i inżynierskich ostatnich 20 lat [Bogdanowicz, Stachy 1998, Kupczyk, Suligowski 1997, Suligowski 2004, 2013, Licznar i inni 2015, Kaźmierczak, Kotowski 2015, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Węglarczyk 2014, Wdowikowski, Kaźmierczak 2015, Licznar i inni 2018]. Współczesne modele opadowe umożliwiłyby bowiem opracowanie atlasu opadów maksymalnych w Polsce – np. na wzór niemieckiego atlasu KOSTRA DWD z 2000 czy 2010 roku [Bartels i inni 2005, Malitz, Ertels 2015], amerykańskich atlasów Hershfielda oraz agencji NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration (Narodowa Administracja ds. Ocenów i Atmosfery) [Hershfield 1961, NOAA Atlas 14 – 1961–2015] dostępnych elektronicznie dla wszystkich stanów z lat 1961–2015, czy nawet francusko-włoskiego regionalnego atlasu intensywnych opadów dla obszaru Alp, zrealizowanego w ramach operacyjnych projektów transgranicznych INTERREG [INTERREG 2000]. Wprowadzenie powszechnie dostępnego (podobnie jak w Niemczech czy USA) systemu prezentacji wyników probabilistycznych analiz opadów maksymalnych, pochodzących z danych pomiarowych w skali całego kraju, bez wątpienia przyczyniłoby się do zwiększenia wiedzy oraz świadomości w zakresie występowania ekstremalnie wysokich zdarzeń opadowych oraz między innymi pozwoliłoby na bezpieczniejsze niż dotychczas projektowanie systemów kanalizacyjnych. Co więcej, urealniona zostałaby ocena zagrożeń wylaniem, podtopieniem czy powodzią również w aglomeracjach miejskich. Wspomniana propozycja przestrzennej prezentacji opadów maksymalnych znalazła by wykorzystanie również na potrzeby modelowania odpływu rzeczno-ego w zlewniach kontrolowanych i niekontrolowanych. Tego typu rozwiązanie wpisuje się również w prace ogólnoswiatowego środowiska naukowo-technicznego, związane z utworzeniem lokalnych systemów zabezpieczenia i wczesnego ostrzegania przed „gwałtownymi powodziąmi” - *FFGS* (ang. *Flash Flood Guidance System*). Prace wdrożeniowe realizują państwa członkowskie Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO). W raporcie technicznym z 2013 roku można znaleźć odniesienia do analiz

związanych z występowaniem opadów o zadanym czasie trwania i prawdopodobieństwie przekroczenia [Georgakakos i inni 2013].

Współczesne metody badawcze stosowane w hydrologii, w tym monitoring opadów, w powiązaniu z wiedzą z zakresu statystyki, rachunku prawdopodobieństwa jak i modelowania matematycznego, stały się obecnie niezbędnymi narzędziami w praktyce inżynierskiej [Kotowski 2011e, 2015, Kotowski i inni 2018, Licznar 2018, Maity 2018, Kaźmierczak 2019]. Podstawową barierą, która w ocenie wielu przedstawicieli świata nauki utrudnia rozwój badań związanych z opadami maksymalnymi w Polsce jest ograniczony dostęp do danych źródłowych. Twardosz, w pracy [Twardosz 2005] określił wymownie to stanowisko, po części tłumaczące nadal trwający stan niewielkiego zaangażowania naukowego w szczegółowe analizy opadów maksymalnych: "*W Polsce badania w zakresie szczegółowych charakterystyk opadów są niewystarczające. Prace dotyczące opadów w powiązaniu z warunkami meteorologicznymi ich występowania, a więc z uwzględnieniem genezy opadów są nieliczne. Powodem tego jest nie tylko niedostatek danych pluwiograficznych ale także czasochłonność ich opracowywania i przetwarzania*".

W 2016 roku konsorcjum złożone z firmy RETENCJA.PL Sp. z o.o. oraz IMGW-PIB rozpoczęło prace nad projektem pt. *Opracowanie i wdrożenie Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa)*, który wykorzystując dane opadowe wysokiej rozdzielczości ze 100 stacji meteorologicznych IMGW-PIB, z lat 1986–2015, miał za zdanie stworzyć system modeli opadowych dla całej Polski. PANDa ma docelowo stanowić źródło aktualnych i wiarygodnych informacji o natężeniach deszczów miarodajnych dla potrzeb systemów odprowadzania i retencjonowania wód opadowych w Polsce. Zakończenie projektu i publikacja atlasu przewidziana jest w roku 2020 [Licznar i inni 2015, 2018b, Burszta-Adamiak i inni 2019].

Na uwagę zasługuje międzynarodowy projekt pt. *RAINMAN - zintegrowane zarządzanie ryzykiem opadów intensywnych* (ang. *RAINMAN - heavy rain integrated risk management*) realizowany w ramach programu celowego funduszy europejskich INTERREG Central Europe, w latach 2017–2020. Projekt realizowany jest przez kraje członkowskie Unii Europejskiej: Niemcy, Polskę, Czechy, Austrię, Węgry i Chorwację. Stronę polską reprezentuje IMGW-PIB. Efektem projektu mają być między innymi mapy ryzyka zagrożeń związanych z występowaniem intensywnych opadów deszczu oraz narzędzia służące organom zarządzania kryzysowego do redukcji negatywnych dla infrastruktury i życia ludzkiego skutków intensywnych opadów. Dodatkowo realizacji projektu ma towarzyszyć powstanie niespotykanego dotychczas syntetycznego opisu występowania zdarzeń opadowych o charakterze nawalnym oraz szkód jakie zjawisko wyrządziło na pilotażowych obszarach państw partnerskich [Dreßler i inni 2018].

Obserwowane w ostatnich latach zwiększone zainteresowanie problematyką intensywnych opadów dobitnie podkreśla zaległości Polski w tym zakresie ale również istotność podejmowania różnego rodzaju prac badawczych i wdrożeniowych. Niniejsza praca poświęcona jest w szczególności opadom maksymalnym dla potrzeb projektowania systemów odwodnień terenów jak i ochrony przeciwpowodziowej, natomiast co do zamierzeń jest próbą uszczegółowienia wiedzy w tym zakresie, rozszerzając metody opracowane przez zespół badawczy prof. Kotowskiego dla Wrocławia, na obszar dorzecza Górnej i Środkowej Odry.

2. Analiza dotychczasowego stanu wiedzy

2.1. Zagadnienia związane z występowaniem i zróżnicowaniem opadów

2.1.1. Cyrkulacyjne, synoptyczne i morfologiczne uwarunkowania występowania ekstremalnie wysokich opadów atmosferycznych

Opad atmosferyczny jest definiowany jako ciekły lub stały produkt kondensacji pary wodnej, który w wyniku transformacji chmur spada na powierzchnię (w formie ciekłej lub stałej). Wśród opadów ciekłych wyróżnia się mżawkę i deszcz (gdzie średnica kropli wynosi odpowiednio: od 0,05 do 0,5 mm oraz powyżej 0,5 mm), natomiast wśród opadów stałych – przede wszystkim śnieg, krupę oraz grad. Krople deszczu formują się w procesie kondensacji pary wodnej unoszonej w górnej warstwie atmosfery przede wszystkim na skutek konwekcji, turbulencji oraz wielkoskalowych ruchów mas powietrza. W zależności od temperatury panującej w warstwie atmosfery, powyżej poziomu kondensacji tworzą się opady ciekłe – w temperaturze dodatniej oraz opady stałe w temperaturze ujemnej [Eagleson 1978, Atlas hydrologiczny 1987, Woś 2006, Gao i inni 2007, Rojek, Żyromski 2004, WMO 2012, Instrukcja IMGW 2014, Licznar 2018]. Czasowy i przestrzenny rozkład opadów wykazuje duże zróżnicowanie na co bezpośredni wpływ ma struktura warstwy chmur oraz charakter i warunki panujące na podłożu, z którym styka się atmosfera (ląd lub woda). Ze względu na genezę powstawania opadów wyróżnia się trzy dominujące rodzaje:

- opady konwekcyjne (z chmur konwekcyjnych), obejmujące powierzchnię od kilku do kilkudziesięciu kilometrów kwadratowych, charakteryzujące się krótkim czasem trwania (wg Suligowskiego przeważnie do 90 minut) i dużą intensywnością. W warunkach polskich opady konwekcyjne występują najczęściej w półroczu ciepłym (okres od maja do października) i wykazują dużą zmienność przestrzenną;
- opady frontalne i niżowe będące konsekwencją ogólnej cyrkulacji atmosfery, sięgają obszaru od kilkuset do kilkudziesięciu tysięcy kilometrów kwadratowych. Charakteryzują się relatywnie długim czasem trwania (wg Suligowskiego opady związane bezpośrednio z frontem chłodnym lub ciepłym mieszczą się przeważnie w przedziale od 1,5 do 6,5 godziny, natomiast opady związane ze stacjonowaniem ośrodka niżowego od 6,5 godziny do kilku dni) oraz zmienną intensywnością [Stachý 1987, Kupczyk, Suligowski 1997, Suligowski 2004, 2012, Twardosz 2005, Starkel 2011].

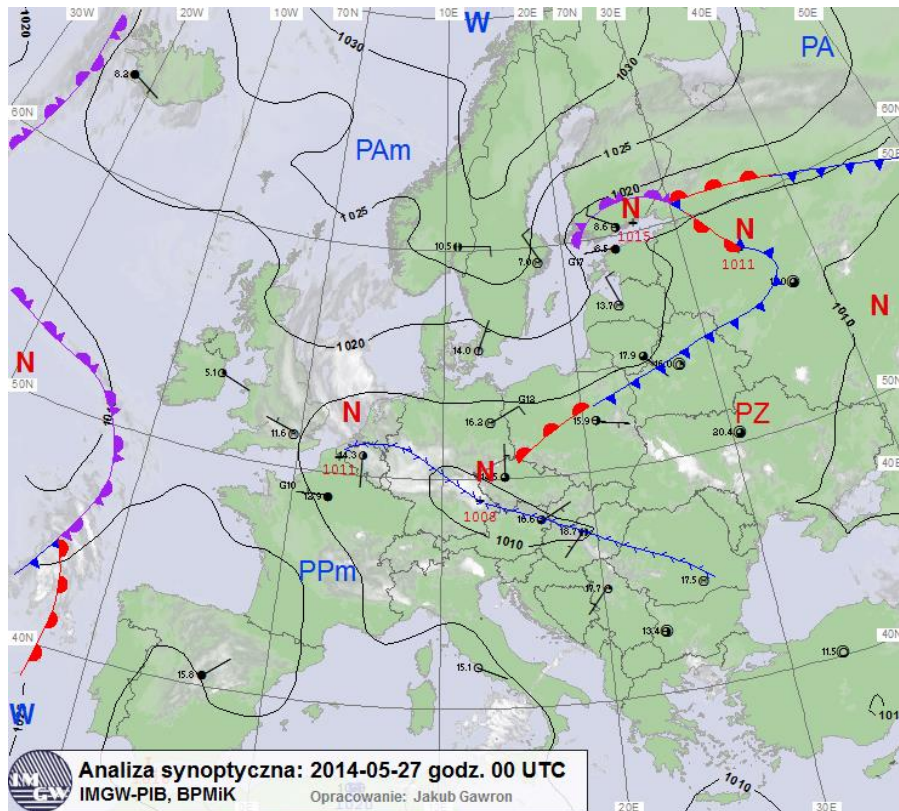
W warunkach polskich opady związane z frontem ciepłym cechuje wspomniany dłuższy czas występowania lecz stosunkowo niewielkie intensywności. Fronty chłodne, które najczęściej przemieszczają się znacznie szybciej od frontów ciepłych sprzyjają zwiększeniu dynamiki procesów towarzyszących powstawaniu opadów, czyniąc opady deszczu bardziej intensywnymi. Wykształcony system frontów atmosferycznych związanych ściśle z ośrodkiem niżowym, w zależności od sytuacji barycznej sprzyja powstawaniu opadów długotrwałych o dużych sumach całkowitych, obserwowanych na znaczących obszarach. W polskich obszarach górskich i podgórskich wyjątkowo niekorzystną sytuacją jest stacjonowanie i powolne wypełnianie się ośrodka niżowego na południowych krańcach kraju, na skutek tzw. blokad wyżowych, szczególnie na obszarze półwyspu skandynawskiego lub Rosji. Opady powstałe z tego typu układu barycznego są źródłem tzw. powodzi opadowych, doświadczonych na Odrze i Wiśle np. w 1997 i 1998 roku oraz na Odrze w 2010 roku [Migoń i inni 2010, Czaja 2011, Maciejewski i inni 2011, WORP 2018].

Czynnikami, które mają bezpośredni wpływ na zróżnicowanie występowanie opadów deszczu w dowolnym punkcie analizowanego obszaru są [Paszyński 1955, Dębski 1970, Eagleson 1978, Maidement 1993, Bac, Rojek 1999, Byczkowski 1999, Allen 2000, Storch, Zwiers 2002, Rojek, Żyromski 2004, Woś 1999, 2006, Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 2007, 2013, Hebda-Małocha 2007, Jokiel i inni 2017]:

- szerokość geograficzna (wyższe sumy opadów notowane są na obszarach od 0 i 60° - gdzie powietrze ulega wznoszeniu, niższe w rejonach od 30 do 90° - gdzie powietrze opada);
- wysokość nad poziomem morza - wraz ze wzrostem wysokości obserwowany jest efekt ochładzania orograficznego mas powietrza i wzrost wysokości opadów (efekt obserwowany do około 1700 m n.p.m.);
- odległość od źródeł wilgoci (jeziora, zbiorniki retencyjne, szerokie rzeki) - wilgotne powietrze powoduje ochłodzenie dolnych warstw chmur co skutkuje zmniejszeniem wysokości opadów lub nawet ich całkowitemu ograniczeniu;
- położenie wewnątrz kontynentu i wymiar kontynentu;
- układ przeważających kierunków wiatru (w kontekście transpozycji mas powietrza w kierunku źródła wilgoci);
- położenie względem pasm górskich;
- względne temperatury lądu i graniczących mórz, oceanów. Temperatura podłoża graniczącego z dolną warstwą atmosfery na decydujące znaczenie w procesie ochładzania lub ogrzewania masy powietrza. W aglomeracjach miejskich, przy dużym stopniu uszczelnienia podłoża (np. betonowe chodniki i asfaltowe nawierzchnie jezdni) szczególnie widoczny jest efekt intensyfikacji rozwoju procesów burzowych, dodatkowo zakłócanych efektem tzw. miejskiej wyspy ciepła.

Osobliwym przypadkiem czynników wpływających na rozkład przestrzenny opadów jest występowanie opadów deszczu o dużej intensywności na terenach zurbanizowanych. Wrona podaje, że w aglomeracjach miejskich dochodzi do istotnego wpływu na warunki termodynamiczne procesów konwekcyjnych stąd może dochodzić do wzrostu częstości występowania intensywnych opadów [Hebda-Małocha 2007, Wrona 2008a]. Schmuck na przykładzie Wrocławia stwierdza, że miasto działa jak masyw górski powodując zwiększony ruch prądów wstępujących, a miejska wyspa ciepła i transpozycja zanieczyszczeń powietrza wspomaga występowanie ruchów pionowych przyspieszając rozwój zjawisk konwekcyjnych, co prowadzi do powstawania burz i ulew. Co istotne również dla niniejszej pracy, zjawiska te nasilają się w ciepłym półroczu [Schmuck 1967, Yonetani 2005]. Również na przykładzie Wrocławia Dubicka wskazuje, że największy wzrost wysokości opadów atmosferycznych przypada na stronę zawietrzną miasta - a sumy roczne przewyższają pozostałe części miasta od 5 do 30%, przy czym opady w miejscach położonych na peryferiach miasta w stosunku do tych występujących w zwartej zabudowie części centralnych różnią się o 11%, a wpływ aglomeracji sięga nawet do 15 km za miastem [Dubicka i inni 2002]. Paszyński na przykładzie dorzecza Odry wykazał, że efekt wypiętrzania się chmur burzowych obserwuje się też na obszarach silnie zalesionych [Paszyński 1955]. Klimatolodzy wskazują, że dla dorzecza Górnej i Środkowej Odry, występowanie opadów deszczu często o charakterze nawałnym jest związane w największym udziale z trzema typami cyrkulacji: północno-

wschodnią cyklonalną (E0 17%) i antycyklonalną (E, 17%) oraz północno-zachodnią cyklonalną. Natomiast najczęstsze kierunki napływu powietrza to sektory zachodni (24%), północny (23%), południowy (21%) oraz wschodni (18%) [Paszyński 1955, Schmuck 1967, Woś 1999, Dubicka i inni 2002, Kaszewski, Siwek 2005].



Rys. 2.1. Mapa układu barycznego z analizą synoptyczną IMGW-PIB z dnia 27.05.2014 z godziny 00 UTC [Materiały archiwalne IMGW]

Na rysunku 2.1. przedstawiono, dla przykładu, sytuację baryczną z dnia 27.05.2014, podczas której między innymi we Wrocławiu wystąpiły wyjątkowo intensywne opady deszczu (godzinowa wysokość opadu wynosiła niemal 30 mm) powodując paraliż komunikacyjny (fot. 1.1.). Analiza synoptyczna IMGW-PIB wskazywała, iż była to typowa dla obszaru południowo-zachodniej Polski sytuacja meteorologiczna, której następstwem są intensywne opady deszczu oraz wysokie wartości sum dobowych. Prognozowano wówczas wystąpienie opadów dobowych o wysokości od 40 w części nizinnej i do 70 mm w Sudetach, przy czym na całym obszarze w burzach do 50 mm, które w wielu miejscowościach województwa dolnośląskiego faktycznie wystąpiły [Materiały archiwalne IMGW]. Ta typowa dla obszaru górnej i środkowej Odry sytuacja baryczna ma miejsce gdy cyrkulacja powietrza w niżu (cyklonie), przeciwna do ruchu wskazówek zegara, powoduje, że we wschodniej jego części z południa napływa ciepłe i wilgotne powietrze polarno-morskie, w lecie również zwrotnikowe, odznaczające się dużą chwiejnością i wilgotnością. W zachodniej, tylnej części niżu, znad Morza Północnego i Bałtyku napływa wówczas powietrze chłodniejsze, polarno-morskie chłodne, lub arktyczne przetransformowane. Kontrast termiczny między tymi masami może przekraczać 10°C. Za sprawą blokady wyżowej nad Rosją lub Skandynawią, układy niżowe nad obszarem Polski stają się układami stacjonarnymi lub wolno przemieszczają się nad Ukrainę i Białoruś. Powoduje to wydłużenie czasu trwania opadów

i równocześnie zwiększa dobowe sumy opadów. W takiej sytuacji w Polsce południowej, w tylnej części niżu, dodatkowo następuje dynamiczne spiętrzenie mas powietrza na barierze Sudetów i Karpat, co dodatkowo zwiększa ilość opadów w tym regionie często będąc źródłem powodzi [Niedźwiedź 1989, Dubicki i inni 1999, Twardosz 2005, Wrona 2008a, Migoń i inni 2010, Czaja 2011, Maciejewski i inni 2011].

Szczególnie istotnym, praktycznym aspektem analizy powyższych związków jest określenie maksymalnego opadu prawdopodobnego - PMP (*ang. Probable Maximum Precipitation*), co we współczesnej literaturze zostało opisane w pracach Suligowskiego [Suligowski 2013, 2014], które odwołują się do wytycznych WMO [WMO 2009]. Ważnymi pracami dotyczącymi cyrkulacyjnych uwarunkowań występowania ekstremalnych opadów atmosferycznych dla pojedynczych miast (jak Kraków czy Wrocław), regionu (jak Wyżyna Kielecka), całej Polski czy Europy są między innymi prace Niedźwiedzia [Niedźwiedź 1981, 1989, 2015], Twardosza [Twardosz 2005, Twardosz i inni 2010, 2012], Dubickiej [Dubicka 2004] Suligowskiego [Suligowski 2004, 2013] Ustrnula i Czekierdy [Ustrnul, Czekierda 2000] oraz Łupikasy [Łupikasa 2013, 2016]. Natomiast dla obszaru Górnej i Środkowej Odry istotne są prace Wrony [Wrona 2008a–b]. Jak wynika z prac wyżej wymienionych autorów ocena sytuacji barycznej atmosfery jest nierozłącznym elementem analizy wystąpienia powodzi zarówno w zlewniach rzecznych jak i w hydrologii miejskiej. Jako przykład można tu wskazać monografię powodzi na Odrze w latach 1997 i 2010 wydane przez IMGW-PIB [Dubicki i inni 1999, Maciejewski i inni 2011] oraz monografię Suligowskiego z 2013 roku [Suligowski 2013].

Ustrnul, Czekierda i Wrona podkreślają, że wpływ cyrkulacji atmosferycznej nie jest głównym czynnikiem determinującym kształtowanie ekstremalnych opadów deszczu, aczkolwiek analizując wieloletnie zjawiska opadowe należy mieć na uwadze genezę powstawania tego typu zjawisk meteorologicznych [Ustrnul, Czekierda 2000, Wrona 2008a–b]. Morozowska już w 1975 wykazała, że rozkład czasowo-przestrzenny opadów deszczu jest nierównomierny, a największą frakcję opadów dobowych o $h \geq 50$ mm, w parze z największą intensywnością, odnotowuje się w półroczu ciepłym (V–X) [Morozowska 1975]. W związku z powyższym w dalszej części pracy analizy opadów deszczu będą dotyczyły tego okresu ich występowania.

2.1.2. Pojęcie opadu maksymalnego

Opracowanie zależności matematycznych opisujących ekstremalnie wysokie opady o zadanym czasie trwania i prawdopodobieństwa przekroczenia wymaga przyjęcia jednoznacznej definicji opadu maksymalnego, która jak się okazuje pozostaje zróżnicowana, zależnie od potrzeb i środowiska, w którym jest stosowana. Wrona w roku 2008 wskazuje, że problem definicji kryterium intensywnych opadów deszczu, a w szczególności opadów o największych wartościach jest powszechny i budzi wiele kontrowersji [Wrona 2008a–b]. Eagleson w polskim wydaniu *Hydrologii Dynamicznej* podkreśla wagę identyfikacji wartości opadów (zanotowanych na powierzchni w zależności od czasu trwania i zasięgu obszarowego) w hydrologii inżynierskiej np. do projektowania budowli [Eagleson 1978]. W pracy zaznaczona jest również potrzeba określania prawdopodobieństwa wystąpienia maksimum opadowego (PMP), ocenianego na podstawie zawartości pary wodnej w monitorowanej atmosferze. Metoda ta jednak oparta jest o wnikliwą analizę sytuacji

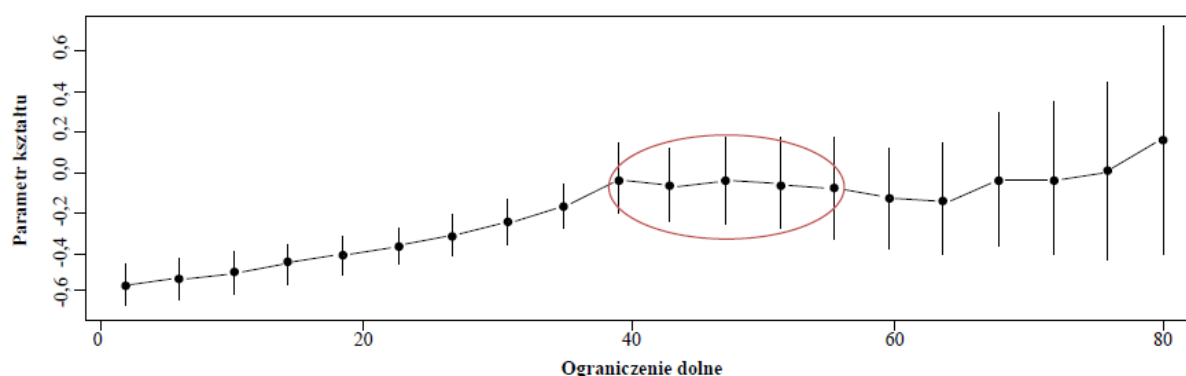
barycznej atmosfery i mimo coraz szerszego zastosowania na świecie [WMO 2009] oraz w Polsce [Suligowski 2013, 2014] raczej służy do określenia możliwości występowania określonych wartości w przyszłości niż opisie ilościowym i jakościowym opadów intensywnych dla danego punktu lub obszaru.

Definicję opadów maksymalnych podaje Fal w Atlasie Hydrologicznym Polski IMGW w 1987 roku [Fal 1987]. Mianowicie, maksymalny opad dobowy opisany został jako największa wysokość opadu deszczu, która została zmierzona w danym okresie (np. miesiąca lub roku) w czasie trwania 24 godzinnej doby opadowej, tj. pomiędzy następującymi po sobie porannymi terminami pomiaru. Co istotne, tak zdefiniowana suma odnosi się do określonego i stałego przedziału czasu, mimo iż może pochodzić z opadów o różnej genezie, i o różnym czasie trwania. Fal wspomina również o istotnej różnicy pomiędzy opadem przedziałowym, uzyskiwanym systemowo przez hydrologiczno-meteorologiczne służby państwowe, jak IMGW-PIB, a opadem rzeczywistym, który ze względu na losowość zjawiska może być wydzielony podczas pomiarów terminowych. W pracy przywołano badania amerykańskie przedstawione w atlasie opadowym NOAA, gdzie dla opadów o prawdopodobieństwie wystąpienia $p = 50\%$ sumy dobowe względem 24 godzinnych (lub o czasie trwania 1440 min) opadów rzeczywistych były mniejsze o 13% [Miller i inni 1973, Fal 1987]. Jest to istotne spostrzeżenie, stanowiące jedno z ważniejszych założeń w metodyce selekcji danych opadowych w kierunku identyfikacji wartości maksymalnych opadów do konstrukcji probabilistycznych modeli opadowych (szerzej opisane w rozdziale 4).

Oceny wystąpienia opadów maksymalnych można dokonać na podstawie wskaźników apriorycznych, poprzez identyfikację największych wartości opadu w określonym przedziale badanej serii czasowej (np. godziny, doby, miesiąca czy roku), jak również przy pomocy wskaźników statystycznych określających odchylenie badanej wartości od średniej wartości wieloletniej (zwanej również wartością normalną). Do takich celów służą między innymi wskaźniki *RPI* (Relative Precipitation Index - względny wskaźnik opadów), *SDII* (Simple daily intensity index – wskaźnik średniej intensywności dni wilgotnych) czy *SPI* (Standardized Precipitation Index – standaryzowany wskaźnik opadów) [Pińskwar 2010, Gąsiorek 2011, Szalińska, Otop 2012, Tokarczyk 2008, 2010, Krasowski, Tokarczyk 2017]. Pod względem klimatologicznym prawidłowa ocena zróżnicowania czasowej i przestrzennej struktury opadów atmosferycznych na danych obszarze wymaga przyjęcia normy opadowej jako wartości średniej bądź mediany z okresu wieloletniego. WMO zaleca stosowanie okresów minimum 30 letnich, począwszy od pierwszego roku, a kończąc na pełnym dziesięcioleciu (np. 1981–2010) [Sevruk, Geiger 1981, WMO 2007]. Wartości wskaźników odnoszone do opadu normalnego (czyli mediany miesięcznych, sezonowych lub rocznych) określają tzw. anomalie opadowe pozwalające, w zależności od przyjętej skali określić czy mieliśmy do czynienia z okresem suchym czy wilgotnym (odpowiednio anomalia ujemna i dodatnia). Wartości skrajne przedziałów określane są wówczas jako ekstremalnie niskie lub wysokie w obrębie analizowanego okresu. Najczęściej spotykane analizy wskaźników opadowych w Polsce dotyczą wieloletnich okresów klimatologicznych (czasem sięgających 100 i więcej lat) i dotyczą zarówno jednego punktu pomiarowego jak i kilkudziesięciu, w zależności od dostępu autora do danych pomiarowych [Kaczorowska 1962, Kożuchowski 1996, Kossowska-Cezak 2001, Mrugała 2001, Ziernicka-Wojtaszek 2006, Czarnecka-Niezgorska 2012]. Przy tego typu analizach bardzo często zestawiane są wartości największe

(maksima) oraz najmniejsze (minima) dla rozpatrywanego okresu, co oczywiście pozwala określić wieloletnią zmienność rejestrowanych ekstremów, natomiast nie daje możliwości określenia zbioru największych wysokości opadów przyjmowanych jako progowe do potrzeb inżynierskich (np. projektowania systemów odwodnienia terenów zurbanizowanych, systemów zabezpieczenia przeciwpowodziowego czy przeciwerozyjnego gleb).

Kolejnym podejściem stosowanym w ocenie występowania i przebiegu ekstremów opadowych (ze wskazaniem na wartości maksymalne) jest wyznaczenie klas wysokości opadów. W archiwalnych rocznikach opadowych IMGW-PIB (wydawanych do roku 1986) przyjmowano trzy przedziały warstw (wysokości) opadów: do 1,0 mm, pomiędzy 1,1 mm a 10,0 mm oraz powyżej 10,1 mm, w których podane były liczby dób występowania wartości w trakcie miesiąca i roku. Dodatkowo w rocznikach zamieszczana była informacja o terminie i wartości największej warstwy opadu zarejestrowanej na danej stacji w ciągu doby [Roczniki opadowe IMGW]. Częstość występowania opadów atmosferycznych o zadanej wysokości sumy dobowej większej niż 10 mm (np. 20 mm, 50 mm bądź 100 mm) analizowana była w wielu pracach z dziedzin meteorologii i hydrologii [Saramak 2005, Olechnowicz-Bobrowska i inni 2005, Biniak-Pieróg i inni 2008, Wrona 2008a, Majewski i inni 2010, Pińskwar 2010, Szalińska, Otop 2012, Wdowikowski 2014, Biniak-Pieróg 2017]. W przytoczonych pracach autorzy analizowali zmienność opadów ekstremalnych dla różnych lokalizacji oraz w różnych przedziałach czasowych. Powtarzający się wniosek jest taki, że opady o największych wartościach np. 50 mm/dobę stanowią niecały 1% nie tylko sumy rocznej ale również wszystkich wartości z okresu wieloletniego. Wartość opadu dobowego rzędu 50 mm, jako progową do analizy deszczów intensywnych została przytoczona przez Hounkpè z zespołem jako wynik analizy zdarzeń opadowych na 34 stacjach w okresie 92 lat (1921–2012) w zachodnio-afrykańskiej Republice Benin. Pomimo, iż Afrykę ze względu na odmienną strefę klimatyczną, z przyczyn oczywistych charakteryzują zupełnie inne warunki pluwialne, to interesujący jest sposób określenia przytoczonej wartości w procesie analizy wariogramów parametru kształtu uogólnionego rozkładu prawdopodobieństwa Pareto (GPA), estymowanego na podstawie danych opadowych dla różnych wartości progowych, co pokazano na rys. 2.2, a co wynika z prac Colesa (i zostało szerzej opisane w rozdziale 2.2.3) [Coles 2001, Hounkpè i inni 2016].



Rys. 2.2. Estymowane wartości parametru kształtu rozkładu GPA w odniesieniu do zróżnicowanych wartości progowych ograniczenia dolnego opadów dla stacji Kokoru (Republika Benin – Afryka) [opracowano na podstawie Hounkpè i inni 2016]

Wrona w pracy dotyczącej ekstremalnych opadów w dorzeczu Górnej i Środkowej Ody w latach 1980–2004, łącznie na 368 stacjach opadowych (po stronie polskiej i czeskiej

dorzecza) zidentyfikowała 192 przypadki wystąpienia opadów powyżej 100 mm/dobę w niezależnych 25 zdarzeniach opadowych, z czego niemal połowa (81 zarejestrowanych wartości) przypadała na lipiec 1997 roku. Istotnym wnioskiem Wrony, również na potrzeby niniejszej pracy, jest fakt występowania wartości ekstremalnie wysokich (tu, powyżej 100 mm/dobę) jedynie w miesiącach półrocza ciepłego (od maja do października) z wyraźną przewagą lipca – 73% wszystkich analizowanych przypadków [Wrona 2008a]. Podobną wartość progową opadu jako 100 mm w 2006 r. przyjęli Cebulak i Pyrc, w ocenie ekstremalnie wysokich zdarzeń opadowych na obszarze Górnej Wisły. Na podstawie bogatego materiału opadowego IMGW-PIB z lat 1900–2004 (a więc 105 lat) zidentyfikowali 283 punkty pomiarowe oraz 689 przypadków wystąpienia w badanym okresie sumy dobowej powyżej 100 mm. Autorzy jednocześnie wskazali, że lata, w których odnotowane były największe wartości opadów (1934, 1970 i 1997) pokrywają się z wystąpieniem dotkliwych powodzi w dorzeczu Górnej Wisły. Podstawą przyjęcia wartości opadu 100 mm jako progowej w przytaczanej pracy była klasyfikacja Chomicza (zgodnie z zależnością (1.1) opad o tej wysokości występuje w czasie $t = 21$ godzin i opisywany jest jako „*silny opad ulewny*” – wg tab. 2.2). Autorzy wskazali również, że z definicji wartość opadu dobowego nie jest równoznaczna z opadem 24-godzinnym, który przyjmuje wartości większe lub co najmniej równe opadowi mierzonemu wg standardu WMO [Sevruk, Geiger 1981, Cebulak, Pyrc 2006].

Wdowikowski analizując strukturę opadów atmosferycznych w zlewni nizinnej Widawy w przedziałach pomiędzy 10, 20, 30, 40 i powyżej 50 mm, wykazał, że w latach 1961–2010 sumy dobowe półrocza ciepłego powyżej 30,1 mm na trzech stacjach opadowych nie przekraczały 1% całkowitej liczby opadów, a opady do 10 mm/dobę stanowiły 91% całej populacji [Wdowikowski 2014]. Badania te potwierdziły analizy wykonane dla stacji Uniwersytetu Przyrodniczego Wrocław-Swojec przez zespół Żyromski, Biniak-Pieróg [Żyromski 2001, Biniak-Pieróg i inni 2008, Biniak-Pieróg 2017]. Mając na uwadze udział częstości występowania największych wysokości dobowych opadów deszczu w strukturze czasowo-przestrzennej danego obszaru, czy można jednoznacznie wskazać wartość kryterialną określającą opad ekstremalnie wysoki lub inaczej maksymalny? Jak wskazują w swoich pracach Wrona [Wrona 2008a–b] i Starkel [Starkel 2011], bez informacji dotyczącej wartości, której przekroczenie powoduje niebezpieczne skutki hydrologiczne lub geomorfologiczne ustalenie wartości progowej pozostanie sprawą otwartą. Należy bowiem pamiętać, że w sytuacji ograniczonej retencji gruntu, opad rzędu 10 mm może spowodować zalania oraz podtopienia terenów przyległych w równym stopniu jak opad dwa czy nawet trzy razy większy, w stanie znacznie mniejszego wypełnienia gruntu wodą. Formowanie się niebezpiecznego spływu powierzchniowego na terenach zurbanizowanych cechuje się większą dynamiką przez co próg wysokości opadów deszczu zagrażających wystąpieniem np. powodzi miejskich, jest niższy.

Olechnowicz-Bobrowska w pracy z 1970 roku zaproponowała klasyfikację w postaci sześciu przedziałów dobowych wysokości opadów atmosferycznych charakteryzujących analizowany obszar, tj.: od dni z opadem bardzo słabym, słabym, poprzez dni z opadem umiarkowanym, umiarkowanie silnym, silnym do bardzo silnego, reprezentowanym odpowiednio przez wysokości opadów zestawione w tabeli 2.1 [Olechnowicz-Bobrowska 1970].

Tab. 2.1. Wartości kryterium Olechnowicz-Bobrowskiej charakteryzujące opady atmosferyczne w przyjętych klasach wysokości [Olechnowicz-Bobrowska 1970]

Klasa opadu [mm]	Dni z opadem
0,1–1,0	Bardzo słabym
1,1–5,0	Słabym
5,1–10,0	Umiarkowanym
10,1–20,0	Umiarkowanie silnym
20,1–30,0	Silnym
>30,1	Bardzo silnym

Olechnowicz-Bobrowska w pracy z 2005 roku korzystając z autorskiego kryterium dokonała oceny trzydziestolecia 1971–2000 na stacji meteorologicznej w Garlicy Murowanej, która wykazała, że dni z opadem powyżej 10 mm (tj. umiarkowanie silnym, silnym i bardzo silnym) wystąpiły średnio 12 razy w roku [Olechnowicz-Bobrowska i inni 2005]. Mimo małej przydatności tego kryterium do oceny opadów maksymalnych jest to kolejna praca, która potwierdza, że wartości największe są rejestrowane w półroczu ciepłym.

Najbardziej popularnym podziałem opadów deszczu, uwzględniającym zróżnicowany czas trwania zdarzeń opadowych, jest skala Chomicza opublikowana w roku 1951 na podstawie klasyfikacji Hellmana z roku 1906. Znajduje zastosowanie zarówno w środowiskach inżynierów, hydrologów oraz meteorologów i mimo upływu czasu nie traci na znaczeniu [Chomicz 1951, Lambor 1953, 1971, Fal 1987, Bogdanowicz, Stachy 1998, Dubicki 2001, Prokop 2006, Bełłot i inni 2008, Wrona 2008a, Żyromski 2008, Kotowski i inni 2010]. Klasyfikacja Chomicza, zbudowana na bazie materiałów pluwialnych z lat 1858–1941 opisuje intensywne epizody deszczowe uwzględniając zarówno wysokość opadu (U_K [mm]) jak i proporcjonalny czas jego trwania (t [min]) w czterech grupach: silne deszcze, ulewy, silne ulewy oraz deszcze nawalne (tab. 2.2). Wartości poszczególnych kategorii opisu deszczy określa się poniższą zależnością:

$$U_K = \alpha_U \sqrt{t} = \sqrt{2^K} \sqrt{t} \quad (2.0)$$

gdzie:

U_K – warstwa (wysokość) opadu dla numeru skali K [mm],

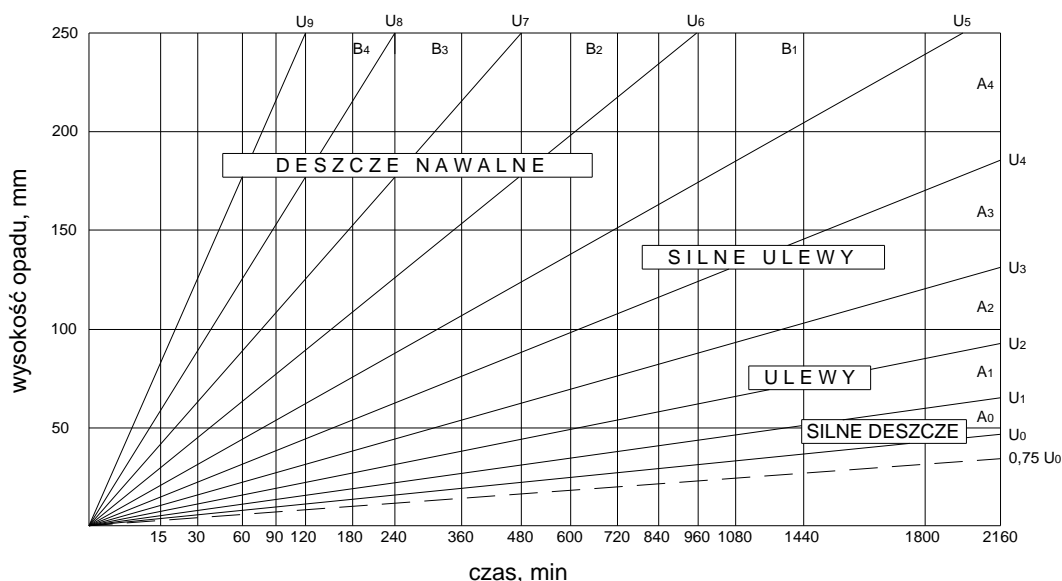
K – stopień (kategoria) skali opadu; $K \in [0; 12]$,

α_U – współczynnik wydajności opadu,

t – czas trwania opadu [min].

W interpretacji graficznej skali Chomicza, przedstawionej na rys. 2.3, równanie (2.0) wyrażone jest poprzez pęk prostych wyznaczających wartości progowe opadów o danej wysokości (U_K) w czasie trwania (t) analizowanego epizodu opadowego. Dodatkowo, pola oznaczone od A_0 do A_4 oraz od B_1 do B_4 umożliwiają grupowanie opadów odpowiednio względem wysokości [mm] oraz czasu trwania [min] na: silne deszcze, ulewne oraz nawalne (tab. 2.2). Warto zaznaczyć, że przytoczona klasyfikacja wykorzystywana była w Rocznikach Opadowych Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego (wydawanych do roku 1986 - przyp. autora), przy zestawieniach opadów o największej intensywności w ciągu danego roku [Roczniki Opadowe PIHM 1945–1986]. W literaturze obecna jest również modyfikacja skali Chomicza oparta o równanie (2.0) o uproszczonej skali trójstopniowej, gdzie silne opady przypadają dla wartości współczynnika wydajności α_U poniżej 1,41,

deszcze ulewne mieszczą się wówczas w przedziale $\alpha_U \in [1,42; 5,65]$ a opady nawalne klasyfikują wartości α_U powyżej 5,66 [Wrona 2008a].



Rys. 2.3. Klasyfikacja opadów deszczu w skali Chomicza [Chomicz 1951] z propozycją dolnej granicy opadów do analiz statystycznych częstości występowania wg Kotowskiego z zespołem [Kotowski i inni 2010]

Tab. 2.2. Klasyfikacja opadów w skali Chomicza wg zależności (2.0) [Chomicz 1951, Bełłot 2008]

K	α	Kategoria deszczu	
		Określenie	Znak literowy
0	0,0–1,00	zwykły deszcz	-
1	1,01–1,40	silny deszcz	A ₀
2	1,41–2,00	deszcz ulewny I st.	A ₁
3	2,01–2,82	deszcz ulewny II st.	A ₂
4	2,83–4,00	deszcz ulewny III st.	A ₃
5	4,01–5,65	deszcz ulewny IV st.	A ₄
6	5,66–8,00	deszcz nawalny I st.	B ₁
7	8,01–11,30	deszcz nawalny II st.	B ₂
8	11,31–16,00	deszcz nawalny III st.	B ₃
9	16,01–22,61	deszcz nawalny IV st.	B ₄
10	22,62–32,00	deszcz nawalny V st.	B ₅
11	32,01–45,23	deszcz nawalny VI st.	B ₆
12	45,24–64,00	deszcz nawalny VII st.	B ₇

Modyfikację trzynastostopniowej skali Chomicza pochodzącej z lat 50-tych ubiegłego stulecia przeprowadziła również Lorenc w Atlasie Klimatu Polski z 2005 r., przyjmując podział dziewięciostopniowy przedstawiony w tabeli 2.3. Jak podkreśla autorka w metodycznej części Atlasu, cytując: "opracowana skala wskaźników natężenia opadów została opracowana w celu ujednoczenia terminologii zgodnie z fizyczną strukturą tej cechy opadów na terytorium Polski". Skala natężeń opadów wg Lorenc opiera się na wynikach danych pluwiograficznych pochodzących ze 105 punktów pomiarowych z możliwie jednorodnego okresu 1966–1980, pomimo iż pozostałe charakterystyki elementów meteorologicznych opracowano na 30-lecie 1971–2000. Powodem odstępstwa od przyjętego okresu badawczego było zróżnicowanie kompletności materiałów opadowych, szczególnie w latach 1990–2000 [Lorenc 2005].

Zasadniczą różnicą pomiędzy skalami Chomicza i Lorenc było podanie przez autorów konkretnych wartości natężenia (ściślej „intensywności” - przyp. autora) opadów w mmmin.

Tab. 2.3. Klasyfikacja opadów wg. Lorenc [Lorenc 2005]

Klasa	Intensywność opadów [mm·min ⁻¹]	Rodzaj opadu
1	0,2	deszcz ulewny I stopnia
2	0,3–0,6	deszcz ulewny II stopnia
3	0,7–1,0	deszcz ulewny III stopnia
4	1,1–1,4	ulewa
5	1,5–1,9	ulewa silna
6	2,0–2,9	deszcz nawalny I stopnia
7	3,0–3,9	deszcz nawalny II stopnia
8	4,0–6,9	nawałnica
9	7,0	Nawałnica o charakterze klęski żywiołowej

Chudy w pracy o deszczach nawalnych podobnie jak Lorenc przedstawia tabelaryczną interpretację klasyfikacji Chomicza uwzględniającą krzyżowo zarówno czas trwania opadu jaki wartości wysokości opadów w [mm]. Jednocześnie na podstawie danych roczników opadowych IMGW-PIB z lat 1966–1981 identyfikuje 2942 przypadki wystąpienia deszczów nawalnych w kategoriach B1–B5 wg Chomicza (tab. 2.4) [Chudy 2002].

Tab. 2.4. Progi wysokości [mm] deszczów nawalnych o wybranych czasach trwania (*t*) wg skali Chomicza z uwzględnieniem przypadków zarejestrowanych w Polsce (pola zacienione) [Chudy 2002]

<i>t</i> [min]	Kategoria deszczu nawalnego					
	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆
10	17,9	25,3	35,8	50,6	71,6	101,2
20	25,3	35,8	50,6	71,6	101,2	143,1
30	31,0	43,8	62,0	87,6	123,9	175,3
60	43,8	62,0	87,6	123,9	175,3	247,9
120	62,0	87,6	123,9	175,3	247,9	350,5
180	75,9	107,3	151,8	214,7	303,6	429,3
360	107,3	151,8	214,7	303,6	429,3	607,2
720	151,8	214,7	303,6	429,3	607,2	858,6
1440	214,7	303,6	429,3	607,2	858,6	1214,3
2160	262,9	371,8	525,8	743,6	1051,6	1487,2
2880	303,6	429,3	607,2	858,6	1214,3	1717,3
4320	371,8	525,8	743,6	1051,6	1487,2	2103,2
5760	429,3	607,2	858,6	1214,3	1717,3	2428,6

Kotowski z zespołem w pracy z 2010 roku stwierdzają, że skala Chomicza ma głównie wartość opisową jednak wykorzystali jej ogólną postać (2.0) do określenia progowej wysokości opadów, stanowiących próbę losową do analiz statystycznych częstości ich występowania, przy formowaniu modeli opadów maksymalnych dla Wrocławia. [Kotowski i inni 2010, Kaźmierczak 2011, Kotowski 2011a–e, 2013, 2015]. Na potrzebę opisu intensywnych zdarzeń opadowych w hydrologii wskazała Soczyńska w pracy z 1997 roku [Soczyńska 1997]. Autorka przywołała charakterystykę Sumnera z roku 1988, w której opady atmosferyczne (również śniegu i gradu) grupowane były ze względu intensywność zjawiska tj. stosunku wysokości opadu (w odniesieniu do deszczu i śniegu) do czasu trwania. Istotną cechą klasyfikacji Sumnera jest uwzględnienie sytuacji barycznej towarzyszącej intensywnym opadom, a w szczególności przypisanie zdarzeniom opadowym poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej [Sumner 1988, Soczyńska 1997]. Kupczyk i Suligowski wskazują

jednak, że Sumner opiera swoje badania na danych pozyskanych na Wyspach Brytyjskich, gdzie zarówno warunki cyrkulacji atmosferycznej jak i warunki klimatyczne są odmienne niż w Polsce. Stosowanie wprost tego typu klasyfikacji może prowadzić do uzyskania mylnych wyników [Kupczyk, Suligowski 2011]. Wśród prac wykorzystujących skalę Chomicza do opisu intensywnych opadów deszczu o zróżnicowanym czasie trwania należy wymienić badania Twardosza dla Krakowa [Twardosz 2005, Twardosz i inni 2010], Wrony dla dorzecza Górnej i Środkowej Odry [Wrona 2008a–b] oraz Suligowskiego dla obszaru Wyżyny Kieleckiej [Suligowski 2013, 2014].

Jednym z większych opracowań warunków opadowych w Polsce, uwzględniającym zarówno zagrożenia występowania jak i skutki wystąpienia opadów intensywnych, jest praca zbiorowa pod redakcją Lorenc zrealizowana w IMGW-PIB w ramach projektu *KLIMAT* [Lorenc i inni 2012]. Z jednej strony autorzy podkreślają „ponadczasowość” skali Chomicza w klasyfikacji epizodów opadowych o najwyższych wartościach, z drugiej zaś strony proponują nowy podział opadów uwzględniający zagrożenia środowiska, gospodarki i społeczeństwa, mający stanowić pragmatyczne kryterium intensywnych opadów. Podstawowym materiałem badawczym projektu *KLIMAT* były dobowe sumy opadów o wysokości $h \geq 30$ mm, które wystąpiły na terenie Polski w latach 1971–2000. Za elementarną jednostkę czasową do analizy intensywnych opadów dobowych przyjęto standardową dobę opadową, czyli sztywny okres 24 godzin, od 06 do 06 czasu UTC. W projekcie *KLIMAT* analiza danych empirycznych i obserwowanych skutków działania opadów o różnej wysokości dobowej wykazała, że pierwszym progiem wysokości opadów, które stwarzają zagrożenie jest suma dobową opadów $h_{\max} \geq 30$ mm, a kolejnym wartość $h_{\max} \geq 50$ mm – jako kryterium groźnego opadu powodziowego. Opady o charakterze powodziowym zidentyfikowane zarówno na obszarach wyżynnych oraz górskich jak i nizinnych, przyjęto jako $h_{\max} \geq 70$ i ≥ 100 mm/dobę. Wartości te określono na podstawie analizy materiałów charakteryzujących przebieg natężenia opadów o podobnej skali i skutków jakie one wywołują. Ostatecznie w projekcie *KLIMAT* przyjęto kryterium dobowych wysokości opadów stwarzających odpowiednią kategorię zagrożenia powodziowego w Polsce (tab. 2.5) [Lorenc i inni 2012].

Tab. 2.5. Klasyfikacja maksymalnych dobowych sum opadów (h_{\max}) z określeniem rodzaju zagrożenia [Lorenc i inni 2012]

Lp.	h_{\max} [mm]	Rodzaj zagrożenia
1	≤ 30	zagrożający
2	$30 < h_{\max} \leq 50$	groźny powodziowo
3	$50 < h_{\max} \leq 70$	powodziowy
4	≥ 100	katastrofalny

Nawiązując do działalności operacyjnej IMGW-PIB w zakresie pełnienia państwowej służby hydrologiczno-meteorologicznej (PSHM) warto wspomnieć, że opad dobowy o wysokości $h_{\max} \geq 30$ mm stanowi wartość progową opadów, przy przekroczeniu której istnieje konieczność wydawania przez biura prognoz IMGW-PIB ostrzeżeń o intensywnych opadach deszczu, natomiast opadu rzędu 50 mm/dobę formułuje ostrzeżenie o „silnych burzach”. Pomimo powtarzającego się w obu kryteriach czasu trwania jednej doby, ostrzeżenia IMGW-PIB obejmują prognozę opadu zarówno 30 mm, które przewidywane są

do wystąpienia w trakcie godziny jak i kilku godzin, tzn. IMGW-PIB ostrzega o każdej możliwości wystąpienia opadu o sumie powyżej 30 mm. Szczegółowa, krótkoterminowa prognoza pogody, w tym np. opadu, przygotowywana jest między innymi na okres nadchodzącej doby stąd ograniczenie czasowe doby, w przedstawionych kryteriach, lub okresów 12 godzinnych jest uzasadnione [Vademecum 2014].

Nie mniej ważnym podejściem w procesie oceny „ekstremalności” opadów jest jednoczesna ocena nie tylko wysokości i czasu trwania opadu ale również zasięgu i zróżnicowania przestrzennego, które zdaniem Starkela istotnie wpływają na spływ powierzchniowy oraz infiltrację [Starkel 2011]. Starkel z pracy z 2011 roku, odnoszącej się do szeregu wcześniejszych badań własnych, wyróżnia trzy typy opadów ekstremalnie wysokich:

- krótkotrwałe o małym zasięgu i dużej intensywności minutowej - o wysokości od 2 do 4 mm na minutę, których czas trwania wynosi od ułamka godziny do kilku godzin, a łączna warstwa (wysokość) opadu zawiera się w przedziale od 20 do 150 mm. Opadom towarzyszą intensywne zjawiska erozyjne, jak spłukiwanie czy spływy błotne mas gruntu w obszarach górskich i niewielkie, lokalne wezbrania w zlewniach rzecznych o powierzchni do kilkunastu km²;
- rozlewne o intensywności w granicach od kilku do 20 mm na godzinę, przy jednoczesnym czasie trwania od kilkunastu godzin do 3 dni. Sumaryczna warstwa tego typu opadów sięga od 200 do 500 mm obejmując większe dorzecza (do kilkuset, a nawet kilku tysięcy km²);
- długotrwałe (tzw. pory opadowe) o czasie trwania nawet do kilku tygodni, podczas których deszcze o niewielkiej intensywności występują w długim okresie (w tym z przerwami), a łączna suma opadów przewyższa często 500 mm. Dochodzi wówczas do przesycenia wodą podłoża [Starkel 2011].

Przedstawiony przez Starkela podział opadów ekstremalnych, znajduje uzasadnienie w twierdzeniu zespołu Kupczyk i Suligowskiego z roku 1997, że „*główne procesy kreujące opady o znacznej różnicy czasów trwania są odmienne i stąd wynikają różnice cech opadów krótkich, w stosunku do opadów trwających kilka godzin*” [Kupczyk, Suligowski 1997]. Jak podaje Suligowski w pracy z 2004 [Suligowski 2004] w celu zachowania jednorodności statystycznej analizowanych danych pluwialnych, zróżnicowanie czynników opadotwórczych prowadzi do wydzielenia trzech typów genetycznych uwzględniających uwarunkowania morfologiczne występowania opadów atmosferycznych. Kupczyk i Suligowski w szerokim przeglądzie prac hydrologicznych poświęconych typologii opadów deszczu na potrzeby hydrologii z roku 2011 podkreślają istotę przyjęcia jednolitego nazewnictwa głównych grup opadów, mając na uwadze zarówno genezę ich powstawania (co zostało przybliżone w rozdziale 2.1.1. niniejszej pracy), jak i zagrożenia związane z ich występowaniem. Autorzy jednocześnie konstatują, że ujednoczenie nazewnictwa opadów w skali globu nie jest możliwe z uwagi na znaczne zróżnicowanie opadów w zależności od strefy klimatycznej, w której występują [Kupczyk, Suligowski 2011]. W literaturze krajowej najczęściej przywoływane jest wyodrębnienie trzech głównych grup opadów: opady konwekcyjne, frontalne i niżowe (lub stref konwergencji). Również Kupczyk i Suligowski podkreślają, że termin opady rozlewne (po części odpowiadający określeniu "opady niżowe") ze względu na niejednorodne kryteria przyjmowane przez badaczy zawiera najwięcej nieokreśloności

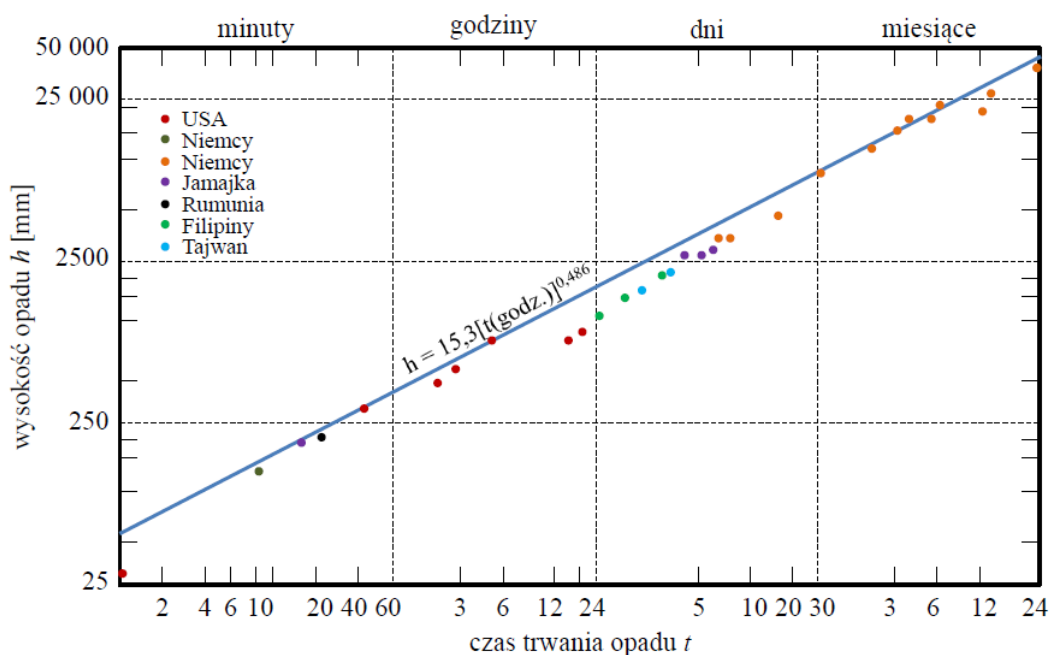
[Kupczyk, Suligowski 2011]. Przyjęty podział w wielu pracach naukowych między innymi [Bogdanowicz, Stachý 1998, Kupczyk, Suligowski 2011, Suligowski 2004, 2013 Szczepanek 2003, Twardosz 2005, Kotowski i inni 2010] pokrywa się z koncepcją geomorfologiczną Starkela.

Aktualny stan wiedzy w zakresie określania wartości opadów przyjmowanych jako miarodajne do projektowania systemów odwodnienia terenów wskazuje na istotność wykorzystania zarówno deszczy krótkotrwałych o dużej intensywności (opady konwekcyjne lub niekiedy frontalne) jak i deszczy długotrwałych o dużej wydajności i znacznym zasięgu obszarowym (opady frontalne i niżowe). Przedstawione w rozdziale źródła nie rozstrzygają jednoznacznie definicji pojęcia opadu maksymalnego w kontekście określenia wartości progowej, która okazuje się subiektywnie zależna zarówno od potrzeb danej dziedziny nauki jak i zróżnicowania warunków opadów na danym obszarze. Należy również zaznaczyć, że najczęściej dla obszaru Polski przywoływana była wysokość dobową opadu deszczu $h_{\max} = 30$ mm. Przytoczone prace, mimo intencjonalnie szerokiego spojrzenia na często dyskusyjną kwestię definicji opadu maksymalnego nie zachowują wspólnego stanowiska określającego jak wyznaczyć progową wartość opadu, który zazwyczaj będzie inicjatorem podobnych skutków w reakcji danej zlewni rzecznej czy zurbanizowanej. W tym miejscu warto zaznaczyć, że porównywanie czy adaptacja wartości progowych opadów przyjmowanych przez badaczy w innych regionach świata, szczególnie w innych strefach klimatycznych, może prowadzić do mylnych wniosków, o czym przestrzegają Kupczyk i Suligowski [Kupczyk, Suligowski 2011]. Analizowana literatura problemowa jednoznacznie wskazuje, że na potrzeby szczegółowych obliczeń inżynierskich (np. związanych z projektowaniem kanalizacji czy retencjonowaniem wód opadowych) niezbędna jest informacja na temat opadów o dużej wydajności. Barszcz i Kotowski stwierdzają, że zjawisko występowania szczególnie opadów deszczu jest dużo bardziej zróżnicowane niż się to dotychczas zakłada i niezbędne jest przeprowadzenie oceny czasowej i przestrzennej dla danego obszaru w jak najdłuższym okresie czasu [Kotowski i inni 2010, Kupczyk, Suligowski 2011, Barszcz 2012].

Prace naukowe poddane przeglądowi wskazują również, że istnieje potrzeba zarówno ujednolicenia terminologii związanej z opisem intensywnych opadów deszczu jak i konsekwencji jej stosowania przez zróżnicowane środowiska naukowe. Kossowska-Cezak w pracy z 2016 r. dotyczącej Polskiego Słownictwa Geofizycznego stwierdza nadużywanie w literaturze naukowej i publicystycznej skrótów myślowych oraz terminów mowy potocznej związanych z ekstremalnością badanych elementów środowiska naturalnego [Kossowska-Cezak 2016]. W związku z powyższym, za każdym razem kiedy w treści pracy będzie używany termin opadu maksymalnego (względnie ekstremalnie wysokiego) będzie to oznaczało zbiór największych matematycznie, rzeczywistych wartości wysokości opadu deszczu o danym czasie trwania, analizowanego szeregu czasowego opadów, którego elementy zostały zarejestrowane w konkretnym punkcie pomiarowym. Natomiast próg intensywnego opadu określający wartość kryterialną dla danej stacji meteorologicznej będzie przyjmowany z pewną modyfikacją za Kotowskim [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011d, 2011e, 2015] na podstawie klasyfikacji Chomicza, co w szczegółach zostanie przedstawione w dalszej części pracy, poświęconej opisowi metod badawczych.

2.1.3. Zróżnicowanie czasowo-przestrzenne intensywnych opadów deszczu

Jak wspomniano w rozdziałach 2.1.1 i 2.1.2 szereg czynników orograficznych oraz atmosferycznych wpływa na zróżnicowanie czasowo-przestrzenne występowania intensywnych i jednocześnie maksymalnych opadów deszczu. Eagleson w pracy [Eagleson 1978] przedstawił zależność pomiędzy wysokością opadu punktowego a czasem trwania największych zarejestrowanych w tamtym czasie opadów deszczu na świecie, co potwierdza, że problematyka opadów deszczu jest nadal aktualna - od wielu dziesięcioleci. Rysunek 2.4 obrazuje skalę „ekstremalności” zjawiska występowania opadów na świecie, którego doświadczyły wybrane kraje, np. opady rzędu 25 000 mm w ciągu 6 miesięcy w Indiach czy 25 mm w czasie trwania około 2 min w USA.



Rys. 2.4. Zależność między wysokością opadu a czasem trwania największych opadów na świecie, opracowano na podstawie [Eagleson 1978]

Podobną zależność przedstawiają Ozga-Zielińska [Ozga-Zielińska 1997] oraz Ciepielowski i Dąbkowski [Ciepielowski i Dąbkowski 2006] analizując stacje dorzecza środkowej Odry (jak czeski Jeseník oraz polskie Głuchołazy i Międzygórze), na których wystąpiły opady o czasie trwania 2–5 dób i o wysokościach sięgających 500 mm. Eagleson w pracy z 1978 roku przywołuje badania amerykańskiej służby pogody z 1947 roku, które dotyczyły analizy zdarzeń opadowych od 5 minut do 24 godzin na bazie 207 stacji I rzędu, które wystąpiły na powierzchni od 26 km² do niemal 260 000 km² (tab. 2.6). Z opublikowanego zestawienia czasów trwania opadu deszczu od 6 do 72 godzin wynika silne zróżnicowanie wysokości opadów w porównaniu najmniejszej i największej powierzchni, np. dla 6 godzinowych opadów: 617 mm na obszarze 26 km², poprzez 142 mm na obszarze tysiąc krotnie większym (26 000 km²) do 43 mm na obszarze 260 000 km². Dla porównania Polska zajmuje powierzchnię około 312 000 km² a średnioroczna wysokość opadu przyjmowana jest na poziomie 600 mm. Jak podają [Krężałek i inni 2013] za okres 1966–2010 obszarowe wartości opadu dobowego dla Polski wahały się od 60 do 107 mm, a wartość średnia wynosiła 89 mm. W badaniach amerykańskich z 1947 r. duże zróżnicowanie wysokości opadów dotyczyło wszystkich analizowanych czasów trwania epizodów opadowych.

Ewidentnym przykładem odmiennych cech klimatu w Polsce i USA są zbliżone wartości opadu średniorocznego dla Polski z 6 godzinnym dla powierzchni 26 km² w USA.

Tab. 2.6. Maksymalne zaobserwowane wartości sumy opadu (w mm) w zależności od powierzchni i czasu trwania w USA [Eagleson 1978 za Shands, Ammerman 1947]

Powierzchnia [km ²]	Czas trwania opadu [godz.]						
	6	12	18	24	36	48	72
25,8	617	745	875	913	940	940	940
258	490	655	767	797	822	822	880
516	447	607	718	743	767	797	863
1 290	385	353	640	665	690	758	840
2 580	335	470	574	600	640	720	810
5 160	280	392	487	515	577	657	738
12 900	202	278	352	375	467	518	610
25 800	142	197	252	302	378	435	533
51 600	100	150	197	240	290	345	440
129 000	63	105	133	158	197	223	288
258 000	43	63	98	108	140	165	223

W dorzeczu Górnej i Środkowej Odry występowanie największych wartości opadów charakteryzuje obszary górskie Sudetów oraz zachodniej części Beskidów (Beskid Śląsko-Morawski), co było obszarem zainteresowania wielu badaczy na przestrzeni dziesięcioleci. W 1955 roku Paszyński analizował związek zróżnicowania przestrzennego dostępnych sum rocznych i sezonowych opadów atmosferycznych w dorzeczu Odry z hipsometrią i zalesieniem, na przykładzie 509 punktów pomiarowych funkcjonujących w latach 1851–1930 (na terenie Polski, Czech i Niemiec). Główne wnioski tej pracy to: silna zależność wysokości opadów od ukształtowania terenu (wzrost sum sezonowych i rocznych wraz z wysokością n.p.m.), istotny związek występowania zdarzeń ekstremalnych z cyrkulacją atmosferyczną oraz dominujący udział sum opadów okresu letniego względem sumy rocznej [Paszyński 1955]. Wyniki badań Paszyńskiego znalazły potwierdzenie w wielu pracach, wykazanych w rozdziale 2.1.1.

Tab. 2.7. Wybrane deszcze nawalne zanotowane w Polsce (wyróżniono zdarzenia opadowe na obszarze Górnej i Środkowej Odry) [Chudy 2002]

Miejscowość	Data	<i>t</i> [min]	<i>h</i> [mm]	Kat. wg Chomicza	<i>q</i> [m ³ s ⁻¹ km ⁻²]
Szychowice k. Hrubieszowa	13.06.1956	2	35,3	B5	294,2
	18.06.1956	2	33,4	B5	278,3
	21.06.1956	2	36,3	B5	302,5
	04.07.1956	2	29,4	B4	245,0
	05.07.1956	3	32,0	B4	177,8
Szczucin k. Tarnowa	17.08.1967	6	45,4	B4	126,1
Lubaczów k. Jarosławia	23.08.1953	10	62,7	B4	104,5
Lisewo Kościelne k. Bydgoszczy	04.08.1971	26	85,8	B4	55,0
Ujazd Śląski k. Kędzierzyna	21.05.1971	30	89,2	B4	49,6
Gnojna k. Opola	08.06.1971	40	123,5	B4	51,4
Warszawa - Młociny	16.08.1959	85	106,7	B3	20,9
Komarńo k. Jeleniej Góry	29.05.1968	90	182,6	B4	33,8
Komorów k. Świdnicy	02.08.1951	120	193,4	B4	26,9
Kraków Obserwatorium UJ	09.09.1963	120	98,0	B2	13,6

Kaszewski i Siwek podają, że w dorzeczu Odry, w pasmach górskich od Karkonoszy przez Góry Sowie, Śnieżnik po Góry Złote najczęściej występowały punktowe opady dobowe powyżej 50 mm na dobę, co więcej były to opady półroczna ciepłego z maksimum w lipcu

[Kaszewski, Siwek 2005]. Obszerny wykaz Chudego z roku 2002 zestawiający najsilniejsze deszcze nawalne dla całej Polski w latach 1966–1981 zawierał 4 zdarzenia opadowe z obszaru dorzecza Odry, o czasach trwania od 30 do 120 minut i wysokości odpowiednio: 89,2 mm w Ujeździe Śląskim koło Kędzierzyna, 123,5 mm w Gnojnej koło Opola, 182,6 mm w Komarnie koło Jeleniej Góry oraz 193,4 mm w Komorowie koło Świdnicy (tab. 2.7) [Chudy 2002]. Wszystkie te wartości zostały opisane kategorią B4, co oznacza deszcze nawalne czwartego stopnia w siedmiostopniowej skali Chomicza.

Głowicki w 1993 roku przedstawił najwyższe sumy dobowe opadów zanotowane w latach 1961–1990 na obszarze Odry Środkowej na podstawie analizy 250 dostępnych w latach dziewięćdziesiątych XX wieku stacji pomiarowych IMGW, wskazując zróżnicowanie przestrzenne opadów deszczu: od 118,9 mm w Ligocie Pięknej (03.08.1970) do 205,6 mm w Wałbrzychu (17.06.1979). W tabeli 2.8 zestawiono wyniki badań Głowickiego. Na uwagę zasługuje epizod opadowy w Komarnie z dnia 29.05.1968, podczas którego suma dobową wyniosła 190,6 mm [Głowicki 1993], a jak już wspomniano, Chudy wskazuje, że 182,6 mm zarejestrowano tam w ciągu 90 minut [Chudy 2002].

Tab. 2.8. Najwyższe sumy dobowe opadów w dorzeczu Odry Środkowej w latach 1961–1990 [Głowicki 1993]

Zlewnia	Nazwa stacji	<i>h</i> [mm]	Data
Nysa Kłodzka	Ostroszowice	191,8	10.08.1964
Oława	Dobrogoszcz	156,4	17.06.1979
Śleza	Łągiewniki	171,6	10.08.1964
Bystrzyca	Wałbrzych	205,6	17.06.1979
Widawa	Ligota Piękna	118,9	03.08.1970
Kaczawa	Stanisławów	123,6	10.08.1964
Barycz	Janiszewo	124,4	16.07.1965
Bóbr	Komarno	190,6	29.05.1968
Bóbr	Przełęcz Okraj	190,6	01.08.1977
Nysa Łużycka	Trzebiel	137,2	08.08.1978
Odra	Przylesie	145,8	17.06.1979

Kolejną pracą szeroko opisującą przestrzenną i czasową zmienność ekstremalnych zdarzeń opadowych, powyżej 100 mm na dobę, w dorzeczu Odry jest analiza Wrony, która dla okresu 1980–2004, dla łącznie 325 stacji opadowych (278 stacji polskich i 47 czeskich), wykazała zróżnicowanie tego elementu meteorologicznego dla 192 zdarzeń opadowych: od 92,7 mm (w Chrośnicy) do 233,8 mm (na Lysej Horze, po czeskiej stronie). Co ważne, również na potrzeby analiz w dalszej części niniejszej pracy, 73% omawianych przypadków miało miejsce w ciepłym półroczu (w okresie od maja do września) z dominującym udziałem lipca, co potwierdza wyniki prac Dubickiego [Dubicki 2001, Wrona 2008a]. Wrona, Dubicki i Malinowska-Małek oraz Lorenc i Olecka podkreślają, że w ostatnim stuleciu opady o charakterze burzowym przekraczające 50 mm na dobę miały znaczący udział w sumach miesięcznych i rocznych, co więcej częstość ich występowania wzrasta [Dubicki, Malinowska-Małek 2005, Lorenc 2005, Lorenc, Olecka 2006, Wrona 2008a].

Głowicki w pracy z 1993 roku, dla stacji zestawionych w tabeli 2.8, zidentyfikował nieistotne statystycznie malejące trendy zmian średnich rocznych sum opadów w analizowanym 30-leciu oraz istotny statystycznie trend spadkowy średnich opadów deszczu w maju w dorzeczu Odry [Głowicki 1993]. Wniosek dla Wrocławia i kilku innych stacji pomiarowych w dorzeczu Odry potwierdzili Kotowski i Kaźmierczak, w pracach [Kotowski

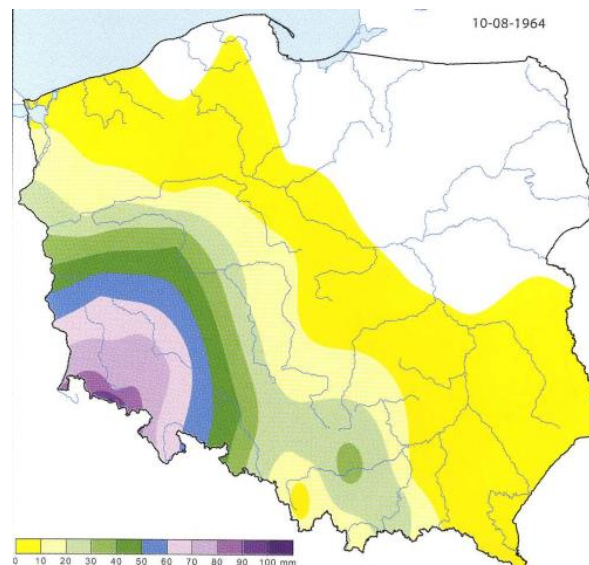
i inni 2010, Kaźmierczak, Kotowski 2013, Kaźmierczak i inni 2014, Kotowski 2015], analizując trendy zmian opadów deszczu w latach 1960–2009 na potrzeby projektowania kanalizacji. Dla warunków wrocławskich stwierdzono malejący trend sezonowych i rocznych wysokości opadów oraz wzrostowy trend liczby dni deszczowych w roku, przy jednoczesnym, istotnym statystycznie, wzrostowym trendzie intensywności opadów maksymalnych, dla częstości $C = 5$ i $C = 10$ lat. Wnioski z badań Kotowskiego i Kaźmierczaka oparte na danych IMGW dla Wrocławia pokrywają się z niezależnymi badaniami Żyromskiego i Biniak-Pieróg, którzy wykorzystali dane z Obserwatorium Agrometeorologicznego na wrocławskim Swojcu [Żyromski 2001, Biniak-Pieróg 2008, 2017]. Podobne wnioski zostały sformułowane dla danych opadowych z lat 1954–2013 ze stacji IMGW w Kłodzku, Legnicy, Opolu i Wrocławiu. Analiza sum rocznych i sezonowych wskazała nieistotne statystycznie malejące trendy zmian [Kaźmierczak i inni 2014, Kotowski 2015].

W pracy poświęconej regionom opadowym Polski [Limanówka i inni 2010] autorzy w oparciu o dane meteorologiczne z lat 1961–2000, wyróżniają na obszarze Górnej i Środkowej Odry występowanie czterech zidentyfikowanych regionów opadowych, co świadczy o istotnym zróżnicowaniu przestrzennym tego elementu meteorologicznego (rys 2.18). Dodatkowo badano trendy zmian kilkudniowych sum opadu (od 2 do 9 dni) oraz liczby dni z opadem powyżej 50 mm/dobę. Najdłuższe ciągi pomiarowe opadów charakteryzowały obszar Sudetów (np. w miejscowości Jawor koło Legnicy - aż 43 dni) [Limanówka i inni 2010].

Otop w pracach [Otop 2004, 2008] podkreślała występowanie zróżnicowania opadów atmosferycznych na obszarze środkowej Odry z dominującym udziałem największych wysokości opadów w Karkonoszach i na Przedgórzu Sudeckim. Za główny powód zróżnicowania przestrzennego podano czynnik orograficzny. Badania przeprowadzono na podstawie danych o opadach z 30 stacji meteorologicznych w wieloleciu 1954–1981. Otop przytacza również badania zespołu Głowickiego [Głowicki i inni 2006], które wskazują na średni przyrost wysokości opadów rocznych wraz z wysokością nad poziomem morza w dorzeczu Odry jako 66 mm na każde 100 m przewyższenia terenu (analiza na podstawie danych IMGW z lat 1971–2000), a opady półrocza letniego stanowiły 60% opadów rocznych. Szalińska, Otop, Tokarczyk i Urban badali zmienność czasowo-przestrzenną występowania ekstremalnych opadów deszczu powodujących powodzie w dorzeczu Odry, ze szczególnym uwzględnieniem powodzi w 2010 roku. Opady deszczu o największej intensywności rejestrowano w zlewniach górnej Odry - po stronie czeskiej i w okolicach Raciborza, górskich dopływów Nysy Kłodzkiej, Bobru, Kwisy oraz Nysy Łużyckiej [Szalińska i inni 2008, Szalińska, Otop 2012, Szalińska i inni 2014].

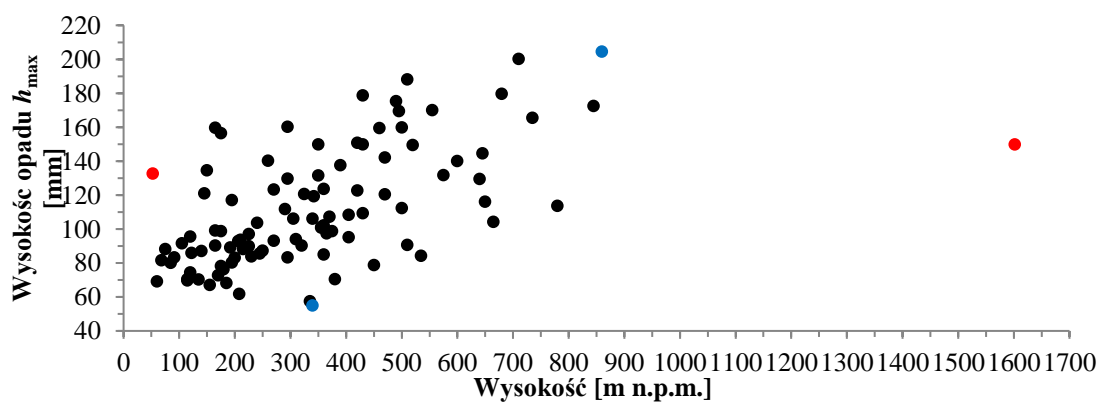
W 2016 roku Wdowikowski i inni przedstawili zróżnicowanie przestrzenne maksymalnych sum dobowych opadów deszczu w zlewni górnej i środkowej Odry w latach 1961–2010. Największe sumy dobowe dla 13 regionalnych stacji meteorologicznych i klimatologicznych wahały się od 70 do 90 mm na obszarze nizinnym (Zielona Góra, Leszno, Wrocław, Legnica, Opole, Racibórz) i od 100 do 130 mm na obszarze podgórskim (referencyjny Cieszyn, Jelenia Góra, Kłodzko) [Wdowikowski i inni 2016]. Wówczas analizie nie zostały poddane stacje górskie jak np. Jakuszyce i Szklarska Poręba, gdzie absolutne obserwowane maksima wynosiły odpowiednio 204,3 mm i 144,5 mm (zarejestrowane

podczas powodzi opadowej 07.08.2006 r.) czy Międzygórze z sumą dobową 200,1 mm zarejestrowaną 06.07.1997 r. Zróżnicowanie przestrzenne opadów atmosferycznych dorzecza górnej i środkowej Odry, a w szczególności jego związek z wysokością nad poziomem morza, można również zaobserwować w atlasach opadowych (hydrologicznych i meteorologicznych) IMGW, Stachy'ego [Stachy 1987], Lorenc [Lorenc 2005], Ustrnula i Czekierdy [Ustrnul, Czekierda 2009] czy Limanówki z zespołem [Limanówka i inni 2010]. Atlasy te opisują występowanie średnich i maksymalnych obserwowanych wartości zarówno w okresie wieloletnim [Stachy 1987, Lorenc 2005, Limanówka i inni 2010], jak i wybranych epizodów opadowych, których przykład przedstawiono na rysunku 2.5 [Ustrnul, Czekierda 2009].



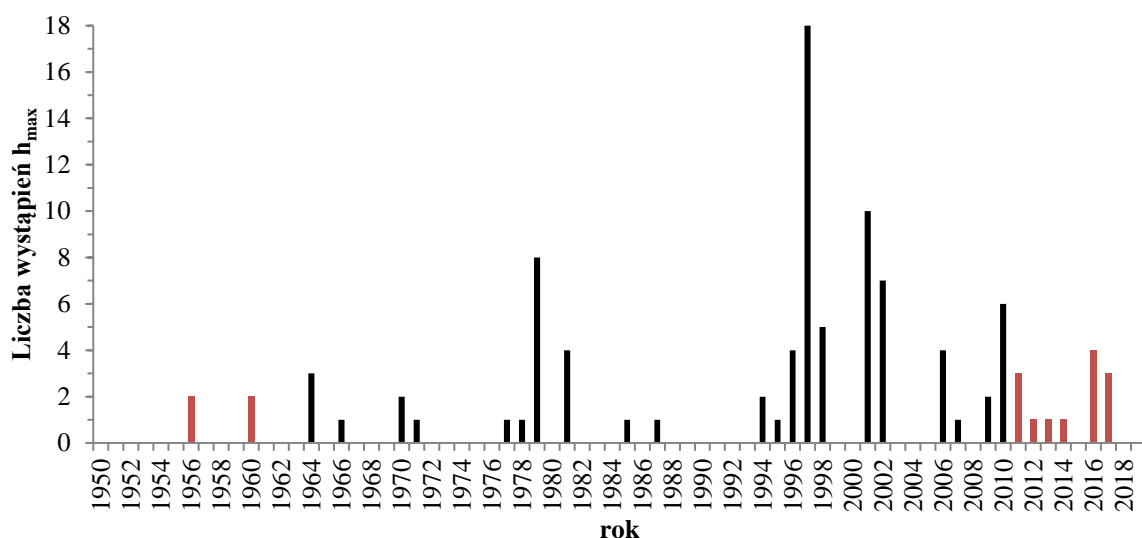
Rys. 2.5. Sumy dobowe opadów w Polsce w dniu 10.08.1964 [Ustrnul, Czekierda 2009]

W przytoczonych publikacjach powtarza się generalny wniosek, sformułowany już przez Paszyńskiego w 1955 roku, o występowaniu istotnego zróżnicowania wysokości opadów w dorzeczu Odry, przy jednoczesnym braku jednoznacznego związku pomiędzy wysokością opadów a wysokością wyniesienia terenu w przypadku dorzecza Górnej i Środkowej Odry (bez Warty) w granicach wysokości 50 i 1602 m n.p.m.



Rys. 2.6. Zróżnicowanie przestrzenne największych dobowych wysokości opadów zarejestrowanych na stacjach meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry w latach 1950–2019 (kolorami czerwonym i niebieskim oznaczono skrajne wartości - opracowano na podstawie danych opadowych przedłożonych w suplemencie A)

Rysunek 2.6. przedstawia maksymalne sumy dobowe opadów deszczu zarejestrowanych na stacjach meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry w latach 1950–2019. Analizując rozmieszczenie największych zaobserwowanych w tym czasie opadów w profilu wysokościowym dorzecza Odry, potwierdza się silne zróżnicowanie przestrzenne, w tym orograficzne, czego wyrazem były skrajne wysokości opadów od 54,9 do 204,3 mm w przedziale położenia stacji od 340 do 860 m n.p.m. (na rys 2.6 oznaczone kolorem niebieskim) oraz stosunkowo mała różnica sum opadów pomiędzy najniższej i najwyższej położonymi stacjami pomiarowymi, odpowiednio w Słubicach $h_{\max} = 132,5$ mm oraz na Śnieżce $h_{\max} = 118,3$ mm (na rys 2.6 oznaczone kolorem czerwonym).



Rys. 2.7. Częstość występowania największych wysokości opadów dobowych w danym roku w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry w latach 1950–2019 (kolorem czerwonym oznaczono opady, które nie dotyczą okresu 1961–2010; opracowano na podstawie danych opadowych przedłożonych w suplemencie A)

Ekstremalne zdarzenia opadowe, które miały miejsce w omawianym okresie na obszarze Odry wykazują również zróżnicowanie czasowe, tzn. największe sumy dobowe odnotowano w różnych latach na przestrzeni całego okresu. Zaznaczyć jednak należy, że powtarzają się daty, które związane są ze szczególnymi sytuacjami, np. powódzie w latach 1979, 1997, 2001, 2002 czy 2010. Wykres na rysunku 2.7 prezentuje liczbę przypadków maksymalnych zdarzeń opadowych opartych na zbiorze danych przedstawionych na rysunku 2.6 z podziałem na lata. Największa liczba maksymalnych sum dobowych w okresie 1950–2019 została zarejestrowana w roku 1997 – dla 18 stacji. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że 66% największych wysokości opadów dobowych wystąpiło w ostatnich 20 latach, co w pośredni sposób potwierdza wpływ zmian klimatu. Absolutne maksima wystąpiły na 4 stacjach w latach 1950–1961 oraz na 13 stacjach po roku 2010 (2011–2019).

Szczegółowy wykaz aktualnych stacji IMGW-PIB na obszarze Górnej i Środkowej Odry, wraz położeniem n.p.m. oraz datą wystąpienia opadu maksymalnego, zawiera **suplement A**. Z uwagi na często podnoszony w literaturze przedmiotu utrudniony dostęp do danych pomiarowych oraz czasochłonność analiz, współcześnie tj. po roku 2010, szczegółowe badania dotyczące zróżnicowania przestrzennego intensywnych opadów deszczu dla różnych czasów trwania w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry nie były dotąd publikowane.

Przedstawione i omówione wyżej, wybrane prace podkreślają silne zróżnicowanie przestrzenne i czasowe opadów atmosferycznych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry, zarówno w dużych aglomeracjach miejskich jak Wrocław, jak i w małych miejscowościach na obszarach podgórskich. Wzrost wysokości opadów w profilu wysokościowym dorzecza jak również wzrost częstości występowania, w okresie od maja do października, krótkotrwałych, intensywnych opadów deszczu pozwala uszczegółowić obszar badawczy niniejszej pracy, istotny z punktu widzenia odwodnienia terenu a także ochrony przeciwpowodziowej.

2.2. Modelowanie opadów deszczu

2.2.1. Rozwój modeli opadowych

W rozdziale tym zostanie przedstawiony rozwój najważniejszych formuł opadowych w zależności od przyjętej metodyki ich opracowania: modele fizyczne - oparte na empirycznym przyporządkowaniu częstości występowania zmierzonych szeregów czasowych opadów w rzeczywistym okresie ich obserwacji, oraz modele probabilistyczne - wykorzystujące teoretyczne rozkłady prawdopodobieństwa występowania empirycznych szeregów czasowych opadów w szerszym niż rzeczywisty okres obserwacji.

W wielu opracowaniach dotyczących opadów deszczu powstałych w ostatnich dziesięcioleciach znajdują się liczne odwołania do prac badaczy z pierwszych dekad XX wieku, między innymi do prac Lindley'a (1911), Gorczyńskiego (1917), Różańskiego (1929), Rybczyńskiego (1933), Taranowskiego (1937) czy Tyczyńskiego (1939) [Lambor 1972, Sowiński 1980, 1984, Bogdanowicz i Stachý 1998, Kupczyk i Suligowski 2004, Twardosz 2005, Suligowski 2013, 2014, Kotowski 2011e, 2015, Licznar 2018].

Brak dostatecznych informacji o wielkości opadów maksymalnych (o danym czasie trwania i prawdopodobieństwie przekroczenia), jak również niedoskonałość wzorów czy modeli, dzięki którym wysokości takich opadów można wyznaczyć, wynika między innymi z braku właściwej rejestracji opadów, w tym utrudnionego dostępu do danych pluwiograficznych już zarejestrowanych. Wspomnianą niedogodność wskazywali między innymi Sowiński, Strupczewski i Napiórkowski, Bogdanowicz i Stachý, Kupczyk i Suligowski, Żyromski, Twardosz, Prokop, Kotowski, Kaźmierczak, Węglarczyk czy Licznar [Sowiński 1980, 1984, Strupczewski, Napiórkowski 1981, Bogdanowicz i Stachý 1998, Kupczyk i Suligowski 2004, Twardosz 2005, Prokop 2006, 2007, Żyromski 2008, Suligowski 2013, 2014, Kotowski 2011e, 2015, Kotowski i Kaźmierczak 2012, 2014, 2015, Węglarczyk 2014, Licznar 2015, 2018, Kaźmierczak 2019]. Sytuacja ta może ulec poprawie z uwagi na fakt udostępnienia przez IMGW-PIB od roku 2018 części posiadanej bazy danych hydrologicznych i meteorologicznych.

W wielu krajach ustalono empiryczne relacje pomiędzy czasem trwania i prawdopodobieństwem przekroczenia a maksymalną wydajnością opadów deszczowych, w postaci punktowych krzywych *IDF* czy *DDF* lub ich przestrzennych interpretacji w atlasach opadowych (również elektronicznych). Ze względu na rozwój gospodarczy, największe osiągnięcia w dziedzinie analizy intensywnych opadów zostały dokonane w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej i Kanady. Również z tego rejonu świata pochodzi metoda analizy wartości ekstremalnych elementów meteorologicznych (*EVA* czy

EVT) [Katz i inni 2002, Gilleland, Katz 2011, 2016]. Ze względu na powszechny dostęp zarówno do opisu metody EVA, jak i bezpłatnego oprogramowania, zagadnienie to zostanie szerzej omówione w kolejnych rozdziałach pracy (<http://www.ral.ucar.edu/staff/ericg/extRemes>).

Podstawową formą opisu opadów maksymalnych jest związek funkcyjny pomiędzy wysokością opadu, a czasem jego trwania i prawdopodobieństwem przekroczenia [Bogdanowicz–Stachý 1997a,b, 1998]:

$$h_{\max} = h_{\max}(t, p) \quad (2.1)$$

Kotowski precyzując ogólną zależność (2.1) w wielu pracach dotyczących modelowania opadów do celów projektowania kanalizacji czy szerzej odwodnienia terenów zurbanizowanych, podkreśla praktyczną potrzebę określenia dodatkowo relacji pomiędzy intensywnością I w [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] lub natężeniem jednostkowym q w [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$] a czasem trwania t w [min] i prawdopodobieństwem wystąpienia opadu deszczu p , lub zamiennie częstością (powtarzalnością) występowania C w [latach], odpowiednio według zależności [Kotowski 2011d, 2011e, 2015, Kotowski i inni 2010]:

$$I = I(t, p) = I(t, C) \quad (2.2)$$

$$q = q(t, p) = q(t, C) \quad (2.3)$$

$$h = h(t, p) = h(t, C) \quad (2.4)$$

Jak przedstawiono w tabelach 1.1–1.4, zalecenia normatywne zarówno krajowe jak i europejskie [Rozporządzenie 1999, DWA-A 118:2006, PN-EN 752:2008, Kotowski 2011e, 2015] określają częstości projektowe (C) deszczu obliczeniowego i dopuszczalne częstości wystąpienia wylewów czy nadpiętrzeń. Kotowski podkreśla, że do ilościowego opisu intensywnych opadów można stosować zamiennie pojęcia częstości występowania opadu (C w latach) lub prawdopodobieństwa wystąpienia opadu (p w ułamku lub w %) zgodnie z relacjami [Kotowski 2011e, 2015]:

$$p = \frac{100}{C} \quad (2.5)$$

$$C = \frac{100}{p} \quad (2.6)$$

Zależności (2.5) i (2.6) opisują odpowiednio: prawdopodobieństwo p wystąpienia deszczu wyrażone w %, czyli ile razy w okresie 100 lat zostanie przekroczone lub co najmniej osiągnięte dane natężenie deszczu q [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$], a częstość C pojawienia się deszczu określa długość okresu czasu (cyklu lat), w którym zdarzy się co najmniej raz deszcz o danym natężeniu lub większym niż q w [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$], co jest interpretowane jako 1 zdarzenie na C lat.

Ze względu na różnorodne podejścia interpretacyjne w literaturze światowej, ale również krajowej dotyczącej stochastycznego opisu opadów, precyzyjne określenie różnic w interpretacji wzorów (2.5) i (2.6) wydaje się być uzasadnione. Przykładowo, w pracach niemieckojęzycznych spotyka się pojęcie częstotliwości (n) występowania opadów o danym natężeniu, wyrażaną jako [ATV 118 1999, Schimtt 2007, Kotowski 2011e, 2015]:

$$n = \frac{1}{C} \quad (2.7)$$

Kotowski w pracach [Kotowski 2011e, 2015] podaje jednoznaczną interpretację wzajemnych relacji: prawdopodobieństwa (p), częstotliwości (n) i częstości (C) wystąpienia opadu, co zestawiono w tabeli 2.9.

Tab. 2.9. Porównanie wartości prawdopodobieństwa p wg (2.5), częstotliwości n wg (2.7), oraz częstości C występowania opadów wg (2.6) [Kotowski 2011e, 2015]

Prawdopodobieństwo występowania deszczu p		Częstotliwość występowania deszczu n	Częstość - powtarzalność deszczu C
[%]	[-]	[rok ⁻¹]	[1 raz na C lat]
100	1,0	1,0	1
50	0,5	0,5	2
20	0,2	0,2	5
10	0,1	0,1	10
5	0,05	0,05	20
1	0,01	0,01	100

Modele fizykalne

Najbardziej powszechną i najczęściej stosowaną formą prezentacji związków intensywności lub natężenia jednostkowego bądź wysokości opadów z czasem jego trwania, przedstawiają odpowiednio: krzywe typu *IDF* bądź krzywe typu *DDF* [Overeem i inni 2008], w postaci rodziny hiperbol dla różnych prawdopodobieństw p (lub zamiennie częstości C) wystąpienia opadu. Intensywność opadów w funkcji czasu określa ogólne równanie:

$$I(t) = \frac{a}{(t+b)^n} + c \quad (2.8)$$

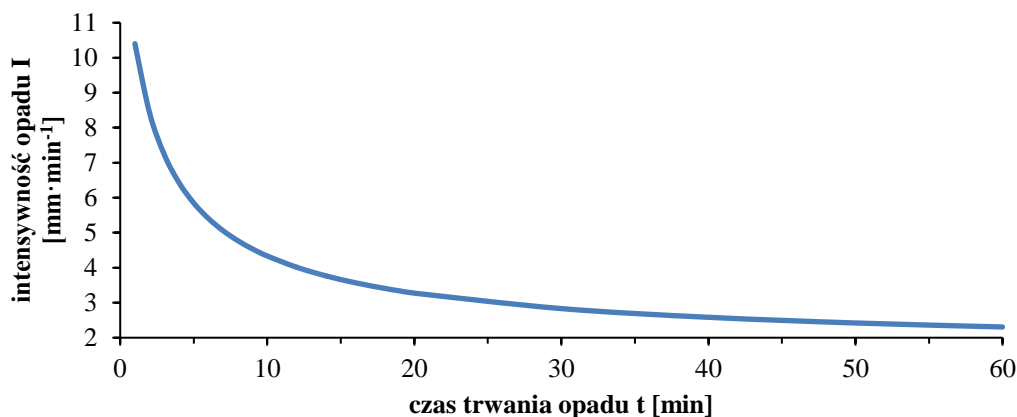
gdzie:

I – intensywność opadu w mm·min⁻¹ lub mm·h⁻¹,

a, b, c, n – współczynniki empiryczne zależne od warunków regionalnych,

t – czas trwania opadu.

Na rysunku 2.8 zilustrowano związek (2.8) dla przykładowych wartości współczynników empirycznych: $a = 17,7$, $b = 1,5$, $c = 1,5$, $n = 0,75$, w przedziale czasu $t \in (0; 60]$ min, przedstawionych w pracy [Szymkiewicz, Gąsiorowski 2010].



Rys. 2.8. Intensywność opadów deszczu w funkcji czasu trwania zjawiska wg równania (2.8). Opracowanie własne na podstawie [Szymkiewicz, Gąsiorowski 2010]

Lambor wskazuje, że do ustalenia współczynników empirycznych w (2.8) niezbędna jest seria kilkudziesięciu lat homogenicznych (jednorodnych) obserwacji opadowych oraz szczegółowe informacje odnośnie czynników klimatycznych i fizjograficznych na danym obszarze [Lambor 1953, 1971]. Współczesne zalecenie stosowania wieloletnich ciągów opadowych do określenia relacji (2.8) odpowiada na wytyczne WMO dotyczące analiz klimatologicznych dla okresów minimum trzydziestoletnich [Sevruk, Geiger 1981, WMO Clino 2007]. Lambor [Lambor 1971] twierdzi, że ze względu na stosunkowo skomplikowany proces wyznaczenia współczynników empirycznych, w równaniu (2.8) można dokonać pewnych uproszczeń w zakresie wyrazu wolnego c oraz wykładnika potęgowego n . Dla deszczów krótkotrwałych zakłada $c = 0$, co upraszcza wyrażenie (2.8) do postaci:

$$I(t) = \frac{a}{(t+b)^n} \quad (2.9)$$

Natomiast przyjmując wartość n na stałym poziomie: 0,7 lub 2/3 pozwala wyrazić intensywność opadów jako:

$$I(t) = \frac{a}{(t+b)^{0,7}} \quad (2.10)$$

lub

$$I(t) = \frac{a}{\sqrt[3]{(t+b)^2}} \quad (2.11)$$

Jak podkreślają polscy naukowcy [Licznar 2009b, 2018, Kwietniewski i Rak 2010, Mrowiec 2009, 2014, Królikowska i Królikowski 2012, Kaźmierczak 2012, 2019, Kaźmierczak i inni 2012, Kotowski 2011e, 2015, Kotowski i inni 2010, Pochwat i inni 2013, Zawilski i inni 2014], krzywe deszczy miarodajnych typu *IDF* i *DDF* są zależnościami syntetycznymi (sztucznymi) jednak opracowanymi na podstawie materiałów pomiarowo-obszaryjnych (empirycznych). W oparciu o krzywe *IDF* lub *DDF* możliwe jest generowanie modeli opadów w zlewni (miejskiej lub rzecznej), które są niezbędne do bezpiecznego wymiarowania kanalizacji deszczowej, ogólnospławnej czy ogólnie odwodnienia terenu.

Współcześnie w projektowaniu systemów odwodnieniowych dąży się do wykorzystania wyników numerycznego modelowania hydrodynamicznego, które umożliwiają weryfikację częstości wylewów w oparciu o scenariusze obciążania projektowanego systemu opadami zmiennymi czasowo i przestrzennie. Najbardziej pożądanym źródłem informacji do przygotowania wspomnianych scenariuszy pozostają lokalne warunki opadowe, odpowiednie dla projektowanego obszaru. W zależności od dostępu do danych opadowych z analizowanego obszaru, na przestrzeni XX i XXI wieku badacze i inżynierowie podejmowali próby ustalenia najbardziej zbliżonego do rzeczywistych warunków modelu matematycznego opadów.

Szeroki i szczegółowy przegląd wykorzystywanych dotąd związków opisujących natężenie deszczu w funkcji czasu jego trwania zawierają prace Lambora [Lambor 1971], Kotowskiego z zespołem [Kotowski, Kaźmierczak 2010, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015], Suligowskiego [Suligowski 2004, 2013], Węglarczyka [Węglarczyk 2010, 2014], Licznara [Licznar 2018] oraz Kaźmierczaka [Kaźmierczaka 2019].

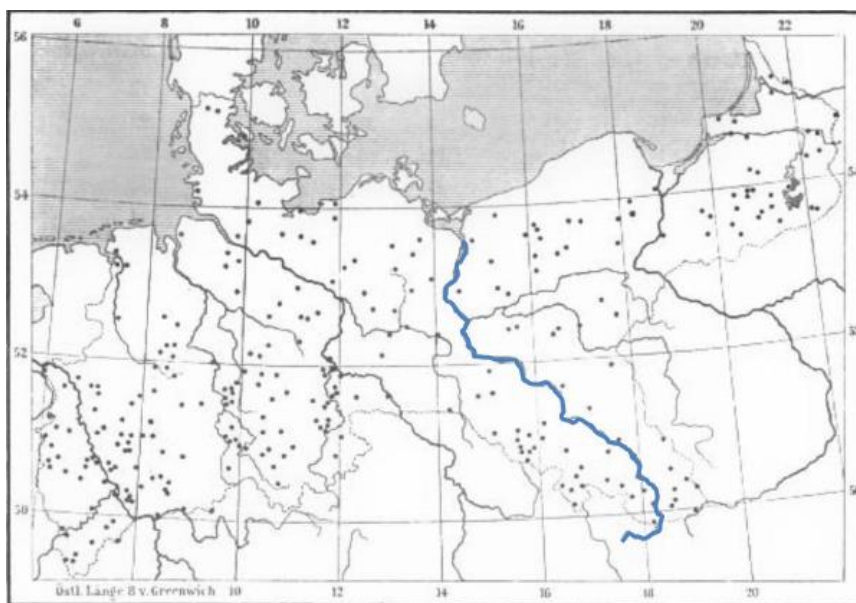
Prekursorem badań nad opisem opadów był Talbot, który we Francji w latach 1899–1904 wyznaczył pierwsze krzywe wzorcowe opadów analizując natężenia deszczy w zależności od czasu ich trwania. Licznar w pracy [Licznar 2018] twierdzi natomiast, że wyniki prac Talbota zostały opublikowane w 1892 r. Formuła Talbota lub Talbota–Monara, jak podają niektóre źródła ma ogólną postać [Lambor 1971, Daniell, Tabios 2008, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Licznar 2018]:

$$I(t) = \frac{a}{t+b} \quad (2.12)$$

W 1906 roku Hellmann przedstawił związek między intensywnością i czasem trwania ulewnych opadów dla obszaru Europy środkowo-wschodniej (dzisiejszych Niemiec, zachodniej i północnej części Polski oraz północnej części Czech - co ilustruje rys. 2.9), jako [Hellman 1906, Lambor 1971, Szymkiewicz, Gąsiorowski 2010]:

$$I(t) = a + \frac{b}{\sqrt[3]{t}} \quad (2.13)$$

Zespół Hellmana dysponował dużym zbiorem danych pluwiograficznych pochodzących z 2348 punktów pomiarowych, z lat 1850–1903. Ostatecznie formułę na intensywność opadów ulewnych (2.13) opracował na zbiorze 12 jednorodnych lat 1891–1902, przyjmując 6048 zdarzeń opadowych zebranych w 8 przedziałach czasów trwania deszczy: od 1 do 5 min, od 6 do 15 min, od 16 do 30 min, od 31 do 45 min, od 46 min do 1 godz., od 1 godz. i 1 min do 2 godz., od 2 godz. i 1 min do 3 godz. oraz powyżej 3 godz. Zasięg obszaru badań przedstawia rysunek 2.9.



Rys. 2.9. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych w latach 1850–1903 będących podstawą opracowania Hellmana dotyczącego opadów intensywnych (niebieskim kolorem wyróżniono rzekę Odre) [Hellman 1904]

W Polsce związku natężenia z czasem trwania opadów wyznaczyli Pomianowski w 1913 r. dla obszaru Moraw i Różański w 1929 r. dla całego kraju. Opierając się na równaniu Hellmanna (2.13), dla wartości średnich z maksimów pochodzących z lat 1889–1909, Różański określił współczynniki a i b dla różnych rejonów kraju (tab. 2.10). Zbliżony okres

badawczy wskazuje na kontynuację prac Hellmana dla obszaru Państwa Polskiego [Pomianowski 1913, 1929, Różański 1929].

Tab. 2.10. Wartości współczynników empirycznych Różańskiego dla wybranych rejonów Polski wg formuły Hellmanna (2.13) [Lambor 1971]

Lp	Rejon	Parametry równania		Numer równania
		a	b	
1	Poznański	5,576	-0,400	(2.14)
2	Pojezierza Mazurskiego	5,640	-0,512	(2.15)
3	Górnego Śląska	4,829	-0,187	(2.16)
4	Małopolski	5,143	-0,365	(2.17)

Lambor w 1952 roku, uzupełniając badania Różańskiego o dostępne dane opadowe dla obecnego kształtu obszaru Polski, przedstawił równania związku intensywność – czas trwania opadu dla 4 rejonów (tab. 2.11, równania 2.18–2.21) oraz dla całego obszaru kraju (tab. 2.11, równanie (2.22)). Istotną różnicą prac Lambora był powrót do pełnego równania (2.8) oraz wybór jedynie maksymalnych wartości obserwowanych natężeń do konstrukcji związku.

Tab. 2.11. Wartości współczynników empirycznych Lambora dla wybranych rejonów Polski wg (2.8) [Lambor 1971]

Lp	Rejon	Parametry równania				Numer równania
		a	b	c	n	
1	Karpaty i Podgórze Karpackie	13,813	3,0	-1,146	0,400	(2.18)
2	Wyżyna Śląska i Sudety	31,450	30,0	-4,00	0,346	(2.19)
3	Poznańskie, Pomorze i Pojezierze Mazurskie	19,3145	12,0	-1,70	0,388	(2.20)
4	Polska Środkowa (Warszawa)	8,460	0,0	-0,48	0,420	(2.21)
5	Cały obszar kraju	17,164	3,5	-1,44	0,390	(2.22)

W 1951 roku Chomicz opublikował formułę na intensywność deszczów korzystając z uproszczonego równania (2.9), z zastrzeżeniem stosowności dla epizodów opadowych trwających mniej niż 24 godziny [Chomicz 1951, 1952, 1953]:

$$I(t) = \frac{50}{(t+12)^{0,76}} \quad (2.23)$$

Dodatkowo Chomicz wprowadził uproszczył równanie (2.9) pomijając współczynnik b , do postaci (2.24). W tab. 2.12, podano wartość współczynnika a dla wybranych miast i obszarów Polski:

$$I(t) = \frac{a}{t^{0,5}} \quad (2.24)$$

Tab. 2.12. Wartości współczynnika a dla wybranych rejonów Polski do formuły Chomicza (2.24) [Lambor 1971 za Chomiczem 1952]

Lp	Rejon	Parametr a	Numer równania
1	Pojezierze Mazurskie	6,9	(2.25)
2	Pojezierze Zachodnie i Poznańskie	7,8	(2.26)
3	Małopolska	7,1	(2.27)
4	Śląsk	8,1	(2.28)
5	Warszawa	5,8	(2.29)
6	Łódź	4,6	(2.30)
7	Kraków	17,164	(2.31)

W podobnym czasie (około 1940 r.) w wielu państwach Europy środkowej, a w szczególności w Niemczech i Austrii do projektowania odwodnień terenów i obiektów inżynierskich (jak drogi, mosty itp.) funkcjonował model Reinholda, najczęściej występujący w postaci [Imhoff 1996, Skotnicki, Sowiński 2008, Kaźmierczak i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015]:

$$q(t) = q_{15,1} \frac{38}{t+9} (4\sqrt{C} - 0,3684) \quad (2.32)$$

gdzie:

- q – jednostkowe natężenie deszczu [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$] w czasie t ,
- $q_{15,1}$ – natężenie deszczu wzorcowego o czasie trwania 15 minut [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$] i częstości występowania $C = 1$ rok,
- t – czas trwania deszczu [min],
- C – częstość występowania deszczu (1 raz na C lat), [rok].

Dla uproszczenia najczęściej przyjmowano uśrednioną wartość $q_{15,1} = 100 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ do obliczeń projektowych kanalizacji, natomiast stosowanie modelu w jego pierwotnej formie i założeniach wymagało znajomości lokalnych wartości natężeń deszczu wzorcowych o $t = 15$ min i $C = 1$ rok.

Do projektowania kanalizacji deszczowej w Polsce wykorzystywany był do niedawna fizyczny wzór Błaszczyka z 1954 roku [Błaszczyk W. 1954, Błaszczyk P. 1988, Licznar, Łomotowski 2005, Edel 2010, Kaźmierczak i inni 2010, Kotowski, Kaźmierczak 2009, 2010 Kotowski 2011a–e, 2015, Węglarczyk 2013a, Kotowski i inni 2010, 2018, Licznar i inni 2005, 2018a]. Jego „niewłaściwość” do obecnych warunków – zmian klimatycznych wykazał jako pierwszy zespół prof. Kotowskiego w monografii wydanej przez PAN w 2010 roku [Kotowski, Kaźmierczak, Dancewicz 2010]. Błaszczyk formułując model opadowy na natężenie deszczu „miarodajnego” oparł się na badaniach Pomianowskiego, Różańskiego, Rosłońskiego, Rybczyńskiego i Lambora, bazując na tym samym zbiorze 79 intensywnych deszczów z lat 1837–1891 oraz 1914–1925. Wzór Błaszczyka występuje w dwóch postaciach, które uwzględniają odpowiednio: opad normlany roczny H dla dowolnego miejsca w Polsce (2.33) oraz dla uśrednionego dla całej Polski $H = 600$ mm (2.34) [Błaszczyk 1954, Węglarczyk 2013a za Rybczyński 1933, Licznar i inni 2005, 2018]:

$$q(t) = \frac{6,631 \sqrt[3]{\frac{H^2 C}{2}}}{t^{\frac{2}{3}}} \quad (2.33)$$

$$q(t) = \frac{470 \sqrt[3]{C}}{t^{\frac{2}{3}}} \quad (2.34)$$

gdzie:

- $q(t)$ – jednostkowe natężenie deszczu [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$] w czasie t ,
- t – czas trwania deszczu [min],
- H – wysokość opadu normlanego (średni roczny opad z wielolecia) [mm],
- C – częstość występowania deszczu w latach [rok].

Dla warunków lokalnych, warto wspomnieć o wrocławskich modelach fizycznych: Lambora (1953), Wołoszyna (1964), Licznara i Łomotowskiego (2005) oraz Kotowskiego z zespołem (2010) [Lambor 1971, Licznar, Łomotowski 2005, Ciepielowski, Dąbkowski

2006, Kotowski, Kaźmierczak 2009, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Węglarczyk 2013b].

Model Lambora (z 1953 r.)

$$I = \frac{43,7 - 15 \log p}{(t + 0,03)^{0,7}} \quad (2.35)$$

Model Wołoszyna (z 1964 r.)

$$I = \frac{a_p}{(t+4)} + c_p \quad (2.36)$$

Model Licznara i Łomotowskiego (z 2005 r.)

$$q_{\max} = \frac{a}{(t+b)^n} + c \quad (2.37)$$

Model zespołu Kotowskiego (z 2010 r.)

$$q_{\max} = 166,7[(6,670 + 1,677 \ln(C - 0,530)) \cdot (t - 3,450)^{0,265}] \cdot t^{-1} \quad (2.38)$$

gdzie (we wzorach 2.35–2.38):

- I – intensywność opadu deszczu [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] lub [$\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$],
- q_{\max} – jednostkowe maksymalne natężenie opadu [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$],
- p – prawdopodobieństwo wystąpienia opadu [-] lub [%],
- C – częstość występowania deszczu w latach [rok],
- t – czas trwania deszczu [min lub h],
- a, b, c, a_p, c_p, n – współczynniki regresji, zależne od p [-] lub C [lata].

Cechą wspólną wymienionych wyżej modeli opadowych był długi okres analizowanych danych pluwiograficznych: Lambor, Wołoszyn, korzystali z serii ponad 50 lat sięgających XIX wieku odpowiednio do lat 50-tych i 60-tych, Licznar i Łomotowski z lat 1975–2002 a Kotowski z zespołem z lat 1960–2009 (dane Licznara i Łomotowskiego w porównaniu do Kotowskiego z zespołem były niezależne, bowiem pochodziły z innych stacji pomiarowych zlokalizowanych we Wrocławiu). Część autorów podała zakresy stosowania swoich modeli fizykalnych, np. Wołoszyn modyfikacje zależności (2.36) dla deszczy krótkotrwałych (2.39) oraz długotrwałych (2.40), Licznar i Łomotowski dla $t \in [5; 180]$ min oraz $C \in [1; 10]$ lat, Kotowski z zespołem dla $t \in [5; 4320]$ min oraz $C \in [1; 50]$ lat. Licznar i Łomotowski wskazali zależność (2.37) jako najlepiej dopasowaną z pośród pięciu zaproponowanych w pracy [Licznar, Łomotowski 2005]. Model (2.38) zespołu Kotowskiego prezentuje najdłuższe zakresy stosowalności zarówno pod względem czasu trwania opadu jak i częstości występowania.

W szczególności, wspomniany wzór Wołoszyna (2.36) zalecany jest przez autora dla krótkotrwałych deszczy nawalnych, o czasie trwania krótszym niż:

$$t = 187,063\sqrt{a_p} - 4 \quad (2.39)$$

natomiast dla opadów o czasie trwania t większym od (2.39) autor rekomenduje wzór postaci:

$$I = 0,0107\sqrt{a_p} + c_p - 0,0000286t \quad (2.40)$$

Licznar i Łomotowski w 2005 roku porównali wartości średnich natężeń deszczów otrzymane na podstawie wzoru (2.37) opracowanego dla Wrocławia z wynikami z wzorów Błaszczyka i Wołoszyna [Licznar, Łomotowski 2005a] oraz przedstawili autorski model fizyczny chwilowych natężeń deszczów „miarodajnych” dla Wrocławia [Licznar, Łomotowski 2005b]. Autorzy wskazali na istotne różnice pomiędzy wynikami, które ich zdaniem mogły być spowodowane niejednorodnością materiału badawczego oraz brakiem metody wyodrębniania i selekcji opadów maksymalnych w pracach Błaszczyka i Wołoszyna. W tabeli 2.13 zestawiono przykładowe wyniki porównań średnich natężeń deszczów [Licznar i Łomotowski 2005a].

Tab. 2.13. Wybrane wartości średnich natężeń jednostkowych deszczów według formuł Licznara–Łomotowskiego, Wołoszyna i Błaszczyka dla Wrocławia. Opracowano na podstawie [Licznar i Łomotowski 2005a]

Czas trwania deszczu t [min]	Model opadowy wg równania	Prawdopodobieństwo p [%]				
		5	10	20	50	100
		Natężenie jednostkowe deszczu [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$]				
5	(2.34)	434	345	273	201	160
	(2.36)	527	427	330	187	53
	(2.37)	201	140	58	49	26
15	(2.34)	208	165	131	96	77
	(2.36)	253	206	159	91	27
	(2.37)	140	95	48	34	24
60	(2.34)	82	65	52	38	30
	(2.36)	80	66	52	31	10
	(2.37)	49	34	27	21	17
120	(2.34)	52	41	33	24	19
	(2.36)	45	37	30	18	7
	(2.37)	35	25	20	16	12

Z powyższych danych wynika, że dla opadów o $p = 100\%$ (równoznaczne z $C = 1$ rok) i czasach trwania $t = 5$ min oraz $t = 15$ min, wartości z modelu Błaszczyka różniły się sześciokrotnie dla opadów 5 minutowych i trzykrotnie dla opadów 15 minutowych względem modelu Licznara–Łomotowskiego, podczas gdy wartości z modelu Wołoszyna różniły się dwukrotnie dla opadów 5 i 15 minutowych. Dla opadów występujących 1 raz na 10 lat ($C = 10$ lat, $p = 10\%$), względem modelu Licznara–Łomotowskiego, modele Błaszczyka i Wołoszyna dawały wynik niemal dwukrotnie różny dla wartości natężeń deszczów trwających $t = 60$ min i $t = 120$ min. Analizę porównawczą wyników obliczeń jednostkowych natężeń deszczów z różnych wzorów-modeli, między innymi Błaszczyka, Wołoszyna i Licznara–Łomotowskiego (dla chwilowych natężeń deszczu), wykonał zespół Kotowskiego publikując swój model fizyczny opadów maksymalnych dla Wrocławia. Wyniki obliczeń z poszczególnych modeli zestawiono z danymi empirycznymi zarejestrowanymi na stacji pomiarowej IMGW-PIB Wrocław-Strachowice w latach 1960–2009 [Kotowski i inni 2010]. Porównanie przedstawione w tabeli 2.14 wyraźnie wskazuje na bardzo dobre dopasowanie wyników modelu fizycznego (2.38) zespołu Kotowskiego do danych pomiarowych z Wrocławia (z lat 1960–2009) – względne różnice wyników dla przykładowych częstości występowania $C = 1$ rok i $C = 2$ lata i czasów trwania od $t \in [5; 180]$ min, oscylują w granicach \pm kilku procent.

Tab. 2.14. Wartości natężeń jednostkowych deszczów według różnych formuł opadowych dla $C = 1$ rok i 2 lata. Opracowano na podstawie [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011a–e, 2015]

Częstość deszczu	Czas trwania deszczu, t	Dane pomiarowe	Błaszczyk (2.34)	Reinhold (2.32)	Chomicz (2.31)	Lambor (2.35) Wrocław	Wołoszyn (2.36) Wrocław	Licznar-Łomotowski (2.37) Wrocław	Kotowski i inni (2.38) Wrocław-Strachowice
lata	min	$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$							
$C = 1$ rok	5	213,3	160,5	171,4	214,4	174,9	53,5	186,7	202,6
	10	148,3	100,9	126,3	146,7	119,1	35,4	128,2	148,4
	15	112,2	76,9	100,0	116,7	92,8	26,9	98,8	114,8
	30	76,1	48,3	61,5	77,7	59,4	16,3	60,4	71,7
	60	42,5	30,4	34,8	50,0	37,4	10,1	36,3	43,8
	120	24,9	19,1	18,6	30,5	23,1	6,6	22,4	26,5
	180	18,5	14,5	12,7	21,8	15,5	5,4	17,4	19,7
$C = 2$ lata	5	266,7	202,2	222,8	323,7	232,5	186,6	214,3	273,8
	10	183,3	127,1	164,2	221,0	157,6	121,8	172,3	200,5
	15	154,4	96,8	130,0	175,6	122,9	91,1	141,3	155,4
	30	99,4	60,9	80,0	116,3	78,6	53,1	86,3	96,9
	60	56,1	38,3	45,2	74,5	49,8	30,6	45,5	59,2
	120	35,6	24,0	24,2	44,8	30,7	18,2	26,8	35,8
	180	25,3	18,3	16,5	31,7	23,2	13,9	22,9	26,7
Odchylenie wyników z modeli względem danych pomiarowych w [%]									
$C = 1$ rok	5	-	-25%	-20%	1%	-18%	-75%	-12%	-5%
	10	-	-32%	-15%	-1%	-20%	-76%	-14%	0%
	15	-	-31%	-11%	4%	-17%	-76%	-12%	2%
	30	-	-37%	-19%	2%	-22%	-79%	-21%	-6%
	60	-	-28%	-18%	18%	-12%	-76%	-15%	3%
	120	-	-23%	-25%	22%	-7%	-73%	-10%	6%
	180	-	-22%	-31%	18%	-16%	-71%	-6%	6%
$C = 2$ lata	5	-	-24%	-16%	21%	-13%	-30%	-20%	3%
	10	-	-31%	-10%	21%	-14%	-34%	-6%	9%
	15	-	-37%	-16%	14%	-20%	-41%	-8%	1%
	30	-	-39%	-20%	17%	-21%	-47%	-13%	-3%
	60	-	-32%	-19%	33%	-11%	-45%	-19%	6%
	120	-	-33%	-32%	26%	-14%	-49%	-25%	1%
	180	-	-28%	-35%	25%	-8%	-45%	-9%	6%

Skrajnie niedopasowane wyniki in minus dają formuły (tab. 2.14): Wołoszyna od -30 do -76% i Błaszczyka od -22 do -39% , a niezadowalające, formuły: Licznara i Łomotowskiego od -6 do -25% oraz Chomicza, zawyżone od -1 do 33% . Kotowski z zespołem wskazują, że należało się spodziewać różnic w wynikach głównie ze względu na zróżnicowane podejście metodyczne do opracowywania wzorów-modeli fizykalnych oraz odmienne okresy analizowanych danych opadowych, w tym zmiany klimatu [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011a-e, 2015].

Modele probabilistyczne

Losowy charakter występowania i przebiegu opadów deszczu może powodować trudności w formułowaniu modeli matematycznych-probabilistycznych, co przedstawiono w pierwszej części rozdziału. Fakt ten skłania do korzystania z narzędzi analitycznych jakie oferują rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. Kaczmarek w pracy z 1970 roku [Kaczmarek 1970] podkreśla znaczenie coraz większego (już w tamtych czasach)

zainteresowania modelami probabilistycznymi w badaniach hydrologicznych i meteorologicznych. W Polsce badania nad opisem zdarzeń losowych, których przyrodnicze zdarzenia ekstremalne są szczególnym przypadkiem, nie należą więc do nowych. W książce Kaczmarka z 1970 roku znajdujemy odniesienia do prac Dębskiego sięgających lat 50-tych [Dębski 1954], a nawet 30-tych [Dębski 1936] czy Rybczyńskiego z zespołem z roku 1933 [Rybczyński i inni 1933], a także do nowszych prac z lat 50-tych i 60-tych - Strupczewskiego z roku 1967 [Strupczewski 1967] i autora [Kaczmarek 1960a, 1960b]. Strupczewski i Napiórkowski w pracy [Strupczewski i Napiórkowski 1981] zaznaczają, że modele probabilistyczne powinny realizować kompromis pomiędzy dokładnością odwzorowania istotnych cech analizowanego zjawiska a prostotą jego określenia i zastosowania. Ciepielowski i Dąbkowski podkreślają, że zastosowanie metod statystycznych w polskich badaniach hydrologicznych zawdzięczamy Dębskiemu, a ich znaczący rozwój Kaczmarkowi [Ciepielowski i Dąbkowski 2006]. Istotny wkład w rozwój metod statystycznych w zastosowaniach hydrologii inżynierskiej i inżynierii środowiska należy przypisać Strupczewskiemu [Strupczewski 1967, Strupczewski, Napiórkowski 1981, Strupczewski i inni 1996, 2001a, 2001b], Sowińskiemu [Sowiński 1980, 1984], Mitoskowi [Mitosek 2003, 2009], Węglarczykowi [Węglarczyk 2010, 2012], Licznarowi [Licznar 2009a–b, 2018] oraz Kotowskiemu i Kaźmierczakowi [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011a–e, 2015, Kaźmierczak, Kotowski 2015, Kaźmierczak 2019].

Sowiński w 1980 roku opracował maksymalne roczne wartości jednostkowych natężeń deszczy o określonym czasie powtarzalności T (równoważnik częstości występowania C), dla czasów trwania $t = 5, 10, 30, 60$ oraz 120 min dla Wrocławia (na podstawie danych wykorzystanych przez Błaszczyka), a następnie w 1984 roku dla Poznania (w oparciu o dane ze stacji IMGW-PIB Poznań-Ławica z lat 1960–1979). Analizy statystyczne zostały oparte na rozkładzie prawdopodobieństwa logarytmiczno-normalnym, a w ich wyniku powstały dwie zależności: dla Wrocławia (2.41) i dla Poznania (2.42) [Sowiński 1980, 1984, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011]:

$$q_{\max} = 166,67 \cdot I_{\max} = b_0 + b_1 \frac{1}{t} + b_2 \frac{1}{t^2} \quad (2.41)$$

$$q_{\max} = 166,67 \cdot I_{\max} = \exp \left[\ln \bar{m} + \sigma_{\ln i} F_u^{-1} \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] + 0,45 \sigma_i \quad (2.42)$$

gdzie:

- I_{\max} – intensywność maksymalnego opadu deszczy [$\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$],
- q_{\max} – jednostkowe maksymalne natężenie opadu [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$],
- T – okres powtarzalności występowania deszczy o natężeniu większym lub równym I_{\max} ,
- t – czas trwania deszczy [min lub h],
- b_0, b_1, b_2 – współczynniki regresji, zależne od prawdopodobieństwa p [-],
- $\bar{m} = \bar{i} \cdot \exp \left(-\frac{1}{2} \sigma_{\ln i}^2 \right)$ – mediana zmiennej losowej $\ln i$,
- \bar{i} – wartość średnia zmiennej losowej i ,

$$\sigma_{\ln i} = \sqrt{\ln \left[\left(\frac{\sigma_i}{i} \right)^2 + 1 \right]} - \text{odchylenie standardowe zmiennej losowej } \ln i,$$

σ_i – odchylenie standardowe zmiennej i ,

F_u^{-1} – argument funkcji rozkładu normalnego.

Sowiński opracowując modele dla Wrocławia i Poznania wskazuje, że otrzymane wyniki różnią się średnio od 24 do 31% względem wyników z modelu Błaszczyka, a z uwagi na zróżnicowane odchylenia (raz zaniżane innym razem zawyżane) nie sposób zaproponować systematycznej poprawki. Istotne wnioski jakie sformułował Sowiński to: krytyczna ocena stosowania modelu Błaszczyka i potrzeba zastąpienia go modelem opartym na rozkładzie probabilistycznym; wykorzystanie rozkładu logarytmiczno-normalnego do opracowania modelu opadowego; wykorzystanie minimum 20 letniego ciągu danych o opadach intensywnych i różnym czasie trwania; wykorzystanie maksymalnych rocznych wartości opadu (*AMP*) w celu stworzenia wieloletniej próby losowej. Sowiński podkreśla, że „*dla innych regionów korzystniejsze mogą okazać się równania o innej budowie*” [Sowiński 1984]. Kotowski zaznacza, że wzór Sowińskiego ze względu na poziom skomplikowania nie znalazł uznania wśród inżynierów środowiska do projektowania kanalizacji deszczowej [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011a–e, 2015].

Podobnie, zastosowania nie znalazła propozycja Strupczewskiego i Napiórkowskiego z 1981 r., która sięgała badań Dębskiego [Dębski 1936, 1954], Kaczmarka [Kaczmarek 1960], badań własnych Strupczewskiego [Strupczewski 1967] oraz źródłowej literatury zagranicznej (np. Gumbela [Gumbel 1954]), a która została w praktyce wykorzystana jedynie w Atlasie Hydrologicznym IMGW pod redakcją Stachy [Strupczewski, Napiórkowski 1981, Stachy 1987]. Strupczewski i Napiórkowski przedstawili analizę statystyczną zdarzeń opadowych identyfikując maksymalne wartości w procedurze stosowanej w hydrologii do określenia tzw. przepływów prawdopodobnych. Autorzy wykazali, że jeśli w analizowanym wieloletnim ciągu danych pomiarowych wysokości opadu podlegają rozkładowi wykładniczemu, a liczba epizodów opadowych, bez względu na czas trwania podlega rozkładowi Poissona, to zachowując niezależność poszczególnych zdarzeń opadowych oraz stacjonarność (jednorodność) otrzymanego ciągu danych, wartości maksymalne podlegają rozkładowi Fishera–Tippeta typu I, znanego również jako rozkład Gumbela. Istotne dla niniejszej pracy jest wskazanie rozkładu prawdopodobieństwa Gumbela do ustalenia zależności pomiędzy wysokością opadów maksymalnych (względnie maksymalnej intensywności opadu) a czasem ich trwania i prawdopodobieństwem/częstością przewyższenia, a w tym oszacowanie maksymalnej wysokości opadu za pomocą kwantyla zmiennej losowej h_p o zadanym prawdopodobieństwie p , którego parametry estymowane są metodą największej wiarygodności według poniższych zależności:

$$h_p = \frac{1}{\alpha} (\ln \lambda_p + y_p) + \varepsilon, \text{ dla } p \leq 1 - e^{-\lambda_p} \quad (2.43)$$

$$\text{oraz } y_p = -\ln[-\ln(1 - p)] \quad (2.44)$$

gdzie:

h_p – wysokość opadu maksymalnego [mm],

- y_p – funkcja prawdopodobieństwa,
 p – prawdopodobieństwo przewyższenia [-],
 λ_p – średnia liczba przypadków występowania opadów w roku $\frac{m}{N}$,
 α, ε – parametry rozkładu teoretycznego Fishera–Tippeta typu I, [mm],
 m – liczebność zbioru (w roku),
 N – liczba lat obserwacji.

W *Atlasie hydrologicznym Polski* pod redakcją Stachy'ego (1986, 1987), przedstawiono wzór na maksymalną wydajność deszczu ulewnego [Stachy 1987, Licznar, Łomotowski 2005, Licznar i inni 2005, Ciepeliowski, Dąbkowski 2006]:

$$h_{p,t} = \frac{A - B y_p}{t^n} \quad (2.45)$$

gdzie:

- $h_{p,t}$ – wysokość opadu maksymalnego w funkcji czasu trwania opadu t [min] i prawdopodobieństwa przewyższenia p [-],
 y_p – funkcja prawdopodobieństwa wg zależności (2.44),
 A, B, n – współczynniki regresji [mm].

Zależność (2.45) opracowano na zbiorze danych pomiarowych z największej jak dotąd liczby 121 stacji meteorologicznych IMGW, pochodzących z ciągłych rejestracji deszczów w latach 1966–1975. Zakres stosowania formuły opadowej dotyczy czasów trwania opadu $t = 5, 10, 15, 30, 60$ oraz 120 minut. Parametry równania (2.45) oszacowane metodą największej wiarygodności dla wybranych stacji dorzecza górnej i środkowej Odry zestawiono w tabeli 2.15.

Tab. 2.15. Wartości parametrów równania (2.45) z Atlasu Hydrologicznego Polski, dla wybranych stacji meteorologicznych [Stachy 1987, Ciepeliowski, Dąbkowski 2006]

Lp	Nazwa stacji pomiarowej	Parametr a			Błąd s [mm]
		A	B	n	
1	Głubczyce	3,70	-2,07	-0,33	1,9
2	Racibórz	3,92	-1,76	-0,27	1,4
3	Opole	4,31	-1,72	-0,32	1,6
4	Międzylesie	3,93	-1,40	-0,36	3,0
5	Łądek-Zdrój	3,55	-1,10	-0,38	1,8
6	Kłodzko	4,72	-1,95	-0,36	2,9
7	Mieroszów	3,57	-1,14	-0,42	2,6
8	Otmuchów	2,48	-1,40	-0,42	2,2
9	Wrocław-Strachowice	4,57	-1,85	-0,32	2,4
10	Legnica	3,18	-2,28	-0,32	2,2
11	Smolice	3,48	-1,69	-0,33	1,6
12	Leszno	4,79	-2,25	-0,31	2,6
13	Zielona Góra	4,46	-2,46	-0,27	2,3
14	Karpacz	3,42	-1,90	-0,39	2,1
15	Jelenia Góra	4,37	-2,01	-0,30	2,0
16	Sobolice	5,87	-1,30	-0,25	1,3
17	Słubice	4,35	-1,80	-0,33	1,8

Wartość s oznacza średni błąd (w mm) oszacowania kwantyla h_p , określony w oparciu o próbę losową maksymalnych opadów deszczu według zależności (2.46) za Strupczewskim [Strupczewski 1967, Strupczewski, Napiórkowski 1981, Stachy 1987]:

$$s_{hp,t} = \left[\frac{1}{\lambda_p} \left(\ln \lambda_p + y_p \right)^2 + \frac{1}{\lambda_p^2} \right]^{-2} \cdot \frac{B}{t^n \cdot \sqrt{N}} \quad (2.46)$$

W tabeli 2.16 zestawiono obliczone z (2.45) dla wartości parametrów z tabeli 2.15, wysokości opadów maksymalnych o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 0,01$ ($C = 100$ lat), tzn. opadów najrzadziej występujących, a więc również o najwyższych teoretycznie wartościach. Obliczone wartości kwantyli zmiennych losowych: dla czasu trwania $t = 5$ min wahają się od 17,3 mm w Mioszowie koło Wałbrzycha do 24,9 mm w Lesznie, a dla czasu trwania $t = 10$ min wysokości opadów największych wahały się od 22,4 mm w Raciborzu do 31,4 mm w Kłodzku, co daje różnicę odpowiednio około 8 mm oraz 9 mm. Dla najdłuższego czasu trwania opadów deszczu, oferowanego przez Atlas Hydrologiczny (1987) $t = 120$ min, wysokości opadów maksymalnych zmieniają się od 43,8 mm w Raciborzu do 78,7 mm w Karpaczu, przez co różnica wynosi ponad 30 mm. Warto podkreślić, że autorzy wskazują iż, dane z atlasu nie są zalecane do stosowania dla prawdopodobieństw poniżej $p = 0,01$, ze względu na wzrost błędu oszacowania - od kilkunastu do kilkudziesięciu milimetrów [Stachy 1987]. Licznar z zespołem dodatkowo podnosili, że praca była oparta na stosunkowo krótkiej, bo 10 letniej serii opadowej oraz wykorzystywała czasy trwania opadów do 2 godzin, co jest na ogół wystarczające na potrzeby projektowania kanalizacji ale nie daje szerszego poglądu na warunki opadowe [Licznar i inni 2005].

Tab. 2.16. Wysokości opadów deszczu o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 0,01$ określone na podstawie (2.45) dla wybranych stacji meteorologicznych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry

Nazwa stacji	Wysokość opadu h [mm] dla czasów trwania t					
	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
Racibórz	18,6	22,4	25,0	30,1	36,3	43,8
Opole	20,5	25,5	29,1	36,3	45,3	56,6
Kłodzko	24,4	31,4	36,3	46,6	59,8	76,7
Mioszów	17,3	23,2	27,5	36,8	49,2	65,8
Wrocław-Strachowice	21,9	27,3	31,1	38,8	48,5	60,5
Legnica	22,9	28,6	32,5	40,6	50,7	63,2
Leszno	24,9	30,9	35,1	43,5	53,9	66,8
Zielona Góra	24,4	29,4	32,8	39,5	47,7	57,5
Karpacz	22,8	29,8	35,0	45,8	60,0	78,7
Jelenia Góra	22,1	27,2	30,7	37,8	46,5	57,3
Słubice	21,5	27,0	30,9	38,8	48,8	61,3

Ważnymi próbami usystematyzowania wiedzy o intensywnych opadach deszczu w Polsce były prace Kupczyk i Suligowskiego z 1997 roku, kontynuowane przez Suligowskiego i opublikowane w roku 2004, a także prace Bogdanowicz i Stachy'ego z lat 1997–1998. Prace obu zespołów badawczych prowadzone były niemal równolegle na tym samym wieloletnim okresie 1960–1990 i obejmowały obszar Polski. W przypadku Bogdanowicz i Stachy'ego pracowano na 20 stacjach pomiarowych IMGW, natomiast Kupczyk i Suligowski pracowali na 40 stacjach meteorologicznych IMGW. Różnica polegała na doborze stacji obu zespołów, bowiem Bogdanowicz i Stachy zdecydowali się na dane pochodzące ze stacji synoptycznych czyli stacji meteorologicznych najwyższego rzędu z obsługą etatową, natomiast Kupczyk i Suligowski wybrali oprócz stacji synoptycznych również te niższego rzędu obejmując większy obszar, w tym obszar podgórski, co wykluczył zespół IMGW. W zbiorze danych Kupczyk i Suligowskiego nie znalazła się niemal połowa

stacji Bogdanowicz i Stachý (Koszalin, Chojnice, Olsztyn, Koło, Zamość, Przemyśl, Racibórz, Kłodzko i Zgorzelec), natomiast autorzy wykorzystali stacje pomiarowe w najbliższym sąsiedztwie, których wyniki powinny być porównywalne. Zespoły badawcze przyjęły również nieco odmienne podejście do selekcji danych niezbędnych do przeprowadzenia analiz statystycznych (co szerzej opisano w rozdziale 2.2.3), oraz wyboru rozkładu prawdopodobieństwa do określenia kwantyla zmiennej losowej (rozdział 2.2.4). Efektem końcowym prac obu zespołów było, oprócz szerokiego opisu metodycznego opracowania intensywnych danych opadowych, opracowanie zależności na maksymalne wysokości lub natężenia jednostkowe deszczy dla Polski, z podziałem na regiony, a w przypadku prac Suligowskiego z roku 2004 również z uwzględnieniem genezy powstania opadów [Bogadnowicz, Stachý 1997a i b, 1998, Suligowski, Kupczyk 1997, Suligowski 2004, Licznar i inni 2005, Twardosz 2005, Licznar, Łomotowski 2005, Ciepiewski, Dąbkowski 2006, Kotowski i inni 2010, 2011, Kotowski 2011a–e, 2015, Suligowski 2012, Węglarczyk 2014, Wdowikowski i inni 2017a–b, Licznar i inni 2018b, Licznar 2018, Kaźmierczak 2019]:

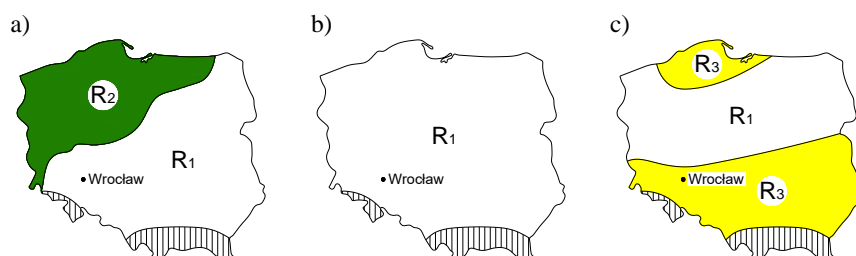
Regionalny Model Bogdanowicz–Stachý (1998)

$$h_{p,t} = 1,42t^{0,33} + \alpha(R,t) \cdot (-\ln p)^{0,584} \quad (2.47)$$

gdzie:

$h_{p,t}$ – maksymalna wysokość opadu w funkcji prawdopodobieństwa przewyższenia $p \in (0; 1]$ oraz czasu trwania opadu t [mm],

$\alpha(R,t)$ – parametr skali opisany zależnościami od regionu Polski oraz czasu t (wg tab. 2.17, rys. 2.10).



Rys. 2.10. Regiony opadów maksymalnych: a) dla czasów trwania deszczy $t \in [5; 60]$ 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). Opracowana na podstawie [Kotowski i inni 2010, Wdowikowski i inni 2017a]

Tab. 2.17. Zależności regionalne $\alpha(R,t)$ dla poszczególnych przedziałów czasu trwania opadu, opracowano na podstawie [Bogadnowicz, Stachý 1998]

Region R_i	Zależność $\alpha(R,t)$ dla przedziałów t [min]					
	5–30	30–60	60–120	120–720	720–1080	1080–4320
R_1	(2.48)	(2.49)	nie ma zastosowania			
R_2	(2.50)			(2.51)		(2.52)
R_3	nie ma zastosowania				(2.53)	

$$\alpha(R,t) = 3,920 \ln(t + 1) - 1,662 \quad (2.48)$$

$$\alpha(R,t) = 9,160 \ln(t + 1) - 19,600 \quad (2.49)$$

$$\alpha(R, t) = 4,693 \ln(t + 1) - 1,249 \quad (2.50)$$

$$\alpha(R, t) = 2,223 \ln(t + 1) - 10,639 \quad (2.51)$$

$$\alpha(R, t) = 3,010 \ln(t + 1) - 5,173 \quad (2.52)$$

$$\alpha(R, t) = 9,472 \ln(t + 1) - 37,032 \quad (2.53)$$

Model Kupczyk–Suligowskiego (1997, 2004)

$$I_{p,t} = A_0 \cdot t_r^B \quad (2.54)$$

gdzie:

$I_{p,t}$ – maksymalna intensywność opadu dla założonego prawdopodobieństwa przewyższenia $p = 1, 5, 10, 20, 50$ i 90% i czasu trwania opadu t_r [$\text{mm} \cdot \text{godz}^{-1}$],

A_0, B – parametry równań regresyjnych między dystrybucjami teoretycznymi intensywności opadów zgodnych z rozkładem prawdopodobieństwa Frecheta (Fischera–Tippeta typu II), a 12 przedziałami czasu trwania opadów.

W tabeli 2.18 przedstawiono wybrane wartości parametrów niezbędnych do obliczenia punktowej (obowiązującej dla konkretnej stacji pomiarowej) maksymalnej intensywności deszczu dla prawdopodobieństw przewyższenia $p \in [0,01; 0,9]$ według (2.54) dla stacji zlokalizowanych w dorzeczu górnej i środkowej Odry, które były przedmiotem analizy Kupczyk i Suligowskiego. W opracowaniu [Suligowskiego 2004] zestawione są wartości dla wszystkich analizowanych przez autorów stacji pomiarowych.

Tab. 2.18. Wartości współczynników równań regresyjnych do (2.54) dla wybranych stacji pomiarowych IMGW na podstawie [Suligowski 2004]

		Jelenia Góra	Legnica	Leszno	Mioszów	Międzylesie	Opole	Wrocław	Zielona Góra
$p = 0,01$	A_0	1348,8	792,3	844,7	1383,0	1299,8	759,8	726,3	1408,1
	B	-0,887	-0,760	-0,753	-0,880	-0,854	-0,751	-0,762	-0,873
$p = 0,05$	A_0	760,5	670,5	599,4	1055,7	841,3	556,1	577,1	825,5
	B	-0,854	-0,818	-0,785	-0,897	-0,863	-0,774	-0,799	-0,858
$p = 0,10$	A_0	640,9	650,0	511,3	991,3	673,2	484,4	516,5	655,9
	B	-0,845	-0,858	-0,798	-0,923	-0,854	-0,783	-0,813	-0,853
$p = 0,20$	A_0	481,1	516,5	435,7	906,9	532,2	415,7	456,7	521,1
	B	-0,839	-0,849	-0,812	-0,943	-0,845	-0,791	-0,826	-0,850
$p = 0,50$	A_0	320,5	370,9	345,2	772,8	1028,6	326,4	374,3	354,2
	B	-0,812	-0,840	-0,863	-0,968	-0,833	-0,799	-0,841	-0,836
$p = 0,90$	A_0	217,2	242,7	253,4	641,0	234,6	1387,1	284,6	221,4
	B	-0,893	-0,840	-0,864	-1,004	-0,815	-0,804	-0,856	-0,825

Suligowski analizując zebrany materiał pluwiograficzny pod kątem genezy powstawania opadów deszczu w Polsce podjął się próby regionalizacji opadów, wydzielając obszary wspólne dla opadów: konwekcyjnych (A_k, B_k, C_k, D_k i E_k), frontalnych (A_f, B_f i C_f) oraz niżowych (A_n, B_n i C_n), co przedstawiono na rys. 2.11. Podstawą określenia średnich regionalnych wartości intensywności opadów było wykorzystanie rozkładów prawdopodobieństwa, których parametry były estymowane metodą momentów liniowych (MML) jako alternatywną do części zalecanej metody największej wiarygodności (MNW), wg literatury krajowej i zagranicznej [Kaczmarek 1970, Storch, Navarra 1999, Coles 2001,

Storch, Zwiers 2002, Helsel, Hirsh 2002, Mitosek 2003, 2009, Wilks 2006, Węglarczyk 2010, 2012, Maity 2018]. W analizie rozpatrywane były cztery trójparametrowe rozkłady prawdopodobieństwa: logarytmiczno-normalny ($LogN$), uogólniony logistyczny ($GLog$), uogólniony wartości maksymalnej (GEV) oraz rozkład Pearsona typu III ($P3$). W wyniku przeprowadzonych testów zgodności teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa z regionalnymi wartościami empirycznymi opadów ostatecznie wybrano dwa rozkłady: $LogN$ i GEV .



Rys. 2.11. Regiony opadów maksymalnych z uwzględnieniem genezy powstawania opadu:
a) konwekcyjny; b) frontalny; c) niżowy. Opracowano na podstawie [Suligowski 2004]

Wyniki kwantyli regionalnych wartości średnich intensywności deszczów obliczonych dla prawdopodobieństw przewyższenia $p = 1\%$, 5% i 10% z podziałem na typy genetyczne opadów oraz użyte rozkłady prawdopodobieństwa zestawiono w tabeli 2.19.

Tab. 2.19. Wartości kwantyli regionalnych wartości średnich intensywności deszczu I [$mm \cdot godz^{-1}$] dla zadanych prawdopodobieństw przewyższenia dla rozkładów $LogN$ i GEV [Suligowski 2004]

Region	Rozkład	$p = 0,01$	$p = 0,05$	$p = 0,1$
Opady konwekcyjne				
A_k	GEV	29,2	35,7	57,9
	LogN	30,0	36,7	56,6
B_k	GEV	37,8	46,5	77,4
	LogN	39,0	48,0	75,9
C_k	GEV	36,5	45,1	74,0
	LogN	37,6	46,3	72,3
D_k	GEV	50,9	61,8	95,2
	LogN	51,8	62,8	92,8
E_k	GEV	33,6	41,2	66,4
	LogN	34,5	42,2	64,8
Opady frontalne				
A_f	GEV	10,7	12,7	18,9
	LogN	10,9	12,9	18,4
B_f	GEV	9,7	11,8	18,6
	LogN	9,9	12,0	18,1
C_f	GEV	9,1	11,3	18,4
	LogN	9,4	11,6	18,0
Opady niżowe				
A_n	GEV	5,0	5,8	7,8
	LogN	5,1	5,8	7,7
B_n	GEV	3,3	3,9	5,6
	LogN	3,3	3,9	5,5
C_n	GEV	3,3	3,9	5,7
	LogN	3,3	4,0	5,6

Suligowski wskazuje, że nawet nie biorąc pod uwagę genotypu opadów średnie wartości regionalne są zbliżone dla zastosowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla różnych częstości występowania opadów. Na podstawie danych zawartych w tabeli 2.19, można jednoznacznie stwierdzić, że różnice pomiędzy wartościami kwantyli nie są na ogół większe niż 3 mm, a często nie przekraczają 0,5 mm, co z uwagi na fizykę zjawiska jest wynikiem bardzo dobrym. W pracy [Suligowski 2004] dokonano opisowego porównania wybranych wartości średnich regionalnych intensywności opadów z wynikami otrzymanymi z modelu (2.54) uzyskanymi na bazie rozkładu Frecheta, oceniając je jako zbliżone i zadawalające (np. średnia wartość regionalna opadu konwekcyjnego D_k dla $p = 10\%$ wynosi: dla rozkładu GEV 50,9 mm/godz. i dla $LogN$ 51,9 mm·godz⁻¹, a kwantyl rozkładu Frecheta dla Gniezna (leżącego w strefie D_k) wyniósł 50,9 mm·godz⁻¹). W pracy nie podano szczegółowej zależności na podstawie której zostały określone wartości regionalnych intensywności deszczu oraz nie odniesiono wyników np. do dotychczasowych badań.

Model Twardosza dla Krakowa (2005)

Jak ważna jest świadomość relacji warunków synoptycznych z występowaniem intensywnych opadów deszczu wykazał Twardosz [Twardosz 2005], za Niedźwiedziem [Niedźwiedź 1989]. W 2005 roku wykonał analizę danych opadowych w ujęciu synoptycznym i probabilistycznym dla Krakowa na podstawie najdłuższego dotąd ciągu danych w Polsce, tj. dla okresu od 1886 do 2002 r. Praca ta była oparta o analizę największych wartości godzinowych w roku, w dwóch grupach czasów trwania: pierwsza od 1 godziny do 120 godzin, druga od 1 godziny do 24 godzin. Górny przedział czasu trwania drugiej grupy (24 godz.) ograniczało określenie typu cyrkulacji atmosferycznej, którą wskazuje się na jedną dobę. Dane powyżej 2 godzin separowane były jako tzw. zmienne przesuwane (sumy ruchome) tworząc za Wit-Józwickiem [Wit-Józwick 1977] zbiory niezależnych statystycznie, przedziałowych deszczy rzeczywistych, nazwanych przez autora „deszczami indywidualnymi”. Twardosz korzystając z doświadczeń Bogdanowicz i Stachý [Bogdanowicz i Stachý 1998] podjął próbę korekty wartości opadów określanych w sztywnych przedziałach godzinowych stosując współczynnik korekcyjny Weissa (k_w), zalecany przez WMO [WMO 2008] oraz stosowany przy opracowywaniu danych na potrzeby atlasu KOSTRA [Bartels i inni 2005, Malitz i inni 2015]. Pomimo wspomnianych rekomendacji, Twardosz dla serii danych krakowskich, porównanie wyników obliczeń z określonymi empirycznie przedziałowymi sumami ruchomymi opadów ocenił jako nieprzydatne. Do opisu probabilistycznego maksymalnych opadów autor badał trzy rozkłady prawdopodobieństwa: Gumbela, Pearsona typ III oraz Weibulla, z czego po zastosowaniu procedury oceny jakościowej wyników do konstrukcji kwantyla zmiennej losowej wykorzystał rozkład Gumbela. Analiza wartości parametrów rozkładu funkcji gęstości (estymowanych wg MNW) opadów maksymalnych z czasu ich trwania w przedziale $t \in [1; 120]$ godzin, pozwoliła określić istnienie silnej zależności opisanej poniższymi równaniami wielomianowymi (2.55–2.56):

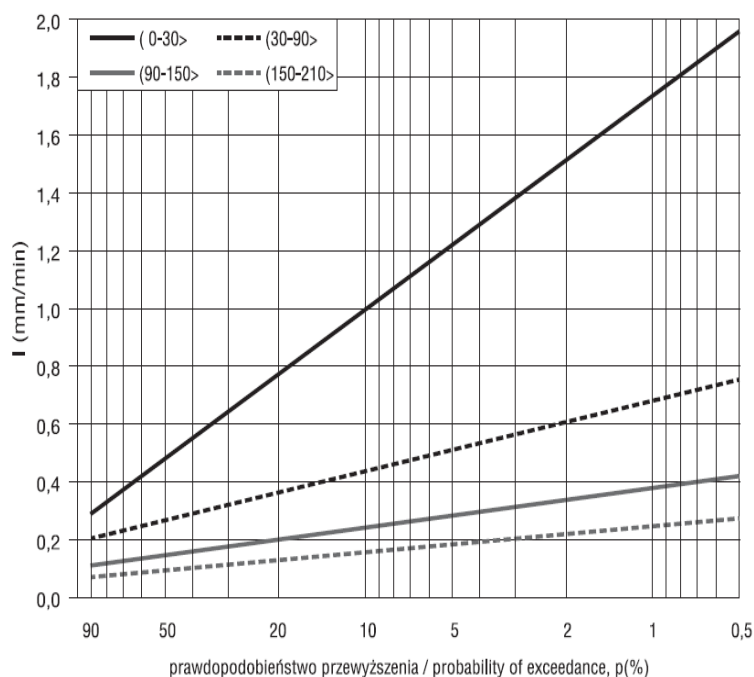
$$\alpha(t) = (5,88 \pm 2,23)(\log t)^2 + (8,78 \pm 0,54)\log t + (17,04 \pm 0,31) \quad (2.55)$$

$$\beta(t) = (3,47 \pm 0,19)(\log t)^2 - (0,36 \pm 0,35)\log t + (7,17 \pm 0,28) \quad (2.56)$$

gdzie wysokość opadów maksymalnych wyrażonych jako kwantyl zmiennej losowej, rozkładu Gumbela, o zadanym czasie trwania t i prawdopodobieństwie przekroczenia p przyjęła postać:

$$h_{p,t} = \alpha(t) - \beta(t) \ln[-\ln(1 - p)] \quad (2.57)$$

Dla przyjętych 10 typów cyrkulacji atmosferycznej w oparciu o rozkład Gumbela, Twardosz zaproponował łącznie 20 równań opisujących odpowiednio parametry α i β w funkcji czasu ich trwania oraz osobno 4 równania opisujące dwie grupy (po 5 typów każda) cyrkulacji atmosferycznej. Pracę Twardosza wyróżnia opis równań parametrów i samego modelu probabilistycznego z podaniem błędu standardowego estymacji parametrów oraz prezentowanie wyników modeli opadowych w 95% przedziałach ufności, zgodnie z metodyką przedstawioną przez Kaczmarska [Kaczmarek 1960, 1970]. Twardosz nawiązując do prac Niedźwiedzia, Kupczyk i Suligowskiego [Niedźwiedź 1989, Kupczyk, Suligowski 1997] oprócz zależności na wysokość opadów maksymalnych (2.55–2.57) zaproponował model na maksymalną intensywność opadów dla Krakowa, przyjmując 4 klasy intensywności - dla czasów: do 30 min, 31–90 min, 91–150 min oraz 151–210 min. Co istotne, to fakt wykorzystania przez Twardosza metody największych wartości (przy wyborze danych z epizodów opadowych z badanego okresu wieloletniego), w której dla każdej klasy czasu trwania opadu dokonał wyboru najwyższych wartości intensywności opadów, o liczebności co najmniej równej liczbie lat obserwacji.



Rys. 2.12. Krzywe prawdopodobieństwa przewyższenia maksymalnego intensywności opadów o czasach trwania do 210 min dla Krakowa w latach 1886–2002 [Twardosz 2005]

Rysunek 2.12 przedstawia przebieg zależności intensywności opadów i prawdopodobieństwa przekroczenia w określonych przedziałach czasu trwania opadów, opracowanych przez Twardosza. Autor wybrał rozkład prawdopodobieństwa Weibulla jako rozkład teoretyczny najlepiej opisujący wybrane dane pomiarowe. Warto zauważyć, że do określenia wysokości opadów maksymalnych Twardosz zastosował rozkład Gumbela, co

świadczy o istotnym związku między sposobem selekcji danych empirycznych a doborem rozkładu prawdopodobieństwa przy opracowaniu modelu opadowego.

Modele Kotowskiego i Kaźmierczaka dla Wrocławia (2010–2015)

Zespół badawczy Kotowskiego, bazując na dotychczasowej wiedzy opisanej w literaturze przedmiotu i własnych doświadczeniach związanych z opracowaniem modeli fizykalnych [Kotowski, Kaźmierczak 2009], analizował opady maksymalne dla Wrocławia za okres 1960–2009, czego efektem było opublikowanie w 2010 roku dwóch modeli probabilistycznych przeznaczonych do wymiarowania odwodnień terenów [Kotowski, inni 2010, 2011, Kotowski, Kaźmierczak 2011, Kotowski 2011d,e]. Pierwszy model opadowy, skonstruowany na rozkładzie prawdopodobieństwa Weibulla (Fishera–Tipetta typ III_{min}) obejmował czas trwania opadów t od 5 do 4320 min i prawdopodobieństwa przekroczenia: $p \in [0,01; 1]$, wg zależności [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, Kaźmierczak 2019]:

$$h_{p,t} = -4,58 + 7,41t^{0,242} + (97,105t^{0,0222} - 98,675)(-\ln p)^{0,809} \quad (2.58)$$

Analizowane były także rozkłady Gumbela (Fishera–Tipetta typ I_{max}), logarytmiczno-normalny i Pearsona typ III (Gamma). Za najlepiej opisujący dane pomiarowe największych wysokości opadów uznano rozkład teoretyczny Weibulla. Na tle badanych rozkładów prawdopodobieństwa relatywnie dobre wyniki (tj. zgodność dystrybuanty teoretycznej z empiryczną) uzyskano również dla rozkładu prawdopodobieństwa Pearson typ III, którego postać przedstawili Kotowski i Kaźmierczak w pracach [Kotowski, Kaźmierczak 2013, Kaźmierczak, Kotowski 2012, 2014], jako:

$$h_{p,t} = -4,583 + 7,412t^{0,242} + 26,011(20,713t^{0,0797} - 22,332)(1 - p^{0,0441}) \quad (2.59)$$

W niewielkim odstępnie czasu uwaga wspomnianych badaczy skupiła się na uogólnionym rozkładzie wykładniczym - *GED* (*Generalized Exponential Distribution*), proponowanym przez Gupta i Kundu [Gupta 1999, 2000, 2007]. W Polsce rozkład prawdopodobieństwa *GED* był częściej opisywany w zastosowaniach ekonometrycznych [Fałdziński 2014] niż w analizach hydrologicznych czy meteorologicznych. W 2015 r. zastosowano *GED* do analizy częstości występowania powodzi na wybranych rzekach w Polsce [Markiewicz i inni 2015], natomiast nie wykorzystywano go do analiz opadów maksymalnych. Pierwsze wyniki badań nad zastosowaniem *GED* do opracowania probabilistycznych modeli opadowych zostały opublikowane przez zespół prof. Kotowskiego w 2012 roku [Kotowski, Kaźmierczak 2012], a kolejne w 2015 roku [Kaźmierczak, Kotowski 2015, Kotowski 2015]. Utworzone przy pomocy uogólnionego rozkładu wykładniczego krzywe *DDF* dla Wrocławia (dla danych z lat 1960–2009) w zakresie czasów trwania opadów: $t \in [5; 4320]$ min układały się pomiędzy krzywymi *DDF* opisanymi zależnościami (2.58) oraz (2.59), które i tak były do siebie zbliżone [Kaźmierczak, Kotowski 2015]. Literaturowo rozkład *GED* przyjmuje dwie postacie: dwuparametrową [Gupta i Kundu 1999, 2007, Kotowski, Kaźmierczak 2012, Fałdziński 2014, Kaźmierczak, Kotowski 2015, Markiewicz i inni 2015]:

$$h_p = -\frac{1}{\lambda} \ln \left(1 - (1 - p)^{\frac{1}{\alpha}} \right) \quad (2.60)$$

oraz trójparametrową [Gupta i Kundu 1999, 2007, Kotowski, Kaźmierczak 2012, Kaźmierczak, Kotowski 2015]:

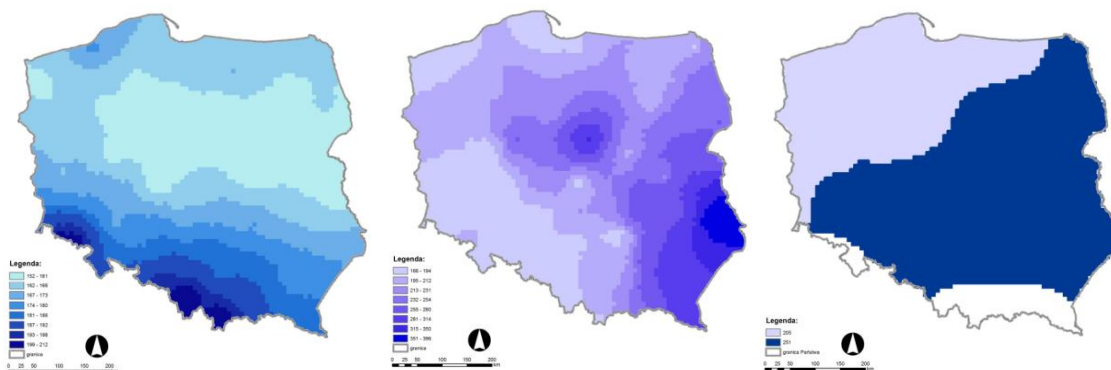
$$h_p = \mu - \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 - (1 - p)^{\frac{1}{\alpha}} \right) \quad (2.61)$$

gdzie λ i α to parametry kształtu i skali, a μ to ograniczenie dolne rozkładu lub parametr położenia.

Kotowski i Kaźmierczak w pracach [Kotowski, Kaźmierczak 2013, 2019, Kotowski 2015] opublikowali zależność na maksymalną wysokość opadów o zadanym czasie trwania ($t \in [5; 4320]$ min) i określonym prawdopodobieństwie przewyższenia ($p \in [0,01; 1]$) dla Wrocławia, w postaci kwantyla trójparametrowego rozkładu GED:

$$h_{p,t} = -4,58 + 7,41t^{0,242} - (186,5t^{0,0106} - 188,0)\ln(1 - (1 - p)^{0,911}) \quad (2.62)$$

Istotnym warunkiem poprawnego formułowania modeli probabilistycznych opadów, umożliwiającym wiarygodne porównywanie wyników analiz, jest dysponowanie długimi (np. z 50 lat pomiarów) seriami danych pluwiograficznych dla danej lokalizacji stacji. Kotowski i Kaźmierczak wybrali stację synoptyczną IMGW-PIB Wrocław-Strachowice. W trakcie przygotowania założeń metodycznych zaproponowali ujednoczenie procedury tworzenia probabilistycznych modeli opadowych [Kotowski 2011e, 2015, Kotowski, Kaźmierczak 2012, 2013, 2015]. Odnosząc się do wcześniej przytaczanych prac Bogdanowicz–Stachy, Kupczyk–Suligowskiego, Suligowskiego, Twardosza i Licznara, oprócz wyboru i oceny jakościowej dopasowania rozkładu prawdopodobieństwa do danych pomiarowych istotna jest także metoda selekcji danych opadowych, która w pracach Kotowskiego i Kaźmierczaka jest opisana jako metoda największych wartości z całej populacji analizowanych epizodów opadowych, wyselekcjonowana z progową wartością opadu z wykorzystaniem skali Chomicza (rys. 2.3). Jest to zatem zbiór największych wartości przedziałowych wysokości opadów w czasie ich trwania (od 5 minut do 4320 min) bez względu na rok wystąpienia opadu maksymalnego. Podejście takie stosowali również Suligowski i Twardosz [Suligowski 2004, Twardosz 2005]. Na konieczność zachowania ostrożności w porównywaniu wyników otrzymanych odmiennymi metodami selekcji danych pomiarowych, wskazują Kotowski, Węglarczyk i Licznar. Badacze podkreślają, że brak świadomości spodziewanej różnicy wyników może prowadzić do mylnej interpretacji, bowiem selekcja danych pomiarowych opadów maksymalnych (lub maksimów rocznych lub też wartości bezwzględnie największych z zastrzeżeniem zachowania niezależności maksimów między sobą), ze względu na założenia analizy statystycznej dają inną informację [Kotowski 2011e, 2015, Węglarczyk 2014, Licznar 2018]. Przykładem ilustrującym z jednej strony konieczność zachowania szczególnej ostrożności podczas porównywani wyników formuł opadowych, z drugiej niebezpieczeństwo stosowania nieaktualnych już zależności do projektowania odwodnień terenów w Polsce, jest przeglądowy artykuł z roku 2015 zespołu Licznara (rys. 2.13) [Licznar i inni 2015]. W pracy wskazano na znaczne różnice wartości natężeń deszczów „miarodajnych” do modelowania hydrodynamicznego kanalizacji, np. dla czasu trwania $t = 15$ min i częstości występowania $C = 10$ lat ($p = 10\%$), wyznaczanych na podstawie dotychczasowych modeli opadowych: Błaszczyka, Suligowskiego oraz Bogdanowicz i Stachy [Licznar i inni 2015]. Otrzymane wyniki wysokości opadów zdecydowanie różniły się, a względne różnice obliczanych wartości natężeń jednostkowych sięgały od -30% do przeszło $+200\%$!



Rys. 2.13. Wartości natężeń deszczów miarodajnych o czasie trwania $t = 15$ min i prawdopodobieństwie $p = 10\%$ ($C = 10$ lat), wyznaczone na podstawie formuł: od lewej Błaszczyka, Suligowskiego, Bogdanowicz i Stachy'ego, przypisane do siatki o rozdzielczości 8,45 km na 8,45 km [Licznar i inni 2015]

Dysponując wstępnymi wynikami projektu *PANDa*, tj. danymi opadowymi ze 100 stacji meteorologicznych z obszaru całego kraju za okres wieloletni 1986–2015, zespół badawczy Kotowskiego i Licznara przeprowadził w 2018 roku weryfikację formuł opadowych Błaszczyka oraz Bogdanowicz i Stachy'ego, wykazując jednoznacznie, że formuła Błaszczyka zaniża obecne natężenia jednostkowe deszczów (średnio o 33% w skali kraju i o 36% w Warszawie), a więc nie nadaje się do stosowania i ma jedynie znaczenie historyczne, a model regionalny Bogdanowicz-Stachy może nieznacznie zawyżać współczesne wysokości opadów (poza $C = 1$ rok, gdzie nie może być stosowany) [Licznar i inni 2018a, 2018b].

2.2.2. Rozwój teorii wartości ekstremalnych (EVT)

Potrzeba analiz intensywnych opadów deszczu, jako miarodajnych do projektowania odwodnień terenów (w tym kanalizacji), jak wskazują między innymi Kotowski, Kaźmierczak czy Licznar [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, Licznar 2018], umożliwiły rozwój instrumentalnych i systematycznych pomiarów opadów deszczu. Na przełomie XIX i XX wieku na terenie Europy opisywano związek intensywności deszczu z czasem jego trwania (2.8), w zależności od posiadanego materiału badawczego. Przykłady ewolucji metod obliczania deszczu miarodajnego na świecie opisane są w wielu opracowaniach naukowych i technicznych. Goel i Sarkar z Indian Institute of Technology w 2007 roku przedstawili przegląd formuł opadowych, które wywarły duży wpływ na obecnie stosowane metody obliczeniowe w Indiach, sięgając angielskich prac lat 30-tych XX wieku, między innymi Shermana (1931), Bernarda (1933) czy Bilhama (1935), które w zmodyfikowanej postaci publikował również Holland (1967), a także prac amerykańskich np. Yarnalla (1935) [Goel, Sarkar 2007]. Przyniesione opracowanie zawiera szereg modyfikacji zapisu (2.8), które między innymi w zależności od: regionu stosowania (USA, UK, Australia, Nowa Zelandia, Sri Lanka, Włochy), czasu trwania oraz wartości natężenia deszczu, przybierały różne formy: Bell (1969), Baghirathan i Shaw (1978), Steel i McGhee (1979), Raudkivi (1979), Chen (1983), Rao (1983), Hall (1984), Ferreri and Ferro (1990). Podobnie miało to miejsce w Polsce, co przedstawiono w rozdziale 2.2.1. Nie brakuje również doświadczeń indyjskich Parthasarathy i Singh (1961), Ayyar i Tripathi (1973, 1974), Ram Babu (1979) czy Kothiyari i Garde (1992).

Równie obszerny opis rozwoju i zastosowania formuł opadowych w krajach zlokalizowanych wokół Oceanu Spokojnego (Pacyfiku) takich jak: Chiny, Japonia, Wietnam, Korea Południowa, Filipiny, Malezja, Indonezja oraz Australia i Nowa Zelandia, podaje raport techniczny UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. kultury, sztuki i nauki), zrealizowany w ramach projektu FRIEND (Flow Regimes from International Experimental and Network Data) [Daniell i Tobias 2008]. Podobnie jak w pracy [Goel, Sarkar 2007], dokument podaje, że lokalnie powstające formuły opadowe w tej części świata oparte były o równanie Talbota, co potwierdza, że był on prekursorem badań w tym zakresie. Oprócz modeli fizykalnych, Daniell i Tobias przedstawiają również współcześnie stosowane podejście probabilistyczne do analiz opadów maksymalnych w poszczególnych państwach, w szczególności wykorzystania rozkładów prawdopodobieństwa oraz czasów trwania opadów, na jakich oparte jest konstruowanie krzywych *IDF* czy *DDF* [Daniell i Tobias 2008]. W tabeli 2.20 zestawiono porównanie metod stosowanych w krajach wokół Oceanu Spokojnego.

Tab. 2.20. Porównanie metod określania krzywych *IDF*, *DDF* w krajach azjatyckich, Australii oraz Nowej Zelandii, wg projektu FRIEND, opracowano na podstawie [Daniell i Tobias 2008]

Lp	Kraj	Rozkład teoretyczny	Czasy trwania opadu t [min]
1	Australia	<i>GEV</i>	6, 12, 1, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1440, 2880, 4320
2	China	<i>P3</i>	10, 30, 60, 120, 180, 540, 720, 1440, 4320
3	Indonezja	<i>Log-P3</i> lub <i>P3*</i>	5, 10, 15, 30, 45, 60, 120, 360, 720
4	Japonia	<i>GEV</i> , <i>EVI</i> , <i>LogN*</i>	10, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1260,
5	Korea Płd.	Normalny, <i>LogN</i> , <i>P3</i> , <i>Log-P3</i> , <i>GEV</i> , <i>EVI</i> , <i>Log-EVI</i> , <i>EV3</i> , Wakeby	10, 30, 60, 120, 180, 360, 540, 720, 900, 1080, 1440, 2880, 4320
6	Malezja	<i>GEV</i> , <i>EVI</i> , <i>GPA</i> (2-parametry), wykładniczy*	15, 30, 60, 180, 360, 720, 1440, 4320
7	Nowa Zelandia	<i>GEV</i> , <i>EVI*</i>	10, 20, 30, 60, 120, 360, 720, 1440, 2880, 4320
8	Filipiny	<i>P3</i> , <i>EVI*</i>	5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 80, 100, 120, 150, 180, 360, 720, 1440, 2880, 4320
9	Wietnam	<i>Log-P3</i>	10, 60, 120, 360, 720, 1440**, 2880

*zależnie od dopasowania rozkładu teoretycznego do danych pomiarowych

**w Wietnamie dodatkowo wyróżnia się opady o $t = 1440$ min i $t = 1$ doba

Istotny zwrot zainteresowania badaczy od zależności fizykalnych w stronę modeli opadowych opartych na rozkładach prawdopodobieństwa, Goel i Sarkar przypisują na rok 1975, kiedy to opublikowany zostaje brytyjski raport pt. *Flood Studies Report* [FSR 1975], w którym do opisu intensywnych opadów deszczu o zadanym czasie trwania i prawdopodobieństwie przekroczenia zostaje wykorzystana (podobnie jak w Indiach¹) rodzina rozkładów uogólnionych wartości ekstremalnych tzw. *GEV* (ang. *generalized extreme value*) [Goel, Sarkar 2007]. O raporcie [FSR 1975] wspominają również Kupczyk, Suligowski, Twardosz i Markiewicz [Kupczyk, Suligowski 1997, Suligowski 2004, Twardosz 2005, Markiewicz i inni 2015]. Na wyspach brytyjskich stanowił on podstawę wielu opracowań eksperckich związanych z ochroną przeciwpowodziową, w tym z powodzią miejską jak *Wallingford Procedure* (1983) czy *Flood estimation for small catchments* (1994), opisanych między innymi w współczesnych pracach dotyczących projektowania

¹ wpływ angielskich metod badawczych w Indiach ma podstawy historycznych związków obu państw.

kanalizacji miejskich [Schütze i inni 2011, Butler, Davis 2011]. Goel i Sarkar wspominają również o serii atlasów opadowych amerykańskiej służby meteorologicznej, które inicjuje w 1961 roku *Rainfall Frequency Atlas of The United States* autorstwa Hershfielda [Goel, Sarkar 2007]. Atlas ten zawiera mapy przedstawiające rozkłady przestrzenne występowania opadów od 30 minut to 24 godzin z częstością występowania od $C = 1$ do $C = 100$ lat. Analizy statystyczne i określenie maksymalnych natężeń/intensywności opadów wykonano w oparciu o rozkład prawdopodobieństwa Gumbela [Hershfield 1961]. Oprócz badań amerykańskich związanych z atlasami opadowymi, Goel i Sarkar przedstawili ważniejsze prace dotyczące wykorzystania rozkładów prawdopodobieństwa do określenia krzywych *IDF* i *DDF*. Były to między innymi prace Niemczynowicza [Niemczynowicz 1982], który wykorzystał rozkład Log-Pearson Typ III w Szwecji, Madsena [Madsen 1998], który w Danii opracował model oparty o dane przedziałowe czasów trwania opadu (ang. *partial duration series*), które opisano rozkładem Poissona, a także prace Koutsoyiannisa i zespołu [Koutsoyiannis i inni 1998], którzy przygotowując matematyczne ramy do badania związków *IDF* w Grecji przeanalizowali rozkłady prawdopodobieństwa: Gumbela, *GEV*, Gamma (Pearson typ III), Log-Pearson typ III, logarytmiczno-normalny (*LogN*), wykładniczy i uogólniony Pareto.

Postęp technologiczny i naukowy ostatnich dwudziestu lat umożliwił większy dostęp do metod i narzędzi analizy matematycznej danych opadowych, co skutkuje większą liczbą publikowanych prac naukowych. Większość obecnych badań dotyczy tzw. teorii wartości ekstremalnych – *EVT* (*Extreme Value Theory*), która w ujęciu ogólnym ma na celu oszacowanie, na podstawie uporządkowanej próby zmiennej losowej, prawdopodobieństwa zdarzeń, które są bardziej ekstremalne niż jakiekolwiek wcześniej zaobserwowane. Teoria odnosi się do prac Frecheta, Fishera i Tipetta z lat 1927–1928 oraz pracy Gumbela z roku 1954, które dały początek tej teorii [Chow 1953, Gumbel 1954, Coles 2001, Haan, Ferreira 2006, Gilleland, Katz 2011, 2016, Fałdziński 2014]. Według założeń teorii wartości ekstremalnych, opisanych szeroko w wielu pracach dotyczących analiz statystycznych opadów, w tym wytycznych WMO jak [WMO 1990, 2009, Storch, Navarra 1999, Coles 2001, Helsel, Hirsh 2002, Haan, Ferreira 2006, Wilks 2006, Fałdziński 2014, Maity 2018], istnieją dwa podejścia do praktycznej analizy wartości ekstremalnej jako zmiennej losowej. Pierwsze, polega na przygotowaniu serii bloków maksimów (lub minimów), co w przypadku analizy opadów atmosferycznych ogranicza się do wyodrębnienia wartości rocznych: *AMS* (*Annual Maxima Series*) lub *AMP* (*Annual Maxima Precipitation*). Druga metoda polega na wyodrębnieniu z ciągłego zapisu wartości największych (lub najmniejszych), osiągniętych dla dowolnego okresu, w którym wartości przekraczają pewien próg - zdefiniowany w dowolny sposób. Metodę tę określa się ogólnie jako metodę proggu odcięcia – *POT* (*Peak Over Threshold*) lub też metodą największych wartości - jeżeli próg nie został wyraźnie opisany. W poszukiwaniu wartości ekstremalnych w konkretnych przedziałach czasu, co bardzo często ma miejsce w przypadku analizy opadów deszczu, w obu wspomnianych metodach znajduje zastosowanie metoda selekcji danych zwana jako seria przedziałowych czasów trwania – *PDS* (*Partial Duration Series*). Teoria wartości ekstremalnych (*EVT*) zakłada, że dobór rozkładu prawdopodobieństwa, jako rozkładu teoretycznego stosowanego do opisu danych pomiarowych (empirycznych), zależy od metody wyodrębnienia danych stanowiących zmienną losową. Bazowym założeniem teorii jest opisywanie danych wyselekcjonowanych

metodą *AMP*, uogólnionym rozkładem wartości ekstremalnych *GEV* lub jego trzema przypadkami tj.: rozkładami Gumbela, Weibulla i Frecheta, natomiast dla danych wyodrębnionych metodą *POT* - opisanie uogólnionym rozkładem Pareto (*GPA*, *GPD*) [WMO 1990, 2009, Storch, Navarra 1999, Coles 2001, Hessel, Hirsh 2002, Jacob i inni 2005, Haan, Ferreira 2006, Wilks 2006, Fawcett, Walshaw 2012, Faldziński 2014, Rutkowska, Banasik 2014, Maity 2018]. Ciągły rozwój teorii, a w szczególności współczesne prace badawcze wskazują, że również inne rozkłady prawdopodobieństwa mogą być stosowane do opisu danych opadowych, na co wpływ ma wiele elementów, jak np. strefa klimatyczna, charakter opadów czy długość ciągu danych opadowych [Canfield i inni 1980, Onyutha 2012, Bezak i inni 2014, Shinyie i inni 2014, Kaźmierczak, Kotowski 2015, Kaźmierczak, Wdowikowski 2016, Hounkpe i inni 2016, Gilleland, Katz 2011, 2016, Maity 2018]. Przedstawione wyżej warunki stanowią punkt wyjścia analizy wartości ekstremalnych jako standardu obliczeń wartości maksymalnych (bądź minimalnych) na świecie, w różnych dziedzinach nauki i techniki, jednak najczęściej znajduje zastosowanie w naukach przyrodniczych i technicznych oraz w ekonomii [Haan, Ferreira 2006, Gilleland, Katz 2011, 2016, Maity 2018].

2.2.3. Tworzenie baz danych opadów maksymalnych

Długość ciągów pomiarowych. Wytyczne klimatologiczne WMO zalecają przyjęcie minimum $N = 30$ lat danych meteorologicznych do opracowania podstawowych charakterystyk [Pruchnicki 1987, WMO 1990, 2007a, b, 2008]. Podobną długość ciągu pomiarowego zaleca się w odniesieniu do opracowań hydrologicznych [Kaczmarek 1970, Mitosek 2003, 2009, Węglarczyk 2010], w szczególności przy opracowywaniu przepływów prawdopodobnych, dopuszczając przy tym, w zależności od długości posiadanego materiału badawczego, określenie prawdopodobieństwa przewyższenia przepływów dla ciągów o długości: $N = 15$ lat dla $p > 2\%$, $N = 25$ lat dla $2\% \geq p \geq 1\%$ oraz $N = 40$ lat dla $p < 1\%$ [CUGW 1969, Ozga-Zielińska, Brzezińska 1997, Ozga-Zielińska i inni 1999]. Kotowski w podręcznikach [Kotowski 2011e, 2015] zakłada jako minimalny 30 letni okres obserwacji opadów w zastosowaniu do projektowania odwodnienia terenów, natomiast w przypadku nie posiadania takiego zbioru danych proponuje zalecenia niemieckiej wytycznej ATV A-118 [ATV 1999], która rekomenduje minimalne okresy rejestracji danych w zależności od częstości projektowej (C) opadu, zebrane w tabeli 2.21.

Tab. 2.21. Zalecane minimalne okresy rejestracji opadów do badań częstości nadpiętrzeń w kanalizacji [ATV 1999, Kotowski 2011e, 2015]

Lp	Częstość projektowa C	Okres rejestracji opadów w latach N
1	od 1 na rok do 1 na 2 lata	10
2	1 na 3 lata	15
3	1 na 5 lat	20
4	1 na 10 lat	30

Jak już wspomniano, w Polsce występuje niedosyt wiedzy w zakresie analizy probabilistycznej aktualnych opadów maksymalnych, powodujących zagrożenia związane z podtopieniami czy powodzią [Bogdanowicz, Stachy, 1998, Twardosz 2005, Licznar i inni 2005, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Suligowski 2013, Węglarczyk 2014, Licznar 2015, 2018]. Większość analiz wykonywana była dla krótkich okresach czasowych,

np. Atlas Stachý'ego 1986–1987 wykorzystywał 10 lat obserwacji ze 121 stacji IMGW, a atlas klimatu Lorenc z 15 lat danych z 105 lokalizacji [Stachý 1986, 1987, Lorenc i inni 2005]. Prace o dużym znaczeniu merytorycznym wykonywane są najczęściej dla jednej stacji pomiarowej, natomiast obejmują długie okresy badawcze, np. dla Krakowa: Twardosz – 117 lat, Wałęga z zespołem – 104 lata, lub Wrocławia: Licznar z zespołem – 28 lat czy Kotowski z zespołem – 50 lat [Twardosz 2005, Licznar i inni 2005, Kotowski i inni 2010, Wałęga i inni 2016]. Tabela 2.22 zawiera wykaz ważniejszych prac dotyczących analiz intensywnych opadów z informacją o długości ciągów danych i liczby stacji pomiarowych.

Tab. 2.22. Wykaz zakresów danych w wybranych pracach dotyczących intensywnych opadów deszczu

Lp	Autor/rzy Nazwa atlasu	Okres	Liczba lat (N)	Liczba stacji	Czas trwania [min]	Źródło	Lokalizacja
1	Błaszczyk, Pomianowski	1838– 1925	79	1	1	Błaszczyk 1954, Rybczyński i inni 1933	Polska
2	Hershfield	1890– 1958	48 14 16 15 47	200 2081 1350 3400 1426	30–1440 60 1440 * 1440 * 1440 *	Hershfield 1961	USA
3	Stachý (atlas IMGW)	1966– 1975	10	121	5–120	Stachý (1986, 1987)	Polska
4	Bogdanowicz– Stachý	1960– 1990	31	20	5–4320	Bogdanowicz–Stachý 1998	Polska
5	Kupczyk, Suligowski	1960– 1990	31	40	5–4320	Kupczyk, Suligowski 1997, Suligowski 2004	Polska
6	Twardosz	1882– 2002	117	1	1–24 godz.	Twardosz 2005	Kraków
7	Licznar i inni	1975– 2002	28	1	5–180	Licznar i inni 2005	Wrocław
8	Atlas Klimatu Polski	1966– 1980, 1971– 2000	15, 30	105, 61	natęż.**	Lorenc i inni 2005	Polska
9	Kotowski i inni	1960– 2009	50	1	5–4320	Kotowski i inni 2010	Wrocław
10	MWO Suligowski	1961– 2006	46	48	1–480 min 1–96 godz.	Suligowski 2013	Wyżyna Kielecka
11	Kręzątek i inni	1966– 2010	45	29	1440	Kręzątek i inni 2013	Polska
12	NOAA Atlas	do 2012	19–69, 19–43	992, 458	1–24 godz, 15–60 min.	NOAA Vol 8, 2013	USA, wybrane stany
13	KOSTRA	1951– 2010	60	200	5–4320	Malitz i inni 2015	Niemcy
14	Kaźmierczak, Wdowikowski	1961– 2010	50	1	5–4320	Kaźmierczak, Wdowikowski 2016	Legnica
15	Wałęga i inni	1906– 2010	104	1	5–120	Wałęga i inni 2016	Kraków
16	Panda	1986– 2015	30	100	5–4320	Licznar i inni 2019a-b	Polska
17	GePrA	1981– 2018	37	2357	1440	Jung, Schindler 2019	Niemcy

* do atlasu użyto dobowych danych opadowych z deszczomierzy odpowiednio: automatycznych (1350 punktów), nieautomatycznych (3400 punktów) oraz nieautomatycznych – przy większej liczbie lat mniejsza liczba stacji (1426 punktów),

** w atlasie przedstawiono mapy opadów z prawdopodobieństwem wystąpienia: $p = 99,9; 10; 2$ i 1% oraz intensywności [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$].

Metody selekcji danych opadowych. Zarówno teoria wartości ekstremalnych, jak i większość przytoczonych w rozdziale 2.2 prac, wskazuje na istotny wpływ metody selekcji danych w procesie formułowania modeli probabilistycznych opadów maksymalnych. Ustrnul z zespołem w pracy dotyczącej analizy meteorologicznych zdarzeń ekstremalnych w Polsce w latach 1951–2006 wskazują, że „do gruntownej oceny zarówno przestrzennego, jak i czasowego zróżnicowania ekstremów należy rozpatrzyć różne metody i kryteria ich wydzielenia, mogą one w istotny sposób wpływać na wyniki końcowe badań” [Ustrnul, Czekerda 2009, Ustrnul i inni 2011]. Kluczowe jest również wykazanie niezależności poszczególnych elementów próby zmiennej losowej, które tworzą ciąg rozdzielczy danych opadowych niezbędny do opracowania dystrybuanty teoretycznej. Jeżeli wybór największych wysokości opadów rocznych (AMP) z ciągu danych wieloletnich nie stanowi problemu (nawet przy zastosowaniu wysokości przedziałowych czasów trwania opadu PDS), gdyż praktycznie nie jest możliwe występowanie zależnych od siebie epizodów opadowych w dwóch następujących po sobie latach, to już wybór wysokości opadów w metodzie przewyższeń progę odcięcia (POT) wymaga przyjęcia ostrożnych założeń.

Bogdanowicz i Stachý do opracowania zależności (2.47–2.53) wykorzystali maksymalne wartości roczne wysokości opadów w dwóch grupach czasów trwania. Pierwsza, jako suma ruchowa przedziałów opadu dla $t = 5, 10, 15, 30, 60$ i 120 minut oraz druga dla $t = 1, 2, 3, 6, 12, 18, 24, 36, 48$ i 72 godz. - w sztywnych przedziałach godzinowych, których wysokości korygowano współczynnikiem Weissa (k_w) według tabeli 2.23 [Bogdanowicz, Stachý 1998].

Tab. 2.23. Współczynnik korekcyjny Weissa k_w dla wybranych przedziałów czasu trwania opadu t

Czas trwania opadu t [godz.]	1	2	3–4	5–8	9–24
Współczynnik korekcyjny k	1,13	1,04	1,03	1,02	1,01

Powodem przyjęcia dwóch grup zakresów czasowych przez Bogdanowicz i Stachý, były względy praktyczne, tj. możliwość wykorzystania charakterystyk intensywnych opadów krótkotrwałych (do 120 min) do projektowania obiektów inżynierii miejskiej, w tym kanalizacji oraz dominujący udział czasu trwania opadów burzowych w Polsce. Analiza wysokości opadów dla czasów trwania do 72 godzin odpowiadać miała na potrzeby przeciwpowodziowe [Bogdanowicz, Stachý 1998]. Zalecenia dotyczące analizy opadów o czasach trwania do 120 min na potrzeby określenia charakterystyk opadów niebezpiecznych dla infrastruktury miejskiej - powodzi błyskawicznych przedstawiono już w przytoczonych angielskich raportach [FSR 1975, Wallingford 1983] oraz raporcie z Australii [Jacob i inni 2005]. Z kolei w niemieckich wytycznych ATV DVWK A-121, które między innymi wykorzystano przy opracowaniu atlasu KOSTRA, podano trzy grupy czasów trwania opadów, które wykazują analogiczne cechy genetyczne: grupa I – od 5 do 180 minut, grupa II – od 3 do 48 godzin oraz grupa III – od 2 do 6 dni [ATV A-121 1985]. Współczynnik korekcyjny zalecany jest przez WMO ze względu na fakt, wyższych wartości opadów określonych sumą ruchomą względem wartości określonych w sztywnych przedziałach godzin zegarowych [WMO 2008]. Współczynnik korekcyjny opadów godzinowych zastosowali Kupczyk, Suligowski [Kupczyk, Suligowski 1997, Suligowski 2004, 2013] oraz

wykorzystano podczas opracowania atlasów opadowych KOSTRA [ATV A-121 1985, Bartels i inni 2005, Malitz i inni 2015] czy NOAA [NOAA 2013].

Suligowski w swoich pracach [Suligowski 2004, 2013] oraz wykonanych z Kupczyk [Kupczyk, Suligowski 1997] wykorzystywał wysokości opadów o czasach trwania, które zebrał w 12 klas opadów, od opadów najkrócej trwających czyli poniżej 30 minut do opadów, których czas trwania wynosił do 13,5 do 24 godzin. Selekcja danych opadowych do budowy modeli probabilistycznych została wykonana metodą największych wartości, przy założeniu liczby wybranych zdarzeń opadowych równej liczbie lat obserwacji oraz dolnej granicy opadu jako $h = 0,2$ mm. Podobną metodykę zastosowano w atlasie hydrologicznym IMGW [Stachy 1987]. Suligowski podkreśla, że metoda maksimów rocznych może powodować braki wysokości opadów w niektórych przedziałach czasu jego trwania (np. 5 godzin), natomiast metoda przewyższeń powoduje powstanie niejednakowej wielkości próbek tworzących szeregi rozdzielcze zmiennej losowej wysokości opadów maksymalnych [Kupczyk, Suligowski 1997, Suligowski 2004, 2013]. Stosując metodę największych wartości bez względu na czas wystąpienia opadu, Suligowski nie wskazuje metody określenia niezależności poszczególnych zdarzeń opadowych. Licznar i Łomotowski [Licznar, Łomotowski 2005a] wskazują, że optymalnymi warunkami zachowania niezależności opadów o zadanych czasie trwania jest selekcja opadów o wysokości $h \geq 1,3$ mm (uformowanych w czasie 6 godzin), których epizody występują nie krócej niż 6 godzin między sobą. Kryterium podyktowane było doświadczalnie wyznaczonym czasem trwania opadu o wysokości, która formuje powierzchniowy sływ prowadzący do erozji gleby badaniach Wischmeiera i Smitha [Wischmeier i Smith 1978]. Stosując powyższe kryteria, Licznar i Łomotowski do opracowania zależności (2.37), z parametrami zebranymi w tabeli 2.13, wyselekcjonowali dla Wrocławia 959 opadów z lat 1975–2002 [Licznar, Łomotowski 2005a, b]. Twardosz w pracy nad modelami opadowymi dla Krakowa [Twardosz 2005] wykorzystał metodę maksimów rocznych, która jest stosowana na świecie jako bezpieczna do zachowania niezależności elementów próby losowej [Kaczmarek 1970, Węglarczyk 2010, 2013, Mitosek 2003, 2009, Coles 2001, Helsel, Hirsh 2002, Wilks 2006, Maity 2018].

Schmidt w komentarzu do niemieckich wytycznych do wymiarowania systemów odwadniających ATV – A 118, zaleca przyjmowanie minimalnego odstępu czasu między pojedynczymi epizodami opadowymi jako 4 godziny, przy uwzględnieniu minimalnej chwilowej wysokości-intensywności wynoszącej 0,1 mm w ciągu 5 minut (lub 0,5 mm w ciągu 1 godziny), co jest jednocześnie przeciętnym czasem opróżnienia systemów kanalizacyjnych po intensywnych opadach [Schmidt 2000]. Zalecenia wytycznej ATV-A 118 zostały wykorzystane podczas opracowywania atlasu opadowego KOSTRA [Bartels i inni 2005, Malitz i inni 2015]. W warunkach polskich, analizę danych opadowych z wykorzystaniem kryterium ATV-A 118, dla Wrocławia i Jeleniej Góry, zastosowała Wartalska w pracach [Kaźmierczak, Wartalska 2019, Wartalska 2019, Wartalska i inni 2020]. Wartalska przywołując szereg prac dotyczących metod separacji niezależnych zdarzeń opadowych, definiowanych jako „minimalny czas trwania okresu bezdeszczowego” - *MDPD* (*Minimum Dry Period Duration*), podaje ogólny podział metod przyjmowanych na świecie przy wyznaczaniu *MDPD* [Powell i inni 2007, Wartalska 2019], jako: metody praktyczne bazujące na intensywności (*practical/intensity driven methods*), metody statystyczne (*statistical methods*) oraz metody ustalonego czasu (*set time methods*).

Mazurkiewicz, w szerokim przeglądzie metod wyznaczania minimalnej przerwy pomiędzy niezależnymi opadami deszczu [Mazurkiewicz, Sowiński 2014, Mazurkiewicz 2016], ustaliła, że najmniejsze przerwy stosowane przez różnych badaczy na świecie wahają od 1 godziny [Madsen i inni 1998] do 6 godzin [Wischmeier i Smith 1978, Licznar, Łomotowski 2005a]. Jednocześnie, analizując intensywne zdarzenia opadowe dla Poznania w latach 2002–2010, autorka przedstawiła statystyczną metodę określenia minimalnej przerwy pomiędzy kolejnymi epizodami opadowymi, która bazowała na założeniu, że jeżeli długości okresów bezdeszczowych (opisanych przez proces Poissona) podlegają rozkładowi wykładniczemu, to zjawiska opadowe oddzielone tymi okresami są statystycznie niezależne. W wyniku przeprowadzonych analiz Mazurkiewicz określiła dla Poznania wartość *MDPD* na $t = 675$ min, a zatem znacznie dłuższą niż dotychczas przyjmowano [Mazurkiewicz, Sowiński 2014, Mazurkiewicz 2016].

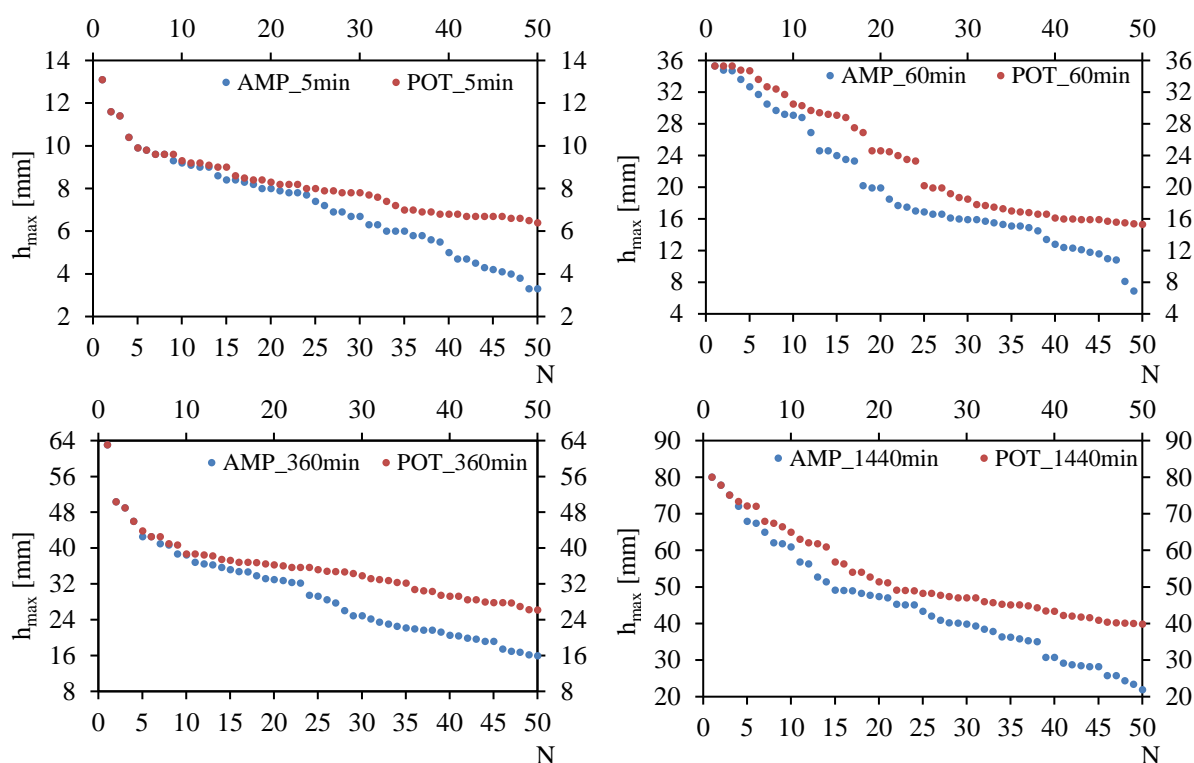
Kryteria progu odcięcia (POT). Kotowski z zespołem w pracy z 2010 roku dotyczącej analizy intensywnych opadów deszczu we Wrocławiu w latach 1960–2009 [Kotowski i inni 2010], w celu uniknięcia czasochłonności opracowania szeregów czasowych opadów, które w końcowych etapie i tak nie zostaną wykorzystane do opracowania modelu probabilistycznego, zaproponowali aby z materiału pluwiograficznego - dla przedziałowych wysokości opadów w zakresie czasów trwania $t \in [5; 4320]$ minut, wyodrębnić opady spełniające kryterium:

$$h \geq 0,75t^{0,5} \quad (2.63)$$

przyjęte w oparciu o dolną granicę intensywnych opadów o wysokości U_0 – silne deszcze wg klasyfikacji Chomicza (równanie (2.0)) - zaniżoną o 25% (co przedstawiono na rysunku 2.3). [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011d, 2011e, 2015]. Zalecili też, aby dla każdego roku wyodrębnić co najmniej kilka intensywnych opadów (nawet w latach tzw. „suchych”), z których do uogólnień statystycznych należy wybrać zbiór największych przedziałowych wysokości, o liczbie elementów równej liczbie lat analizowanego okresu. W pracy [Kotowski i inni 2010] do opracowania modeli opadów maksymalnych zidentyfikowano łącznie 514 szeregów czasowych maksymalnych wysokości opadów we Wrocławiu z lat 1960–2009 (średnio 10 na rok). Analizowano zarówno największe wartości roczne (*AMP*) jak i absolutnie największe, bez względu na rok (*POT*), wykazując, że elementy szeregów rozdzielczych uzyskane dla poszczególnych czasów trwania opadów metodą *AMP* miały znacznie mniejsze wartości niż dla *POT* [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011d]. Na rysunku 2.14 zestawiono przykładowe wysokości opadów maksymalnych dla czasów trwania $t = 5, 60, 360$ i 1440 min, wyodrębnione omawianymi metodami (*AMP* i *POT*). Dane pochodzą z pracy [Kotowski i inni 2010]. Do identycznych wniosków doszli Wdowikowski i Kaźmierczak analizując opady maksymalne o różnych czasach trwania dla Legnicy [Wdowikowski, Kaźmierczak 2015]. Opracowana przez zespół autorski Kotowskiego metoda została wykorzystana w kolejnych latach, między innymi do weryfikacji modelu opadowego dla Wrocławia opartego na rozkładzie GED [Kaźmierczak, Kotowski 2015], a także do tworzenia modelu opadowego dla Legnicy [Kaźmierczak, Wdowikowski 2016] oraz do analizy danych dobowych wybranych stacji meteorologicznych w zlewniach Nysy Łużyckiej [Wdowikowski i inni 2016] i Odry

[Wdowikowski i inni 2017a,b]. Autorską modyfikację kryterium (2.63) zaproponował Kaźmierczak w monografii habilitacyjnej z 2019 roku, w postaci wzoru [Kaźmierczak 2019]:

$$h \geq 3,5t^{0,275} \quad (2.64)$$



Rys. 2.14. Maksymalne opady dla Wrocławia z lat 1960–2009 dla czasów trwania $t = 5, 60, 360$ i 1440 minut, wyodrębnione metodami AMP i POT. Na podstawie [Kotowski i inni 2010]

Również w 2019 roku w wyniku prac nad Polskim Atlasem Natężeń Deszczy (PANDa), Burszta-Adamiak z zespołem proponują kryterium Chomicza, o ogólnej relacji:

$$h \geq at^b \quad (2.65)$$

gdzie a i b to parametry estymowane metodą najmniejszych kwadratów z zależności $\ln(h_{\min}) \geq \ln(a) + b \ln(t)$ [Burszta-Adamiak i inni 2019].

Rutkowska i Banasik w pracy [Rutkowska i Banasik 2014] podkreślają, że zaletą metody POT jest rozważenie dużej liczby wartości maksymalnych, natomiast wadą względem metody AMP, jej „subiektywizm”. Autorzy ci, analizując maksymalne przepływy w latach 1963–2012 dla rzek Zagożdżonka i Dunajec, wykorzystując prace [Madsen i inni 1997, Lang i inni 1999], wyznaczyli próg odcięcia (u) poszukując liniowej zależności wartości estymatora parametru kształtu rozkładu prawdopodobieństwa GPA, które od pewnego u stabilizowały się. W praktyce autorzy przyjęli najmniejszą wartość ze zbioru największych rocznych przepływów w całym analizowanym okresie, po czym ustalali liczbę przewyższeń w każdym roku i zwiększali wartość progu odcięcia. Otrzymany zbiór poddawany był analizie zmienności, istotności trendu oraz zgodności liczby przekroczeń progu z rozkładem Poissona. Rutkowska i Banasik potwierdzili rezultaty badań zespołów Madsena i Langa, z których wynika, że najlepiej dobrany próg odcięcia umożliwia otrzymanie średnio 5 wartości maksymalnych z jednego roku. Wyżej opisaną metodę do danych opadowych zastosowali wspomniani w rozdziale 2.1.2 Hounkpè z zespołem (rys. 2.2) [Hounkpè i inni 2016].

W literaturze, do selekcji danych opadowych wg *POT*, stosowana jest też metoda określenia wartości 95. lub 99. percentyla wszystkich analizowanych elementów serii opadowej [Liao i inni 2003, Kim, Zhang 2011, Bezak i inni 2014, Shinyie i inni 2014, Hounkpe i inni 2016, Gilleland, Katz 2011, 2016, Maity 2018]. W pracach [Wdowikowski i inni 2016, 2017a–b] dla opadów maksymalnych o czasie trwania $t = 1440$ min, dla wybranych stacji opadowych dorzecza Górnej i Środkowej Odry w latach 1961–2010, zastosowano wartość progową $h_{1440} = 28,5$ mm wg zależności (2.63) - co stanowiło wartość nieznacznie mniejszą lub równą 95. percentyla analizowanych wysokości opadów maksymalnych.

2.2.4. Stosowane rozkłady prawdopodobieństwa

Statystyczne charakterystyki intensywnych opadów deszczu mogą być przedstawiane w formie zmiennych losowych typu ciągłego, których właściwości określają funkcje rozkładów prawdopodobieństwa. Wiedza o takich rozkładach umożliwia zarówno określenie prawdopodobieństwa wystąpienia opadu o danej wysokości i czasie trwania (lub intensywności lub natężenia jednostkowego) w formie kwantyla zmiennej losowej [Strupczewski 1967, Kaczmarek 1970, Strupczewski, Napiórkowski 1981, Pruchnicki 1987, Węglarczyk 2010, Jokieli 2015].

Kaczmarek w pracy [Kaczmarek 1970] wykazywał, że rozkłady najlepiej opisujące ekstremalne zjawiska hydrometeorologiczne, a w tym maksima roczne opadów atmosferycznych, to przede wszystkim rozkłady Gamma (Pearsona typ III) i Fishera–Tippetta typ I (Gumbela) oraz dla sum rocznych i miesięcznych dodatkowo rozkłady logarytmiczno-normalny (dwu i trzy parametrowy) i Fishera–Tippetta typ III (Weibulla). Od publikacji Strupczewskiego [Strupczewski 1967] i Kaczmarka [Kaczmarek 1970] wymienione rozkłady znajdowały zastosowanie w wielu pracach badawczych (przedstawionych w poprzednich rozdziałach), nie wykazując przewagi żadnego z nich. Wskazane rozkłady prawdopodobieństwa były rekomendowane do określenia opadów prawdopodobnych jako jeden z komponentów metodyki *Wstępnej Oceny Ryzyka Powodzi dla Polski* [WORP 2018]. Przytoczone rozkłady służą również do określenia przepływów prawdopodobnych w na ciekach kontrolowanych i niekontrolowanych [CUGW 1969, Ozga-Zielińska, Brzezińska 1997, Ozga-Zielińska i inni 1999, Grzebinoga i inni 2010]. Suligowski w pracach [Suligowski 2004, 2013, 2014] dodatkowo poddał analizie rozkład *GLog* (uogólniony rozkład logistyczny) oraz rodzinę rozkładów wartości ekstremalnych (*GEV*), tj. Gumbela, Frecheta i Weibulla. Problemem przy porównaniu wyników i możliwości zastosowania danego rozkładu prawdopodobieństwa jest brak wspólnego materiału porównawczego (punkty pomiarowe, okresy analiz) jak i metod badawczych. Ważniejsze dotychczas prace wykonane w Polsce to badania [Bogdanowicz i Stachy 1998] oraz [Kupczyk–Suligowski 1997, Suligowski 2004] z uwagi na fakt, że zostały wykonane na wspólnym okresie wieloletnim dla punktów pomiarowych, które reprezentować miały cały kraj. Oba opracowania, jak podkreśla Licznar [Licznar 2018] zostały wydane 20 lat temu. Krężałek z zespołem w 2013 roku poddali analizie dobowe wysokości opadów i szereg rozkładów prawdopodobieństwa, z czego nie stosowanym dotąd był rozkład logarytmiczno-gamma (log-gamma lub Log-P3) [Krężałek i inni 2013]. Zespół Kotowskiego i Kaźmierczaka oprócz analizy rekomendowanych do tej pory rozkładów prawdopodobieństwa analizował dodatkowo uogólniony rozkład wykładniczy

(GED), zalecany przez Gupta i Kundu [Gupta, Kundu 1999, 2000, 2007], który był podstawą do opracowania jednego z modeli opadowych dla Wrocławia [Kaźmierczak, Kotowski 2015, Kotowski 2015] oraz modelu dla Legnicy [Kaźmierczak, Wdowikowski 2016].

Wśród najszerzej opisywanych w literaturze znajdują się rozkłady: uogólniony wartości ekstremalnych (GEV) oraz uogólniony Pareto (GPA lub GPD). Sytuację tą determinuje zastosowanie teorii wartości ekstremalnych (EVT) [Jacob i inni 2005, Haan, Ferreira 2006, Gilleland, Katz 2011, 2016, Fawcett, Walshaw 2012, Fałdziński 2014, Maity 2018] oraz wytyczne WMO, wskazujące szereg rozkładów prawdopodobieństwa [WMO 1990 a–b, 2009 a–b]. Warto wspomnieć, że z uwagi na coraz większe możliwości numerycznej analizy zależności statystycznych na świecie sporo uwagi poświęca się cztero- i więcej parametrowym rozkładom prawdopodobieństwa, jak rozkład Kappa [Beskowa i inni 2015, Ye i inni 2018], Kumaraswamy [Lung 2016, George, Thobias 2017] czy Wakeby [Daniell i Tabio 2008, Ho, Yusof 2013, Sadiq 2016].

Zdecydowana większość omówionych wyżej publikacji jasno podkreśla, iż przy analizie opadów maksymalnych w ujęciu probabilistycznym nie ma precyzyjnych przesłanek teoretycznych, które pozwoliły w sposób jednoznaczny wyznaczyć rozkład prawdopodobieństwa, który najdokładniej opisuje największe zdarzenia zarejestrowane i wyselekcjonowane różnymi metodami, w długim okresie czasu. Jednak bez względu na analizowany rozkład prawdopodobieństwa, schemat postępowania w procesie odnalezienia właściwego względem potrzeb rozkładu jest bardzo zbliżony i najczęściej obejmuje w pierwszym etapie założenie a priori funkcji rozkładu zmiennej losowej, następnie estymację parametrów przyjętej funkcji i wreszcie weryfikowanie hipotezy, że założona funkcja jest należyty lub wystarczającym odwzorowaniem rzeczywistej funkcji rozkładu. Charakterystyka maksymalnych opadów deszczu o zadanym czasie trwania i prawdopodobieństwie przewyższenia zakłada więc określenie jednowymiarowej zmiennej losowej X oraz znalezienie jej rozkładu prawdopodobieństwa $P(X)$. Rozkład prawdopodobieństwa opisujący zmienną losową odpowiada znanej funkcji rozkładu prawdopodobieństwa, często nazywaną teoretyczną funkcją rozkładu. Funkcja ta w zależności od zmiennej losowej przyjmuje postać funkcji prawdopodobieństwa nieprzewyższenia, przewyższenia lub funkcji gęstości prawdopodobieństwa. Do probabilistycznego opisu opadów maksymalnych (ale także przepływów maksymalnych w hydrologii) o zadanym czasie trwania i prawdopodobieństwie przewyższenia rozważana jest funkcja teoretyczna, opisana zależnością [Kaczmarek 1970, Pruchnicki 1987, Coles 2001, Mitosek 2003, 2008, Węglarczyk 2010, Maity 2018]:

$$p(x) = P(X \geq x) \quad (2.66)$$

gdzie zmienna losowa X wyrażona jest próbą losową $x \in [x_i; x_N]$ dla $i = 1, 2, \dots, N$ (N – oznacza liczbę elementów próby losowej, co w praktyce analizy opadów w okresie wieloletnim bardzo często oznacza liczbę lat pomiarów), której elementy zbioru stanowią wartości maksymalnych opadów, wyselekcjonowanych metodami opisanymi w rozdziale 2.2.3 - metodą POT z progami wg (2.63) lub (2.64), jak proponuje zespół Kotowskiego i Kaźmierczaka [Kotowski i inni 2010, Kaźmierczak 2019].

Próba losowa danego czasu trwania opadu maksymalnego, której elementy uszeregowane są w nierosnący ciąg rozdzielczy, stanowiąc zmienną losową X , może być zapisana według zależności:

$$X_t = (x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_N) \quad (2.67)$$

gdzie t oznacza czas trwania opadu, np. $t = 5$ minut (X_5).

Do określenia rozkładu prawdopodobieństwa $P(X)$ najdokładniej opisującego zmienną losową X , której próba losowa przedstawia empiryczny obraz rzeczywistego rozkładu, oznacza się empiryczne prawdopodobieństwo przewyższenia p , którego estymator przyjmuje ogólną postać daną wzorem (tzw. *plotting position formula*):

$$p(x_i) = \frac{i-a}{N+b}, \quad a \geq 0, b \geq 0, i = 1, 2, \dots, N \quad (2.68)$$

gdzie:

i – pozycja elementu próby losowej,

N – liczba elementów próby losowej.

Najczęściej stosowany i rekomendowany do probabilistycznego opisu opadów maksymalnych jest przypadek dla $a = 0$ oraz $b = 1$, co pozwala uprościć równanie (2.68) do postaci (2.69), zwanej również metodą Weibulla [Chow 1953, Kaczmarek 1970, Węglarczyk 2010, 2013, Mitosek 2003, 2009, Coles 2001, Helsel, Hirsh 2002, Twardosz 2005, Wilks 2006, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Maity 2018, Licznar 2018, Burszta-Adamiak i inni 2019, Kaźmierczak 2019]:

$$p(x_{i,N}) = \frac{i}{N+1}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2.69)$$

W literaturze opisane są również przypadki zastosowania innych wartości parametrów a i b , które zestawiono w tabeli 2.24 [Coles 2001, Helsel, Hirsh 2002, Bartels i inni 2005, Wilks 2006, Goel, Sarkar 2007, Węglarczyk 2010, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Malitz i inni 2015, Maity 2018].

Tab. 2.24. Wartości parametrów a i b do zależności (2.68) [Maity 2018]

Lp	Nazwa metody	Wartość parametru	
		a	b
1	California	0,0	0,0
2	Hazen	0,5	0,0
3	Weibull	0,0	1,0
4	Chegodayev	0,3	0,4
5	Blom	0,44	0,12
6	Gringoten	0,375	0,25

Poszczególne elementy empirycznego rozkładu prawdopodobieństwa przekroczenia $p(x_i)$ przypisywane są odpowiadającym im kolejnym elementom próby losowej, zwanej też próbą statystyczną zmiennej losowej X , tworząc macierz (przedstawioną w tabeli 2.25) wartości niezbędnych do wyznaczenia rozkładu prawdopodobieństwa najdokładniej opisującego zmienną losową.

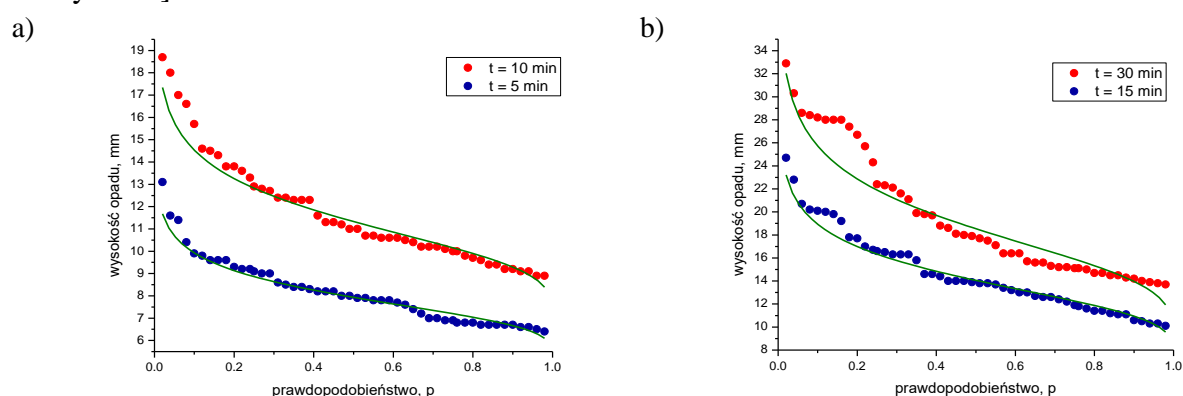
Tab. 2.25. Macierz wartości próby statystycznej od i do N z przypisanym prawdopodobieństwem empirycznym wg zależności (2.67) i (2.69)

i	$p(x_i)$	X_1	X_2	$X_{(\dots)}$	X_n
1	$p(x_1)$	x_1	x_1	x_1	x_1
2	$p(x_2)$	x_2	x_2	x_2	x_2
(...)	$p(x_{(\dots)})$	$x_{(\dots)}$	$x_{(\dots)}$	$x_{(\dots)}$	$x_{(\dots)}$
N	$P(x_N)$	x_N	x_N	x_N	x_N

Zależnie od wielkości zbioru N , wartości zbioru prawdopodobieństw empirycznych od $p(x_1)$ do $p(x_N)$, będą się zmieniały. Na przykład korzystając z równania Weibulla (2.69) dla $N = 30$ lat wartości rozkładu teoretycznego wyniosą od $p_1 = 0,03$ do $p_{30} = 0,97$, natomiast dla zbioru $N = 50$ lat od $p_1 = 0,02$ do $p_{50} = 0,98$. Niezależnie od wybranej metody określenia prawdopodobieństwa empirycznego, w celu odszukania najlepiej opisującego zmienną losową rozkładu prawdopodobieństwa należy oszacować parametry tego rozkładu, a wyniki kwantyla poddać weryfikacji odnośnie hipotezy zgodności rozkładu statystycznego z próbą losową [Strupczewski 1967, Kaczmarek 1970, Coles 2001, Helsel, Hirsh 2002, Bartels i inni 2005, Wilks 2006, Goel, Sarkar 2007, Węglarczyk 2010, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Malitz i inni 2015, Maity 2018].

2.2.5. Metody estymacji parametrów rozkładów

Rozkłady empiryczne w postaci krzywych sumowych (częstości C lub prawdopodobieństwa p) występowania badanego zjawiska dla prób losowych z reguły zachowują nieregularne kształty (rys. 2.15), przez co nie istnieje możliwość aproksymacji poza obszar zanotowanych zdarzeń, uniemożliwiając tym samym wnioskowanie o zmienności wartości badanej cechy względem ekstremów (innymi słowy szacowane wartości będą niższe lub wyższe od zarejestrowanych wartości skrajnych). W celu przygotowania takiej „prognozy” statystycznej dopasowuje się rozkłady empiryczne do przyjmowanych rozkładów teoretycznych (wyrażonych właściwymi funkcjami matematycznymi, noszącymi nazwę dystrybuant rozkładu) [Kaczmarek 1970, Krysicki i inni 2002, Węglarczyk 2010, Jokiel 2016, Maity 2018].



Rys. 2.15. Przykładowe dystrybuanty teoretyczne rozkładu Gumbela i największych wysokości opadów z okresu 1960–2009 dla Wrocławia: a) $t = 5$ i 10 min, b) $t = 15$ i 30 min [Kotowski i inni 2010]

Rozkłady statystyczne posiadają wielkości stałe, które wpływają na jego kształt, położenie oraz punkty ograniczające (ograniczenia dolne lub górne) uwzględniające fizykę analizowanych zjawisk. Dla przykładu kwantyle rozkładu prawdopodobieństwa opisującego

rozkład opadów atmosferycznych nie mogą osiągać wartości ujemnych, stąd powinny być ograniczone co najmniej do wartości 0. Takie wielkości określa się jako parametry rozkładu prawdopodobieństwa. Ich liczba waha się od dwóch do czterech (i więcej) przy czym zawsze jest to kombinacja wielokrotności parametrów kształtu i skali (np. dwa parametry kształtu i jeden skali) oraz wartości ograniczenia dolnego, rzadziej górnego [Kaczmarek 1970, Krysicki i inni 2002, Mitosek 2003, 2009, Węglarczyk 2010, Jokiel 2016, Maity 2018]. Wspomnianymi w poprzednim rozdziale rozkładami wieloparametrowymi, stosowanymi w analizie opadów maksymalnych lub maksymalnych przepływów rzecznych, są czteroparametrowe rozkłady Kappa i Kumaraswamy oraz pięcioparametrowy rozkład Wakeby. Rozkłady Kappa i Wakeby były wykorzystane do analizy porównawczej najlepiej dopasowanych rozkładów prawdopodobieństwa do danych opadowych w Texasie podczas tworzenia atlasu krzywych *DDF* opadów rocznych [Asquith, Roussel 2004].

Dopasowanie dystrybuanty rozkładu z szeregiem wartości empirycznych określa się poprzez oszacowanie parametrów rozkładu tak, by elementarne różnice pomiędzy rozkładami tzw. residua lub reszty były najmniejsze (dążyły do zera). Podobnie jak w przypadku określenia prawdopodobieństwa empirycznego, w statystyce istnieje kilka metod aproksymacji wspomnianych parametrów, wśród których najczęściej stosowane są trzy poniżej opisane 3 metody [Kaczmarek 1970, Coles 2001, Helsel, Hirsh 2002, Krysicki i inni 2002, Wilks 2006, Mitosek 2003, 2009, Węglarczyk 2010, Jokiel 2016, Maity 2018].

1. Metoda momentów (nazywana też metodą Fostera) – najstarsza z wykorzystywanych metod estymacji parametrów rozkładów. Polega na przyjęciu założenia, że moment centralny (inaczej początkowy) rozkładu teoretycznego odpowiada momentowi próby losowej. Przyjmując, że funkcja badanego rozkładu o dwóch parametrach (g_1, g_2) ma postać $f(x, g_1, g_2)$ to najczęściej momenty wartości oczekiwanej $E(X)$ oraz wariancji $var(X)$ dane są w postaci:

$$\begin{cases} E(X; g_1, g_2) = \bar{x} \\ var(X; g_1, g_2) = s^2 \end{cases} \quad (2.70)$$

W praktyce obliczenia sprowadzają się do określenia podstawowych miar statystycznych takich jak: \bar{x} - średnia arytmetyczna (moment początkowy I rzędu), s^2 - odchylenie standardowe (pierwiastek kwadratowy z momentu centralnego II rzędu) oraz C_s - współczynnik skośności (momentu centralnego III rzędu). Stąd dla rozkładu trójparametrowego momenty wyznacza się z zależności:

$$\begin{cases} E(X; g_1, g_2, g_3) = \bar{x} \\ var(X; g_1, g_2, g_3) = s^2 \\ C_s(X; g_1, g_2, g_3) = C_s^3 \end{cases} \quad (2.71)$$

Warto zwrócić uwagę, że wartości kolejnych momentów uzyskuje się poprzez potęgowanie, stąd przy rozkładach trójparametrowych estymatory będące wynikiem trzeciej potęgi obarczone są znacznym błędem, a wartość dolnego ograniczenia zostaje szacowana jako wyższa od minimalnej wartości w szeregu empirycznym. Metoda wraz z estymatorami dla różnych rozkładów prawdopodobieństwa jest szeroko opisana w literaturze, znajduje zastosowanie i daje zadawalające wyniki dla rozkładów dwuparametrowych.

2. Metoda momentów liniowych (MML), nazywana też metodą momentów ważonych prawdopodobieństwem (*MPW - probability-weighted moments*), zaproponowana przez Greenwooda [Greenwood i inni 1979] i rekomendowana przez Hoskinga i Wallisa [Hosking 1990, Hosking, Wallis 1997, Mitosek 2003, 2009, Węglarczyk 2010]. Metoda ta stanowi alternatywę do metody momentów, znajduje zastosowanie w wielu pracach badaczy między innymi amerykańskich i indyjskich oraz jest jedną z możliwych do zastosowania wg wytycznych *WMO* [WMO 1990, 2009a, b, Storch, Navarra 1999, Coles 2001, Helsel, Hirsh 2002, Wilks 2006, Goel, Sarkar 2007, Mitosek 2003, 2009, Węglarczyk 2010, Jokiel 2016, Maity 2018]. *MML* od metody momentów odróżnia fakt zależności wszystkich elementów z próby losowej od wartości określonej w pierwszej potędze, co sprawia, że estymatory parametrów są odporne na wartości skrajne, silnie odstające (minima bądź maksima). Szacowanie parametrów rozkładów prawdopodobieństwa odbywa się poprzez analizę próby losowej $X_{(i:N)}$, zgodnie z równaniem (2.67), określeniu czterech momentów liniowych, gdzie w N -elementowej próbie losowej i -ty element stanowi wartość początkową szeregu nierosnąco ułożonego, a zatem $X_{(i:N)}$ oznacza wartość najmniejszą, natomiast $X_{(N:N)}$ największą. Wówczas kolejne cztery momenty określają poniższe równania:

- o wartość oczekiwana (moment I rzędu):

$$\lambda_1 = E(X) \quad (2.72)$$

- o nieujemna różnica pomiędzy dwoma dowolnymi elementami próby losowej w szeregu rosnącym (moment II rzędu):

$$\lambda_2 = \frac{1}{2}E[X_{(2:2)} - X_{(1:2)}] \quad (2.73)$$

- o miara asymetrii rozkładu (skośność), wymaga trójelementowych zbiorów rosnąco ułożonej próby losowej:

$$\lambda_3 = \frac{1}{3}E[X_{(3:3)} - 2X_{(2:3)} + X_{(1:3)}] \quad (2.74)$$

- o miara spłaszczenia rozkładu (kurtoza); wymaga czteroelementowych zbiorów rosnąco ułożonej próby losowej:

$$\lambda_4 = \frac{1}{4}E[X_{(4:4)} - 3X_{(3:4)} + 3X_{(2:4)} - X_{(1:4)}] \quad (2.75)$$

Wobec równań (2.73–2.75) zachodzą związki określające bezwymiarowe miary liniowe, dane zależnościami:

$$\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (2.76)$$

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad (2.77)$$

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} \quad (2.78)$$

Parametry badanego rozkładu prawdopodobieństwa szacuje się w oparciu o związki pomiędzy estymatorami momentów liniowymi i parametrami rozkładu, właściwe dla każdego rozkładu prawdopodobieństwa. Przykładowo dla rozkładu Gumbela, wyrażonego funkcją gęstości (2.79), wspomniane związki wyglądają następująco:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} - e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} \quad (2.79)$$

$$\lambda_1 = \mu + C\alpha \quad (2.80)$$

$$\lambda_2 = \alpha \ln 2 \quad (2.81)$$

gdzie $C = 0,5772$ (stała Eulera).

Miary momentów liniowych zgodnie z równaniami (2.77) i (2.78) wynoszą odpowiednio $\tau_3 = 0,1699$ oraz $\tau_4 = 0,1504$. Przedstawione zależności są szeroko opisane w pracach [Hosking, Wallis 1997, Storch, Navarra 1999, Coles 2001, Helsel, Hirsh 2002, Mitosek 2003, 2009, Wilks 2006, Węglarczyk 2010, Markiewicz i inni 2015, Jokiel 2016, Maity 2018]. W Polsce oprócz prac poznawczych, w hydrologii inżynierskiej do szacowania parametrów rozkładów niezbędnych do określenia opadów maksymalnych metodę momentów liniowych zastosował Suligowski w pracach [Suligowski 2004, 2013].

3. Metoda największej wiarygodności (MNV) – jest najpowszechniej stosowaną metodą szacowania parametrów rozkładów prawdopodobieństwa. W Polsce zaleca się jej stosowanie ze względu na relatywnie nieskomplikowany tok obliczeń oraz fakt możliwości zastosowania dla rozkładów o różnej liczbie parametrów. Metoda jest szeroko opisana w literaturze [Storch, Navarra 1999, Coles 2001, Helsel, Hirsh 2002, Mitosek 2003, 2009, Wilks 2006, Węglarczyk 2010, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Katz, Lilledand 2011, 2016, Kaźmierczak, Kotowski 2015, Jokiel 2016, Maity 2018, Kaźmierczak 2019]. Proces obliczeniowy szacowania parametrów rozkładu prawdopodobieństwa, podobnie jak przy metodach momentów i momentów liniowych, opiera się o analizę ciągłej zmiennej losowej X_N , danej zależnością (2.67), której funkcja gęstości, o parametrach (g_1, g_2, \dots, g_N) przyjmuje postać $f(x_i, g_1, \dots, g_N)$. Estymacja parametrów wykonywana jest poprzez maksymalizację funkcji wiarygodności L (2.82) lub jej logarytmu $\ln L_{max}$, które są proporcjonalne do funkcji prawdopodobieństwa

$$L = f(x_1, g_1, \dots, g_N) \cdot f(x_2, g_1, \dots, g_N) \cdot \dots \cdot f(x_N, g_1, \dots, g_N) \quad (2.82)$$

W praktyce należy założyć, że elementy próby losowej posiadają największe prawdopodobieństwo bowiem pochodzą z rzeczywistego pomiaru, wówczas należy doprowadzić do takiego doboru wartości parametrów, aby funkcja osiągnęła maksimum. Założenie to prowadzi do konieczności zbadania i znalezienia lokalnego ekstremum dla każdego elementu próby losowej, co przedstawia poniższy zbiór zależności:

$$\frac{\delta L}{\delta g_1} = 0, \quad \frac{\delta L}{\delta g_2} = 0, \quad \dots, \quad \frac{\delta L}{\delta g_N} = 0 \quad (2.83)$$

Przedstawiony układ równań pozwala określić wartości estymatorów, dla których funkcja wiarygodności bądź jej logarytm osiąga wartość największą. Obliczenia maksymalizacji funkcji wiarygodności (2.82) wykonuje się na drodze numerycznej uzyskując najefektywniejsze wartości parametrów (tzn. estymatory o najmniejszej wariancji). Do estymacji parametrów badanego rozkładu prawdopodobieństwa niezbędna jest wiedza o jego funkcji wiarygodności lub jej logarytmu. Wzory funkcji wiarygodności dla metody największej wiarygodności są opisane w prezentowanej już literaturze przedmiotu.

2.2.6. Ocena jakościowa modeli opadowych

W procesie szacowania wysokości opadów maksymalnych, w oparciu o zróżnicowane rozkłady prawdopodobieństwa, istotny jest wybór rozkładu, który najlepiej - najdokładniej opisuje analizowane wartości. Najczęstszym sposobem określenia przydatności danego rozkładu do opisu danych stanowiących próbę losową jest ocena jakościowa zgodności wybranego rozkładu teoretycznego z dystrybuantą empiryczną. Mimo, iż często realizacja procesu wiąże się z przeglądem wyników kilku rozkładów prawdopodobieństwa, to jest to o tyle istotne, że dystrybuanta zmiennej losowej opadów atmosferycznych przyjmuje zróżnicowany przebieg, w zależności od wielu czynników począwszy od warunków geofizycznych lokalizacji stacji pomiarowej, poprzez uwarunkowanie cyrkulacji atmosferycznej charakteryzujące obszar, na którym zlokalizowana jest stacja pomiarowa, po długość ciągu pomiarowego i metodę selekcji wartości ekstremalnie wysokich (co przedstawiono w rozdziałach 2.1.1–2.1.3. W rozdziałach 2.2.3 oraz 2.2.4 wspomniano, że jednym z kluczowych elementów procedury analizy probabilistycznej opadów maksymalnych jest konieczność zweryfikowania hipotezy statystycznej o zgodności rozkładów teoretycznego z empirycznym poprzez przeprowadzenie testu statystycznego, najczęściej nieparametrycznego. Z uwagi na kształt (najczęściej wykładniczy lub logarytmiczny) zależności rozkładu teoretycznego i empirycznego, do jej oceny nie jest możliwe zastosowanie prostej regresji wyrażonej współczynnikiem R^2 . Powszechnie wykorzystywane do tego celu są testy statystyczne χ^2 -Pearsona, Cramera von Misesa, λ -Kołmogorowa czy Andersona–Darlinga, opisane poniższymi zależnościami (2.84–2.94), w których poprzez statystykę U , W^2 , D lub A^2 (w zależności od testu) badana jest hipoteza H_0 , że rzeczywisty rozkład $F_n(x)$ zmiennej losowej X przyjmuje postać rozkładu teoretycznego $F(x)$, co można zapisać jako:

$$H_0(F_n(x) = F(x)) \quad (2.84)$$

gdzie:

$F_n(x)$ – dystrybuanta empiryczna n -tej próby losowej,

$F(x)$ – dystrybuanta rozkładu teoretycznego.

Statystyka U (testu χ^2 -Pearsona), W^2 (testu Cramera von Misesa), D (testu λ -Kołmogorowa) lub A^2 (testu Andersona – Darlinga) jest miarą rozbieżności, która aby test został zaakceptowany na danym poziomie istotności α (z reguły 0,05 lub 95%), powinna co do wartości zbliżać się do zera lub być co najmniej mniejsza od wartości krytycznej [Anderson 1962, Kaczmarek 1970, WMO 1989, Pruchnicki 1987, Klonecki 1999, Coles 2001, Mitosek 2003, 2009, Węglarczyk 2010, Kotowski i inni 2010, Ozonur i inni 2013, Maity 2018].

Test χ^2 -Pearsona (chi-kwadrat) o statystyce U lub χ^2

$$\chi^2 = \begin{cases} \sum_{i=1}^r \frac{(m_i - n\pi_i)^2}{n\pi_i} \\ \pi_i = P(X \in \Delta x_j) = F(x_j) - F(x_{j-1}), j = 1, 2, \dots, r \\ r \in \Delta x_j = x_j - x_{j-1} \end{cases} \quad (2.85)$$

Dla zadanego poziomu istotności α wartość krytyczna wynosi $\chi_{kr}^2(\alpha, \nu)$, gdzie ν jest różnicą jedności, liczby przedziałów r oraz liczby estymowanych parametrów rozkładu teoretycznego c ($\nu = r - 1 - c$), wartości χ_{kr}^2 są stabilizowane (tab. 2.26). Jeżeli zachodzi zależność:

$$\chi^2 < \chi_{kr}^2 \quad (2.86)$$

to badana hipoteza H_0 zostaje zaakceptowana, na danym poziomie istotności α . W przypadku zastosowania równych przedziałów r jako $\pi_i = \frac{1}{r}$, dla $i = 1, 2, \dots, r$, statystyka U zostaje uproszczona do wyrażenia:

$$\chi^2 = U = \frac{r}{n} \sum_{i=1}^r m_i^2 - n \quad (2.87)$$

Tab. 2.26. Tablica przykładowych wartości statystyki χ^2 dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ [Kaczmarek 1970, Pruchnicki 1987, Klonecki 1999, Węglarczyk 2010]

r	1	2	5	10	20	30	50
χ_{kr}^2	3,841	5,991	11,070	18,307	31,410	43,773	67,505

Test Cramera von Misesa o statystyce W^2

$$W^2 = n \int_{-\infty}^{+\infty} (F_n(x) - F(x))^2 dF(x) = \frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^n \left(F(x_i) - \frac{2i-1}{2n} \right)^2 \quad (2.88)$$

gdzie:

x_i – i -ta wartość w próbie losowej (obserwacji) uporządkowanej rosnąco.

Hipoteza zerowa H_0 testu Cramera von Misesa oparta jest o zależność statystyki granicznej W_{kr}^2 (2.89), która dla rozkładów ciągłych i próbie losowej o licznosci elementów $N > 40$, dla różnych poziomów istotności α (zebranych w tabeli 2.27) spełnia zależność:

$$W^2 < W_{kr}^2 \quad (2.89)$$

Tab. 2.27. Tablica przykładowych wartości statystyki W_{kr}^2 dla poziomu istotności α [Kaczmarek 1970, Pruchnicki 1987, Klonecki 1999, Węglarczyk 2010]

α	0,1	0,05	0,025	0,01
W_{kr}^2	0,3473	0,4614	0,5806	0,7435

Test λ -Kolmogorowa lub też Kolmogorowa–Smirnowa o statystyce D

$$\lambda = \sqrt{n} \cdot D_{max} = \sqrt{n} \cdot \sup |F_n(x) - F(x)| \quad (2.90)$$

gdzie:

D_{max} – największa bezwzględna różnica pomiędzy $F_n(x) - F(x)$.

W praktyce, dla próby losowej $\{x_i\}$, dla $i = 1, 2, \dots, n$, ciągu rozdzielczego, którego elementy szeregowane są malejąco $x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_n$ statystyka D_{max} przyjmuje postać:

$$D = \max \left| \left| \frac{i}{n+1} - p(x_i) \right|, \left| \frac{i+1}{n+1} - p(x_i) \right| \right| \quad (2.91)$$

Konsekwentnie hipotezę H_0 , na poziomie istotności α , przyjmujemy kiedy wartości statystyki λ są mniejsze od wartości krytycznej λ_{kr} , danej w tabeli 2.28.

Tab. 2.28. Tablica przykładowych wartości statystyki λ_{kr} dla poziomu istotności α [Kaczmarek 1970, Pruchnicki 1987, Klonecki 1999, Węglarczyk 2010]

α	0,1	0,05	0,01
λ_{kr}	1,22	1,36	1,63

Test Andersona–Darlinga o statystyce A^2

$$A^2 = n \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{(F_n(x) - F(x))^2}{F(x)(1-F(x))} dF(x) \quad (2.92)$$

$$\text{lub } A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln F(x_i) + \ln (1 - F(x_{n+1-i}))] \quad (2.93)$$

Analogicznie jak dla wyżej wymienionych testów statystycznych, hipotezę H_0 na poziomie istotności α o zgodności rozkładów teoretycznego z empirycznym, najczęściej dla wartości 0,05 (95%), przyjmuje się za prawdziwą (innymi słowy, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej), gdy zachodzi zależność:

$$A^2 < A_{kr}^2 \quad (2.94)$$

w przeciwnym przypadku należy przyjąć hipotezę alternatywną H_1 lub H_A o braku zgodności porównywanych rozkładów. Dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ wartość statystyki granicznej wynosi $A_{kr}^2 = 2,492$.

Test χ^2 -Pearsona jest rzadziej stosowany, głównie z uwagi na konieczność stosowania rang. W wielu pracach podkreśla się, że wyniki testu Cramera von Misesa wskazują na dokładniejsze dopasowanie aproksymowanych elementów rozkładu teoretycznego z rozkładem empirycznym wobec wyników testu λ -Kołmogorowa. Test Andersona–Darlinga natomiast został opracowany na podstawie testu Cramera von Misesa, co sprawia, że stał się obecnie najbardziej powszechnym testem statystycznym, posiadającym różne modyfikacje. W literaturze znane są również zmodyfikowane wersje testu λ -Kołmogorowa (np. test Kuipera, który poprawia własności obszarów krańcowych) oraz testu Cramera von Misesa (np. test Watsona) [Kuotyasanis i inni 1998, Laio 2004, Laio i inni 2009, Onyutha 2012, Ozonur i inni 2013, Maity 2018]. W Polsce najczęściej stosowane są testy λ -Kołmogorowa i Andersona–Darlinga [Kupczyk, Suligowski 1997, Bogdanowicz–Stachý 1998, Mitosek 2003, 2009, Twardosz 2005, Węglarczyk 2010, Kotowski i inni 2010, Hongjoon i inni 2012, Suligowski 2004, 2013, 2014, Wałęga, Michalec 2014, Kotowski 2011e, 2015, Jokiel 2015, Wałęga i inni 2016, Kaźmierczak 2019]. Testy χ^2 -Pearsona, λ -Kołmogorowa i Andersona–Darlinga również zalecane są przez WMO do analiz hydrologicznych i meteorologicznych zdarzeń ekstremalnych [WMO 1989, 1990, 1990a].

W sytuacji, gdy weryfikacja hipotezy zerowej została przyjęta dla kilku analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa, wybór najlepiej dopasowanego rozkładu teoretycznego z dystrybucją empiryczną można oprzeć na porównaniu:

- wartości logarytmu funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ o równaniu (2.82),
- wartości kryterium informacyjnego,
- wartości kryterium błędów.

Porównanie wartości logarytmu funkcji wiarygodności oraz wartości kryteriów informacyjnych (które wykorzystują również wartość funkcji wiarygodności) jest możliwe dla rozkładów, których parametry estymowane są metodą największej wiarygodności (MNW). Najczęściej stosowanymi do oceny zgodności rozkładów teoretycznych z empirycznymi są kryterium informacyjne Akaike - AIC (*Akaike Information Criterion*), Bayesowskie kryterium informacyjne Schwartz - BIC (*Bayesian Information Criterion*) lub rzadziej spotykana forma - SIC (*Schwarz Information Criterion*) oraz kryterium informacyjne Hannana–Quina - HQIC

(*Hannan–Quinn Information Criterion*), odpowiednio dane zależnościami (2.95–2.97) [Akaike 1974, Sakamoto i inni 1986, Hannan and Quinn 1979, Schwarz 1997, Konishi, Kitawaga 2008, Maity 2018]:

$$AIC = -2\ln L_{max} + 2k \quad (2.95)$$

$$BIC (SIC) = -2\ln L_{max} + k\ln N \quad (2.96)$$

$$HQIC = -2\ln L_{max} + 2k\ln(\ln N) \quad (2.97)$$

gdzie:

$\ln L_{max}$ – funkcja wiarygodności analizowanej próby zmiennej losowej,

k – liczba estymowanych parametrów rozkładu,

N – liczba obserwacji.

W przypadku oceny zgodności analizowanych dystrybuant metodą logarytmu funkcji wiarygodności najlepiej dopasowany model to ten, dla którego wartość logarytmu jest największa, natomiast dla wartości kryteriów informacyjnych kierować się należy minimalizacją wskaźników, przez co za najlepiej dopasowane rozkłady uważa się te, których wartości *AIC*, *BIC* oraz *HQIC* są najmniejsze. Zależności (2.95) i (2.96) biorą pod uwagę liczbę parametrów, stąd gdy wartości obliczonych kryteriów informacyjnych dla danych rozkładów są takie same, za lepiej dopasowany uważa się ten o mniejszej liczbie szacowanych parametrów [Kuotyosanis i inni 1998, Konishi, Kitagawa 2008, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Wałęga i inni 2016, Maity 2018, Burszta-Adamiak 2019, Kaźmierczak 2019].

Porównanie wartości kryterium błędów pozwala uzupełnić ewentualne wątpliwości w przypadku wyboru najlepiej dopasowanego rozkładu prawdopodobieństwa (do elementów próby losowej) oraz wprost dokonać tego typu oceny dla innych niż *MNW* metod aproksymacji parametrów rozkładu. Do najczęściej stosowanych kryteriów błędów zalicza się między innymi [Coles 2001, Helsel, Hirsh 2002, Lee, Maeng 2003, Baldassarre 2006, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Kaźmierczak, Kotowski 2015, Licznar 2018, Maity 2018, Burszta-Adamiak i inni 2019, Kaźmierczak 2019]:

- *MAE (Mean Absolute Error)* średni błąd bezwzględny:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_{teor,i} - x_{emp,i}| \quad (2.98)$$

- *MSE (Mean Squared Error)* średni błąd kwadratowy:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{teor,i} - x_{emp,i})^2 \quad (2.99)$$

- *RMSE (Root Mean Squared Error)* średnia kwadratowa błędów:

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{teor,i} - x_{emp,i})^2} \quad (2.100)$$

- *MAPE (Mean Absolute Percentage Error)* średni bezwzględny błąd procentowy:

$$MAPE = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{x_{teor,i} - x_{emp,i}}{x_{emp,i}} \right| \quad (2.101)$$

- oraz *rRMSE (relative Root Mean Squared Error)* względny średnio kwadratowy błąd resztowy:

$$rRMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_{teor,i} - x_{emp,i}}{x_{emp,i}} \right)^2} \quad (2.102)$$

gdzie:

$x_{teor,i}$ – i -ty element funkcji teoretycznej, najczęściej jako kwantyl zmiennej losowej danego rozkładu prawdopodobieństwa,

$x_{emp,i}$ – i -ty element funkcji empirycznej (z wartości zmierzonych), elementy próby losowej,

N – liczba obserwacji.

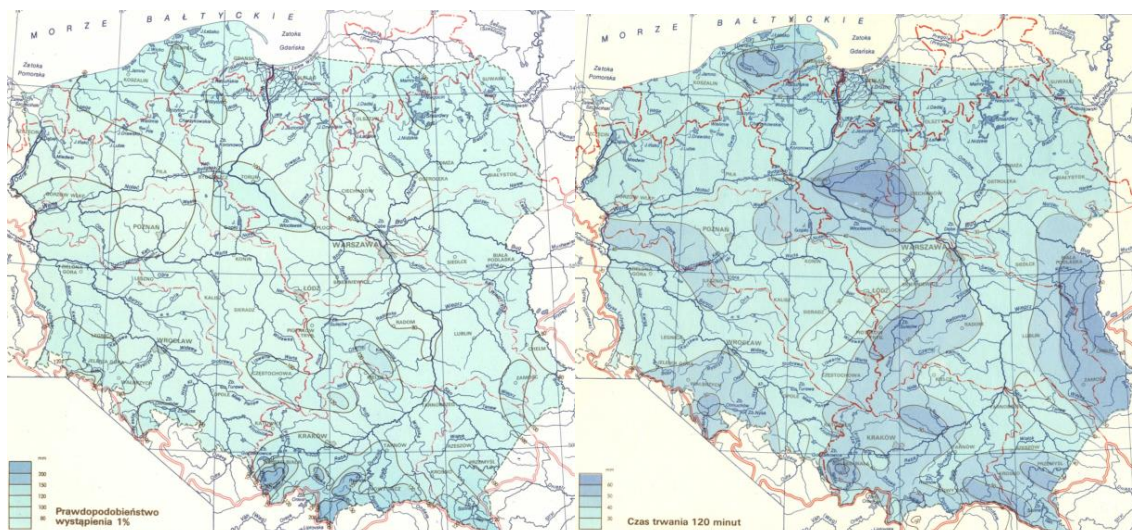
Względny średniokwadratowy błąd resztowy ($rRMSE$) jest wskaźnikiem oceny stopnia dopasowania rozkładu empirycznego (danych pomiarowych) z rozkładem teoretycznym, którego elementy są wynikiem szacowania kwantyli zmiennej losowej dla zakładanych prawdopodobieństw nieprzekroczenia p , w zakresie od 0,2 do 0,98, konkretnie wybranego rozkładu prawdopodobieństwa z wykorzystaniem estymowanych wcześniej parametrów rozkładu. Wskaźnik zasadniczo opiera się na pozostałych miarach oceny błędu, takich jak MAE , MSE , $RMSE$ i jest zalecany do stosowania przez *WMO* [WMO 1989]. Ocena zgodności dystrybuanty teoretycznej i empirycznej wg kryterium błędów polega na znalezieniu najmniejszej wartości kryterium, co bez względu na wybór wskaźnika (z pośród zależności (2.98)–(2.102), pozwala wskazać na rozkład prawdopodobieństwa najdokładniej dopasowany do elementów próby losowej. Wartości błędów prezentowane są też w postaci procentowej, jak w przypadku zależności (2.101).

2.3. Przykładowe atlasy opadowe

W rozdziale tym przedstawiono poglądowo wybrane atlasy opadowe, które ilustrują związek wysokości opadów w funkcji czasu trwania t oraz prawdopodobieństwa przekroczenia p , lub zjawisko występowania opadów maksymalnych na danym obszarze. Przykłady pochodzą z Polski oraz z wybranych krajów. Obszerne porównanie atlasów hydrologicznych i meteorologicznych z całego świata, zawierające analizy opadów maksymalnych, przedstawione są w przeglądowej pracy [Svensson, Jones 2010].

Atlas hydrologiczny IMGW (1986, 1987)

Atlas pod redakcją Stachý można uznać za pierwszą próbę prezentacji wiarygodnych informacji o intensywnych opadach deszczu w Polsce. W opracowaniu zestawiono opady atmosferyczne o dużej wydajności pochodzące z zapisów pluwiograficznych ze 121 punktów pomiarowych – sieci IMGW, rozmieszczonych równomiernie na obszarze całego kraju, co umożliwiło ustalenie zależności pomiędzy maksymalną wydajnością opadu, prawdopodobieństwem jego wystąpienia p i czasem trwania t , zgodnie z zależnościami (2.43–2.45). Pod uwagę brano deszcze ciągłe o wydajności powyższej poziomu U_0 wg skali Chomicza i czasie trwania nie przekraczającym 2 godz. Maksymalne sumy dobowe opadu o różnym prawdopodobieństwie wystąpienia obliczono natomiast na podstawie 300 stacji. Na rysunku 2.16 przedstawiono przykładowo wybrane mapy opadów z atlasu hydrologicznego IMGW.

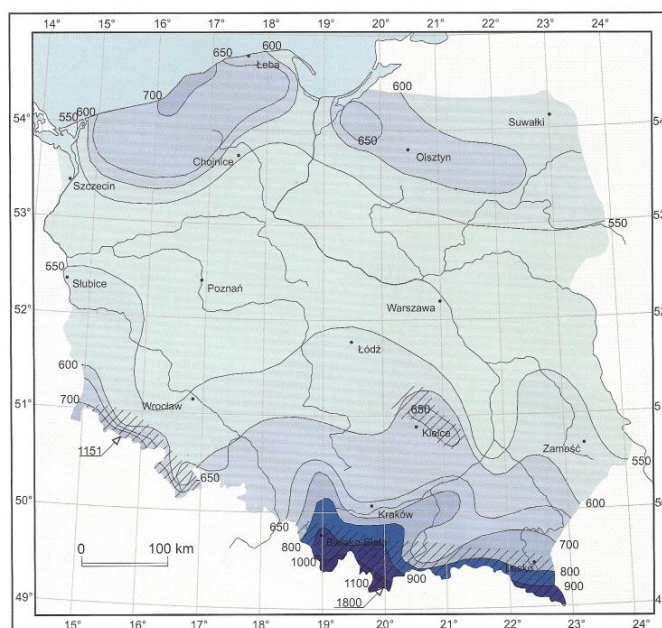


Rys. 2.16. Przykładowe mapy Atlasu Hydrologicznego Polski: po lewej - opady o prawdopodobieństwie $p = 1\%$; po prawej - opady o czasie trwania $t = 120$ min [Stachý 1987, Fal 1987]

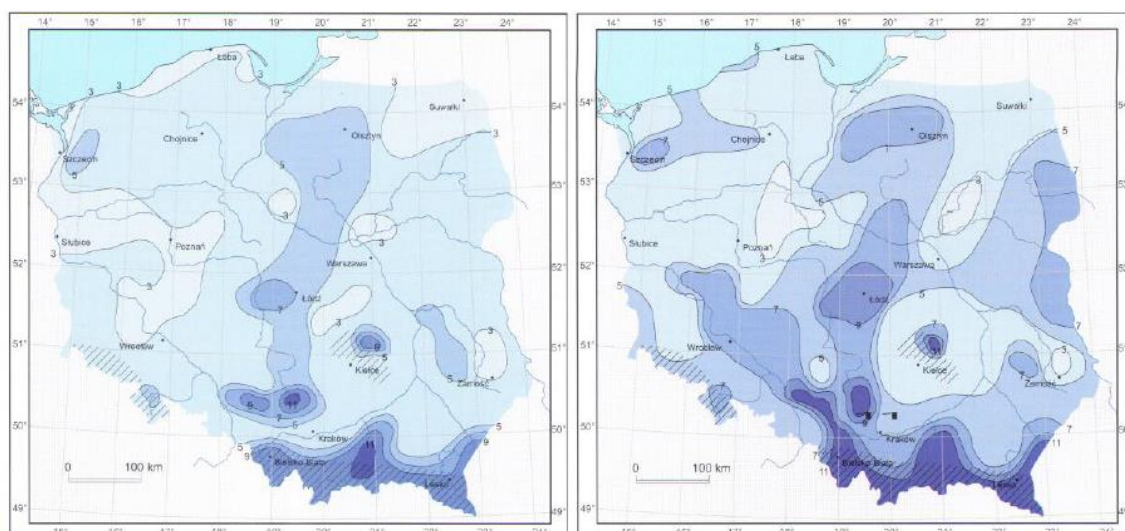
W toku obliczeń sporządzono 12 map izohiet maksymalnych opadów (rys. 2.16) o różnym czasie trwania ($t = 5, 10, 15, 30, 60$ i 120 min) i różnych prawdopodobieństwach wystąpienia ($p = 0,01, 0,1$ oraz $0,5$). Słabą stroną atlasu jest relatywnie krótki okres badań (1966–1975 - dla opadów intensywnej i 1951–1975 - dla opadów dobowych) oraz fakt braku kontynuacji publikacji przez IMGW w kolejnych latach [Stachý 1986, 1987, Fal 1987].

Atlas Klimatu Polski (2005)

W przedmowie Atlasu Klimatu Polski, Lorenc arbitralnie stwierdza, cytując: „Polska jest jednym z niewielu krajów Europy, który nie ma aktualnego, przystosowanego do współczesnych potrzeb atlasu klimatu” [Lorenc 2005]. Opracowanie pomimo, iż poświęcone jest badaniom klimatologicznym, zawiera rozdział poświęcony opadom maksymalnym (jako sumom dobowym) ale również intensywnym opadom deszczu, o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia. Materiał źródłowy atlasu stanowiło 61 stacji synoptycznych (I rzędu) oraz 29 stacji meteorologicznych niższego rzędu, w celu uzupełnienia obszarów górskich na południu kraju, z wyłączeniem obszarów wysokogórskich reprezentowanych jedynie przez dwie stacje: Śnieżkę w Karkonoszach (1603 m n.p.m.) oraz Kasprowy Wierch w Tatrach (1992 m n.p.m.). Okres badawczy obejmował 30-lecie klimatologiczne zalecane przez WMO, tj. lata 1971–2000. Niestety, jak podaje autor atlasu, ze względu na brak jednorodnego materiału dla obszaru całego kraju, do analiz opadów w ujęciu probabilistycznym (dla $p = 1, 2, 10$ oraz $99,9\%$) przyjęto zapisy pluwiograficzne ze 105 stacji za okres 1966–1980. Analizę statystyczną przeprowadzono wykorzystując rozkład logarytmiczno-normalny oraz test zgodności χ^2 [Lorenc 2005]. W kolejnych latach analizy klimatologiczne, podjęte w atlasie, były kontynuowane w ramach ogólnopolskiego projektu KLIMAT, z którego wyniki zostały opublikowane w 2012 roku (dostęp na stronie <http://klimat.imgw.pl>). Na rysunkach 2.17 i 2.18 przedstawiono wybrane mapy z Atlasu Klimatu Polski [Lorenc i inni 2012].



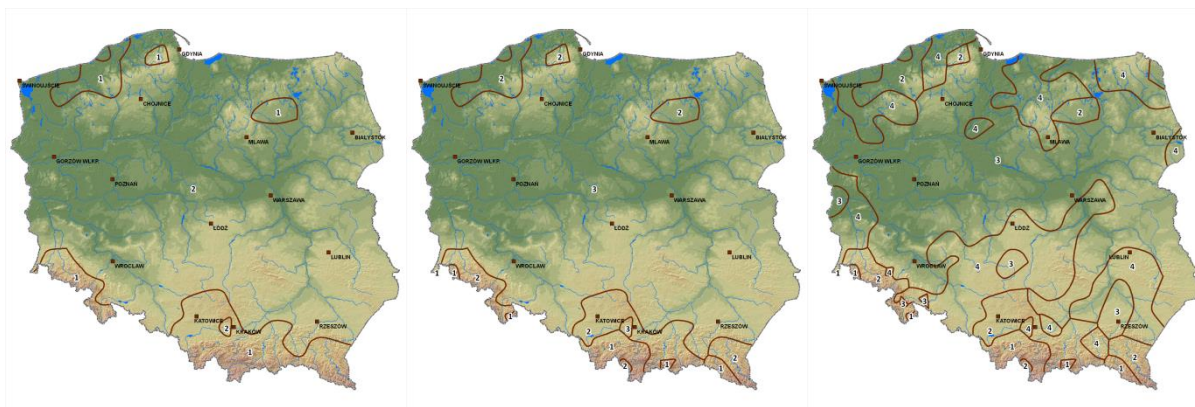
Rys. 2.17. Średnioroczne wysokości opadów atmosferycznych (tzw. opad normalny H) za okres 1971–2000, wg Atlasu Klimatu Polski [Lorenc 2005]



Rys. 2.18. Opady o prawdopodobieństwie wystąpienia: po lewej - $p = 10\%$, po prawej - $p = 1\%$ wg Atlasu Klimatu Polski [Lorenc 2005]

Atlas regionów opadowych Polski (2010)

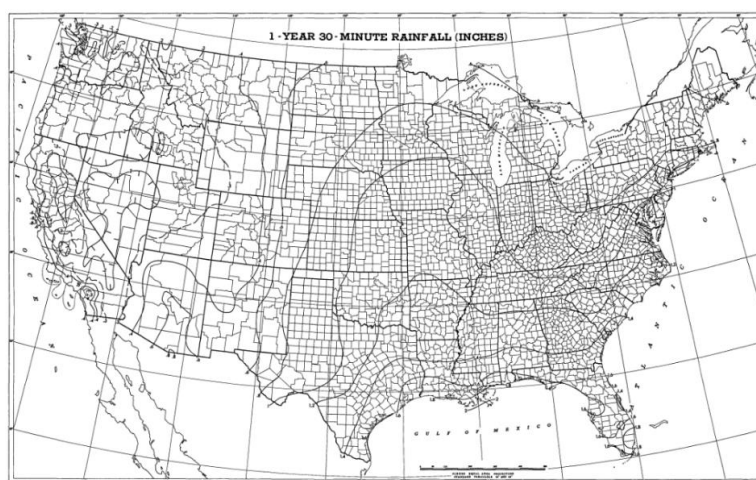
Atlas zawiera analizę dobowych opadów atmosferycznych ze 277 stacji pomiarowych na terenie całego kraju, za okres 1961–2000. Dla każdej stacji wyznaczono: daty początku i końca ciągów opadowych, sumy ciągów opadowych w interwałach od 3 do 11 dni, średnie w określonych ciągach opadowych, ilość dni z opadem powyżej 0,1 mm, ciągi opadowe powyżej 50 mm, odchylenie standardowe, współczynnik asymetrii oraz kurtozę. Następnie wykorzystując metodę Warda i techniki geoinformatyczne *GIS*, w trzech odcięciach obszarów genetycznie analogicznych, opracowano mapy czterech regionów opadowych przedstawione na rysunku 2.19 [Limanówka i inni 2010].



Rys. 2.19. Regiony opadowe dla Polski wg ciągów opadowych, od lewej I, II i III poziom odcięcia [Limanówka i inni 2010]

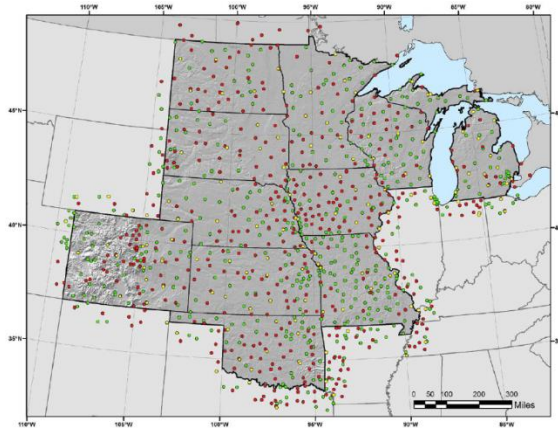
Atlasy Hershfielda i NOAA dla USA (1961–2015)

Atlasy Hershfielda zawierają liczne mapy ilustrujące izohiety opracowane na niezwykle bogatym materiale badawczym opadów deszczu zarejestrowanych przez stacje meteorologiczne różnego typu w latach 1890–1958 (tab. 2.22, w rozdz. 2.2.3). Liczba stacji w zależności od sposobu rejestracji opadów i wspólnego okresu funkcjonowania wahała się od 200 do 3400 z 6000 punktów pomiarowych, którymi w tamtym czasie dysponowały Stany Zjednoczone Ameryki Północnej [Hershfield 1961]. W atlasie wykonano analizę statystyczną opadów maksymalnych w oparciu o rozkłady teoretyczne Gumbela i logarytmiczno-normalny, w zależności od poziomu dopasowania rozkładów do danych pomiarowych. Wybór danych do analizy probabilistycznej został oparty o przedziałowe wysokości opadów (*PDS*). W atlasie przedstawiono również ocenę prawdopodobnego maksymalnego opadu (*PMP*). Atlas, oprócz szczegółowego opisu metodycznego zawiera kilkadziesiąt map z izohietami dla czasów trwania opadów *t* od 5 min do 60 dni oraz częstości występowania opadów od *C* = 1 rok do *C* = 1000 lat [Hershfield 1961, Svensson, Jones 2010, NOAA ATLAS 14 2015]. Rysunek 2.20 ilustruje przykład strefowej zmienności wysokości opadów $h_{1,30}$ (dla *C* = 1 rok i *t* = 30 min) w przedziale od 0,2 na wschodzie do 2,0 cali na południowym zachodzie kraju (czyli od 5,1 do 50,8 mm). Przestrzenne zróżnicowanie oznaczono gradientem kolorów zgodnie z wykreślonymi izoliniami [Hershfield 1961].



Rys. 2.20. Zmienność przestrzenna opadów na terenie USA dla *C* = 1 rok i *t* = 30 min. Opracowano na podstawie [Hershfield 1961]

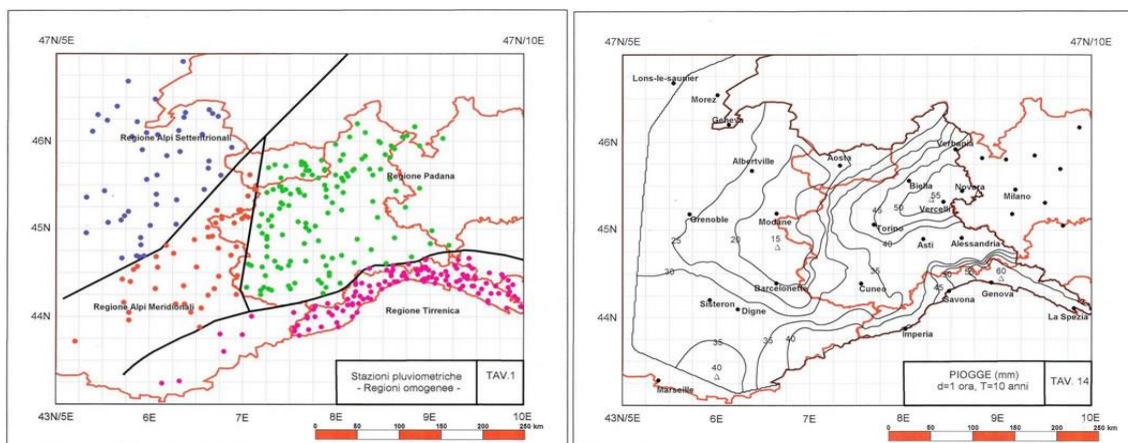
Obecnie atlasy opadowe w USA, nie są już publikowane dla całego kraju, a dla poszczególnych stanów lub grupy stanów (przyległych). Publikacją atlasów opadowych zajmuje się meteorologiczna agencja NOAA, a materiały w formie elektronicznych raportów technicznych są dostępne na stronie internetowej agencji. Przykładowe rozmieszczenie stacji opadowych dla kilku stanów przedstawiono na rys. 2.21.



Rys. 2.21. Rozmieszczenie stacji opadowych atlasu USA z rejestracją 1-godz. (zielone kropki), 15-min (czerwone kropki) oraz rejestracją ciągłą – wagową (żółte kropki) [NOAA 2015]

Francusko–włoski atlas Alp (1994–1999)

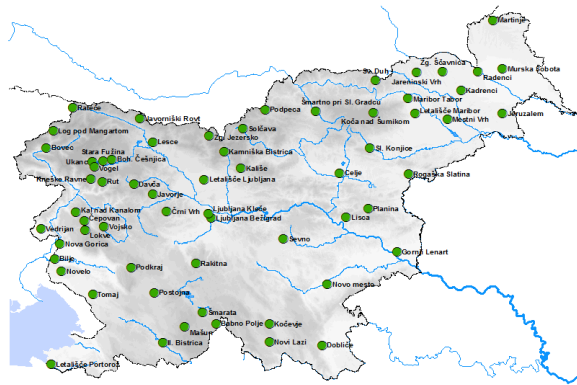
W Europie, próbę stworzenia regionalnego atlasu opadowego podjęto we Francji i Włoszech w ramach programu współpracy transgranicznej INTERREG. Celem projektu pt. „Atlas des pluies intenses” była przestrzenna i probabilistyczna analiza intensywnych opadów deszczu na obszarze Alp, w latach 1951–2000. Ocenie poddano opady o czasie trwania $t = 1, 3, 6, 12$ i 24 godz., pochodzące z gęstej sieci pomiarowej służb meteorologicznych obu państw (rys. 2.22). Do konstrukcji krzywych *IDF* wybrano rozkład teoretyczny z rodziny *GEV*, tj. rozkład Gumbela. Efektem projektu było stworzenie kilkudziesięciu map wysokości opadów o różnym czasie trwania t oraz częstotliwości występowania $C = 1, 10, \text{ i } 100$ lat.



Rys. 2.22. Mapa lokalizacji stacji opadowych atlasu INTERREG (po lewej) oraz mapa izolinii dla opadów o czasie trwania $t = 1$ godz. i $C = 10$ lat (po prawej) [INTERREG 2000]

Atlas dla Słowenii (2016)

Rozkład teoretyczny Gumbela znalazł również zastosowanie do opracowania ekstremalnie wysokich opadów w Słowenii [Dolšak inni 2016]. Tamtejsza agencja meteorologiczna publikuje na stronie internetowej (<https://meteo.arso.gov.si> – rys. 2.23) dane z 64 stacji opadowych, które zawierają informacje o wysokościach opadów maksymalnych h w [mm] oraz natężenia jednostkowego q w [$\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$], dla czasów trwania opadów $t = 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 360, 540, 720, 900, 1080$ i 1440 minut oraz $C = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ i 250 lat.



Rys. 2.23. Mapa lokalizacji stacji opadowych agencji meteorologicznej w Słowenii [<https://meteo.arso.gov.si>]

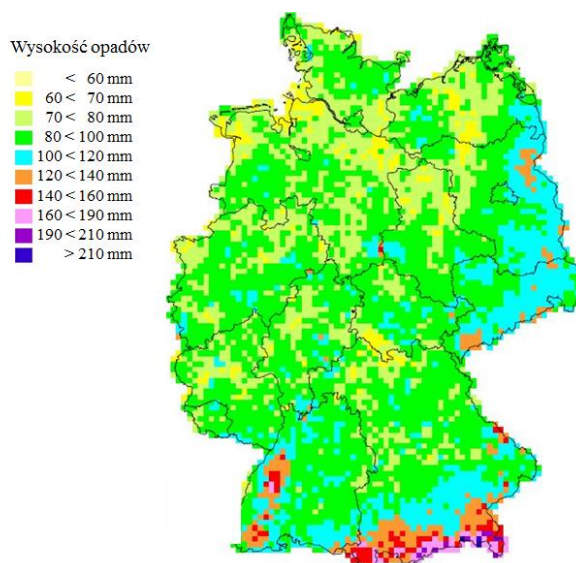
Atlas KOSTRA-DWD dla Niemiec (1997–2010)

Atlas opadowy KOSTRA niewątpliwie pozostaje jednym z najlepszych narzędzi do opisu intensywnych opadów deszczu w Europie. Funkcjonuje jako system informatyczny i jest aktualizowany już od niemal 30 lat. Oprócz analizy probabilistycznej, opartej na jednorodnych danych opadowych pochodzących z 3500 stacji meteorologicznych z lat 1951–2010, atlas dostarcza przestrzennej informacji w formie siatki kartograficznej o elementarnych polach o wymiarach 8,5 x 8,5 km. Atlas dostarcza danych opadowych, tj. wysokości h [mm] oraz natężenia jednostkowego q [$\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$], w 18 przedziałach czasów trwania opadów, od $t = 5$ min do $t = 72$ godziny i $C = 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50$ oraz 100 lat, dla dowolnej lokalizacji na terenie Niemiec. Do roku 2005 podstawowym rozkładem teoretycznym był rozkład Gumbela, w wersji atlasu z roku 2010 podano ogólną formę rozkładu GEV dla opadów selekcyonowanych metodą AMS oraz rozkład wykładniczy dla opadów selekcyonowanych metodą POT [Bartels i inni 2005, Malitz i inni 2010, Svensson, Jones 2010]. Dla poszczególnych stacji meteorologicznych, przedziałowym wysokościami opadu przyporządkowywano empiryczne prawdopodobieństwo p , po czym dopasowywano rozkład teoretyczny do danych pomiarowych. Rozkład przestrzenny punktowych wysokości opadów intensywnych o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia p , oparto o równanie regresji liniowej parametrów (kształtu i skali) dopasowywanego rozkładu teoretycznego: $u(t)$ i $w(t)$, w funkcji czasu trwania opadu t , wg zależności:

$$h(t, p) = u(t) + w(t) \cdot \ln p \quad (2.103)$$

Szczegółowe równania funkcji $u(t)$ i $w(t)$ - zależne od pory roku (półrocza letniego i zimowego) oraz opis metodyczny procedury opracowania modelu przedstawione są między innymi w pracach [Bartels i inni 2005, Malitz i inni 2010]. Na rysunku 2.24 przedstawiono

przykładową mapę możliwą do uzyskania w atlasie KOSTRA dla opadów deszczu o $t = 24$ godz. oraz $C = 100$ lat. Na stronie internetowej DWD są dostępne raporty techniczne ze szczegółowym opisem metod badawczych zastosowanych w atlasie, natomiast wyniki analiz zawartych w atlasie są udostępniane odpłatnie [Bartels i inni 2005, Malitz i inni 2010].



Rys. 2.24. Rozkład opadów deszczu o czasie trwania $t = 24$ godz. oraz $C = 100$ lat dla Niemiec.
Opracowano na podstawie [Bartels i inni 2005]

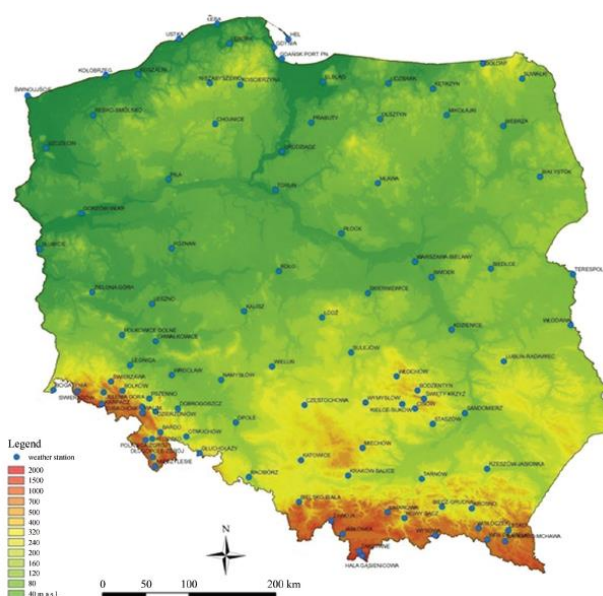
Korzystając ze zgody jednego z autorów atlasu, pani dr Gabrielle Malitz, w tabeli 2.29 przedstawiono pełną tablicę wyników atlasu dla stacji Görlitz, która położona jest w niewielkiej odległości od stacji meteorologicznej IMGW-PIB w Zgorzelecu. Zestawienie modelowanych wysokości opadów pozyskano w celu porównania z wynikami tworzonego w ramach niniejszej pracy punktowego modelu opadowego dla Zgorzelca.

Tab. 2.29. Zestawienie modelowanych wysokości opadów h [mm] oraz natężeń jednostkowych q [$\text{dm}^3 (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$] wg atlasu KOSTRA DWD dla stacji Görlitz [KOSTRA DWD 2010]

C	1 rok		2 lat a		5 lat		10 lat		20 lat		30 lat		50 lat		100 lat	
	h	q	h	q	h	q	h	q	h	q	h	q	h	q	h	q
5	5,3	178,1	7,0	234,3	9,3	308,5	10,9	364,8	12,6	421,0	13,6	453,8	14,9	495,2	16,5	551,4
10	8,4	139,3	10,7	178,2	13,8	229,5	16,1	268,3	18,4	307,1	19,8	329,9	21,5	358,5	23,8	397,3
15	10,3	114,4	13,1	145,7	16,8	187,1	19,6	218,3	22,5	249,6	24,1	267,9	26,2	290,9	29,0	322,2
20	11,7	97,1	14,9	123,9	19,1	159,4	22,3	186,2	25,6	213,0	27,4	228,7	29,8	248,5	33,0	275,3
30	13,4	74,5	17,3	96,1	22,4	124,7	26,3	146,3	30,2	167,9	32,5	180,5	35,4	196,5	39,3	218,1
45	14,9	55,2	19,6	72,6	25,8	95,6	30,5	113,1	35,2	130,5	38,0	140,6	41,4	153,5	46,1	170,9
60	15,8	43,9	21,2	58,8	28,3	78,5	33,6	93,5	39,0	108,4	42,2	117,1	46,1	128,1	51,5	143,1
90	17,8	32,9	23,0	42,6	29,9	55,4	35,1	65,0	40,4	74,7	43,4	80,4	47,3	87,5	52,5	97,2
120	19,3	26,8	24,4	33,9	31,2	43,3	36,3	50,4	41,5	57,6	44,5	61,7	48,2	67,0	53,4	74,1
180	21,7	20,1	26,7	24,7	33,3	30,8	38,3	35,4	43,2	40,0	46,2	42,7	49,8	46,1	54,8	50,8
240	23,5	16,4	28,4	19,7	34,9	24,2	39,8	27,6	44,7	31,0	47,6	33,0	51,2	35,5	56,1	38,9
360	26,5	12,2	31,2	14,5	37,5	17,4	42,3	19,6	47,0	21,8	49,8	23,1	53,3	24,7	58,1	26,9
540	29,7	9,2	34,4	10,6	40,5	12,5	45,1	13,9	49,8	15,4	52,5	16,2	55,9	17,2	60,5	18,7
720	32,3	7,5	36,8	8,5	42,9	9,9	47,4	11,0	51,9	12,0	54,6	12,6	58,0	13,4	62,5	14,5
1080	36,5	5,6	43,9	6,8	53,8	8,3	61,3	9,5	68,7	10,6	73,1	11,3	78,6	12,1	86,0	13,3
1440	39,8	4,6	49,3	5,7	61,9	7,2	71,4	8,3	80,9	9,4	86,5	10,0	93,5	10,8	103,0	11,9
2880	49,0	2,8	63,5	3,7	82,6	4,8	97,1	5,6	111,6	6,5	120,1	7,0	130,8	7,6	145,3	8,4
4320	55,3	2,1	72,7	2,8	95,7	3,7	113,2	4,4	130,6	5,0	140,8	5,4	153,6	5,9	171,0	6,6

Polski Atlas Natężeń Deszczów (PANDa, 2019)

Projekt PANDa ma za zadanie stworzenie w Polsce narzędzia, na wzór atlasu KOSTRA DWD, które w oparciu o współczesny warsztat statystyczny oraz geoinformatyczny będzie źródłem aktualnej i wiarygodnej informacji o intensywnych opadach, między innymi dla potrzeb projektowania systemów odwodnienia terenów. Podstawą analiz statystycznych są digitalizowane dane opadowe o rozdzielczości czasowej 1 minuty, pochodzące ze 100 stacji meteorologicznych IMGW-PIB na terenie całego kraju, z lat 1986–2015 (rys. 2.25).



Rys. 2.25. Lokalizacja 100 stacji IMGW-PIB w atlasie PANDa [Burszta-Adamiak i inni 2019]

Atlas będzie zawierał lokalne modele natężeń deszczów miarodajnych (modele fizykalne *IDF* oraz modele probabilistyczne *DDF*) dla czasów trwania opadów od 5 do 4320 min i prawdopodobieństwa przekroczenia zgodne z wymogami normy PN-EN 752. Obserwowane przedziałowe opady maksymalne, na potrzeby analiz przestrzennych, są weryfikowane z uwzględnieniem sytuacji synoptycznej oraz z wykorzystaniem obrazów radarowych za okres 2007–2015. Do opracowania modeli probabilistycznych wykorzystano uogólniony rozkład Pareto (GPA). Na potrzeby interpolacji przestrzennej wysokości opadów opracowano złożone modele semiwariogramów teoretycznych, wykorzystujących kombinacje maksymalnie dwóch modeli typu: wykładniczego, sferycznego lub Gaussa, z dodatkową opcją efektu samorodka (ang. *nugget*). Wyniki analiz zawartych w atlasie będą dostępne poprzez stronę internetową firmy RETENCJA.PL [Licznar 2018, Licznar i inni 2020].

Atlasy interaktywne

Odmianą formą prezentacji przestrzennej informacji o opadach maksymalnych o zadanym czasie trwania i prawdopodobieństwie przekroczenia są coraz powszechniej stosowane elektroniczne atlasy interaktywne. Prezentacja wyników analiz modelowania probabilistycznego oraz innych charakterystyk statystycznych danych meteorologicznych oparta jest o zaawansowane techniki geoinformatyczne i wizualizacji graficznej, dzięki którym możliwe jest uzyskanie informacji dla dowolnego punktu (opisanego szerokością i długością geograficzną) na mapie dostępnej w przeglądarce internetowej. Zarówno

KOSTRA i PANDa częściowo korzystają z tej technologii [Bartels i inni 2005, Licznar 2018, Licznar i inni 2020]. Wybrane przykłady, prezentowanych w opisany sposób informacji hydrologicznych i meteorologicznych zestawiono w tabeli 2.30, z czego system HIRDS (*Heavy Intense Rainfall Design System*) jest interesującą propozycją, ponieważ oprócz informacji o wysokościach opadów o czasie trwania $t = 10, 20, 30, 60$ min oraz 2, 6, 12, 24, 48, 72, 96 i 120 godz. (pochodzących z wszystkich dostępnych w Nowej Zelandii danych pomiarowych do roku 2016), zawiera również opady „teoretyczne” opracowane na podstawie projekcji scenariuszy klimatycznych (RCP 2,6, 4,5, 6,0 oraz 8,5) na lata 2031–2050 oraz 2081–2100) [Carey-Smith i inni 2018].

Tab. 2.30. Zestawienie wybranych interaktywnych atlasów opadowych

Lp	Kraj	Nazwa	Źródło
1	Nowa Zelandia	System intensywnych opadów teoretycznych (HIRDS)	[Carey-Smith i inni 2018]
2	Szwajcaria	Atlas hydrologiczny Szwajcarii	[hydrologicalatlas.ch]
3	Austria	Atlas hydrologiczny Austrii	[iwhw.boku.ac.at/hao]
4	Niemcy	Atlas hydrologiczny Niemiec	[geoportal.bafg.de]

W Polsce ze wspomnianej metody prezentacji danych, od wielu lat, korzysta Geoportal Krajowy (dostęp pod adresem: www.geoportal.gov.pl). W 2019 roku został uruchomiony Hydroportal (dostęp: www.isok.gov.pl), który w ramach Informatycznego Systemu Osłony Kraju (ISOK), prezentuje dynamiczne i statyczne mapy zagrożenia oraz ryzyka powodziowego. Światowe trendy oraz wymagania stawiane przez Unię Europejską wobec państw członkowskich zawarte między innymi w dyrektywach [2007/2/WE, 2007/60/WE 2007], w zakresie prezentacji informacji o zagrożeniach środowiskowych, wskazują, iż atlasy interaktywne stają się standardem.

2.4. Podsumowanie i wnioski metodyczne do zastosowania w pracy

Wody pochodzące z opadów atmosferycznych mają decydujące znaczenie w procesach kształtowania środowiska naturalnego oraz klimatu, zarówno w skali globalnej, jak i lokalnej [Allen 2000, Bajkiewicz–Grabowska, Mikulski 2007]. Waga i znaczenie zjawiska opadów deszczu w sposób szczególny zajmuje uwagę naukowców oraz inżynierów na całym świecie, co wyraża rosnąca liczba projektów badawczych i publikacji naukowych. Poznanie procesów transformacji opadów atmosferycznych w sfluw powierzchniowy, mimo upływu lat jest wciąż aktualnym tematem w hydrologii dynamicznej, w tym hydrologii terenów zurbanizowanych [Chow 1953, Schutze 2002, Overeem i inni 2008, Butler, Davis 2011, Kotowski 2011, 2015, Wałęga i inni 2016, Licznar 2018, Kaźmierczak 2019]. W świetle odczuwalnych zmian klimatu, w postaci zwiększenia częstości występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych (np. intensywnych opadów deszczu), obserwowany jest wzrost zainteresowania naukowców modelowaniem opadów atmosferycznych [Kundzewicz 2011, Yilmaz 2014, Łupikasza 2016, Kaźmierczak 2019]. Istotą podejmowanych prac jest opis matematyczny przeszłych zdarzeń opadowych i na tej podstawie próba predykcji przyszłych zdarzeń. Podkreśla to znaczenie podjętego problemu badawczego dla nauki i praktyki.

Poniżej przedstawiono, w formie wniosków, ogólne zalecenia metodyczne odnośnie modelowania opadów, w szczególności maksymalnych, wynikające z przeprowadzonej w analizie stanu wiedzy - do uwzględnienia w niniejszej pracy.

1. Opad deszczu jest elementem meteorologicznym, którego interdyscyplinarna analiza jest przedmiotem badań wielu dziedzin i dyscyplin naukowych, między innymi meteorologii i klimatologii, hydrologii czy inżynierii środowiska.
2. Na powstawanie, przebieg i charakter opadów deszczu mają wpływ zarówno czynniki cyrkulacyjne, uwarunkowania fizjograficzne jak również zagospodarowanie i użytkowanie terenu. Podobne metody badań dają różne wyniki dla opadów rejestrowanych w jednym punkcie pomiarowym oraz w kilku punktach zlokalizowanych na większym obszarze (np. aglomeracji miejskiej, zlewni rzecznej czy regionu geograficznego). Najczęściej stosowaną klasyfikacją opadów deszczu jest podział na opady: konwekcyjne, frontalne i niżowe. W Polsce jest wiele prac dotyczących opadów maksymalnych wykonanych dla jednej stacji pomiarowej, w tym o długim ciągu danych, znacznie mniej prac dotyczy większych obszarów lub całego kraju, a niewiele prac dotyczy dorzecza Górnej i Środkowej Odry.
3. Opad maksymalny jest definiowany w różny sposób, w zależności od celu analizy. Matematycznie jest to największa wartość w analizowanym zbiorze (np. miesiącu czy roku), przy czym w literaturze wiele uwagi poświęca się metodom określenia wartości progowej, która klasyfikuje wysokość opadu jako maksymalną lub stanowiącą zagrożenie (najczęściej przytaczana jest wysokość opadu dobowego $h = 30$ mm). Do określenia kryterialnych wysokości intensywnych opadów maksymalnych w wielu opracowaniach stosowana jest klasyfikacja Chomicza.
4. Opady deszczu wykazują czasowe i przestrzenne zróżnicowanie, które uzależnione jest od warunków klimatologicznych i fizjograficznych danego obszaru. W dorzeczu Górnej i Środkowej Odry opady o dużych sumach i gwałtownym przebiegu występują częściej na obszarach podgórskich i górskich Beskidów oraz Sudetów. Badania dla dorzecza

Górnej i Środkowej Odry wskazują też na przeważający udział opadów o najwyższych wysokościach (zarówno dobowych jak i krótkotrwałych) w ciepłym półroczu (V–X). Najlicniejsza grupa zdarzeń opadowych o rekordowych wysokościach przypada na lata, w których wystąpiły katastrofalne w skutkach powodzie: 1979, 1997, 2001, 2006, 2010. W dorzeczu Górnej i Środkowej Odry od 1997 roku obserwowana jest rosnącą tendencją występowania opadów maksymalnych.

5. Na potrzeby hydrologii inżynierskiej, do określenia lokalnych lub regionalnych związków wydajności opadów z czasem trwania i częstością występowania stosowane są modele fizykalne i probabilistyczne. Modele fizykalne, względem probabilistycznych, są prostsze w opracowaniu, nie dają jednak informacji o prawdopodobieństwie przekroczenia opadu o zadanym czasie trwania. Literatura oraz wytyczne projektowe zalecają stosowanie modeli probabilistycznych do opracowania krzywych *IDF* i *DDF*. Wiarygodne modele opadowe powinny być opracowywane w oparciu o dane pochodzące z ciągłej rejestracji deszczu, z możliwie długiego okresu pomiarowego - nie krótszego niż 30 lat.
6. Do opracowania modeli probabilistycznych opadów maksymalnych można wykorzystać teorię wartości ekstremalnych (*EVT*), opartą o rozkłady teoretyczne rodziny *GEV*. Najczęściej stosowanym rozkładem prawdopodobieństwa jest rozkład Gumbela (*EVI*). W wielu krajach do opracowania zależności *IDF* czy *DDF* stosuje się oprócz rozkładów *EVI*, *EV2* i *EV3* również inne rozkłady takie jak: Pearsona typ III (*P3*), logarytmiczno-normalny (*LogN*) czy uogólniony Pareto (*GPA*).
7. Istotnym elementem analizy statystycznej opadów maksymalnych jest wybór metody selekcji danych stanowiących próbę losową. Istota ta polega na zróżnicowaniu wyników w zależności od wybranej metody analiz wysokości opadów: w sztywnych przedziałach czasowych (np. godziny czy doby) lub w ruchomych przedziałach czasowych (*PDS* - np. 5, 15 czy 120 minut). Można również analizować wysokości opadów, które wystąpiły w trakcie określonego czasu np. wszystkie wysokości opadów w przedziale od 30 do 120 minut. Ta ostatnia metoda jest najrzadziej stosowana, natomiast w zależności od dostępności do danych pomiarowych na ogół stosuje się dwie pierwsze metody. Metoda *PDS*, mimo iż w trakcie analizy wymaga opracowania syntetycznych szeregów czasowych opadów, umożliwia wybór fizycznie najwyższych przedziałowych wysokości opadu. Ważnym zagadnieniem jest też analiza wybranych wcześniej wartości maksymalnych w okresie wieloletnim. Stosowane są dwie metody: maksimów rocznych (*AMP*) lub maksimów selekcyonowanych ponad próg odcięcia (*POT*), przy czym metoda *POT* daje wyższe wysokości opadów względem *AMP*. Metoda *AMP* z zasady daje gwarancję spełnienia warunku statystycznej niezależności elementów zmiennej losowej, natomiast coraz częściej stosowana jest metoda *POT*, pomimo konieczności określenia progu odcięcia oraz minimalnego czasu trwania okresu bezdeszczowego (*MDPD*).
8. Rozkład teoretyczny, który najdokładniej opisuje opady maksymalne wybierany jest według kilkietapowej procedury. Najpierw estymuje się parametry rozkładu prawdopodobieństwa (każdego poddawanego analizie), następnie zmiennej losowej przypisuje się empiryczne prawdopodobieństwo, po czym przy pomocy testu statystycznego ocenia zgodność dystrybucji: teoretycznej i empirycznej, w końcowym etapie porównuje się kwantyl zmiennej losowej rozkładu teoretycznego uznanego za

najlepszy, który daje „teoretyczne” wysokości opadów, z rzeczywistymi wysokościami opadów maksymalnych. Na każdym etapie tej procedury literatura wskazuje szereg metod, które mogą zostać zastosowane. Najwięcej uwagi poświęca się metodom estymacji parametrów rozkładów, ponieważ ich wartości wykorzystywane są kilkakrotnie w dalszych etapach wyboru i oceny rozkładu teoretycznego. Najczęściej stosuje się metody największej wiarygodności (*MNW*) oraz momentów liniowych (*MML*), ze wskazaniem na *MNW*. W różnych krajach stosuje się odmienne formuły prawdopodobieństwa empirycznego - *PPF* (*Plotting Position Formula*), natomiast jedną z najczęstszych jest formuła Gumbela. Również wybór sposobów oceny stopnia dopasowania rozkładu teoretycznego do danych pomiarowych jest szeroko opisany w literaturze przedmiotu. Powszechnie stosowane są: testy statystyczne Kolmogorova–Smirnova oraz Andersona–Darlinga, kryteria informacyjne *AIC*, *BIC* oraz kryteria błędów *MAE*, *RMSE*, *rRMSE*.

9. Na potrzeby hydrologii inżynierskiej, w szczególności do projektowania systemów odwodnienia terenów czy systemów zabezpieczeń przeciwpowodziowych, coraz częściej opracowuje się krajowe atlasy opadowe, oparte na modelowaniu probabilistycznym i obejmujące coraz dłuższe okresy pomiarowe, czego przykładem są atlasy: KOSTRA (2000, 2010) w Niemczech czy atlas PANDa – tworzony obecnie w Polsce. Wiele atlasów zawierających charakterystyki opadów maksymalnych jest dostępna nieodpłatnie, na stronach internetowych krajowych służb meteorologicznych.

Przeprowadzona w rozdziale 2. wnikliwa analiza stanu wiedzy w zakresie podstaw modelowania opadów maksymalnych pozwala na sformułowanie tezy pracy oraz na określenie jej celu i zakresu, a także na zaproponowanie metodyki niezbędnych badań (opisanych w rozdziałach 3 i 4).

3. Teza, cel i zakres pracy

Na podstawie wniosków z obszernej analizy aktualnego stanu wiedzy sformułowano następującą tezę badawczą: do formułowania lokalnych lub regionalnych probabilistycznych modeli opadowych możliwe i zasadne jest stosowanie właściwie dobranych teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa. Naukowym celem pracy jest więc wykazanie prawdziwości postawionej tezy na podstawie szczegółowej analizy statystycznej intensywnych opadów deszczu - na przykładzie ciągłych pomiarów ich wysokości na wybranych stacjach meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry.

Celowość podjętych badań wynika m.in. z faktu, iż w Polsce nie ma aktualnych opracowań dotyczących opadów maksymalnych dla potrzeb projektowania systemów odwodnień terenów czy ochrony przeciwpowodziowej. Ponadto, punktowe modele wysokości opadów maksymalnych (o zróżnicowanym czasie trwania i prawdopodobieństwie przewyższenia) powinny być opracowywane według odpowiednich procedur na podstawie długich (30-50 lat) ciągłych serii pomiarowych deszczów - odzwierciedlających lokalne warunki meteorologiczne, natomiast modele regionalne powinny uwzględniać dodatkowo genezę powstawania opadów, jak i zróżnicowanie przestrzenne, co ma wpływ na zakres wartości ekstremalnych.

Utylitarnym celem pracy jest natomiast sformułowanie probabilistycznych modeli opadów maksymalnych dedykowanych dla dorzecza Górnej i Środkowej Odry oraz sporządzenie map opadów dla wybranych czasów trwania i częstości występowania.

W związku z powyższym przyjęto następujące cząstkowe zadania badawcze, które określają zakres niniejszej pracy:

1. Opracowanie baz danych przedziałowych wysokości opadów maksymalnych (17 przedziałów, w zakresie t od 5 do 4320 minut) dla wybranych ośmiu charakterystycznych stacji meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry, na podstawie ciągłych zapisów wysokości opadów deszczu w okresie wielolecia 1961–2010 (tj. pełnych dziesięcioleci wg zaleceń WMO).
2. Usystematyzowanie i uogólnienie procedury formułowania probabilistycznych modeli opadów maksymalnych dla dowolnej lokalizacji i/lub zasięgu, między innymi w zakresie: określenia zmiennej losowej, estymacji parametrów rozkładów prawdopodobieństwa, kryteriów wyboru rozkładów najlepiej dopasowanych do zmiennej losowej czy kryteriów oceny modelowanych wysokości opadów maksymalnych.
3. Opracowanie probabilistycznych modeli opadów maksymalnych dla wybranych 8 stacji meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry (modeli punktowych), z prezentacją wyników w formie krzywych DDF - dla przyjętych czasów trwania deszczu i prawdopodobieństw przekroczenia.
4. Próba uogólnienia opisu opadów maksymalnych w całym dorzeczu Górnej i Środkowej Odry w postaci: modelu regionalnego i/lub modeli obszarowych, tj. modeli obejmujących grupy stacji meteorologicznych IMGW-PIB (na obszarach nizinnych i podgórskich dorzecza).
5. Opracowanie map wysokości opadów maksymalnych dla wybranych czasów trwania i częstości występowania w regionie, w tym na wydzielonych obszarach dorzecza Górnej i Środkowej Odry.

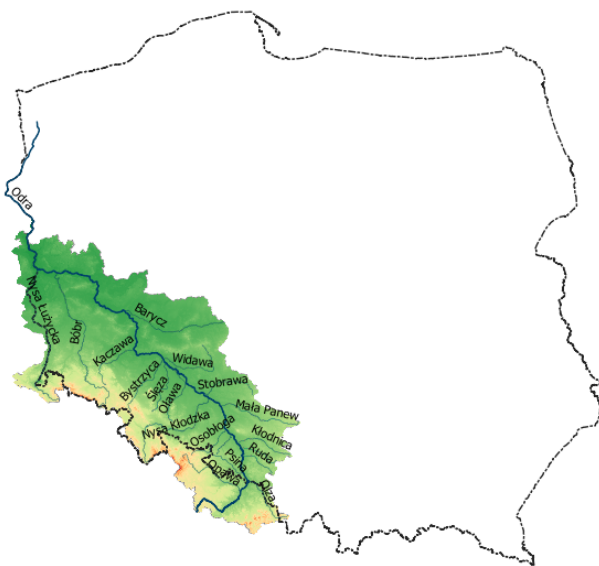
4. Obszar badań, materiał i metody

4.1. Charakterystyka obszaru badawczego

4.1.1. Dorzecze Górnej i Środkowej Odry

Odra jest jedną z większych rzek w zlewisku Morza Bałtyckiego, a po Wiśle jest drugą co do wielkości rzeką w Polsce. Długość rzeki wynosi ogółem 854 km, z tego na terenie Polski 742 km, a w województwie dolnośląskim 204 km (od Oławy km 216+500 do Głogowa km 392+900). Źródła Odry znajdują się na terytorium Czech w Oderskich Vrchach, na wysokości 634 m n.p.m. Obszar źródłowy położony jest w strefie śląsko-morawskiej Sudetów, wyniesionej do wysokości 400–700 m n.p.m. Potoki źródłowe Odry zbiegają się w rowie tektonicznym Bramy Morawskiej i w obniżeniu Kotliny Raciborskiej (rys. 4.1).

Na długości biegu rzeki można wyróżnić dwie części: górską, obejmującą pierwsze 50 km biegu, oraz niziną - na pozostałym odcinku. Ujście rzeki Opawy do Odry stanowi umowny początek kilometrażu rzeki (km 0,0 Odry) i od tego miejsca Odra uznawana jest za żeglowną. Reżim hydrologiczny dorzecza Odry jest wynikiem naturalnych warunków geograficznych i klimatycznych oraz w głównej mierze wielowiekowej działalności człowieka, szczególnie intensywnej w XIX i XX wieku. Uwidacznia się to wyraźnie poprzez regulacyjną i zbiornikową zabudowę sieci rzecznej.



Rys. 4.1. Zasięg dorzecza Górnej i Środkowej Odry na tle Polski – Odra wraz z ważniejszymi dopływami (opracowano na podstawie [MPHP 2010])

Ze względu na spadek podłużny, Odrę dzieli się na:

- Górną - od źródeł do Koźła, ma długość 202 km. Na długości pierwszych 54 km znajdujących się po stronie czeskiej, Odra ma charakter rzeki górskiej, natomiast na terytorium Polski - nizinny,
- Środkową - od Koźła do ujścia Warty, ma długość 522 km (w tym odcinek skanalizowany o długości 187 km i swobodnie płynący o długości 335 km),
- Dolną - od ujścia Warty do Zalewu Szczecińskiego.

Odra, do odcinka granicznego z Republiką Federacyjną Niemiec, przepływa przez pięć województw: śląskie, opolskie, dolnośląskie, lubuskie i wielkopolskie (rys. 4.2). Głównymi dopływami Odry w granicach województwa śląskiego i opolskiego są: Olza i Mała Panew.

Dla województwa dolnośląskiego - rzeki górskie i podgórskie: Nysa Kłodzka, Bystrzyca, Kaczawa, Bóbr i Nysa Łużycka oraz rzeki nizinne: Oława, Ślęza, Widawa, Barycz. Rzeki górskie i podgórskie wypływają z wysokości od 1190 m n.p.m. (źródła Bobru) do 550 m n.p.m. (źródła Kaczawy). Rzeki nizinne wypływają z wysokości od 370 m n.p.m. (źródła Ślęzy) do 126 m n.p.m. (źródła Baryczy) [Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego 1997, Kondracki 1988, 2001, Dubicki i inni 2002, Wrona 2008, Otop 2008, Maciejewski i inni 2010, Rozporządzenie 2016, WORP 2018, Wartalska 2019].

Uzasadnienie wyboru dorzecza Górnej i Środkowej Odry jako obszaru badawczego w niniejszej pracy, leży w rosnącym w ostatnich latach zagrożeniu zjawiskami ekstremalnymi, w szczególności powodowanymi przez intensywne opady deszczu [Dumieński i inni 2019]. Na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat, w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry zauważalna jest rosnąca tendencja do występowania długotrwałych opadów, w tym o charakterze ulewnym bądź nawalnym, które prowadzą do powstawania katastrofalnych powodzi rzecznych, jak te na Odrze (1997, 2010) i na głównych dopływach (Nysa Kłodzka – 1998, 2009, Bóbr – 2006, Nysa Łużycka 2010), a także powodzi miejskich (np. we Wrocławiu, Legnicy, Kłodzku czy Głogowie) [Migoń 2010, Wdowikowski 2017a–b, WORP 2018, Wartalska 2019]. Analiza miejskich planów adaptacji do zmian klimatu, wykonana w pracy [Dumieński i inni 2019], wykazała, że w Polsce ekstremalne zjawiska opadowe stanowią największy procent wszystkich identyfikowanych zagrożeń klimatycznych. Dla 44 miast powyżej 100 000 mieszkańców objętych projektem MPA (Miejskie Plany Adaptacji do zmian klimatu), 95% wskazało intensywne opady deszczu i burze, a 82% powódzie miejskie jako główne zagrożenia klimatyczne [Dumieński i inni 2019]. W projekcie analizowano takie miasta jak: Opole, Wrocław, Legnica, Wałbrzych oraz Zielona Góra, a więc miejscowości leżące w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry.

4.1.2. Stacje pomiarowe IMGW-PIB

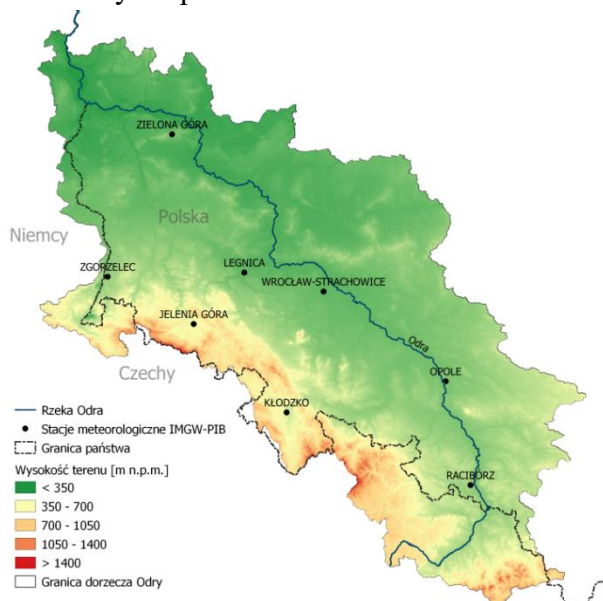
W pracy wykorzystano dane o opadach atmosferycznych z okresu $N = 50$ lat (1961–2010), pochodzące z zapisów pluwiograficznych 8 stacji pomiarowych IMGW-PIB. Do analizy wybrano charakterystyczne dla dorzecza Górnej i Środkowej Odry punkty pomiarowe reprezentowane przez regionalne stacje synoptyczne, służące między innymi do opracowywania i weryfikacji prognoz, ostrzeżeń oraz komunikatów meteorologicznych. Lokalizacje stacji meteorologicznych I rzędu (stacji synoptycznych) w analizowanym dorzeczu, z uwzględnieniem ukształtowania terenu przedstawiono na rysunku 4.2, a ich charakterystyczne wartości takie jak: X_{geo} , Y_{geo} – długość i szerokość geograficzna, H_{wzg} – wysokość względna stacji odniesiona do poziomu morza, $h_{d\ max}$ – maksymalna dobowa wysokość opadu w latach 1961–2010, $h_{R\ min}$ – minimalna roczna wysokość opadu w latach 1961–2010, $h_{R\ max}$ – maksymalna roczna wysokość opadu w latach 1961–2010, $h_{R\ Sr}$ – średnia roczna suma wysokości opadu w latach 1961–2010, podano w tabeli 4.1.

Analizując charakterystyki maksymalnych opadów dobowych oraz ekstremów rocznych (roczne wartości minimalne i maksymalne) oraz średnich rocznych z wielolecia 1961–2010 (tab. 4.2.), należy zwrócić uwagę, że maksymalne wysokości opadów dobowych przeważnie stanowią około 10% największych opadów rocznych i niemal 50% opadów minimalnych rocznych.

Tab. 4.1. Charakterystyka stacji meteorologicznych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry

Lp.	Nazwa stacji pomiarowej	Współrzędne stacji		H_{wzg} [m n.p.m.]	$h_d \max$ [mm]	$h_R \min$ [mm]	$h_R \max$ [mm]	$h_{R sr}$ [mm]
		X_{geo}	Y_{geo}					
1	Racibórz	181127	500340	206	92,9	443	1001	642
2	Opole	175812	503740	165	99,0	374	868	624
3	Kłodzko	163651	502613	356	101,2	369	586	602
4	Wrocław	165357	510614	120	74,4	381	776	596
5	Legnica	161227	511133	122	85,9	361	795	537
6	Jelenia Góra	154720	505401	342	119,3	462	1005	698
7	Zgorzelec	150131	510810	203	81,1	346	809	616
8	Zielona Góra	153128	515549	192	80,0	385	770	587

W odniesieniu do rysunku 2.5 (przedstawionego w rozdziale 2) oraz wykazu danych zawartych w suplemencie A, maksymalne wartości dobowe stacji synoptycznych (mierzone w standardowej dobie meteorologicznej, która obejmuje terminy między 6 i 6 UTC) mieszczą w dolnym kwartylu (25%) maksymalnych wartości zarejestrowanych na stacjach opadowych niższego rzędu w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry, co świadczy o dużym zróżnicowaniu przede wszystkim wysokościowym opadów.



Rys. 4.2. Lokalizacja stacji meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry (opracowano na podstawie [MPHP 2010])

Do wizualizacji ukształtowania terenu na obszarze dorzecza Górnej i Środkowej Odry (rys. 4.2) wykorzystano numeryczny model terenu *NMT* (ang. *DTM - Digital Terrain Model*) w układzie PUWG-92 oraz dane pochodzące z dostępnych zasobów Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGIK).

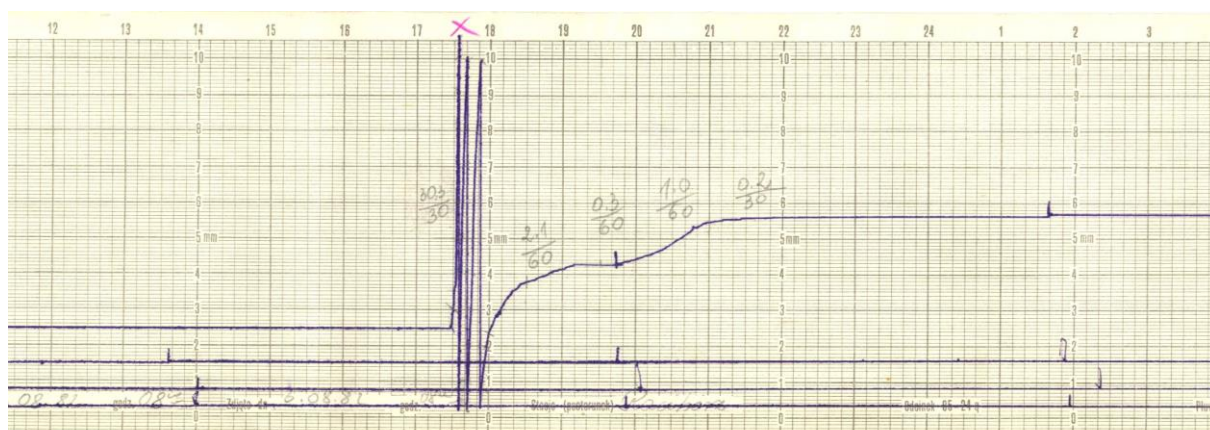
Stacje pomiarowe IMGW-PIB zestawione w tab. 4.1, wybrano jako podstawowe źródło danych opadowych kierując się następującymi kryteriami:

1. Stacje pomiarowe rozmieszczone są równomiernie na obszarze dorzecza Górnej i Środkowej Odry (rys 4.2) co umożliwia analizę wyników w zróżnicowanych warunkach przestrzennych i wysokościowych, z uwzględnieniem terenów podgórskich i nizinnych.
2. Okres pomiarowy 1961–2010 jest wspólny dla wszystkich 8 stacji.

3. Stacje posiadają status stacji synoptycznych - z etatową obsługą wykwalifikowanego personelu, co zapewnia jednorodność i kompletność danych pomiarowych.
4. Stacje synoptyczne były automatyzowane jako pierwsze (początkowo jako urządzenia zapasowe, od 2009 roku jako podstawowe) co umożliwia uzupełnienie braków lub porównanie danych pluwiograficznych ze wskazaniem pluwiometrów automatycznych o wysokiej rozdzielczości pomiaru (1 minuta).

4.2. Archiwalny materiał badawczy

Do opracowania szeregów czasowych maksymalnych wysokości opadów deszczu o zadanym czasie trwania, w pracy wykorzystano archiwalne pluwiogramy, rejestrowane w sezonie letnim, od maja (V) do października (X), na 8 stacjach meteorologicznych IMGW-PIB, w latach 1961–2010. Rejestracja opadów deszczowych, w trybie ciągłym, była utrwalana na papierowych paskach pływakowych pluwiografów zegarowych, które funkcjonowały w Polsce co najmniej od lat 50-tych. Wraz z pojawieniem się rejestratorów automatycznych (na początku lat 2000), stopniowo odchodzono od pomiarów pluwiografami pływakowymi. Jednak w celu zabezpieczenia wieloletnich ciągów pomiarowych i właściwego nawiązania rozwiązań cyfrowych z analogowymi, pomimo oficjalnego wycofania pluwiografów zegarowych z programu pomiarowego IMGW-PIB w 2007 roku, materiał pluwiograficzny gromadzony był na stacjach meteorologicznych I rzędu do roku 2010, co pozwoliło zbudować rzadkie i cenne z punktu widzenia jakości i dokładności, ciągi porównawcze pomiarów opadów deszczu [Filipiak 2001, Matuszko, Nowak 2017]. Standardowy pasek pluwiograficzny rejestrował ciągły przebieg opadu jaki wystąpił w czasie jednej doby, w postaci pluwiogramu (hietogramu) na siatce 10-cio minutowych odciętych i 1 milimetrowych rzędnych (rys. 4.3). Po zakończeniu doby (o godzinie 6 UTC) pasek zmieniano, a wyniki pomiaru notowano w "zestawieniu pluwiograficznym" w postaci dwóch wartości: wysokości sumy dobowej oraz łącznego czasu trwania epizodu opadowego. Dokładność pomiaru, tak jak w przypadku deszczomierza pojemnościowego (Hellman) wynosiła 0,1 mm.



Rys. 4.3. Pluwiogram opadu nawałnego ze stacji Racibórz z dnia 04.08.1982 – opad deszczu zarejestrowany w sposób ciągły linią rysowaną atramentem na papierowym pasku bębna zegarowego. Suma dobowa opadu wynosiła 33,9 mm [Materiały archiwalne IMGW]

Opracowanie materiałów opadowych pochodzących z deszczomierzy: zegarowego, pływakowego pluwiografu Hellmana, pojemnościowego Hellmana (tylko wysokość sumy

dobowej) oraz automatycznego, najczęściej korytkowo–przelewowego firmy SEBA lub MetOne, pozwoliło zachować jednorodność genetyczną szeregów danych, które można uznać za jednorodną zbiorowość generalną, jako punkt wyjścia do przygotowania prób losowych dla poszczególnych czasów trwania opadów. Podobne założenie przyjęli Twardosz, Kotowski z zespołem oraz Suligowski [Twardosz 2005, Kotowski i inni 2010, Suligowski 2013, 2014]. Literatura wskazuje, że wyniki ciągów pomiarowych uwzględniające zastosowanie deszczomierzy automatycznych cechuje pewne zaburzenie homogeniczności danych [Filipiak 2001, Licznar 2009a, Kotowski i inni 2010, Suligowski 2014, Matuszko, Nowak 2017]. W celu zachowania kompletności zbioru danych, w wyjątkowych sytuacjach braku rejestracji pluwiografu (np. na skutek awarii) po roku 2000, uzupełniano dostępnymi danymi z urządzeń automatycznych (np. Legnica w dniu 03.07.2002 r). Warunki techniczne pluwiografów i brak odporności na niekorzystne warunki meteorologiczne (np. mróz) nie pozwalały rejestrować opadu w sezonie zimowym, ze względu na oblodzenie mechanizmów. Problem ten dotyczył również samopisów na stacjach wodowskazowych (limnigrafach).

Przyczyną braku dostępności lokalnych modeli opadowych w Polsce jest utrudniony dostęp do archiwalnych zapisów pluwiograficznych IMGW-PIB. Wprawdzie pomiary prowadzone są przez IMGW-PIB w całym kraju od dziesięcioleci, jednak dopiero od kilku lat dokonywany jest w miarę jednorodny zapis cyfrowy wyników pomiarów deszczu. Kilkudziesięcioletnie szeregi pomiarowe są więc dostępne jedynie w postaci pasków pluwiograficznych, których opracowywanie pod kątem projektowania kanalizacji jest czasochłonne, z uwagi na konieczność wykorzystania sum opadów o określonych czasach trwania [Licznar 2009a, b, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Suligowski 2013, 2014]. Jak wspomniano we wstępie niniejszej pracy sytuację ma zmienić opublikowanie atlasu PANDa, który będzie opracowany na zdigitalizowanych danych pluwiograficznych dla całego kraju za okres 1986–2015 [Licznar i inni 2015, 2018a, b, Licznar 2018, Burszta-Adamiak i inni 2019]. Również niniejsza praca ma na celu uzupełnienie niedostatku informacji o opadach intensywnych na wybranych stacjach obszaru dorzecza Górnej i Środkowej Odry (tab. 4.1, rys. 4.2).

4.3. Wstępna weryfikacja założeń metodycznych

4.3.1. Studium przypadku dla stacji meteorologicznej IMGW-PIB w Legnicy

W celu weryfikacji założeń metodycznych procedury formułowania probabilistycznych modeli opadowych proponowanych przez Kotowskiego z zespołem, między innymi w pracach [Kotowski i inni 2010, Kaźmierczak, Kotowski 2015], na potrzeby niniejszej pracy wykonano badania wstępne. Analizę przeprowadzono na serii opadów deszczowych ze stacji meteorologicznej w Legnicy dla okresu badawczego 1961–2010. Wyniki przedmiotowych badań dla Legnicy, jako studium przypadku, na tle 7 pozostałych analizowanych stacji meteorologicznych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry, zostały opublikowane w pracach [Wdowikowski, Kaźmierczak 2015, Kaźmierczak, Wdowikowski 2016] i były podstawą do przyjęcia modyfikacji metodycznych, opisanych w rozdziale 4.4.

Stosując metodykę opracowaną w zespole prof. Kotowskiego, z materiału pomiarowego ciągłej rejestracji opadów, metodą przeglądu zupełnego wyodrębniono zbiory maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu, które wystąpiły w Legnicy w ciepłym półroczu (V–X) w latach 1961–2010. Następnie wybrano po 50 największych wartości wysokości

opadów (h) dla każdego z 20 następujących czasów trwania opadu: $t = 5, 10, 20, 30, 40$ i 50 min, i $1, 1,5, 2, 3, 6, 12$ i 18 godz., oraz $1, 1,5, 2, 3, 4, 5$ i 6 dni. Badaniu zgodności dystrybuanty teoretycznej i empirycznej poddano rozkłady prawdopodobieństwa: EVI , $EV2$, $EV3$, $P3$, $LogN$ oraz GED . Parametry rozkładów estymowano MNW . Ocenę jakości dopasowania rozkładów wykonano w oparciu o test statystyczny Andersona–Darlinga oraz kryterium informacyjne BIC . Jako kryterium błędów do porównania modelowanych i rzeczywistych opadów maksymalnych przyjęto wskaźnikiem $rRMSE$. Ostatecznie, model opisujący zależność wysokości opadu od czasu jego trwania i zadanego prawdopodobieństwa przekroczenia w Legnicy, oparty na kwantylu zmiennej losowej rozkładu GED wg zależności (2.61) oraz uogólnionych wartościach parametrów, przyjął postać:

$$h(p, t) = 5,074t^{0,260} - 2,283t^{0,259} \ln(1 - (1 - p)^{1,038}) \quad (4.1)$$

Otrzymane z modelu (4.1) wysokości opadów kilkudniowych (4, 5 oraz 6 dni, o wysokości opadu powyżej 100 mm) najbardziej odstawały względem danych pomiarowych. Modelowane wysokości opadów w tym zakresie były niższe od danych rzeczywistych. Wysokości opadów krótkotrwałych - do $t = 120$ min otrzymywano natomiast większe od rzeczywistych. Skrajne residua sięgały 35 mm, co w odniesieniu do największych odnotowanych i przyjętych do analizy opadów w Legnicy wynosiło nieco ponad 20%. Wyraźne różnice, na niekorzyść modelu (4.1), otrzymano również dla opadów o wysokości do 20 mm [Wdowikowski, Kaźmierczak 2015, Kaźmierczak, Wdowikowski 2016].

Na tej podstawie, przyjęto górne ograniczenie czasu trwania opadów do $t = 4320$ min (3 dni), tj. w dalszej części pracy zrezygnowano z analizy opadów o $t = 5760, 7200$ oraz 8640 min).

4.3.2. Maksymalne dobowe wysokości opadów w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry

W kolejnym kroku wstępnej weryfikacji metod badawczych przeprowadzono analizę największych dobowych wysokości opadów na 8 stacjach meteorologicznych, polskiej części zlewni Nysy Łużyckiej (od granicy z Republiką Czeską i Federalną Republiką Niemiec do wodowskazu i miejscowości Przewóz) [Wdowikowski i inni 2016] oraz wybranych 12 stacji meteorologicznych rozmieszczonych na obszarze dorzecza Górnej i Środkowej Odry [Wdowikowski i inni 2017a–b]. Opady dobowe pochodziły z ogólnodostępnej bazy danych IMGW-PIB jako „sztywne” wartości mierzone pomiędzy godzinami 6 UTC następujących po sobie dób. Dla zlewni Nysy Łużyckiej przyjęto te same rozkłady prawdopodobieństwa co w przypadku prac dotyczących opadów maksymalnych w Legnicy, tj. EVI , $EV2$, $EV3$, $LogN$, $P3$, GED [Wdowikowski, Kaźmierczak 2015, Kaźmierczak, Wdowikowski 2016], natomiast do analizy dobowych ekstremów opadowych w dorzeczu Odry, z jednej strony zrezygnowano z dwuparametrowego rozkładu Gumbela (EVI), z drugiej, dodatkowo analizowano rozkłady: uogólnionych wartości ekstremalnych (GEV), uogólniony Pareto (GPA) oraz logarytmiczno-logistyczny ($LogL$). Podstawowe dane opadowe pochodziły ze wspólnego okresu, tj. półrocza ciepłego wielolecia 1961–2010. Ocenę jakościową stopnia dopasowania rozkładów teoretycznych z rozkładami empirycznymi przeprowadzono w przypadku zlewni Nysy Łużyckiej z wykorzystaniem kryteriów informacyjnych AIC , BIC oraz kryterium błędu $rRMSE$, natomiast dla dorzecza Górnej i Środkowej Odry zastosowano dodatkowo test statystyczny Andersona–Darlinga. Przeprowadzone analizy maksymalnych dobowych

wysokości opadów wykazały, że dla opadów występujących zarówno w zlewni Nysy Łużyckiej jak i w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry najbardziej zbliżone do wartości pomiarowych, teoretyczne wysokości opadów określono rozkładami $P3$ i GED oraz w dalszej kolejności $EV3$. W przypadku Odry wspomniane rozkłady jako jedyne spełniły wymagania statystyki A^2 testu Andersona–Darlinga. W obu pracach potwierdzono wniosek dotyczący największej rozbieżności wyników dla wysokości opadów najrzadziej występujących ($C = 50$ lat) oraz fakt niewielkich różnic w ocenie jakościowej AIC , BIC oraz ocenie błędów $rRMSE$ pomiędzy rozkładami $P3$, GED i $EV3$. Powszechną praktyką w analizie statystycznej opadów jest stosowanie rozkładu Gamma ($P3$), natomiast wiele prac dotyczących modelowania probabilistycznego wysokości opadów o zróżnicowanych czasach trwania opartych jest albo bezpośrednio na rozkładzie Weibulla albo z wykorzystaniem teorii wartości ekstremalnych, gdzie rozkład GEV dąży granicznie do rozkładu Gumbela ($EV2$) lub Weibulla ($EV3$). W przypadku uogólnionego rozkładu wykładniczego (GED) z jednej strony pochodzi on genetycznie z rodziny rozkładów Gamma, co tłumaczy zbieżność wyników rozkładów GED i $P3$, z drugiej, są to kolejne badania potwierdzające możliwość stosowania rozkładu GED do opracowania modeli opadowych [Wdowikowski i inni 2016, Wdowikowski i inni 2017a–b].

4.4. Przyjęte metody badawcze

4.4.1. Baza przedziałowych wysokości opadów deszczu

W celu ustalenia zależności empirycznej wysokości opadu od czasu trwania i prawdopodobieństwa przekroczenia, należy dokonać wyboru próby losowej, którą w analizowanym w pracy przypadku będą stanowiły szeregi przedziałowych wysokości opadów – PDS (*Partial Duration Series*) [Ben Zvi 2009]. Jak wskazano w rozdziale 4.3 opracowując pluwiogramy archiwalne ograniczono okres ich analizy do miesięcy od maja do października ($V-X$), co jest powszechnie stosowanym i pragmatycznym podejściem. Bogdanowicz i Stachy w pracy [Bogdanowicz i Stachy 1998] na 63 stacjach meteorologicznych IMGW-PIB w Polsce w 30-leciu 1961–1990, wykazali, że największe w roku wysokości opadów dobowych zdarzyły się w półroczu zimowym ($XI-IV$) jedynie sporadycznie i były one znacznie niższe od średniej z najwyższych opadów dobowych.

Korzystając doświadczeń zespołu Kotowskiego [Kotowski i inni 2010], na dostępnym materiale pomiarowym IMGW-PIB, metodą przeglądu zupełnego wykonano następujące czynności [Wdowikowski, Kaźmierczak 2015, Kaźmierczak, Wdowikowski 2016]:

- Identyfikowano epizody opadowe, które mogły zawierać przedziałowe wysokości opadów spełniające kryterium (2.63) tzw. kryterium Kotowskiego, przy założeniu za Schmidtem [Schmidt 2000] i autorami atlasu KOSTRA [Bartels i inni 2005, Malitz i inni 2015], że jako minimalną przerwę między zakończeniem jednego a rozpoczęciem kolejnego epizodu opadowego ($MDPD$) przyjmuje się okres minimum 4 godzin. Mazurkiewicz i Sowiński w pracach [Mazurkiewicz, Sowiński 2014, Mazurkiewicz 2016] podkreślają brak uniwersalnego zastosowania kryterium Schmidta, z uwagi na fakt, iż odnosi się do czasu opróżnienia sieci kanalizacyjnej. W niniejszej pracy, stosując kryterium Schmidta jako $MDPD$, dla 8 stacji meteorologicznych w okresie 50 lat, nie napotkano na przypadek, w którym najkrótszy czas pomiędzy największymi przedziałowymi wysokościami opadów był mniejszy lub równy przyjętemu kryterium.

- Metodą sumy ruchomej (rys. 4.4.) wyodrębniano (poprzez odczyt z paska pluwiograficznego) przedziałowe wysokości opadów h_t dla każdego z 17 następujących czasów trwania opadu $t = 5, 10, 20, 30, 40$ i 50 min, 1, 1.5, 2, 3, 6, 12 i 18 godz. oraz 1, 1.5, 2, 3 dni. Zakres przedziałów przyjęto uzupełniając zakresy publikowane w pracy zespołu Kotowskiego [Kotowski i inni 2010] o wartości wynikające z przeglądu literatury przedstawionego w punkcie 2.2.3. Dla czasów trwania opadów do $t = 60$ minut, zdecydowano wyodrębnić przedziały co 10 min ($t = 10, 20, 30, 40, 50, 60$ min), zamiast najczęściej stosowanych ($t = 5, 15, 30, 45, 60$ min), w celu możliwości przyszłego nawiązania otrzymanych wyników do minimalnego kroku pomiarowego automatycznych stacji opadowych IMGW-PIB, który wynosi 10 minut. Istotnym czasem trwania opadu z punktu widzenia bezpiecznego projektowania i eksploatacji systemów kanalizacyjnych jak i poprawnego określania krzywych IDF i DDF jest $t = 5$ min [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Kaźmierczak i inni 2017]. Podstawowym założeniem pracy jest wyodrębnienie jednej (największej) wysokości opadu h_t dla danego czasu trwania opadu t z jednego epizodu opadowego, nawet jeśli kolejna wartość h_t spełniała kryterium (2.63) i np. była większa od dotychczas wyodrębnionych. Był to warunek konieczny zachowania niezależności próby losowej w zbiorowości generalnej zmiennej losowej X . Natomiast jeden epizod opadowy, jeżeli był dostatecznie zróżnicowany mógł być źródłem wysokości opadów dla wszystkich czasów trwania opadu przedziałowego. Ze względu na genezę i charakter powstawania opadów deszczu, opisana wyżej sytuacja była sporadyczna.



Rys. 4.4. Porównanie metody odczytywania przedziałowych wysokości opadów dla $t = 60$ min, linia czerwona oznacza sztywne przedziały godzinowe, linia zielona ruchomy przedział $t = 60$ min

- Wyodrębnione przedziałowe wysokości opadów układano w macierze, nieograniczone od dołu, wszystkich wysokości opadów $h(t)$ wg (4.2), które były większe lub równe wartości kryterialnej dla czasu trwania opadu t , zgodnie z (2.63).

$$h(t)_{i=1}^{17} = \begin{matrix} t_1 & t_{(\dots)} & t_{17} \\ h_{1,t_1} & h_{1,t_{(\dots)}} & h_{1,t_{17}} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{m_1,t_1} & h_{m_{(\dots)},t_{(\dots)}} & h_{m_{17},t_{17}} \end{matrix} \quad (4.2)$$

- Dla każdego przedziału czasu trwania opadu szeregowano wartości $h(t)$ nierosnąco, po czym odcinano je na 51. wartości tworząc zmienną losową X_t , złożoną z 17 zbiorów prób

losowych o 50-cio elementowych szeregach, a więc równych liczbie lat okresu badawczego $N = 50$ lat. W ten sposób powstawała prostokątna macierz, która stanowiła podstawę do dalszych analiz statystycznych.

W taki sposób przygotowane dane pomiarowe uznano jako spełniające warunki metody *POT* - wyodrębniania maksymalnych wartości wysokości opadów, tj. otrzymano zbiór bezwzględnie największych, niezależnych statystycznie wysokości opadów, które zostały wybrane powyżej założonego proggu odcięcia. Wybór metody *POT*, wobec analizy wartości rocznych (*AMP*), jest wskazany dla potrzeb analiz statystycznych ekstremalnych wysokości opadów o zadanym czasie trwania i prawdopodobieństwie przewyższenia, wykorzystywanych w hydrologii miejskiej i w zagadnieniach związanych z projektowaniem odwodnienia terenów.

Rysunek 4.4 przedstawia porównanie metod selekcjonowania przedziałowych wysokości opadów. W omawianym przykładzie, suma dobową meteorologiczną i jednocześnie 24 godzinna ($t = 1440$ min) wynosiła $h_{1440} = 25,4$ mm. Analiza porównawcza przykładowych czasów trwania opadu $t = 60, 90, 120, 180, 360$ i 720 minut dla metod sztywnych przedziałów i przedziałowej sumy ruchomej wykazuje otrzymanie mniejszych wysokości opadów dla sztywnych przedziałów, wobec sumy przesuwnej, co pokazano w tabeli 4.2. Różnica zmniejsza się wraz ze wzrostem czasu trwania opadu.

Tab. 4.2. Porównanie przedziałowych wysokości opadów (w mm) uzyskanych metodami sztywnych i ruchomych przedziałów czasu trwania opadu

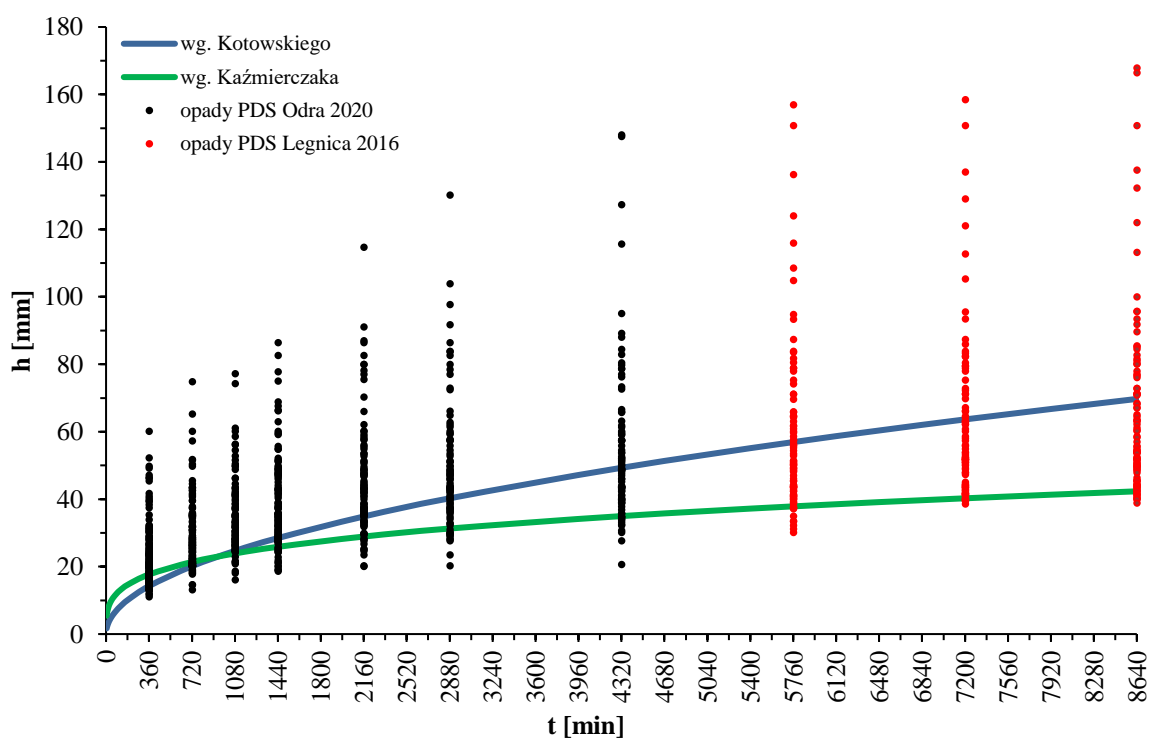
Przedziały godzinowe t [min]	60	90	120	180	360	720
Sztywne	9,7	10,5	13,5	19,3	22,7	27,9
Ruchome	12,3	15,1	18,6	20,2	23,3	27,9
Różnica wysokości opadów w %	+2,6	+4,6	+5,1	+0,9	+0,6	0,0

W badaniach „pilotażowych” na stacji w Legnicy [Wdowikowski, Kaźmierczak 2015, Kaźmierczak, Wdowikowski 2016] stosując kryterium (2.63), z 8064 dni z opadem, które wystąpiły w latach 1961–2010 (wg kryterium meteorologicznego za dzień z opadem przyjęto dobę w sumą opadu $h_{24} \geq 0,1$ mm), wyodrębniono 3901 przedziałowych wysokości opadów dla t od 5 do 8640 min, gdzie najliczniejszym zbiorem (419 elementów) były opady o czasie trwania $t = 5$ min, których graniczna wysokość według przyjętego kryterium wynosiła $h_{5\min} = 1,7$ mm. W tabeli 4.3 przedstawiono porównanie progowych wysokości opadów wg kryterium Kotowskiego oraz kryterium Kaźmierczaka, uwzględniając liczbę przedziałowych wysokości opadów, które zostały wyodrębnione do dalszych analiz stosując oba kryteria. Dla opadów o czasach trwania powyżej 1080 min, zbiór wartości spełniających kryterium Kotowskiego jest mniejszy od zbioru wartości spełniających kryterium Kaźmierczaka (co wyróżniono w tabeli 4.3 kolorem szarym). Przedziały czasowe od $t = 5$ min do $t = 360$ min, w przypadku zastosowania kryterium Kotowskiego, reprezentowane są przez zbiory wartości od 2 do 4 krotnie bardziej liczne niż w przypadku kryterium Kaźmierczaka. Z uwagi na fakt, że do kolejnych etapów analizy statystycznej przyjmowane jest jedynie 50 największych wartości, a dla czasów trwania $t = 4320, 5760, 7200$ oraz 8640 zbiory osiągały odpowiednio 41, 35, 30 i 29 elementów, co nie stanowiło wystarczającej ich liczby (dla $N = 50$ lat), do dalszych prac przyjęto zmodyfikowaną wersję kryterium (2.63) do postaci (2.64) zaproponowanej przez Kaźmierczaka [Kaźmierczak 2019].

Tab. 4.3. Wartości kryterium proggu odcięcia maksymalnych przedziałowych wysokości opadów wg kryteriów Kotowskiego i Kaźmierczaka wraz z liczbą przedziałowych wysokości opadów

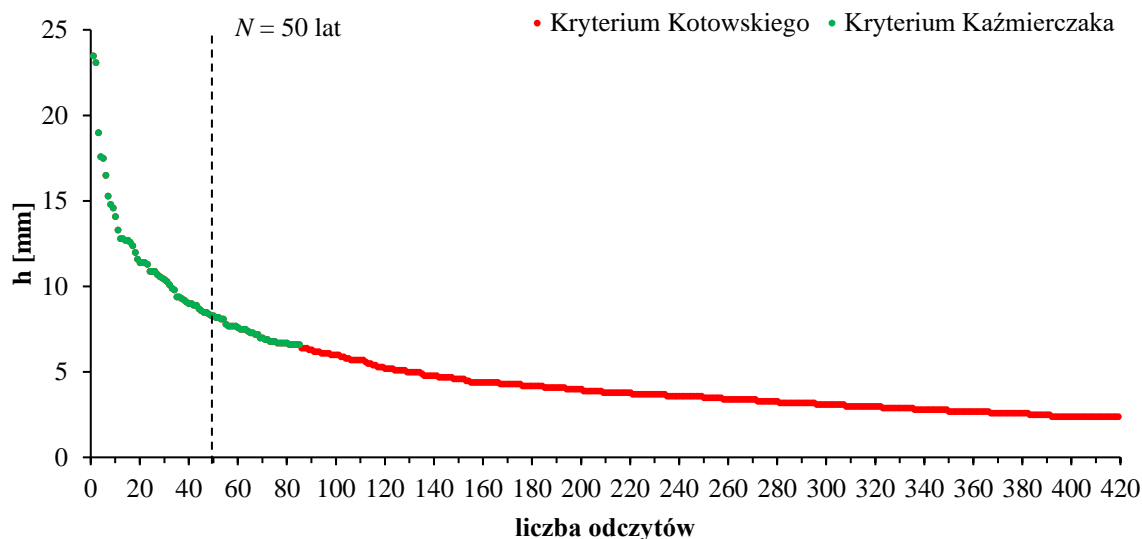
t, min	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
Kryterium Kotowskiego (2.63)																	
h_{gr}, mm	1,7	2,4	3,4	4,1	4,7	5,3	5,8	7,1	8,2	10,1	14,2	20,1	24,6	28,5	34,9	40,2	49,3
Kryterium Kaźmierczaka (2.64)																	
h_{gr}, mm	5,4	6,6	8,0	8,9	9,7	10,3	10,8	12,1	13,1	14,6	17,7	21,4	23,9	25,9	28,9	31,3	35,0
Liczba przedziałowych wysokości opadów według kryterium Kotowskiego i Kaźmierczaka																	
(2.63)	419	419	395	352	325	306	300	262	244	217	183	124	94	88	75	59	41
(2.64)	116	85	92	92	87	86	91	89	92	97	99	99	103	100	89	77	78

Dla danych opadowych z Legnicy, różnicę przebiegu granicznej wartości kryterium *POT* wg (2.63) i (2.64), przedstawiono na rysunku 4.5, przy czym kolorem czerwonym oznaczono zbiory wysokości opadów dla czasów trwania powyżej 4320 minut (których nie wykorzystano w pracy), a kolorem czarnym zbiory wysokości opadów o $t \leq 4320$ minut. Materiał badawczy wykorzystany w badaniach pilotażowych zamieszczonych w niniejszej pracy dla Legnicy jest taki sam. Różnicę w liczbie elementów zbioru wyselekcjonowanych przedziałowych wysokości opadów dla $t = 5$ min przedstawiono na rysunku 4.6.



Rys. 4.5. Porównanie progowych wysokości opadów maksymalnych dla Legnicy wg kryterium Kotowskiego oraz kryterium Kaźmierczaka. Czerwone punkty oznaczają przedziały czasowe opadów brane pod uwagę w pracach [Wdowikowski, Kaźmierczak 2015, Kaźmierczak, Wdowikowski 2016].

Czarne punkty oznaczają zakres czasów trwania ujętych w analizie 8 stacji meteorologicznych w dorzeczu Odry



Rys. 4.6. Porównanie liczby elementów zbioru przedziałowych wysokości opadów h_t dla $t = 5$ min wg kryterium Kotowskiego oraz kryterium Kaźmierczaka dla danych z Legnicy

Zastosowanie kryterium (2.64) jako progu, przykładowo dla wysokości opadów h_t o czasie trwania $t = 5$ min, z wyodrębnionych dla Legnicy 419 wartości pozostawia do analiz 82 wartości (rys. 4.6). Stosowanie kryterium (2.64) w dalszej części pracy spowodowało znaczne skrócenie czasu opracowania pasków pluwiograficznych, ponieważ wiele epizodów opadowych mogło zostać wykluczonych na pierwszym etapie przeglądu. Należy jednak zaznaczyć, że posiadanie tak pokaźnego zbioru niezależnych danych pomiarowych (obserwacji lub elementów próby losowej z punktu widzenia statystyki) może stanowić cenny materiał badawczy do celów poznawczych dotyczących własności dystrybuanty teoretycznej rozkładów prawdopodobieństwa z rodziny rozkładów wartości ekstremalnych [Landerink, Meijgaard 2008, Brzeziński 2008, Węglarczyk 2010] lub oceny trendów i kierunków zmian w okresie wieloletnim opadów krótkotrwałych [Kaźmierczak, Kotowski 2013, 2013, Kysely i inni 2013, Ay, Kisi 2015, Ledvinka, Lamacova 2015]. Zauważalną niedogodnością zastosowania powyżej opisanej metody (*POT* z progiem odcięcia wg kryterium (2.64)) jest możliwość braku wystąpienia wysokości opadu spełniającej kryterium w danym roku, szczególnie jeśli jest on wyjątkowo „suchy”, co sprawia, że podczas przeglądu czasowej serii danych opadowych można nie otrzymać serii największych opadów rocznych, np. w celu porównania wyników.

Powstałe w opisany sposób macierze przedziałowych wysokości opadów o czasach trwania od $t = 5$ minut do $t = 4320$ minut, dla każdej z ośmiu wybranych do analiz stacji meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry, pozwoliły na możliwie dokładne odwzorowanie zjawiska występowania intensywnych opadów deszczu w postaci modeli probabilistycznych w zakresie czasów trwania opadu t oraz prawdopodobieństw przekroczenia p , które są wykorzystywane między innymi do modelowania czy projektowania odwodnienia zlewni miejskich.

4.4.2. Teoretyczne rozkłady prawdopodobieństwa dla danych pomiarowych

Do statystycznego opisu danych pomiarowych wykorzystano najczęściej stosowane w hydrologii oraz meteorologii dwu- i trójparametrowe rozkłady prawdopodobieństwa,

wynikające z przeglądu literatury zawartego w rozdziale 2. W tabeli 4.4 przedstawiono wykaz rozkładów prawdopodobieństwa poddanych analizie wraz z zastosowanymi w pracy ich oznaczeniami.

Tab. 4.4. Analizowane rozkłady prawdopodobieństwa

Lp.	Nazwa rozkładu	Oznaczenie	Liczba parametrów	Parametry rozkładu		
				skali	kształtu	położenia
1	Logarytmiczno-Normalny	$LogN$	3	TAK	TAK	TAK
2	Pearsona typu III (Gamma)	$P3$	3	TAK	TAK	TAK
3	Fischera–Tippeta typu I (Gumbela)	$EV1$	2	NIE	TAK	TAK
4	Fischera–Tippeta typu II (Frecheta)	$EV2$	3	TAK	TAK	TAK
5	Fischera–Tippeta typu III (Weibulla)	$EV3$	3	TAK	TAK	TAK
6	Uogólniony Pareto	GPA	3	TAK	TAK	TAK
7	Uogólniony wartości ekstremalnych	GEV	3	TAK	TAK	TAK
8	Uogólniony wykładniczy	GED	3	TAK	TAK	TAK
9	Logarytmiczno-Logistyczny	$LogL$	3	TAK	TAK	TAK

Dla wybranych rozkładów prawdopodobieństwa przyjęto ich specyficzne funkcje gęstości prawdopodobieństwa - *PDF* (*Probability Distribution Function*) postaci $f(x, \alpha, \beta, \gamma)$ oraz dystrybuanty teoretyczne - *CDF* (*Cumulative Distribution Function*) $F(x, \alpha, \beta, \gamma)$, dane zależnościami odpowiednio (4.3–4.11) oraz (4.12–4.20) (tab. 4.5). Zarówno funkcja gęstości prawdopodobieństwa jak i dystrybuanty poszczególnych rozkładów zostały wykorzystane do przeprowadzenia testów statystycznych oceniających zgodność rozkładów teoretycznych z rozkładem empirycznym zmiennej losowej.

W tabeli 4.6 zestawiono zależności opisujące najczęściej stosowane postacie logarytmu funkcji wiarygodności (4.21–4.29) niezbędne do szacowania parametrów analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa metodą największej wiarygodności (*MNW*), zgodnie z zależnościami (2.82–2.83) opisanymi w rozdziale 2.2.5. Estymatory parametrów poszczególnych rozkładów wyznaczano poprzez numeryczną maksymalizację wartości logarytmów funkcji wiarygodności (tab. 4.6), uwzględniając przy tym zakres zmienności badanych parametrów rozkładów: kształtu (α), skali (β) i położenia lub przesunięcia (γ) (dla części rozkładów prawdopodobieństwa w praktyce przyjmujące wartość ograniczenia dolnego) [Storch, Navarra 1999, Coles 2001, Helsel, Hirsh 2002, Mitosek 2003, 2009, Wilks 2006, Węglarczyk 2010, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Katz, Lilleland 2011, 2016, Kaźmierczak, Kotowski 2015, Jokiel 2016, Maity 2018, Kaźmierczak 2019]. W procesie numerycznej maksymalizacji logarytmów funkcji wiarygodności względem parametrów analizowanych rozkładów przyjęto następujące założenia: 1) parametr skali ma być większy od zera; 2) parametr kształtu ma być różny od zera; 3) parametr lokalizacji (przesunięcia), jako dolne ograniczenie, przyjmuje wartość ostatniego elementu uszeregowanego nierosnąco ciągu zmiennej losowej pomniejszonego o wartość 0,01.

Korzystając z wyznaczonych logarytmów funkcji wiarygodności, jakoś dopasowania rozkładów teoretycznych do danych empirycznych wyselekcjonowanych opadów deszczu, o zróżnicowanych czasach trwania, opisano przy pomocy wskaźników: *BIC*, *AIC*, *HQIC* zgodnie z zależnościami (2.95–2.97) oraz logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$. Zgodność rozkładów teoretycznych z danymi pomiarowymi badano przy pomocy testów statystycznych λ -Kolmogorowa oraz Andersona–Darlinga, o statystykach opiszanych zależnościami odpowiednio (2.90–2.91) oraz (2.92–2.93). Na tym etapie, dla każdego testu

Tab. 4.5. Zależności funkcji gęstości i dystrybuant teoretycznych wybranych rozkładów prawdopodobieństwa [Kaczmarek 1970, Pruchnicki 1987, Koutyosanis 1998, Gupta, Kundu 1999, 2000, 2007, Coles 2001, Mitosek 2009, Węglarczyk 2010, Suligowski 2013, Jokiel 2015, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Maity 2018, Kaźmierczak 2019]

Lp.	Rozkład	Funkcja gęstości prawdopodobieństwa $f(x, \alpha, \beta, \gamma)$	Nr równania	Dystrybuant teoretyczna rozkładu $F(x, \alpha, \beta, \gamma)$	Nr równania
1	<i>LogN</i>	$\frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-\gamma)-\beta}{\alpha}\right)^2\right)}{(x-\gamma)\alpha\sqrt{2\pi}}$	(4.3)	$\Phi\left(\frac{\ln(x-\gamma)-\beta}{\alpha}\right)$	(4.12)
2	<i>P3</i>	$\frac{(x-\gamma)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha\Gamma(\alpha)}\exp\left(-\frac{(x-\gamma)}{\beta}\right)$	(4.4)	$\frac{\Gamma_z(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}, \text{ gdzie } z = \frac{x-\gamma}{\beta}$	(4.13)
3	<i>EV1</i>	$\frac{1}{\beta}\exp\left(-\frac{x-\gamma}{\beta} - \exp\left(-\frac{x-\gamma}{\beta}\right)\right)$	(4.5)	$\exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\gamma}{\beta}\right)\right)$	(4.14)
4	<i>EV2</i>	$\frac{\alpha}{\beta}\left(\frac{\beta}{x-\gamma}\right)^{\alpha+1}\exp\left(-\left(\frac{\beta}{x-\gamma}\right)^\alpha\right)$	(4.6)	$\exp\left(-\left(\frac{\beta}{x-\gamma}\right)^\alpha\right)$	(4.15)
5	<i>EV3</i>	$\frac{\alpha}{\beta}\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1}\exp\left(-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)$	(4.7)	$1 - \exp\left(-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)$	(4.16)
6	<i>GPA</i>	$\begin{cases} \frac{1}{\beta}\left(1 + \alpha\frac{(x-\gamma)}{\beta}\right)^{-1-\frac{1}{\alpha}}, & \text{dla } \alpha \neq 0 \\ \frac{1}{\beta}\exp\left(-\frac{(x-\gamma)}{\beta}\right), & \text{dla } \alpha = 0 \end{cases}$	(4.8)	$\begin{cases} 1 - \left(1 + \alpha\frac{(x-\gamma)}{\beta}\right)^{-\frac{1}{\alpha}}, & \text{dla } \alpha \neq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{(x-\gamma)}{\beta}\right), & \text{dla } \alpha = 0 \end{cases}$	(4.17)
7	<i>GEV</i>	$\begin{cases} \frac{1}{\beta}\exp\left(-\left(1 + \alpha\frac{(x-\gamma)}{\beta}\right)^{-\frac{1}{\alpha}}\right)\left(1 + \alpha\frac{(x-\gamma)}{\beta}\right)^{-1-\frac{1}{\alpha}}, & \text{dla } \alpha \neq 0 \\ \frac{1}{\beta}\exp\left(-\frac{(x-\gamma)}{\beta} - \exp\left(-\frac{(x-\gamma)}{\beta}\right)\right), & \text{dla } \alpha = 0 \end{cases}$	(4.9)	$\begin{cases} \exp\left(-\left(1 + \alpha\frac{(x-\gamma)}{\beta}\right)^{-\frac{1}{\alpha}}\right), & \text{dla } \alpha \neq 0 \\ \exp\left(-\exp\left(-\frac{(x-\gamma)}{\beta}\right)\right), & \text{dla } \alpha = 0 \end{cases}$	(4.18)
8	<i>GED</i>	$\frac{\alpha}{\beta}(1 - \exp^{-z})^{\alpha-1}\exp^z, \quad \text{gdzie } z = \frac{x-\gamma}{\beta}$	(4.10)	$(1 - \exp^{-z})^\alpha, \quad \text{gdzie } z = \frac{x-\gamma}{\beta}$	(4.19)
9	<i>LogL</i>	$\frac{\alpha}{\beta}\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1}\left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)^{-2}$	(4.11)	$\left(1 + \left(\frac{\beta}{x-\gamma}\right)^\alpha\right)^{-1}$	(4.20)

Φ – transformata Laplace’a, $\Gamma(\alpha)$ – funkcja Gamma Eulera, α, β, γ – parametry kształtu, skali i przesunięcia rozkładów prawdopodobieństwa

Tab. 4.6. Zależności funkcji wiarygodności i kwantyli zmiennej losowej teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa [Kaczmarek 1970, Pruchnicki 1987, Koutyosanis 1998, Gupta, Kundu 1999, 2000, 2007, Coles 2001, Mitosek 2009, Węglarczyk 2010, Suligowski 2013, Jokiel 2015, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Maity 2018, Kaźmierczak 2019]

Lp.	Rozkład	Logarytm funkcji wiarygodności $\ln L_{\max}(x_i; \alpha, \beta, \gamma)$	Nr równania	Kwantyl x_p zmiennej losowej rozkładu prawdopodobieństwa	Nr równania
1	<i>LogN</i>	$-n \ln \alpha - \frac{n}{2} \ln(2\pi) - \sum_{i=1}^n \ln(x_i - \gamma) - \frac{1}{2\alpha^2} \sum_{i=1}^n (\ln(x_i - \gamma) - \beta)^2$	(4.21)	$\gamma + \exp(\beta + \alpha t_p)$	(4.30)
2	<i>P3</i>	$-n \alpha \ln \beta - n \ln \Gamma(\alpha) + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i - \gamma) - \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^n (x_i - \gamma)$	(4.22)	$\gamma + \beta t_p(\alpha)$	(4.31)
3	<i>EVI</i>	$-n \ln \beta - \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \gamma}{\beta} - \sum_{i=1}^n \exp\left(\frac{x_i - \gamma}{\beta}\right)$	(4.23)	$\gamma - \beta \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-p}\right)\right)$	(4.32)
4	<i>EV2</i>	$\alpha^n \beta^{n\alpha} \prod_{i=1}^n (x_i - \gamma)^{-(\alpha+1)} \exp\left[-\sum_{i=1}^n \left(\frac{\beta}{x_i - \gamma}\right)^\alpha\right]$ lub $n \ln \alpha - n \ln \beta + (\beta + 1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i - \gamma) - \alpha \sum_{i=1}^n (x_i - \gamma)^{-\alpha}$	(4.24)	$\gamma + \beta (-\ln(1-p))^{\frac{1}{\alpha}}$	(4.33)
5	<i>EV3</i>	$n \ln \alpha - n \alpha \ln \beta + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i - \gamma) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \gamma}{\beta}\right)^\alpha$	(4.25)	$\gamma + \beta (-\ln p)^{\frac{1}{\alpha}}$	(4.34)
6	<i>GPA</i>	$-n \ln \alpha - \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \sum_{i=1}^n \ln\left(1 + \frac{\alpha}{\beta}(x_i - \gamma)\right)$	(4.26)	$\begin{cases} \gamma - \frac{\beta}{\alpha} (1 - (1-p)^{-\alpha}), & \alpha \neq 0 \\ \gamma - \beta \ln(1-p), & \alpha = 0 \end{cases}$	(4.35)
7	<i>GEV</i>	$-n \ln \beta - \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \sum_{i=1}^n \ln\left(1 + \frac{\alpha}{\beta}(x_i - \gamma)\right) - \sum_{i=1}^n \left(1 + \frac{\alpha}{\beta}(x_i - \gamma)\right)^{\frac{1}{\alpha}}$	(4.27)	$\begin{cases} \gamma - \frac{\beta}{\alpha} (1 - (-\ln(1-p))^{-\alpha}), & \alpha \neq 0 \\ \gamma - \beta \ln(-\ln(1-p)), & \alpha = 0 \end{cases}$	(4.36)
8	<i>GED</i>	$n \ln \alpha + n \ln \beta - \sum_{i=1}^n (\beta(x_i - \gamma)) + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \ln(1 - e^{-(x_i - \gamma)\beta})$	(4.28)	$\gamma - \frac{1}{\beta} \ln\left(1 - (1-p)^{\frac{1}{\alpha}}\right)$	(2.61)
9	<i>LogL</i>	$n \ln \alpha - n \alpha \ln \beta + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i - \gamma) - 2 \sum_{i=1}^n \ln\left(1 + \left(\frac{x_i - \gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)$	(4.29)	$\gamma + \beta \left(\frac{1}{p} - 1\right)^{\frac{1}{\alpha}}$	(4.37)

t_p – kwantyl zmiennej standaryzowanej rozkładu Gamma, zależny od (α) podawany w tablicach statystycznych, $\Gamma(\alpha)$ – funkcja Gamma Eulera, α, β, γ – parametry kształtu, skali i przesunięcia rozkładów prawdopodobieństwa, p – prawdopodobieństwo przewyższenia

statystycznego, każdorazowo analizowanego rozkładu prawdopodobieństwa przyjmowano hipotezę zerową: H_0 – zakładającą, że badany rozkład teoretyczny odpowiada rozkładowi empirycznemu zmiennej h_t na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, kiedy statystyka testu A^2 jest mniejsza od wartości krytycznej A^2_{kr} oraz statystyka testu λ jest mniejsza od wartości krytycznej λ_{kr} . Hipotezę alternatywną H_A , stanowiło w obu przypadkach odrzucenie hipotezy H_0 , oznaczające w konsekwencji teoretyczną niemożliwość wykorzystania danego rozkładu prawdopodobieństwa do opisu zmiennej losowej, w tym przypadku maksymalnych wysokości opadów o zadanym czasie trwania opadu. Wartości krytyczne dla rozkładów prawdopodobieństwa odczytywano z tabel statystycznych lub przyjmowano z literatury przedstawionej w rozdziale 2.2.6. Dla testu λ -Kołmogorowa wartość krytyczna statystyki na przyjętym poziomie istotności wynosiła, zgodnie z tabelą 2.27, $\lambda_{kr} = 1,36$, jednakowo dla wszystkich analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa, natomiast dla testu Andersona–Darlinga na podstawie literatury przyjęto wartości krytyczne statystyki A^2_{kr} zgodnie z tabelą 4.7.

Tab. 4.7. Wartości krytyczne statystyki testu Andersona–Darlinga na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ dla wybranych rozkładów prawdopodobieństwa

Lp.	Nazwa rozkładu	Oznaczenie	A^2_{kr}
1	Logarytmiczno-Normalny	$LogN$	0,752
2	Pearsona typu III (Gamma)	$P3$	0,762
3	Fischera–Tippeta typu I (Gumbela)	$EV1$	0,757
4	Fischera–Tippeta typu II (Frecheta)	$EV2$	0,757
5	Fischera–Tippeta typu III (Weibulla)	$EV3$	0,757
6	Uogólniony Pareto	GPA	0,782
7	Uogólniony wartości ekstremalnych	GEV	0,787
8	Uogólniony wykładniczy	GED	0,723
9	Logarytmiczno-Logistyczny	$LogL$	0,752

Kolejnym krokiem w ocenie przydatności badanych rozkładów do opisu danych pomiarowych było wyznaczenie średniokwadratowego błędu reszkowego ($rRMSE$), korzystając z wzoru (2.102), gdzie za najlepiej opisujący dane pomiarowe wskazywano rozkład teoretyczny o najmniejszej wartości wskaźnika $rRMSE$. W ten sposób dla każdej z analizowanych 8 stacji pomiarowych oraz dla każdego rozkładu prawdopodobieństwa, który spełnił kryteria jakościowe, testy statystyczne i kryteria błędów, otrzymano pęk 17-stu krzywych (dla każdego czasu trwania opadu od $t = 5$ min do $t = 4320$ min).

4.4.3. Modele opadowe

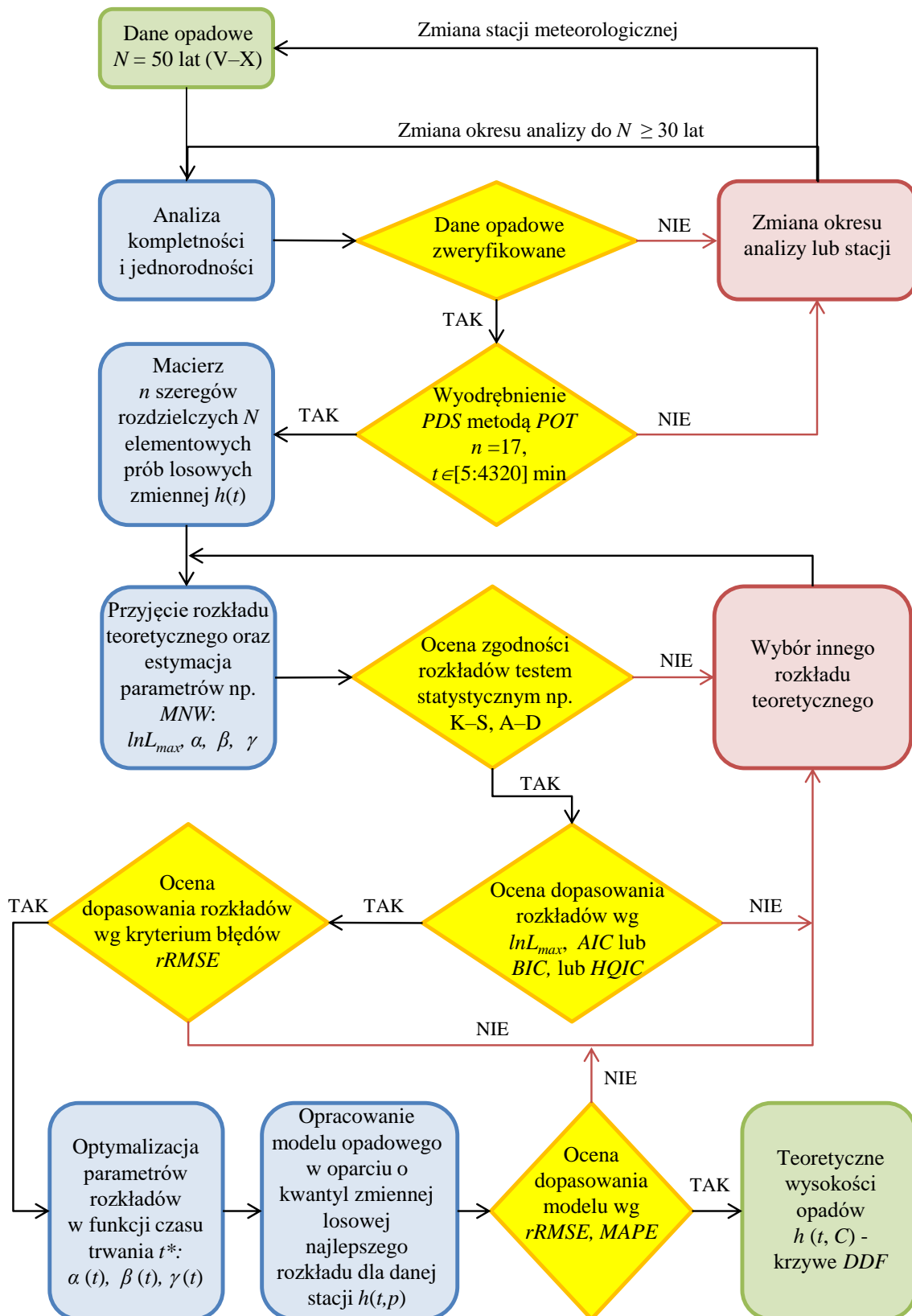
Probabilistyczny model opadów tj. model o zadanym czasie trwania deszczu (t) oraz prawdopodobieństwie przekroczenia (p) powstaje poprzez uogólnienie estymowanych wartości parametrów wybranego, jako najlepiej dopasowanego, rozkładu oraz wprowadzenie do postaci kwantyla zmiennej losowej czasu trwania opadu (t) [Twardosz 2005, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, 2016, Kaźmierczak, Kotowski 2015, Jokiel 2016, Maity 2018, Kaźmierczak 2019]. Korzystając z zależności (2.61) oraz (4.29–4.36) zebranych w tabeli 4.6 oraz estymowanych wartości parametrów rozkładów, określano zmienność parametrów kształtu, skali i przesunięcia analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w funkcji czasu trwania opadu (t), otrzymując zestaw zależności $\alpha(t)$, $\beta(t)$ oraz $\gamma(t)$, które

następnie podstawiono do postaci kwantyli zmiennych losowych. Efektem opisanego działania było otrzymanie ośmiu modeli opadowych uwzględniających zarówno czas trwania opadu (t), jak i prawdopodobieństwo przekroczenia (p). Szczególnym przypadkiem procesu konstrukcji probabilistycznego modelu opadowego jest uśrednianie wartości parametru kształtu α , którego funkcja w czasie $\alpha(t)$ zwykle przyjmuje skomplikowaną postać, wobec pozostałych parametrów, które najczęściej dają się opisać równaniem wykładniczym typu: $y = at^b$, gdzie t oznacza czas trwania opadu, natomiast a i b to empiryczne parametry równania. Dodatkowo wartości parametru kształtu α w funkcji czasu t wykazują niewielkie zróżnicowanie, co tym bardziej skłania do zastąpienia zależności wartością średnią.

Otrzymane wysokości teoretyczne opadów maksymalnych, z opracowanych modeli probabilistycznych, porównywano następnie z wysokościami opadów rzeczywistych w oparciu o wskaźniki $rRMSE$ i $MAPE$. W rozdziale 4.4.4 podano schemat procesu formułowania i oceny probabilistycznych modeli opadów maksymalnych w formie graficznej.

4.4.4. Procedura formułowania modeli probabilistycznych opadów maksymalnych

Na rysunku 4.7 przedstawiono schemat usystematyzowanej i uogólnionej procedury formułowania i oceny modeli opadowych z wykorzystaniem proponowanych rozkładów prawdopodobieństwa, która zawiera założenia metodyczne przyjęte w rozdziałach 4.4.1–4.4.3, wynikające między innymi z obszernego przeglądu literatury (rozd. 2).

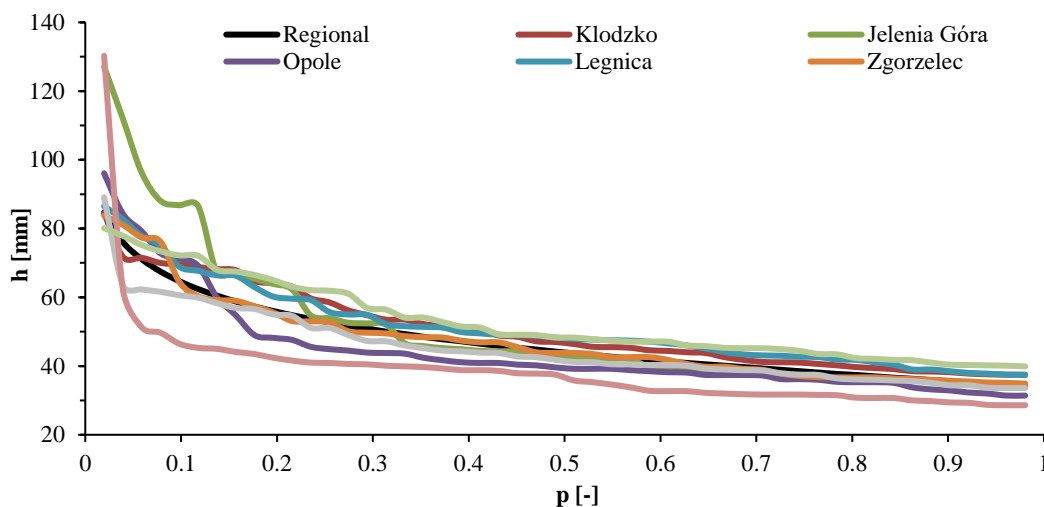


Rys. 4.7. Schemat procedury formułowania probabilistycznych modeli opadowych

* optymalizacja w funkcji czasu lub uśrednienie wartości parametru rozkładu

4.4.5. Regionalizacja modeli opadowych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry

W hydrologii inżynierskiej dąży się do możliwie najprostszych postaci opracowywanych zależności. W pracy [Wdowikowski i inni 2019] wskazano na możliwość opracowania regionalnego modelu opadowego dla obszaru dorzecza Górnej i Środkowej Odry w oparciu o rozkład *GED*. Istotą zaproponowanej metody było określenie próby losowej poprzez obliczenie średniej arytmetycznej wartości poszczególnych elementów ciągów rozdzielczych 8 analizowanych stacji IMGW-PIB. W pracy [Wdowikowski i inni 2019] nie zaprezentowano wyników formułowania modelu probabilistycznego a jedynie stopień dopasowania rozkładu *GED* do danych pomiarowych maksymalnych wysokości opadów dla czasów trwania $t \in [5; 4320]$ min. Przykładowe wyniki badań dla $t = 1440$ min przedstawiono na rysunku 4.8.



Rys. 4.8 Dystrybuanta teoretyczna uśrednionego rozkładu *GED* na tle dystrybuant empirycznych analizowanych stacji meteorologicznych dla opadów o $t = 1440$ min [Wdowikowski i inni 2019]

Najważniejsze wnioski sformułowane w przytoczonej wyżej pracy [Wdowikowski i inni 2019] dotyczyły satysfakcjonującego opisu dystrybuanty empirycznej przez rozkład teoretyczny *GED* w przeważającej liczbie czasów trwania opadów od $t = 5$ min do $t = 4320$ min. Korzystając z wyżej opisanych założeń dla dorzecza Górnej i Środkowej Odry (traktowanych w niniejszej pracy jako badania wstępne) oraz propozycji regionów opadowych (I i II odcięcia) zaprezentowanych w pracy [Limanówka i inni 2010] (w rozdziale 2.3), podjęto próbę uogólnienia wyników modeli punktowych (lokalnych), wydzielając w analizowanym dorzeczu obszary „zasięgu” tych modeli opadowych, odpowiednio:

- Model 1 – regionalny dla całego dorzecza Górnej i Środkowej Odry, oparty na uśrednionych wartościach pomiarowych z wszystkich 8 analizowanych stacji IMGW-PIB;
- Model 2 – dla obszaru nizinnego dorzecza, oparty na uśrednionych wartościach pomiarowych z 4 stacji IMGW-PIB: Opole, Wrocław, Legnica i Zielona Góra (gdzie wysokości opadów dla $t = 4320$ zawierały się w przedziale od 110 do 150 mm);
- Model 3 – dla obszaru podgórskiego dorzecza, oparty na uśrednionych wartościach pomiarowych z 4 stacji IMGW-PIB: Racibórz, Zgorzelec, Jelenia Góra i Kłodzko (gdzie wysokości opadów zawierały się w przedziale od 130 do 230 mm, a stacje meteorologiczne były zlokalizowane powyżej 200 m n.p.m).

Uśrednione wartości przedziałowych wysokości opadów, w wydzielonych obszarach, poddane zostaną procedurze formułowania uogólnionych modeli probabilistycznych opadów maksymalnych (wg rys. 4.7). Następnie, wyniki opracowanych modeli zostaną porównane z modelami punktowymi dla 8 stacji meteorologicznych IMGW-PIB.

Ostatni etap pracy poświęcono na opracowanie przestrzennej wizualizacji wyników badań w postaci map opadów maksymalnych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry zawierających izolinie teoretycznych (obliczonych z modeli) wysokości opadów deszczu. Źródłem danych do przygotowania map były wyniki obliczeń wysokości opadów z punktowych modeli probabilistycznych opracowanych na podstawie najlepiej dopasowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla 8 analizowanych stacji pomiarowych IMGW-PIB. Przestrzenną zmienność wysokości opadów o określonym czasie trwania t i prawdopodobieństwie przekroczenia p (zamiennie częstości wystąpienia C) przedstawiono wykorzystując metodę średniej ważonej odległością (IDW). Metoda IDW określa wartość każdej „komórki obliczeniowej” na podstawie wartości sąsiednich punktów (położonych „obok siebie”), ważoną odwrotnością ich wzajemnych odległości, zgodnie z zależnością [Namysłowska-Wilczyńska 2006]:

$$h_{nz} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_z}{d_i^n} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^n} \right)} \quad (4.37)$$

gdzie:

- h_{nz} – wysokość opadu dla punktu nieznanego (dowolnie położonego pomiędzy stacjami pomiarowymi) [mm],
- h_z – wysokość opadu dla punktu znanego (stacji pomiarowej) [mm],
- d_i – odległość między punktami [km],
- n – argument, wykładnik potęgowy [-].

Efekt interpolacji jest ściśle zależny od wartości argumentu - wykładnika potęgowego n oraz gęstości punktów pomiarowych. Czym punkty są bardziej oddalone od siebie, tym mniejszy jest wpływ n na interpolowaną wartość wysokości opadu. Wagę punktów ustala się z użyciem argumentu wykładnika potęgowego. W pracy zastosowano najczęściej stosowany w praktyce inżynierskiej argument $n = 2$.

5. Wyniki badań

5.1. Modelowanie opadów maksymalnych

5.1.1. Próba losowa zmiennej (h) zbioru maksymalnych opadów deszczu

Stosując metodę przeglądu „zupełnego” archiwalnych materiałów pluwiograficznych z użyciem wartości dolnego ograniczenia h_{gr} (danego zależnością (2.64) - oddzielnie dla każdego czasu trwania opadu, tj. dla wartości zestawionych w tabeli 4.3) otrzymano zbiory maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu. Przykład wyników analizy dla epizodu opadowego w Raciborzu z dnia 04.08.1982r. przedstawionego na rysunku 4.3, zestawiono w tabeli 5.1.

Tab. 5.1. Przedziałowe wysokości opadów dla epizodu opadowego w Raciborzu z dnia 04.08.1982

t , min	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
h_{gr} , mm	5,4	6,6	8,0	8,9	9,7	10,3	10,8	12,1	13,1	14,6	17,7	21,4	23,9	25,9	28,9	31,3	35,0
h_t , mm	13,1	18,1	27,9	30,3	30,9	31,5	31,9	32,4	32,4	32,7	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9	–

Zmienną losową $X_{N,t}$, dla analizowanego okresu $N = 50$ lat, każdego zbioru 17 przedziałów czasów trwania opadu (uprzednio uszeregowanego malejąco według (2.67)), ustalano wybierając 50 największych wartości, tworzących próby losowe x_n . Tablice, zgodnie z (4.2), zawierające maksymalne wysokości opadów zestawiono w **Suplemencie B** (tabele B.1–B.8). W tabelach 5.2 i 5.3 przedstawiono natomiast porównanie skrajnych elementów szeregów zmiennej losowej ($m = 1$ oraz $m = 50$ odpowiadających $C = 50$ i $C = 1$ lat) analizowanych stacji, dla 17 czasów trwania opadów (od $t = 5$ min do $t = 4320$ min). W tabelach 5.2 i 5.3 zastosowano skrótowe oznaczenia (akronimy) wierszy odpowiadające lokalizacji stacji meteorologicznych IMGW-PIB, według następującego kodu: Wrocław - **W**, Legnica - **L**, Zgorzelec - **Z**, Zielona Góra - **ZG**, Opole - **O**, Kłodzko - **K**, Jelenia Góra - **JG** oraz Racibórz - **R**.

Tab. 5.2. Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych w latach 1961–2010 dla elementu $m = 1$ ($C = 50$ lat) szeregu rozdzielczego analizowanych stacji (wg tab. B.1–B.8 Suplementu B)

St.	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm] dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
W	13,1	18,7	28,8	32,9	33,8	35,1	35,3	42,7	57,7	61,9	63,1	64,2	72,9	80,1	92,6	103,9	116,9
L	16,2	23,5	28,8	32,0	37,4	39,8	40,6	41,0	49,6	57,6	60,2	74,9	77,3	86,5	114,8	130,2	148,1
Z	11,0	13,5	27,0	32,0	46,0	49,2	51,2	54,2	56,1	57,3	57,3	57,3	73,3	83,8	119,9	145,8	179,2
ZG	13,6	19,2	30,1	37,9	39,9	40,6	41,8	45,1	45,9	51,9	55,0	56,9	73,6	89,1	96,0	103,5	109,6
O	19,2	25,0	34,8	41,2	50,9	53,1	54,7	68,9	73,3	79,7	79,7	83,7	84,3	96,1	109,1	121,4	147,9
K	18,9	27,5	30,0	32,4	49,2	54,0	54,5	56,3	60,5	62,8	102,4	103,2	111,6	126,3	128,7	129,0	129,2
JG	12,3	21,4	39,5	48,8	49,0	49,2	49,3	49,4	54,3	68,7	92,2	117,1	122,7	127,1	144,2	161,2	180,0
R	15,9	18,1	27,9	30,3	31,7	35,0	36,1	36,9	39,8	41,2	52,6	70,8	101,0	130,3	165,2	183,8	227,4

Analiza największych wysokości opadów w podanych przedziałach czasowych (tab. 5.2) wskazuje na istnienie zróżnicowania zarejestrowanych wysokości opadów $h(t)$, które nie pokrywa się z fizjograficzną lokalizacją stacji meteorologicznych (tab. 4.1). Oznacza to, że zasada zwiększających się, wraz z wysokością nad poziomem morza, wysokości opadów, dotyczy sum miesięcznych, sezonowych lub rocznych, natomiast nie dotyczy przedziałowych

wysokości opadów. Względne różnice $h_5(t)$ (tj. opadów o czasie trwania $t = 5$ min) pomiędzy analizowanymi stacjami wynoszą od kilku milimetrów (najmniejsza 0,5 mm) do, w skrajnych przypadkach, niemal 118 mm, dla przedziału czasowego $t = 4320$ min. W przypadku opadów trwających do $t = 5$ minut podobne wysokości opadów (od 11,0 do 13,6 mm) otrzymano dla stacji we Wrocławiu, Zgorzelcu, Zielonej Górze i Jeleniej Górze. Wysokości opadów maksymalnych dla pozostałych stacji wahały się od $h_5 = 15,9$ do 18,9 mm. Analizując opady o czasie trwania do $t = 4320$ min nie można potwierdzić korelacji pomiędzy położeniem stacji meteorologicznych a wartościami wysokości opadu. Wyraźnie największe z maksymalnych opadów h_{4320} występują na stacjach w Raciborzu, Jeleniej Górze i Zgorzelcu. Istotnym czynnikiem kształtującym ekstremalnie wysokie wartości opadów na poszczególnych stacjach pomiarowych były wspomniane w rozdziale 2.1.1 warunki cyrkulacyjne i morfologiczne powstawania opadów. W przypadku opadów o czasie trwania $t = 4320$ minut dla wskazanych stacji w Raciborzu, Jeleniej Górze i Zgorzelcu, wartości h_{4320} od 179 mm do 227 mm zostały zarejestrowane w 2010 roku podczas bardzo intensywnych i wielkoobszarowych epizodów opadowych, które spowodowały wystąpienie powodzi w dorzeczu Odry i Wisły [Migoń 2010, Czaja 2011, Maciejewski i inni 2011, Szalińska i inni 2014]. Również w tym roku na obszarze zlewni Nysy Łużyckiej, gdzie zlokalizowana jest stacja IMGW-PIB w Zgorzelcu, z którą sąsiaduje stacja IMGW-PIB w Jeleniej Górze, w wyniku intensywnych opadów deszczu doszło do katastrofy budowlanej zapory zbiornika retencyjnego Niedów, w efekcie której wystąpiła powódź w całej dolinie rzecznej [Jelonek i inni 2010, Wdowikowski i inni 2016]. Różnica w wysokościach opadów na stacjach meteorologicznych we Wrocławiu, Jeleniej Górze i Kłodzku wynika z orograficznej lokalizacji stacji. Wysokość opadu $h_{20} = 39,5$ mm dla Jeleniej Góry, która wystąpiła w ciągu $t = 20$ min, dla Wrocławia mieści się w przedziale od $t = 60$ min do $t = 90$ min, natomiast opad rzędu 103 mm, który w Kłodzku przypisany jest do $t = 720$ min, we Wrocławiu odpowiada opadom o czasie trwania $t = 2880$ min.

Tab. 5.3. Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych w latach 1961–2010 dla elementu $m = 50$ ($C = 1$ rok) szeregu rozdzielczego analizowanych stacji (wg tab. B.1–B.8 Suplementu B)

St.	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm] dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
W	6,4	8,9	12,0	13,8	14,4	15,3	15,5	16,6	17,9	20,3	26,2	32,0	36,5	39,9	45,2	48,1	49,0
L	5,8	8,3	11,3	12,5	13,0	13,7	14,2	16,5	18,2	20,0	23,9	28,6	32,4	37,4	42,0	43,4	47,7
Z	5,5	7,1	8,5	9,3	9,8	10,3	10,9	12,1	13,3	15,3	18,9	23,0	25,6	35,1	39,2	43,4	49,0
ZG	5,6	8,5	11,6	12,5	13,3	13,9	14,8	16,3	17,8	19,2	23,1	28,1	30,9	32,3	36,9	39,2	44,1
O	5,9	8,8	11,1	12,2	13,0	13,8	14,6	15,9	17,0	18,9	23,3	28,3	30,2	35,3	38,7	40,8	43,7
K	6,1	9,1	12,5	14,8	15,9	17,1	17,7	20,1	21,5	23,9	27,4	33,1	37,0	38,4	44,0	45,2	51,8
JG	5,6	7,6	9,7	10,4	11,8	12,2	13,2	14,9	16,5	18,9	23,6	29,5	33,3	35,8	39,7	43,2	50,0
R	4,9	6,8	8,9	9,8	10,6	11,2	11,3	12,9	14,4	16,1	19,5	23,9	26,5	29,4	32,9	36,7	38,5

Wartości przedziałowych wysokości opadów pochodzących z ostatnich - 50-tych elementów szeregów czasowych ($m = 50$, $C = 1$ rok) przedstawiono w tabeli 5.3. Mając na uwadze charakterystyczny kształt przebiegu przedziałowych wysokości opadów w całym zbiorze wartości spełniających kryterium (2.64) (co zaprezentowano na rys. 4.6), należało oczekiwać, że w przypadku opadów zdarzających się najczęściej ($C = 1$ rok), wartości wysokości będą w miarę wyrównane. Oczywiście, w analizowanych szeregach rozdzielczych, występują wartości skrajne np. dla $t = 4320$ min dla Raciborza $h_{4320} = 38,5$ mm i dla Kłodzka

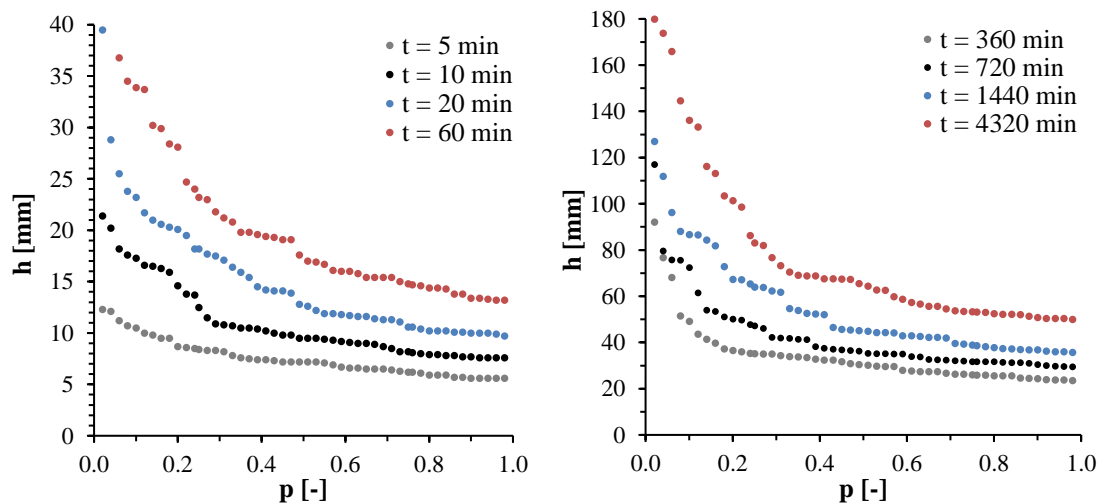
$h_{4320} = 51,8$ mm, ale bezwzględna różnica pozostaje na poziomie 13,3 mm (tab. 5.3), natomiast w przypadku rzadko występujących opadów - dla $m = 1$ ($C = 50$ lat) różnica ta sięga 118,0 mm ($h_{4320} = 109,6$ mm dla Zielonej Góry i $h_{4320} = 227,4$ mm dla Raciborza - tab. 5.2). Dla opadów najkrócej trwających $t = 5$ min, $t = 10$ min, różnice pomiędzy skrajnymi wartościami opadów wynoszą odpowiednio 1,5 mm oraz 2,3 mm co nie przekracza 25%.

Uszeregowanym nierosnąco 50-cio elementowym ciągom przedziałowych wysokości opadów (zebranych w tabelach B.1–B.8 w Suplemencie B), przypisano empiryczne prawdopodobieństwo przekroczenia (zamiennie przewyższenia) $p(m, N)$ zgodnie z zależnością (2.69), dla $N = 50$, w przedziale od 0,02 do 0,98. Tabela 5.4 przedstawia wysokości opadów dla wybranych elementów m , oraz czasów trwania t , z przypisanym prawdopodobieństwem p .

Tab. 5.4. Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych w latach 1961–2010 dla wybranych m , p oraz t szeregu rozdzielczego w Jeleniej Górze (wg tab. B 7, Supplement B)

m	p (m, N)	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm] dla czasów trwania opadu t [min]												
		5	10	20	30	40	50	60	90	360	720	1080	1440	4320
1	0,02	12,3	21,4	39,5	48,8	49,0	49,2	49,3	49,4	92,2	117,1	122,7	127,1	180,0
2	0,04	12,1	20,2	28,8	34,4	35,5	40,6	42,2	45,7	76,7	79,6	102,6	112,0	173,9
5	0,10	10,5	17,3	23,2	27,0	28,9	32,0	33,9	37,3	49,2	72,4	79,6	86,8	136,2
10	0,20	8,7	14,6	20,1	22,8	23,6	28,1	28,1	28,1	36,6	50,2	63,6	67,3	101,4
15	0,29	8,3	10,9	17,5	18,9	19,6	20,6	21,8	24,0	35,1	42,3	53,6	62,3	76,7
20	0,39	7,4	10,4	14,5	16,8	18,2	19,1	19,6	21,3	32,8	38,2	43,3	52,4	68,9
30	0,59	6,7	9,2	11,8	13,5	14,2	15,1	16,0	18,1	28,0	35,1	38,3	42,9	58,8
40	0,78	6,1	8,0	10,4	11,7	12,7	13,7	14,6	16,0	25,9	31,8	35,0	38,2	53,1
50	0,98	5,6	7,6	9,7	10,4	11,8	12,2	13,2	14,9	23,6	29,5	33,3	35,8	50,0

Szeregi rozdzielcze wysokości opadów (h) w określonym przedziale czasu trwania (t) powiązane z prawdopodobieństwem przekroczenia (p) tworzą dystrybuantę empiryczną, co na przykładzie stacji IMGW-PIB w Jeleniej Górze przedstawiono na rys. 5.1.

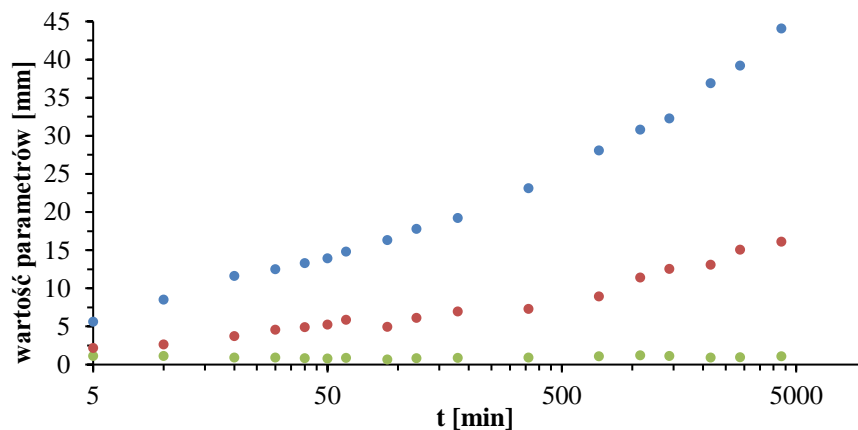


Rys. 5.1. Przykładowe dystrybuanty empiryczne dla Jeleniej Góry dla różnych czasów trwania opadów (wg tabeli B 7, Supplement B)

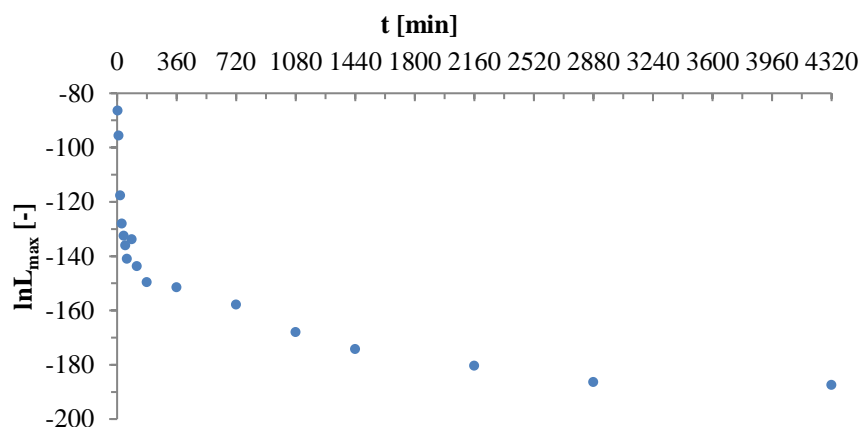
5.1.2. Estymacja parametrów rozkładów prawdopodobieństwa

W kolejnym kroku procedury formułowania probabilistycznych modeli opadowych (rys. 4.7), maksymalne wysokości opadów deszczu zebrane w szeregach rozdzielczych (tab. B.1–B.8 Supplement B) zostały wykorzystane do oszacowania parametrów rozkładów

prawdopodobieństwa metodą największej wiarygodności (*MNW*). Korzystając z logarytmów funkcji wiarygodności ($\ln L_{\max}$) analizowanych rozkładów, zgodnie z tabelą 4.6, w procesie numerycznej maksymalizacji estymowano parametry kształtu (α), skali (β) i położenia zamiennie przesunięcia (γ) oraz bezwymiarowe wartości logarytmów funkcji wiarygodności, niezbędne do przeprowadzenia oceny kryteriami informacyjnymi. Ze względu na liczbę danych uzyskane wyniki przedstawiono w Suplemencie C, w tabelach C.1–C.8 - dla parametrów rozkładów prawdopodobieństwa oraz w tabelach C.9–C.16 - dla wartości logarytmów $\ln L_{\max}$. Na rysunkach 5.2 i 5.3 przedstawiono przykładowe rozkłady wartości estymowanych parametrów (rys. 5.2) oraz logarytmów funkcji wiarygodności (rys. 5.3) w funkcji czasu trwania opadu dla rozkładu *EV3* oraz stacji IMGW-PIB Zielona Góra.



Rys. 5.2. Przykładowe dystrybuanty parametrów rozkładu *EV3* (α)-zielony, (β)-czerwony, (γ)-niebieski) – stacja w Zielonej Górze dla różnych czasów trwania opadów (wg C.4, Suplement C)



Rys. 5.3. Dystrybuanta logarytmów funkcji wiarygodności rozkładu *EV3* w analizowanym przedziale czasów trwania opadów dla stacji w Zielonej Górze (wg C.12, Suplement C)

Rysunek 5.2 potwierdza literaturowe doniesienia oraz wstępne wyniki analiz przeprowadzone dla Legnicy [Wdowikowski, Kaźmierczak 2015, Kaźmierczak, Wdowikowski 2016] w zakresie zmienności poszczególnych parametrów rozkładów teoretycznych. Jeżeli parametr skali (β) i położenia (γ) można opisać w funkcji czasu trwania opadu prostymi modelami wykładniczymi, to parametr kształtu (α) należy uśrednić do jednej wartości w całym przedziale zmienności czasów trwania t . Zmienność wartości logarytmów funkcji wiarygodności ($\ln L_{\max}$) w czasie również podlega rozkładowi wykładniczemu

(rys. 5.3). Wizualizacja przebiegów zmienności poszczególnych parametrów rozkładów prawdopodobieństwa oraz logarytmu $\ln L_{\max}$ pozwala na weryfikację poprawności przyjętych warunków brzegowych w procesie numerycznej maksymalizacji funkcji wiarygodności.

Tab. 5.5. Wartości logarytmów funkcji wiarygodności ($\ln L_{\max}$) dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa - stacja w Zielonej Górze w latach 1961–2010 (wg tab. C.12, Suplement C)

t [min]	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1
5	-86.48	-87.73	-86.46	-86.21	-88.83	-88.91	-86.36	-88.91	-91.94
10	-95.68	-97.06	-95.77	-95.75	-98.07	-97.95	-95.57	-97.95	-100.17
20	-117.76	-117.96	-117.73	-117.68	-118.57	-118.98	-117.67	-118.98	-130.41
30	-127.99	-129.78	-127.98	-128.20	-130.25	-130.98	-128.05	-130.98	-139.37
40	-131.75	-136.38	-131.80	-133.87	-136.95	-137.79	-132.49	-137.79	-146.08
50	-134.67	-141.28	-134.78	-138.58	-142.00	-142.97	-136.06	-142.97	-151.23
60	-140.90	-142.39	-140.91	-141.45	-143.39	-144.23	-140.97	-144.23	-154.56
90	-131.62	-142.75	-131.77	-140.09	-141.59	-145.72	-133.77	-145.72	-157.43
120	-142.75	-148.15	-142.84	-145.40	-149.05	-150.38	-143.66	-150.38	-157.90
180	-149.08	-153.55	-149.14	-150.60	-154.38	-155.59	-149.59	-155.59	-162.50
360	-151.10	-154.18	-151.14	-152.31	-154.67	-155.26	-151.44	-155.26	-163.00
720	-157.91	-160.07	-157.93	-157.95	-161.14	-161.08	-157.83	-161.08	-163.11
1080	-168.44	-169.75	-168.35	-168.43	-170.78	-170.45	-167.98	-170.45	-171.65
1440	-174.40	-175.60	-174.38	-174.53	-176.46	-176.52	-174.29	-176.52	-179.67
2160	-179.87	-184.13	-179.94	-180.83	-185.29	-186.18	-180.38	-186.18	-190.68
2880	-186.07	-190.19	-186.13	-186.53	-191.48	-191.79	-186.44	-191.79	-194.10
4320	-187.40	-188.90	-187.43	-187.51	-189.55	-189.47	-187.41	-189.47	-191.89

Porównanie wartości logarytmów $\ln L_{\max}$ (tab. 5.5) pochodzących z estymacji parametrów wszystkich analizowanych rozkładów wyraźnie sugeruje rozkłady teoretyczne *GED* i *EV3* jako najbliższe dystrybuancie empirycznej (w tabeli 5.5 podkreślono kolorem niebieskim). Warto zwrócić uwagę na małą różnicę wartości $\ln L_{\max}$ niemal dla całego zakresu czasów trwania opadów dla rozkładów: *P3* oraz w mniejszym stopniu *GPA* (wartości o pogrubionej czcionce).

Przyglądając się wartościom $\ln L_{\max}$ dla pozostałych stacji meteorologicznych (zestawionych w tabelach C.9–C.16, Suplement C), najwyższe wartości dla większości czasów trwania dla rozkładu *GED* otrzymano na stacjach IMGW-PIB: Wrocław (12 z 17), Racibórz (10 z 17), Legnica (14 z 17), Opole (13 z 17), Kłodzko (14 z 17) oraz Jelenia Góra (14 z 17). Dla stacji w Zgorzelcu rozkład *GED* osiąga najwyższe wartości $\ln L_{\max}$ zaledwie dla 5 z 17 czasów trwania opadu. Biorąc pod uwagę dużą rozbieżność wartości $\ln L_{\max}$ wśród pozostałych rozkładów: *EV3* i *GPA* (po 3 z 17) oraz *P3*, *LogL* i *LogN* (po 2 z 17), wskazanie jednego rozkładu, bez oceny jakości dopasowania dystrybuanty teoretycznej i empirycznej testem statystycznym, wydaje się nie być zasadne. Jednak z uwagi na stosunkowo małe różnice pomiędzy wartościami $\ln L_{\max}$ rozkładów *GED*, *EV3*, *GPA* i *P3*, rezygnując dla konkretnego czasu trwania z wyboru najwyższej wartości $\ln L_{\max}$ na rzecz najbliższej *GED* można otrzymać zgodność na poziomie 12 z 17 czasów trwania opadów. Podobnie w przypadku Zielonej Góry najbliższe rozkładowi *GED* wartości $\ln L_{\max}$ w niemal całym przedziale czasów trwania opadów wskazują na rozkłady: *EV3*, *P3* i *GPA*, co może

sugerować zgodne wyniki testów statystycznych i pozostałych ocen kryteriów informacyjnych oraz błędów. Inne rozkłady teoretyczne prezentowały najwyższe wartości $\ln L_{\max}$ dla najwyżej dwóch przedziałów czasowych, np.: rozkład $\text{Log}N$ w Zgorzelcu dla $t = 2160$ i 4320 minut, rozkład $\text{Log}L$ również w Zgorzelcu dla $t = 40$ i 90 minut, rozkład GEV w Raciborzu dla $t = 1080$ minut oraz rozkład EVI w Jeleniej Górze dla $t = 180$ minut.

5.1.3. Ocena zgodności dystrybuanty teoretycznej i empirycznej

Jak wykazano w rozdziale 2.2.6, ocenę zgodności badanych rozkładów teoretycznego i empirycznego (w czasie trwania opadów) determinuje konieczność zastosowania innej metody niż regresja liniowa, wyrażona współczynnikiem R^2 . W niniejszej pracy zdecydowano się na zastosowanie dwóch testów statystycznych: λ -Kolmogorova ($K-S$) i Andersona–Darlinga ($A-D$), których hipotezy o zgodności rozkładów weryfikowane są względem wartości krytycznych na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Szczegółowe wyniki dla przyjętych rozkładów prawdopodobieństwa i analizowanych czasów trwania zestawiono w tabelach D.1–D.16. w **Suplemencie D**. Dla wartości krytycznej testu Kolmogorova–Smirnova $\lambda_{kr} = 1,36$ większe wartości statystyki testowej λ otrzymano dla następujących stacji - miejscowości, rozkładów i czasów trwania (tabele D.1–D.8. w Suplemencie D):

- Wrocław: rozkład GEV , dla przedziałów czasowych $t = 30$ do 120 min oraz 2160 min,
- Legnica: rozkład GEV , dla przedziałów czasowych $t = 20$ oraz 4320 min,
- Zgorzelec: rozkład GEV , dla przedziału czasowego $t = 5$ min,
- Zielona Góra: rozkład GEV , dla przedziału czasowego $t = 120$ min ($\lambda = 1,36$),
- Opole:
 - rozkład GEV , dla przedziałów czasowych $t = 30$ do 60 min oraz 2160 min,
 - rozkład $\text{Log}L$, dla przedziałów czasowych $t = 10$ i 60 min,
- Kłodzko: rozkład GEV , dla przedziałów czasowych $t = 1080, 2160$ oraz 4320 min,
- Jelenia Góra:
 - rozkład GEV , dla przedziałów czasowych $t = 10$ do $40, 180$ oraz 720 do 4320 min,
 - rozkład $\text{Log}L$, dla przedziału czasowego $t = 4320$ min,
 - rozkład EVI , dla przedziału czasowego $t = 180$ min,
- Racibórz: rozkład GEV , dla przedziałów $t = 10$ do $40, 120, 1080$ oraz 2880 min.

Powyższy wykaz z jednej strony wskazuje, że rozkład GEV w postaci uogólnionej daje najmniej dokładne dopasowanie dla niektórych czasów trwania opadów, z drugiej zaś - z pominięciem przedziałów czasowych $t = 50$ i 60 minut, gdzie wartości statystyki dla różnych stacji - miejscowości wahają się od $1,80$ do ponad $2,0$, przekroczenie wartości krytycznej jest stosunkowo małe. W kilku przypadkach skrajne „punktowe” odchylenia daje rozkład $\text{Log}L$ i w jednym przypadku EVI (rozkład Gumbela). W oparciu o uzyskane wyniki, należy stwierdzić, że zdecydowana większość zaproponowanych rozkładów teoretycznych w sposób zadawalający opisuje dystrybuantę empiryczną.

Wyniki testu Andersona–Darlinga zawężają zbiór rozkładów możliwych do dalszego zastosowania w procedurze formułowania modeli opadowych (tabele D.9–D.16. w **Suplemencie D**). Dla wszystkich analizowanych stacji meteorologicznych, niemal dla każdego czasu trwania opadów, wartości statystyki testowej rozkładów GEV i EVI były większe od wartości krytycznej, jednocześnie sprawiając, że nie zostały spełnione wymagania

przyjętej hipotezy testowej. Pozostałe rozkłady teoretyczne w miarę jednolicie opisywały dane pomiarowe. Dla Legnicy wartości statystyk testowych były mniejsze od wartości krytycznej w każdym analizowanym przedziale czasowym rozkładów: $LogN$, $EV2$ i $LogL$, a bez jednego czasu trwania - rozkłady $EV3$ i GPA (odpowiednio $t = 20$ min i $t = 30$ min). Rozkład GED podobnie jak $P3$ nie był zgodny dla czterech czasów trwania. W Zgorzelcu najlepsze wyniki dały 3 rozkłady: $EV2$, $LogN$ i $LogL$, a w Zielonej Górze 2 rozkłady: $LogN$ i $EV2$. Następne w kolejności były rozkłady $EV3$, $LogL$, $P3$ oraz GED ; najmniej dokładne dopasowanie przypadło na rozkład GPA . W Opolu najlepiej dopasowanymi rozkładami były GED , $P3$ i $EV3$, następnie $LogN$ i $EV2$, a najgorzej dopasowanymi $LogL$ i GPA . W przypadku Kłodzka i Wrocławia nie można wyraźnie wskazać rozkładów teoretycznych najlepiej dopasowanych do rozkładów pomiarowych. W Jeleniej Górze i Raciborzu najmniej dokładnie dystrybuantę empiryczną opisują rozkłady $LogL$ i GPA (z trzema, czterema przedziałami czasowymi, dla których wartość statystyki testowej była większa niż wartość krytyczna).

Wobec otrzymanych wyników zastosowanych testów statystycznych $K-S$ oraz $A-D$ z dalszych analiz usunięto rozkłady GEV i EVI , a za kluczowe w ostatecznym wyborze najlepiej dopasowanych rozkładów teoretycznych przyjęto porównanie wyników kryteriów informacyjnych oraz kryteriów błędów.

5.1.4. Ocena jakości dopasowania wybranych rozkładów – kryterium informacyjne

Uzupełnieniem informacji o jakości dopasowania dystrybuanty teoretycznej i empirycznej analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa, uzyskanej w wyniku przeprowadzenia weryfikacji hipotezy o zgodności rozkładów, jest zastosowanie kryteriów informacyjnych. Taki sposób uzyskania dodatkowej oceny jest zasadny tylko w przypadku estymacji parametrów rozkładów prawdopodobieństwa metodą największej wiarygodności, co spowodowane jest koniecznością wykorzystania wartości logarytmów funkcji wiarygodności. W niniejszej pracy, kolejny krok procedury formułowania modeli opadowych (wg schematu na rys 4.7) wykonano w oparciu o kryteria AIC , BIC i $HQIC$. Do obliczeń wg zależności (2.95–2.97) zastosowano określone wcześniej wartości lnL_{max} (zebrane w tabelach C.9–C.16). Wyniki obliczeń zestawiono w **Suplemencie C** w tabelach C.17–C.24 - dla wskaźnika AIC , w tabelach C.25–C.32 - dla wskaźnika BIC i w tabelach C.32–C.40 - dla wskaźnika $HQIC$. W odniesieniu do wcześniej opisanych wyników porównania wartości logarytmów funkcji wiarygodności (rozdz. 5.1.2), rozkłady teoretyczne odrzucone w toku oceny testami statystycznymi $K-S$ oraz $A-D$ (rozdz. 5.1.3), czyli GEV i EVI , nie były wskazywane przez lnL_{max} jako potencjalnie właściwe do opisu analizowanych danych opadowych, reprezentowanych przez dystrybuantę empiryczną. Analizując zależności (2.95–2.97) i np. wyniki podane w tabelach C.17–C.24 można zauważyć, że przy zastosowaniu takiej samej liczby parametrów rozkładów, która dla wszystkich analizowanych przypadków wynosiła $k = 3$ oraz takiej samej liczby elementów próby losowej, która również dla każdego przypadku wynosiła $N = 50$, w zasadzie jedyną zmienną przedmiotowych równań jest wartość lnL_{max} , jako składnik każdego równania o postaci $-2 \cdot (lnL_{max})$. Dlatego też przy takich założeniach kryteria informacyjne AIC , BIC oraz $HQIC$ można stosować zamiennie. Oczywiście będą miały różne wartości ale przedstawiają dokładnie taką samą informację. Mając na uwadze powyższe w dalszej części pracy wyniki odnoszone będą jedynie do wskaźnika AIC . Poniżej zamieszczono przykładowe wyniki oceny kryterium AIC dla stacji

IMGW-PIB we Wrocławiu (tab. 5.6) – kolorem niebieskim wyróżniono najmniejsze wartości wskaźnika *AIC*.

Tab. 5.6. Wartości kryterium informacyjnego *AIC* dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa – stacja Wrocław w latach 1961–2010 (wg tab. C.17, **Suplement C**)

<i>t</i> [min]	<i>GED</i>	<i>LogN</i>	<i>P3</i>	<i>GPA</i>	<i>LogL</i>	<i>EV3</i>	<i>EV2</i>
5	163,78	168,28	163,62	164,28	171,56	163,00	171,00
10	211,04	216,12	211,14	211,46	218,54	211,32	218,24
20	269,84	275,92	269,90	270,04	278,76	269,96	279,22
30	280,28	288,10	280,42	281,66	290,76	281,08	292,96
40	289,94	299,18	290,14	291,84	301,92	291,00	304,64
50	305,16	317,50	305,46	308,20	320,18	306,84	324,42
60	307,62	321,24	307,94	311,28	323,72	309,58	328,68
90	319,12	336,20	319,52	323,92	338,08	321,78	343,50
120	329,64	337,12	329,74	330,04	340,70	330,04	342,70
180	332,34	337,10	332,22	332,36	340,50	331,50	339,48
360	325,38	326,24	325,00	328,86	327,60	324,14	327,20
720	337,86	340,24	337,66	339,60	342,70	337,02	341,98
1080	355,10	357,72	355,00	355,84	360,44	354,70	360,54
1440	359,88	369,10	360,06	361,26	371,60	360,94	372,42
2160	366,84	375,94	367,04	370,18	378,26	368,10	381,18
2880	365,60	393,76	366,20	383,30	395,80	372,70	397,78
4320	409,34	417,30	409,48	410,22	419,58	410,12	419,86

Analogicznie jak w przypadku $\ln L_{\max}$ dla Wrocławia dobre dopasowanie rozkładu teoretycznego do empirycznego, dla większości przedziałów czasowych wykazuje rozkład *GED*, a różnice pomiędzy rozkładami *GED*, *P3*, *GPA* i *EV3* były minimalne; skrajne różnice wartości *AIC* wahały się od 0,20 do 4,80. Analiza porównawcza wartości kryterium informacyjnego *AIC* przeprowadzona dla wszystkich badanych stacji pomiarowych wskazuje na dalsze procedowanie rozkładów teoretycznych *GED* i *EV3* jako najlepiej dopasowanych względem przyjętego kryterium oraz rozkładów *P3* i *GPA* jako możliwych do zastosowania.

5.1.5. Ocena jakości dopasowania wybranych rozkładów – kryterium błędów

Ostatnim etapem oceny stopnia dopasowania rozkładu teoretycznego względem rozkładu próby losowej jest zastosowanie kryterium błędów, co powinno w sposób jednoznaczny określić najlepiej dopasowane rozkłady (niekoniecznie jeden). Istotną cechą użycia kryterium błędów jest porównanie wysokości opadów, które są wynikiem zastosowania teoretycznego rozkładu (wysokości „teoretyczne” lub „modelowane”) z wysokościami opadów składających się na dystrybuantę empiryczną. Zgodnie z przyjętą metodyką (rozdziały 4.5 i 4.6) do oceny błędów zastosowano wskaźnik *rRMSE*, natomiast szczegółowe wyniki przedstawiono w tabelach D.17–D.24 (**Suplement D**). Za rozkład teoretyczny najlepiej dopasowany do danych pomiarowych uznawano ten o najniższych wartościach wskaźnika *rRMSE*. Rozkłady prawdopodobieństwa, których kwantyle zmiennej losowej w najmniejszym stopniu różniły się od wartości pomiarowych, dla największej liczby przedziałów czasu trwania opadu, dla poszczególnych stacji pomiarowych przedstawiono jako procentowy udział liczby najlepiej dopasowanych czasów trwania do ich ogólnej liczby tj. 17 (tab. 5.7).

Tab. 5.7. Liczba przedziałów czasów trwania opadów, dla których wartości kryterium błędów $rRMSE$ dla analizowanych rozkładów teoretycznych była najmniejsza (wg tab. D.17–D.24, **Suplement D**)

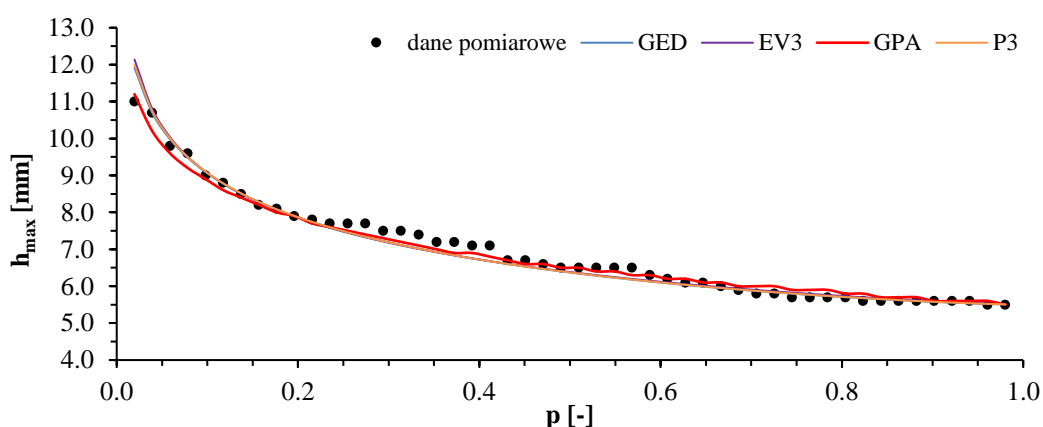
Stacja	GED		EV3		GPA		P3	
	liczba	%	liczba	%	liczba	%	liczba	%
Wrocław	2	12%	5	29%	9	53%	1	6%
Legnica	3	18%	8	47%	6	35%	0	-
Zgorzelec	2	12%	13	76%	2	12%	0	-
Zielona Góra	4	24%	10	59%	1	6%	2	12%
Opole	5	29%	12	71%	0	-	0	-
Kłodzko	3	18%	11	65%	3	18%	0	-
Jelenia Góra	6	35%	8	47%	1	6%	2	12%
Racibórz	1	6%	14*	82*%	1	6%	1	6%

*wartość $rRMSE$ dla t_{5min} jest taka sama jak dla rozkładu $P3$

Porównanie otrzymanych wartości $rRMSE$, a w szczególności liczby najniższych wartości jakie osiągnęły analizowane rozkłady teoretyczne, wyraźnie wskazuje na najlepsze dopasowanie dystrybuant teoretycznych i empirycznych dla rozkładu $EV3$ tj. Weibulla, zwykle na poziomie nie mniejszym niż 8 czasów trwania opadu. Jedynie dla Wrocławia najlepiej dopasowany jest rozkład GPA . W przypadku Legnicy niemal *ex aequo* dane pomiarowe opisują rozkłady $EV3$ oraz GPA . Otrzymane wyniki są o tyle ciekawe, że dla Wrocławia zespół badawczy Kotowskiego wskazywał między innymi na rozkład Weibulla jako właściwy do opisu danych opadowych z lat 1960–2009 [Kotowski i inni 2010, Kotowski, Kaźmierczak 2013], ale w późniejszych pracach także na GED [Kotowski 2015, Kaźmierczak, Kotowski 2015, Kotowski, Kaźmierczak 2019, Kaźmierczak 2019]. Powodem takich wskazań było nie uwzględnienie rozkładu prawdopodobieństwa GPA w procesie opracowywania modeli opadowych dla Wrocławia. Z kolei dla danych z Legnicy za najdokładniejszy wskazywano dotychczas rozkład GED , a dopiero w następnej kolejności $EV3$, co przedstawiono w studium przypadku zamieszczonym w rozdz. 4.3.1. Powodem różnic mogło być między innymi analizowanie czasów trwania opadów o $t > 4320$ min [Wdowikowski, Kaźmierczak 2015, Kaźmierczak Wdowikowski 2016]. Szczegółowy przegląd wartości wskaźnika $rRMSE$ (zawartych w tabelach D.17–D.24) potwierdza dotychczasowy pogląd o relatywnie małej różnicy pomiędzy analizowanymi rozkładami, przy czym dla niektórych czasów trwania opadu wartości $rRMSE$ były zaskakująco duże, co może powodować zawyżanie lub zaniżanie szacowanych wysokości opadów. Na przykład dla stacji w Zgorzelcu, dla której wartości $rRMSE$ przedstawiono w tabeli 5.8 (odpowiednik tabeli D.19, **Suplement D**), ewidentnie najlepiej dopasowanym rozkładem do danych pomiarowych okazał się rozkład $EV3$, natomiast rozkład GPA , z dwoma wyjątkami (dla $t = 5$ min oraz 1440 min) przeciwnie. Rozkłady GED i $P3$ wartościami $rRMSE$ zbliżają się do $EV3$, incydentalnie osiągając nawet bardziej dokładne dopasowanie np. $t = 10$ min i $t = 720$ min dla GED , co sugeruje, że szacowane wysokości opadów mogą być podobne. W tabeli 5.8 kolorem niebieskim wyróżniono najmniejsze wartości wskaźnika $rRMSE$. Opisaną wyżej sytuację potwierdzają rysunki 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 i 5.8, na których przedstawiono przebiegi dystrybuanty teoretycznej i empirycznej dla wybranych przedziałów czasowych opadów dla stacji IMGW-PIB w Zgorzelcu w pełnym zakresie prawdopodobieństw przekroczenia, od $p = 0,02$ (najrzadziej występujące statystycznie opady – odpowiednio 1 raz na 50 lat) do $p = 0,98$ (najczęściej występujące opady – odpowiednio 1 raz na 1 rok), w zbiorze 50 lat (1961–2010).

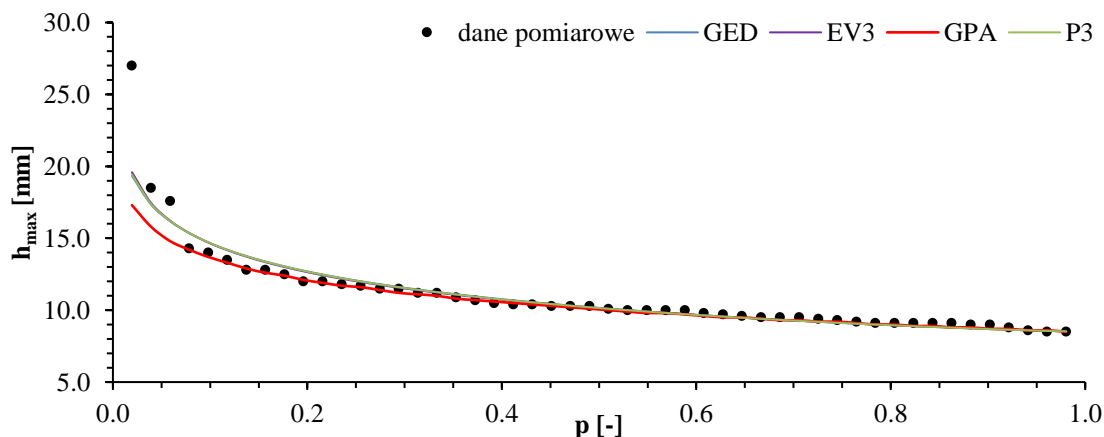
Tab. 5.8. Wartości kryterium błędów $rRMSE$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zgorzelca (Tab. D19, **Suplement D**)

t , min	GED	EV3	GPA	P3	t , min	GED	EV3	GPA	P3
5	2,75	2,90	2,39	2,80	120	7,46	6,30	13,73	7,24
10	1,58	1,70	1,67	1,60	180	5,70	4,80	11,49	5,54
20	5,15	4,94	6,13	5,09	360	2,65	2,49	4,55	2,60
30	6,43	6,20	6,83	6,38	720	3,01	3,10	3,41	3,03
40	7,91	7,59	8,68	7,85	1080	3,90	3,76	4,90	3,85
50	7,23	6,56	9,98	7,08	1440	3,55	3,75	3,20	3,62
60	6,94	6,28	10,06	6,79	2160	5,22	4,84	7,65	5,14
90	8,69	7,69	11,79	8,48	2880	6,30	5,96	7,75	6,22
120	7,46	6,30	13,73	7,24	4320	6,51	5,70	11,06	6,35



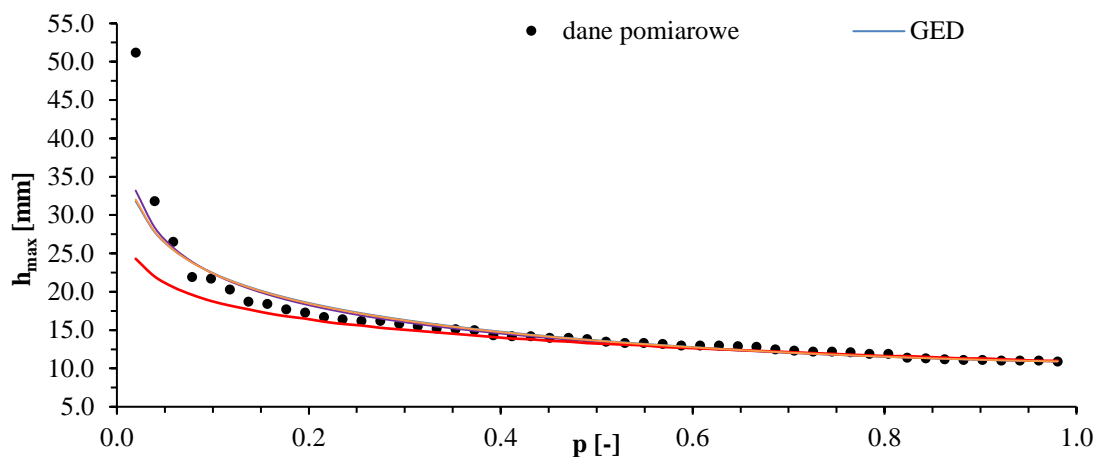
Rys. 5.4. Dystrybuanty teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuanty empirycznej dla stacji w Zgorzelcu dla czasu trwania opadu $t = 5$ min i prawdopodobieństwa przekroczenia p

Dla opadów o czasie trwania $t = 5$ min wszystkie rozkłady prawdopodobieństwa bardzo dokładnie opisywały dane pomiarowe o czym świadczy również przedział zmienności $rRMSE$ (tab. 5.8) od 2,39% do 2,90%. Wysokość opadów rzeczywistych o $p = 0,02$ ($C = 50$ lat) wynosi $h_{\max} = 11,0$ mm, natomiast modelowane wartości opadów według poszczególnych rozkładów wynoszą odpowiednio $h_{GED} = 11,9$ mm, $h_{EV3} = 12,1$ mm, $h_{GPA} = 11,2$ mm oraz $h_{P3} = 12,0$ mm, a więc różnica pomiędzy nimi jest znikoma.



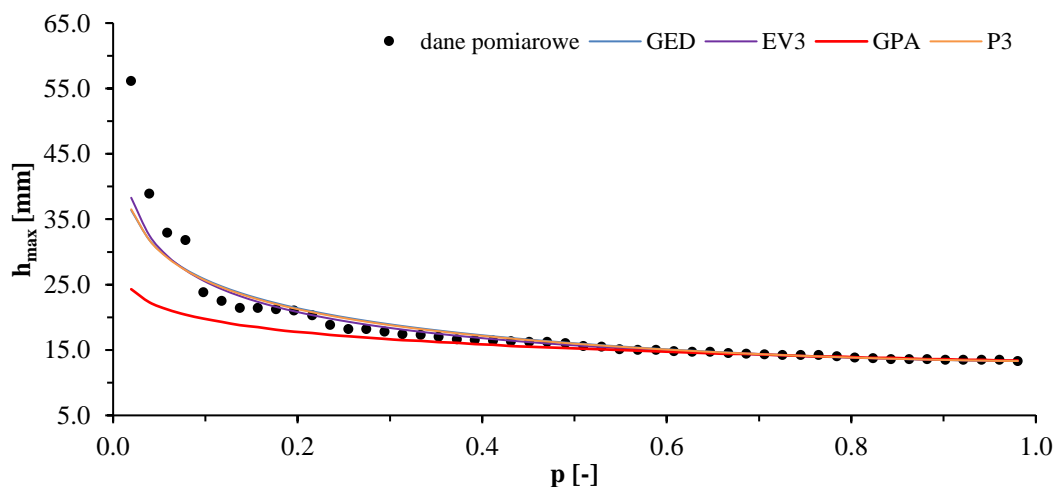
Rys. 5.5. Dystrybuanty teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuanty empirycznej dla stacji w Zgorzelcu dla czasu trwania opadu $t = 20$ min i prawdopodobieństwa przekroczenia p

Dla opadów mieszczących się w przedziale czasowym $t = 20$ min wszystkie rozkłady prawdopodobieństwa bardzo dobrze opisywały dane pomiarowe do wartości $p = 0,2$, następnie dla opadów w przedziale $p \in [0,18; 0,08]$ rozkład *GPA* nadal bardzo dobrze odzwierciedlał odcinek rozkładu empirycznego, natomiast rozkłady *GED*, *EV3* i *P3* nieznacznie zawyżały wysokości opadów. Dla częstości występowania opadów $C = 47$ i 49 lat rozkład *GPA* zaniżał wysokości opadów o przeszło 5 mm, natomiast najbliższej wartości odpowiadającej $C = 50$ lat były rozkłady *GED*, *EV3* i *P3*, przy czym wszystkie rozkłady teoretyczne wskazywały na mniejsze wysokości opadów od rzeczywistych o około 7 mm (odpowiednio 19,3 mm, 19,6 mm, 19,4 mm wobec 27,0 mm dla opadu rzeczywistego).



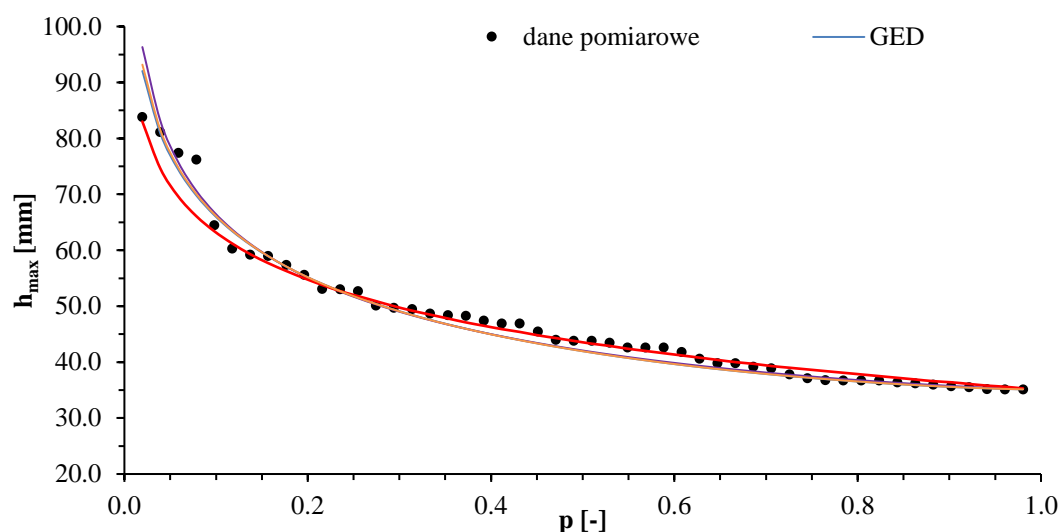
Rys. 5.6. Dystrybuanty teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuanty empirycznej dla stacji w Zgorzelcu dla czasu trwania opadu $t = 60$ min i prawdopodobieństwa przekroczenia p

Kolejny przykład przedstawiony na rysunku 5.6 dotyczy porównania modelowanych wysokości opadów rozkładami teoretycznymi z rozkładem empirycznym dla czasów trwania opadów $t = 60$ min. Sytuacja jest tutaj podobna do tej z rysunku 5.5 ($t = 20$ min), z tą różnicą, że odchylenia rozkładu *GPA* i rozkładów *GED*, *EV3* i *P3* jest widoczna już na poziomie $p = 0,3$. Bezwzględne różnice pomiędzy wysokościami opadów zdarzających się najrzadziej wynosiły od 18,0 do 26,9 mm (odpowiednio dla rozkładów *GPA*, *GED*, *EV3* i *P3*: 24,3 mm, 31,8 mm, 33,2 mm oraz 32,0 mm wobec 51,2 mm dla opadu rzeczywistego).



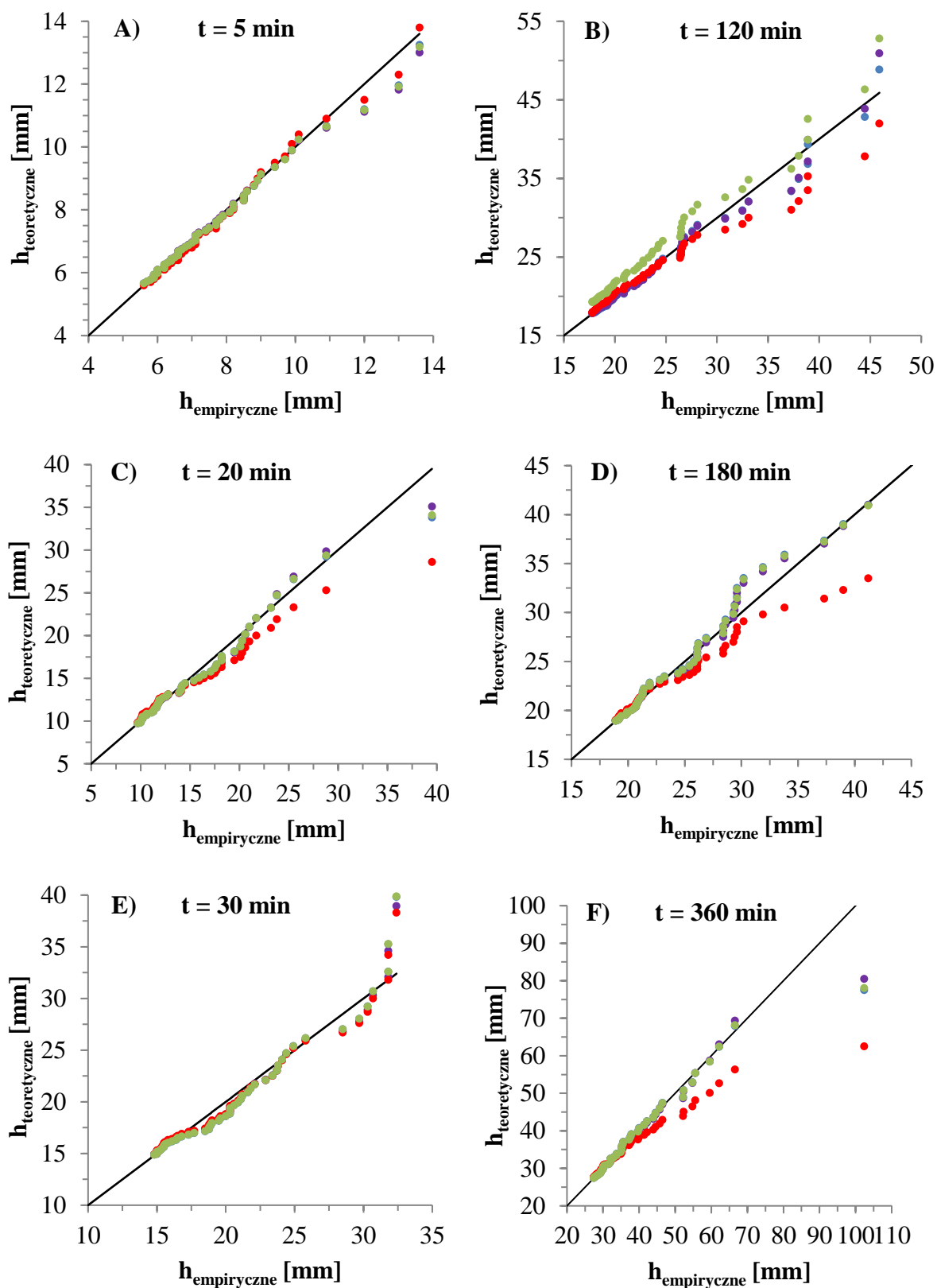
Rys. 5.7. Dystrybuanty teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuanty empirycznej dla stacji w Zgorzelcu dla czasu trwania opadu $t = 120$ min i prawdopodobieństwa przekroczenia p

Dla wysokości opadów o czasie trwania $t = 120$ min (rys. 5.7) różnica estymacji największej (najrzadziej występującej) wartości wysokości opadu dla rozkładu *GPA* była jeszcze większa niż dla $t = 60$ min i wynosiła 31,8 mm (24,3 mm wobec 56,1 mm dla opadu rzeczywistego).

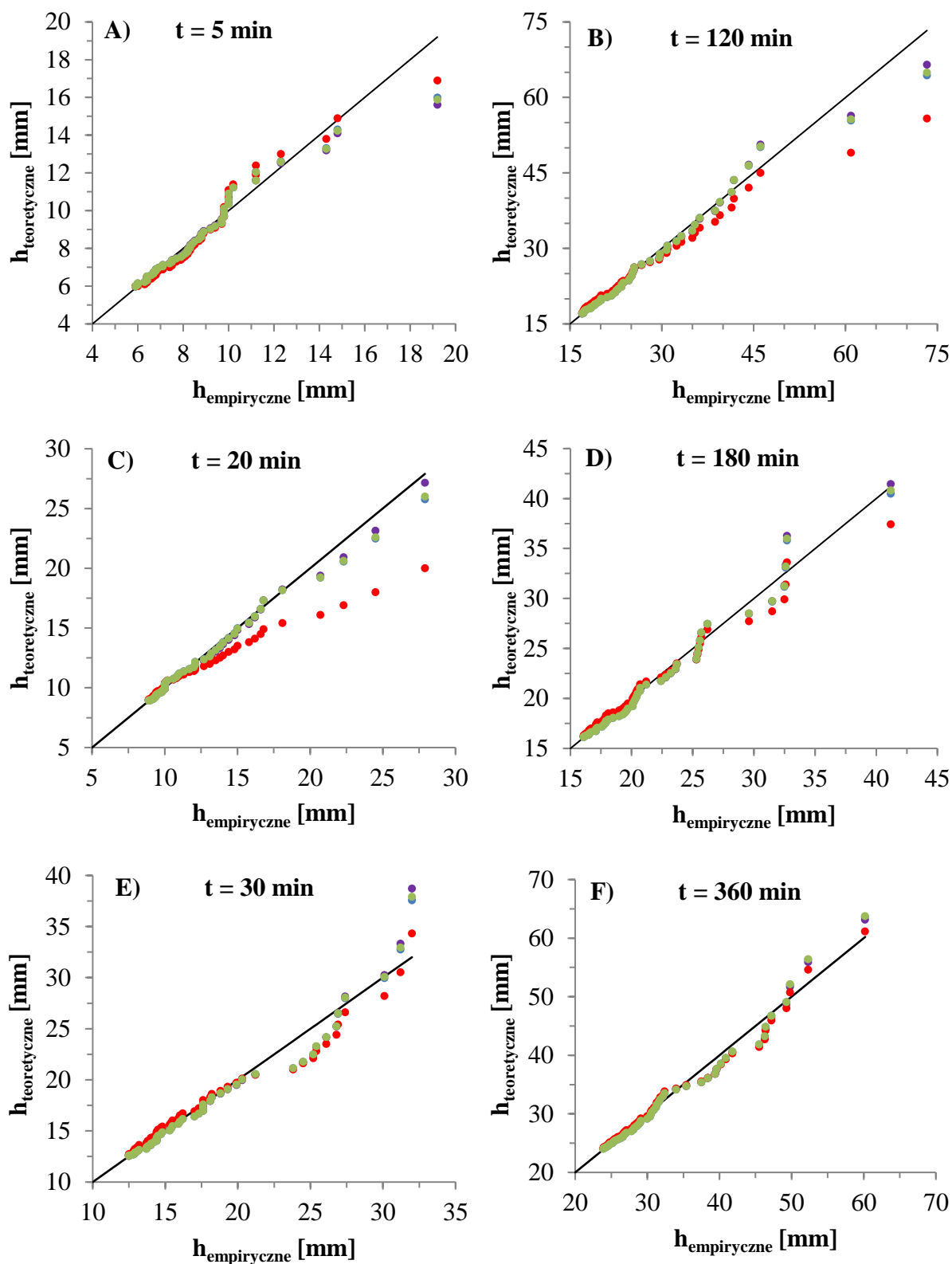


Rys. 5.8. Dystrybuanty teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuanty empirycznej dla stacji w Zgorzelcu dla czasu trwania opadu $t = 1440$ min i prawdopodobieństwa przekroczenia p

Ostatni, ilustrowany przebieg dystrybuanty teoretycznej i empirycznej dla Zgorzelca - dla czasu trwania opadów $t = 1440$ min, przedstawiono na rysunku 5.8. Teoretycznie odpowiada to dobowej wysokości opadu, która dla opadu rzeczywistego o $p = 0,02$ ($C = 50$ lat) wynosiła $h_{1440} = 83,8$ mm. W tym przypadku grupa analizowanych opadów ($t = 1440$ min), szacowanych przy użyciu rozkładów prawdopodobieństwa *GPA*, *GED*, *EV3* i *P3*, bardzo dobrze opisywała elementy rozkładu empirycznego w niemal całym zakresie zmienności p . Odnosnie wysokości opadów o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 0,02$ rozkład *GPA* dawał niemal identyczną wartość $h = 83,0$ mm, a pozostałe rozkłady odpowiednio: 92,0 mm, 96,3 mm i 93,2 mm, tj. zgodnie zawiązywały modelowane wysokości opadów. Odnosząc przedstawione wyżej wyniki do wartości kryterium błędów wg wskaźnika *rRMSE* (zestawionych w tabeli D.19 w **Suplemencie D**), widać potwierdzenie wskazanych różnic. Dla przedziałów czasowych $t = 5$ i 1440 min (rys. 5.4 i 5.8), najlepiej dopasowany był rozkład *GPA*, a pozostałe zgodnie zawiązywały szacowane wysokości opadu. Dla czasów trwania opadu $t = 20, 60$ i 120 min (rys. 5.5–5.7) wartości *rRMSE* dla rozkładu *GPA* były zdecydowanie większe względem *GED*, *EV3* i *P3*, gdzie mimo, iż zaniżone pod względem wysokości opadów najrzadziej występujących, dawały podobne wyniki. Analiza porównawcza dystrybuant teoretycznych i empirycznych w całym analizowanym przedziale zmienności prawdopodobieństwa przekroczenia $p \in [0,02; 0,98]$, zamiennie częstości występowania opadów $C \in [50; 1]$ lat, wskazuje na wysoką czułość sumarycznej wartości wskaźnika *rRMSE* na skrajnie duże wysokości opadów najrzadziej występujących np. $C = 50$ lat. W przypadku Zgorzelca, Jeleniej Góry czy Raciborza były to wspomniane już przypadki wystąpienia katastrofalnych deszczów nawalnych. Dla pozostałych stacji, co zilustrowano na rysunkach 5.9 i 5.10 oraz przedstawiono w tabeli 5.8, ocena dopasowania rozkładów teoretycznych do danych pomiarowych była zbliżona (tab. D.17 i D.18 oraz D.20–D.24, **Suplement D**).



Rys. 5.9. Porównanie dystrybuant teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuant empirycznych na stacjach: Zielona Góra (A, B) dla $t = 5$ min i 120 min, Jelenia Góra (C, D) dla $t = 20$ min i 180 min, Kłodzko (E, F) dla $t = 30$ min i 360 min (kolory: GPA-czerwony, GED-niebieski, EV3-fioletowy, P3-zielony, dane pomiarowe-czarny)



Rys. 5.10. Porównanie dystrybuant teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuant empirycznych na stacjach: Opole (A, B) dla $t = 5$ min i 120 min, Racibórz (C, D) dla $t = 20$ min i 180 min, Legnica (E, F) dla $t = 30$ min i 360 min (kolory: GPA-czerwony, GED-niebieski, EV3-fioletowy, P3-zielony, dane pomiarowe-czarny)

Uzyskane wyniki dają podstawę do twierdzenia, że potencjalnie najlepszym rozkładem teoretycznym do opisu krzywych *DDF* dla wybranych stacji w dorzeczu Górnej i Środkowej

Odry jest rozkład prawdopodobieństwa *EV3* (Weibulla). Rozkłady *GED* i *P3*, z niemal identycznymi wynikami względem siebie oraz małą różnicą względem *EV3* mogą być stosowane zamiennie, natomiast rozkład *GPA* - z uwagi na istotnie większe różnice obliczonych, teoretycznych wysokości opadów względem opadów rzeczywistych dla większej liczby czasów trwania opadów - szczególnie istotnych do bezpiecznego projektowania odwodnienia terenów, tj. od $t = 20$ min do $t = 180$ min [Kotowski 2011e, 2015], należy na tym etapie odrzucić.

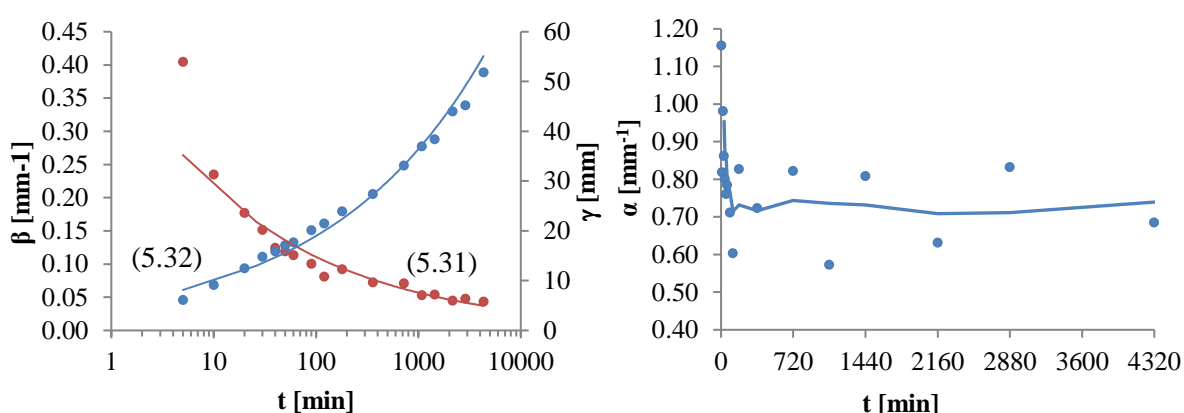
5.1.6. Optymalizacja parametrów wybranych rozkładów prawdopodobieństwa

Trzy rozkłady prawdopodobieństwa *EV3*, *GED* i *P3*, które zostały wskazane w wyniku oceny dopasowania dystrybuanty teoretycznej do dystrybuanty empirycznej, przy użyciu testów statystycznych, kryterium informacyjnego i kryterium błędów (rozdziały 5.1.3–5.1.5), w ostatnim etapie procedury formułowania modeli probabilistycznych opadów (rozdz. 4.4.4 – schemat na rys. 5.7) zostaną poddane optymalizacji estymowanych parametrów poprzez uogólnienie wartości parametrów: kształtu (α), skali (β) i położenia (γ), w funkcji czasów trwania opadu. W rozdziale 5.1.2 wykazano, że wartości parametru kształtu należy uśrednić, ze względu na małą zmienność w czasie (rys. 5.2). Opracowane zależności (5.1–5.48) dla najlepiej dopasowanych rozkładów teoretycznych zamieszczono w tabeli 5.9, gdzie dodatkowo podano wartości współczynników regresji opisujących poziom dopasowania zaproponowanych równań do analizowanych parametrów.

Tab. 5.9. Zależności parametrów skali i położenia od czasu trwania opadu oraz wartość średnia parametru kształtu dla analizowanych rozkładów i stacji meteorologicznych

Stacja IMGW- PIB	Rozkład teoretyczny	Średnia parametru kształtu (α)	Postać funkcji parametru				nr równania
			Skali $\beta(t)$	R^2 [%]	Przesunięcia $\gamma(t)$	R^2 [%]	
Wrocław	<i>GED</i>	0,979	$0,810t^{-0,337}$	90,53	$4,606t^{0,294}$	99,01	(5.1, 5.2)
	<i>EV3</i>	1,005	$2,071t^{0,266}$	87,55	$4,606t^{0,294}$	99,01	(5.3, 5.4)
	<i>P3</i>	0,979	$1,640t^{0,361}$	86,29	$4,608t^{0,293}$	99,00	(5.5, 5.6)
Legnica	<i>GED</i>	0,823	$0,413t^{-0,263}$	93,10	$4,271t^{0,294}$	99,13	(5.7, 5.8)
	<i>EV3</i>	0,933	$2,054t^{0,263}$	96,43	$4,268t^{0,294}$	99,12	(5.9, 5.10)
	<i>P3</i>	0,835	$2,570t^{0,262}$	90,18	$4,271t^{0,294}$	99,13	(5.11, 5.12)
Zgorzelec	<i>GED</i>	0,795	$1,016t^{-0,375}$	94,76	$3,049t^{0,322}$	98,64	(5.13, 5.14)
	<i>EV3</i>	0,870	$0,815t^{0,365}$	97,86	$3,049t^{0,322}$	98,64	(5.15, 5.16)
	<i>P3</i>	0,799	$1,037t^{0,379}$	92,71	$3,049t^{0,322}$	98,64	(5.17, 5.18)
Zielona Góra	<i>GED</i>	0,858	$0,487t^{-0,260}$	81,20	$4,596t^{0,274}$	98,28	(5.19, 5.20)
	<i>EV3</i>	0,941	$1,567t^{0,281}$	97,43	$4,595t^{0,274}$	98,28	(5.21, 5.22)
	<i>P3</i>	0,879	$1,785t^{0,304}$	82,11	$4,593t^{0,274}$	98,28	(5.23, 5.24)
Opole	<i>GED</i>	0,771	$0,330t^{-0,246}$	77,70	$4,498t^{0,279}$	99,05	(5.25, 5.26)
	<i>EV3</i>	0,861	$2,523t^{0,229}$	91,26	$4,501t^{0,279}$	99,06	(5.27, 5.28)
	<i>P3</i>	0,778	$3,164t^{0,253}$	72,37	$4,498t^{0,279}$	99,05	(5.29, 5.30)
Kłodzko	<i>GED</i>	0,787	$0,421t^{-0,290}$	93,57	$5,155t^{0,283}$	97,31	(5.31, 5.32)
	<i>EV3</i>	0,891	$2,437t^{0,240}$	94,62	$5,154t^{0,283}$	97,32	(5.33, 5.34)
	<i>P3</i>	0,803	$2,310t^{0,308}$	91,61	$5,154t^{0,283}$	97,31	(5.35, 5.36)
Jelenia Góra	<i>GED</i>	0,661	$0,460t^{-0,339}$	96,01	$3,610t^{0,316}$	99,83	(5.37, 5.38)
	<i>EV3</i>	0,782	$1,551t^{0,324}$	93,96	$3,610t^{0,316}$	99,83	(5.39, 5.40)
	<i>P3</i>	0,670	$2,446t^{0,340}$	95,95	$3,610t^{0,316}$	99,83	(5.41, 5.42)
Racibórz	<i>GED</i>	0,701	$0,567t^{-0,291}$	91,08	$3,451t^{0,294}$	99,54	(5.43, 5.44)
	<i>EV3</i>	0,811	$1,096t^{0,314}$	95,02	$3,451t^{0,294}$	99,54	(5.45, 5.46)
	<i>P3</i>	0,708	$2,019t^{0,285}$	88,26	$3,451t^{0,294}$	99,54	(5.47, 5.48)

Wśród wartości parametrów zebranych w tabeli 5.9 można zauważyć, że uśrednione wartości parametrów kształtu wahały się od $\hat{\alpha} = 0,661$ do $\hat{\alpha} = 1,005$, a przeważnie wynosiły około $\hat{\alpha} = 0,830$. Funkcje parametrów skali i przesunięcia zostały opisane zależnościami wykładniczymi, których dopasowanie ocenione wskaźnikiem R^2 było wysokie i rzadko wynosiło mniej niż 90% - w przypadku parametru skali, a zawsze powyżej 97% - w przypadku parametru przesunięcia. Zależności funkcji parametru przesunięcia w czasie, dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa były bardzo zbliżone, natomiast zależności dla parametru skali tylko dla niektórych rozkładów prawdopodobieństwa i analizowanych stacji były podobne (np. dla rozkładu *GED* dla Legnicy (5.7) i Kłodzka (5.31) czy dla rozkładu *EV3* dla Zgorzelca (5.15), Opole (5.27) i Kłodzko (5.33)). Na przykładowym rysunku 5.11 przedstawiono ilustrację zmienności parametrów rozkładu *GED* dla stacji IMGW-PIB w Kłodzku wg równań (5.31) i (5.32).



Rys. 5.11. Zmienność parametrów rozkładu *GED* dla t od 5 min do 4320 min dla Kłodzka

Po określeniu zależności badanych parametrów od czasu wykonano ponowne przeliczenie ich wartości, dla każdej analizowanej stacji meteorologicznej i wybranych rozkładów prawdopodobieństwa wg zależności (5.1–5.48) otrzymując nowe, uogólnione wartości parametrów $\hat{\alpha}$, jako średnie arytmetyczne (α) oraz otrzymując $\hat{\beta}$, $\hat{\gamma}$, odpowiednio jako funkcje $\hat{\beta} = \beta(t)$, $\hat{\gamma} = \gamma(t)$. Szczegółowe wyniki obliczeń zestawiono w **Suplemencie E**, w tabelach E.1–E.8. Dla przykładu, w tabeli 5.10 podano wyniki dla stacji IMGW-PIB we Wrocławiu.

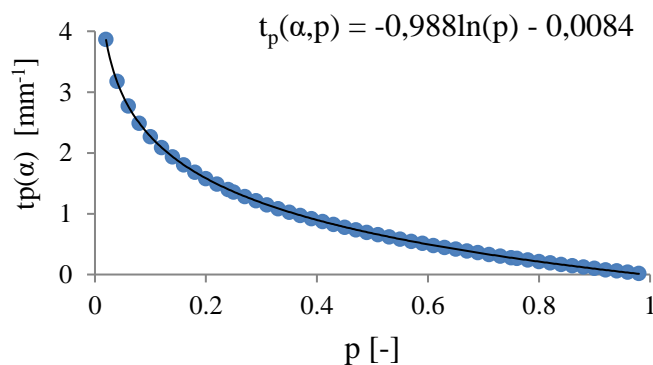
Tab. 5.10. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów *GED*, *EV3* oraz *P3* dla Wrocławia (tab. E1, **Suplement E**)

t [min]	<i>GED</i>			<i>EV3</i>			<i>P3</i>		
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
5	0,979	0,471	7,390	1,005	3,178	7,387	0,980	2,930	7,387
10		0,373	9,058		3,822	9,053		3,762	9,052
20		0,295	11,103		4,596	11,096		4,830	11,092
30		0,257	12,507		5,119	12,498		5,591	12,492
40		0,234	13,610		5,526	13,599		6,201	13,591
50		0,217	14,532		5,864	14,520		6,721	14,510
60		0,204	15,331		6,155	15,318		7,178	15,307
90		0,178	17,270		6,856	17,253		8,307	17,239
120		0,161	18,793		7,402	18,773		9,215	18,756

t [min]	<i>GED</i>			<i>EV3</i>			<i>P3</i>		
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
180		0,141	21,169		8,245	21,146		10,665	21,124
360		0,111	25,949		9,914	25,917		13,693	25,884
720		0,088	31,808		11,921	31,764		17,580	31,718
1080		0,077	35,830		13,279	35,778		20,347	35,722
1440		0,070	38,989		14,335	38,930		22,570	38,865
2160		0,061	43,920		15,967	43,850		26,123	43,772
2880		0,055	47,792		17,237	47,713		28,977	47,624
4320		0,048	53,836		19,200	53,743		33,538	53,636

5.2. Probabilistyczne modele opadów maksymalnych dla badanych stacji IMGW-PIB

Końcowym etapem procedury formułowania probabilistycznych modeli maksymalnych wysokości opadów (o zadanym czasie trwania i prawdopodobieństwie przewyższenia) jest powiązanie zależności kwantyli zmiennej losowej rzędu q badanego rozkładu teoretycznego dla prawdopodobieństwa w całym zakresie zmienności $p \in [0; 1]$, z uogólnionymi postaciami parametrów rozkładów w funkcjach czasu trwania opadów $t \in [5; 4320]$. W tabeli 5.11 przedstawiono formuły modeli opadowych ogólnej postaci $h_{t,p}(t, p, \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma})$, opartej na równaniach kwantyli *GED* (2.61), *P3* (4.30) i *EV3* (4.33) oraz funkcjach parametrów $\hat{\beta} = \beta(t)$, $\hat{\gamma} = \gamma(t)$ danych równaniami (5.1–5.48) - wg tabeli 5.9. W przypadku rozkładu prawdopodobieństwa Pearsona typu III (*P3*), dodatkowo dla każdej stacji meteorologicznej opracowano zależność kwantyli zmiennej standaryzowanej tego rozkładu $t_p(\alpha)$ w funkcji prawdopodobieństwa p , oszacowanej dla uśrednionej wartości parametru kształtu $\hat{\alpha}$. Wartości kwantyli zmiennej standaryzowanej, niezbędnych do określenia kwantyli zmiennej losowej rozkładu *P3*, dla dowolnego rzędu q , zamieszczono w tabeli C.41 (**Suplement C**). Jeżeli wartość parametru kształtu $\hat{\alpha}$ była dana pomiędzy wartościami określającymi poszczególne przedziały zmienności p , wartości $t_p(\alpha)$ aproksymowano, przyjmując za ograniczenia poprzednią i kolejną znaną wartość (α). Na przykład dla stacji we Wrocławiu $\alpha = \hat{\alpha} = 0,98$, natomiast zgodnie z tabelą C.41, wartości $t_p(\alpha)$ dla p w zakresie od 0,02 do 0,98 są znane dla $\alpha = 0,75$ oraz $\alpha = 1,00$, stąd wartości $t_p(\alpha)$ dla każdego $p \in [0,02; 0,98]$ należy oszacować korzystając ze zależności $\alpha(p)$. Efektem analizy $t_p(\alpha)$ było otrzymanie zależności zilustrowanej na rysunku 5.12.



Rys. 5.12. Kwantyl zmiennej standaryzowanej rozkładu *P3* w funkcji prawdopodobieństwa p dla $\hat{\alpha} = 0,98$

Tab. 5.11. Probabilistyczne modele opadowe o zadanym czasie trwania i prawdopodobieństwie przewyższenia dla analizowanych stacji IMGW-PIB i najlepiej dopasowanych rozkładów teoretycznych

Stacja	Rozkład/kwantyl	Model probabilistyczny wysokości opadów maksymalnych $h_{t,p}$	Nr równania
Wrocław	GED (2.61)	$4,606t^{0,2937} - 0,810t^{0,337}\ln(1 - (1 - p)^{1,021})$	(5.49)
	EV3 (4.33)	$4,606t^{0,294} + 2,071t^{0,266}(-\ln(p))^{0,995}$	(5.50)
	P3 (4.30)	$4,608t^{0,293} + 1,640t^{0,361}(-0,998\ln(p) - 0,0084)$	(5.51)
Legnica	GED (2.61)	$4,271t^{0,294} - 0,413t^{0,263}\ln(1 - (1 - p)^{1,215})$	(5.52)
	EV3 (4.33)	$4,268t^{0,294} + 2,054t^{0,263}(-\ln(p))^{1,072}$	(5.53)
	P3 (4.30)	$4,271t^{0,294} + 2,570t^{0,262}(-0,937\ln(p) - 0,0436)$	(5.54)
Zgorzelec	GED (2.61)	$3,049t^{0,322} - 1,016t^{0,375}\ln(1 - (1 - p)^{1,258})$	(5.55)
	EV3 (4.33)	$3,049t^{0,322} + 0,815t^{0,365}(-\ln(p))^{1,149}$	(5.56)
	P3 (4.30)	$3,049t^{0,322} + 1,037t^{0,379}(-0,885\ln(p) - 0,0789)$	(5.57)
Zielona Góra	GED (2.61)	$4,596t^{0,274} - 0,487t^{0,260}\ln(1 - (1 - p)^{1,165})$	(5.58)
	EV3 (4.33)	$4,595t^{0,274} + 1,567t^{0,281}(-\ln(p))^{1,063}$	(5.59)
	P3 (4.30)	$4,593t^{0,274} + 1,785t^{0,304}(-0,972\ln(p) - 0,0193)$	(5.60)
Opole	GED (2.61)	$4,498t^{0,279} - 0,330t^{0,246}\ln(1 - (1 - p)^{1,297})$	(5.61)
	EV3 (4.33)	$4,501t^{0,279} + 2,523t^{0,229}(-\ln(p))^{1,161}$	(5.62)
	P3 (4.30)	$4,498t^{0,279} + 3,164t^{0,253}(-0,864\ln(p) - 0,0938)$	(5.63)
Kłodzko	GED (2.61)	$5,155t^{0,283} - 0,421t^{0,290}\ln(1 - (1 - p)^{1,271})$	(5.64)
	EV3 (4.33)	$5,154t^{0,283} + 2,437t^{0,240}(-\ln(p))^{1,122}$	(5.65)
	P3 (4.30)	$5,154t^{0,283} + 2,310t^{0,308}(-0,885\ln(p) - 0,0789)$	(5.66)
Jelenia Góra	GED (2.61)	$3,610t^{0,316} - 0,460t^{0,339}\ln(1 - (1 - p)^{1,512})$	(5.67)
	EV3 (4.33)	$3,610t^{0,316} + 1,551t^{0,324}(-\ln(p))^{1,279}$	(5.68)
	P3 (4.30)	$3,610t^{0,316} + 2,446t^{0,340}(-0,724\ln(p) - 0,1515)$	(5.69)
Racibórz	GED (2.61)	$3,451t^{0,294} - 0,567t^{0,291}\ln(1 - (1 - p)^{1,426})$	(5.70)
	EV3 (4.33)	$3,451t^{0,294} + 1,096t^{0,314}(-\ln(p))^{1,233}$	(5.71)
	P3 (4.30)	$3,451t^{0,294} + 2,019t^{0,285}(-0,787\ln(p) - 0,1276)$	(5.72)

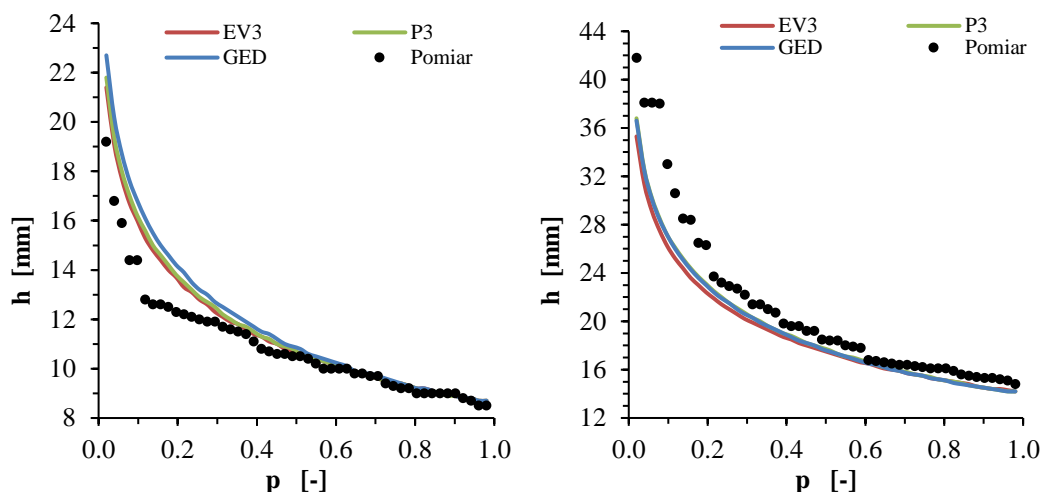
Modele opadowe opracowano dla każdej z ośmiu analizowanych stacji meteorologicznych IMGW-PIB. Ostatecznie otrzymane wyniki modelowanych wysokości opadów maksymalnych porównano z wartościami empirycznych wysokości opadów, przy użyciu wskaźnika średniego bezwzględnego błędu procentowego *MAPE*, zgodnie z wzorem (2.101) oraz względnego błędu średniokwadratowego *rRMSE*, zgodnie z wzorem (2.102). Wyniki zestawiono w tabelach E.9–E.16 (**Supplement E**). Zastosowane wskaźniki kryterium błędów we wszystkich analizowanych przypadkach dały niemal identyczną informację dotyczącą uśrednionych wartości procentów dopasowania modelowanych wysokości opadów do wysokości pomiarowych, które przeważnie wynosiły od 1,91% do 12,26% dla *MAPE* oraz od 2,16% do 12,82% dla *rRMSE*. Poniżej przedstawiono przykłady wartości wskaźników *MAPE* i *rRMSE* modelowanych wysokości opadów względem danych pomiarowych dla stacji w Zielonej Górze (tab. 5.12) - zgodnie z zależnościami (5.58–5.60) oraz dla Raciborza (tab. 5.13) - zgodnie z zależnościami (5.70–5.72). Mniejsze wartości *MAPE* i *rRMSE* oznaczają większą zgodność wysokości modelowanych z pomierzonymi (dla przejrzystości, w tab. 5.12 najmniejsze wartości pogrubiono).

Tab. 5.12. Wartości kryterium błędów *MAPE* i *rRMSE* dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Zielonej Górze (odpowiada tab. E.12, **Supplement E**)

<i>t</i> [min]	<i>MAPE</i> [%]			<i>rRMSE</i> [%]		
	<i>GED</i>	<i>EV3</i>	<i>P3</i>	<i>GED</i>	<i>EV3</i>	<i>P3</i>
5	27,39	24,50	24,65	27,65	24,60	24,76
10	6,81	4,61	5,19	9,86	6,89	7,76
20	7,46	9,06	8,22	8,22	9,72	8,92
30	6,96	8,36	7,38	8,07	9,46	8,47
40	6,60	7,85	6,74	7,71	9,13	7,87
50	6,10	7,29	6,07	7,68	9,10	7,69
60	7,25	8,22	7,00	8,67	9,94	8,46
90	3,25	4,11	2,88	6,08	7,15	5,65
120	4,73	5,61	3,89	5,68	6,74	4,88
180	2,71	3,18	2,09	4,13	4,95	3,31
360	3,36	3,25	4,26	4,37	4,14	5,89
720	3,85	3,48	5,44	5,58	5,23	8,60
1080	3,32	3,07	4,95	4,73	4,48	7,73
1440	2,79	2,99	5,96	4,24	4,45	8,01
2160	1,91	2,08	4,50	2,16	2,33	5,22
2880	2,64	2,65	5,06	3,13	3,25	6,39
4320	3,08	3,31	7,08	4,47	4,87	9,62

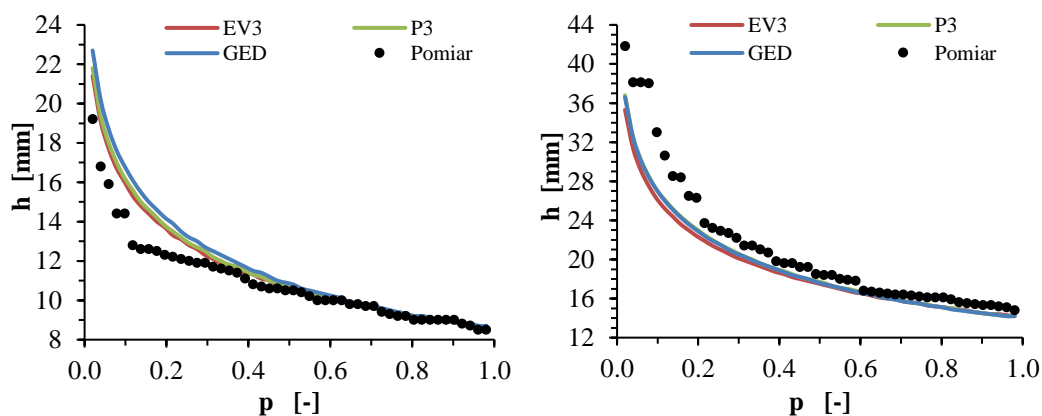
Dla stacji IMGW-PIB w Zielonej Górze wartości wskaźników określające stopień dopasowania wyników uzyskanych z modeli probabilistycznych do danych pomiarowych, są zgodne i wskazują na rozkład *GED* jako najlepiej opisujący opady o czasach trwania od $t = 20$ min do $t = 50$ min oraz od $t = 1440$ min do $t = 4320$ min. Rozkład *P3* wskazywany jest jako najlepiej dopasowany do opadów rzeczywistych dla czasów trwania opadu od $t = 50$ min do $t = 180$ min, natomiast rozkład *EV3* dla pozostałych czasów, czyli $t = 5, 10, 360, 720, 1080$ min. Dla opadów mieszczących się w przedziale czasowym $t = 50$ min, dopasowanie rozkładów *GED* i *P3* jest niemal identyczne, tak jak w dla czasu $t = 2880$ min i rozkładów *GED* i *EV3*. Rozkład teoretyczny *EV3* pomimo, że był wskazywany przed uogólnieniem parametrów rozkładów jako najdokładniej opisujący dystrybuantę empiryczną, w ocenie wg kryterium błędów (*MAPE* i *rRMSE*) wykazywał najlepsze wartości wskaźników dla takiej

samej liczby czasów trwania opadów (t) jak rozkład $P3$ (5 na 17). Należy podkreślić, że wartości wskaźników $MAPE$ i $rRMSE$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa są do siebie zbliżone. Największe procentowe różnice w ocenie dopasowania poszczególnych czasów trwania opadów dla wszystkich 50 badanych elementów próby losowej wg $MAPE$ wahały się od 1,01% (dla $t = 5$ min) do 4,00% (dla $t = 4320$ min) oraz dla $rRMSE$ od 1,39% ($t = 5$ min) do 5,15% ($t = 4320$ min), co dowodzi, że wybrane rozkłady mogą być stosowane zamiennie. Na rysunku 5.13 zilustrowano zmienność wysokości opadów modelowanych dla prawdopodobieństwa empirycznego $p \in [0,02; 0,98]$, tj. odpowiednio dla częstości od $C = 50$ lat do $C = 1$ rok do, dla wybranych czasów trwania opadów: $t = 10$ min i $t = 60$ min.



Rys. 5.13. Porównanie modelowanych wysokości opadów z pomiarami dla Zielonej Góry dla czasów trwania $t = 10$ min (po lewej) i $t = 60$ min (po prawej)

Porównanie wysokości opadów teoretycznych i empirycznych przedstawione na rysunku 5.13 tłumaczy relatywnie wysokie wartości procentowe $MAPE$ i $rRMSE$ (Tab. E.12), które są czułe na lokalnie większe odchylenia. Dla $t = 10$ min w Zielonej Górze modele opadowe GED , $EV3$ i $P3$ zostały ocenione wg $MAPE$ w 6,8%, w 4,6% i w 5,2% jako nieodpowiadające danym pomiarowym oraz wg $rRMSE$ w 9,9%, w 6,9% i w 7,8% jako nieodpowiadające danym pomiarowym, w całym przedziale prawdopodobieństwa p . Analogiczne wyniki uzyskano na większości analizowanych stacji meteorologicznych, czego przykładem jest rysunek 5.14 oraz zestawienie wskaźników kryterium błędów podane w tabeli 5.13 dla stacji meteorologicznej IMGW-PIB w Raciborzu.



Rys. 5.14. Porównanie modelowanych wysokości opadów z pomiarami dla Raciborza dla czasów trwania $t = 10$ min (po lewej) i $t = 60$ min (po prawej)

Tab. 5.13. Wartości kryterium błędów *MAPE* i *rRMSE* dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Raciborzu (tab. E.16, **Suplement E**)

<i>t</i> [min]	<i>MAPE</i> [%]			<i>rRMSE</i> [%]		
	<i>GED</i>	<i>EV3</i>	<i>P3</i>	<i>GED</i>	<i>EV3</i>	<i>P3</i>
5	10,43	8,91	10,46	10,92	9,62	11,00
10	2,62	3,85	2,53	4,40	5,93	4,16
20	7,46	8,70	7,20	8,04	9,30	7,71
30	4,97	6,12	4,85	6,52	7,45	6,28
40	2,67	3,22	2,64	4,35	4,75	4,18
50	2,70	3,06	2,65	3,86	4,13	3,67
60	2,79	2,62	2,73	3,82	3,32	3,71
90	2,33	1,91	2,27	2,78	2,39	2,78
120	2,52	2,13	2,54	3,18	2,80	3,27
180	3,00	2,93	3,01	4,54	4,73	4,60
360	3,18	3,51	3,23	4,01	4,53	4,02
720	5,02	4,96	4,83	6,81	6,79	6,59
1080	7,84	8,10	7,44	9,52	9,64	9,09
1440	4,44	4,58	4,33	7,19	7,27	7,05
2160	4,22	4,30	4,35	7,57	7,54	7,62
2880	6,48	6,27	6,73	9,27	8,63	9,48
4320	7,30	6,48	7,51	10,53	9,33	10,71

Dla stacji IMGW-PIB w Raciborzu wykorzystanie rozkładu teoretycznego *P3* do konstrukcji modelu probabilistycznego, na podstawie wskaźników *MAPE* i *rRMSE* umożliwia otrzymanie wartości szacowanych najbliższych empirycznym dla czasu trwania opadu od $t = 10$ min do $t = 50$ min i od $t = 360$ min do $t = 1440$ min. W przedziałach czasowych $t = 50$, 60 oraz 360 min stosowanie *P3* i *GED* może być zamienne, natomiast do czasów trwania $t = 5$ min i od $t = 60$ min do $t = 180$ min oraz $t = 2880$ min, dane pomiarowe najlepiej odwzorowuje rozkład teoretyczny *EV3*.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że zarówno wskaźnik *MAPE* jak i *rRMSE* przedstawiają procentową ocenę stopnia dopasowania wyników modelu do danych pomiarowych dla całego zbioru próby losowej, tj. dla każdego analizowanego przedziału czasowego, co przy wartościach rzędu 10–30% (jak w przypadku wielu stacji dla $t = 5$ min) może mylnie sugerować, że modelowane wysokości opadów są znacząco różne od pomiarowych, a sam model niedopasowany do danych pomiarowych, pomimo pozytywnego wyniku wielopoziomowej oceny jakościowej zastosowanej w procedurze opracowania modelu probabilistycznego (wg rozdziałów 4.4.4, 5.1.3–5.1.5). W związku z powyższym dodatkowo wykonano ocenę ilościową otrzymanych wyników porównując modelowane wysokości opadów z opadami rzeczywistymi, jednocześnie wyznaczając względne różnice pomiędzy poszczególnymi wartościami dla konkretnych częstości C (zamiennie prawdopodobieństw p) i analizowanym przedziale czasowym. Szczegółowe wartości otrzymane w toku obliczeń zestawiono w **Suplemencie E**, w tabelach E.16–E.24. Dla przykładu w tabeli 5.14 (opracowanej na podstawie tabeli E.19) przedstawiono względne różnice ilościowe analizowanych wysokości opadów deszczu dla wybranych częstości od $C = 1$ rok do $C = 50$ lat (odpowiadających najczęściej i najrzadziej występującym opadom), dla stacji meteorologicznej IMGW-PIB w Zgorzelcu.

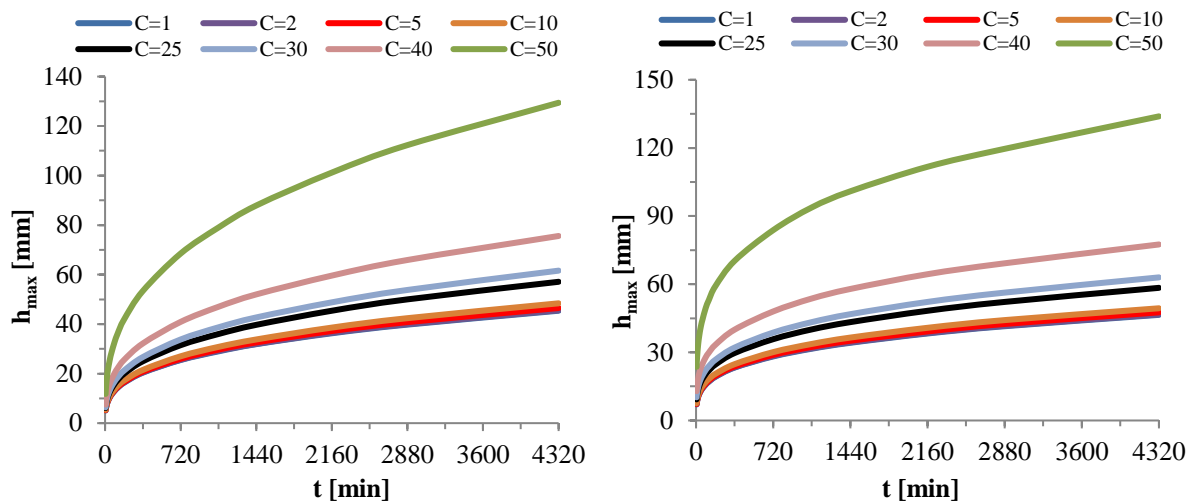
Tab. 5.14. Porównanie maksymalnych wysokości opadów deszczu (h w mm): rzeczywistych z teoretycznymi - pochodzącymi z rozkładów GED , $EV3$ i $P3$, w wybranych przedziałach czasowych opadów (t w min) i częstotliwości (C w latach) dla stacji w Zgorzelcu (wg tab. E.19)

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadów wg modeli probabilistycznych oraz procentowe różnice względem wysokości opadów rzeczywistych (h_{max})								
			h_{GED} (5.55)	Δh_{GED} (4-3)	$\Delta\%_{GED}$ (5/3)	h_{EV3} (5.56)	Δh_{EV3} (7-3)	$\Delta\%_{EV3}$ (8/3)	h_{P3} (5.57)	Δh_{P3} (10-3)	$\Delta\%_{P3}$ (11/3)
-/rok	min	mm	mm		%	mm		%	mm		%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$p = 1,0$ $C = 1$ rok	5	5,5	5,1	0,4	7,3	5,1	0,4	7,3	5,1	0,4	7,3
	10	7,1	6,4	0,7	9,9	6,4	0,7	9,9	6,4	0,7	9,9
	30	9,3	9,1	0,2	2,2	9,2	0,1	1,1	9,1	0,2	2,2
	60	10,9	11,4	-0,5	-4,6	11,4	-0,5	-4,6	11,4	-0,5	-4,6
	120	13,3	14,3	-1,0	-7,5	14,3	-1,0	-7,5	14,3	-1,0	-7,5
	360	18,9	20,4	-1,5	-7,9	20,4	-1,5	-7,9	20,4	-1,5	-7,9
	720	23,0	25,5	-2,5	-10,9	25,5	-2,5	-10,9	25,5	-2,5	-10,9
	1440	35,1	31,9	3,2	9,1	31,9	3,2	9,1	31,9	3,2	9,1
$p = 0,5$ $C = 2$ lata	5	5,5	5,2	0,3	5,5	5,2	0,3	5,5	5,2	0,3	5,5
	10	7,2	6,4	0,8	11,1	6,4	0,8	11,1	6,4	0,8	11,1
	30	9,3	9,2	0,1	1,1	9,2	0,1	1,1	9,2	0,1	1,1
	60	11,0	11,5	-0,5	-4,5	11,5	-0,5	-4,5	11,5	-0,5	-4,5
	120	13,5	14,4	-0,9	-6,7	14,4	-0,9	-6,7	14,4	-0,9	-6,7
	360	19,2	20,5	-1,3	-6,8	20,5	-1,3	-6,8	20,5	-1,3	-6,8
	720	23,4	25,6	-2,2	-9,4	25,6	-2,2	-9,4	25,6	-2,2	-9,4
	1440	35,1	32,0	3,1	8,8	32,0	3,1	8,8	32,0	3,1	8,8
$p = 0,2$ $C = 5$ lat	5	5,6	5,2	0,4	7,1	5,2	0,4	7,1	5,2	0,4	7,1
	10	7,2	6,5	0,7	9,7	6,5	0,7	9,7	6,5	0,7	9,7
	30	9,8	9,3	0,5	5,1	9,3	0,5	5,1	9,3	0,5	5,1
	60	11,1	11,7	-0,6	-5,4	11,7	-0,6	-5,4	11,7	-0,6	-5,4
	120	13,5	14,6	-1,1	-8,1	14,6	-1,1	-8,1	14,6	-1,1	-8,1
	360	19,5	20,8	-1,3	-6,7	20,8	-1,3	-6,7	20,8	-1,3	-6,7
	720	24,4	26,0	-1,6	-6,6	26,1	-1,7	-7,0	26,0	-1,6	-6,6
	1440	35,7	32,6	3,1	8,7	32,6	3,1	8,7	32,6	3,1	8,7
$p = 0,1$ $C = 10$ lat	5	5,7	5,4	0,3	5,3	5,4	0,3	5,3	5,4	0,3	5,3
	10	7,5	6,7	0,8	10,7	6,7	0,8	10,7	6,7	0,8	10,7
	30	10,2	9,6	0,6	5,9	9,6	0,6	5,9	9,6	0,6	5,9
	60	11,9	12,0	-0,1	-0,8	12,0	-0,1	-0,8	12,0	-0,1	-0,8
	120	13,8	15,1	-1,3	-9,4	15,1	-1,3	-9,4	15,1	-1,3	-9,4
	360	20,3	21,5	-1,2	-5,9	21,5	-1,2	-5,9	21,5	-1,2	-5,9
	720	24,7	27,0	-2,3	-9,3	27,0	-2,3	-9,3	27,0	-2,3	-9,3
	1440	36,7	33,8	2,9	7,9	33,8	2,9	7,9	33,8	2,9	7,9
$p = 0,02$ $C = 50$ lat	5	11,0	11,8	-0,8	-7,3	12,2	-1,2	-10,9	11,8	-0,8	7,3
	10	13,5	15,1	-1,6	-11,9	15,5	-2,0	-14,8	15,0	-1,5	-11,1
	30	32,0	22,2	9,8	30,6	22,7	9,3	29,1	22,2	9,8	30,6
	60	51,2	28,3	22,9	44,7	28,9	22,3	43,6	28,5	22,7	44,3
	120	56,1	36,2	19,9	35,5	36,9	19,2	34,2	36,4	19,7	35,1
	360	57,3	53,4	3,9	6,8	54,1	3,2	5,6	53,9	3,4	5,9
	720	57,3	68,5	-11,2	-19,5	68,9	-11,6	-20,2	69,1	-11,8	-20,6
	1440	83,8	87,9	-4,1	-4,9	87,8	-4,0	-4,8	88,6	-4,8	-5,7
2880	145,8	112,3	33,5	23,0	111,9	33,9	23,3	113,6	32,2	22,1	
4320	179,2	129,4	49,8	27,8	129,0	50,2	28,0	131,5	47,7	26,6	

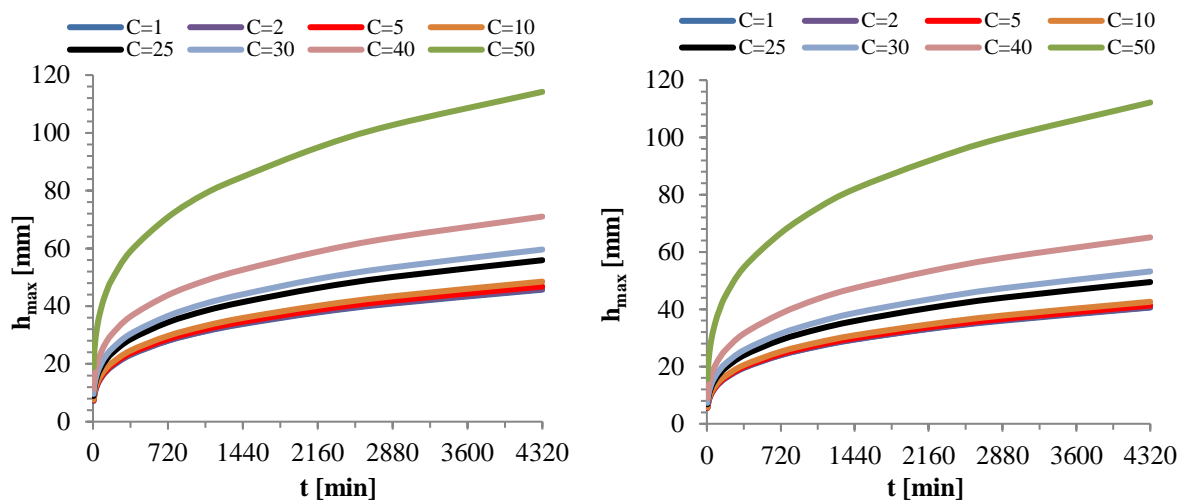
Wspomniana wcześniej mała różnica pomiędzy wartościami wskaźników stopnia dopasowania analizowanych rozkładów teoretycznych do dystrybuanty empirycznej,

a w konsekwencji stopnia dopasowania opracowanych modeli probabilistycznych do opadów rzeczywistych, znajduje odzwierciedlenie w tabeli 5.14. Wysokości opadów teoretycznych pochodzące z rozkładów *GED*, *EV3* i *P3* dla całego zakresu częstości występowania (od $C = 1$ rok do $C = 50$ lat) i czasów trwania opadów (od $t = 5$ min do $t = 4320$ min) dla Zgorzelca są niemal identyczne. Dla $C = 1$ rok do $C = 40$ lat różnice pomiędzy wynikami z poszczególnych modeli na ogół nie przekraczały wysokości 1,0 mm (przeważnie poniżej 0,5 mm). Również dla tego przedziału częstości występowania opadów maksymalnych względne różnice pomiędzy wysokościami opadów teoretycznych i empirycznych były małe, najczęściej mniejsze od 2,0 mm (punktowo mniejsze równe 5,0 mm). Zdecydowanie większe różnice stwierdzono dla $C = 41$ –50 lat, gdzie opady modelowe różniły się od rzeczywistych skrajnie o wartości od 47,7 mm (26,6%) dla rozkładu *P3*, przez 49,8 mm (27,8%) dla rozkładu *GED*, do 50,2 mm (28,0%) dla rozkładu *EV3*. Do projektowania odwodnienia terenów istotne są (między innymi) opady krótkotrwałe, mieszczące się najczęściej w przedziale czasowym od $t = 5$ min do $t = 120$ min (względnie $t = 360$ min dla dużych aglomeracji). Dla stacji IMGW-PIB w Zgorzelcu różnica wyników z wszystkich opracowanych modeli probabilistycznych względem opadów pochodzących z pomiarów w skrajnych przypadkach nie przekracza 2,0 mm. Jedynie dla $C = 50$ różnice rzędu 9–10 mm zaczynały się już do $t = 30$ min. Przyglądając się pozostałym stacjom, będącym przedmiotem niniejszych badań, można stwierdzić, że wyżej opisana sytuacja dla Zgorzelca miała miejsce również w innych lokalizacjach. Z tabel E.17–E.18 oraz E.20–E.24 można odczytać, że dla Wrocławia różnice dla $C = 50$ wahają się od 12 mm dla rozkładu *EV3* do 67 mm dla rozkładu *P3*, a większe różnice (tj. większe niż 10 mm) zaczynały się dla opadów długotrwałych od $t = 2160$ min i $C = 25$ lat. W Legnicy, Zielonej Górze i Opolu modele były zgodne i wyjątkowo dobrze dopasowane do danych pomiarowych, a różnice powyżej 10 mm wystąpiły jedynie dla $C = 50$ lat i powyżej $t = 720$ min. Dla stacji w Kłodzku różnice dla opadów najrzadziej występujących wzrosły do 32,2 mm, a w Raciborzu osiągnęły wartości aż 115 mm. Najmniejsze różnice pomiędzy wartościami modelowanymi i pomiarowymi, w całym zakresie częstości występowania opadów C , zarówno krótkotrwałych jak i długotrwałych opadów odnotowano dla stacji w Jeleniej Górze, gdzie różnice przeważnie nie przekraczały 5 mm, a tylko punktowo sięgały np. 18 mm dla $C = 50$ lat i czasów trwania $t = 30$ i 40 min oraz $t = 360$ i 720 min.

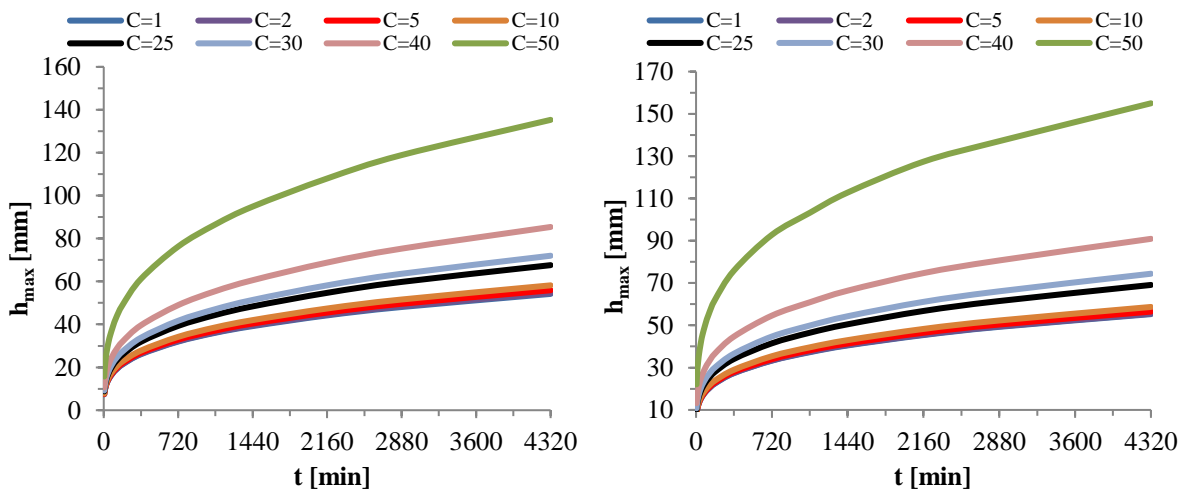
W oparciu o wynikowe informacje wcześniejszych obliczeń, zebrane w tabelach E.16–E.24 (Suplement E), przedstawiono graficzną interpretację rodziny krzywych *DDF*, dla każdej z analizowanych stacji meteorologicznych IMGW-PIB (rys. 5.15–5.18) w zakresie charakterystycznych częstości występowania opadów, ze szczególnym uwzględnieniem $C = 1$, $C = 2$, $C = 5$, $C = 10$, $C = 25$, $C = 30$, $C = 40$ oraz $C = 50$ lat. Wszystkie rysunki przedstawiają zbliżoną charakterystykę opracowanych krzywych *DDF* dla analizowanych stacji. We wszystkich rozpatrywanych lokalizacjach powtarza się schemat wyraźnie odstających, skrajnych wartości dla $C = 50$ lat, czyli dla opadów najrzadziej występujących, nawet wobec $C = 40$ lat, czyli dolnej granicy 10 najwyższych wśród zanotowanych w okresie 1961–2010 przedziałowych wysokości opadów maksymalnych. Ponadto na rysunkach 5.15–5.18 widać pewne, wzajemne podobieństwo kształtu krzywych *DDF* dla niektórych stacji, co może świadczyć o możliwości uogólnienia wyników badań, w obrębie mniejszych grup stacji (podobszarów dorzecza Górnej i Środkowej Odry).



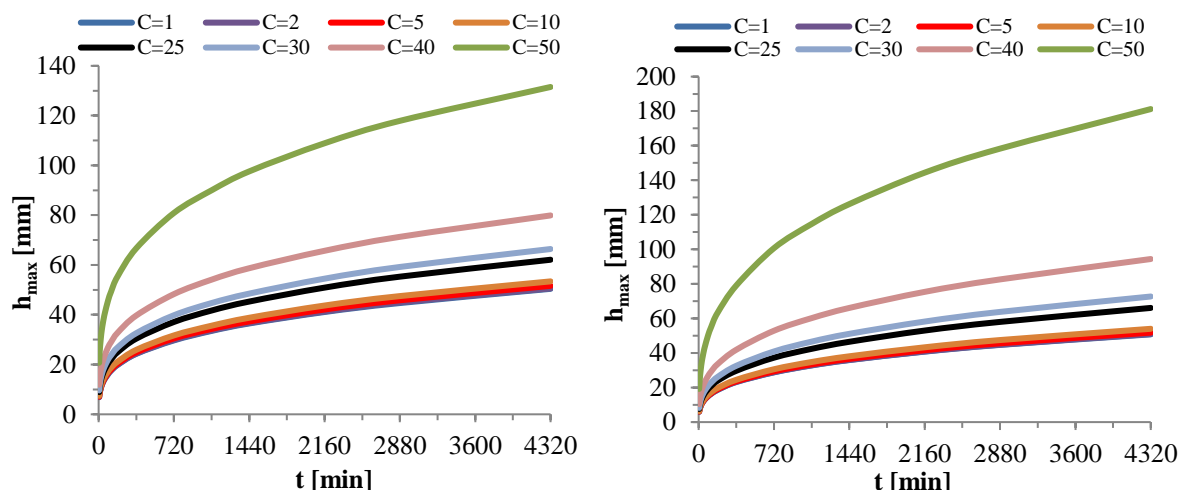
Rys. 5.15. Rodzina krzywych wysokości opadów (DDF) obliczonych z modelu probabilistycznego na podstawie rozkładów GED dla Zgorzelca (po lewej) i Opola (po prawej)



Rys. 5.16. Rodzina krzywych wysokości opadów (DDF) obliczonych z modelu probabilistycznego na podstawie rozkładów GED dla Zielonej Góry (po lewej) i Raciborza (po prawej)



Rys. 5.17. Rodzina krzywych wysokości opadów (DDF) obliczonych z modelu probabilistycznego na podstawie rozkładów GED dla Wrocławia (po lewej) i Kłodzka (po prawej)



Rys. 5.18. Rodzina krzywych wysokości opadów (*DDF*) obliczonych z modelu probabilistycznego na podstawie rozkładów *GED* dla Legnicy (po lewej) i Jeleniej Góry (po prawej)

W zakresie najniższych, modelowanych rozkładem *GED* wysokości opadów odpowiadającym $C = 1$ rok (tzn. takich, które najczęściej występują), wartości teoretycznych wysokości opadów wahają się w niewielkim przedziale od 5,1 mm w Zgorzelcu do 8,2 mm w Kłodzku, natomiast opady o częstotliwości występowania dla $C = 50$ lat (najrzadziej występujące) mieszczą się w przedziale od 114,2 mm w Zielonej Górze do 181,2 mm w Jeleniej Górze. Wyniki z pozostałych modeli probabilistycznych opartych na analizowanych rozkładach *P3* i *EV3* są co do zasady zbliżone, aczkolwiek jak już wspomniano, dla opadów długotrwałych o $t = 4320$ min występowały największe różnice. Omawiane wartości opadów dla $t = 4320$ min, zebrano w tabeli 5.15. Dla rozkładów *P3* i *EV3* najmniejsza z największych modelowanych wysokości opadów przypada (tak jak dla rozkładu *GED*) na stację w Zielonej Górze, natomiast najwyższe opady odnotowano w Jeleniej Górze i Wrocławiu – wg *P3* oraz w Jeleniej Górze – wg *EV3*. Modelowane opady (teoretyczne) dla stacji Racibórz wyraźnie odstają od rzeczywistych wysokości opadów dla wszystkich zastosowanych rozkładów teoretycznych (od 46 % do niemal 51%). W tabeli 5.15 wyróżniono wspomniane wartości, kolorem szarym.

Tab. 5.15. Porównanie wysokości opadów deszczu dla $t = 4320$ min oraz $C = 50$ lat

Stacja	h_{max}	h_{GED}	Δh_{GED}	$\Delta \%_{GED}$	h_{EV3}	Δh	$\Delta \%_{EV3}$	h_{P3}	Δh	$\Delta \%_{P3}$
-	mm	mm	mm	%	mm	mm	%	mm	mm	%
Wrocław	116,9	135,3	-18,4	-15,7	128,8	-11,9	-10,2	184,0	-67,1	-57,4
Legnica	148,1	133,9	14,2	9,6	130,6	17,5	11,8	136,6	11,5	7,8
Zgorzelec	179,2	129,4	49,8	27,8	129,0	50,2	28,0	131,5	47,7	26,6
Zielona Góra	109,6	114,2	-4,6	-4,2	115,9	-6,3	-5,7	128,6	-19,0	-17,3
Opole	148,1	131,5	16,6	11,2	130,6	17,5	11,8	132,6	15,5	10,5
Kłodzko	129,2	155,0	-25,8	-20,0	139,6	-10,4	-8,0	161,4	-32,2	-24,9
Jelenia Góra	180,0	181,2	-1,2	-0,7	185,5	-5,5	-3,1	184,0	-4,0	-2,2
Racibórz	227,4	112,2	115,2	50,7	122,4	105,0	46,2	112,4	115,0	50,6

Wspomniane wyżej podobieństwa kształtu krzywych *DDF* oraz wysokości modelowanych opadów sugerują możliwość dalszego uogólnienia wyników w dwóch zasadniczych grupach stacji - grupa pierwsza: Zielona Góra, Wrocław, Legnica i Opole oraz grupa druga: Zgorzelec, Kłodzko, Jelenia Góra i Racibórz (co przedstawiono w rozdziale 6).

5.3. Porównanie modeli opadowych dla wybranych stacji IMGW-PIB

5.3.1. Modele dla Wrocławia i Legnicy

Analizując opracowane modele opadowe dla stacji IMGW-PIB we Wrocławiu (5.49–5.51) i stacji IMGW-PIB w Legnicy (5.52–5.54) oraz modele opadowe Kotowskiego i Kaźmierczaka dla Wrocławia dane zależnościami (2.58, 2.59 i 2.62) [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e, 2015, Kaźmierczak, Kotowski 2015], jak również model opadowy Kaźmierczaka i Wdowikowskiego dla Legnicy (2.141) [Wdowikowski, Kaźmierczak 2015, Kaźmierczak, Wdowikowski 2016], można zauważyć, że przyjmują one różne postacie zależności matematycznych. W tabeli 5.16 zestawiono opracowane w niniejszej pracy modele opadowe (z tab. 5.11) i porównywane modele dla Wrocławia i Legnicy.

Tab. 5.16. Porównanie postaci probabilistycznych modeli opadowych dla Wrocławia i Legnicy

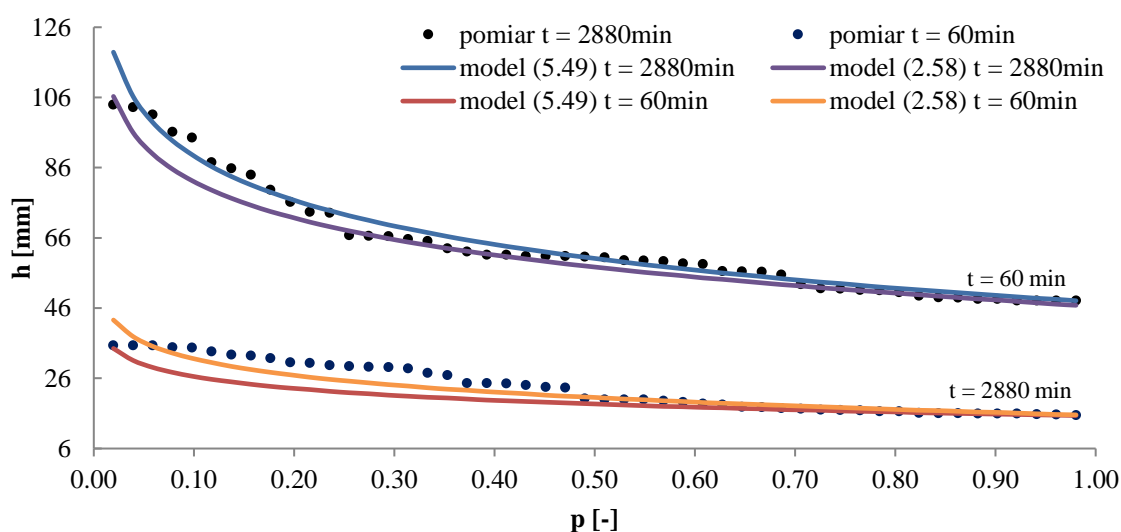
Stacja IMGW-PIB	Rozkład/kwantyl	Modele probabilistyczne wysokości opadów maksymalnych $h_{t,p}$	Nr równania
Wrocław	<i>GED</i> (2.61)	$4,606t^{0,2937} - 0,810t^{0,337}\ln(1 - (1 - p)^{1,021})$	(5.49)
	<i>EV3</i> (4.33)	$4,606t^{0,294} + 2,071t^{0,266}(-\ln(p))^{0,995}$	(5.50)
	<i>P3</i> (4.30)	$4,608t^{0,293} + 1,640t^{0,361}(-0,998\ln(p) - 0,0084)$	(5.51)
Legnica	<i>GED</i> (2.61)	$4,271t^{0,294} - 0,413t^{0,263}\ln(1 - (1 - p)^{1,215})$	(5.52)
	<i>EV3</i> (4.33)	$4,268t^{0,294} + 2,054t^{0,263}(-\ln(p))^{1,072}$	(5.53)
	<i>P3</i> (4.30)	$4,271t^{0,294} + 2,570t^{0,262}(-0,937\ln(p) - 0,0436)$	(5.54)
Modele Kotowskiego i Kaźmierczaka oraz Kaźmierczaka i Wdowikowskiego			
Wrocław	<i>GED</i> (2.61)	$-4,58 + 7,41t^{0,242} - (186,5t^{0,0106} - 188,0)\ln(1 - (1 - p)^{0,911})$	(2.58)
	<i>EV3</i> (4.33)	$-4,58 + 7,41t^{0,242} + (97,105t^{0,0222} - 98,675)(-\ln p)^{0,809}$	(2.59)
	<i>P3</i> (4.30)	$-4,583 + 7,412t^{0,242} + 26,011(20,713t^{0,0797} - 22,332)(1 - p)^{0,0441}$	(2.62)
Legnica	<i>GED</i> (2.61)	$5,074t^{0,260} - 2,283t^{0,259}\ln(1 - (1 - p)^{1,038})$	(4.1)

W przypadku stacji IMGW-PIB w Legnicy główną przyczyną różnic formuł opadowych było zastosowanie odmiennych zakresów analizowanych czasów trwania opadów na etapie konstrukcji modeli. Do opracowania modelu (4.1) wykorzystano przedziałowe wysokości opadów dla zakresu $t \in [5; 8640]$ min, a dla modeli (5.52–5.54) zastosowano ograniczony zbiór do $t \in [5; 4320]$ min (tj. z pominięciem czasów $t = 5760, 7200, 8640$ min, co przedstawiono w rozdziale 4.3).

W przypadku stacji IMGW-PIB we Wrocławiu, w niniejszej pracy zastosowano nieznacznie inny zakres lat badanego pięćdziesięciolecia - 1961–2010 (ograniczony do pełnego dziesięciolecia 2010 r., wg wymagań MWO), względem zakresu badań Kotowskiego i Kaźmierczaka 1960–2009. Różnica ta nie mogła jednak spowodować istotnych różnic wartości parametrów formuł opadowych. Kluczowym elementem było zastosowanie innej postaci funkcji optymalizującej parametr skali w funkcji czasu trwania opadu - $\beta(t)$. Do opracowania modeli (5.49–5.54) zastosowano mianowicie funkcję wykładniczą postaci:

$\beta(t) = a_1 t^{b_1}$, natomiast modele (2.58–2.62) oparto na postaci: $\beta(t) = a_1(t - b_1)^{c_1}$, gdzie a_1, b_1, c_1 to parametry empiryczne funkcji.

Na rysunku 5.19 przedstawiono porównanie wysokości opadów dla Wrocławia otrzymanych z modeli (5.49) i (2.58) - wg rozkładu prawdopodobieństwa GED, z którego wynika, że model Kotowskiego i Kaźmierczaka (2.58) dawał dokładniejsze wyniki względem danych pomiarowych dla opadów najrzadziej występujących zarówno dla przedziałów czasowych $t = 60$ min jak i $t = 2880$ min. Model (5.49) jest natomiast bardziej dopasowany do danych pomiarowych w przedziale $p \in [0,08; 0,27]$. Oba modele niemal jednakowo dobrze opisywały opady rzeczywiste w przedziale $p \in [0,4; 1,0]$, czyli dla opadów najczęściej występujących. W ujęciu całościowym model (2.58) dla Wrocławia dawał lepsze dopasowanie wysokości opadów teoretycznych względem opadów rzeczywistych, niż opracowany w niniejszej pracy model (5.49).



Rys. 5.19. Porównanie wysokości opadów teoretycznych z modeli (2.58) i (5.49) z opadami rzeczywistymi dla $t = 60$ i 2880 min

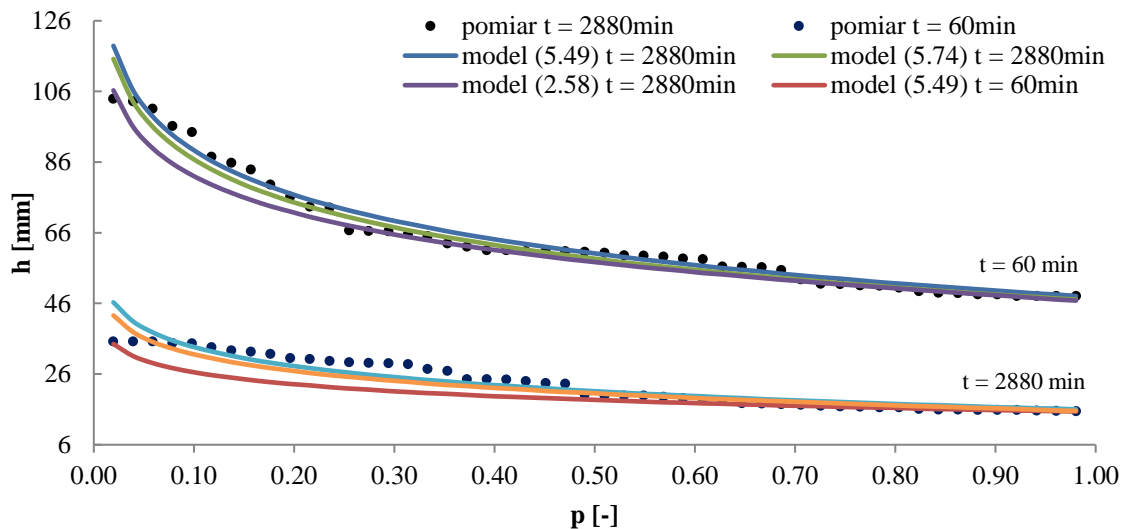
Wobec powyższego do modelu (5.49) wprowadzono korektę polegającą na zastosowaniu funkcji optymalizującej parametr skali, tak jak w modelu (2.58), która przyjęła postać:

$$\hat{\beta} = \beta(t) = -1046,65 + 1044,25t^{-1,0024} \quad (5.73)$$

Stąd skorygowana postać modelu GED dla Wrocławia:

$$h_{p,t} = 4,606t^{0,2937} + (-1046,65 + 1044,25t^{-1,0024})\ln(1 - (1 - p)^{1,021}) \quad (5.74)$$

Na rysunku 5.20 przedstawiono porównanie wysokości opadów dla Wrocławia otrzymanych z modeli (2.58) i (5.49) oraz z modelu (5.74), względem danych pomiarowych dla przykładowych czasów trwania opadów $t = 60$ min i $t = 2880$ min. Z rysunku 5.20 wynika również, że zarówno dla przedziałów czasowych opadów przyjmujących wartości $t = 60$ min oraz $t = 2880$ min, skorygowana postać modelu opadowego dla Wrocławia daje wyniki pomiędzy modelami (2.58) i (5.49), co pozwala stwierdzić, że właściwie dobrana funkcja optymalizująca parametr skali ma istotny wpływ na modelowane (wg (5.74)) wysokości opadów.



Rys. 5.20. Porównanie wysokości opadów teoretycznych z modeli (2.58) i (5.49) oraz (5.74) z opadami rzeczywistymi dla $t = 60$ i 2880 min

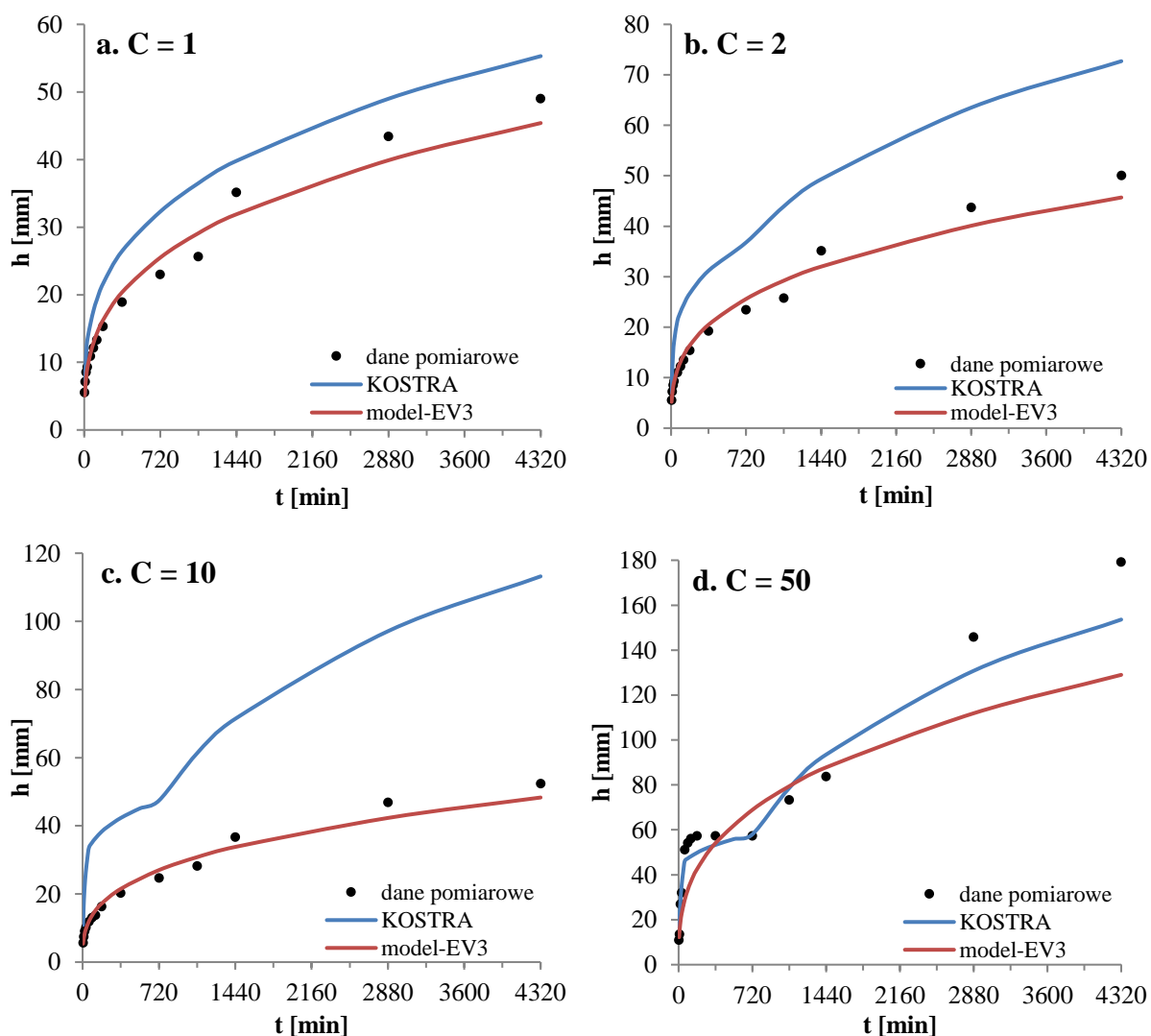
5.3.2. Modele dla Zgorzelca i Görlitz (DWD KOSTRA)

Dysponując wysokościami opadów z atlasu KOSTRA DWD (tab. 2.29) dla stacji Görlitz (zlokalizowanej w niemieckiej części aglomeracji Zgorzelec-Görlitz) i danymi pomiarowymi ze stacji IMGW-PIB w Zgorzelcu, a także obliczonymi z lokalnego modelu opadowego dla Zgorzelca (5.56), wykonano zestawienie porównawcze tych wartości dla wspólnych czasów trwania i częstości występowania opadów, które przedstawiono w tabeli 5.17. Otrzymano dosyć dobrą zgodność wartości teoretycznych i rzeczywistych opadów dla $C = 1$ rok, z przewagą dokładności wg modelu (5.56). Większe różnice dotyczyły najdłuższych czasów trwania opadów $t = 1080, 1440, 2880$ i 4320 min. Dla częstości występowania opadów $C = 2$ lata, $C = 5$ lat oraz $C = 10$ lat różnice wysokości wg KOSTRA były większe. Dla opadów najrzadziej występujących, a więc o $C = 50$ lat, modele KOSTRA i EV3 (5.56) pomimo odmiennych charakterystyk zmienności wysokości opadu w czasie t , w przedziale od $t = 5$ min do $t = 1440$ min, dawały zbliżone wartości, a różnice na ogół nie przekraczały 30%. Wyraźna różnica zaznaczyła się ponownie dla opadów o długich czasach trwania, przy czym wyniki wg modelu z atlasu KOSTRA, pomimo odchylenia (o 25,6 mm względem danych ze Zgorzelca), były lepiej dopasowane do opadów rzeczywistych niż model (5.56) (14% różnicy pomiędzy wynikami modelu z atlasu KOSTRA względem danych ze Zgorzelca wobec 28% różnicy wg modelu (5.56)). Na rysunku 5.21 przedstawiono ilustrację do porównań dla wybranych częstości. Na opracowanych wykresach widać, że model z atlasu KOSTRA oprócz zawyżania wysokości opadów, względem danych pomiarowych ze stacji IMGW-PIB w Zgorzelcu (szczególnie dla większych C) wykazuje także nieregularność przebiegu krzywych DDF , które tylko odcinkami odzwierciedlają kształt danych pomiarowych.

Różnice w wynikach pomiędzy modelami z atlasu KOSTRA i EV3 (5.56) dla Zgorzelca, należy tłumaczyć między innymi zastosowaniem różnych rozkładów prawdopodobieństwa (KOSTRA korzysta z rozkładu EVI), a także szczegółami metodyki formułowania modeli opadowych. Należy mieć też na uwadze, że atlas KOSTRA obejmuje obszar całych Niemiec, a model (5.56) dotyczy warunków lokalnych na stacji IMGW-PIB w Zgorzelcu. Charakterystyczne „załamania” krzywych DDF wg modelu KOSTRA dla $C = 2-50$ lat (rys. 5.21), świadczą również o złożoności użytej formuły opadowej.

Tab. 5.17. Wysokości opadów: wg atlasu KOSTRA DWD (K), wg modelu (5.56) (EV3) i wg danych pomiarowych dla Zgorzelca (dane)

C	1 rok			2 lata			5 lat			10 lat			50 lat		
	t [min]	K	EV3	dane	K	EV3	dane	K	EV3	dane	K	EV3	dane	K	EV3
5	5,3	5,1	5,5	7,0	5,2	5,5	9,3	5,2	5,6	10,9	5,4	5,7	14,9	12,2	11,0
10	8,4	6,4	7,1	10,7	6,4	7,2	13,8	6,5	7,2	16,1	6,7	7,5	21,5	15,5	13,5
20	11,7	8,0	8,5	14,9	8,1	8,5	19,1	8,2	9,0	22,3	8,4	9,1	29,8	19,7	27,0
30	13,4	9,2	9,3	17,3	9,2	9,3	22,4	9,3	9,8	26,3	9,6	10,2	35,4	22,7	32,0
60	15,8	11,4	10,9	21,2	11,5	11,0	28,3	11,7	11,1	33,6	12,0	11,9	46,1	28,9	51,2
90	17,8	13,0	12,1	23,0	13,1	12,2	29,9	13,3	12,8	35,1	13,7	13,1	47,3	33,3	54,2
120	19,3	14,3	13,3	24,4	14,4	13,5	31,2	14,6	13,5	36,3	15,1	13,8	48,2	36,9	56,1
180	21,7	16,3	15,3	26,7	16,4	15,4	33,3	16,6	15,6	38,3	17,2	16,3	49,8	42,5	57,3
360	26,5	20,4	18,9	31,2	20,5	19,2	37,5	20,8	19,5	42,3	21,5	20,3	53,3	54,1	57,3
720	32,3	25,5	23,0	36,8	25,6	23,4	42,9	26,1	24,4	47,4	27,0	24,7	58,0	68,9	57,3
1080	36,5	29,1	25,6	43,9	29,2	25,7	53,8	29,7	26,5	61,3	30,8	28,2	78,6	79,4	73,3
1440	39,8	31,9	35,1	49,3	32,0	35,1	61,9	32,6	35,7	71,4	33,8	36,7	93,5	87,8	83,8
2880	49,0	39,9	43,4	63,5	40,1	43,7	82,6	40,8	44,8	97,1	42,3	46,9	130,8	111,9	145,8
4320	55,3	45,4	49,0	72,7	45,7	50,0	95,7	46,5	50,6	113,2	48,3	52,4	153,6	129,0	179,2



Rys. 5.21. Porównanie wysokości opadów teoretycznych wg atlasu KOSTRA i wg modelu (5.56) z opadami rzeczywistymi dla: a. $C = 1$ rok, b. $C = 2$ lata, c. $C = 10$ lat, d. $C = 50$ lat

6. Uogólnienie wyników badań

6.1. Próba uśrednienia punktowych modeli opadowych

W oparciu o przyjętą w pracy metodykę badawczą (rozdz. 4), wyodrębnione przedziałowe wysokości opadów (tabele B.1–B.8 w **Suplemencie B**) uśredniono w zaproponowanych obszarach dorzecza Górnej i Środkowej Odry, a wyniki zestawiono w tabelach F.1–F.3 (**Suplementu F**). Otrzymane zmienne losowe $X_{N,t}$ opracowano zgodnie z procedurą zaproponowaną w rozdziale 4.4.4., poddając analizie rozkłady teoretyczne *GED*, *EV3* i *P3* (wg rozdz. 5). Parametry kształtu (α), skali (β) i położenia (γ), analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa estymowano metodą *MNW* otrzymując estymatory zestawione w tabelach F.4–F.6 (**Suplementu F**). W tabeli 6.1 przedstawiono przykładowe porównanie estymatorów parametrów rozkładu *GED* dla analizowanych 3 obszarów.

Tab. 6.1. Estymatory parametrów skali (α), kształtu (β) i położenia (γ) rozkładu *GED* dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3, na podstawie tab. F.4–F.6 (**Suplement F**)

$t, \text{ min}$	Model 1			Model 2			Model 3		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
5	1,0926	0,4745	5,695	1,3484	0,5077	5,872	0,9050	0,4441	5,499
10	0,9530	0,3207	8,099	1,0719	0,3320	8,595	0,7310	0,2894	7,699
20	0,8462	0,1982	10,699	0,8084	0,1838	11,499	0,8680	0,2118	9,899
30	0,8001	0,1613	11,899	0,6843	0,1384	12,799	0,8260	0,1760	11,099
40	0,7974	0,1457	12,699	0,7982	0,1345	13,399	0,7795	0,1565	11,999
50	0,7643	0,1307	13,399	0,7437	0,1185	14,199	0,7305	0,1399	12,699
60	0,7779	0,1269	13,999	0,7844	0,1177	14,799	0,6711	0,1271	13,299
90	0,6980	0,1102	15,699	0,7738	0,1045	16,299	0,7841	0,1350	14,999
120	0,7642	0,1106	17,099	0,8475	0,1041	17,699	0,7148	0,1206	16,399
180	0,8062	0,1057	19,099	0,8588	0,0992	19,599	0,7445	0,1122	18,599
360	0,8525	0,0978	23,199	0,8839	0,0991	24,099	0,7701	0,0931	22,399
720	0,8718	0,0876	28,299	0,9358	0,0937	29,299	0,7854	0,0806	27,399
1080	0,7997	0,0733	31,599	0,9559	0,0836	32,499	0,6824	0,0642	30,599
1440	0,7969	0,0631	35,499	0,8906	0,0726	36,199	0,7514	0,0565	34,699
2160	0,7644	0,0529	39,799	0,7760	0,0589	40,699	0,7292	0,0472	38,999
2880	0,7593	0,0461	42,499	0,7473	0,0500	42,899	0,7598	0,0425	42,099
4320	0,7542	0,0410	46,699	0,8348	0,0469	46,099	0,6801	0,0358	47,299

Wartości estymowanych parametrów, w funkcji czasu trwania opadu, zachowują swoje charakterystyczne cechy, tj. mały przedział zmienności wartości parametrów kształtu oraz wykładnicze lub potęgowe przebiegi odpowiednio rozkładów parametrów skali i położenia. Widoczne jest zróżnicowanie ich wartości w obrębie wydzielonych 2 obszarów w regionie. W szczególności, dla 4 stacji IMGW-PIB niżej położonych – objętych Modelem 2, wartości parametrów (α) i (β) są najwyższe, a dla 4 stacji IMGW-PIB wyżej położonych – objętych Modelem 3, są najniższe. Wartości uśrednione dla całego obszaru dorzecza Górnej i Środkowej Odry – objęte Modelem 1, układały się pomiędzy najniższymi (Model 3) a najwyższymi (Model 2) wartościami estymowanych parametrów. W procesie numerycznej maksymalizacji funkcji wiarygodności, zgodnie z zależnościami (4.21, 4.24 i 4.27), oprócz parametrów rozkładów określono również wartości logarytmów funkcji wiarygodności

$LogL_{max}$, świadczące o stopniu dopasowania rozkładu teoretycznego z empirycznym. W tabeli 6.2 zestawiono wartości lnL_{max} dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa i obszarów.

Tab. 6.2. Wartości logarytmów funkcji wiarygodności lnL_{max} analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3

t , min	Model 1			Model 2			Model 3		
	<i>GED</i>	<i>EV3</i>	<i>P3</i>	<i>GED</i>	<i>EV3</i>	<i>P3</i>	<i>GED</i>	<i>EV3</i>	<i>P3</i>
5	-89,96	-89,95	-89,86	-91,97	-91,94	-91,84	-87,20	-87,22	-87,32
10	-105,28	-105,29	-105,31	-107,26	-107,26	-107,15	-99,91	-100,00	-100,63
20	-125,01	-125,04	-125,21	-126,96	-127,00	-127,25	-122,67	-122,69	-122,83
30	-133,05	-133,10	-133,36	-133,61	-133,71	-134,52	-129,98	-130,01	-130,22
40	-137,99	-138,02	-138,24	-142,07	-142,12	-142,40	-133,42	-133,43	-133,59
50	-141,62	-141,67	-142,01	-145,34	-145,43	-145,96	-136,11	-136,12	-136,38
60	-143,85	-143,90	-144,24	-148,03	-148,10	-148,51	-136,79	-136,84	-137,59
90	-145,99	-146,08	-146,86	-153,42	-153,51	-153,98	-141,01	-140,99	-141,06
120	-149,92	-149,96	-150,26	-157,28	-157,32	-157,53	-142,44	-142,43	-142,58
180	-154,48	-154,51	-154,73	-160,23	-160,27	-160,48	-147,97	-147,96	-148,06
360	-160,59	-160,61	-160,77	-161,36	-161,39	-161,56	-158,84	-158,84	-159,07
720	-166,95	-166,96	-167,08	-166,20	-166,22	-166,27	-166,85	-166,83	-166,90
1080	-172,42	-172,44	-172,68	-172,64	-172,69	-172,62	-171,65	-171,64	-171,87
1440	-179,82	-179,87	-180,23	-177,18	-177,22	-177,38	-182,74	-182,77	-183,13
2160	-186,79	-186,82	-187,11	-182,13	-182,18	-182,55	-190,38	-190,39	-190,66
2880	-193,38	-193,42	-193,80	-188,72	-188,81	-189,43	-197,51	-197,51	-197,71
4320	-198,95	-198,97	-199,24	-196,62	-196,66	-196,94	-200,63	-200,62	-200,75

Zróznicowanie stopnia dopasowania rozkładów teoretycznych *GED*, *EV3* i *P3* do dystrybuant empirycznych dla obszarów: 1 (cały region), 2 oraz 3, widoczne jest we wszystkich analizowanych przedziałach czasów trwania opadów t (tab. 6.2). Należy zwrócić uwagę na fakt, że przy porównaniu tylko trzech - wyselekcjonowanych rozkładów pomimo relatywnie małych różnic pomiędzy wartościami logarytmów funkcji wiarygodności (jak również kryterium informacyjnego *HQIC* – wg tab. F.7 w **Suplemencie F**) najniższe wartości, w zdecydowanej liczbie przypadków przypadają na rozkład *GED*. To znaczy: 16 na 17 przedziałów czasowych dla uśrednionych wartości w całym badanych obszarze Górnej i Środkowej Odry (Model 1 – cały region), 14 na 17 przedziałów czasowych dla stacji IMGW-PIB niżej położonych (Model 2 - Obszar 2) oraz 12 na 17 czasów trwania opadów dla stacji IMGW-PIB wyżej położonych - zlokalizowanych bliżej południowej granicy dorzecza (Model 3 - Obszar 3).

Weryfikacja hipotezy zerowej H_0 o zgodności dystrybuanty teoretycznej z empiryczną, dla testów statystycznych Kolmogorova–Smirnova i Andersona–Darlinga wykazała na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, że analizowane rozkłady prawdopodobieństwa opisują w sposób zadawalający uśrednione dane opadowe objęte modelami obszarowymi: Model 1, Model 2 i Model 3. W tabelach 6.3 i 6.4 przedstawiono szczegółowe wartości statystyk (λ) i (A^2) omawianych testów. Odniesienie poszczególnych wartości obliczonych statystyk testowych do wartości krytycznych $\lambda_{kr} = 1,36$ dla wszystkich analizowanych rozkładów oraz $A^2_{kr} = 0,723$ dla *GED*, $A^2_{kr} = 0,757$ dla *EV3* oraz $A^2_{kr} = 0,762$ dla *P3*, wskazuje na dobre jakościowo dopasowanie dystrybuant teoretycznych z empirycznymi, ze względu na wartości znacząco oddalone od granicznych (Np. : dla Modelu 1, rozkład *EV3* - $A^2_{120min} = 0,098$ przy wartości krytycznej na 0,757 czy dla Modelu 2, rozkład *GED* - $A^2_{10min} = 0,105$ względem 0,723).

Tab. 6.3. Wartości statystyki λ testu Kolmogorova–Smirnova analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3

t, min	Model 1			Model 2			Model 3		
	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3
5	0,39	0,33	0,38	0,26	0,26	0,24	0,51	0,49	0,51
10	0,20	0,18	0,20	0,38	0,30	0,43	0,34	0,34	0,34
20	0,15	0,17	0,16	0,31	0,26	0,30	0,31	0,32	0,32
30	0,19	0,21	0,19	0,32	0,33	0,32	0,22	0,23	0,23
40	0,21	0,24	0,21	0,25	0,27	0,25	0,32	0,37	0,33
50	0,26	0,30	0,27	0,36	0,38	0,36	0,29	0,33	0,30
60	0,31	0,33	0,32	0,40	0,40	0,41	0,52	0,47	0,52
90	0,34	0,27	0,34	0,40	0,40	0,40	0,32	0,30	0,32
120	0,20	0,17	0,19	0,30	0,31	0,30	0,32	0,33	0,33
180	0,20	0,19	0,19	0,34	0,33	0,34	0,30	0,29	0,30
360	0,27	0,27	0,28	0,46	0,38	0,46	0,36	0,32	0,36
720	0,31	0,25	0,30	0,36	0,20	0,35	0,32	0,29	0,32
1080	0,22	0,16	0,22	0,33	0,20	0,20	0,19	0,22	0,17
1440	0,31	0,28	0,31	0,44	0,33	0,43	0,28	0,30	0,29
2160	0,21	0,23	0,21	0,29	0,30	0,29	0,20	0,17	0,19
2880	0,26	0,25	0,27	0,50	0,49	0,50	0,27	0,25	0,27
4320	0,26	0,21	0,25	0,40	0,32	0,39	0,36	0,33	0,35
λ_{kr}	1,36								

Tab. 6.4. Wartości statystyki testu Andersona–Darlinga A^2 analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3

t, min	Model 1			Model 2			Model 3		
	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3
5	0,174	0,149	0,167	0,144	0,148	0,141	0,252	0,237	0,250
10	0,151	0,116	0,145	0,145	0,105	0,228	0,323	0,321	0,324
20	0,118	0,104	0,116	0,168	0,156	0,166	0,166	0,147	0,164
30	0,103	0,101	0,103	0,338	0,343	0,338	0,121	0,111	0,120
40	0,114	0,114	0,114	0,158	0,150	0,156	0,169	0,177	0,170
50	0,103	0,114	0,104	0,176	0,210	0,180	0,144	0,155	0,145
60	0,120	0,122	0,121	0,192	0,204	0,192	0,413	0,424	0,418
90	0,382	0,363	0,382	0,239	0,259	0,240	0,296	0,251	0,288
120	0,101	0,098	0,101	0,207	0,197	0,206	0,237	0,202	0,229
180	0,143	0,126	0,142	0,219	0,176	0,213	0,212	0,175	0,204
360	0,206	0,169	0,203	0,326	0,244	0,316	0,211	0,195	0,210
720	0,214	0,176	0,210	0,327	0,160	0,314	0,228	0,188	0,221
1080	0,155	0,129	0,153	0,279	0,107	0,131	0,118	0,101	0,113
1440	0,228	0,189	0,226	0,374	0,284	0,362	0,145	0,144	0,147
2160	0,144	0,128	0,142	0,189	0,177	0,187	0,144	0,127	0,142
2880	0,163	0,149	0,163	0,326	0,328	0,328	0,195	0,165	0,191
4320	0,164	0,141	0,162	0,267	0,208	0,260	0,225	0,181	0,206
A^2_{kr}	0,723	0,757	0,762	0,723	0,757	0,762	0,723	0,757	0,762

Porównując obliczone wartości w poszczególnych przedziałach czasowych można stwierdzić, że dla obszarów objętych Modelami 1 i 3, rozkład EV3 wykazuje wyraźną przewagę (większa liczba przedziałów czasowych posiada najmniejszą odległość między elementami porównywanym szeregiem rozdzielczych dystrybuant teoretycznej i empirycznej) względem rozkładów GED i P3, przy czym różnice, szczególnie dla czasów trwania opadów do $t = 120$ min nie były znaczące. Model 2 podzielony jest między rozkłady GED i P3 oraz

EV3. Ocena jakości dopasowania przyjętych rozkładów z uśrednionymi danymi pomiarowymi wg kryterium błędów $rRMSE$ potwierdza powyższe stwierdzenia o możliwości wykorzystania rozkładu EV3 do opisu Modeli 1 i 3 oraz o wyraźnie lepszym dopasowaniu rozkładu GED wg Modelu 3 dla opadów krótkotrwałych (tab. 6.5).

Tab. 6.5. Wartości kryterium błędów $rRMSE$ analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3

$t, \text{ min}$	Model 1			Model 2			Model 3		
	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3
5	2,05	2,20	2,08	2,24	246	2,30	2,34	2,32	2,33
10	1,36	1,47	1,36	1,55	1,77	1,57	2,09	2,16	2,11
20	1,54	1,59	1,53	2,23	2,33	2,24	2,24	2,22	2,22
30	1,67	1,73	1,66	2,67	3,02	2,74	2,00	1,91	1,97
40	1,97	1,91	1,93	2,06	2,20	2,07	3,29	3,07	3,23
50	1,82	1,78	1,79	2,67	2,98	2,74	3,22	2,81	3,13
60	1,71	1,67	1,69	2,77	2,95	2,82	2,91	2,33	2,80
90	1,96	1,76	1,91	2,74	2,86	2,78	3,91	3,43	3,81
120	1,78	1,62	1,74	2,23	2,30	2,25	3,56	2,94	3,45
180	2,20	2,02	2,14	2,25	2,12	2,22	3,57	3,09	3,48
360	2,33	2,20	2,29	1,82	1,71	1,78	3,24	2,88	3,16
720	2,14	2,07	2,10	1,92	1,99	1,90	3,09	2,67	3,01
1080	1,91	1,73	1,86	1,51	1,67	1,49	3,06	2,44	2,96
1440	1,78	1,63	1,75	2,02	1,93	2,00	2,56	2,36	2,51
2160	2,05	1,94	2,01	2,08	2,22	2,11	2,77	2,40	2,68
2880	2,00	1,71	1,94	2,18	2,06	2,18	3,20	2,74	3,09
4320	2,52	2,11	2,42	2,04	1,87	1,98	3,69	2,94	3,92

Mając na uwadze wyniki oceny jakościowej stopnia dopasowania rozkładów teoretycznych, wykorzystujących estymowane parametry do uśrednionych wartości w trzech grupach modeli, zdecydowano się na opracowanie modeli probabilistycznych - Model 1 i Model 3 na podstawie rozkładu Weibulla (EV3) oraz Modelu 2 w oparciu o rozkład GED. W tym celu, zgodnie z przyjętą metodyką (opisaną w rozdz. 4) przeprowadzono optymalizację określonych wcześniej parametrów rozkładów (tab. 6.6) otrzymując nowe zależności parametrów w funkcji czasu trwania opadów, które zestawiono w tabeli 6.7. Analogicznie jak w przypadku modeli punktowych, wartości parametru kształtu (α) uśredniono, a dla zależności parametrów skali $\beta(t)$ i położenia $\gamma(t)$ obliczono procentową wartość nieliniowego dopasowania R^2 potęgowej funkcji mającej za zadanie uogólnić otrzymane wyniki.

Tab. 6.6. Wartości parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3

$t, \text{ min}$	EV3 (Model 1)			GED (Model 2)			EV3 (Model 3)			
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
5	0,904	2,827	6,628	0,867	0,291	0,506	7,094	0,857	2,415	6,201
10		3,425	8,126		0,241	0,335	8,649		2,980	7,651
20		4,150	9,963		0,200	0,185	10,546		3,676	9,439
30		4,643	11,224		0,179	0,137	11,843		4,157	10,672
40		5,028	12,215		0,165	0,121	12,858		4,535	11,645
50		5,349	13,043		0,156	0,116	13,705		4,853	12,459
60		5,626	13,761		0,148	0,114	14,439		5,128	13,167
90		6,295	15,504		0,133	0,112	16,214		5,799	14,888
120		6,817	16,872		0,123	0,111	17,605		6,327	16,244

<i>t</i> , min	EV3 (Model 1)			GED (Model 2)			EV3 (Model 3)			
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
180		7,627	19,008		0,110	0,108	19,769		7,154	18,367
360		9,242	23,305		0,091	0,101	24,104		8,826	22,660
720		11,198	28,572		0,075	0,089	29,389		10,889	27,956
1080		12,529	32,189		0,067	0,080	33,002		12,312	31,610
1440		13,568	35,030		0,062	0,072	35,833		13,433	34,489
2160		15,181	39,465		0,056	0,061	40,238		15,189	38,997
2880		16,440	42,949		0,052	0,053	43,689		16,573	42,549
4320		18,394	48,386		0,046	0,045	49,061		18,739	48,111

W przypadku rozkładu *GED* dla Modelu 2, dodatkowo dla parametru skali, oprócz funkcji potęgowej $\hat{\beta}_1(t)$, której dopasowanie metodą najmniejszych kwadratów wyniosło 85,3%, zaproponowano bardziej skomplikowaną (tab. 6.7) lecz dokładniejszą postać funkcji wykładniczej $\hat{\beta}_2(t)$, której R^2 otrzymano na poziomie 99,7%.

Tab. 6.7. Zależności parametrów skali i położenia od czasu trwania opadów oraz wartość średnia parametru kształtu dla modeli: regionalnego Model 1 i obszarowych - Model 2.1, Model 2.2 i Model 3

Stacja IMGW-PIB	Rozkład teoretyczny	α	Funkcja parametru				Nr równania
			$\beta(t)$	R^2 [%]	$\gamma(t)$	R^2 [%]	
Model 1	EV3	0,904	$1,810t^{0,277}$	97,4	$4,129t^{0,294}$	99,39	(5.73, 5.74)
Model 2.1	GED	0,867	$0,451t^{-0,272}$	85,3	$4,477t^{0,286}$	98,99	(5.75)
Model 2.2			*	99,7			(5.76)
Model 3	EV3	0,857	$1,483t^{0,303}$	97,6	$3,808t^{0,303}$	99,65	(5.78, 5.79)
* $\hat{\beta}_2(t) = 0,077exp^{-\frac{t}{1713,56}} + 0,693exp^{-\frac{t}{8,717}} + 0,0388$							

Wartości nowych parametrów (po optymalizacji) w oparciu o równania (5.73–5.79) oraz uśrednione wartości parametrów kształtu zestawiono w tabelach 6.6 i 6.7. Wykorzystując kwantyle zmiennej losowej rozkładu *GED* (2.61) oraz *EV3* (4.33) oraz zależności zmienności parametrów skali i położenia w funkcji czasu (5.73–5.79) ostatecznie zaproponowano 4 uogólnione modele probabilistyczne:

- model regionalny obejmujący cały obszar zlewni Górnej i Środkowej Odry (Model 1),
- 2 modele dla obszaru niżej położonych (4) stacji IMGW-PIB (Modele 2.1 i 2.2), oraz
- model dla obszaru wyżej położonych (4) stacji IMGW-PIB (Model 3),

których formuły przyjęły postacie przedstawione w tabeli 6.8.

Tab. 6.8. Uogólnione probabilistyczne modele opadów maksymalnych: regionalny - Model 1 i obszarowe - Model 2.1, Model 2.2 i Model 3

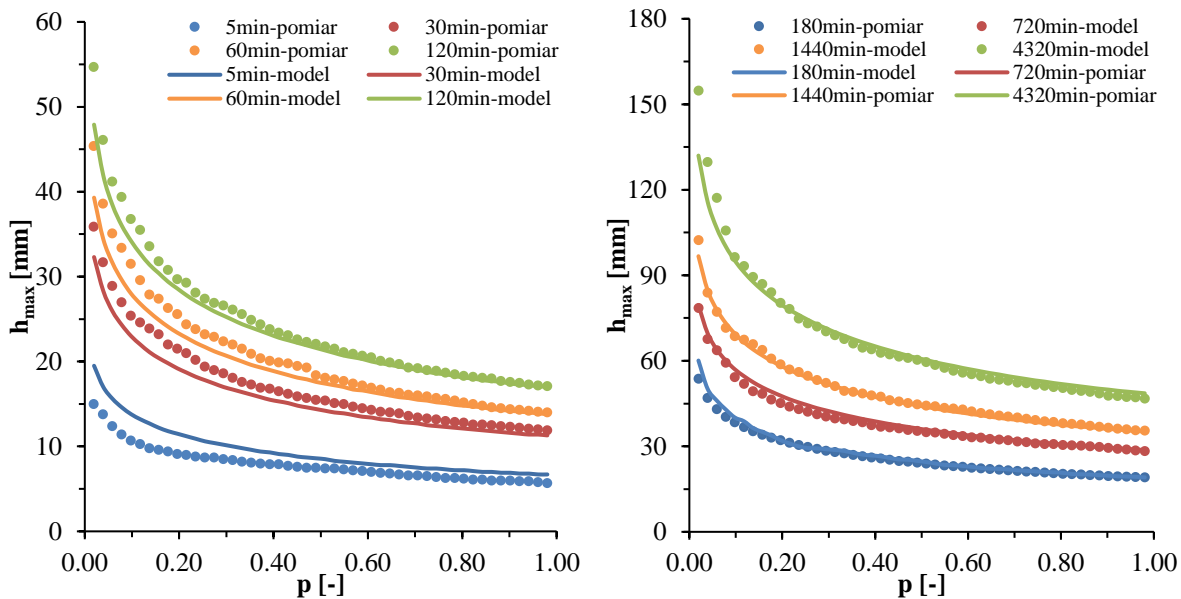
Stacja IMGW-PIB	Rozkład/kwantyl	Model probabilistyczny wysokości opadów maksymalnych $h_{t,p}$	Nr równania
Model 1	EV3 (2.135)	$4,129t^{0,294} + 1,810t^{0,277}(-\ln(p))^{0,904}$	(5.80)
Model 2.1	GED (2.61)	$4,477t^{0,286} - 0,451t^{-0,272}\ln(1 - (1 - p)^{0,867})$	(5.81)
Model 2.2		$-\left(0,077exp^{-\frac{t}{1713,56}} + 0,693exp^{-\frac{t}{8,717}} + 0,0388\right)\ln(1 - (1 - p)^{0,867}) + 4,477t^{0,286}$	(5.82)
Model 3	EV3 (2.135)	$3,808t^{0,303} + 1,483t^{0,303}(-\ln(p))^{0,857}$	(5.83)

Opracowane, cztery uogólnione modele probabilistyczne (5.80)–(5.83) poddano ocenie jakościowej wg wskaźnika $rRMSE$ (tab. 6.9) oraz ocenie ilościowej porównując wartości modelowanych i empirycznych wysokości opadów maksymalnych dla wybranych czasów trwania (t) i charakterystycznych częstości występowania (C) (tab. 6.10–6.11).

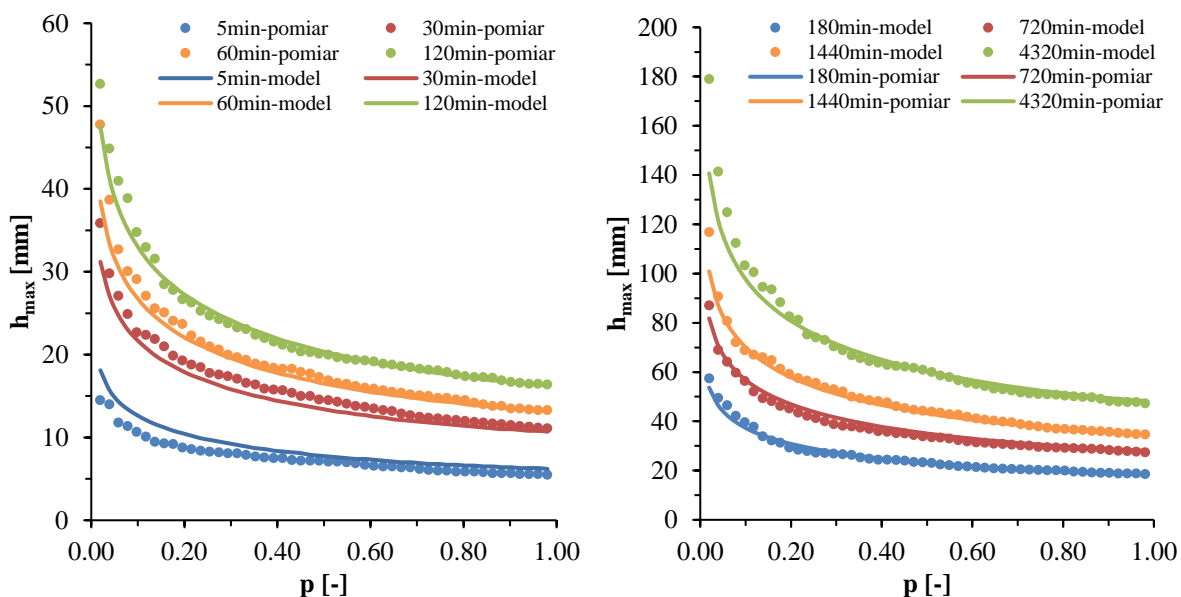
Tab. 6.9. Wartości kryterium błędów $rRMSE$ dla uogólnionych modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2.1, Model 2.2 i Model 3

$t, \text{ min}$	Model 1 (EV3)	Model 2.1 (GED)	Model 2.2 (GED)	Model 3 (EV3)
		$\hat{\beta}_1(t)$	$\hat{\beta}_2(t)$	
5	19,11%	22,11%	9,77%	13,99%
10	4,75%	5,61%	4,26%	3,13%
20	7,27%	8,11%	6,39%	7,20%
30	7,72%	8,99%	3,54%	7,07%
40	7,02%	8,15%	2,70%	6,43%
50	6,90%	8,63%	2,13%	5,78%
60	6,10%	7,82%	2,28%	4,76%
90	4,62%	6,95%	2,49%	3,52%
120	4,01%	6,33%	3,61%	3,20%
180	2,84%	4,00%	3,54%	2,94%
360	1,95%	2,07%	2,39%	2,97%
720	3,19%	4,90%	1,99%	3,95%
1080	3,47%	4,90%	1,34%	5,38%
1440	1,69%	3,52%	2,75%	2,78%
2160	2,40%	2,26%	1,96%	3,53%
2880	2,85%	2,33%	2,04%	4,27%
4320	3,92%	5,17%	5,65%	4,91%

Wartości $rRMSE$ dla 3 badanych obszarów wskazują na najmniej dokładne dopasowanie uogólnionych modeli opadowych względem uśrednionych danych opadowych dla czasu trwania $t = 5 \text{ min}$ (tab. 6.9). Różnice dla modeli probabilistycznych, których parametry były wyrównywane funkcjami potęgowymi dla $t = 5 \text{ min}$ wahały się od 13,99% do 22,11%. Dla zaproponowanej bardziej skomplikowanej postaci uogólnienia parametrów – funkcją wykładniczą wskaźnik $rRMSE$ osiągnął wartość 9,77%. Przekładając wartości procentowe wskaźnika $rRMSE$ na wysokości opadów, różnice dla czasu $t = 5 \text{ min}$ wynosiły: dla Modelu 1 - $\Delta h_{5min} = 4,5 \text{ mm}$ i dla Modelu 3 - $\Delta h_{5min} = 3,6 \text{ mm}$ oraz dla Modelu 2.1 - $\Delta h^I_{5min} = 4,6 \text{ mm}$ i dla Modelu 2.2 - $\Delta h^I_{5min} = 1,1 \text{ mm}$. Dla pozostałych czasów trwania opadów we wszystkich trzech obszarach różnice między wysokościami opadów teoretycznych i rzeczywistych nie przekraczały 9%, wahać się: od 1,69% do 7,72% dla Modelu 1, od 2,07% do 8,99% dla Modelu 2.1 i od 1,34% do 6,39% dla Modelu 2.2 oraz od 2,78% do 7,20% dla Modelu 3. Dla Modelu 2.2 różnice – wartości $rRMSE$ były najmniejsze względem pozostałych modeli opadowych. Na rysunkach 6.1 i 6.2 zilustrowano dystrybuanty teoretyczne modelowanych wysokości opadów z uśrednionymi wysokościami opadów dla Modeli 1 i 3, w oparciu o rozkład prawdopodobieństwa EV3. Wizualna ocena zgodności dystrybuant dla wybranych czasów trwania opadów wskazuje na bardzo dobre dopasowanie wartości modelowanych z pomiarowymi dla $p < 0,1$ (tj. dla $C > 10 \text{ lat}$), a więc zdarzeń opadowych najrzadziej występujących. Wyraźne różnice wystąpiły dla opadów długotrwałych od $t = 1440 \text{ min}$ do $t = 4320 \text{ min}$.

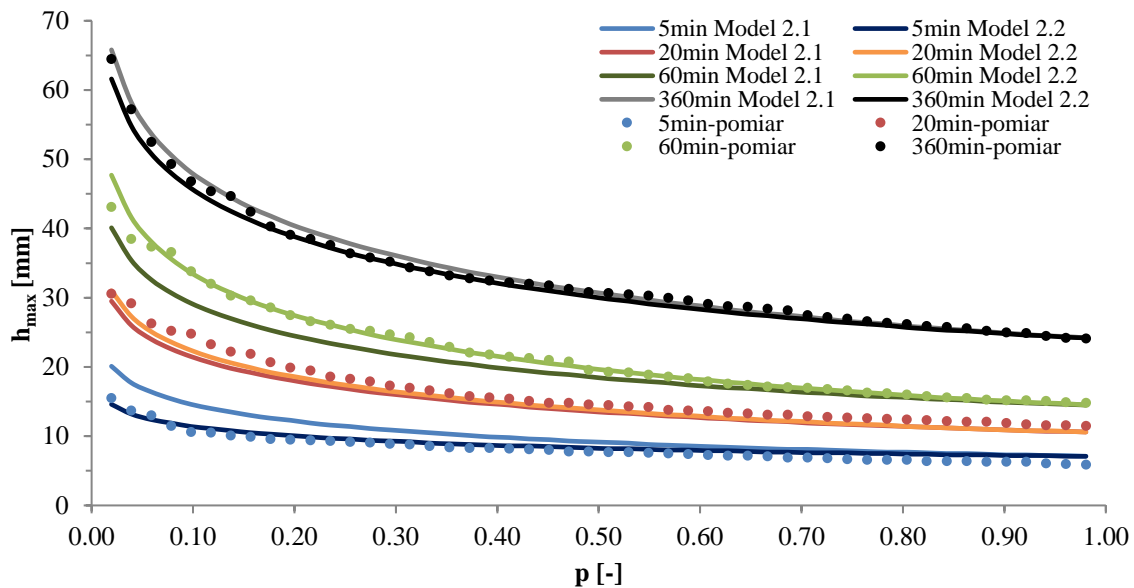


Rys. 6.1. Dystrybuanty teoretyczne uogólnionego regionalnego modelu opadowego (Model 1) na tle dystrybuant empirycznych dla wybranych czasów trwania opadów



Rys. 6.2. Dystrybuanty teoretyczne uogólnionego obszarowego modelu opadowego (Model 3) na tle dystrybuant empirycznych dla wybranych czasów trwania opadów

Na rysunku 6.3 zilustrowano (analogicznie) porównanie wyników dopasowania dwóch uogólnionych obszarowych modeli opadowych – Model 2.1 i Model 2.2, na przykładzie czasów trwania opadów $t = 20$ min, $t = 60$ min oraz $t = 360$ min. Z wykresów wynika lepsze dopasowanie do danych pomiarowych Modelu 2.2 względem 2.1. Wniosek ten potwierdza również analiza wartości $rRMSE$ (tab. 6.9). Dla opadów najrzadziej występujących, tj. dla C od 40 do 50 lat bezwzględne różnice wysokości opadów modelowanych i rzeczywistych wynoszą co najwyżej kilka milimetrów (Przykładowo dla $t = 20$ min - od 0,4 mm do 1,1 mm, dla $t = 60$ min - od 3,0 mm do 4,6 mm oraz dla $t = 360$ min - od 1,3 mm do 2,9 mm). Wszystkie wysokości modelowanych opadów dla regionu - Model 1 oraz dla obszarów - Model 2.1 i Model 2.2 oraz Model 3, zestawiono w tabelach F.8–F.11 w **Suplemencie F**.



Rys. 6.3. Dystrybuanty teoretyczne uogólnionych obszarowych modeli opadowych (Model 2.1 i Model 2.2) na tle dystrybuant empirycznych dla czasów trwania opadów $t = 5, 20, 60$ i 360 min

Zaproponowane, uogólnione modele opadów maksymalnych - dla całego regionu i/lub dla wydzielonych 2 obszarów mogą znaleźć zastosowanie do projektowania kanalizacji deszczowej. W rozdziale 6.2 modele te zostaną porównane z punktowymi, lokalnymi modelami opadowymi (patrz rozdział 5). Wysokości opadów z uogólnionych modeli (5.80–5.83) zestawiono mianowicie z wynikami z modeli punktowych, dla czasów trwania $t \in [5; 4320]$ min i częstości występowania opadów maksymalnych $C \in [1; 50]$ lat – tabele 6.10 i 6.11. W Tabeli 6.10 zestawiono obliczone wysokości opadów z Modeli 2.1 i 2.2 (5.81 i 5.82) z obliczonymi z modeli punktowych - dla nizinnych stacji IMGW-PIB: Zielona Góra (5.58), Legnica (5.52), Wrocław (5.49) i Opole (5.61), na tle zmierzonych na tych stacjach. W Tabeli 6.11 natomiast przedstawiono wyniki porównań Modelu 3 z modelami punktowymi - dla podgórskich stacji IMGW-PIB: Zgorzelec (5.56), Jelenia Góra (5.68), Kłodzko (5.65) i Racibórz (5.71), na tle zmierzonych na tych stacjach. W obu tabelach podano też wyniki obliczeń dla regionalnego Modelu 1 (5.83). Szczegółowe wyniki porównań podano w **Suplementach E** (E.17–E.24) i **F** (F.12, F.13), a dane pomiarowe zestawiono w **Suplemencie B** (B.1–B.8).

6.2. Porównanie modelowanych wysokości opadów na wyodrębnionych obszarach

6.2.1. Modele opadów maksymalnych dla regionu i obszarów nizinnych

Analizując wysokości opadów maksymalnych wg Modelu 1 (dla całego regionu - dorzecza) oraz wg Modeli 2.1. i 2.2 (dla obszaru nizinnego dorzecza) można stwierdzić, że zaproponowane modele probabilistyczne dobrze opisują opady rzeczywiste. Największe różnice dotyczą wysokości opadów o czasach trwania (t) powyżej 1440 min. Na ogół, dla częstości występowania opadów od $C = 1$ rok do $C = 30$ lat różnice wysokości sięgają 5 mm (incydentalnie do 7 mm). W szczególności, dla stacji IMGW-PIB w Zielonej Górze wysokości opadów z modelu punktowego (5.58) dla $C = 1$ rok, $C = 2$ lata i $C = 5$ lat względem danych pomiarowych, w pełnym zakresie czasu trwania opadów $t \in [5; 4320]$ min, różniły się odpowiednio: od 0 do 1,7 mm, od 0,1 mm do 1,7 mm i od 0 do 1,8 mm, a skrajne wartości odchyłeń dotyczyły przedziałów czasowych $t = 2880$ i 4320 min. Jednocześnie największe różnice pomiędzy modelowanymi opadami a rzeczywistymi nie przekraczały na

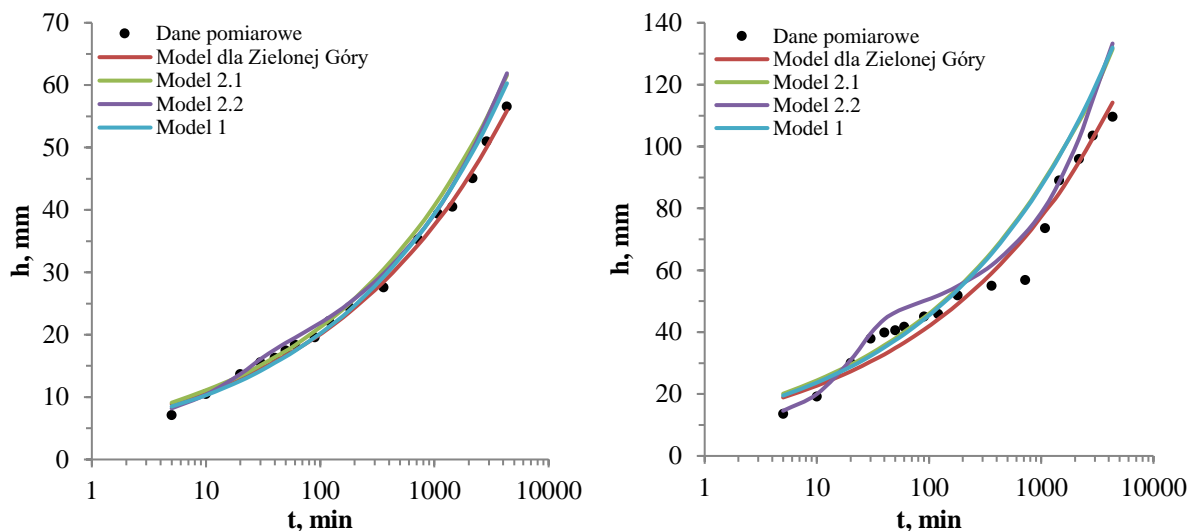
ogół 4%. Porównanie wysokości opadów otrzymanych z modeli: Model 2.1 wg (5.81) i Model 2.2 wg (5.82) oraz Model 1 wg (5.80) - dla tych samych częstości ($C = 1$, $C = 2$ i $C = 5$ lat) daje następujące różnice: dla $C = 1$ rok od 0 do 5,2 mm - dla Modeli 2.1 i 2.2 oraz od 0,1 do 4,5 mm - dla Modelu 1; dla częstości $C = 2$ lata od 0 do 5,4 mm - dla Modeli 2.1 i 2.2 oraz od 0,1 mm do 4,7 mm - dla Modelu 1; a w końcu dla $C = 5$ lat od 0 do 5,1 mm - dla modeli (5.81) i (5.82) i od 0 do 4,4 mm dla modelu (5.80). Wskazana największa różnica (5,4 mm) stanowi odchylenie rzędu 12% wysokości opadów modelowanych względem zmierzonych. Dla większych wartości częstości, w kolejności dla $C = 10$ lat, 25 lat i 30 lat największe różnice wysokości opadów sięgały odpowiednio: do 4,2 mm i 2,6 mm (9 i 8%), do 5,5 mm i 4,2 mm (12 i 9%) oraz do 7,0 mm i 5,1 mm (12 i 9%). Dla opadów najrzadziej występujących, tj. o $C = 40$ lat i $C = 50$ lat różnice modelowanych wysokości względem zmierzonych dla modeli (5.81) i (5.82) oraz (5.80) sięgały odpowiednio: do 14,2 mm i 11,7 mm (21 i 18%) oraz do 23,7 mm i 22,6 mm (22 i 20%). Co jest oczywiste, model punktowy (5.58) dla opadów długotrwałych i najrzadziej występujących był wyraźnie lepszy ilościowo dając różnice h np. dla $C = 40$ lat do 4,8 mm (różnica 7%) a dla $C = 50$ lat do 13,9 mm (13%).

Należy zauważyć, że zarówno dla przykładowo, szczegółowo omówionej stacji IMGW-PIB w Zielonej Górze jak i dla pozostałych 3 stacji IMGW-PIB (z grupy 4 stacji położonych na obszarze nizinnym dorzecza - objętych Modelami 2.1 i 2.2), tj. stacji w Legnicy, Wrocławiu i Opolu, przykładowo dla czasów trwania opadów od $t = 5$ min do $t = 720$ min różnice wysokości opadów w przedziale $C \in [1; 40]$ lat nie przekraczały na ogół 3 mm, co świadczy o dobrym dopasowaniu opracowanych modeli do danych pomiarowych (zwłaszcza dla opadów krótkotrwałych i najczęściej występujących). Analizując wyniki zebrane w tabeli 6.10 można między innymi stwierdzić, że modele punktowe dla stacji w Zielonej Górze i w Opolu dla opadów długotrwałych (o $t > 720$ min) generują wysokości opadów bardziej zbliżone do zmierzonych względem modeli obszarowych (co jest zrozumiałe), ale już dla stacji we Wrocławiu i Legnicy opady o najdłuższych czasach trwania są wg modeli obszarowych nieznacznie lepiej lub jednakowo dokładnie przybliżane. Spośród dwóch zaproponowanych modeli opadowych dla nizinnego obszaru dorzecza, Model 2.2 (5.82) dokładniej odzwierciedlenia zmierzone wartości wysokości opadów, co można zaobserwować na porównaniu krzywych DDF np. dla $C = 25$ lat i $C = 50$ lat zilustrowanych na rysunku 6.4. Wykładnicza postać parametru skali na wykresie $h(t)$, powoduje charakterystyczne „ugięcia” zgodne z kształtem dystrybuanty empirycznej w przypadku Zielonej Góry, w szczególności dla $C = 50$ lat i czasów trwania opadów pomiędzy $t = 30$ min oraz $t = 120$ min. Rysunek 6.4, potwierdza również lepsze dopasowanie wyników modelu punktowego dla Zielonej Góry względem danych pomiarowych, na tle wyników z modeli regionalnego i obszarowych.

Zastosowanie bardziej skomplikowanej postaci modelu (5.82) z jednej strony umożliwia otrzymanie wysokości opadów teoretycznych bardziej zbliżonych do empirycznych, z drugiej formuła traci znamiona uogólnionej, a zgodność dystrybuant zależy ściśle od podobieństwa analizowanego rozkładu z tym, który posłużył do opracowania modelu. Przykładowo dla stacji IMGW-PIB w Legnicy dla $C = 25$ lat i $t < 1440$ min (wg rys. 6.5) model obszarowy (5.82) daje wysokości opadów bliskie modelowi punktowemu (5.52) - różniące się od opadów rzeczywistych od 0 do 0,9 mm (w skrajnym przypadku dla $t = 1440$ min o 4 mm).

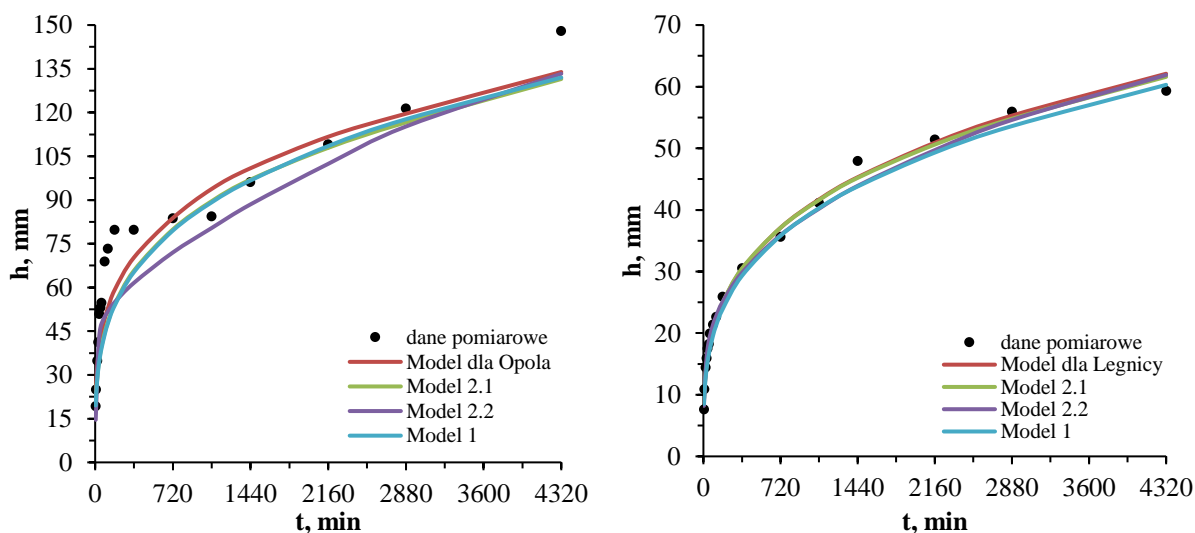
Tab. 6.10. Wybrane przedziałowe wysokości opadów deszczu (h , mm) dla obszaru stacji nizinnych (wg tabel F.12 i E.17,18, 20 i 21, Suplementy E i F)

C	t, min	Zielona Góra		Wrocław		Legnica		Opole		Model 2.1	Model 2.2	Model 1
		h_{max}	h_{GED}	h_{max}	h_{GED}	h_{max}	h_{GED}	h_{max}	h_{GED}	h^1_{GED}	h^2_{GED}	h_{EV3}
C = 1 rok	5	5,6	7,2	6,4	7,4	5,8	6,9	5,9	7,1	7,1	7,1	6,7
	30	12,5	11,7	13,8	12,6	12,5	11,7	12,2	11,6	11,9	11,9	11,3
	60	14,8	14,2	15,5	15,4	14,2	14,3	14,6	14,1	14,5	14,5	13,8
	120	17,8	17,1	17,9	18,9	18,2	17,6	17,0	17,1	17,7	17,7	17,0
	360	23,1	23,1	26,2	26,1	23,9	24,3	23,3	23,3	24,2	24,2	23,4
	720	28,1	28,0	32,0	32,0	28,6	29,7	28,3	28,2	29,5	29,5	28,7
	1440	32,3	33,8	39,9	39,2	37,4	36,5	35,3	34,2	36,0	36,0	35,2
	2880	39,2	40,9	48,1	48,1	43,4	44,7	40,8	41,5	43,9	43,9	43,2
	4320	44,1	45,7	49,0	54,2	47,7	50,4	43,7	46,5	49,3	49,3	48,6
C = 2 lata	5	5,7	7,2	6,5	7,5	5,8	6,9	6,0	7,1	7,2	7,1	6,7
	30	12,6	11,8	13,9	12,7	12,5	11,7	12,3	11,7	12,0	12,0	11,4
	60	15,1	14,2	15,6	15,5	14,4	14,4	14,6	14,2	14,6	14,7	13,9
	120	17,8	17,2	18,6	19,0	18,3	17,7	17,2	17,2	17,8	17,8	17,1
	360	23,2	23,3	26,3	26,3	24,0	24,4	23,4	23,4	24,4	24,3	23,6
	720	28,2	28,1	32,5	32,2	28,7	29,9	28,5	28,4	29,7	29,7	28,9
	1440	32,7	34,0	40,1	39,5	37,5	36,7	35,4	34,4	36,2	36,2	35,4
	2880	39,6	41,1	48,1	48,5	43,7	45,0	40,9	41,7	44,2	44,1	43,4
	4320	44,2	45,9	49,5	54,6	48,4	50,6	44,1	46,7	49,6	49,6	48,9
C = 5 lat	5	5,9	7,4	6,7	7,6	6,2	7,1	6,4	7,3	7,3	7,2	6,9
	30	12,9	12,0	14,3	12,9	12,9	12,0	12,4	12,0	12,2	12,4	11,6
	60	15,3	14,5	15,9	15,8	14,9	14,7	14,8	14,5	14,9	15,1	14,2
	120	18,2	17,5	18,8	19,4	19,6	18,0	17,4	17,6	18,2	18,2	17,4
	360	23,4	23,7	27,9	26,8	24,7	24,9	24,1	23,8	24,9	24,8	24,1
	720	29,3	28,6	33,9	32,9	29,2	30,5	29,5	28,9	30,3	30,2	29,5
	1440	33,6	34,6	40,4	40,4	38,5	37,3	36,2	35,1	37,0	36,8	36,1
	2880	40,1	41,9	48,6	49,6	44,8	45,8	41,0	42,5	45,1	45,0	44,3
	4320	45,5	46,8	50,0	55,9	48,9	51,6	45,0	47,6	50,6	50,6	49,9
C = 10 lat	5	6,2	7,6	6,8	7,8	6,6	7,4	6,7	7,6	7,7	7,4	7,2
	30	13,5	12,5	14,9	13,3	13,7	12,5	12,7	12,5	12,8	13,1	12,1
	60	16,1	15,1	16,6	16,4	16,0	15,3	15,4	15,1	15,6	15,9	14,8
	120	18,9	18,2	19,4	20,1	19,9	18,8	18,7	18,3	19,0	19,1	18,1
	360	24,8	24,6	29,3	27,8	25,9	25,9	24,9	24,8	25,9	25,7	25,0
	720	30,5	29,7	35,1	34,2	31,0	31,7	30,7	30,1	31,6	31,3	30,7
	1440	35,8	35,9	42,3	42,0	41,8	38,8	37,4	36,5	38,5	38,1	37,5
	2880	42,9	43,4	50,5	51,6	47,1	47,5	44,2	44,2	46,9	46,8	46,0
	4320	49,2	48,5	55,7	58,2	51,0	53,4	46,4	49,4	52,7	52,7	51,8
C = 30 lat	5	7,7	9,6	8,2	9,2	8,2	9,6	8,7	10,2	9,8	8,6	9,1
	30	16,1	15,5	18,8	15,9	17,6	16,0	16,4	16,5	16,2	17,5	15,3
	60	19,6	18,7	24,5	19,6	21,0	19,5	20,7	19,8	19,7	21,3	18,7
	120	23,6	22,6	29,3	24,2	24,5	23,8	25,4	23,9	24,0	24,6	22,8
	360	28,5	30,4	36,1	33,8	31,6	32,6	32,7	32,1	32,7	31,8	31,4
	720	36,4	36,6	41,3	41,7	37,9	39,8	37,0	38,7	39,8	38,2	38,4
	1440	42,8	44,1	51,2	51,4	49,5	48,5	44,5	46,8	48,4	46,7	46,9
	2880	55,0	53,4	61,1	63,6	59,3	59,2	56,1	56,3	58,7	58,4	57,4
	4320	59,4	59,6	66,7	72,0	63,2	66,4	61,6	63,0	66,0	66,4	64,5
C = 50 lat	5	13,6	18,9	13,1	15,7	16,2	20,7	19,2	23,6	20,1	14,6	19,5
	30	37,9	30,5	32,9	27,7	32,0	33,8	41,2	37,3	33,0	39,5	32,3
	60	41,8	36,6	35,3	34,5	40,6	40,8	54,7	44,4	40,1	47,7	39,3
	120	45,9	44,1	57,7	43,1	49,6	49,4	73,3	53,1	48,4	51,8	47,9
	360	55,0	59,0	63,1	61,2	60,2	66,7	79,7	70,3	65,8	61,6	65,3
	720	56,9	70,8	64,2	76,3	74,9	80,9	83,7	83,8	79,9	72,0	79,5
	1440	89,1	84,8	80,1	94,9	86,5	97,6	96,1	100,9	97,0	88,5	96,7
	2880	103,5	102,7	103,9	118,9	130,2	117,9	121,4	119,6	116,6	115,2	117,7
	4320	109,6	114,2	116,9	135,3	148,1	131,5	147,9	133,9	131,5	133,3	132,0



Rys. 6.4. Krzywe *DDF* w skali logarytmicznej z opracowanych modeli probabilistycznych dla $C = 25$ lat (po lewej) oraz $C = 50$ lat (po prawej) na tle danych pomiarowych z Zielonej Góry

Jednocześnie dla stacji IMGW-PIB w Opolu dla opadów o częstotliwości $C = 50$ lat w przedziale czasowym od $t = 30$ min do $t = 90$ min model obszarowy (5.82) dawał lepiej dopasowane wyniki niż model punktowy dla Opola (5.61). Różnice wynosiły od 1,7 mm do 18,8 mm, podczas gdy różnice pozostałych modeli wynosiły od 3,2 mm do 24,8 mm. Z kolei w przedziałach czasowych od $t = 120$ min do $t = 2880$ min wysokości modelowanych obszarowo opadów były gorzej dopasowane, a różnice wahały się od 6,2 mm do 24,8 mm, przy różnicach z modelu punktowego (5.61) w zakresie od 0,1 mm do 20,6 mm. Opisaną sytuację zilustrowano na rysunku 6.5 przy użyciu krzywych *DDF* (powtarzalnych wysokości opadów).



Rys. 6.5. Krzywe *DDF* z modeli probabilistycznych dla $C = 50$ lat (po lewej) i $C = 25$ lat (po prawej) na tle danych pomiarowych, odpowiednio z Opola i Legnicy

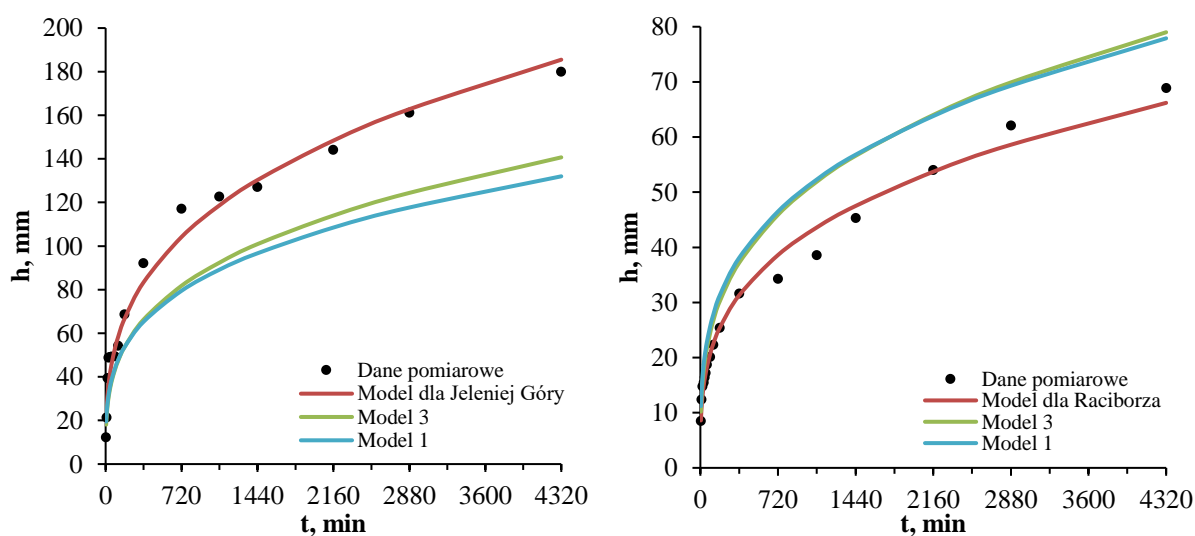
Warto również zwrócić uwagę na fakt, że model regionalny - Model 1 wg (5.80), który powstał z uśrednienia wysokości opadów z wszystkich 8 analizowanych stacji pomiarowych IMGW-PIB, dla niektórych lokalizacji stacji w obszarze nizinnym (objętych Modelami 2.1 i 2.2), szczególnie dla opadów długotrwałych i najrzadziej występujących ($C > 40$ lat) dawał wyniki zbliżone do modeli punktowych lub czasami bardziej dopasowane do danych pomiarowych. Sytuację taką można zaobserwować na stacji IMGW-PIB w Opolu dla $C = 50$

lat i $t \in [1080; 4320]$ min oraz na stacjach w Legnicy i we Wrocławiu również przy $C = 50$ lat i $t \in [2160; 4320]$ min. Dla stacji w Zielonej Górze model punktowy (5.58) generował najlepiej dopasowane wartości, czego powodem są maksymalne przedziałowe wysokości opadów, które szczególnie dla opadów długotrwałych były znacznie niższe od tych z Wrocławia, Legnicy i Opola.

Generalizując należy stwierdzić, że dla stacji IMGW-PIB w Zielonej Górze, Legnicy i Opolu zaproponowane modele: regionalny (5.80) i obszarowe (5.81) i (5.82) opisują wysokości opadów z dokładnością do 5% w zdecydowanej większości przedziałowych czasów trwania i częstości występowania. Stacja IMGW-PIB we Wrocławiu jest najlepiej opisywana przez model punktowy (5.49). Modele obszarowe: Model 2.1 wg (5.81) i Model 2.2 wg (5.82) dają wyniki zbliżone i na ogół bliższe wartościom pomiarowym, w porównaniu z Modelem 1 – regionalnym wg (5.80), zwłaszcza dla opadów najczęściej występujących.

6.2.2. Modele opadów maksymalnych dla regionu i obszarów podgórskich

W tabeli 6.11 porównano wyniki otrzymane z modelu obszarowego – Model 3 wg (5.83), czyli powstałego z uogólnienia 4 modeli punktowych z 4 stacji IMGW-PIB położonych na obszarach podgórskich (w południowej części dorzecza Górnej i Środkowej Odry) oraz obliczone z modelu regionalnego – Model 1 wg (5.80), w zastawieniu z pomierzonymi (na 4 stacjach: Zgorzelec, Jelenia Góra Kłodzko i Racibórz). Otrzymane wyniki potwierdzają przewagą dokładności modeli punktowych nad modelami: obszarowym – Model 3 i regionalnym – Model 1 (powstałym z uśrednienia opadów z wszystkich 8 stacji pomiarowych w dorzeczu). Wyjątkiem jest stacja w Jeleniej Górze, dla której wysokości opadów o częstości od $C = 1$ rok do $C = 30$ lat były bardzo dobrze opisywane (od 0 do 5% różnicy) przez modele (5.80) i (5.83) oraz dostatecznie (przy różnicy 10–20%) opady krótkotrwałe o $t \leq 120$ min i $C = 50$ lat. Na rysunku 6.6 zilustrowano dla przykładu krzywe *DDF* - wysokości opadów ze stacji IMGW-PIB Jelenia Góra i Racibórz o $C = 40$ lat i $C = 50$ lat dla $t \in [5; 4320]$ min.



Rys. 6.6. Krzywe *DDF* z modeli probabilistycznych dla $C = 50$ lat (po lewej) oraz $C = 40$ lat (po prawej) dla danych pomiarowych ze stacji, odpowiednio Jelenia Góra i Racibórz

Tab. 6.11. Wybrane przedziałowe wysokości opadów deszczu (h , mm) dla obszaru stacji podgórskich (wg tabel F.13 i E.19, 22, 23 i 24 w Suplementach E i F)

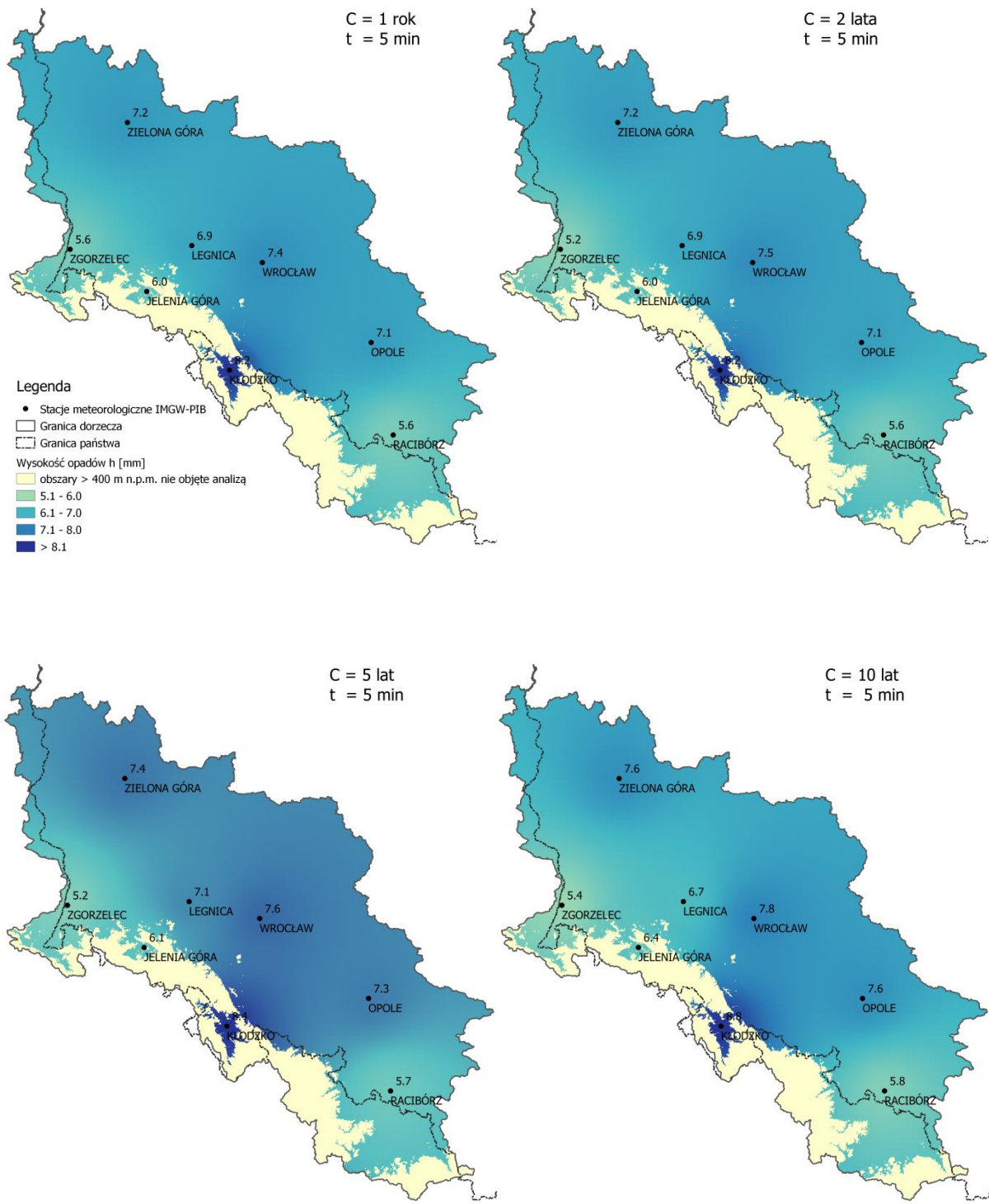
C	t , min	Zgorzelec		Jelenia Góra		Kłodzko		Racibórz		Model 3	Model 1
		h_{max}	h_{EV3}	h_{max}	h_{EV3}	h_{max}	h_{EV3}	h_{max}	h_{EV3}	h_{EV3}	h_{EV3}
C = 1 rok	5	5,5	5,1	5,6	6,0	6,1	8,2	4,9	5,6	6,2	6,7
	30	9,3	9,2	10,4	10,6	14,8	13,6	9,8	9,4	10,7	11,3
	60	10,9	11,4	13,2	13,2	17,7	16,5	11,3	11,5	13,2	13,8
	120	13,3	14,3	16,5	16,4	21,5	20,1	14,4	14,2	16,3	17,0
	360	18,9	20,4	23,6	23,2	27,4	27,4	19,5	19,6	22,8	23,4
	720	23,0	25,5	29,5	28,9	33,1	33,3	23,9	24,0	28,1	28,7
	1440	35,1	31,9	35,8	35,9	38,4	40,6	29,4	29,4	34,6	35,2
	2880	43,4	39,9	43,2	44,7	45,2	49,3	36,7	36,1	42,7	43,2
	4320	49,0	45,4	50,0	50,8	51,8	55,3	38,5	40,7	48,3	48,6
C = 2 lata	5	5,5	5,2	5,6	6,0	6,2	8,2	4,9	5,6	6,3	6,7
	30	9,3	9,2	10,5	10,6	15,0	13,6	10,0	9,5	10,8	11,4
	60	11,0	11,5	13,2	13,2	17,8	16,6	11,3	11,6	13,3	13,9
	120	13,5	14,4	16,5	16,5	21,5	20,2	14,5	14,2	16,4	17,1
	360	19,2	20,5	23,8	23,3	27,5	27,5	19,6	19,6	22,9	23,6
	720	23,4	25,6	29,6	29,0	33,8	33,5	24,0	24,1	28,2	28,9
	1440	35,1	32,0	36,0	36,1	38,5	40,8	29,8	29,5	34,8	35,4
	2880	43,7	40,1	43,5	44,9	45,9	49,6	37,1	36,2	42,9	43,4
	4320	50,0	45,7	50,4	51,1	52,1	55,6	38,5	40,8	48,5	48,9
C = 5 lat	5	5,6	5,2	5,6	6,1	6,5	8,4	5,0	5,7	6,4	6,9
	30	9,8	9,3	10,8	10,8	15,2	13,9	10,2	9,6	11,0	11,6
	60	11,1	11,7	13,4	13,5	18,1	16,9	11,5	11,8	13,5	14,2
	120	13,5	14,6	16,8	16,8	21,9	20,6	14,7	14,4	16,7	17,4
	360	19,5	20,8	24,4	23,7	28,1	28,1	20,2	19,9	23,3	24,1
	720	24,4	26,1	30,5	29,5	34,1	34,1	24,4	24,5	28,7	29,5
	1440	35,7	32,6	36,8	36,7	39,7	41,5	30,7	30,0	35,4	36,1
	2880	44,8	40,8	44,7	45,7	47,1	50,4	37,5	36,8	43,7	44,3
	4320	50,6	46,5	50,8	52,0	52,5	56,5	39,4	41,5	49,4	49,9
C = 10 lat	5	5,7	5,4	5,9	6,4	6,7	8,8	5,2	5,8	6,6	7,2
	30	10,2	9,6	11,7	11,2	15,6	14,5	10,3	9,9	11,4	12,1
	60	11,9	12,0	14,4	14,0	19,3	17,6	12,2	12,1	14,0	14,8
	120	13,8	15,1	17,6	17,4	23,1	21,4	15,1	14,9	17,3	18,1
	360	20,3	21,5	25,7	24,6	29,4	29,1	21,1	20,6	24,2	25,0
	720	24,7	27,0	31,7	30,7	35,1	35,3	25,3	25,3	29,8	30,7
	1440	36,7	33,8	37,8	38,2	41,2	42,9	31,7	31,0	36,8	37,5
	2880	46,9	42,3	45,8	47,5	49,2	52,1	39,4	38,0	45,4	46,0
	4320	52,4	48,3	52,5	54,0	54,5	58,4	42,4	42,9	51,3	51,8
C = 30 lat	5	7,1	6,4	7,4	8,2	8,9	11,3	6,6	7,1	8,3	9,1
	30	12,0	11,6	16,8	14,6	20,9	18,3	13,2	12,1	14,3	15,3
	60	14,2	14,6	19,4	18,2	24,6	22,1	15,0	14,9	17,6	18,7
	120	16,4	18,3	22,3	22,6	28,2	26,7	17,8	18,4	21,7	22,8
	360	25,6	26,4	32,5	32,1	35,5	36,0	26,6	25,5	30,3	31,4
	720	32,3	33,3	37,5	40,0	44,2	43,5	28,6	31,4	37,4	38,4
	1440	46,9	41,9	52,1	49,9	52,5	52,6	39,3	38,6	46,2	46,9
	2880	55,3	52,7	63,9	62,2	59,2	63,6	53,9	47,5	57,0	57,4
	4320	60,3	60,4	67,6	70,8	64,6	71,0	59,2	53,6	64,4	64,5
C = 50 lat	5	11,0	12,2	12,3	21,1	18,9	24,8	15,9	15,4	18,1	19,5
	30	32,0	22,7	48,8	37,5	32,4	39,1	30,3	26,6	31,2	32,3
	60	51,2	28,9	49,3	46,8	54,5	46,7	36,1	32,9	38,5	39,3
	120	56,1	36,9	54,3	58,5	60,5	55,7	39,8	40,7	47,5	47,9
	360	57,3	54,1	92,2	83,4	102,4	73,8	52,6	57,1	66,3	65,3
	720	57,3	68,9	117,1	104,2	103,2	88,1	70,8	70,6	81,8	79,5
	1440	83,8	87,8	127,1	130,3	126,3	105,3	130,3	87,3	100,9	96,7
	2880	145,8	111,9	161,2	162,8	129,0	125,8	183,8	108,0	124,4	117,7
	4320	179,2	129,0	180,0	185,5	129,2	139,6	227,4	122,4	140,7	132,0

W przeciwieństwie do modeli obszarowych Model 2.1 i Model 2.2, wyniki z modelu obszarowego Model 3 wg (5.83) nie najlepiej opisują opady długotrwałych, zwłaszcza o czasie trwania z przedziału $t \in [1440; 4320]$ min, co spowodowane jest między innymi udziałem w średniej arytmetycznej największej wysokości opadu $h_{4320} = 227,4$ mm zarejestrowanej na stacji w Raciborzu (tab. 6.11). Przykładowo, uśrednione wysokości opadów brane do konstrukcji uogólnionych modeli wynosiły odpowiednio: dla Modelu 1 (z wszystkich 8 stacji) $h_{4320} = 154,8$ mm, a dla Modelu 3 (z 4 stacji podgórskich) $h_{4320} = 179,0$ mm. W szczególności, istotnym spostrzeżeniem wynikającym z analizy wyników obliczeń wg uogólnionych modeli obszarowych (Modele 2.1 i 2.2 oraz Model 3) i regionalnego (Model 1) jest zróżnicowanie wysokości opadów maksymalnych w badanych obszarach, a nawet w obrębie samych wydzielonych obszarów (tab. 6.10 i 6.11), skutkujące generowaniem przeważnie niższych wartości wysokości teoretycznych względem pomierzonych na stacjach: Jelenia Góra (rys. 6.6), Kłodzko, Zgorzelec i Opole, szczególnie dla częstości $C > 40$ lat i przedziałów czasowych $t \geq 720$ min. Bezwzględne różnice procentowe wahały się od 20% dla opadów o $t = 720$ min do 30% (skrajnie nawet 40%) dla opadów o $t = 4320$ min. Dla stacji Wrocław, Legnica, Zielona Góra i Racibórz (rys. 6.7) modelowane wysokości opadów były przeważnie wyższe od zmierzonych, co pomimo różnic (rzędu 20–30%) jest sytuacją korzystną z punktu widzenia bezpiecznego – mniej zawodnego projektowania i eksploatacji systemów odwodnienia terenów zurbanizowanych czy ochrony przeciwpowodziowej.

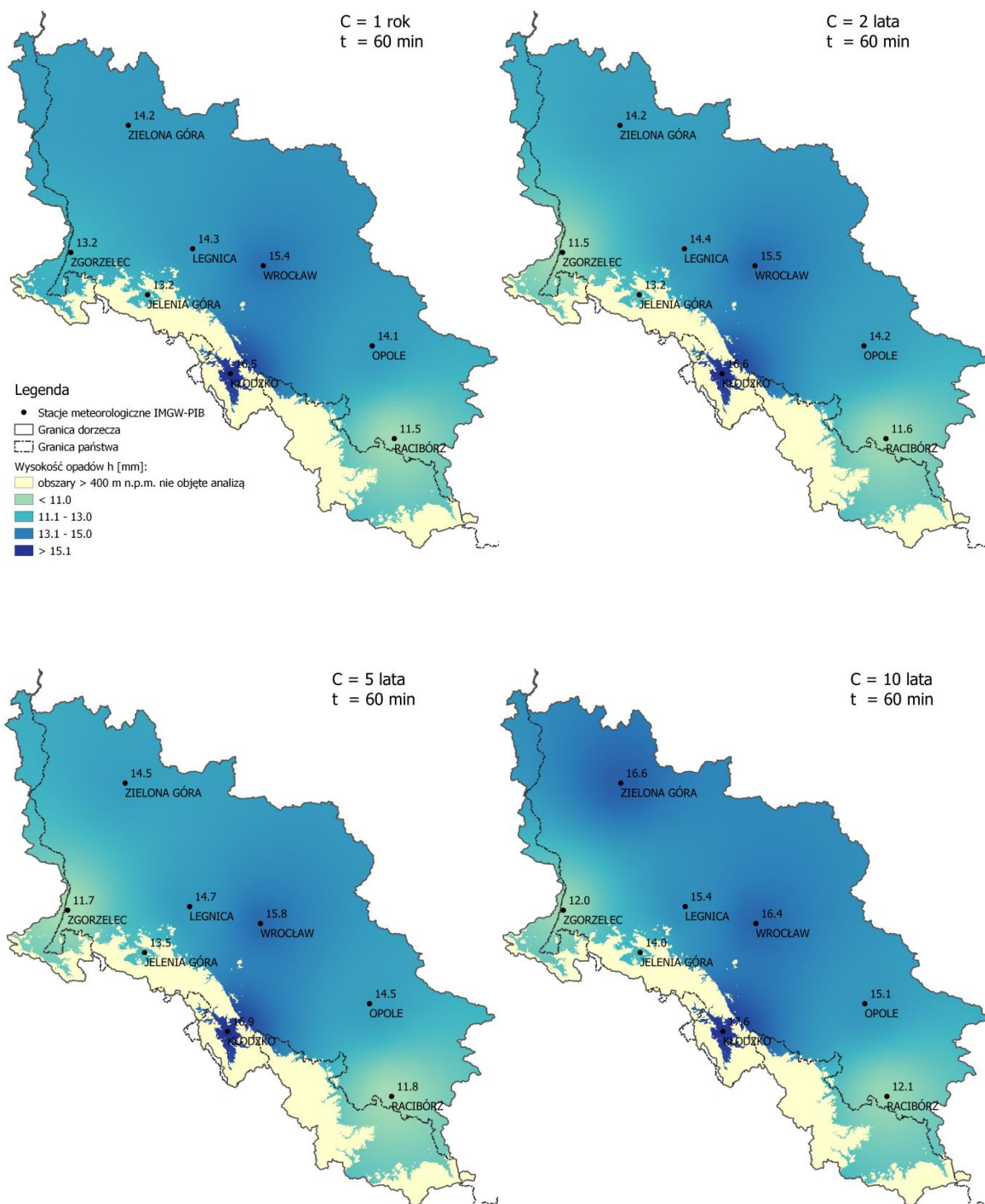
6.3. Wizualizacja opadów maksymalnych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry

Korzystając z metody średniej ważonej odległością (*IDW*) – opisanej w rozdz. 4.4.5, oraz opracowanych modeli probabilistycznych (tab. 5.11) najlepiej dopasowanych do rzeczywistych, przedziałowych wysokości opadów dla 8 analizowanych stacji meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry, opracowano 12 przykładowych map zmienności przestrzennej teoretycznych wysokości opadów maksymalnych dla czasów ich trwania $t = 5, 60$ i 1440 min oraz częstości występowania $C = 1, 2, 5, 10$ lat, co zilustrowano na rys. 6.7–6.9.

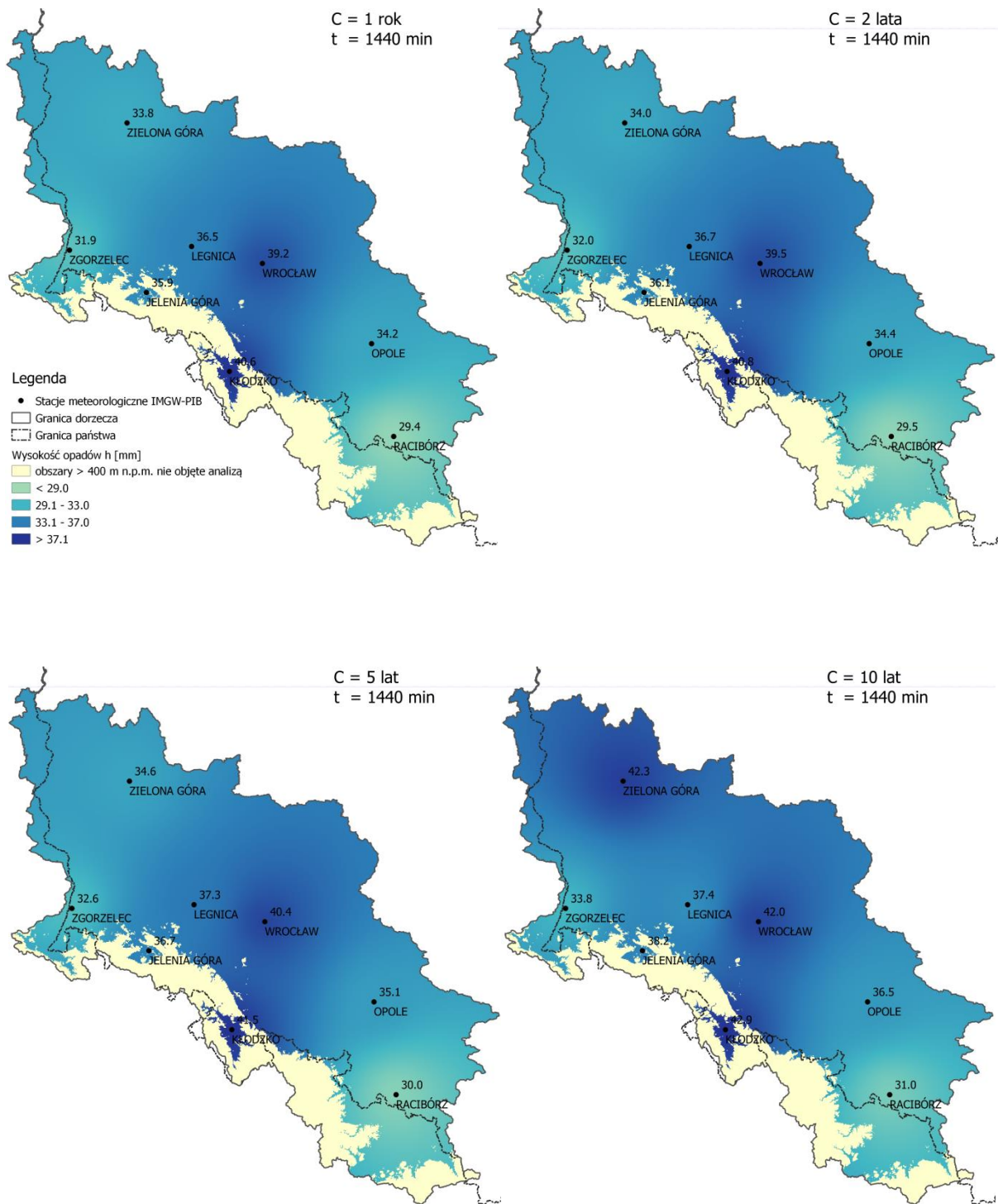
Ze względu na fakt, że granica hydrograficzna dorzecza Górnej i Środkowej Odry przebiega wzdłuż szczytów Sudetów i obejmuje również północną część Czech oraz wzdłuż Nysy Łużyckiej (północno–zachodnia część Polski) obejmuje część obszaru Niemiec, zakres opracowanych map nie pokrywa z granicami Polski. Biorąc pod uwagę największe wysokości położenia 2 analizowanych stacji meteorologicznych IMGW-PIB: Kłodzko – 356 m n.p.m. i Jelenia Góra – 342 m n.p.m, na prezentowanych mapach (rys. 6.7–6.9) wyłączone z opracowania obszary górskie, tj. położone powyżej 400 m n.p.m (wyróżnione kolorem białym). Zbyt mała liczba punktów pomiarowych wykorzystana do interpolacji przestrzennej, wykonanej w oparciu o zależność (4.37), spowodowała powstanie charakterystycznych kręgów izolacji teoretycznych wysokości opadów. Aby osiągnąć dokładniejszy wynik oszacowania wysokości opadów pomiędzy stacjami, należałoby zagęścić sieć punktów pomiarowych lub zastosować inną metodę geostatycznej interpolacji, która uwzględniałaby hipsometrię terenu. Przedstawione mapy, chociaż mają charakter poglądowy, mogą być wykorzystane do celów projektowych (na obszarach położonych pomiędzy stacjami).



Rys. 6.7. Rozkład przestrzenny maksymalnych opadów o czasie trwania $t = 5$ min oraz częstotliwości wystąpienia $C = 1, 2, 5$ i 10 lat w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry (GŚO), w oparciu o 8 analizowanych stacji meteorologicznych IMGW-PIB



Rys. 6.8. Rozkład przestrzenny maksymalnych opadów o czasie trwania $t = 60$ min oraz częstotliwości wystąpienia $C = 1, 2, 5$ i 10 lat w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry (GŚO), w oparciu o 8 analizowanych stacji meteorologicznych IMGW-PIB



Rys. 6.9. Rozkład przestrzenny maksymalnych opadów o czasie trwania $t = 1440$ min oraz częstości wystąpienia $C = 1, 2, 5$ i 10 lat w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry (GŚO), w oparciu o 8 analizowanych stacji meteorologicznych IMGW-PIB

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

Nasilające się w ostatnich dziesięcioleciach występowanie ekstremalnie intensywnych opadów deszczu i towarzyszące im powodzie rzeczne czy powodzie miejskie (wylewy z kanalizacji), powodują znaczne straty gospodarcze, społeczne i ekologiczne. Jednocześnie osiągnięcie pełnej niezawodności działania systemów odwodnień terenów nie jest możliwe ze względu na losowy charakter opadów. Rosnące zagrożenia ze strony wód opadowych dla aglomeracji miejskich w tym ochrony przeciwpowodziowej, w kontekście zmieniającego się klimatu, wymagają ciągłego rozwoju metod badawczych i narzędzi matematycznych umożliwiających opis opadów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia i czasie trwania. Profesor Karol Pomianowski w 1918 r. w książce pt. „*Kanalizacja miasta*”, stwierdził, cytując: (...) *w obliczaniu sieci kanalowej trzeba brać za podstawę nie deszcze rozlewne o słabym natężeniu, lecz deszcze nawalne, burzowe, o natężeniu wysokim, gdyż niepodobna dopuścić do przepelnienia kanałów i zalania ulic i domów na wypadek burzy (...) oraz (...) opady zdarzające się raz na kilka lat nie mieszczą się w sieci i mogą częściowo zalać ulice.* [Pomianowski 1918]. Dlatego tak ważne były i są systematyczne badania opadów i określanie statystycznej częstości (prawdopodobieństwa) występowania ich maksymalnych wysokości. Bezpieczniejsze niż dotychczas projektowanie systemów kanalizacyjnych, a w tym urealnienie ocen zagrożeń powodowanych wylewami z kanałów, podtopieniami terenów czy powodziami, ma przynieść wprowadzenie podobnego jak w Niemczech (KOSTRA) systemu prezentacji informacji o deszczach miarodajnych w skali kraju, w postaci Polskiego Atlasu Natężeń Deszczy (PANDa). Niniejsza praca wpisuje się w ten trend rozwoju wiedzy.

Głównym zadaniem pracy jest próba zmniejszenia niedostatku wiedzy w zakresie formułowania modeli opadowych wykorzystujących teoretyczne rozkłady prawdopodobieństwa. Jako poligon doświadczalny - obszar badawczy wybrano dorzecze Górnej i Środkowej Odry reprezentowane przez 8 stacji meteorologicznych IMGW-PIB. Pracy przyświecał między innymi cel opracowania probabilistycznych modeli opadowych, których wyniki miały dowieść, że odwzorowanie warunków opadowych jest możliwe z wykorzystaniem właściwych teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa, a odpowiednia konfiguracja takich modeli, z jednej strony może prowadzić do zwiększenia dokładności otrzymywanych wyników, z drugiej zaś, przy poprawnym określeniu cech wspólnych poszczególnych wieloletnich ciągów danych pomiarowych, do optymalizacji i regionalizacji stosowanych metod, docelowo możliwych do wykorzystania w praktyce inżynierskiej.

Jako okres badawczy przyjęto najdłuższy wspólny dla analizowanych 8 stacji meteorologicznych IMGW-PIB: w Raciborzu, Opolu, Kłodzku, Jeleniej Górze, Wrocławiu, Legnicy, Zgorzelcu i Zielonej Górze, okres (50 lat) dostępności materiałów opadowych zawierających ciągłą rejestrację opadów deszczu od roku 1961 do 2010. Dla każdej stacji dokonano przeglądu pełnego materiałów pluwiograficznych w celu wyselekcjonowania przedziałowych wysokości opadów spełniających kryterium Kaźmierczaka, określające próg wysokości dla intensywnych deszczów (2.64). Jednocześnie ze względu na zastosowaną metodę wyboru największych wysokości opadów *POT*, zwrócono szczególną uwagę na to, aby wybierane wartości były względem siebie niezależne i nie pochodziły z tego samego epizodu opadowego. Otrzymane ciągi największych wysokości opadów dla 17 czasów trwania: $t = 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 180, 360, 720, 1080, 1440, 2160, 2880$ i 4320

minut, układano w nierosnące szeregi rozdzielcze stanowiące zmienną losową i dystrybuantę empiryczną. Następnie zastosowano własną procedurę opracowania modelu probabilistycznego, w której kolejno, począwszy od estymacji parametrów kształtu, skali i położenia, poprzez kilkustopniową ocenę jakości dopasowania 8 analizowanych rozkładów teoretycznych względem danych pomiarowych, po optymalizację 3 parametrów wybranych rozkładów, prowadziły do określenia rodziny krzywych typu *DDF* – powtarzalnych wysokości opadów dla częstości występowania w przedziale od $C = 1$ rok do $C = 50$ lat. W procedurze przewidziano zastosowanie 9 rozkładów prawdopodobieństwa: Logarytmiczno-Normalny (*LogN*), Pearsona Typ III (*P3*), Gumbela (*EVI*), Frecheta (*EV2*), Weibulla (*EV3*), uogólniony Pareto (*GPA*), uogólniony wartości ekstremalnych (*GEV*), uogólniony wykładniczy (*GED*) oraz Logarytmiczno-Logistyczny (*LogL*). Zaproponowane rozkłady, poza *EVI*, były trójparametrowe. Ocenę jakościową dopasowania dystrybuant teoretycznych i empirycznych wykonano w oparciu o testy statystyczne λ -Kolmogorova oraz Andersona-Darlinga (na poziomie istotności $\alpha = 0,05$), kryteria informacyjne *AIC*, *BIC*, *HQIC* oraz kryteria błędów *MAPE* i *rRMSE*. Po kryterialnym wyborze najlepszych rozkładów teoretycznych wykonano optymalizację parametrów ocenianych rozkładów prawdopodobieństwa wyznaczając nowe estymatory parametrów kształtu $\hat{\alpha}$ – jako średnie arytmetyczne oraz podobnie, skali $\hat{\beta}$ i położenia $\hat{\gamma}$ – jako funkcje $\hat{\beta} = \beta(t)$, $\hat{\gamma} = \gamma(t)$. Do uogólnienia parametrów rozkładów, co było niezbędne do otrzymania postaci modelu probabilistycznego ze zmienną czasu trwania opadu t , wykorzystano zależności potęgowe z parametrami empirycznymi, estymowanymi metodą najmniejszych kwadratów. Stopień dopasowania funkcji wyrównującej podawano jako procentową wartość R^2 . W uzupełnieniu zaproponowanej procedury formułowania modeli opadowych, na końcowym jej etapie dokonano oceny ilościowej wyników obliczeń porównując teoretyczne wysokości opadów maksymalnych z wartościami uzyskanymi z pomiarów. W wyniku zastosowania autorskiej – usystematyzowanej i uogólnionej procedury ustalono łącznie zależności 24 modeli probabilistycznych (po 3 dla każdej stacji meteorologicznej), z najlepiej dopasowanych rozkładów prawdopodobieństwa (tab. 5.11, formuły 5.49–5.72). Następnie, dla 8 stacji meteorologicznych zlokalizowanych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry, zaproponowano 4 uogólnionych modele - reprezentujące obszary dorzecza o wspólnych cechach takich jak: podobne wysokości opadów maksymalnych, zbliżone położenie wysokościowe stacji (nad poziomem morza) oraz lokalizacja względem sąsiednich stacji (zależności 5.80–5.83, tab. 6.8). Próbę losową do konstrukcji uogólnionych modeli opadowych otrzymano poprzez uśrednienie wysokości opadów w 3 obszarach – zasięgu modeli: Model 1 – regionalny, zawierający uśrednione wysokości opadów z 8 stacji pomiarowych w dorzeczu, Modele 2.1 i 2.2 – zawierające uśrednione wartości opadów z 4 stacji położonych na obszarze nizinnym dorzecza (stacje IMGW-PIB: Opole, Wrocław, Legnica i Zielona Góra) oraz Model 3 – zawierający uśrednione wysokości opadów z 4 stacji położonych na obszarze podgórskim w południowej części dorzecza (stacje IMGW-PIB: Racibórz, Kłodzko, Jelenia Góra i Zgorzelec). Modele 2.1 i 2.2. różniły się formułą opisującą funkcję parametru skali w czasie. Model 1 oparto na zastosowanej wcześniej do konstrukcji modeli punktowych funkcji potęgowej, natomiast w Modelu 2 zastosowano funkcję ciągu wykładniczego drugiego stopnia. Wyniki obliczeń maksymalnych wysokości opadów z uogólnionych modeli odniesiono do modeli punktowych i rzeczywistych (zmierzonych) wysokości na

8 analizowanych stacjach. Końcowym etapem pracy było porównanie autorskich modeli dla Wrocławia i Legnicy z wcześniej opublikowanymi przez zespół badawczy Kotowskiego i Kaźmierczaka, a także z wynikami dla Zgorzelca/Görlitz pochodzącymi z atlasu opadowego KOSTRA DWD.

Korzystając z metody interpolacji (opartej na średniej ważonej odległości - *IDW*) i punktowych modeli probabilistycznych wysokości opadów (z 8 analizowanych stacji meteorologicznych IMGW-PIB) opracowano 12 przykładowych map zmienności przestrzennej modelowanych wysokości opadów maksymalnych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry, dla wybranych czasów trwania t i prawdopodobieństw przekroczenia p (częstości C).

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

1. Metodyka badawcza zaproponowana przez zespół prof. Kotowskiego w zakresie formułowania probabilistycznych modeli opadowych, po zaproponowanych w niniejszej pracy modyfikacjach, może mieć charakter uniwersalny.
2. Przyjęty 50-cio letni materiał badawczy jest wystarczający do wyodrębnienia niezbędnej liczby epizodów opadowych, stanowiących niezależną próbę losową, konieczną do opracowania modeli probabilistycznych opadów maksymalnych.
3. Zastosowanie metody największej wiarygodności do estymacji parametrów rozkładów prawdopodobieństwa umożliwia wstępną ocenę jakości ich dopasowania, poprzez analizę wartości logarytmu funkcji wiarygodności.
4. Opracowana, uogólniona procedura formułowania probabilistycznych modeli opadowych, która przewiduje ocenę jakościową oraz ilościową dopasowania badanych rozkładów prawdopodobieństwa do danych empirycznych - z wykorzystaniem testów statystycznych (λ -Kolmogorova i Andersona–Darlinga), kryteriów informacyjnych (*AIC*, *BIC* i *HQIC*), jak również kryteriów błędów (*MAPE* i *rRMSE*), wskazała na rozkłady *P3*, *EV3* i *GED* jako potencjalnie najlepsze do opisu danych pomiarowych wysokości opadów na obszarze Górnej i Środkowej Odry.
5. Analiza porównawcza wartości kryteriów informacyjnych oraz kryteriów błędów wykazała, że rozkłady *P3*, *EV3* i *GED* mogą być stosowane zamiennie, ze względu na relatywnie małe różnice pomiędzy modelowanymi wysokościami opadów.
6. Teoria wartości ekstremalnych (*EVT*), zgodnie z oczekiwaniami, znalazła zastosowanie w opisie danych maksymalnych wysokości opadów w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry. Jednym z najlepiej dopasowanych rozkładów okazał się rozkład Weibulla (*EV3*).
7. W procesie optymalizacji parametrów skali i położenia badanych rozkładów prawdopodobieństwa należy dopasowywać postać formuły wyrównującej te parametry w funkcji czasu trwania opadów (t), ponieważ zbyt ogólna postać zależności może powodować zaniżanie lub zawyżanie wyników w niektórych przedziałach czasu trwania i częstości (C) występowania opadów.
8. Dla badanego dorzecza, opracowane modele opadowe mają zróżnicowaną jakość dopasowania do opadów rzeczywistych - w różnych czasach trwania. W szczególności, modele oparte na rozkładach *GED* i *P3* dobrze opisują opady krótkotrwałe (do $t = 360$ min), a rozkład *EV3* - opady o dłuższych czasach trwania (od $t = 720$ min do $t = 4320$ min).

9. W dorzeczu Górnej i Środkowej Odry, z uwagi na wyraźne podobieństwa warunków fizjograficznych oraz charakterystyk meteorologicznych ośmiu analizowanych stacji pomiarowych IMGW-PIB, możliwe jest uogólnienie wyników lokalnych modeli opadowych dla całego dorzecza, w tym obszarów: nizinnego i podgórskiego.
10. Zaproponowane w pracy modele reprezentujące charakterystyczne obszary dorzecza Górnej i Środkowej Odry, w zależności od czasu trwania opadów i częstości występowania opisują opady empiryczne z poszczególnych stacji pomiarowych z dokładnością od 5% do 30% - najmniej dokładnie dla najdłuższych czasów trwania opadów i częstości występowania opadów. W szczególności stwierdzono, że dla stacji Jelenia Góra, Kłodzko, Zgorzelec i Opole, zaproponowany model obszarowy dawał przeważnie niższe wartości teoretyczne względem pomiarowych, w przeciwieństwie do modelu obszarowego dla stacji Wrocław, Legnica, Zielona Góra i Racibórz, gdzie modelowane wysokości opadów były wyższe od pomiarowych (co w tym przypadku daje wynik obliczeń leżący po tzw. bezpiecznej stronie).
11. Prace nad regionalnym uogólnieniem opadów maksymalnych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry powinny być kontynuowe - po niezbędnym zagęszczeniu liczby punktów pomiarowych (w wysokiej rozdzielczości), między innymi ze względu na pomijanie jak dotychczas obszarów górskich (np. w pracach Bogdanowicz i Stachy czy Kupczyk i Suligowskiego).

Zaprezentowane wnioski końcowe uzasadniają twierdzenie, że maksymalne wysokości opadów w dorzeczu Górnej i Środkowej można opisać właściwymi modelami probabilistycznymi, opracowanymi w oparciu o najlepiej dopasowane rozkłady prawdopodobieństwa *GED*, *EV3* i *P3*. Przedstawione w niniejszej pracy modele opadowe stanowią źródło wiarygodnej informacji w zastosowaniach inżynierskich, np. przy projektowaniu odwodnień terenów. Podjęte zagadnienia badawcze należy kontynuować zarówno w celach poznawczych jak i na potrzeby praktyki inżynierskiej.

8. LITERATURA

- AKAIKE H. (1974): A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automatic Control*. Vol. AC-19. s. 716–723.
- ALLEN P.A. (2000): *Procesy kształtujące powierzchnię Ziemi*, MAGNUSZEWSKI A. (red). Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Arbeitsblatt ATV-A118 (1999): *Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen*. GFA, Hennef.
- Arbeitsblatt ATV-A121 (1985): *Niederschlag - Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer Niederschlagsmessungen Auswertung*. GFA, Hennef.
- ASQUITH W.H., ROUSSEL M.C. (2004): *Atlas of Depth-Duration Frequency of Precipitation Annual Maxima for Texas*. Scientific Investigations Report 2004–5041. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- ATLAS DES PLUIES INTENSES (2000) INTERREG 2 1994–1999 (online http://www.risknat.org/projets/interreg2_hydrometeo/francese/home_fr.htm)
- Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego (1997). Uniwersytet Wrocławski, Pracownia Atlasu Dolnego Śląska, Wrocław.
- AY M., KISI O. (2015): Investigation of trend analysis of monthly total precipitation by an innovative method. *Theoretical and Applied Climatology*. 120(3), s. 617–629.
- BAC S., ROJEK M. (1999): *Meteorologia i klimatologia w inżynierii środowiska*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu.
- BAJKIEWICZ–GRABOWSKA E., MIKULSKI Z. (2007, 2013): *Hydrologia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- BALDASSARRE G. Di, CASTELLARIN A., BRATH A. (2006): Relationships between statistics of rainfall extremes and mean annual precipitation: an application for design-storm estimation in northern central Italy. *Hydrology Earth System Science*, Vol. 10, s. 589–601.
- BARTELS H., DIETZER B., MALITZ G., ALBRECHT F. M., GUTTENBERGER J.: *KOSTRA DWD-2000 Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951–2000)*, (2005) Offenbach.
- BEBŁOT G., HOŁDA I., RORBЕК K. (2008): *Opady o dużej wydajności w Katowicach w okresie 1962–2006*, [w:] *Ekstrema pogodowe w Polsce – obserwacje, pomiary, prognozy*, red. M. Maciejewski, M. Ostojki, IMGW, Warszawa, s. 7–22.
- BEN-ZVI A. (2009): Rainfall intensity–duration–frequency relationships derived from large partial duration series. *Journal of Hydrology*, Vol. 367, Issues 1–2, s. 104–114.
- BESKOWA S., CALDEIRAB T.L., ROGÉRIO DE MELLO C., FARIA L.C., GUEDES H. A. S. (2015): Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 4, s. 123–133.
- BEZAK N., BRILLY M., SRAJ M. (2014): Comparison between the peaks-over-threshold method and the annual maximum method for flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal* 59, vol. 5, s. 959–977.
- BINIĄK-PIERÓG M. (2017): *Monitoring opadu atmosferycznego i wilgotności gleby jako podstawa oceny efektywnego zasilania profilu glebowego w wodę*. Tom 207. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław.
- BINIĄK-PIERÓG M., KOSTRZEWA S., ŻYROMSKI A. (2008): Tendencje sum opadów dziennych i nocnych półrocza letniego jako wskaźnik zmian klimatycznych, *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus* Tom 7, Zeszyt 4, s. 31–40.
- BŁASZCZYK P. (1988): *Metody określenia natężeń przepływów ścieków opadowych miarodajnych do wymiarowania kanałów*, *Ochrona Środowiska* nr 9, zeszyt 3–4, s. 9–14.
- BŁASZCZYK W. (1954): *Spływy deszczowe w sieci kanalizacyjnej (Wytyczne do normatywu)*, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* nr 9, s. 262–271.
- BOGDANOWICZ E., STACHÝ J. (1997a): *System obliczania maksymalnych opadów prawdopodobnych w Polsce*. Cz. I., *Gospodarka Wodna* nr. 9, s. 274–279.

- BOGDANOWICZ E., STACHÝ J. (1997b): System obliczania maksymalnych opadów prawdopodobnych w Polsce. Cz. II., *Gospodarka Wodna* nr 10, s. 324–327.
- BOGDANOWICZ E., STACHÝ J. (1998): Maksymalne opady deszczu w Polsce. Charakterystyki projektowe. Materiały badawcze, Seria: *Hydrologia i Oceanologia*, nr 23. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- BRZEZIŃSKI J.: Własności losowe niejednorodnych genetycznie przepływów maksymalnych rocznych. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN. Monografia nr 29, Warszawa 2008.
- BUTLER D., DAVIES J.W. (2011): *Urban drainage*. Taylor & Francis Group, London, s. 652.
- BURSZTA-ADAMIAK E., LICZNAR P., ZALESKI J. (2019): Criteria for identifying maximum rainfalls determined by the peaks-over-threshold (POT) method under the Polish Atlas of Rainfalls Intensities (PANDa) project. *Meteorology Hydrology and Water Management*, vol. 7, nr 1, s. 3–13.
- BYCZKOWSKI A. (1999) : *Hydrologia*, Wydawnictwo SGGW, Tom I s. 416, Tom II s. 333.
- CANFIELD R. V., OLSEN D. R., HAWKINS R. H., CHEN T. L. (1980): Use of extreme value theory in estimating flood peaks from mixed populations. *Hydraulics and hydrology series*. Utah State University. Reports. Paper 577.
- CAREY-SMITH T., HENDERSON R., SINGH S. (2018): High Intensity Rainfall Design System. National Institute of Water & Atmospheric Research. Wellington.
- CEBULAK E., PYRC R. (2006): Metody opracowania zdarzeń ekstremalnych na przykładzie opadów atmosferycznych o natężeniu >100mm/dobę w dorzeczu górnej Wisły w XX i XXI w. [w:] *Zagrożenia środowiska naturalnymi zjawiskami ekstremalnymi*, red. M. Maciejewski, M. Ostojki, IMGW, Warszawa, s. 9–26.
- CHOMICZ K. (1951): Ulewy i deszcze nawalne w Polsce, *Wiadomości Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej* Tom II, zeszyt 4, s. 177–260.
- CHOMICZ K. (1952): Wzór na najwyższe opady w Polsce, *Gospodarka Wodna*, 8 (69), s. 289–293.
- CHOMICZ K. (1953): Normy opadowe dla potrzeb kanalizacji miast, *Gospodarka Wodna*, 10, s. 377–382.
- CIEPIEŁOWSKI A., DĄBKOWSKI S.L. (2006): Metody obliczeń przepływów maksymalnych w małych zlewniach rzecznych (z przykładami). *Oficyna Wydawnicza ProjPrzem-Eko*, Bydgoszcz, s. 311.
- CHOW V. T. (1953): Frequency analysis of hydrologic data with special application to rainfall intensities, University of Illinois at Urbana Champaign, College of Engineering, Engineering Experiment Station, Bulletin No. 414, s. 86.
- CHUDY Ł. (2002): Porozmawiajmy o deszczach nawalnych. *Gazeta Obserwatora* Rok LI, nr 5, IMGW, Warszawa, s. 24–25.
- COLES S. (2001): An introduction to statistical Modeling of Extreme Values. Springer Series in Statistics, Springer-Verlag, London, s. 219.
- CZAJA S., W. (2011): Powódzie w dorzeczu górnej Odry. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- CZARNECKA M., NIDZGORSKA-LENCEWICZ J. (2012): Wieloletnia zmienność sezonowa opadów w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Tom 12, Zeszyt 2 (38), s. 45–60.
- DANIELL T. M., TABIOS G.Q. (2008): Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF) Analysis for the Asia Pacific Region. Asia Pacific FRIEND, IHP-VII, Technical Documents in Hydrology nr 2, UNSECO, s. 110.
- DĄBROWSKI W. (2012): Jak nowa norma zmienia projektowanie kanalizacji? *Ochrona środowiska*, vol. 5, s. 24–29.
- DĘBSKI K. (1936): Roczne maksima odpływu, ich objętość i częstotliwość. *Gospodarka wodna*, nr 5.
- DĘBSKI K. (1954): Prawdopodobieństwo zjawisk hydrologicznych i meteorologicznych. *Metoda decylów*. PIHM Warszawa.
- DĘBSKI K., (1970), *Hydrologia*, Arkady, Warszawa.
- DOLŠAK D., BEZAK, N., ŠRAJ M. (2016): Temporal characteristics of rainfall events under three climate types in Slovenia. *Journal of Hydrology*, 541, s. 1395–1405.

- DREßLER D., SCHARMANN L., HILLE R., GORIS A., WEINER S., HEILAND P. (2018): Online survey on heavy rain risk management in pilot / partner regions. (dostęp online 15.01.2019 r. <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/WP-4-Online-Survey-on-Heavy-Rain-Risk-Management.pdf>)
- DUBICKI A., SŁOTA H., ZIELIŃSKI J. (1999): Dorzecze Odry: monografia powodzi lipiec 1997. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- DUBICKI A. (2001): Katastrofalne opady deszczu w wybranych obszarach Sudetów i ich przedpolu [w:] Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych, red. Jaworski J., Szkutnicki J., Polskie Towarzystwo Geofizyczne, IMGW, Warszawa, s.77–91.
- DUBICKI A. (red.) (2002): Zasoby Wodne w dorzeczu górnej i środkowej Odry w warunkach suszy, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Warszawa.
- DUBICKI A., MALINOWSKA-MAŁEK J. (2005): Opady nawalne i ich skutki w dorzeczu środkowej Odry na Przełomie XX i XXI wieku [w:] Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne red. Bogdanowicz E., Kossowska-Cezak U., Szkutnicki J., Polskie Towarzystwo Geofizyczne, IMGW, Warszawa, s. 102–121.
- DUBICKA M. (1991): Opady atmosferyczne we Wrocławiu i ich związek z cyrkulacją atmosfery, Acta Universitas Wratislaviensis, 1237, Prace Instytutu Geografii., seria A, s. 265–274.
- DUBICKA M., DUBICKI A., SZYMANOWSKI M. (2002): Klimat Wrocławia [w:] Środowisko Wrocławia, Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju, Wrocław, s. 9–26.
- DUMIĘŃSKI G., LISOWSKA A., TIUKAŁO A. (2019): Zagrożenia klimatyczne 44 miast w Polsce na podstawie miejskich planów adaptacji do zmian klimatu [w:] Współczesne problemy klimatu Polski, red. Chojnacka-Ożga L., Lorenc H., Polskie Towarzystwo Geofizyczne, IMGW-PIB, Warszawa, s. 189–201.
- Dyrektywa 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego Unii Europejskiej z dnia 14 marca 2007 r. w sprawie danych przestrzennych (INSPIRE).
- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego Unii Europejskiej z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim.
- EAGLESON P.S. (1978): Hydrologia Dynamiczna, PWN, Warszawa, s. 189–241.
- EDEL R. (2010): Odwodnienie dróg, Wydawnictw komunikacji i łączności. Warszawa.
- FAL B. (1987): Maksymalne opady dobowe [w:] Atlas hydrologiczny Polski, red. Stachy A., Wydawnictwo geologiczne Warszawa.
- FAŁDZIŃSKI M. (2014): Teoria wartości ekstremalnych w ekonometrii finansowej. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- FAWCETT L., WALSHAW D. (2012): Estimating return levels from serially dependent extremes. *Environmetrics* 23 (3), s. 272–283.
- FILIPIAK J. (2001): Problem dokładności serii opadowych w aspekcie instalacji cyfrowych deszczomierzy rejestrujących, *Annales UMCS, Sec. B, vol. LV/LVI*, s. 145–152.
- GAO J., CAO Y., TUNG W., HU J. (2007): Multiscale analysis of complex time series: Integration of chaos and random fractal theory, and beyond, Wiley, New Jersey.
- GAŚSIÓREK E., MUSIAŁ E. (2011): Porównanie i klasyfikacja warunków opadowych na podstawie wskaźnika standaryzowanego opadu i wskaźnika względnego opadu. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Tom 11, Zeszyt 4 (36)*, s. 107–119.
- GEORGAKAKOS, K.P., GRAHAM, R., JUBACH, R., MODRICK, T.M., SHAMIR, E., SPENCER, C., SPERFSLAGE, J.A. (2013): Global Flash Flood Guidance System, Phase I. Hydrologic Research Center Technical Report No. 9. s. 120.
- GEORGE R., THOBIAS S. (2017): Marshall-Olkin Kumaraswamy Distribution. *International Mathematical Forum, Vol. 12, no. 2*, s. 47–69.
- GILLELAND E, KATZ R (2011). “New Software to Analyze How Extremes Change Over Time.” *Eos, Transactions American Geophysical Union, Tom 92, Zeszyt 2*, s. 13–14.
- GILLELAND E., KATZ R. (2016): extRemes 2.0: An Extreme Value Analysis Package in R, *Journal of Statistical Software, Tom 72, Zeszyt 8*, s. 39.

- GŁOWICKI B. (1993): Opady atmosferyczne na obszarze dorzecza Środkowej Odry w świetle norm klimatycznych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Inżynieria środowiska III, nr 232, s.39–46.
- GŁOWICKI B., DANCEWICZ A., OTOP I. (2006): Katalog maksymalnych opadów dobowych w Polsce południowo-zachodniej w latach 1971–2000. [w:] Współczesne problemy klimatu Polski – fakty i niepewności. Seria: Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa. s. 7–22.
- GOEL N. K., SARKAR S. (2007): Regional Rainfall intensity – duration – frequency relationship. Design Flood Analyses for Hydropower Projects, Roorkee, s. 13.
- GUMBEL E.J. (1954): Statistical theory of extreme values and some practical applications, National Bureau of Standards, Applied Mathematics Series 33.
- GUPTA R.D., KUNDU D. (1999): Generalized exponential distributions. Australian and Newzealand Journal of Statistics, vol. 41, s. 173–188.
- GUPTA R.D., KUNDU D. (2000): Generalized exponential distribution: different method of estimations. Journal of Statistics Computation and Simulation., s. 1–22.
- GUPTA R.D., KUNDU D. (2007): Generalized exponential distribution: existing results and some recent developments. Journal of Statistical Planning and Inference, vol. 137, s. 3537–3547.
- GREENWOOD J.A., LANDWERH J.M., MATALAS N.C., WALLIS J.R. (1979): Probability weighted moments: Definition and relation to parameters of distribution expressible in inverse form. Water Resources Res., 15(5), s. 1049–1054.
- GRZEBINOĞA M., WAŁĘGA A., KRZANOWSKI A., CUPAK A. (2010): Zastosowanie wybranych rozkładów do oszacowania kwantyli przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia, [W:] Hydrologia w inżynierii i Gospodarce Wodnej, t. 1, Redakcja prof. Beniamin Więzik, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 68, s. 111–120.
- de HAAN L., FERREIRA A.F. (2006): Extreme Value Theory. An Introduction. Mathematics Probability Theory and Stochastic Processes. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering.
- HANNAN E.J., QUIN, G.G. (1979): The determination of the order of an autoregression. Journal Royal Statistical Society. B, 41, s. 190–195.
- HELSEL, D.R., HIRSCH, R.M. (2002): Statistical Methods in Water Resources. US Geological Survey. Reston.
- HEBDA-MAŁOCHA A. (2007): Badanie wpływu fizjograficznych zlewni i synoptycznych na przestrzenny rozkład opadu. Czasopismo techniczne, Zeszyt 2-Ś, s. 113–121.
- HERSHFIELD D. (1961): Rainfall Frequency Atlas of the United States for Duration from 30 minutes to 24 hours and Return Periods from 1 to 100 years, Technical Paper No. 40, Engineering Division, Soil Conservation Service, U. S. Department of Agriculture, Washington.
- HONGJOON, S., YOUNGHUN, J., CHANGSAM, J., JUN-HAENG, H. (2012): Assessment of modified Anderson–Darling test statistics for the generalized extreme value and generalized logistic distributions. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 26(1), s. 105–114.
- HO M.K., YUSOF F. (2013): Determination of Best-fit Distribution and Rainfall Events in Damansara and Kelantan, Malaysia. MATEMATIKA, Volume 29, Number 1b, s. 43–52.
- HOSKING J.R.M. (1990): L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. Journal Royal statistical Society b, 52(2), s. 105–124.
- HOSKING J.R.M., WALLIS J.R. (1997): Regional frequency analysis. Approach based on L-moments. Cambridge University Press.
- HOUNKPÈ J. DIEKKRÜGER B., BADOU D.F., AFOUDA A., A. (2016): Change in Heavy Rainfall Characteristics over the Ouémé River Basin, Benin Republic, West Africa, Climate, Tom 4, Zeszyt 15, s. 23.
- IMHOFF K., IMHOFF K.R. (1996): Kanalizacja miast I oczyszczanie ścieków. Poradnik. Wydawnictwo Projprzem-EKO, Bydgoszcz.
- JAKOB D., TAYLOR B.F., XUEREK K.C. (2005): A Pilot Study to Explore Methods for Deriving Design Rainfalls for Australia – Part 1, HRS No. 10, Hydrometeorological Advisory Service, Bureau of Meteorology, s. 59.

- JELONEK L., WRZESZCZ L., ZAWIŚLAK J., WALTHER P., WINKLER U., WORTHA S., SREJBER J., PETR J. (2010): Hochwasser im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße, 7-10 August, Polnisch-Deutsch-Tschechische Expertengruppe, Wrocław-Prague-Dresden.
- JHA K. A., BLOCH R., LAMOND J. (2012): Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. The World Bank. Retrieved from CAKE. Washington.
- JOKIEL P. (red.) (2015): Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- JOKIEL P., MARSZELEWSKI W., POCIASK-KARTECZKA J. (2017): Hydrologia Polski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- JUNG C., SCHINDLER D. (2019): Precipitation Atlas for Germany (GePrA). Atmosphere 10, 737, s. 1–15.
- KACZMAREK Z. (1960a): Przedział ufności jako miara dokładności oszacowania prawdopodobnych przepływów powodziowych. Wiadomości Służby Hydrologicznej VII, nr 4.
- KACZMAREK Z. (1960b): O prognozowaniu zjawisk losowych. Przegląd geofizyczny V, nr 3.
- KACZMAREK Z. (1970): Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii. Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny, Seria Instrukcje i Podręczniki nr 78. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- KACZOROWSKA Z. (1962): Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Prace Geograficzne IG PAN, Tom. 33, s. 1–102.
- KASZEWSKI B.M., SIWEK K. (2005): Dobowe sumy opadu atmosferycznego ≥ 50 mm w dorzeczu wieprza i ich uwarunkowania cyrkulacyjne (1951-2000). [w:] Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne, red. Bogdanowicz E., Kossowska-Cezak u., Szkutnicki J., PTG, IMGW, Warszawa, s. 122–131.
- KATZ R., PARLANGE M., NAVEAU P. (2002): Statistics of Extremes in Hydrology. Advances in Water Resources, Tom 25, s. 1287–1304.
- KAŹMIERCZAK B. (2011): Wrocławskie modele opadów deszczowych. Nowe trendy w naukach przyrodniczych. T. 3. Kraków: Creativetime, s. 60–66.
- KAŹMIERCZAK B. (2012): Metoda granicznych natężeń a wymagania europejskiej normy PN-EN 752. Forum Eksploatatora, nr 2, s. 64–67.
- KAŹMIERCZAK B. (2019): Prognozy zmian maksymalnych wysokości opadów deszczowych we Wrocławiu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- KAŹMIERCZAK B., KOTOWSKI A. (2012): Depth-duration-frequency rainfall model for dimensioning and modelling of Wrocław drainage systems. Environment Protection Engineering. 38(4), s. 127–138.
- KAŹMIERCZAK B., KOTOWSKI A. (2013): Trendy zmian wysokości i intensywności opadów maksymalnych do modelowania kanalizacji we Wrocławiu. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr. 5, s. 193–196.
- KAŹMIERCZAK B., KOTOWSKI A. (2014): The influence of precipitation intensity growth on the urban drainage systems designing. Theoretical and Applied Climatology. 118 (1–2), s. 285–296.
- KAŹMIERCZAK B., KOTOWSKI A. (2015): The suitability assessment of a generalized exponential distribution for the description of maximum precipitation amounts. Journal of Hydrology 525 s. 345–351.
- KAŹMIERCZAK B., KOTOWSKI A., WDOWIKOWSKI M. (2014): Analiza tendencji rocznych i sezonowych zmian wysokości opadów atmosferycznych w dorzeczu Górnej Odry. Ochrona Środowiska Vol. 36 nr 3, Wrocław s. 49–54.
- KAŹMIERCZAK B., NOWAKOWSKA M., KOTOWSKI A. (2012): O prognozowaniu wysokości opadów krótkotrwałych do wymiarowania kanalizacji we Wrocławiu. Polska Inżynieria Środowiska: prace T. 2. Lublin: Komitet Inżynierii Środowiska PAN, s. 211–219.
- KAŹMIERCZAK B., WARTALSKA K., WDOWIKOWSKI M., KOTOWSKI A. (2017): The analysis of the possibility of using 10-minute rainfall series to determine the maximum rainfall amount with 5 minutes duration. EDP Sciences, 2017. nr. 00079, s. 1–9.
- KAŹMIERCZAK B., WARTALSKA K. (2019): Changes in maximum rainfall amounts in Wrocław (Poland). International Journal of Environmental Science and Development, vol. 10, nr 11, s. 368–372.

- KAŹMIERCZAK B., WADOWIKOWSKI M. (2016): Maximum rainfall model based on archival pluviographic records - case study for Legnica (Poland). *Periodica Polytechnica. Civil Engineering* vol. 60, nr 2, s. 305–312.
- KIM D, ZHANG J. (2011): Differential Ability of Annual Maximum Series and Peaks-Over-Threshold Series to Detect Trend in Extreme Daily Rainfall - A Simulation Approach. 9th Conference on Applied Climatology, 17-21 July, Asheville, USA.
- KLONECKI W. (1999): *Statystyka dla Inżynierów*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- KONDRACKI J. (2001): *Geografia regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- KONISHI S., KITAGAWA G. (2008): *Information Criteria and Statistical Modeling*. Springer Science.
- KOSSOWSKA-CEZAK U. (2001): Miesięczne i sezonowe anomalie temperatury i opadów – metody wyznaczania i częstość występowania. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska (UMCS), Sectio. B*, 56 s. 189–194.
- KOSSOWSKA-CEZAK U. (2016): Ekstremalne maksimum czyli arogancja ignorancji. *Przegląd Geofizyczny, Rocznik LXI, Zeszyt 1–2, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Komitet Geofizyki PAN, Warszawa*, s. 109–115.
- KOTOWSKI A. (2011a): Analiza metodologii modelowania opadów do wymiarowania kanalizacji, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 58 (2), 127–146.
- KOTOWSKI A. (2011b): Fizykalne modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 58 (2), 147–166.
- KOTOWSKI A. (2011c): O konieczności ujednoczenia zasad tworzenia modeli opadów miarodajnych do wymiarowania kanalizacji w Polsce, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 85 (7/8), 260–266.
- KOTOWSKI A. (2011d): Metodyczne podstawy formułowania modeli opadów miarodajnych do wymiarowania kanalizacji. *Przegląd geofizyczny, rocznik LVI, zeszyt 1–2*, s. 45–67.
- KOTOWSKI A. (2011e): *Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa, s. 17–272.
- KOTOWSKI A. (2015): *Podstawy bezpiecznego projektowania odwodnień terenów. Tom I. Sieci Kanalizacyjne*. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa.
- KOTOWSKI A., DANCEWICZ A., KAŹMIERCZAK B. (2010): Czasowo-przestrzenne zróżnicowanie opadów atmosferycznych we Wrocławiu. *Ochrona Środowiska*, vol. 32, nr 4, s. 37–46.
- KOTOWSKI A., KAŹMIERCZAK B. (2009): Ocena przydatności dotychczasowych wzorów na natężenie opadów deszczowych do projektowania odwodnień terenów w Polsce. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, t. 83, nr 11, s. 11–17.
- KOTOWSKI A., KAŹMIERCZAK B. (2010): Probabilistyczne modele opadów miarodajnych do projektowania i weryfikacji częstości wylewów z kanalizacji we Wrocławiu. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. t. 84, nr 6, s. 13–19.
- KOTOWSKI A., KAŹMIERCZAK B. (2012): Weryfikacja uogólnionego rozkładu wykładniczego do modelowania opadów deszczowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. t. 86, nr 11, s. 490–494.
- KOTOWSKI A., KAŹMIERCZAK B. (2013): Probabilistic models of maximum precipitation for designing sewerage. *Journal of Hydrometeorology*. 14(6), s. 1958–1965.
- KOTOWSKI A., KAŹMIERCZAK B. (2019): Zalecenia metodyczne do obliczeń projektowych kanalizacji rozdzielczej. *Technologia Wody XI, zeszyt 1(63)*, s. 36–45.
- KOTOWSKI A., KAŹMIERCZAK B., DANCEWICZ A. (2010): *Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji*. Wyd. Komitetu Inżynierii Ładowej i Wodnej PAN. Monografia nr 68, Warszawa.
- KOTOWSKI A., KAŹMIERCZAK B., DANCEWICZ A. (2011): Bezpieczne wymiarowanie kanalizacji na podstawie lokalnych modeli opadów. *Czasopismo Techniczne. Środowisko* 108, zeszyt 1-Ś, s. 85–99.
- KOTOWSKI A., KAŹMIERCZAK B., LICZJAR P. (2018): Wybrane problemy projektowania i modelowania odwodnień terenów. *Instal, Warszawa*, nr 5, s. 39–44.
- KOUTSOYIANNIS D., KOZONIS D., MANETAS A. (1998): A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships, *Journal of Hydrology* 206, s. 118–135.

- KOŻUCHOWSKI K. (1996): Współczesne zmiany klimatyczne w Polsce na tle zmian globalnych, *Przegląd geograficzny*, 68, 1–2, s. 79–98.
- KRASOWSKI W., TOKARCZYK T. (2017): Susza hydrologiczna 2015-2016 w Polsce na tle wielolecia, *Gospodarka Wodna*. t. 9, s. 277–284.
- KRĘŻAŁEK K., SZYMCZAK T., BĄK B. (2013): Maksymalne roczne sumy dobowe opadów o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia na obszarze środkowej Polski na podstawie danych z wielolecia 1966–2010. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie (X–XII)*. tom 13, zeszyt 4 (44), Falenty, s. 77–90.
- KRÓLIKOWSKA J., KRÓLIKOWSKI A. (2012): Wody opadowe: odprowadzanie, zagospodarowanie podczyszczanie i wykorzystywanie, Seidel–Przywecki, Józefosław.
- KRYSICKI W., BARTOS J., DYSKA W., KRÓLIKOWSKA K., WASILEWSKI M.: *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach (cz. 2)*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- KUCHAR L., IWAŃSKI S., JELONEK L., SZALIŃSKA W. (2014): A modeling framework to assess the impact of climate change in river runoff. *Meteorology, Hydrology and Water Management, Research and Operational Applications*. 2(2), s. 49–63.
- KUNDZEWICZ Z. (2011): Zmiany Klimatu ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje. *Landform Analysis*, vol. 15, s. 39–49.
- KUPCZYK E., SULIGOWSKI R. (1997): Statystyczny opis struktury czasowej opadów atmosferycznych jako elementu wejścia do modeli hydrologicznych, [w:] *Przyroda i woda – wyzwanie dla inżynierii*, U. Soczyńska (red.), Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Warszawa, s. 21–86.
- KUPCZYK E., SULIGOWSKI R. (2011): Typy opadów deszczu w terminologii hydrologicznej. *Przegląd Geofizyczny Zeszyt 3–4*, s. 235–245.
- KWIETNIEWSKI M., RAK J. (2010): *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce*. Wydawnictwo Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN. Studia z zakresu Inżynierii nr 76.
- KYSELY J., GAAL L., PICEK J., SCHINDLER J. (2013): Return periods of the August 2010 heavy precipitation in northern Bohemia (Czech Republic) in present climate and under climate change, *Journal of Water and Climate Change*, vol. 4, no. 3, s. 265–286
- LAIO F. (2004): Cramer--von Mises and Anderson-Darling goodness of fit tests for extreme value distributions with unknown parameters. *Water Resources Research* 40(9), s. 1–10.
- LAIO F., DI BALDASSARRE G., MONTANARI A. (2009): Model selection techniques for the frequency analysis of hydrological extremes. *Water Resources Research* 45(7).
- LAMBOR J. (1953): Obliczenie prawdopodobieństwa pojawienia się deszczów nawalnych w Polsce, *Gospodarka Wodna* nr 12, s. 456–457
- LAMBOR J. (1971): *Hydrologia inżynierska*, Wydawnictwo Naukowe Arkady, Warszawa.
- LANDERINK G., MEIJGAARD E. (2008): Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geosciences*, nr. 1, s. 511–514.
- LANG M., OUARDA T.B.M.J., BOBÉE B. (1999): Towards operational guidelines for over-threshold mode-ling, *Journal of Hydrology* 225, s. 103–117.
- LARSEN A.N., GREGORSEN I.B., CHRISTENSEN O.B., LINDE J.J., MIKKELSEN P.S.: Potential future increase in extreme one-hour precipitation events over Europe due to climate change. *Water Science Technology* 2009, vol. 60, s. 2205–2216.
- LEDVINKA, O., LAMACOVA, A. (2015): Detection of field significant long-term monotonic trends in spring yields. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 29(5), s. 1463–1484.
- LEE S. H., MAENG S. J. (2003): Frequency analysis of extreme rainfall using L-moment. *Irrigation and Drainage* 52, s. 219–230.
- LICZNAR P. (2009a): Generatory syntetycznych szeregów opadowych do modelowania sieci kanalizacji deszczowych i ogólnospławnych. *Monografie Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*.
- LICZNAR P. (2009b): Potrzeba wykorzystania syntetycznych danych opadowych dla modelowania sieci kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* nr 6, s. 19–24.

- LICZNAR P. (2016): Recepja europejskiej normy kanalizacyjnej PN EN-752 w Polsce, *Technologia Wody*, nr 3(47), s. 61–65.
- LICZNAR P. (2018): Analiza opadów atmosferycznych na potrzeby projektowania systemów odwodnienia. Monografie - Polska Akademia Nauk. Komitet Inżynierii Środowiska; nr 137, Warszawa.
- LICZNAR P., BURSZTA-ADAMIAK E., KOTOWSKI A., SIEKANOWICZ-GROCHOWINA K., OKTAWIEC, M. (2018a): Empiryczna weryfikacja modelu Bogdanowicz-Stachý do obliczania wartości natężenia deszczu miarodajnego. *Ochrona Środowiska*, vol. 40, nr 3, s. 21–28.
- LICZNAR P., ŁOMOTOWSKI J. (2005a): Analiza średnich natężeń deszczów miarodajnych we Wrocławiu, *Ochrona Środowiska* nr 27, zeszyt 1, s. 29–34.
- LICZNAR P., ŁOMOTOWSKI J. (2005b): Analiza chwilowych natężeń deszczów miarodajnych we Wrocławiu, *Ochrona Środowiska* nr 27, zeszyt 2, s. 25–28.
- LICZNAR P., SIEKANOWICZ-GROCHOWINA K., MIELCZAREK S. (2015): Zróznicowanie natężeń deszczów miarodajnych w Polsce, *Instal* 7–8, s. 58–65.
- LICZNAR P., SIEKANOWICZ-GROCHOWINA K., OKTAWIEC M., KOTOWSKI A., BURSZTA-ADAMIAK E. (2018b) Empiryczna weryfikacja formuły Błaszczyka do obliczania wartości natężenia deszczu miarodajnego. *Ochrona Środowiska*, Vol. 40, nr 2, s. 17–22.
- LIMANÓWKA D., CEBULAK E., PYRC R., KILAR P., KAŃKA M., CICHOCKI J., OTOP I.: Regiony opadowe w Polsce. Materiały Badawcze - Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Seria Meteorologia, Warszawa 2010 s. 48.
- LORENC H (red.) (2005).: Atlas klimatu Polski. Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- LORENC H., OLECKA A. (2006): Tendencje występowania opadów o dużym natężeniu w Polsce [w:] *Współczesne problemy klimatu Polski – fakty i niepewności*, IMGW, Warszawa, s. 23–36.
- LORENC H., CEBULAK E., GŁOWICKI B., KOWALEWSKI M. (2012): Struktura występowania intensywnych opadów deszczu powodujących zagrożenie dla społeczeństwa, środowiska i gospodarki Polski. W: H. Lorenc (red.) *Kłęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*. IMGW-PIB, Warszawa, s 7–32.
- LUNG C.H. (2016): Statistical Models for daily rainfall data. A case study in Selangor, Malaysia. A dissertation submitted to the Department of Mathematical and Actuarial Sciences, Lee Kong Chian Faculty of Engineering and Science, Universiti Tunku Abdul Rahman. India.
- ŁUPIKASZA E. (2013): Typy genetyczne opadów ekstremalnych w Europie (1951-2008). *Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego* nr 81. Katowice.
- ŁUPIKASZA E. (2016): *The Climatology of Air-Mass and Frontal Extreme Precipitation. Study of meteorological data in Europe*. Springer Atmospheric Series, Springer International Publishing, Switzerland.
- MACIEJEWSKI M., OSTOJSKI M.S., TOKARCZYK T. (red.) (2011): *Dorzecze Odry monografia powodzi 2010*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- MADSEN H., MIKKELSEN P.S., ROSBJERG D., HARREMOS P. (1998): Estimation of regional intensity-duration-frequency curves for extreme precipitation. *Water Science and Technology* 37, vol. 11, s. 29–36.
- MADSEN H., RASMUSSEN P.F., ROSBJERG D. (1997): Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events. 1. At-site modeling, *Water Resources Research*, 33 (4), s. 747–757.
- MAIDEMENT D. R. (1993): *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill Education, London.
- MAITY R. (2018): *Statistical Methods in Hydrology and Hydroclimatology*. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering. Springer Nature Singapore, Singapore.
- MAJEWSKI G, PRZEWOŹNICZUK W., KLENIEWSKA M. (2010): Warunki opadowe na stacji meteorologicznej Ursynów SGGW w latach 1960–2009, *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* nr 2 (48), s. 3–22.
- MALITZ G., ERTEL H. (2015): *KOSTRA-DWD-2010 Starkniederschlagshöhen für Deutschland (Bezugszeitraum 1951 bis 2010) – Abschlussbericht*, Deutscher Wetterdienst – Hydrometeorologie, Offenbach am Main.

- MARKIEWICZ I, STRUPCZEWSKI W.G., BOGDANOWICZ E, KOCHANEK K. (2015): Generalized Exponential Distribution in Flood Frequency Analysis for Polish Rivers. *Plos One* 10(12), s. 1–26.
- Materiały Archiwalne IMGW-PIB (paski Ppluwiograficzne z lat 1961-2010 dla stacji Wrocław, Legnica, Zgorzelec, Zielona Góra, Racibórz, Opole, Kłodzko, Jelenia Góra; Biuletyny meteorologiczne)
- MATUSZKO D., NOWAK R. (2017): Porównanie wyników pomiarów meteorologicznych wykonanych przyrządami tradycyjnymi i automatycznymi (na przykładzie danych z Krakowa). *Annales UMCS, Sec. B*, vol. LXXII, zeszyt 1, s. 73–89.
- MAZURKIEWICZ K. (2016): Wyznaczenie charakterystyki opadu obliczeniowego dla potrzeb modelowania odpływu ze zlewni miejskiej. Maszynopis pracy doktorskiej. Politechnika Poznańska.
- MAZURKIEWICZ K., SOWIŃSKI M. (2014): Wyznaczenie opadów deszczu statystycznie niezależnych na podstawie danych pomiarowych. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, tom XXXI, zeszyt 61, nr 1, s. 149–161.
- MIGOŃ P. (red.) (2010): Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki. *Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego*, Wrocław.
- MILLER I.F., FREDERICK R.H., TRACCY R.I. (1973): *Precipitation – Frequency Atlas of the Western United States*. [w:] NOAA Atlas 2. Silver Spring.
- MITOSEK H.T. (2003): *Problemy hydrologii stochastycznej*. Wydawnictwo Akademii Świętokrzyskiej, Kielce.
- MITOSEK H.T. (2009): *Metody statystyczne w hydrologii*. Wydawnictwo Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego.
- MOROZOWSKA I. (1975): Opady o natężeniu ≥ 50 mm/dobę w Polsce w latach 1961–1970, *Przegląd Geofizyczny* 20(2), s. 329–335.
- MPHP 2010 – elektroniczny zasób hydrograficznego podziału Polski. IMGW-PIB.
- MROWIEC M. (2009): Efektywne wymiarowanie i dynamiczna regulacja kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej.
- MROWIEC M. (2014): Wpływ nierównomierności przestrzennej opadów na obliczanie pojemności kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych. *Gaz Woda i Technika Sanitarna* nr 7, Wydawnictwo Sigma-Not, Warszawa, s. 259–263.
- MRUGAŁA S. (2001): Opady atmosferyczne o normalnej i anomalnej wysokości na obszarze Polski (1951–1990), *Rozprawa habilitacyjna*. Wydawnictwo UMCS.
- NAMYSŁOWKA-WILCZYŃSKA B. (2006): *Geostatyka. Teoria i zastosowania*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- National Environmental Research Council (1975): *Flood studies report, Vol.-1, Hydrologic studies*, London.
- NIEMCZYNOWICZ J. (1982): Areal intensity-duration-frequency curves for short term rainfall events, *Nordic Hydrology* 13, vol. 4, s. 194–204.
- NIEDŹWIEDŹ T. (1981): Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu dorzecza górnej Wisły. *Rozprawy habilitacyjne Uniwersytetu Jagiellońskiego* 58.
- NIEDŹWIEDŹ T. (1989): Heavy Rainfalls in Cracow. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne* nr. 75, s. 11–22.
- NIEDŹWIEDŹ T., ŁUPIKASZA E., PIŃSKWAR I., KUNDEWICZ Z.W., STOFFEL M., MAŁARZEWSKI Ł. (2015): Climatological background of floods at the northern foothills of the Tatra Mountains. *Theoretical and Applied Climatology* vol. 119 (1), s. 273–284.
- NOAA ATLAS 14 (2015) (online: <http://www.nws.noaa.gov/oh/hdsc/currentpf.htm>)
- NOWAKOWSKA M. (2016): Identyfikacja parametrów hydrologicznych i hydraulicznych zlewni miejskiej w modelowaniu hydrodynamicznym SWMM. Maszynopis pracy doktorskiej. Politechnika Wroclawska.
- NOWAKOWSKA M., KOTOWSKI A. (2017): *Metodyka i zasady modelowania odwodnień terenów zurbanizowanych*. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej.

- OLECHNOWICZ-BOBROWSKA B. (1970): Częstość dni z opadem w Polsce. *Prace Geogr. IG PAN*, 86, s. 1–75.
- OLECHNOWICZ-BOBROWSKA B., SKOWERA B., WOJKOWSKI J., ZIERNICKA-WOJTASZEK A. (2005): Warunki opadowe na stacji Agrometeorologicznej w Garlicy Murowanej. *Acta Agrophysica*, 6(2), s. 455–463.
- ONYUTHA C. (2012): Statistical modelling of FDC and return periods to characterise QDF and design threshold of hydrological extremes. *Journal of Urban and Environmental Engineering* 6, vol. 2, s. 132–148.
- OTOP I (2004): Maksymalne dobowe opady atmosferyczne w Karkonoszach w drugiej połowie XX wieku. [w:] ŚTURSA J., MAZURSKI K. R., PALUCKI A. & POTOCKA J. (red.), *Geoekologicke problémy Krkonoš. Sborn. Mez. Věd. Konf., Listopad 2003. Opera Corcontica*, 41, s. 25–29.
- OTOP I. (2008): Tendencje wieloletniej zmienności opadów atmosferycznych w dorzeczu środkowej Odry w aspekcie potrzeb opadowych roślin uprawnych. *Maszynopis rozprawy doktorskiej. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.*
- OZGA-ZIELIŃSKA M., BRZEZIŃSKI J. (1997): *Hydrologia stosowana*. Wyd. II. PWN, Warszawa.
- OZGA-ZIELIŃSKA M., BRZEZIŃSKI J. OZGA-ZIELIŃSKI B. (1999): *Zasady określania największych przepływów rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia., przy projektowaniu obiektów budownictwa hydrotechnicznego. Dłgie ciągi pomiarowe przepływów. Materiały badawcze 27. IMGW, Warszawa.*
- OZONUR D., GOKPINAR E., GOKPINAR F., BAYRAK H., GUL H.H. (2013): Comparisons of the goodness of fit tests for the geometric distribution. *Gazi University Journal of Science*, 26(3), s. 369–375.
- OVEREEM A., BUIHAND A., HOLLEMAN I. (2008): Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties. *Journal of Hydrology*, vol. 348, s. 124–134.
- PASZYŃSKI J. (1955): *Opady atmosferyczne dorzecza Odry i ich związek z hipsometrią i zalesieniem. Prace Geograficzne Polskiej Akademii Nauk, Warszawa.*
- PEYRON N., NGUYEN V.T.V., RIVARD G. (2002): An Optimal design storm pattern for urban runoff estimation in southern Quebec. *Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering. Montreal, Canada*, s.1–10.
- PIŃSKWAR I. (2010): *Projekcje zmian w ekstremach opadowych w Polsce, Warszawa, Wyd. Komitet Gospodarki Wodnej PAN, Monografia nr 32.*
- PN-EN 752:2008 i EN 752:2017 *Drain and Sewer Systems Outside Buildings – Sewer System Management, Comite Europeen de Normalisation.*
- POMIANOWSKI K. (1913): Obliczenie wód burzowych w małych dorzeczach, *Przegląd Techniczny*, LI (34), 445–448, (36), 469–472, (37), 481–483.
- POMIANOWSKI K. (1918): *Kanalizacja miasta. Zagadnienia Techniczne Odbudowy Kraju nr 12. Księgarnia Polska Bernarda Połonieckiego, Lwów.*
- POMIANOWSKI K. (1929): *Związek między czasem trwania a natężeniem opadów deszczowych oraz długością okresu obserwacji. Pamiętnik I Polskiego Zjazdu Hydrotechnicznego. Warszawa.*
- POCHWAT K., SŁYŚ D., DZIOPAK J. (2013): Analiza opadów na potrzeby wymiarowania sieci i zbiorników retencyjnych w kanalizacji. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 7*, s. 269–272.
- POWELL D.N., KHAN A.A., AZIZ N.M., RAIFORD J.P. (2007): Dimensionless rainfall patterns for South Carolina. *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 12, nr 1, s. 130–133.
- PROKOP P. (2006): Maksymalne opady oraz czas ich trwania na świecie i w Polsce. *Przegląd Geofizyczny* 51, Zeszyt 2, s. 147–160.
- PROKOP P. (2007): Maksymalne opady w funkcji czasu trwania obserwowane w Polsce, [w:] red. A. Kostrzewski, J. Szpikowski, *Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych. 4. Procesy ekstremalne w środowisku geograficznym. Praca zbiorowa, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań*, s. 189–196.
- PRUCHNICKI J. (1987): *Metody opracowań klimatologicznych. PWN, Warszawa.*
- RADCZUK L. (2008): *Modelowanie procesów hydrologicznych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry. Współczesne Problemy Inżynierii Środowiska. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Wrocław.*

- ROJEK M., ŻYROMSKI A. (2004): *Agrometeorologia i klimatologia*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław.
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz. U. nr 43 poz. 430.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 października 2016 r. w sprawie przyjęcia Planu zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszaru dorzecza Odry. Dz. U. z dnia 1 grudnia 2016 r. (poz. 1938).
- RÓŻAŃSKI A. (1929): *Oznaczenie przepływu wielkiej wody w potokach*. Pamiętnik I Polskiego Zjazdu Hydrotechnicznego. Warszawa.
- RUTKOWSKA A., BANASIK K. (2014): Parametr kształtu rozkładów GEV i GP przepływów maksymalnych rocznych oraz powyżej progu odcięcia – analiza statystyczna. *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN*, z. XX (2014), 95–106.
- RYBCZYŃSKI M., POMIANOWSKI K., WÓYCICKI K. (1933), *Hydrologja*, cz. I. Opad-odpływ, Wydanie wspólne Koła Inżynierii Wodnej Studentów Politechniki Warszawskiej i Komisji Wydawniczej Towarzystwa Bratniej Pomocy Studentów Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- SADIQ N. (2016): Wakeby distribution modelling of rainfall and thunderstorm over northern areas of Pakistan. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences, B. Life and Environmental Sciences* 53, nr. 2, s. 121–128.
- SAKAMOTO Y., ISHIGURO M., KITAGAWA G. (1986): *Akaike information criterion statistics*. KTK Scientific Publishers.
- SARAMAK A. (2005): *Opady atmosferyczne w Gaiku-Brzezowej w latach 1971–2000 [w:] Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, red. Bogdanowicz E., Kossowska-Cezak U., Szkutnicki J., *Monografie IMGW, PTG*, Warszawa, s. 184–197.
- SCHMITT T.G. (2000): *Kommentar zum Arbeitsblatt A 118 "Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen"*. DWA, Hennef.
- SCHMUCK A. (1967): Wpływ miasta na opady atmosferyczne (na przykładzie Wrocławia), *Przegląd Geofizyczny*, rocznik 12, nr. 20 (2).
- SCHÜTZE M., BUTLER D., BECK B.M. (2011): *Modelling, Simulation and Control of Urban Wastewater Systems*, Springer-Verlag, London.
- SCHWARTZ E.S (1997): *The Stochastic Behavior of Commodity Prices: Implications for Valuation and Hedging*. *J Finance* 52(3) *Papers and Proceedings Fifty-Seventh Annual Meeting, American Finance Association*, New Orleans, Louisiana January 4–6, (July 1997), s. 923–973.
- SEVRUK B., Geiger H. (1981): *Selection of distribution types for extremes of precipitation*, *Operational Hydrology*, Report 15, WMO, Geneva.
- SHANDS A.L., AMMERMAN D. (1947): *Maximum records United States point rainfall for five minutes do 24 hours at 207 first order stations*. *United States Weather Bureau Technical Paper* 2.
- SHINYIE, W. L., ISMAIL, N., JEMAIN, A. A. (2014): Semi-parametric estimation based on second order parameter for selecting optimal threshold of extreme rainfall events. *Water Resource Manage* 28, s. 3489–3514.
- SKOTNICKI M., SOWIŃSKI M. (2008): *Przestrzenna zmienność opadów w modelowaniu odpływu ze zlewni miejskiej [w:] Modelowanie procesów hydrologicznych*. Namysłowska-Wilczyńska B. (red.). *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*. s. 75–93.
- SOCZYŃSKA U. (red.) (1997): *Hydrologia Dynamiczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- SOWIŃSKI M. (1980): Wyznaczanie maksymalnego natężenia opadu o T-letnim okresie powtarzalności na przykładzie Wrocławia. *Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej*, Tom VI, Zeszyt 3–4, s. 117–126.
- SOWIŃSKI M. (1984): Wykorzystanie modelu probabilistycznego do wyznaczania krzywych natężenia deszczu. *Ochrona Środowiska*, nr 434/3–4, s. 25–28.
- STACHÝ J. (red) (1986): *Atlas hydrologiczny Polski. Tom I*. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa.
- STACHÝ J. (red) (1987): *Atlas hydrologiczny Polski. Tom II*. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa.
- STARKEL L. (2011): *Złożoność czasowa i przestrzenna opadów ekstremalnych – ich efekty geomorfologiczne i drogi przeciwdziałania im*. *Landform Analysis*, Vol. 15: s. 65–80.

- Strona internetowa: <http://tvnmeteo.tvn24.pl/informacje-pogoda/swiat,27/najwieksza-ulewa-w-moskwie-od-130-lat,209247,1,0.html>
- Strona internetowa: <http://www.gazetawroclawska.pl/artykul/zdjecia/3452151,powodz-na-legnickiej.html>
- Strona internetowa: <https://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/HAD>
- Strona internetowa: <https://hirds.niwa.co.nz>
- Strona internetowa: <https://hydrologicalatlas.ch>
- Strona internetowa: <https://iwhw.boku.ac.at/hao>
- STORCH H., NAVARRA A. (1999): *Analysis of Climate Variability. Applications of Statistical Techniques*. Springer, New York.
- STORCH H., ZWIERS F.W. (2002): *Statistical Analysis in Climate Research*, Cambridge University Press.
- STRUPCZEWSKI W.G. (1967): Wyznaczanie prawdopodobieństwa występowania powtarzających się zjawisk, *Acta Geophysica Polonica* nr XV (2), s. 25–36.
- STRUPCZEWSKI W.G., NAPIÓRKOWSKI J. (1981): Rozkład maksymalnych sezonowych wysokości opadów atmosferycznych i ich sum na podstawie modelu serii czasowej. *Przegląd Geofizyczny*, nr XXVI, s. 25–36.
- STRUPCZEWSKI W.G., FELUCH W. (1996): Wykorzystanie informacyjnego kryterium Akaike do identyfikacji optymalnego modelu trendu hydrologicznych serii czasowych. *Przegląd Geofizyczny*, XLI, nr 4, s. 263–274.
- STRUPCZEWSKI W.G., SINGH V.P., MITOSEK H.T. (2001a): Non-stationary approach to at-site flood frequency modeling. III. Flood analysis of Polish rivers. *Journal of Hydrology* nr 248, s.152–167.
- STRUPCZEWSKI W.G., SINGH V.P., WĘGLARCZYK S. (2001b): Impulse response of linear diffusion analogy model as flood frequency probability density function. *Hydrological Sciences – Journal – des Sciences Hydrologiques*, nr 46(5), s. 761–780.
- SULIGOWSKI R. (2004): Struktura czasowa i przestrzenna opadów atmosferycznych w Polsce. Próba regionalizacji. *Prace Instytutu Geografii Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach*, nr 12.
- SULIGOWSKI R. (2013): Maksymalny wiarygodny opad na Wyżynie Kieleckiej, Wydawnictwo Uniwersytetu Jana Kochanowskiego, Kielce.
- SULIGOWSKI R. (2014): The spatial distribution of probable maximum precipitation (PMP) over the Kielce Upland in one-day and multi-days intervals. *Meteorology Hydrology and Water Management*, Zeszyt 1(1), s. 39–44.
- SVENSSON C., JONES D.A. (2010): Review of rainfall frequency estimation methods. *Journal of Flood Risk Management*. Zeszyt 3 (4), s. 296–313.
- SYBILSKI D. (red.) (2009): *Ekologiczne zagadnienia odwodnienia pasa drogowego*. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa.
- SZALIŃSKA W., URBAN G., OTOP I. (2008): Próba oszacowania wysokości opadów wywołujących wezbrania letnie w dorzeczu środkowej Odry. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, Polska Akademia Nauk, Kraków, nr 9, s. 227–238.
- SZALIŃSKA W., OTOP I., TOKARCZYK T (2014): Precipitation extremes during flooding in the Odra River Basin in May-June 2010. *Meteorology Hydrology and Water Management* vol. 2 issue 1. IMGW-PIB, Warszawa, s. 13–20.
- SZALIŃSKA W., OTOP I. (2012): Ocena struktury czasowo-przestrzennej opadów z wykorzystaniem wybranych wskaźników do identyfikacji zdarzeń ekstremalnych, *Woda-Środowiska-Obszary Wiejskie*, (IV–VI): t. 12 z. 2 (38), Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, s. 269–282.
- SZYMKIEWICZ R., GAŚSIOROWSKI D. (2010): *Podstawy hydrologii dynamicznej*, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa.
- TOFFOL S. De, LAGHARI A.N., RAUCH W. (2008): Are extreme rainfall intensities more frequent? Analysis of trends in rainfall patterns relevant to urban drainage systems. 11th International Conference on Urban Drainage, 31 August - 5 September 2008, Edinburgh, Scotland.
- TOKARCZYK T. (2008): Wskaźniki oceny suszy stosowane w Polsce i na świecie, *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*. Polska Akademia Nauk, Kraków. Nr 7, s. 167–182.

- TOKARCZYK T. (2010): Niżówka jako wskaźnik suszy hydrologicznej. IMGW, Warszawa.
- TWARDOSZ R. (2005): Dobowy przebieg opadów atmosferycznych w ujęciu synoptycznym i probabilistycznym na przykładzie Krakowa (1886–2002). Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków.
- TWARDOSZ R., NIEDŹWIEDŹ T., ŁUPIKASZA E. (2010): The influence of atmospheric circulation on the type of precipitation (Krakow, southern Poland). *Theoretical and Apply Climatology*. 104, s. 233–250.
- TWARDOSZ R., NIEDŹWIEDŹ T., ŁUPIKASZA E., WALANUS A. (2012): Long-term variability of occurrence of precipitation forms in winter in Kraków, Poland. *Climatic Change*. 113, s. 623–638.
- USTRNUL Z., CZEKIERDA D. (2000): Cyrkulacyjne uwarunkowania opadów atmosferycznych w Polsce, *Wiadomości IMGW*, 23 (2), s. 3–22.
- USTRNUL Z., CZEKIERDA D. (2009): Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- USTRNUL Z., WYPYCH A., KOSOWSKI M. (2011): Ekstrema termiczne i opadowe w Polsce w świetle różnych metod wyróżniania wartości ekstremalnych. *Wiadomości Meteorologii, Hydrologii i Gospodarki Wodnej*, Tom 5, Zeszyt 1–2, s. 55–68.
- VADEMECUM Osłony Meteorologicznej Kraju (2014): IMGW-PIB, Warszawa.
- Wallingford Procedure. Design and Analysis of urban storm drainage (1983): National Water Council. Standing Technical Committee 28.
- WAŁĘGA A., KACZOR G., STĘPLEWSKI B. (2016): The Role of Local Precipitation Models in Designing Rainwater Drainage Systems in Urban Areas: a Case Study in Krakow, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, tom 25(5), s. 2139–2149.
- WAŁĘGA A., MICHAŁEC B. (2014): Characteristics of extreme heavy precipitation events occurring in the area of Cracow (Poland). *Soil and Water Resources*, 9 (4), s. 182–191.
- WARTALSKA K. (2019): Analiza hietogramów deszczów do modelowania działania kanalizacji. Maszynopis rozprawy doktorskiej. Politechnika Wroclawska.
- WARTALSKA K., KAŹMIERCZAK B., NOWAKOWSKA M.W., KOTOWSKI A. (2020): Analysis of hietographs for drainage system modeling. *Water*, vol. 12, nr 1, art. 149, s. 1–21.
- WDOWIKOWSKI M. (2014): Wskaźnikowa ocena struktury opadów atmosferycznych w zlewni rzecznej Widawy, [w:] *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska* pod red. T. Traczewska, B. Kaźmierczak, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, s. 943–956.
- WDOWIKOWSKI M., KAŹMIERCZAK B. (2015): Comparison of methods to select the maximum values to develop a mathematical model of extremely high rainfall in the river basin, *Acta Hydrologica Slovaca*, 16, s. 190–198.
- WDOWIKOWSKI M., KAŹMIERCZAK B., LEDVINKA O. (2016): Maximum daily rainfall analysis at selected meteorological stations in the upper Lusatian Neisse River basin, *Meteorology Hydrology and Water Management – Research and Operational Applications*, 4 (1), s. 53–63.
- WDOWIKOWSKI M., KAŹMIERCZAK B., DĄBEK P. B., KOTOWSKI A. (2017a): Analiza rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry, *Technologia Wody* nr 3 (53), s. 4–13.
- WDOWIKOWSKI M., KOTOWSKI A., DĄBEK P. B., KAŹMIERCZAK B. (2017b): Probabilistic approach of the Upper and Middle Odra basin daily rainfall modeling, 9th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO-DOK 2017. E3S Web of Conferences, nr. 17 (96), s. 1–9.
- WDOWIKOWSKI M., KAŹMIERCZAK B., LEDVINKA O., JEDLICKA M. (2019): Attempts to establish a regional probabilistic model of intense rainfall for the Upper and Middle Oder River basin, 11th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO-DOK 2019. E3S Web of Conferences, nr. 100 (84), s. 1–8.
- WĘGLARCZYK S. (2013a): O poprawności wzorów Błaszczyka na obliczanie opadów miarodajnych, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* nr 3, s. 63–76.
- WĘGLARCZYK S. (2013b): O poprawności wzorów Chomicza na obliczanie opadów miarodajnych, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 3, s. 305–323.

- WĘGLARCZYK S. (2014): Opad miarodajny przeszłość i terażniejszość, teoria i praktyka, Monografia KGW-PAN, zeszyt XX, tom 2, Warszawa, s. 43–56.
- WĘGLARCZYK S. (2010): Statystyka w inżynierii środowiska, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
- WĘGLARCZYK S. (2012): Statystyka w Excelu, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- WILKS D. L. (2006): *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. International Geophysics Series Vol 91. Elsevier, California.
- WIT-JÓŹWIK K. (1977): Analiza deszczów w Szymbarku w latach 1969–1973 (w okresie od maja do września), *Dokumentacja Geograficzna* 6, s. 23–65.
- Wstępna Ocena Ryzyka Powodzi - zaktualizowana metodyka (2018). Raport Projektu: Przegląd i aktualizacja wstępnej oceny ryzyka powodziowego Nr Projektu: POIS.02.01.00-00-0014/16, s. 99. (dostęp online https://kzgw.gov.pl/files/WORP%202019/aWORP/Raport/zal_1_metodyka_04122018.pdf)
- WMO No. 718 (1989): *Statistical distributions for flood frequency analysis*. Geneva.
- WMO No. 168 (1994, 2008): *Guide to hydrological practice*. Geneva.
- WMO No. 386 (1990): *Extremes and design values in climatology*. Geneva.
- WMO No. 415 (1990): *On the statistical analysis of series of observations*. Geneva.
- WMO No. 847 (2007): *Climatological normals (CLINO) for the period 1961–1990.*, Geneva.
- WMO No. 341 (2007): *Calculation of monthly and annual 30-years standard normal. The role of climatological normals in a changing climate*, Geneva.
- WMO No. 385 (2012): *International glossary of hydrology*. World Meteorological Organization, Geneva.
- WMO No. 1045 (2009): *Manual on estimation of probable maximum precipitation (PMP)*, World Meteorological Organization, Geneva.
- WMO No. 1500 (2009): *Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. Geneva.
- WOŚ A. (1999): *Klimat Polski*. PAN Warszawa.
- WOŚ A. (2006): *Meteorologia dla geografów*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań.
- WRONA B. (2008a): *Meteorologiczne i morfologiczne uwarunkowania ekstremalnych opadów atmosferycznych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry*. Materiały Badawcze IMGW Seria: Meteorologia nr 41, Warszawa.
- WRONA B. (2008b): *Występowanie ekstremalnych opadów atmosferycznych >100mm/dobę na obszarze dorzecza Górnej i Środkowej Odry w 30-leciu (1977–2006)*, [w:] *Meteorologia, Hydrologia, Ochrona Środowiska. Kierunki badań i problemy*, pod redakcją A. Dubicki Wydawnictwo IMGW, s. 273–278.
- YE, L., HANSON, L. S., DING, P., WANG, D., AND VOGEL, R. M. (2018): *The probability distribution of daily precipitation at the point and catchment scales in the United States*, *Hydrology and Earth System Science* 22, s. 6519–6531.
- YILMAZ A., HOSSAIN I., PERERA B. (2014): *Effect of climate change and variability on extreme rainfall intensity–frequency–duration relationships: a case study of Melbourne*. *Hydrology and Earth System Science* 18, s. 4065–4076.
- Zasady obliczania największych przepływów rocznych o określonym prawdopodobieństwie pojawiania się przy projektowaniu obiektów inżynierskich i urządzeń technicznych gospodarki wodnej w zakresie budownictwa hydrotechnicznego. (1969), CUGW, Warszawa.
- ZAWILSKI M., BRZEZIŃSKA A. (2014): *Areal rainfall intensity distribution over an urban area and its effect on a combined sewerage system*. *Urban Water Journal*, vol.11, nr. 7, s. 532–542.
- ZIERNICKA–WOJTASZEK A. (2006): *Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 1971–2000*. *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*, IgiGP UJ, s. 139–148.
- ŻYROMSKI A. (2001): *Czynniki agrometeorologiczne a kształtowanie się zasobów wody w glebie lekkiej z podsiątkiem wód gruntowych w okresie wiosennym*. *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu*, s. 82–94
- ŻYROMSKI A. (2008): *Ulewy i deszcze nawalne w latach 1954–1981 w Polsce*. [w:] *Problemy zagospodarowania wód opadowych – praca zbiorowa pod red. J. Łomotowskiego*. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., s. 241–254.

SUMMARY

The main scope of this study was to try to reduce the lack of knowledge in the development of precipitation models using probability distributions. The Upper and Middle Odra River Basin was selected as the research area, represented by eight IMGW-PIB meteorological stations. The work analysis were also focused on the development of probabilistic precipitation models, the results of which were to prove that the theoretical precipitation conditions is possible to describe using different probability distributions. Moreover, the appropriate configuration of models on the one hand, can lead to increased accuracy of obtained results, and on the other hand, can help to optimize and regionalize of the proposed methods, ultimately possible to use in wider engineering practice (with proper determination of common features individual long-term series of measurement data).

As the research period, the longest available for the analyzed IMGW-PIB meteorological stations: in Racibórz, Opole, Kłodzko, Jelenia Góra, Wrocław, Legnica, Zgorzelec and Zielona Góra, was adopted. Long-term period rainfall material from 1961 to 2010, contained continuous recording of summer season precipitation (from May to October). For each of the station, A complete review of available pluviographic materials (for each analysed station) was performed in order to select maximum rainfall partial duration series fulfilling the Kaźmierczak intensive rain criterion (2.64). At the same time, due to the *POT* method used to select the highest precipitation values, special attention was paid to ensuring that the selected values are independent of each other and do not come from the same precipitation episode. Obtained sequences of the highest rainfall values for 17 rainfall durations: $t = 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 180, 360, 720, 1080, 1440, 2160, 2880$ and 4320 minutes, was ordered decreasingly which allowed to provide a random variable and an empirical cumulative distribution function. Then, own developed procedure for rainfall probabilistic model was used. Procedure starts from the shape, scale and location parameters estimation. Then runs through a multi-stage quality assessment of the theoretical distributions fitting to the measured rainfall data. During procedure the optimization of distributions parameters was also conducted, which in final step led to the determination of the *DDF* curve family - for return period from $C = 1$ year to $C = 50$ years. Nine probability distributions were used in the procedure: Log-Normal (*LogN*), Pearson Type III (*P3*), family of extreme value distributions (*GEV*), i.e. Gumbel (*EV1*), Frechet (*EV2*) and Weibull (*EV3*) distributions, generalized Pareto distribution (*GPA*), generalized exponential distribution (*GED*) and Logarithmic Logistic distribution (*LogL*). All analyzed distributions were three parameters. The qualitative assessment of the theoretical and empirical cumulative distribution fit was made on the basis of λ -Kolmogorov and Anderson–Darling statistical tests (at significance level $\alpha = 0.05$), information criteria *AIC*, *BIC*, *HQIC* and error criteria *MAPE* and *rRMSE*. After the criterial selection of the best theoretical distributions, the optimization of the probability distributions parameters was performed by setting new shape parameters estimators $\hat{\alpha}$ - as arithmetic means as well as new scale and location parameters as functions $\hat{\beta} = \beta(t)$, $\hat{\gamma} = \gamma(t)$. To generalize the distribution parameters, which was necessary to obtain the form of a probabilistic model with a variable duration of precipitation t , the power formula dependences with empirical parameters estimated by the method of least squares were used. The strength of the equalization function fitting was given as a percentage of R^2 . In addition to the proposed procedure for developing precipitation models, at the final stage a quantitative

assessment of model results was made, comparing the theoretical and measured maximum rainfall values.

As a result of the author's procedure, a total of 24 probabilistic models were established, 3 for each meteorological station, as the best-fitted probability distributions (Table 5.11, Formulas 5.49–5.72). Then, based on 8 meteorological stations located in the Upper and Middle Odra basin, four models were proposed representing areas taking into account common features such as similar maximum rainfall values, approximate location of the station above sea level and location relative to neighboring stations (dependencies 5.80–5.83, Table 6.8). A random samples and random variables for the construction of generalized precipitation models were obtained by averaging the rainfall heights for 3 areas: Model 1 - containing average rainfall heights 8 measuring stations in the river basin, Model 3 - containing average rainfall heights 4 stations located in the southern part of the river basin (foothill stations: Racibórz, Kłodzko, Jelenia Góra and Zgorzelec), and Models 2.1 and 2.2 - containing averaged precipitation values of 4 stations located in the lowland part of the river basin (stations: Opole, Wrocław, Legnica and Zielona Góra). Models 2.1 and 2.2. were based on one random sample, while they differed in a formula describing the function of the scale parameter over time. Model 1 was based on the previously used form of point models of the power function while in Model 2 the second-order exponential sequence function were used. The results from generalized models were referred to point models and measured values for 8 analyzed stations. The final stage of creating precipitation models was to compare the results of the author's models for Wrocław and Legnica with those previously developed by the Kotowski and Kaźmierczak research team, as well as the results for Zgorzelec (Görlitz) from the KOSTRA DWD precipitation atlas. The results of the developed precipitation models for 8 IMGW-PIB meteorological stations were presented (using simple *IDW* method) in the form of maps of the Upper and Central Odra river basin for selected duration of maximum rainfall t and the set probability of exceeding p (frequency C).

The conducted analysis allowed to formulate the following conclusions:

1. The research methodology proposed by Prof. Kotowski's team in the area of developing probabilistic precipitation models, after the modifications proposed in this study, can be of a universal nature.
2. The adopted 50-year precipitation material is sufficient to extract the necessary number heavy rainfall episodes, constituting an independent random sample, necessary to develop probabilistic models.
3. Maximum likelihood method used for the estimation of probability distribution parameters allows for a preliminary assessment of the quality of the fit of the analyzed distributions by analyzing the likelihood function logarithm values.
4. The proposed procedure for developing probabilistic precipitation models, which provides for a qualitative and quantitative assessment of matching probability distributions analyzed to empirical data, using λ -Kolmogorov and Anderson–Darling statistical tests, *AIC*, *BIC* and *HQIC* information criteria as well as *MAPE* and *rRMSE* error criteria, indicated *P3*, *EV3* and *GED* distributions as potentially the best to describe the rainfall height measurement data in the Upper and Middle Odra.

5. A comparative analysis of the information criterion value and the error criterion showed that the *P3*, *EV3* and *GED* distributions can be used interchangeably due to the relatively small difference between the modeled rainfall heights.
6. The theory of extreme values (*EVT*), as expected, was relevant to describe maximum rainfall data in the Upper and Middle Odra basins. One of the best matched distributions was the Weibull distribution (*EV3*).
7. In the process of optimization of the scale and location parameters, the form of the equalization parameter should be carefully adjusted as a function of rainfall duration (*t*), because too general relationship may cause local undervaluation or overstatement of results for specific rainfall duration intervals, different for different frequencies (*C*).
8. The developed precipitation models give different results in terms of quality of fitting to the measured precipitation for different rainfall durations. In particular, models based on e.g. the *GED*, *P3* distribution describe very well short-term rainfall up to $t = 360$, and those for the *EV3* distribution, rainfall of longer duration e.g. from $t = 720$ min to $t = 4320$ min.
9. Due to the clear similarities in physiographic conditions and meteorological characteristics of 8 analyzed IMGW-PIB measuring stations in the Upper and Middle Odra River basin, it is possible and reasonable to generalize the results of local precipitation models for the proposed areas (lowland and foothill).
10. The models proposed in the study (which represent the characteristic areas of the Upper and Middle Odra river basin), depending on the duration of precipitation and their frequency, describe the empirical precipitation of individual measuring stations with an accuracy of 5% to 30%, with the least accurate results obtained for the longest duration precipitation. It was also found that proposed area model for the stations Jelenia Góra, Kłodzko, Zgorzelec and Opole, usually gave lower theoretical values regarding to measurement rainfall heights, which was opposite result to the other area model, developed for the stations Wrocław, Legnica, Zielona Góra and Racibórz, where modeled rainfall values were higher than the measured ones (which in this case provides results described as laying by the safer side).
11. Generalization of the results of probabilistic precipitation models in the Upper and Middle Odra basin should be continued – after necessary increasing the number of locations where it is possible to analyze high resolution rainfall, especially due to the skipping of mountain areas in similar analyzes made so far (studies by Bogdanowicz and Stachý as well as by Kupczyk and Suligowski).

The research issues undertaken in this study should be continued and developed both for cognitive purposes and for the purposes of engineering practice.

SPIS FOTOGRAFII

- Fotografia. 1.1. Powódź miejska (urban flood) we Wrocławiu, ul. Legnicka w dniu 27.05.2014 [<http://www.gazetawroclawska.pl>]
- Fotografia. 1.2. Moskwa w dniu 15.08.2016 podczas największej powodzi miejskiej od 130 lat. [<http://tvnmeteo.tvn24.pl>]

SPIS RYSUNKÓW

- Rysunek 1.1. Liczba zarejestrowanych zdarzeń powodzi miejskich w latach 1950–2010 [Jha i inni 2012]
- Rysunek 1.2. Gęstość występowania negatywnych skutków spowodowanych deszczami nawalnymi w Polsce [WORP 2018]
- Rysunek 2.1. Mapa układu barycznego z analizą synoptyczną IMGW-PIB z dnia 27.05.2014 z godziny 00 UTC [Materiały archiwalne IMGW]
- Rysunek 2.2. Estymowane wartości parametru kształtu rozkładu GPA w odniesieniu do zróżnicowanych wartości progowych ograniczenia dolnego opadów dla stacji Kokoru (Republika Benin – Afryka) [opracowano na podstawie Hounkpè i inni 2016]
- Rysunek 2.3. Klasyfikacja opadów deszczu w skali Chomicza [Chomicz 1951] z propozycją dolnej granicy opadów do analiz statystycznych częstości występowania wg Kotowskiego z zespołem [Kotowski i inni 2010]
- Rysunek 2.4. Zależność między wysokością opadu a czasem trwania największych opadów na świecie, opracowano na podstawie [Eagleson 1978]
- Rysunek 2.5. Sumy dobowe opadów w Polsce w dniu 10.08.1964 [Ustrnul, Czekierda 2009]
- Rysunek 2.6. Zróżnicowanie przestrzenne największych dobowych wysokości opadów zarejestrowanych na stacjach meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry w latach 1950–2019 (kolorami czerwonym i niebieskim oznaczono skrajne wartości - opracowano na podstawie danych opadowych przedłożonych w suplemencie A)
- Rysunek 2.7. Częstość występowania największych wysokości opadów dobowych w danym roku w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry w latach 1950–2019 (kolorem czerwonym oznaczono opady, które nie dotyczą okresu 1961–2010; opracowano na podstawie danych opadowych przedłożonych w suplemencie A)
- Rysunek 2.8. Intensywność opadów deszczu w funkcji czasu trwania zjawiska wg równania (2.8). Opracowanie własne na podstawie [Szymkiewicz, Gąsiorowski 2010]
- Rysunek 2.9. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych w latach 1850–1903 będących podstawą opracowania Hellmana dotyczącego opadów intensywnych (niebieskim kolorem wyróżniono rzekę Odrę) [Hellman 1904]
- Rysunek 2.10. 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). Opracowana na podstawie [Kotowski i inni 2010, Wdowikowski i inni 2017a]
- Rysunek 2.11. Regiony opadów maksymalnych z uwzględnieniem genezy powstawania opadu: a) konwekcyjny; b) frontalny; c) niżowy. Opracowano na podstawie [Suligowski 2004]
- Rysunek 2.12. Krzywe prawdopodobieństwa przewyższenia maksymalnego intensywności opadów o czasach trwania do 210 min dla Krakowa w latach 1886–2002 [Twardosz 2005]
- Rysunek 2.13. Wartości natężeń deszczów miarodajnych o czasie trwania $t = 15$ min i prawdopodobieństwie $p = 10\%$ ($C = 10$ lat), wyznaczone na podstawie formuł: od lewej Błaszczyka, Suligowskiego, Bogdanowicz i Stachý'ego, przypisane do siatki o rozdzielczości 8,45 km na 8,45 km [Licznar i inni 2015]

- Rysunek 2.14. Maksymalne opady dla Wrocławia z lat 1960–2009 dla czasów trwania $t = 5, 60, 360$ i 1440 minut, wyodrębnione metodami AMP i POT. Na podstawie [Kotowski i inni 2010]
- Rysunek 2.15. Przykładowe dystrybuanty teoretyczne rozkładu Gumbela i największych wysokości opadów z okresu 1960–2009 dla Wrocławia: a) $t = 5$ i 10 min, b) $t = 15$ i 30 min [Kotowski i inni 2010]
- Rysunek 2.16. Przykładowe mapy Atlasu Hydrologicznego Polski: lewy - opady o prawdopodobieństwie $p = 1\%$, prawy - opady o czasie trwania $t = 120$ min [Stachý 1987]
- Rysunek 2.17. Średnioroczne wysokości opadów atmosferycznych (tzw. opad normalny H) za okres 1971–2000, wg Atlasu Klimatu Polski [Lorenc 2005]
- Rysunek 2.18. Opady o prawdopodobieństwie wystąpienia: po lewej - $p = 10\%$, po prawej - $p = 1\%$ wg Atlasu Klimatu Polski [Lorenc 2005]
- Rysunek 2.19. Regiony opadowe dla Polski wg ciągów opadowych, od lewej I, II i III poziom odcięcia [Limanówka i inni 2010]
- Rysunek 2.20. Zmienność przestrzenna opadów na terenie USA dla $C = 1$ rok i $t = 30$ min. Opracowano na podstawie [Hershfield 1961]
- Rysunek 2.21. Rozmieszczenie stacji opadowych atlasu USA z rejestracją 1-godz. (zielone kropki), 15-min (czerwone kropki) oraz rejestracją ciągłą – wagową (żółte kropki) [NOAA 2015]
- Rysunek 2.22. Mapa lokalizacji stacji opadowych atlasu INTERREG (po lewej) oraz mapa izolinii dla opadów o czasie trwania $t = 1$ godz. i $C = 10$ lat (po prawej) [INTERREG 2000]
- Rysunek 2.23. Mapa lokalizacji stacji opadowych agencji meteorologicznej w Słowenii [<https://meteo.arso.gov.si>]
- Rysunek 2.24. Rozkład opadów deszczu o czasie trwania $t = 24$ godz. oraz $C = 100$ lat dla Niemiec. Opracowano na podstawie [Bartels i inni 2005]
- Rysunek 2.25. . Lokalizacja 100 stacji IMGW-PIB w atlasie PANDa [Burszta-Adamiak i inni 2019]
- Rysunek 4.1. Zasięg dorzecza Górnej i Środkowej Odry na tle Polski – Odra wraz z ważniejszymi dopływami (opracowano na podstawie [MPHP 2010])
- Rysunek 4.2. Lokalizacja stacji meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry (opracowano na podstawie [MPHP 2010])
- Rysunek 4.3. Pluviogram opadu nawalnego ze stacji Racibórz z dnia 04.08.1982 – opad deszczu zarejestrowany w sposób ciągły linią rysowaną atramentem na papierowym pasku bębna zegarowego. Suma dobowa opadu wynosiła 33,9 mm [Materiały archiwalne IMGW]
- Rysunek 4.4. Porównanie metody odczytywania przedziałowych wysokości opadów dla $t = 60$ min, linia czerwona oznacza sztywne przedziały godzinowe, linia zielona ruchomy przedział $t = 60$ min
- Rysunek 4.5. Porównanie progowych wysokości opadów maksymalnych dla Legnicy wg kryterium Kotowskiego oraz kryterium Kaźmierczaka. Czerwone punkty oznaczają przedziały czasowe opadów brane pod uwagę w pracach [Wdowikowski, Kaźmierczak 2015, Kaźmierczak, Wdowikowski 2016]. Czarne punkty oznaczają zakres czasów trwania ujętych w analizie 8 stacji meteorologicznych w dorzeczu Odry
- Rysunek 4.6. Porównanie liczby elementów zbioru przedziałowych wysokości opadów h_t dla $t = 5$ min wg kryterium Kotowskiego oraz kryterium Kaźmierczaka dla danych z Legnicy
- Rysunek 4.7. Schemat procedury formułowania probabilistycznych modeli opadowych
- Rysunek 4.8. Dystrybuanta teoretyczna uśrednionego rozkładu GED na tle dystrybuant empirycznych analizowanych stacji meteorologicznych dla opadów o $t = 1440$ min [Wdowikowski i inni 2019]

- Rysunek 5.1. Przykładowe dystrybuanty empiryczne dla Jeleniej Góry dla różnych czasów trwania opadów (wg tabeli B 7, Suplement B)
- Rysunek 5.2. Przykładowe dystrybuanty parametrów rozkładu $EV3$ ((α) -zielony, (β) -czerwony, (γ) -niebieski) – stacja w Zielonej Górze dla różnych czasów trwania opadów (wg C.4, Suplement C)
- Rysunek 5.3. Dystrybuanta logarytmów funkcji wiarygodności rozkładu $EV3$ w analizowanym przedziale czasów trwania opadów dla stacji w Zielonej Górze (wg C.12, Suplement C)
- Rysunek 5.4. Dystrybuanty teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuanty empirycznej dla stacji w Zgorzelcu dla czasu trwania opadu $t = 5$ min i prawdopodobieństwa przekroczenia p
- Rysunek 5.5. Dystrybuanty teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuanty empirycznej dla stacji w Zgorzelcu dla czasu trwania opadu $t = 20$ min i prawdopodobieństwa przekroczenia p
- Rysunek 5.6. Dystrybuanty teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuanty empirycznej dla stacji w Zgorzelcu dla czasu trwania opadu $t = 60$ min i prawdopodobieństwa przekroczenia p
- Rysunek 5.7. Dystrybuanty teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuanty empirycznej dla stacji w Zgorzelcu dla czasu trwania opadu $t = 120$ min i prawdopodobieństwa przekroczenia p
- Rysunek 5.8. Dystrybuanty teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuanty empirycznej dla stacji w Zgorzelcu dla czasu trwania opadu $t = 1440$ min i prawdopodobieństwa przekroczenia p
- Rysunek 5.9. Porównanie dystrybuant teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuant empirycznych na stacjach: Zielona Góra (A, B) dla $t = 5$ min i 120 min, Jelenia Góra (C, D) dla $t = 20$ min i 180 min, Kłodzko (E, F) dla $t = 30$ min i 360 min (kolory: GPA -czerwony, GED -niebieski, $EV3$ -fioletowy, $P3$ -zielony, dane pomiarowe-czarny)
- Rysunek 5.10. Porównanie dystrybuant teoretycznych wysokości opadów na tle dystrybuant empirycznych na stacjach: Opole (A, B) dla $t = 5$ min i 120 min, Racibórz (C, D) dla $t = 20$ min i 180 min, Legnica (E, F) dla $t = 30$ min i 360 min (kolory: GPA -czerwony, GED -niebieski, $EV3$ -fioletowy, $P3$ -zielony, dane pomiarowe-czarny)
- Rysunek 5.11. Zmienność parametrów rozkładu GED dla t od 5 min do 4320 min dla Kłodzka
- Rysunek 5.12. Kwantylna zmiennej standaryzowanej rozkładu $P3$ w funkcji prawdopodobieństwa p dla $\hat{\alpha} = 0,98$
- Rysunek 5.13. Porównanie modelowanych wysokości opadów z pomiarami dla Zielonej Góry dla czasów trwania $t = 10$ min (po lewej) i $t = 60$ min (po prawej)
- Rysunek 5.14. Porównanie modelowanych wysokości opadów z pomiarami dla Raciborza dla czasów trwania $t = 10$ min (po lewej) i $t = 60$ min (po prawej)
- Rysunek 5.15. Rodzina krzywych wysokości opadów (DDF) obliczonych z modelu probabilistycznego na podstawie rozkładów GED dla Zgorzelca (po lewej) i Opola (po prawej)
- Rysunek 5.16. Rodzina krzywych wysokości opadów (DDF) obliczonych z modelu probabilistycznego na podstawie rozkładów GED dla Zielonej Góry (po lewej) i Raciborza (po prawej)
- Rysunek 5.17. Rodzina krzywych wysokości opadów (DDF) obliczonych z modelu probabilistycznego na podstawie rozkładów GED dla Wrocławia (po lewej) i Kłodzka (po prawej)
- Rysunek 5.18. Rodzina krzywych wysokości opadów (DDF) obliczonych z modelu probabilistycznego na podstawie rozkładów GED dla Legnicy (po lewej) i Jeleniej Góry (po prawej)

- Rysunek 5.19. Porównanie wysokości opadów teoretycznych z modeli (2.58) i (5.49) z opadami rzeczywistymi dla $t = 60$ i 2880 min
- Rysunek 5.20. Porównanie wysokości opadów teoretycznych z modeli (2.58) i (5.49) oraz (5.74) z opadami rzeczywistymi dla $t = 60$ i 2880 min
- Rysunek 5.21. Porównanie wysokości opadów teoretycznych wg atlasu KOSTRA i wg modelu (5.56) z opadami rzeczywistymi dla: a. $C = 1$ rok, b. $C = 2$ lata, c. $C = 10$ lat, d. $C = 50$ lat
- Rysunek 6.1. Dystrybuanty teoretyczne uogólnionego regionalnego modelu opadowego (Model 1) na tle dystrybuant empirycznych dla wybranych czasów trwania opadów
- Rysunek 6.2. Dystrybuanty teoretyczne uogólnionego obszarowego modelu opadowego (Model 3) na tle dystrybuant empirycznych dla wybranych czasów trwania opadów
- Rysunek 6.3. Dystrybuanty teoretyczne uogólnionych obszarowych modeli opadowych (Model 2.1 i Model 2.2) na tle dystrybuant empirycznych dla czasów trwania opadów $t = 5, 20, 60$ i 360 min
- Rysunek 6.4. Krzywe *DDF* w skali logarytmicznej z opracowanych modeli probabilistycznych dla $C = 25$ lat (po lewej) oraz $C = 50$ lat (po prawej) na tle danych pomiarowych z Zielonej Góry
- Rysunek 6.5. Krzywe *DDF* z modeli probabilistycznych dla $C = 50$ lat (po lewej) i $C = 25$ lat (po prawej) na tle danych pomiarowych, odpowiednio z Opola i Legnicy
- Rysunek 6.6. Krzywe *DDF* z modeli probabilistycznych dla $C = 50$ lat (po lewej) oraz $C = 40$ lat (po prawej) dla danych pomiarowych ze stacji, odpowiednio Jelenia Góra i Racibórz
- Rysunek 6.7. Rozkład przestrzenny maksymalnych opadów o czasie trwania $t = 5$ min oraz częstości wystąpienia $C = 1, 2, 5$ i 10 lat w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry (GŚO), w oparciu o 8 analizowanych stacji meteorologicznych IMGW-PIB
- Rysunek 6.8. Rozkład przestrzenny maksymalnych opadów o czasie trwania $t = 60$ min oraz częstości wystąpienia $C = 1, 2, 5$ i 10 lat w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry (GŚO), w oparciu o 8 analizowanych stacji meteorologicznych IMGW-PIB
- Rysunek 6.9. Rozkład przestrzenny maksymalnych opadów o czasie trwania $t = 1440$ min oraz częstości wystąpienia $C = 1, 2, 5$ i 10 lat w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry (GŚO), w oparciu o 8 analizowanych stacji meteorologicznych IMGW-PIB

SPIS TABEL

- Tabela 1.1. Zalecane częstości projektowe deszczu obliczeniowego i dopuszczalne częstości wystąpienia wylewów kanalizacji deszczowej wg PN-EN 752:2008 [PN-EN 752:2008, Kotowski 2011e, Dąbrowski 2012, Wartalska 2019]
- Tabela 1.2. Zalecane częstości oraz prawdopodobieństwa projektowe deszczu obliczeniowego i dopuszczalne częstości wystąpienia wylewów wg PN-EN 752:2008 [Rozporządzenie 1999, Sybilski 2009, Edel 2010, Kotowski 2011e, 2015]
- Tabela 1.3. Dopuszczalne częstości nadpiętrzenia w systemie kanalizacyjnym do obliczeń sprawdzających wg DWA-A 118:2006 [DWA-A 118:2006, Kotowski 2011e, 2015]
- Tabela 1.4. Przykładowe kryteria projektowe kanalizacji dla wylań wg PN-EN-752: 2017 [PN-EN-752: 2017, Kotowski i inni 2018, Licznar 2018, Wartalska 2019, Kaźmierczak 2019]
- Tabela 2.1. Wartości kryterium Olechnowicz-Bobrowskiej charakteryzujące opady atmosferyczne w przyjętych klasach wysokości [Olechnowicz-Bobrowska 1970]
- Tabela 2.2. Klasyfikacja opadów w skali Chomicza wg zależności (2.0) [Chomicz 1951, Bełtot 2008]
- Tabela 2.3. Klasyfikacja opadów wg. Lorenc [Lorenc 2005]
- Tabela 2.4. Progi wysokości [mm] deszczów nawalnych o wybranych czasach trwania (t) wg skali Chomicza z uwzględnieniem przypadków zarejestrowanych w Polsce (pola zacienione) [Chudy 2002]

- Tabela 2.5. Klasyfikacja maksymalnych dobowych sum opadów (h_{\max}) z określeniem rodzaju zagrożenia [Lorenc i inni 2012]
- Tabela 2.6. Maksymalne zaobserwowane wartości sumy opadu (w mm) w zależności od powierzchni i czasu trwania w USA [Eagleson 1978 za Shands, Ammerman 1947]
- Tabela 2.7. Wybrane deszcze nawalne zanotowane w Polsce (wyróżniono zdarzenia opadowe na obszarze Górnej i Środkowej Odry) [Chudy 2002]
- Tabela 2.8. Najwyższe sumy dobowe opadów w dorzeczu Odry Środkowej w latach 1961–1990 [Głowicki 1993]
- Tabela 2.9. Porównanie wartości prawdopodobieństwa p wg (2.5), częstotliwości n wg (2.7), oraz częstości C występowania opadów wg (2.6) [Kotowski 2011e, 2015]
- Tabela 2.10. Wartości współczynników empirycznych Różańskiego dla wybranych rejonów Polski wg formuły Hellmanna (2.13) [Lambor 1971]
- Tabela 2.11. Wartości współczynników empirycznych Lambora dla wybranych rejonów Polski wg (2.8) [Lambor 1971]
- Tabela 2.12. Wartości współczynnika a dla wybranych rejonów Polski do formuły Chomicza (2.24) [Lambor 1971 za Chomiczem 1952]
- Tabela 2.13. Wybrane wartości średnich natężeń jednostkowych deszczów według formuł Licznara–Łomotowskiego, Wołoszyna i Błaszcyka dla Wrocławia. Opracowano na podstawie [Licznar i Łomotowski 2005a]
- Tabela 2.14. Wartości natężeń jednostkowych deszczów według różnych formuł opadowych dla $C = 1$ rok i 2 lata. Opracowano na podstawie [Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011a–e, 2015]
- Tabela 2.15. Wartości parametrów równania (2.45) z Atlasu Hydrologicznego Polski, dla wybranych stacji meteorologicznych [Stachy 1987, Ciepeliowski, Dąbkowski 2006]
- Tabela 2.16. Wysokości opadów deszczu o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 0,01$ określone na podstawie (2.45) dla wybranych stacji meteorologicznych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry
- Tabela 2.17. Zależności regionalne $a(R,t)$ dla poszczególnych przedziałów czasu trwania opadu, opracowano na podstawie [Bogadnowicz, Stachy 1998]
- Tabela 2.18. Wartości współczynników równań regresyjnych do (2.54) dla wybranych stacji pomiarowych IMGW na podstawie [Suligowski 2004]
- Tabela 2.19. Wartości kwantyli regionalnych wartości średnich intensywności deszczu I [$\text{mm} \cdot \text{godz}^{-1}$] dla zadanych prawdopodobieństw przewyższenia dla rozkładów LogN i GEV [Suligowski 2004]
- Tabela 2.20. Porównanie metod określania krzywych IDF , DDF w krajach azjatyckich, Australii oraz Nowej Zelandii, wg projektu FRIEND, opracowano na podstawie [Daniell i Tobias 2008]
- Tabela 2.21. Zalecane minimalne okresy rejestracji opadów do badań częstości nadpiętrzeń w kanalizacji [ATV 1999, Kotowski 2011e, 2015]
- Tabela 2.22. Wykaz zakresów danych w wybranych pracach dotyczących intensywnych opadów deszczu
- Tabela 2.23. Współczynnik korekcyjny Weissa k_w dla wybranych przedziałów czasu trwania opadu t
- Tabela 2.24. Wartości parametrów a i b do zależności (2.68) [Maity 2018]
- Tabela 2.25. Macierz wartości próby statystycznej równej od i do N , z przypisanym prawdopodobieństwem empirycznym wg zależności (2.67) i (2.69)
- Tabela 2.26. Tablica przykładowych wartości statystyki χ^2 dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ [Kaczmarek 1970, Pruchnicki 1987, Klonecki 1999, Węglarczyk 2010]
- Tabela 2.27. Tablica przykładowych wartości statystyki W_{kr}^2 dla poziomu istotności α [Kaczmarek 1970, Pruchnicki 1987, Klonecki 1999, Węglarczyk 2010]

- Tabela 2.28. Tablica przykładowych wartości statystyki λ_{kr} dla poziomu istotności α [Kaczmarek 1970, Pruchnicki 1987, Klonecki 1999, Węglarczyk 2010]
- Tabela 2.29. Zestawienie modelowanych wysokości opadów h [mm] oraz natężeń jednostkowych q [$\text{dm}^3 (\text{s}\cdot\text{ha})^{-1}$] wg atlasu KOSTRA DWD dla stacji Görlitz [KOSTRA DWD 2010]
- Tabela 2.30. Zestawienie wybranych interaktywnych atlasów opadowych
- Tabela 4.1. Charakterystyka stacji meteorologicznych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry
- Tabela 4.2. Porównanie przedziałowych wysokości opadów (w mm) uzyskanych metodami sztywnych i ruchomych przedziałów czasu trwania opadu
- Tabela 4.3. Wartości kryterium prognozy odcięcia maksymalnych przedziałowych wysokości opadów wg kryteriów Kotowskiego i Kaźmierczaka wraz z liczbą przedziałowych wysokości opadów
- Tabela 4.4. Analizowane rozkłady prawdopodobieństwa
- Tabela 4.5. Zależności funkcji gęstości i dystrybuant teoretycznych wybranych rozkładów prawdopodobieństwa [Kaczmarek 1970, Pruchnicki 1987, Koutyosanis 1998, Gupta, Kundu 1999, 2000, 2007, Coles 2001, Mitosek 2009, Węglarczyk 2010, Suligowski 2013, Jokiel 2015, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e. 2015, Maity 2018, Kaźmierczak 2019]
- Tabela 4.6. Zależności funkcji wiarygodności i kwantyli zmiennej losowej teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa [Kaczmarek 1970, Pruchnicki 1987, Koutyosanis 1998, Gupta, Kundu 1999, 2000, 2007, Coles 2001, Mitosek 2009, Węglarczyk 2010, Suligowski 2013, Jokiel 2015, Kotowski i inni 2010, Kotowski 2011e. 2015, Maity 2018, Kaźmierczak 2019]
- Tabela 4.7. Wartości krytyczne statystyki testu Andersona–Darlinga na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ dla wybranych rozkładów prawdopodobieństwa
- Tabela 5.1. Przedziałowe wysokości opadów dla epizodu opadowego w Raciborzu z dnia 04.08.1982
- Tabela 5.2. Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych w latach 1961–2010 dla elementu $m = 1$ ($C = 50$ lat) szeregu rozdzielczego analizowanych stacji (wg tab. B.1–B.8 Suplementu B)
- Tabela 5.3. Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych w latach 1961–2010 dla elementu $m = 50$ ($C = 1$ rok) szeregu rozdzielczego analizowanych stacji (wg tab. B.1–B.8 Suplementu B)
- Tabela 5.4. Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych w latach 1961–2010 dla wybranych m , p oraz t szeregu rozdzielczego w Jeleniej Górze (wg tab. B 7, Suplement B)
- Tabela 5.5. Wartości logarytmów funkcji wiarygodności ($\ln L_{max}$) dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa - stacja w Zielonej Górze w latach 1961–2010 (wg tab. C.12, Suplement C)
- Tabela 5.6. Wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa – stacja Wrocław w latach 1961–2010 (wg tab. C.17, Suplement C)
- Tabela 5.7. Liczba przedziałów czasów trwania opadów, dla których wartości kryterium błędów $rRMSE$ dla analizowanych rozkładów teoretycznych była najmniejsza (wg tab. D.17–D.24, Suplement D)
- Tabela 5.8. Wartości kryterium błędów $rRMSE$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zgorzelca (tab. D19, Suplement D)
- Tabela 5.9. Zależności parametrów skali i położenia od czasu trwania opadu oraz wartość średnia parametru kształtu dla analizowanych rozkładów i stacji meteorologicznych
- Tabela 5.10. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED , $EV3$ oraz $P3$ dla Wrocławia (tab. E1, Suplement E)

- Tabela 5.11. Probabilistyczne modele opadowe o zadanym czasie trwania i prawdopodobieństwie przewyższenia dla analizowanych stacji IMGW-PIB i najlepiej dopasowanych rozkładów teoretycznych
- Tabela 5.12. Wartości kryterium błędów *MAPE* i *rRMSE* dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Zielonej Górze (odpowiada tab. E.12, Suplement E)
- Tabela 5.13. Wartości kryterium błędów *MAPE* i *rRMSE* dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Raciborzu (tab. E.16, Suplement E)
- Tabela 5.14. Porównanie maksymalnych wysokości opadów deszczu (*h* w mm): rzeczywistych z teoretycznymi - pochodzącymi z rozkładów *GED*, *EV3* i *P3*, w wybranych przedziałach czasowych opadów (*t* w min) i częstości (*C* w latach) dla stacji w Zgorzelcu (wg tab. E.19)
- Tabela 5.15. Porównanie wysokości opadów deszczu dla $t = 4320$ min oraz $C = 50$ lat
- Tabela 5.16. Porównanie postaci probabilistycznych modeli opadowych dla Wrocławia i Legnicy
- Tabela 5.17. Wysokości opadów: wg atlasu KOSTRA DWD (K), wg modelu (5.56) (*EV3*) i wg danych pomiarowych dla Zgorzelca (dane)
- Tabela 6.1. Estymatory parametrów skali (α), kształtu (β) i położenia (γ) rozkładu *GED* dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3, na podstawie tab. F.4–F.6 (Suplement F)
- Tabela 6.2. Wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{\max}$ analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3
- Tabela 6.3. Wartości statystyki λ testu Kolmogorova–Smirnova analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3
- Tabela 6.4. Wartości statystyki testu Andersona–Darlinga A^2 analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3
- Tabela 6.5. Wartości kryterium błędów *rRMSE* analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3
- Tabela 6.6. Wartości parametrów rozkładów *GED*, *EV3* oraz *P3* dla modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2 i Model 3
- Tabela 6.7. Zależności parametrów skali i położenia od czasu trwania opadów oraz wartość średnia parametru kształtu dla modeli: regionalnego Model 1 i obszarowych - Model 2.1, Model 2.2 i Model 3
- Tabela 6.8. Uogólnione probabilistyczne modele opadów maksymalnych: regionalny - Model 1 i obszarowe - Model 2.1, Model 2.2 i Model 3
- Tabela 6.9. Wartości kryterium błędów *rRMSE* dla uogólnionych modeli: regionalnego - Model 1 i obszarowych - Model 2.1, Model 2.2 i Model 3
- Tabela 6.10. Wybrane przedziałowe wysokości opadów deszczu (*h*, mm) dla obszaru stacji nizinnych (wg tabel F.12 i E.17,18, 20 i 21, Suplementy E i F)
- Tabela 6.11. Wybrane przedziałowe wysokości opadów deszczu (*h*, mm) dla obszaru stacji podgórskich (wg tabel F.13 i E.19, 22, 23 i 24 w Suplementach E i F)

Do pracy dołączono Suplementy A–F, zawierające tabele w wynikami cząstkowymi.



Politechnika Wroclawska

Wydział Inżynierii Środowiska
Katedra Wodociągów i Kanalizacji

Raport serii PRE nr/2020

**Opracowanie probabilistycznych modeli
opadów maksymalnych dla dorzecza
Górnej i Środkowej Odry**

mgr inż. MARCIN WDOWIKOWSKI

SUPLEMENTY A – F

Spis tabel zawartych w Suplementach A–F

Suplement A

Wykaz maksymalnych wysokości opadów dobowych zarejestrowanych na stacjach meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry w latach 1951–2018 (wykaz nie zawiera stacji zlikwidowanych, źródło: dane.imgw.pl).

Suplement B

- Tab. B.1. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław, za okres wielolecia 1961–2010
- Tab. B.2. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica, za okres wielolecia 1961–2010
- Tab. B.3. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec, za okres wielolecia 1961–2010
- Tab. B.4. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra, za okres wielolecia 1961–2010
- Tab. B.5. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole, za okres wielolecia 1961–2010
- Tab. B.6. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko, za okres wielolecia 1961–2010
- Tab. B.7. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra, za okres wielolecia 1961–2010
- Tab. B.8. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz, za okres wielolecia 1961–2010

Suplement C

- Tab. C.1. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław
- Tab. C.2. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica
- Tab. C.3. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec
- Tab. C.4. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra
- Tab. C.5. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole
- Tab. C.6. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko

- Tab. C.7. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra
- Tab. C.8. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz
- Tab. C.9. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.10. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.11. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.12. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.13. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.14. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.15. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.16. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.17. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.18. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.19. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.20. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.21. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole, za okres wieloletni 1961–2010

- Tab. C.22. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.23. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.24. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.25. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.26. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.27. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.28. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.29. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.30. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.31. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.32. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.33. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.34. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.35. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.36. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra, za okres wieloletni 1961–2010

- Tab. C.37. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.38. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.39. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.40. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz, za okres wieloletni 1961–2010
- Tab. C.41. Wartości kwantyli standaryzowanej zmiennej losowej $t_p(\alpha)$ rozkładu P3

Suplement D

- Tab. D.1. Wartości statystyki testu Kolmogorova-Smirnova dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Wrocławia
- Tab. D.2. Wartości statystyki testu Kolmogorova-Smirnova dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Legnicy
- Tab. D.3. Wartości statystyki testu Kolmogorova-Smirnova dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zgorzelca
- Tab. D.4. Wartości statystyki testu Kolmogorova-Smirnova dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zielonej Góry
- Tab. D.5. Wartości statystyki testu Kolmogorova-Smirnova dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Opola
- Tab. D.6. Wartości statystyki testu Kolmogorova-Smirnova dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Kłodzka
- Tab. D.7. Wartości statystyki testu Kolmogorova-Smirnova dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Jeleniej Góry
- Tab. D.8. Wartości statystyki testu Kolmogorova-Smirnova dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Raciborza
- Tab. D.9. Wartości statystyki testu Andersona–Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Wrocławia
- Tab. D.10. Wartości statystyki testu Andersona–Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Legnicy
- Tab. D.11. Wartości statystyki testu Andersona–Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zgorzelca
- Tab. D.12. Wartości statystyki testu Andersona–Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zielonej Góry
- Tab. D.13. Wartości statystyki testu Andersona–Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Opola
- Tab. D.14. Wartości statystyki testu Andersona–Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Kłodzka

- Tab. D.15. Wartości statystyki testu Andersona–Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Jeleniej Góry
- Tab. D.16. Wartości statystyki testu Andersona–Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Raciborza
- Tab. D.17. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Wrocławia
- Tab. D.18. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Legnicy
- Tab. D.19. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zgorzelca
- Tab. D.20. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zielonej Góry
- Tab. D.21. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Opola
- Tab. D.22. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Kłodzka
- Tab. D.23. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Jeleniej Góry
- Tab. D.24. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Raciborza

Suplement E

- Tab. E.1. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Wrocławia
- Tab. E.2. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Legnicy
- Tab. E.3. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Zgorzelca
- Tab. E.4. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Zielonej Góry
- Tab. E.5. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Opola
- Tab. E.6. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Kłodzka
- Tab. E.7. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Jeleniej Góry
- Tab. E.8. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Raciborza
- Tab. E.9. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej we Wrocławiu
- Tab. E.10. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Legnicy
- Tab. E.11. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Zgorzelcu
- Tab. E.12. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Zielonej Górze
- Tab. E.13. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Opolu
- Tab. E.14. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Kłodzku

- Tab. E.15. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Jeleniej Górze
- Tab. E.16. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Raciborzu
- Tab. E.17. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h, mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji we Wrocławiu
- Tab. E.18. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h, mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Legnicy
- Tab. E.19. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h, mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Zgorzelcu
- Tab. E.20. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h, mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Zielonej Górze
- Tab. E.21. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h, mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Opolu
- Tab. E.22. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h, mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Kłodzku
- Tab. E.23. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h, mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Jeleniej Górze
- Tab. E.24. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h, mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Raciborzu

Suplement F

- Tab. F.1. Zestawienie 50 uśrednionych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla obszaru „Region 1”
- Tab. F.2. Zestawienie 50 uśrednionych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla obszaru „Region 2”
- Tab. F.3. Zestawienie 50 uśrednionych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla obszaru „Region 3”
- Tab. F.4. Estymatory parametrów analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla „Region 1”
- Tab. F.5. Estymatory parametrów analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla „Region 2”

- Tab. F.6. Estymatory parametrów analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla „Region 3”
- Tab. F.7. Wartości kryterium informacyjnego *HQIC* analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla obszarów „Region 1”, „Region 2”, „Region 3”
- Tab. F.8. Zestawienie 50 teoretycznych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla modelu probabilistycznego „Region 1”
- Tab. F.9. Zestawienie 50 teoretycznych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla modelu probabilistycznego „Region 3”
- Tab. F.10. Zestawienie 50 teoretycznych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla pierwszego modelu probabilistycznego „Region 2”
- Tab. F.11. Zestawienie 50 teoretycznych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla drugiego modelu probabilistycznego „Region 2”
- Tab. F.12. Porównanie wybranych wysokości opadów deszczu (h , mm) obliczonych z modeli probabilistycznych z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C , lat) dla stacji Regionu 2 (R 2) i modelem regionalnym (R 1).Wzory modeli podano w nawiasach.
- Tab. F.13. Porównanie wybranych wysokości opadów deszczu (h , mm) obliczonych z modeli probabilistycznych z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C , lat) dla stacji Regionu 3 i modelem regionalnym (Region 1).Wzory modeli podano w nawiasach.

SUPPLEMENT A

Wykaz maksymalnych wysokości opadów dobowych zarejestrowanych na stacjach meteorologicznych IMGW-PIB w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry w latach 1951–2018 (wykaz nie zawiera stacji zlikwidowanych, źródło: dane.imgw.pl).

Lp	Nazwa stacji	Rzeka	Wysokość opadu [mm]	Wysokość stacji [m n.p.m.]	Data wystąpienia opadu
1	2	3	4	5	6
1	JAKUSZYCE	Kamienna	204.3	860	2006-08-07
2	MIĘDZYGÓRZE	Wilczka	200.1	710	1997-07-06
3	ŚWIERADÓW-	Kwisa	188.1	510	2002-08-13
4	KAMIENICA	Kamienica	179.5	680	1997-07-06
5	SZCZAWNO-ZDRÓJ	Szczawnik	178.6	430	2002-08-31
6	WALIM	Walimka	175.3	490	1964-08-10
7	ZIELENIEC	Bystrzyca	172.3	845	1998-07-22
8	SŁOSZÓW	Wapienny	170.0	555	1998-07-22
9	MIEROSZÓW	Ścinawka	169.3	495	1979-06-17
10	ISTEBNA-	Olza (114)	165.5	735	1970-07-18
11	BOGATYNIA	Miedzianka	160.2	295	2010-08-07
12	STRONIE ŚLĄSKIE	Biała Łądecka	159.7	500	1997-07-06
13	POLKOWICE	Mokrzyca	159.5	165	2001-07-20
14	ŁĄDEK-ZDRÓJ	Biała Łądecka	159.4	460	1997-07-07
15	DOBROGOSZCZ	Pluskawa	156.4	175	1979-06-17
16	POBIEDNA	Łużyca	150.8	420	2002-08-13
17	JEDLINA-ZDRÓJ	Jedlina	149.8	430	1979-06-17
18	GLUCHOŁAZY	Biała Gluchołaska	149.8	350	1997-07-06
19	ŚNIEŻKA	Łomniczka	149.7	1063	1977-07-31
20	BOGUSZÓW-GORCE	Lesk	149.4	520	1997-07-19
21	SZKLARSKA	Kamięńczyk	144.5	645	2006-08-07
22	LUBOMIN	Dopływ z Lubomina	142.0	470	2002-08-31
23	DZIERŻONIÓW	Piława	140.2	260	1979-06-17
24	BOLESŁAWÓW	Morawka	140.0	600	1997-07-06
25	POLANICA-ZDRÓJ	Bystrzyca	137.6	390	1998-07-22
26	SANICE	Nysa Łużycka	134.5	150	2017-08-09
27	SŁUBICE	Odra	132.5	53	1978-08-08
28	KARPACZ	Skalka	131.6	575	2001-07-20
29	JARNOŁTÓWEK	Złoty Potok	131.4	350	1997-07-06
30	CIESZYN	Olza	129.5	295	2010-05-16
31	PACZYN	Bachorzyna	129.4	640	2002-08-13
32	KAMIENNA GÓRA	Bóbr	123.5	360	1987-07-16
33	ŚWIERZAWA	Kaczawa	123.2	270	2001-07-20
34	RĘBISZÓW	Skitnica	122.7	420	2006-08-07
35	BORÓW	Śleza	120.9	145	1964-08-10
36	GRYFÓW ŚLĄSKI	Kwisa	120.6	325	2012-07-05
37	KACZORÓW	Kaczawa	120.3	470	1964-08-10
38	JELEŃ GÓRA	Bóbr	119.3	342	2001-07-20
39	JAWOR	Nysa Szalona	117.0	195	1960-08-13
40	PRZESIEKA	Podgórna	116.0	650	1997-07-18
41	ISTEBNA-	Olza	113.5	780	1960-07-25
42	CHEŁMSKO	Zadrna	112.3	500	1979-06-17
43	GLUBCZYCE	Psina	111.7	290	1997-07-06
44	KOWARY	Jedlica	109.3	430	1981-07-19
45	CIECHANOWICE	Bóbr	108.3	405	2002-08-13
46	STARA KAMIENICA	Kamienica	107.2	370	1981-07-19
47	LUBACHÓW	Bystrzyca	106.0	305	1997-07-18
48	OLDRZYCHOWICE	Biała Łądecka	106.0	340	1956-06-01
49	BOROWICE	Kacza	104.2	665	2013-06-25
50	DZIEWIĘTLICE	Świdna	103.5	240	1971-05-21
51	ZŁOTNIKI	Zb. Złotniki	102.0	360	2010-08-07
52	KŁODZKO	Nysa Kłodzka	101.2	356	2009-06-26

Lp	Nazwa stacji	Rzeka	Wysokość opadu [mm]	Wysokość stacji [m n.p.m.]	Data wystąpienia opadu
1	2	3	4	5	6
53	LUBOMIERZ	Oldza	100.8	355	1996-07-08
54	OPOLE	Odra	99.0	165	1998-07-27
55	OSTROSZOWICE	Jadkowa	98.7	375	1997-07-18
56	OBORNIKI ŚLĄSKIE	Odra	98.6	175	2001-07-20
57	DLUGOPOLE-ZDRÓJ	Nysa Kłodzka	97.3	365	1997-07-07
58	KRUPSKI MŁYN	Mała Panew	97.0	225	1966-07-24
59	GRABOWNICA	Grabownica	95.5	120	2010-07-23
60	SREBRNA GÓRA	Budzówka	95.0	405	1979-06-17
61	BOLKÓW	Nysa Szalona	94.0	310	1956-07-14
62	OTMUCHÓW	Nysa Kłodzka	93.6	210	2007-05-26
63	BIERNA	Czerwona Woda	93.1	270	2002-08-13
64	RACIBÓRZ	Odra	92.9	206	1997-07-07
65	SMOLICE	Rdęca	91.5	105	1994-07-08
66	BUKÓWKA	Bóbr	90.6	510	2001-07-20
67	BARDO	Nysa Kłodzka	90.2	320	1979-06-17
68	GRABIK	Czarna	90.2	165	1995-08-31
69	PSZENNO	Piława	89.8	225	2006-08-04
70	ZIELONA GÓRA	Odra	89.0	192	2011-07-21
71	SULIKÓW	Czerwona Woda	88.1	215	2010-07-17
72	GŁOGÓW	Odra	88.1	75	1996-07-08
73	TWARDOCICE	Gajowa	87.1	250	1996-07-08
74	BIERUTÓW	Widawa	86.9	140	2011-06-30
75	LEGNICA	Kaczawa	85.9	122	2001-07-20
76	PILCHOWICE	Bóbr	85.4	245	1981-07-19
77	KUDOWA-ZDRÓJ	Klikawa	85.0	360	1979-06-17
78	PAPROTKI	Bachorzyna	84.2	535	2001-07-20
79	STARE OLESNO	Stobrawa	83.8	230	1997-07-06
80	TARNÓW	Budzówka	83.2	295	2010-07-17
81	LESZNO	Strzyżewicki Rów	83.2	91	2016-07-14
82	KORFANTÓW	Ścinawa	83.0	200	1998-07-27
83	MASZEWO	Odra	81.5	68	2017-07-22
84	TOMASZÓW	Bobrzyca	80.2	195	1996-07-08
85	OSETNO	Barycz	80.0	85	1997-08-29
86	MIĘDZYLESIE	Nysa Kłodzka	78.6	450	1997-07-07
87	CHWAŁKOWICE	Rudawka	78.1	175	2016-07-14
88	SUKOWICE	Cisek	76.2	180	2011-06-30
89	WROCLAW	Odra	74.4	120	2001-07-20
90	GRODKÓW	Grodkowska Struga	72.6	170	2009-06-23
91	ŻAGAŃ	Bóbr	70.4	115	1981-07-20
92	PODGÓRZYN	Podgórna	70.3	380	2014-06-26
93	JELCZ-LASKOWICE	Widawa	70.2	135	1994-09-02
94	MILICZ	Barycz	69.7	115	2001-07-20
95	RADZYŃ	Obrzyca	69.1	60	2016-07-14
96	TRZEBNICA	Kanał Trzebnicki	68.2	185	1970-08-03
97	NAMYŚLÓW	Widawa	67.0	155	1985-08-08
98	ŁABĘDY	Kłodnica	61.7	208	1997-07-07
99	SZALEJÓW GÓRNY	Bystrzyca	57.3	335	2017-06-06
100	MIRSK	Czarny Potok	54.9	340	2016-07-14

SUPPLEMENT B

Tab. B.1. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław, za okres wielolecia 1961–2010

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	13.1	18.7	28.8	32.9	33.8	35.1	35.3	42.7	57.7	61.9	63.1	64.2	72.9	80.1	92.6	103.9	116.9
2	11.6	18.0	26.6	30.3	32.5	35.1	35.3	37.7	41.5	42.8	50.4	64.2	71.5	77.9	92.5	103.2	111.6
3	11.4	17.0	24.7	28.6	31.7	35.1	35.3	36.5	38.5	41.3	49.0	63.1	71.5	75.2	86.9	101.1	108.5
4	10.4	16.6	24.3	28.4	31.3	34.6	34.8	35.8	36.5	40.4	46.0	54.4	69.1	73.4	85.5	96.2	107.9
5	9.9	15.7	24.2	28.2	30.2	33.8	34.7	35.4	36.2	38.4	43.9	54.2	69.1	72.2	85.4	94.5	101.9
6	9.8	14.6	24.0	28.0	30.0	33.0	33.6	35.4	36.1	38.0	42.6	52.9	63.1	72.1	80.8	87.5	100.4
7	9.6	14.5	23.9	28.0	29.1	31.9	32.7	35.4	35.7	36.7	42.6	51.5	61.7	68.0	80.3	85.8	97.5
8	9.6	14.3	23.6	28.0	29.1	31.7	32.4	34.7	35.4	36.5	41.0	50.0	61.2	67.5	79.4	83.9	90.1
9	9.6	13.8	22.6	27.4	28.2	30.8	31.7	34.3	35.4	35.9	40.7	49.7	60.4	66.5	75.3	79.7	90.0
10	9.3	13.8	22.2	26.7	27.8	29.9	30.5	33.9	35.4	35.7	38.7	49.2	57.4	65.0	73.1	76.2	87.5
11	9.2	13.6	21.4	25.7	27.3	29.8	30.3	33.7	34.9	35.4	38.7	48.9	56.8	63.1	70.3	73.4	84.0
12	9.2	13.3	20.5	24.3	26.5	29.3	29.7	33.2	34.6	35.4	38.5	48.4	56.8	62.1	69.2	73.1	82.9
13	9.1	12.9	19.5	22.4	25.2	28.9	29.4	33.2	33.2	35.4	38.3	46.5	53.9	61.9	65.6	66.7	79.7
14	9.0	12.8	19.4	22.3	24.4	28.3	29.2	32.3	33.2	35.2	37.5	46.3	53.5	61.0	65.5	66.5	76.6
15	9.0	12.7	19.2	22.1	24.2	28.2	29.1	31.7	33.2	35.1	37.3	46.3	52.8	56.9	65.4	66.4	76.1
16	8.6	12.4	19.0	21.6	23.7	27.8	28.8	30.6	32.4	34.9	36.9	45.8	51.5	56.4	62.1	65.6	75.2
17	8.5	12.4	18.7	21.1	22.8	26.5	27.5	30.1	31.3	34.4	36.9	44.6	50.9	54.1	62.1	65.1	74.5
18	8.4	12.3	17.9	19.9	22.1	26.0	26.9	29.3	30.6	33.2	36.8	44.5	49.2	54.1	59.3	63.0	73.9
19	8.4	12.3	17.2	19.8	21.8	24.3	24.6	29.3	30.1	32.8	36.5	43.9	49.1	52.8	58.7	62.1	68.5
20	8.3	12.3	17.2	19.7	21.3	24.0	24.6	28.7	29.5	32.4	36.3	41.5	48.9	51.5	57.0	61.1	68.2
21	8.2	11.6	16.6	18.8	20.6	23.8	24.5	27.9	29.3	32.1	36.1	41.3	47.1	51.2	57.0	61.1	66.7
22	8.2	11.3	16.3	18.6	20.1	23.2	24.0	27.0	28.7	31.6	35.7	41.2	46.0	49.2	56.9	60.8	65.7
23	8.2	11.3	16.1	18.1	19.4	22.6	23.5	24.7	26.9	29.8	35.7	40.8	45.3	49.1	56.4	60.8	63.6
24	8.0	11.2	16.0	18.0	19.0	22.2	23.3	24.6	26.6	30.4	35.7	40.8	45.3	49.0	55.7	60.8	63.4
25	8.0	11.0	15.9	17.9	18.9	20.1	20.2	24.2	26.2	29.3	35.2	40.8	45.3	48.3	55.2	60.6	63.4
26	7.9	11.0	15.8	17.7	18.7	19.8	19.9	23.8	25.6	27.3	34.9	40.1	45.3	48.3	53.9	60.4	62.7
27	7.9	10.7	15.7	17.5	18.3	19.6	19.9	22.3	25.2	27.0	34.8	39.9	45.2	47.8	52.8	59.6	62.1
28	7.8	10.7	15.4	17.1	17.7	19.4	19.9	22.3	24.2	25.2	34.7	39.3	45.0	47.4	51.5	59.5	61.2
29	7.8	10.6	14.9	16.4	17.1	19.0	19.6	21.0	23.6	26.4	34.4	39.0	44.7	47.1	51.2	59.3	60.6
30	7.8	10.6	14.8	16.4	17.1	18.7	19.2	20.8	23.1	26.2	33.9	38.7	44.4	47.1	51.0	58.7	60.4
31	7.7	10.6	14.7	16.4	17.1	18.4	18.7	20.0	22.2	25.6	33.2	38.0	44.1	47.1	50.9	58.5	60.1
32	7.6	10.5	14.4	15.7	16.5	18.1	18.5	19.9	21.4	25.6	33.0	37.6	43.9	46.0	50.7	56.5	60.0
33	7.4	10.4	14.2	15.6	16.3	17.5	17.8	19.9	21.1	25.0	32.8	37.5	42.7	45.8	50.4	56.4	59.8
34	7.2	10.2	14.1	15.6	16.2	17.4	17.7	19.6	20.9	25.0	32.4	37.5	41.2	45.3	50.1	56.3	59.4
35	7.0	10.2	14.0	15.3	16.1	17.3	17.5	19.3	20.3	24.9	32.2	37.5	41.2	45.2	49.5	55.5	59.3
36	7.0	10.2	13.8	15.2	16.0	17.1	17.3	19.2	20.3	24.9	30.8	36.5	41.0	45.2	48.1	52.8	59.3
37	6.9	10.1	13.7	15.2	15.9	16.8	17.0	18.8	19.9	24.2	30.5	36.1	40.6	44.9	48.0	51.6	58.5
38	6.9	10.0	13.5	15.1	15.8	16.8	16.9	18.1	19.9	23.4	30.4	35.6	40.3	44.4	47.3	51.5	57.9
39	6.8	10.0	13.5	15.1	15.7	16.6	16.8	17.7	19.6	23.0	29.5	35.2	39.6	43.5	47.2	51.1	57.0
40	6.8	9.8	13.3	15.0	15.6	16.4	16.6	17.6	19.6	22.6	29.3	35.2	39.3	43.4	47.2	51.0	55.9
41	6.8	9.7	13.2	14.9	15.5	16.4	16.6	17.2	19.4	22.1	29.3	35.1	39.3	42.3	47.2	50.5	55.7
42	6.7	9.6	13.1	14.7	15.3	16.0	16.1	17.2	19.4	22.0	28.5	35.0	39.3	42.1	47.2	49.5	51.8
43	6.7	9.4	13.0	14.7	15.3	15.9	16.0	17.1	19.3	22.0	28.5	34.9	39.3	41.8	47.2	49.0	51.4
44	6.7	9.4	12.8	14.5	15.1	15.9	16.0	17.0	19.0	21.9	28.0	34.6	39.0	41.7	47.1	48.9	51.1
45	6.7	9.2	12.8	14.5	15.1	15.8	15.9	17.0	18.9	21.7	27.9	34.5	38.8	41.0	46.6	48.6	50.5
46	6.7	9.2	12.5	14.3	15.0	15.8	15.9	16.9	18.8	21.5	27.9	33.9	38.7	40.4	46.4	48.6	50.0
47	6.6	9.1	12.4	14.2	14.7	15.7	15.9	16.8	18.8	21.5	27.8	32.9	38.0	40.3	45.8	48.1	50.0
48	6.6	9.1	12.2	14.0	14.6	15.5	15.7	16.8	18.7	21.1	27.0	32.8	37.9	40.2	45.8	48.1	49.7
49	6.5	8.9	12.1	13.9	14.5	15.4	15.6	16.7	18.6	20.4	26.3	32.5	37.5	40.1	45.3	48.1	49.5
50	6.4	8.9	12.0	13.8	14.4	15.3	15.5	16.6	17.9	20.3	26.2	32.0	36.5	39.9	45.2	48.1	49.0

Tab. B.2. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica, za okres wielolecia 1961–2010

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	16.2	23.5	28.8	32	37.4	39.8	40.6	41.0	49.6	57.6	60.2	74.9	77.3	86.5	114.8	130.2	148.1
2	15.2	23.1	28.5	31.2	33.9	35.9	37.1	40.8	42.5	49.0	52.3	65.3	74.3	82.7	91.1	103.9	147.6
3	14.2	19.0	26.3	30.1	32.8	34.6	36.6	39.6	41.9	44.0	49.8	60.2	61.1	77.8	87.0	97.8	127.4
4	12.2	17.6	25.5	27.4	31.6	33.9	34.4	39.4	40.0	43.3	49.3	57.3	60.2	75.1	86.5	91.8	115.7
5	11.2	17.5	25.1	26.9	28.2	31.0	31.6	36.2	39.6	40.7	47.2	51.8	58.7	68.9	82.7	86.5	95.1
6	11.0	16.5	25.1	26.8	27.4	27.8	29.3	35.7	37.0	39.6	46.4	51.6	56.4	67.7	80.0	83.9	89.2
7	10.9	15.3	21.7	26.1	26.8	27.3	27.9	32.1	34.4	39.3	46.3	50.4	56.2	66.4	80.0	83.8	88.1
8	10.5	14.8	21.4	25.4	26.8	26.8	26.8	31.2	33.7	38.4	45.5	49.8	54.6	66.3	78.2	82.7	84.5
9	9.9	14.6	21.0	25.2	25.5	25.7	26.3	29.7	33.1	37.5	41.8	45.6	52.9	63.0	77.1	80.0	83.0
10	9.8	14.1	20.1	24.5	25.2	25.2	25.9	29.4	32.2	34.5	40.9	44.6	51.6	60.2	75.6	78.5	80.5
11	9.8	13.3	20.0	23.8	24.3	24.5	25.2	28.0	31.7	32.2	40.2	43.6	50.5	59.6	70.3	77.1	79.8
12	9.5	12.8	18.6	21.2	23.0	23.5	24.8	27.9	28.7	31.3	39.6	43.5	49.9	59.2	66.1	73.0	78.8
13	9.3	12.8	18.6	20.3	21.8	23.5	24.2	26.7	28.2	30.6	39.4	43.4	49.8	55.7	62.2	72.5	78.7
14	9.2	12.7	18.6	19.9	21.3	22.1	24.2	26.1	27.8	30.3	38.4	42.7	48.9	55.0	60.3	66.2	77.1
15	8.8	12.7	17.6	19.3	20.5	21.7	23.0	25.2	27.3	29.8	37.5	42.6	46.3	54.9	60.2	64.9	76.3
16	8.8	12.6	17.6	18.8	20.3	21.5	22.6	24.8	26.9	29.2	35.4	41.8	46.2	52.2	59.2	62.8	73.4
17	8.7	12.4	17.1	18.2	20.0	20.9	22.6	24.5	26.6	29.0	34.0	41.3	44.6	51.6	58.6	62.2	72.7
18	8.5	12.0	16.6	18.1	19.8	20.4	21.5	24.3	26.3	28.8	32.4	40.8	43.6	51.4	57.9	61.5	66.6
19	8.3	11.6	16.5	17.6	19.5	20.3	21.3	24.0	26.0	28.7	32.2	39.7	43.4	51.2	57.6	60.2	66.0
20	8.2	11.4	16.1	17.6	19.2	20.1	21.2	23.1	25.2	28.4	31.8	39.6	43.1	49.9	56.1	59.6	65.8
21	8.2	11.4	15.9	17.6	19.1	19.8	21.0	23.0	24.5	28.2	31.6	37.9	42.3	49.5	55.6	59.3	63.2
22	8.2	11.4	15.5	17.3	18.8	19.8	20.9	22.1	24.3	27.2	31.3	37.5	41.9	49.1	55.0	57.8	61.9
23	8.1	11.3	14.8	17.0	18.0	19.7	20.8	22.0	23.9	26.5	31.2	37.4	41.7	49.0	53.6	57.6	61.4
24	7.8	10.9	14.7	16.2	17.8	18.5	20.5	21.8	23.2	26.3	30.9	36.0	41.4	48.8	53.5	57.5	60.2
25	7.6	10.9	14.5	16.0	17.6	18.2	19.9	21.6	22.8	26.3	30.6	35.8	41.3	48.3	52.9	57.3	59.8
26	7.6	10.9	14.4	15.9	17.5	18.2	19.9	21.4	22.6	25.9	30.5	35.6	41.1	47.9	51.4	55.9	59.3
27	7.6	10.7	14.2	15.5	17.3	18.1	19.8	21.3	22.5	25.9	30.4	35.4	40.8	47.7	51.2	54.6	59.1
28	7.5	10.6	14.1	15.4	16.9	18.1	19.0	21.3	22.0	25.3	30.0	35.3	40.1	47.5	50.7	53.5	57.6
29	7.3	10.5	13.3	15.3	16.3	18.1	18.6	20.9	21.8	25.2	29.1	35.2	39.6	47.4	49.6	52.9	57.5
30	7.2	10.4	13.2	14.8	16.0	17.6	18.5	20.5	21.8	24.6	29.0	35.1	38.7	47.1	49.0	51.4	57.4
31	7.1	10.3	13.2	14.7	15.8	17.6	18.4	20.4	21.8	24.3	28.8	34.9	38.6	46.6	48.8	51.2	57.3
32	7.1	10.1	13.1	14.5	15.6	17.4	18.0	20.1	21.4	23.3	28.5	34.8	37.9	46.0	48.6	51.1	55.9
33	7.1	9.9	13.1	14.4	15.6	17.0	18.0	20.1	21.1	23.2	28.2	34.5	37.5	45.1	48.0	49.9	54.6
34	7.1	9.8	12.7	14.4	15.5	16.7	17.7	20.0	20.9	23.1	28.1	33.5	37.4	44.1	47.7	49.8	53.9
35	7.0	9.4	12.6	14.4	15.4	16.6	17.6	19.9	20.4	23.0	27.8	33.2	37.2	43.4	47.5	49.0	53.7
36	7.0	9.4	12.5	14.2	15.1	16.1	17.6	19.7	20.2	22.5	27.1	32.2	37.0	43.1	47.5	48.6	52.7
37	6.9	9.3	12.4	14.0	14.9	16.0	17.6	18.9	20.1	22.3	26.9	32.1	35.6	43.0	47.1	48.5	52.2
38	6.8	9.2	12.3	14.0	14.7	15.8	17.5	18.6	20.0	22.3	26.7	31.8	35.4	42.7	46.8	48.0	52.2
39	6.7	9.1	12.2	13.8	14.4	15.4	16.5	18.6	19.9	21.8	26.6	31.8	35.3	42.6	45.5	47.7	51.7
40	6.7	9.0	12.2	13.7	14.4	15.4	16.5	18.1	19.9	21.8	26.3	31.8	35.1	41.9	45.0	47.5	51.4
41	6.6	9.0	12.1	13.7	14.2	14.9	16.0	17.8	19.9	21.7	25.9	31.0	35.0	41.8	44.5	47.1	51.0
42	6.3	8.9	12.1	13.2	14.1	14.9	15.8	17.8	19.7	21.0	25.5	30.9	34.8	41.1	44.0	47.1	50.3
43	6.3	8.9	12.0	13.1	14.0	14.7	15.4	17.8	19.7	20.9	25.3	30.9	34.7	40.4	44.0	46.3	50.0
44	6.3	8.7	11.7	13.0	13.9	14.4	15.3	17.7	19.7	20.9	25.2	30.7	33.9	39.0	43.4	46.0	49.3
45	6.2	8.6	11.6	12.9	13.7	14.3	15.0	17.6	19.7	20.9	24.8	30.2	33.4	39.0	43.3	45.8	49.0
46	6.2	8.5	11.6	12.9	13.6	14.3	14.9	17.4	19.6	20.6	24.7	29.2	33.2	38.5	43.2	44.8	48.9
47	6.2	8.5	11.3	12.8	13.4	14.2	14.7	17.3	19.2	20.5	24.5	29.2	33.2	38.0	43.0	44.0	48.8
48	6.0	8.4	11.3	12.7	13.2	14.1	14.7	16.9	18.7	20.3	24.3	28.8	33.1	37.8	42.6	43.8	48.5
49	5.8	8.3	11.3	12.5	13.1	14.1	14.4	16.5	18.3	20.2	24.0	28.7	32.6	37.5	42.2	43.7	48.4
50	5.8	8.3	11.3	12.5	13.0	13.7	14.2	16.5	18.2	20.0	23.9	28.6	32.4	37.4	42.0	43.4	47.7

Tab. B.3. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec, za okres wielolecia 1961–2010.

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	11.0	13.5	27.0	32.0	46.0	49.2	51.2	54.2	56.1	57.3	57.3	57.3	73.3	83.8	119.9	145.8	179.2
2	10.7	11.5	18.5	23.5	26.4	29.9	31.8	36.5	38.9	40.6	45.5	57.2	73.0	81.1	112.9	128.2	153.6
3	9.8	11.2	17.6	22.8	23.4	23.7	26.5	31.8	32.9	38.9	43.6	57.0	65.0	77.4	85.7	95.6	108.3
4	9.6	11.0	14.3	18.0	19.0	21.5	21.9	28.0	31.8	31.8	38.9	47.7	57.3	76.2	84.2	93.6	101.9
5	9.0	10.7	14.0	15.0	19.0	20.0	21.7	23.8	23.8	31.8	38.5	47.0	54.6	64.5	79.2	87.5	91.6
6	8.8	10.0	13.5	15.0	18.0	19.1	20.3	22.0	22.5	30.7	36.5	45.5	51.1	60.3	78.7	86.5	87.7
7	8.5	9.9	12.8	14.9	16.0	18.4	18.7	19.3	21.4	25.8	34.7	45.3	47.5	59.2	64.0	70.1	86.7
8	8.2	9.8	12.8	14.4	16.0	17.4	18.4	19.1	21.4	24.6	33.7	44.4	46.0	59.0	64.0	67.7	86.3
9	8.1	9.4	12.5	14.3	15.7	17.3	17.7	18.8	21.2	24.4	32.1	40.4	45.5	57.4	60.3	67.3	84.9
10	7.9	9.3	12.0	14.2	14.6	16.4	17.3	18.8	21.0	24.2	31.2	38.9	45.5	55.6	60.3	67.1	72.9
11	7.8	9.2	12.0	14.2	14.6	15.7	16.7	17.4	20.3	23.8	30.6	37.8	41.6	53.1	59.5	65.2	71.7
12	7.7	9.2	11.8	13.7	14.3	15.4	16.4	17.3	18.8	22.2	28.9	36.4	38.9	53.0	59.3	65.1	71.2
13	7.7	9.1	11.7	13.5	14.2	14.8	16.2	17.1	18.2	21.4	28.1	35.1	38.6	52.7	58.7	61.7	70.3
14	7.7	9.0	11.5	13.0	14.2	14.5	16.2	16.4	18.2	21.3	27.0	34.9	38.1	50.1	57.9	60.5	70.1
15	7.5	8.8	11.5	12.9	14.0	14.3	15.8	16.3	17.8	21.1	26.9	34.9	36.4	49.7	56.0	59.2	68.4
16	7.5	8.8	11.2	12.8	13.8	14.2	15.5	16.0	17.4	20.7	26.5	33.4	35.8	49.5	54.0	58.2	66.5
17	7.4	8.8	11.2	12.6	13.5	14.2	15.2	16.0	17.3	20.3	26.4	33.2	35.2	48.7	53.8	57.6	63.2
18	7.2	8.7	10.9	12.2	13.5	14.2	15.1	15.8	17.0	19.6	26.3	32.8	35.1	48.4	53.0	57.5	61.8
19	7.2	8.5	10.7	12.1	13.3	14.2	15.0	15.8	16.6	19.5	25.9	32.5	34.9	48.3	51.9	56.3	60.9
20	7.1	8.5	10.5	12.0	13.2	13.8	14.3	15.6	16.5	19.4	25.6	32.3	34.9	47.4	49.8	56.0	60.5
21	7.1	8.5	10.4	12.0	13.2	13.6	14.2	15.6	16.4	19.3	25.6	32.3	34.5	46.9	48.9	55.3	60.3
22	6.7	8.5	10.4	11.9	12.9	13.5	14.2	15.0	16.3	19.0	25.2	31.5	33.5	46.9	47.8	54.9	60.0
23	6.7	8.5	10.3	11.9	12.6	13.3	14.0	14.8	16.2	18.9	24.4	31.4	33.4	45.5	47.3	54.9	59.5
24	6.6	8.4	10.3	11.9	12.6	13.3	14.0	14.7	16.2	18.6	24.4	29.4	32.9	44.0	47.2	54.1	59.2
25	6.5	8.4	10.3	11.7	12.5	13.3	13.8	14.7	16.0	18.5	23.9	28.7	32.8	43.8	46.7	54.0	58.6
26	6.5	8.2	10.1	11.7	12.4	13.0	13.5	14.4	15.6	18.4	23.8	28.6	32.6	43.8	46.7	53.8	58.1
27	6.5	8.2	10.0	11.5	12.4	13.0	13.3	14.4	15.5	18.3	23.8	28.6	32.3	43.5	46.5	53.6	57.3
28	6.5	8.1	10.0	11.5	12.2	12.9	13.3	14.2	15.1	17.6	23.5	27.8	32.0	42.6	46.4	53.5	56.8
29	6.5	8.1	10.0	11.4	12.1	12.9	13.2	14.2	15.0	17.5	23.0	27.6	31.7	42.6	46.2	53.4	56.4
30	6.3	8.1	10.0	11.2	12.1	12.7	13.0	14.2	15.0	17.4	22.7	27.6	31.6	42.6	46.1	53.2	55.9
31	6.2	8.0	9.8	11.1	12.1	12.3	13.0	14.1	14.8	17.3	22.2	27.2	31.5	41.8	46.1	52.5	55.8
32	6.1	8.0	9.7	11.1	12.0	12.3	13.0	13.8	14.7	17.3	21.5	26.5	30.9	40.6	46.0	52.4	55.5
33	6.1	7.8	9.6	11.1	11.9	12.2	12.9	13.7	14.7	17.1	21.4	26.4	30.8	39.8	44.9	51.6	55.1
34	6.0	7.7	9.5	11.0	11.6	12.2	12.8	13.6	14.5	17.0	21.3	26.2	30.6	39.8	44.8	51.4	54.8
35	5.9	7.7	9.5	10.7	11.5	12.0	12.5	13.5	14.4	16.8	21.3	26.0	30.1	39.2	44.7	50.6	54.7
36	5.8	7.7	9.5	10.6	11.5	11.9	12.3	13.5	14.3	16.6	21.1	25.9	29.4	38.9	44.2	50.3	54.0
37	5.8	7.6	9.4	10.5	11.2	11.5	12.2	13.5	14.2	16.6	21.1	25.8	29.2	37.8	43.9	49.8	53.4
38	5.7	7.6	9.3	10.5	11.1	11.2	12.2	13.3	14.2	16.5	21.0	25.3	28.8	37.1	43.5	49.8	52.9
39	5.7	7.6	9.2	10.4	10.8	11.2	12.1	13.3	14.2	16.4	20.8	25.2	28.6	36.8	43.1	49.3	52.7
40	5.7	7.5	9.1	10.4	10.7	11.1	11.9	13.2	14.0	16.4	20.6	25.1	28.6	36.7	42.8	48.9	52.5
41	5.7	7.5	9.1	10.2	10.5	11.0	11.9	13.1	13.8	16.3	20.3	24.7	28.2	36.7	42.6	46.9	52.4
42	5.6	7.5	9.1	10.2	10.5	10.9	11.4	13.0	13.7	16.2	20.0	24.6	28.1	36.7	42.3	46.3	52.0
43	5.6	7.5	9.1	10.1	10.4	10.7	11.3	13.0	13.6	16.1	19.9	24.5	28.0	36.4	41.8	46.2	51.4
44	5.6	7.4	9.1	10.0	10.4	10.6	11.2	13.0	13.6	15.8	19.9	24.4	27.6	36.2	41.5	45.6	51.4
45	5.6	7.2	9.0	9.9	10.4	10.5	11.1	12.8	13.6	15.7	19.6	24.4	27.1	36.0	40.9	45.3	51.3
46	5.6	7.2	9.0	9.8	10.4	10.5	11.1	12.8	13.5	15.6	19.5	24.4	26.5	35.7	40.8	44.8	50.6
47	5.6	7.2	8.8	9.5	10.2	10.4	11.0	12.5	13.5	15.5	19.3	23.8	26.3	35.5	40.8	44.6	50.3
48	5.6	7.2	8.6	9.4	10.2	10.4	11.0	12.2	13.5	15.4	19.2	23.5	26.0	35.2	40.3	44.1	50.1
49	5.5	7.2	8.5	9.3	10.2	10.3	11.0	12.2	13.5	15.4	19.2	23.4	25.7	35.1	40.0	43.7	50.0
50	5.5	7.1	8.5	9.3	9.8	10.3	10.9	12.1	13.3	15.3	18.9	23.0	25.6	35.1	39.2	43.4	49.0

Tab. B.4. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra, za okres wielolecia 1961–2010

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	13.6	19.2	30.1	37.9	39.9	40.6	41.8	45.1	45.9	51.9	55.0	56.9	73.6	89.1	96.0	103.5	109.6
2	13.0	16.8	30.0	35.6	38.0	38.0	38.1	44.5	44.5	47.2	49.7	56.8	58.3	63.4	87.3	96.0	98.6
3	12.0	15.9	26.1	27.7	33.1	36.8	38.1	38.9	38.9	43.5	49.5	56.6	57.9	62.3	78.8	85.5	97.4
4	10.9	14.4	24.0	27.3	29.4	34.8	38.0	38.9	38.9	42.0	49.0	51.7	56.6	61.6	71.5	74.7	82.8
5	10.1	14.4	23.3	25.2	27.7	27.7	33.0	38.0	38.0	38.9	43.8	49.7	55.7	60.6	68.8	72.1	77.1
6	9.9	12.8	20.3	23.8	26.4	27.1	30.6	33.0	37.3	38.1	43.7	49.0	55.2	59.9	65.6	68.8	72.5
7	9.7	12.6	19.7	21.6	24.5	27.0	28.5	30.8	33.1	37.8	43.5	43.9	50.2	58.3	64.9	68.0	70.1
8	9.4	12.6	19.1	21.6	23.0	26.5	28.4	30.6	32.5	37.7	41.1	43.8	49.7	56.9	62.1	66.3	69.9
9	9.0	12.5	19.1	19.9	22.1	26.4	26.5	26.5	30.8	33.6	38.9	41.8	49.3	56.6	61.6	65.6	69.6
10	8.9	12.3	17.4	19.6	22.0	22.7	26.3	26.3	28.1	33.4	37.7	41.1	49.3	55.0	61.0	63.3	68.0
11	8.8	12.2	17.2	19.5	21.1	22.2	23.7	25.4	27.6	30.8	36.0	40.5	49.0	51.1	60.1	62.3	66.2
12	8.6	12.1	17.1	19.4	20.7	22.1	23.2	24.7	26.8	27.9	33.6	40.1	48.1	51.1	59.7	62.3	65.7
13	8.5	12.0	17.0	19.2	20.2	21.5	22.9	24.3	26.6	27.9	31.6	39.7	45.5	49.0	58.2	61.9	63.5
14	8.5	11.9	16.4	18.1	19.5	21.3	22.7	23.7	26.5	27.8	31.4	39.0	44.5	47.2	57.1	61.8	63.4
15	8.2	11.9	16.4	17.9	19.4	20.4	22.2	23.3	26.5	27.6	31.0	38.4	44.0	46.0	57.0	61.3	63.0
16	8.2	11.7	15.5	17.1	19.2	20.3	21.4	22.8	26.4	27.5	30.8	38.2	43.9	45.2	55.0	58.2	62.9
17	8.1	11.6	15.5	16.7	18.6	20.1	21.4	22.5	24.7	27.1	30.0	37.6	43.8	44.5	53.7	57.0	62.3
18	7.9	11.5	15.4	16.6	18.4	19.8	21.0	22.4	24.3	26.8	29.4	37.0	43.4	44.3	51.3	56.1	61.9
19	7.8	11.4	14.7	16.1	18.4	19.5	20.7	21.2	24.2	26.5	29.3	36.8	41.1	43.9	50.5	55.4	61.9
20	7.7	11.1	14.5	16.1	18.0	19.2	19.8	21.1	23.7	26.2	29.2	36.4	40.7	43.8	50.4	55.1	61.4
21	7.7	10.8	14.5	16.1	17.8	18.9	19.6	21.1	23.6	25.1	28.5	36.4	40.5	42.8	50.0	55.0	59.4
22	7.5	10.7	14.3	15.8	17.6	18.6	19.6	20.9	23.3	24.8	28.4	36.4	40.5	42.6	49.0	54.4	58.9
23	7.4	10.6	14.0	15.7	16.9	18.4	19.2	20.7	22.8	24.7	28.0	35.9	40.3	41.8	48.5	53.7	58.5
24	7.2	10.6	14.0	15.7	16.6	17.6	19.2	20.3	22.8	24.7	27.7	35.9	39.9	41.2	48.2	53.5	58.4
25	7.1	10.5	13.9	15.6	16.5	17.6	18.5	19.8	22.4	24.7	27.6	35.7	39.7	41.1	46.6	51.6	57.0
26	7.1	10.5	13.7	15.6	16.3	17.5	18.4	19.6	22.2	24.4	27.6	35.3	39.4	40.5	45.1	51.0	56.6
27	7.1	10.4	13.5	15.5	16.1	17.2	18.4	19.5	21.9	23.8	27.5	35.1	39.0	40.5	44.9	50.4	56.1
28	7.0	10.2	13.5	15.4	16.1	16.6	18.0	19.3	21.2	23.4	27.1	34.4	38.8	40.3	44.8	50.0	53.9
29	6.9	10.0	13.5	15.3	16.0	16.6	17.9	19.2	21.0	23.4	27.0	34.4	38.7	40.3	43.8	49.0	53.6
30	6.8	10.0	13.2	15.1	15.9	16.5	17.8	19.1	20.9	22.7	26.9	33.9	38.6	40.1	42.9	48.8	53.1
31	6.7	10.0	13.2	15.0	15.8	16.5	16.8	18.4	20.9	22.5	26.8	33.6	37.5	39.3	42.8	47.8	52.0
32	6.6	10.0	13.1	15.0	15.7	16.3	16.7	18.2	20.2	21.9	26.5	33.4	37.5	39.0	42.7	47.2	52.0
33	6.6	9.8	12.9	14.8	15.6	16.1	16.6	18.2	20.0	21.9	26.5	32.2	36.4	38.8	42.6	46.0	51.8
34	6.6	9.8	12.9	14.7	15.4	16.0	16.5	17.9	19.9	21.9	26.5	32.0	36.0	38.7	41.8	45.7	51.5
35	6.5	9.7	12.9	14.5	15.3	15.9	16.4	17.7	19.8	21.5	26.4	31.4	35.9	37.9	41.7	45.1	51.0
36	6.4	9.7	12.6	14.3	15.1	15.8	16.4	17.6	19.6	21.4	26.4	31.4	35.9	37.5	41.1	44.6	50.6
37	6.4	9.4	12.6	14.1	15.0	15.5	16.3	17.6	19.4	21.2	26.0	31.1	35.8	37.4	41.1	43.5	50.5
38	6.3	9.3	12.5	13.8	14.9	15.1	16.2	17.6	19.3	21.2	25.6	31.0	35.2	36.4	40.5	43.1	50.0
39	6.2	9.2	12.5	13.7	14.5	15.1	16.1	17.4	19.3	20.9	25.3	30.9	34.9	36.1	40.5	43.0	49.6
40	6.2	9.2	12.4	13.6	14.4	15.0	16.1	17.1	19.2	20.9	24.9	30.8	34.4	36.0	40.1	42.9	49.4
41	6.2	9.0	12.4	13.5	14.4	15.0	16.1	16.8	18.9	20.6	24.8	30.5	33.9	35.8	39.0	42.9	49.2
42	6.0	9.0	12.4	13.3	14.3	15.0	15.9	16.7	18.7	20.1	24.7	30.0	33.8	35.6	38.9	41.7	49.0
43	6.0	9.0	12.4	13.2	14.0	14.9	15.6	16.7	18.5	19.9	24.6	29.7	33.6	35.1	38.8	41.3	49.0
44	6.0	9.0	12.4	13.0	13.9	14.5	15.5	16.7	18.4	19.9	24.3	29.6	33.1	34.4	38.3	40.5	47.8
45	5.9	9.0	12.3	12.9	13.7	14.4	15.4	16.6	18.3	19.9	24.0	29.3	32.9	33.7	38.3	40.3	47.1
46	5.9	9.0	12.0	12.9	13.7	14.3	15.3	16.5	18.2	19.6	23.4	29.3	32.3	33.6	37.8	40.1	45.5
47	5.9	8.8	11.9	12.8	13.4	14.1	15.3	16.3	18.1	19.4	23.4	28.7	31.6	33.6	37.7	40.1	45.2
48	5.8	8.7	11.8	12.7	13.4	13.9	15.2	16.3	18.0	19.3	23.2	28.5	31.4	33.5	37.4	39.8	44.4
49	5.7	8.5	11.8	12.6	13.3	13.9	15.1	16.3	17.8	19.3	23.2	28.2	30.9	32.7	37.0	39.6	44.2
50	5.6	8.5	11.6	12.5	13.3	13.9	14.8	16.3	17.8	19.2	23.1	28.1	30.9	32.3	36.9	39.2	44.1

Tab. B.5. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole, za okres wielolecia 1961–2010

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	19.2	25.0	34.8	41.2	50.9	53.1	54.7	68.9	73.3	79.7	79.7	83.7	84.3	96.1	109.1	121.4	147.9
2	14.8	20.5	31.6	37.4	43.1	43.4	43.6	54.3	60.9	64.8	76.5	78.8	82.8	84.3	86.3	110.7	115.0
3	14.3	18.9	28.2	36.5	39.3	39.7	39.7	44.1	46.1	53.3	61.8	72.8	79.0	79.2	84.5	103.6	104.9
4	12.3	18.0	27.1	33.5	34.4	35.4	39.2	39.8	44.2	48.7	52.7	72.3	72.8	73.7	83.8	89.0	89.3
5	11.2	17.6	26.6	31.8	31.8	34.3	36.0	38.8	41.8	44.8	52.2	53.1	60.6	72.8	80.0	80.4	83.2
6	11.2	16.6	23.8	28.4	29.4	33.5	34.5	38.4	41.4	44.0	49.0	52.9	60.1	71.3	74.6	74.7	81.8
7	10.2	16.5	23.5	28.2	28.6	31.9	32.0	35.9	39.5	41.6	46.2	51.0	54.3	69.2	72.8	72.8	81.2
8	10.0	15.6	23.4	26.7	27.2	30.4	30.8	34.2	38.7	39.6	41.8	50.5	53.1	60.0	71.0	71.4	76.8
9	10.0	15.5	20.0	24.0	26.8	28.0	29.8	32.4	36.2	37.8	39.6	49.0	53.0	54.8	64.8	71.1	76.0
10	10.0	14.5	19.8	23.6	26.0	26.9	27.4	31.6	35.4	36.3	39.2	46.2	49.9	53.0	63.8	67.3	75.4
11	9.8	14.1	19.5	23.5	25.6	26.7	27.0	30.9	35.0	35.7	39.1	44.3	49.0	51.8	63.7	64.8	71.1
12	9.8	13.4	18.3	22.5	25.4	26.7	26.8	30.6	33.2	33.2	38.8	44.0	47.5	50.3	62.2	63.8	69.9
13	9.8	13.4	18.2	22.3	25.0	25.4	25.4	29.8	32.4	32.4	36.3	42.2	47.3	49.0	55.9	63.7	66.9
14	9.7	13.0	17.2	21.7	23.1	23.4	24.8	29.5	30.9	32.1	35.8	41.9	46.2	48.2	53.9	62.2	66.3
15	9.7	13.0	15.9	19.7	22.4	23.4	24.6	29.2	30.8	31.9	34.8	41.4	45.6	47.6	53.1	61.9	65.1
16	9.4	13.0	15.9	19.0	21.7	23.3	24.3	28.2	29.7	31.7	34.5	40.1	44.0	46.2	51.4	59.4	64.6
17	9.2	12.9	15.2	18.7	20.4	22.6	22.7	27.6	29.6	31.5	34.4	39.6	42.5	45.8	50.0	56.5	64.2
18	8.9	12.8	15.0	18.2	19.9	21.5	22.2	27.1	28.1	30.9	34.0	39.2	40.4	45.6	49.7	56.4	63.9
19	8.8	12.8	14.7	17.8	19.8	21.3	21.7	25.7	26.7	29.8	33.2	39.1	39.8	45.6	49.3	56.2	62.5
20	8.8	12.4	14.6	17.5	19.8	21.1	21.7	25.4	25.5	29.2	32.8	37.8	39.7	44.9	49.2	56.2	62.2
21	8.7	12.0	14.4	16.4	18.6	20.1	20.7	25.2	25.4	29.1	32.7	37.0	39.6	44.5	49.1	56.1	61.6
22	8.5	11.7	14.4	16.3	18.3	20.0	20.5	24.9	25.2	26.7	32.4	36.4	39.6	43.9	49.0	55.7	60.6
23	8.4	11.5	14.3	16.2	18.1	19.8	20.4	23.4	25.1	26.6	32.3	36.3	39.2	43.8	47.9	55.6	59.5
24	8.3	11.3	14.3	16.1	17.6	18.9	20.3	22.8	24.8	26.5	30.9	36.2	39.2	43.6	47.2	54.3	59.3
25	8.3	11.3	14.2	15.9	16.9	18.3	19.8	22.6	24.6	25.5	29.9	35.3	38.9	42.5	47.1	54.0	58.6
26	8.2	11.3	14.2	15.9	16.6	18.2	19.0	22.4	23.7	25.4	29.8	35.0	38.7	42.4	46.6	53.5	56.9
27	8.2	10.9	13.7	15.3	16.3	17.4	18.8	21.5	23.4	25.3	29.4	34.7	37.3	41.7	46.3	53.2	56.4
28	8.1	10.9	13.7	15.3	15.9	17.1	18.7	21.4	23.4	25.1	29.3	34.0	36.3	41.1	46.2	50.7	55.5
29	8.0	10.8	13.5	14.9	15.8	17.0	18.4	21.1	22.9	24.6	29.3	33.7	36.2	40.9	46.2	49.3	53.8
30	7.9	10.8	13.5	14.8	15.6	16.8	18.2	21.0	22.6	24.6	28.5	33.2	35.3	40.9	45.8	49.2	53.5
31	7.7	10.8	13.3	14.5	15.5	16.4	17.6	20.7	22.4	24.3	27.4	33.1	35.0	40.4	45.6	48.0	52.3
32	7.5	10.8	13.0	14.5	15.5	16.3	17.2	20.3	22.0	23.8	27.3	32.9	34.9	40.2	45.2	47.2	51.3
33	7.5	10.6	13.0	14.5	15.3	16.2	17.1	19.8	21.8	23.5	27.1	32.7	34.7	39.6	44.5	46.6	50.3
34	7.4	10.5	12.7	14.5	15.3	16.0	16.9	19.8	21.1	23.5	26.7	32.7	34.7	39.2	44.4	45.6	50.1
35	7.1	10.5	12.7	14.0	15.1	15.9	16.8	19.1	20.1	23.4	26.3	32.4	34.5	39.2	43.7	45.3	49.7
36	7.1	10.3	12.6	13.7	15.0	15.6	16.6	18.6	20.1	22.5	25.5	32.0	34.0	39.2	42.4	44.8	49.7
37	6.9	10.0	12.3	13.6	14.8	15.4	16.1	18.3	19.8	21.8	25.4	31.8	33.9	38.8	42.4	44.8	49.6
38	6.8	10.0	12.3	13.2	14.6	15.3	15.9	18.2	19.5	21.8	25.3	31.3	33.2	38.5	41.1	44.6	48.3
39	6.8	9.9	12.2	13.0	14.5	14.9	15.9	17.3	19.1	21.6	25.1	30.9	33.2	38.2	41.0	44.6	47.3
40	6.7	9.7	11.9	12.8	14.5	14.9	15.4	17.2	19.0	21.3	24.9	30.8	32.9	38.1	40.9	44.5	46.9
41	6.7	9.6	11.8	12.7	14.4	14.6	15.4	17.2	18.7	21.0	24.9	30.7	32.9	37.4	40.9	44.2	46.4
42	6.6	9.6	11.7	12.5	13.9	14.4	15.3	17.1	18.4	21.0	24.8	30.5	32.8	37.4	40.4	42.4	46.1
43	6.4	9.5	11.5	12.5	13.8	14.4	15.2	17.0	18.4	20.6	24.7	30.5	32.4	37.4	40.2	42.4	45.6
44	6.4	9.4	11.5	12.5	13.7	14.2	15.0	16.9	17.8	20.5	24.7	29.9	31.9	37.4	40.1	41.8	45.5
45	6.4	9.4	11.5	12.4	13.7	14.0	14.9	16.9	17.5	19.8	24.1	29.8	31.5	37.3	39.9	41.3	45.4
46	6.4	9.2	11.3	12.4	13.6	14.0	14.8	16.8	17.4	19.7	24.1	29.5	31.4	36.2	39.8	41.0	45.0
47	6.3	9.2	11.3	12.4	13.4	13.9	14.7	16.7	17.3	19.2	23.8	29.4	31.3	36.2	39.7	41.0	44.7
48	6.0	9.1	11.2	12.4	13.3	13.8	14.7	16.0	17.2	19.1	23.6	29.3	30.9	36.0	39.6	40.9	44.2
49	6.0	8.9	11.2	12.3	13.1	13.8	14.6	16.0	17.2	19.1	23.4	28.5	30.9	35.4	39.2	40.9	44.1
50	5.9	8.8	11.1	12.2	13.0	13.8	14.6	15.9	17.0	18.9	23.3	28.3	30.2	35.3	38.7	40.8	43.7

Tab. B.6. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko, za okres wielolecia 1961–2010

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	18.9	27.5	30.0	32.4	49.2	54.0	54.5	56.3	60.5	62.8	102.4	103.2	111.6	126.3	128.7	129.0	129.2
2	18.3	23.6	30.0	31.8	38.3	46.7	48.7	55.0	57.2	65.3	66.6	79.3	103.3	104.6	106.9	120.3	128.3
3	13.1	18.0	27.5	31.8	35.1	37.2	40.1	45.9	52.1	57.3	62.2	71.5	79.8	84.5	90.6	114.4	120.5
4	12.3	17.2	26.1	30.7	32.0	37.1	39.5	44.6	49.2	53.9	59.6	65.5	71.5	71.8	86.0	97.5	108.2
5	12.1	17.1	24.8	30.3	31.5	32.3	39.4	44.6	48.8	53.7	55.6	62.7	64.7	71.5	85.4	90.6	95.9
6	10.4	15.9	24.0	29.7	31.3	32.3	33.3	43.9	46.7	51.7	54.8	60.6	63.1	70.0	79.2	85.4	93.3
7	10.2	15.9	22.1	28.5	30.4	31.5	32.8	37.7	44.6	46.3	52.3	58.5	61.4	69.6	78.3	83.2	91.5
8	10.1	15.7	22.0	25.8	30.3	30.6	32.0	36.3	38.9	44.8	52.2	55.6	60.6	68.8	77.3	80.2	91.4
9	10.0	15.4	21.7	24.9	27.9	30.5	30.7	33.3	37.5	43.8	46.5	55.0	59.4	68.2	75.6	78.3	88.7
10	9.7	15.1	21.5	24.4	26.2	28.3	30.3	32.8	34.1	37.6	45.7	54.8	58.5	67.9	75.2	77.3	85.4
11	9.6	15.0	21.4	24.1	25.8	28.0	28.9	31.4	34.0	35.0	44.6	52.2	57.5	64.7	73.6	75.7	85.4
12	9.5	15.0	21.3	23.8	25.1	26.7	28.0	31.1	33.3	35.0	43.9	50.7	56.2	64.1	70.8	75.2	78.4
13	9.5	14.3	20.4	23.7	25.1	26.1	28.0	30.0	31.9	34.7	42.2	50.2	54.8	63.1	70.5	71.1	78.3
14	9.4	14.3	20.2	23.4	24.5	25.9	26.9	29.6	31.5	34.7	41.4	47.4	53.5	59.7	66.8	70.8	76.5
15	9.3	14.3	20.0	22.9	24.3	25.7	26.6	28.1	30.5	34.5	40.0	47.2	53.5	58.5	64.4	70.0	73.8
16	9.3	14.0	19.9	22.1	24.3	25.3	26.4	27.4	30.2	34.3	39.7	46.7	53.2	56.2	63.1	69.3	72.7
17	9.2	13.8	19.9	21.8	24.2	24.9	26.1	26.8	29.7	34.3	37.9	46.6	52.2	56.1	62.5	67.5	71.5
18	9.2	13.5	19.4	21.6	24.2	24.5	25.4	26.7	29.6	34.0	37.6	46.4	51.6	54.8	61.4	63.1	70.8
19	9.0	13.5	19.1	21.2	23.9	24.5	25.0	26.6	29.4	32.8	37.2	44.9	50.2	53.5	60.5	62.2	67.5
20	8.9	13.1	18.6	21.1	23.6	24.4	24.7	26.1	29.3	31.7	35.6	44.6	49.5	53.5	59.2	61.5	66.3
21	8.9	13.1	18.4	20.9	23.6	23.7	24.6	26.0	28.2	31.5	35.5	44.2	49.1	52.5	57.6	59.2	64.6
22	8.7	13.0	18.3	20.6	22.5	23.7	24.6	25.8	27.5	31.5	35.2	43.7	49.0	52.2	56.2	57.6	64.1
23	8.6	12.8	18.1	20.3	22.4	22.9	23.7	25.7	26.9	30.9	35.2	43.6	47.2	51.6	55.7	56.9	64.1
24	8.6	12.7	17.7	20.3	22.3	22.8	23.0	25.5	26.7	30.3	35.1	43.4	46.7	50.8	54.7	56.2	62.3
25	8.6	11.9	17.4	20.3	22.1	22.3	22.9	25.4	26.5	30.1	34.9	42.6	44.9	50.6	54.3	55.4	61.9
26	8.4	11.4	17.1	20.0	21.7	21.6	22.6	25.2	26.5	29.9	33.8	41.9	44.2	48.9	54.1	54.9	61.0
27	8.4	11.4	16.4	19.6	21.6	21.3	22.3	25.1	26.4	28.9	33.7	41.9	43.7	48.5	54.0	54.9	59.6
28	8.3	11.3	16.4	19.5	20.5	20.5	22.2	24.7	26.4	28.8	33.0	41.1	43.4	47.2	52.6	54.7	59.3
29	8.1	11.1	16.1	19.0	19.8	20.5	21.7	23.7	26.1	28.7	32.1	39.4	42.6	47.0	52.2	54.4	58.8
30	8.0	11.0	16.0	18.9	19.4	20.0	21.6	23.1	26.1	28.2	32.1	37.7	42.3	46.4	51.6	54.3	58.7
31	7.9	10.9	15.8	18.8	19.3	19.8	21.2	23.0	26.0	28.1	32.0	37.7	41.7	45.6	51.6	54.0	58.4
32	7.6	10.9	15.6	18.8	19.2	19.6	20.9	23.0	25.2	27.5	31.8	37.6	41.2	45.5	50.5	53.6	58.1
33	7.6	10.7	15.2	18.5	18.9	19.5	20.6	23.0	25.2	27.3	31.5	37.4	41.1	45.3	50.0	52.8	56.9
34	7.6	10.6	15.1	17.7	18.9	19.5	20.4	23.0	25.1	27.1	30.4	37.4	40.5	44.6	49.7	51.9	56.6
35	7.6	10.5	15.0	17.3	18.5	19.4	19.9	22.8	24.7	26.9	30.1	37.4	40.0	44.5	49.7	51.8	56.2
36	7.2	10.5	15.0	16.8	18.3	19.3	19.9	22.7	24.6	26.5	30.1	37.3	39.7	44.4	48.9	51.6	55.2
37	7.0	10.3	15.0	16.5	18.2	19.3	19.8	22.6	24.4	26.5	30.0	37.2	39.7	44.0	47.8	51.0	55.2
38	6.8	10.3	14.8	16.4	18.2	19.1	19.6	22.4	24.3	26.4	29.9	35.8	39.7	43.8	47.8	50.5	54.9
39	6.8	10.0	14.7	16.1	17.7	18.7	19.6	22.3	23.9	26.3	29.6	35.3	39.4	42.6	46.7	50.5	54.9
40	6.7	10.0	14.5	15.8	17.7	18.6	19.3	22.1	23.1	26.2	29.4	35.2	38.8	41.8	46.1	49.7	54.7
41	6.7	10.0	13.9	15.6	17.3	18.4	19.3	22.1	23.1	26.1	29.4	35.1	38.6	41.2	45.9	49.2	54.5
42	6.7	9.9	13.9	15.5	17.0	18.0	19.1	21.8	23.0	25.4	29.3	35.1	37.8	41.1	45.6	48.9	54.4
43	6.6	9.9	13.4	15.5	16.7	17.8	18.7	21.7	22.9	25.3	29.0	34.9	37.5	41.0	45.1	48.8	54.3
44	6.5	9.6	13.3	15.4	16.6	17.7	18.7	21.6	22.9	25.1	28.6	34.5	37.4	40.6	45.0	47.8	54.3
45	6.5	9.6	13.1	15.3	16.5	17.5	18.6	21.1	21.9	24.9	28.4	34.2	37.4	40.2	44.9	47.3	53.1
46	6.5	9.5	13.0	15.2	16.3	17.5	18.1	20.7	21.9	24.8	28.1	34.1	37.3	39.7	44.9	47.1	52.5
47	6.4	9.5	12.9	15.0	16.0	17.4	18.1	20.4	21.6	24.7	28.0	34.0	37.3	39.4	44.7	46.3	52.4
48	6.3	9.2	12.7	15.0	16.0	17.3	17.8	20.3	21.5	24.5	27.7	33.9	37.2	39.1	44.4	46.1	52.2
49	6.2	9.1	12.6	15.0	16.0	17.2	17.8	20.1	21.5	24.4	27.5	33.8	37.0	38.5	44.0	45.9	52.1
50	6.1	9.1	12.5	14.8	15.9	17.1	17.7	20.1	21.5	23.9	27.4	33.1	37.0	38.4	44.0	45.2	51.8

Tab. B.7. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra, za okres wielolecia 1961–2010

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	12.3	21.4	39.5	48.8	49.0	49.2	49.3	49.4	54.3	68.7	92.2	117.1	122.7	127.1	144.2	161.2	180.0
2	12.1	20.2	28.8	34.4	35.5	40.6	42.2	45.7	51.1	59.5	76.7	79.6	102.6	112.0	127.1	148.6	173.9
3	11.2	18.2	25.5	27.7	32.7	36.7	36.8	44.0	49.5	57.7	68.2	75.8	90.0	96.3	124.1	141.0	166.0
4	10.7	17.6	23.8	27.4	29.0	32.6	34.5	37.7	46.7	50.4	51.5	75.6	80.7	88.1	121.0	135.2	144.7
5	10.5	17.3	23.2	27.0	28.9	32.0	33.9	37.3	39.1	41.2	49.2	72.4	79.6	86.8	118.0	127.3	136.2
6	10.0	16.6	21.7	26.9	28.3	31.3	33.7	37.2	37.2	39.0	43.7	61.5	72.6	86.6	100.6	116.8	133.3
7	9.8	16.5	21.0	26.4	28.2	29.9	30.2	31.1	35.0	37.3	41.4	54.1	71.5	84.4	94.8	100.6	116.2
8	9.5	16.3	20.6	26.0	28.0	29.8	29.9	30.1	30.2	33.8	39.8	53.5	69.9	81.9	90.2	98.3	113.2
9	9.5	15.9	20.3	23.2	27.7	28.4	28.4	28.4	29.3	31.9	37.3	51.2	65.4	72.9	90.0	93.4	103.5
10	8.7	14.6	20.1	22.8	23.6	28.1	28.1	28.1	29.1	30.2	36.6	50.2	63.6	67.3	89.1	91.2	101.4
11	8.6	13.8	19.5	21.4	22.5	23.9	24.7	25.4	28.4	29.6	36.1	49.8	61.7	67.2	82.0	90.2	98.7
12	8.5	13.7	18.2	21.3	22.2	23.0	24.0	25.4	27.1	29.6	35.3	47.8	58.2	65.4	77.3	77.7	86.3
13	8.4	12.5	18.2	19.1	21.6	22.9	23.2	25.2	27.1	29.4	35.2	47.3	56.5	64.0	68.7	75.1	83.2
14	8.3	11.5	17.7	19.0	20.1	22.6	23.0	24.0	26.3	29.3	35.1	46.1	54.2	63.9	67.3	74.9	82.0
15	8.3	10.9	17.5	18.9	19.6	20.6	21.8	24.0	26.1	28.6	35.1	42.3	53.6	62.3	67.2	72.1	76.7
16	8.2	10.8	17.1	18.9	19.2	20.5	21.2	23.4	25.5	28.4	34.4	42.0	53.2	61.8	65.4	71.8	73.3
17	7.8	10.7	16.4	17.4	19.0	19.7	20.8	23.2	25.4	28.4	34.0	41.9	52.6	54.7	65.1	70.5	70.5
18	7.6	10.5	15.9	17.3	18.9	19.3	19.8	22.0	23.6	26.9	33.8	41.4	44.4	53.9	59.7	66.4	69.1
19	7.5	10.5	15.4	17.0	18.5	19.3	19.8	21.8	23.2	26.2	33.5	41.3	43.6	52.6	59.4	65.9	68.9
20	7.4	10.4	14.5	16.8	18.2	19.1	19.6	21.3	22.5	26.1	32.8	38.2	43.3	52.4	57.8	65.2	68.9
21	7.4	10.2	14.2	16.8	18.2	18.9	19.4	20.7	22.3	26.1	32.5	37.5	42.8	52.1	55.7	63.9	67.6
22	7.3	10.0	14.1	15.9	18.1	18.8	19.3	20.5	21.7	26.1	32.5	37.1	42.7	46.6	54.3	59.7	67.6
23	7.2	9.8	14.1	15.6	16.5	17.2	19.1	20.2	21.3	25.8	31.8	36.9	42.0	45.8	54.1	59.1	67.5
24	7.2	9.8	13.9	15.6	15.9	16.7	19.1	19.8	21.2	25.4	30.9	36.6	41.5	45.4	53.3	57.2	67.3
25	7.2	9.5	12.8	14.6	15.5	16.6	17.6	19.8	20.9	24.8	30.5	36.3	41.4	45.2	52.6	57.0	65.5
26	7.2	9.5	12.6	14.4	15.2	16.3	17.0	19.6	20.8	24.4	30.2	35.3	41.0	44.9	52.5	55.7	64.4
27	7.2	9.5	12.2	14.3	14.9	16.1	16.9	19.1	20.2	23.2	29.8	35.2	40.3	44.4	50.4	55.3	62.8
28	7.1	9.4	11.9	13.9	14.7	16.0	16.7	18.6	20.2	22.8	29.6	35.2	39.7	44.3	49.7	54.6	62.6
29	6.9	9.3	11.9	13.6	14.4	15.3	16.1	18.4	20.2	21.9	29.6	35.1	38.9	44.2	48.8	54.2	59.8
30	6.7	9.2	11.8	13.5	14.2	15.1	16.0	18.1	19.9	21.9	28.0	35.1	38.3	42.9	48.7	53.7	58.8
31	6.6	9.1	11.7	13.1	13.9	15.1	16.0	18.0	19.9	21.4	27.7	34.0	38.2	42.9	47.9	53.0	57.4
32	6.6	9.0	11.6	12.5	13.7	14.9	15.8	17.7	19.8	21.3	27.5	33.8	37.6	42.7	47.5	52.2	56.7
33	6.5	9.0	11.6	12.2	13.6	14.7	15.4	17.6	19.1	21.3	27.5	32.7	36.9	42.3	47.1	50.4	55.7
34	6.5	8.9	11.4	12.1	13.4	14.5	15.4	17.6	18.9	21.2	27.4	32.6	36.9	42.2	46.1	49.7	55.7
35	6.5	8.7	11.3	12.0	13.4	14.4	15.4	17.5	18.9	21.0	26.8	32.5	36.8	42.0	45.8	49.1	54.6
36	6.4	8.5	11.3	11.8	13.2	14.4	15.4	17.0	18.6	20.9	26.3	32.1	36.3	39.7	45.3	48.5	53.8
37	6.3	8.2	11.1	11.8	13.1	14.3	15.0	16.6	18.5	20.8	26.3	32.0	36.3	39.4	45.2	48.3	53.5
38	6.2	8.2	10.6	11.8	12.8	14.2	14.8	16.4	18.4	20.7	26.1	31.8	35.4	38.9	44.5	48.2	53.4
39	6.2	8.1	10.6	11.8	12.8	13.7	14.7	16.3	18.3	20.7	25.9	31.8	35.2	38.6	43.7	46.2	53.2
40	6.1	8.0	10.4	11.7	12.7	13.7	14.6	16.0	18.2	20.5	25.9	31.8	35.0	38.2	42.7	46.1	53.1
41	5.9	7.9	10.2	11.7	12.3	13.5	14.4	15.9	17.6	20.3	25.7	31.7	34.8	37.8	42.6	45.8	52.5
42	5.9	7.9	10.2	11.5	12.2	13.4	14.4	15.6	17.5	19.9	25.7	31.4	34.6	37.4	42.2	45.8	52.2
43	5.9	7.8	10.2	11.5	12.2	13.3	14.3	15.4	17.4	19.9	25.6	31.3	34.6	37.3	42.0	45.2	52.2
44	5.7	7.8	10.1	11.3	12.1	13.1	13.8	15.4	17.3	19.8	24.7	31.3	34.5	37.0	41.6	45.1	52.1
45	5.7	7.7	10.1	10.8	12.1	12.6	13.8	15.4	17.1	19.4	24.5	31.1	34.1	36.9	41.3	44.8	51.4
46	5.6	7.7	10.0	10.8	12.1	12.6	13.4	15.2	16.8	19.3	24.4	30.5	33.8	36.8	41.0	44.7	50.8
47	5.6	7.6	10.0	10.8	12.1	12.4	13.4	15.2	16.7	19.2	24.0	30.1	33.8	36.3	40.8	43.8	50.5
48	5.6	7.6	10.0	10.6	12.0	12.4	13.3	15.2	16.6	19.2	23.8	29.8	33.6	36.1	40.2	43.5	50.4
49	5.6	7.6	9.9	10.5	12.0	12.4	13.2	15.1	16.5	19.1	23.8	29.6	33.4	36.0	39.9	43.5	50.4
50	5.6	7.6	9.7	10.4	11.8	12.2	13.2	14.9	16.5	18.9	23.6	29.5	33.3	35.8	39.7	43.2	50.0

Tab. B.8. Zestawienie 50 największych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz, za okres wielolecia 1961–2010

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	15.9	18.1	27.9	30.3	31.7	35.0	36.1	36.9	39.8	41.2	52.6	70.8	101.0	130.3	165.2	183.8	227.4
2	14.7	17.5	24.5	29.5	30.9	31.5	31.9	32.4	32.4	32.7	43.2	59.9	63.0	65.0	72.5	88.1	110.0
3	13.1	16.6	22.3	25.9	26.4	27.1	27.3	27.6	29.3	32.6	40.8	52.6	57.1	64.5	68.7	80.0	104.7
4	12.9	15.1	20.7	23.6	24.0	24.4	24.5	26.8	27.8	32.5	37.9	50.2	52.6	52.6	63.8	74.9	94.7
5	11.2	14.7	18.1	18.5	19.2	20.7	21.4	25.1	27.3	31.5	36.3	43.4	46.4	52.6	61.8	72.0	89.9
6	11.1	13.8	16.8	18.0	18.7	20.3	21.2	24.5	25.6	29.6	34.2	40.9	43.4	51.5	60.0	68.7	88.1
7	9.3	13.8	16.6	17.8	18.6	20.0	20.5	24.4	25.3	26.2	33.9	39.7	41.0	51.3	59.9	67.7	84.2
8	9.3	13.8	16.2	17.8	18.4	19.6	20.2	22.3	23.5	25.7	33.2	39.6	40.9	49.7	58.7	63.0	83.4
9	9.0	13.3	15.8	17.3	17.6	18.6	19.4	21.0	23.1	25.6	33.1	38.6	39.7	47.2	55.1	62.6	76.3
10	8.8	13.0	15.0	15.8	16.6	18.0	19.2	20.3	22.4	25.5	32.5	36.9	38.9	46.5	54.6	62.6	71.2
11	8.5	12.4	14.8	15.5	16.4	17.2	18.7	20.1	22.3	25.4	31.6	34.3	38.6	45.3	54.0	62.1	68.9
12	7.9	10.8	14.4	15.1	16.0	17.2	17.8	20.0	22.1	25.3	30.8	33.9	37.2	43.5	52.8	59.9	65.1
13	7.6	10.7	14.0	14.9	15.5	16.3	16.6	19.4	21.6	23.7	29.7	33.0	37.2	42.4	51.2	59.9	64.4
14	7.5	10.5	13.8	14.9	15.4	16.1	16.4	19.2	21.0	23.6	28.9	32.0	36.9	41.5	50.6	59.6	63.6
15	7.2	10.0	13.5	14.8	15.2	15.7	15.8	19.1	20.8	23.2	28.7	31.2	36.6	41.3	50.3	59.3	63.2
16	7.2	9.7	13.2	14.5	15.0	15.3	15.5	18.3	20.2	22.8	27.7	30.5	35.8	41.0	49.5	58.0	63.2
17	7.0	9.6	13.1	14.5	14.8	15.3	15.5	17.8	19.9	22.4	27.6	30.1	35.7	40.6	49.3	57.9	62.0
18	6.8	9.6	12.7	14.4	14.7	15.1	15.1	17.6	19.3	21.2	27.5	29.4	33.9	40.5	48.6	56.6	61.0
19	6.7	9.5	12.1	13.4	14.2	15.0	15.1	17.4	18.9	20.7	27.2	29.0	33.8	39.9	47.8	55.7	60.8
20	6.7	8.7	12.1	13.4	14.2	15.0	15.0	17.1	18.1	20.7	27.1	28.8	32.7	39.7	47.1	54.5	59.6
21	6.6	8.7	12.0	13.2	13.9	14.8	15.0	16.5	17.8	20.5	26.6	28.6	32.0	39.3	46.6	53.9	59.2
22	6.5	8.7	11.7	13.0	13.8	14.6	14.9	16.3	17.6	20.4	26.1	28.6	31.9	38.8	45.4	52.0	58.6
23	6.4	8.7	11.3	12.1	13.7	14.4	14.9	16.2	17.3	20.3	26.0	28.4	31.5	38.6	44.2	49.8	58.1
24	6.3	8.6	11.0	12.0	13.1	14.4	14.8	16.1	17.2	20.2	25.6	28.0	30.8	38.6	44.2	49.8	57.9
25	6.3	8.6	10.9	11.9	12.8	14.2	14.7	16.0	17.1	20.1	25.3	28.0	30.6	37.9	43.4	48.8	57.8
26	6.3	8.2	10.8	11.8	12.8	14.0	14.4	15.9	17.1	20.1	25.1	28.0	30.6	37.8	42.8	47.8	57.0
27	6.1	8.1	10.6	11.8	12.6	13.6	13.8	15.8	16.7	19.7	24.9	27.9	30.5	37.8	42.5	47.2	54.5
28	6.1	8.0	10.2	11.5	12.2	13.2	13.8	15.8	16.3	19.6	24.6	27.8	30.2	37.5	42.3	47.1	53.4
29	6.0	8.0	10.1	11.3	12.0	13.1	13.6	15.6	16.2	19.5	24.2	27.6	30.1	37.2	41.2	45.1	51.6
30	5.8	8.0	10.0	11.1	11.9	13.0	13.5	15.3	16.2	19.3	23.6	27.2	29.8	35.8	39.9	44.0	49.1
31	5.8	8.0	10.0	11.0	11.7	12.8	13.3	15.3	16.1	19.0	23.2	27.2	29.4	34.6	39.3	43.9	48.8
32	5.7	7.8	10.0	10.9	11.5	12.6	13.2	15.1	16.0	18.5	23.1	27.1	29.4	33.9	38.9	43.9	47.3
33	5.7	7.7	10.0	10.9	11.4	12.5	13.1	15.1	16.0	18.1	22.8	27.1	29.4	33.8	38.3	43.8	45.5
34	5.5	7.7	10.0	10.9	11.3	12.3	13.1	15.0	15.9	17.9	22.7	27.0	28.7	32.8	37.4	42.1	44.8
35	5.5	7.5	9.9	10.7	11.2	12.2	12.9	15.0	15.9	17.9	22.6	26.6	28.6	32.7	37.0	41.3	44.4
36	5.5	7.5	9.8	10.7	11.2	12.2	12.8	14.9	15.6	17.8	21.8	25.8	28.5	32.7	36.6	41.1	43.9
37	5.4	7.5	9.8	10.6	11.1	12.2	12.8	14.9	15.5	17.7	21.6	25.8	28.2	32.4	36.3	40.7	43.6
38	5.3	7.4	9.6	10.4	11.1	12.1	12.7	14.3	15.3	17.6	21.6	25.6	28.0	32.0	36.2	40.6	43.2
39	5.2	7.3	9.5	10.3	11.0	12.0	12.7	14.2	15.3	17.2	21.3	25.5	28.0	31.8	35.9	40.2	43.1
40	5.2	7.2	9.4	10.3	10.9	11.9	12.5	14.0	15.2	17.1	21.2	25.4	27.9	31.7	35.9	40.1	42.8
41	5.2	7.2	9.4	10.3	10.8	11.6	12.2	14.0	15.1	17.1	21.1	25.3	27.6	31.7	35.5	39.4	42.4
42	5.2	7.1	9.4	10.2	10.8	11.6	11.9	13.8	15.1	17.1	21.0	25.3	27.2	31.6	35.4	39.3	42.3
43	5.1	7.1	9.3	10.2	10.8	11.4	11.8	13.7	15.1	16.7	20.9	25.2	27.2	31.5	34.7	38.6	41.6
44	5.0	7.1	9.3	10.2	10.8	11.4	11.5	13.7	14.9	16.6	20.7	25.2	27.1	31.0	34.5	38.3	41.3
45	5.0	7.0	9.2	10.2	10.7	11.4	11.5	13.6	14.9	16.5	20.6	24.9	27.0	30.8	34.1	38.2	40.6
46	5.0	7.0	9.2	10.2	10.7	11.4	11.5	13.3	14.7	16.5	20.2	24.4	27.0	30.7	33.9	37.5	39.4
47	4.9	7.0	9.1	10.1	10.7	11.3	11.4	13.2	14.6	16.3	19.9	24.3	26.9	30.4	33.7	37.3	38.6
48	4.9	7.0	9.0	10.1	10.7	11.2	11.3	13.1	14.5	16.2	19.7	24.2	26.7	30.0	33.4	37.3	38.6
49	4.9	6.9	8.9	10.0	10.6	11.2	11.3	12.9	14.5	16.1	19.6	24.0	26.6	29.8	33.0	37.1	38.5
50	4.9	6.8	8.9	9.8	10.6	11.2	11.3	12.9	14.4	16.1	19.5	23.9	26.5	29.4	32.9	36.7	38.5
51	4.9	6.8	8.8	9.8	10.5	11.2	11.3	12.9	14.3	16.1	19.1	23.6	26.3	28.7	32.5	36.6	38.3

SUPPLEMENT C

Tab. C.1. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław

t, min		GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	α	1.2217	1.0593	0.7522	1.1698	4.6999	0.2127	1.7909	1.2332	1.93495
	β	0.6282	7.5444	0.4886	1.895	4.4724	0.9515	1.44E-05	1.4615	1.49317
	γ	6.389		6.085	6.39	2.955	7.428	6.399	6.388	6.244
10	α	0.8906	1.7017	0.7264	1.0934	3.728	0.2683	2.871	0.9073	2.05524
	β	0.3236	10.7088	1.0015	2.9733	5.5145	1.4792	1.16E-06	3.1644	2.46726
	γ	8.899		8.289	8.887	4.964	10.479	8.899	8.899	8.547
20	α	0.9302	3.1614	0.8498	1.0416	2.6311	0.3796	4.9989	0.9455	1.70818
	β	0.1853	15.1761	1.4431	5.236	6.7539	2.5659	4.02E-06	5.4524	3.8331
	γ	11.999		11.32	11.995	7.843	14.597	11.999	11.999	11.721
30	α	0.8153	3.7832	1.0831	0.9164	1.5642	0.6397	5.7913	0.8283	1.36974
	β	0.1512	17.1775	1.3225	5.5845	4.0353	2.5788	1.74E-07	6.9937	3.55738
	γ	13.799		13.489	13.799	12.089	16.123	13.799	13.799	13.723
40	α	0.7901	4.241	1.1246	0.9014	1.4839	0.6743	6.41291	0.8038	1.30755
	β	0.1338	18.1425	1.3954	6.139	4.2362	2.8538	1.5E-05	7.9788	3.85879
	γ	14.399		14.09	14.399	12.661	16.896	14.399	14.399	14.336
50	α	0.7465	5.0858	1.2252	0.8743	1.4047	0.7121	7.553	0.7607	1.19062
	β	0.1095	19.7329	1.4929	7.1403	4.8206	3.4307	7.13E-06	9.9283	4.39912
	γ	15.299		15.026	15.299	13.319	18.139	15.299	15.299	15.265
60	α	0.727	5.2737	1.2758	0.86	1.4066	0.7113	7.789	0.7409	1.14334
	β	0.1043	20.0696	1.49	7.3107	5.0462	3.5865	3.15E-06	10.5144	4.46076
	γ	15.499		15.255	15.499	13.367	18.413	15.499	15.499	15.477
90	α	0.6975	5.9715	1.3291	0.8427	2.4609	0.4059	8.8346	0.7113	1.06349
	β	0.0895	21.8678	1.5986	8.24	11.9128	4.843	5.25E-06	12.427	5.04464
	γ	16.599		16.332	16.599	8.767	20.682	16.599	16.599	16.591
120	α	0.8946	5.9777	1.0193	0.9897	2.0253	0.4938	9.3939	0.91	1.44931
	β	0.0991	23.6544	1.8746	9.3608	9.3038	4.5945	1.65E-05	10.3259	6.30515
	γ	17.899		17.335	17.899	12.936	22.24	17.899	17.899	17.743
180	α	1.1123	5.7176	0.6915	1.1516	4.992	0.1726	9.6015	1.1527	2.06143
	β	0.1108	26.4627	2.2611	10.1281	25.8652	5.2425	2.84E-07	8.3826	8.56541
	γ	20.299		17.959	20.244	4.54E-06	25.945	20.299	20.253	19.053
360	α	2.1525	5.0509	0.4693	1.3827	6.7009	0.07	9.2857	1.956	3.81914
	β	0.1537	32.4911	2.5399	10.4007	32.0906	4.9102	8.76E-07	5.0972	13.2105
	γ	26.199		21.351	25.958	3.94E-07	32.295	26.199	25.516	21.02
720	α	1.4676	5.8449	0.6573	1.2485	4.5097	0.2215	10.3385	1.4458	2.26645
	β	0.1198	38.7288	2.343	11.1799	23.5737	5.2282	2.38E-05	7.2807	9.346
	γ	31.999		29.566	31.9	14.493	38.067	31.999	31.812	30.606
1080	α	1.2737	7.1414	0.8137	1.1575	2.5983	0.3852	12.1628	1.2649	1.84896
	β	0.0948	44.1464	2.3043	12.8478	14.9887	5.7678	6.85E-07	9.6889	9.21826
	γ	36.599		35.117	36.444	27.835	42.823	36.499	36.406	35.901
1440	α	0.8169	8.0571	0.8883	0.9371	2.5344	0.395	12.8361	0.8317	1.62734
	β	0.0684	47.6498	2.3305	12.521	16.3824	6.4618	4.62E-05	15.4392	9.30138
	γ	39.899		38.191	39.899	29.751	46.129	39.899	39.899	39.186
2160	α	0.7355	9.3535	1.1741	0.8525	1.382	0.7238	14.037	0.7473	1.27515
	β	0.0582	53.1506	2.12	13.0529	8.2549	5.9677	2.14E-06	18.7847	8.03538
	γ	45.199		44.638	45.199	42.06	50.31	45.199	45.199	45.08
2880	α	0.5263	10.4178	1.03	0.6932	2.413	0.414	16.007	0.5343	1.29172
	β	0.0406	57.4016	2.4292	13.6301	19.9092	8.2507	2.75E-06	29.9611	10.1231
	γ	48.099		46.424	48.099	35.443	55.353	48.099	48.099	47.694
4320	α	0.8484	12.8344	0.8097	0.9644	3.1071	0.3218	20.9524	0.8633	1.83589
	β	0.043	61.8534	2.9051	20.6725	33.5267	10.793	8.8E-07	24.2707	16.6286
	γ	48.999		45.368	48.999	26.296	59.823	48.999	48.999	47.07

Tab. C.2. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica

t, min		GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	α	0.927	1.4904	0.7515	1.0862	3.121	0.3205	2.571	0.9396	2.0823
	β	0.3706	7.4085	0.8324	2.6588	3.8848	1.2446	0.000002637	2.7363	2.1215
	γ	5.799		5.362	5.789	3.2883	7.173	5.799	5.799	5.531
10	α	0.7585	2.2083	0.952	0.8822	2.269	0.4409	3.5189	0.7701	1.5808
	β	0.237	10.3771	0.9541	3.3373	3.8625	1.701	0.00002027	4.5695	2.4284
	γ	8.299		7.94	8.299	6.0536	9.914	8.3	8.299	8.136
20	α	0.573	3.2434	1.1328	0.7326	1.583	0.6325	4.861	0.5824	1.2472
	β	0.1416	14.0562	1.1181	4.2157	3.4922	2.2064	0.000005836	8.3463	2.8388
	γ	11.299		10.984	11.299	9.6702	13.162	11.3	11.299	11.221
30	α	0.709	3.6355	1.0941	0.8413	1.64	0.6096	5.557	0.7209	1.3648
	β	0.1434	15.6815	1.2698	5.1477	4.0895	2.4927	0.00000069	7.7082	3.3732
	γ	12.499		12.171	12.499	10.6268	14.716	12.499	12.499	12.398
40	α	0.8445	4.0191	0.9769	0.9379	2.007	0.498	6.3649	0.8564	1.5202
	β	0.1408	16.7705	1.5159	6.1997	6.0101	2.9939	0.000018205	7.4319	4.2356
	γ	12.999		12.467	12.999	9.8403	15.85	12.999	12.999	12.812
50	α	0.9167	4.1094	0.9163	0.9873	2.444	0.4091	6.7049	0.9275	1.6552
	β	0.141	17.7603	1.6222	6.6715	7.9505	3.2527	0.000011505	7.2291	4.7624
	γ	13.699		13.062	13.699	9.006	16.956	13.699	13.699	13.427
60	α	0.9805	4.2596	0.7417	1.1009	3.675	0.272	7.237	0.994	2.0723
	β	0.1365	18.7523	1.9011	7.5059	13.577	3.6938	0.000000212	7.2807	6.1973
	γ	14.199		12.795	14.18	4.5918	18.169	14.199	14.199	13.329
90	α	0.8018	4.4973	0.8524	0.9288	2.385	0.4194	7.367	0.8154	1.7421
	β	0.1176	20.9522	1.7695	7.1604	8.4071	3.5237	0.000006054	9.0353	5.3858
	γ	16.499		15.574	16.499	11.6576	20.063	16.499	16.499	16.069
120	α	0.8822	4.701	0.9607	0.9509	1.795	0.5571	7.5309	0.891	1.5982
	β	0.1224	22.6177	1.668	7.373	5.8806	3.2767	0.000019189	8.4519	4.9036
	γ	18.199		17.657	18.199	15.5834	21.464	18.199	18.199	17.99
180	α	0.8199	5.3112	0.9702	0.9153	1.977	0.5061	8.3649	0.8308	1.458
	β	0.105	24.9072	1.7511	8.0548	7.7696	3.9299	0.000008102	10.0688	5.3947
	γ	19.999		19.302	19.999	15.9008	23.67	19.999	19.999	19.813
360	α	0.8493	5.9053	0.9244	0.9497	2.258	0.4431	9.467	0.8623	1.6074
	β	0.095	29.5736	1.9695	9.2756	10.3245	4.5727	0.00000528	10.9782	6.6156
	γ	23.899		22.917	23.899	18.0264	28.352	23.899	23.899	23.498
720	α	0.8653	6.4063	0.8076	0.9664	2.925	0.3421	10.611	0.8778	1.8949
	β	0.0858	35.0911	2.2094	10.4732	15.4638	5.2884	0.000001276	12.0875	8.4177
	γ	28.599		26.873	28.599	18.554	34.019	28.599	28.599	27.598
1080	α	0.8883	6.8753	0.8657	0.9793	2.688	0.3722	11.237	0.9011	1.7231
	β	0.0825	39.2552	2.2011	11.1476	15.0093	5.584	0.000000749	12.4702	8.3476
	γ	32.399		30.981	32.399	23.005	38.014	32.399	32.399	31.74
1440	α	0.8895	8.253	0.7096	1.003	3.922	0.2552	13.9329	0.9053	2.1755
	β	0.0666	46.1438	2.6098	13.9477	28.3764	7.2466	0.000003866	15.391	12.5328
	γ	37.399		34.1	37.399	16.7077	45.088	37.399	37.399	35.208
2160	α	0.7737	10.1816	1.0757	0.8803	1.729	0.5782	15.5936	0.7845	1.4024
	β	0.0535	51.073	2.3209	14.9029	12.28	7.0977	0.0115259	20.1073	9.6819
	γ	41.999		41.087	41.999	36.1862	48.465	41.999	41.999	41.726
2880	α	0.7854	11.6182	1.0146	0.892	1.848	0.5413	18.18	0.7964	1.4753
	β	0.0469	53.9781	2.5228	17.3201	15.3382	8.3039	0.00137293	22.8599	11.6204
	γ	43.399		42.041	43.399	35.8093	51.149	43.399	43.399	42.93
4320	α	0.725	13.6715	1.2026	0.8288	1.392	0.718	17.0291	0.7334	1.2996
	β	0.0389	59.0698	2.4483	18.8119	11.7398	8.4336	0.182735	28.2065	11.3761
	γ	47.699		47.073	47.699	43.2652	55.007	47.699	47.699	47.546

Tab. C.3 Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec

t, min		GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	α	0.736	0.9536	1.0951	0.8612	1.6863	0.5931	1.445	0.7486	1.2424
	β	0.566	6.3416	0.00000506	1.3542	1.1539	0.6844	0.00001507	1.9302	0.8623
	γ	5.499		5.398	5.499	4.93	6.084	5.499	5.499	5.475
10	α	1.1243	0.8581	0.7509	1.1002	3.555	0.2816	1.463	1.13	2.0578
	β	0.7338	8.019	0.2832	1.5171	2.6247	0.7389	0.000035891	1.298	1.2359
	γ	7.095		6.834	7.096	5.273	7.897	7.099	7.095	6.935
20	α	0.8379	1.5275	0.8687	0.907	2.3144	0.432	2.2399	0.8398	1.903
	β	0.3466	10.0029	0.6572	2.4516	2.5916	1.1196	0.124183	3.0543	1.8136
	γ	8.499		8.233	8.499	7.099	9.69	8.499	8.499	8.33
30	α	0.825	1.9922	0.8286	0.9076	2.6445	0.378	3.0211	0.8289	2.061
	β	0.2589	11.317	0.9934	3.254	4.0598	1.5351	0.109269	4.1006	2.5909
	γ	9.299		8.861	9.299	6.889	10.949	9.299	9.299	8.969
40	α	0.9254	2.4503	0.9374	0.9147	2.0722	0.4825	3.3236	0.9092	1.8055
	β	0.2314	12.1504	1.0125	3.9173	3.4914	1.6853	0.181113	4.5126	2.6664
	γ	9.799		9.554	9.799	8.107	11.599	9.799	9.799	9.651
50	α	0.6537	2.8014	1.1022	0.7745	1.9037	0.5253	3.2665	0.6599	1.4465
	β	0.1708	12.6743	0.9659	3.7844	3.5993	1.8906	0.246489	6.6144	2.5698
	γ	10.299		10.035	10.299	8.404	12.003	10.299	10.299	10.171
60	α	0.7131	2.9616	1.126	0.8057	1.828	0.5467	3.4205	0.7166	1.4103
	β	0.1721	13.3952	0.9909	4.0751	3.5787	1.9578	0.253316	6.4259	2.6283
	γ	10.899		10.666	10.899	9.09	12.669	10.899	10.899	10.805
90	α	0.7601	3.0489	1.0573	0.8185	1.6868	0.593	3.2585	0.7572	1.6019
	β	0.1725	14.6015	1.0239	4.2421	3.0037	1.781	0.316606	6.3248	2.6179
	γ	12.099		11.884	12.099	10.854	13.858	12.099	12.099	11.99
120	α	0.6408	3.3118	1.3364	0.7425	1.1392	0.8777	2.7921	0.646	1.2195
	β	0.1513	15.6662	0.7773	3.9526	1.8241	1.6011	0.446553	7.4623	2.1545
	γ	13.299		13.229	13.299	12.787	14.611	13.299	13.299	13.284
180	α	0.6865	3.7845	1.2502	0.7842	1.3887	0.7203	3.8395	0.6922	1.2992
	β	0.1361	18.237	1.1085	4.9103	2.9778	2.1451	0.336982	8.1837	2.8638
	γ	15.299		15.142	15.299	14.181	17.159	15.299	15.299	15.255
360	α	0.828	4.6598	1.0459	0.9056	1.7781	0.5616	6.8458	0.8356	1.4799
	β	0.1201	23.1336	1.5673	7.0289	5.7754	3.2476	0.0695249	8.8002	4.5791
	γ	18.899		18.487	18.899	16.189	21.965	18.899	18.899	18.756
720	α	0.8716	5.8981	0.2466	0.9437	1.7156	0.583	9.3568	0.8808	1.523
	β	0.0977	28.4767	3.4689	9.1295	7.013	4.0877	0.000016211	10.6232	5.9614
	γ	22.999		-0.805	22.999	19.947	26.96	22.999	22.999	22.815
1080	α	0.844	6.6354	0.9176	0.9229	2.1721	0.4601	10.2996	0.8514	1.7395
	β	0.0823	31.9522	2.0799	10.4905	10.661	4.9084	0.0523257	12.7615	7.4928
	γ	25.599		24.558	25.599	19.895	30.556	25.599	25.599	25.034
1440	α	0.6507	7.955	1.1069	0.7991	1.9395	0.5151	12.1947	0.6617	1.2901
	β	0.0616	42.1531	2.0643	11.0361	11.4336	5.8986	0.000026971	18.43	7.4367
	γ	35.099		34.283	35.099	28.818	40.253	35.099	35.099	34.897
2160	α	0.8483	9.048	1.0064	0.8982	1.7121	0.5847	12.1118	0.8492	1.62
	β	0.0616	47.3612	2.2339	13.7964	9.9982	5.8387	0.169258	17.1244	8.7742
	γ	39.199		38.494	39.199	35.117	45.116	39.199	39.199	38.895
2880	α	0.829	10.0958	0.9354	0.8942	2.2146	0.4515	14.155	0.831	1.8012
	β	0.0528	52.973	2.4637	15.8238	16.2113	7.3172	0.15173	20.0954	11.3379
	γ	43.399		41.994	43.399	34.658	50.867	43.399	43.399	42.472
4320	α	0.7427	11.7714	1.1269	0.8174	1.4192	0.7049	12.5095	0.7447	1.4623
	β	0.0453	58.4317	2.2977	16.0123	9.2614	6.5246	0.312727	24.1645	9.4212
	γ	48.999		48.476	48.999	45.912	55.174	48.999	48.999	48.803

Tab. C.4. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra

t, min		GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	α	1.2073	1.2218	0.8047	1.1158	2.8022	0.3568	2.083	1.1974	1.8949
	β	0.5373	6.9021	0.5524	2.1726	2.8019	0.9999	0.000003691	1.7482	1.6075
	γ	5.588		5.336	5.593	3.887	6.689	5.599	5.589	5.469
10	α	0.934	1.4506	0.7255	1.1155	3.6127	0.2771	2.497	1.1751	2.1269
	β	0.3835	10.0798	0.8429	2.6083	4.5195	1.2509	0.000000643	2.1422	2.1549
	γ	8.499		8.014	8.485	5.357	9.876	8.499	8.479	8.194
20	α	0.8478	2.4935	1.0529	0.898	1.5692	0.6372	3.2953	0.8506	1.5193
	β	0.2291	13.7787	0.8868	3.71	2.4516	1.5627	0.161445	4.5979	2.287
	γ	11.599		11.432	11.599	10.667	13.119	11.599	11.599	11.538
30	α	0.828	3.0051	1.0079	0.8971	1.9607	0.5098	4.2257	0.8329	1.5775
	β	0.1833	15.2481	1.1671	4.5722	4.179	2.1315	0.12316	5.7783	3.073
	γ	12.499		12.172	12.499	10.378	14.557	12.499	12.499	12.348
40	α	0.6898	3.4532	1.0405	0.8176	1.8469	0.5413	4.6718	0.6995	1.4848
	β	0.1445	16.3324	1.2689	4.8956	4.4391	2.4036	0.135933	7.7066	3.3542
	γ	13.299		12.897	13.299	11.065	15.504	13.299	13.299	13.122
50	α	0.6259	3.8474	1.0765	0.7734	1.6968	0.589	5.1608	0.6359	1.4097
	β	0.1232	17.209	1.3334	5.2324	4.4171	2.6037	0.130704	9.302	3.5644
	γ	13.899		13.497	13.899	11.805	16.223	13.899	13.899	13.741
60	α	0.7971	4.0984	1.1353	0.8748	1.379	0.7249	5.4037	0.8045	1.3882
	β	0.1373	18.2752	1.3024	5.8697	3.4332	2.4892	0.141947	7.7877	3.5414
	γ	14.799		14.594	14.799	13.63	17.063	14.799	14.799	14.738
90	α	0.508	4.302	1.3958	0.6597	1.2201	0.8182	4.3891	0.516	0.8527
	β	0.1005	19.5611	1.1018	4.9403	2.9965	2.4574	0.322593	12.0712	2.814
	γ	16.299		16.131	16.299	15.181	18.18	16.299	16.299	16.299
120	α	0.678	4.441	1.1378	0.8105	1.5574	0.6419	6.1648	0.6887	1.3169
	β	0.1142	21.5927	1.4142	6.117	4.5909	2.9486	0.0892216	9.8078	3.926
	γ	17.799		17.454	17.799	15.775	20.366	17.799	17.799	17.701
180	α	0.7391	4.871	1.1002	0.8511	1.7216	0.581	6.9806	0.7496	1.3471
	β	0.1092	23.4419	1.5583	6.947	5.8069	3.3728	0.0689117	9.991	4.4691
	γ	19.199		18.754	19.199	16.39	22.196	19.199	19.199	19.078
360	α	0.7853	4.8504	0.981	0.884	1.9674	0.5088	7.2256	0.7949	1.5972
	β	0.1106	27.5004	1.6845	7.2844	6.8062	3.4604	0.0627994	9.6907	5.0164
	γ	23.099		22.438	23.099	19.605	26.411	23.099	23.099	22.781
720	α	0.9482	5.1145	0.7429	1.0834	3.5905	0.2787	8.6624	0.9625	2.061
	β	0.1116	33.5368	2.0793	8.9322	15.8564	4.4167	0.000012678	9.0007	7.4041
	γ	28.099		26.407	28.079	16.966	32.823	28.099	28.099	27.056
1080	α	1.2541	6.1379	0.6378	1.1797	4.9274	0.2026	10.683	1.2749	2.4039
	β	0.1061	37.7856	2.426	11.3887	27.3413	5.5498	0.000001436	8.5104	10.3282
	γ	30.752		27.841	30.783	9.801	37.144	30.899	30.732	28.835
1440	α	1.1821	7.0333	0.7759	1.1033	3.0399	0.3287	12.0688	1.1734	1.9992
	β	0.0916	39.8475	2.3453	12.5417	17.7746	5.8495	0.000014409	10.3342	9.6689
	γ	32.239		30.489	32.266	20.934	38.71	32.299	32.242	31.273
2160	α	0.7879	8.751	1.0153	0.8997	1.9386	0.5192	13.6889	0.8	1.4522
	β	0.0625	44.9462	2.2479	13.0911	12.4994	6.4271	0.000003735	17.1124	8.8685
	γ	36.899		35.843	36.899	30.372	42.852	36.899	36.899	36.555
2880	α	0.8456	9.5142	0.8784	0.9531	3.0244	0.3305	15.3408	0.859	1.6525
	β	0.0585	48.5409	2.5137	15.0585	24.0482	7.9516	0.000010489	17.8585	11.3623
	γ	39.199		37.16	39.199	22.938	46.987	39.199	39.199	38.323
4320	α	0.9199	9.0368	0.694	1.0791	3.8322	0.2606	15.6446	0.9335	2.2805
	β	0.0606	53.9953	2.7247	16.1135	30.142	7.8691	0.000022718	16.7588	14.1847
	γ	44.099		40.491	44.06	22.648	52.795	44.099	44.099	41.583

Tab. C.5. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole

t, min		GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	α	1,2682	1,5939	0,693	1,1402	4,1593	0,2404	2,787	1,2499	2,3124
	β	0,4121	7,6824	0,9885	2,9286	5,8422	1,4048	0,000004017	2,2476	2,5627
	γ	5,875		5,3	5,888	1,641	7,483	5,899	5,877	5,456
10	α	0,9972	2,1149	0,8398	1,05	2,5497	0,3921	3,557	1,0036	1,8398
	β	0,2806	10,9809	1,0504	3,6273	4,2826	1,6794	0,000001576	3,5443	0,9761
	γ	8,799		8,387	8,796	6,301	10,584	8,799	8,799	8,591
20	α	0,7168	3,3073	1,2182	0,8201	1,4413	0,6938	3,966	0,7257	1,2681
	β	0,1607	13,7948	1,0144	4,4894	2,9507	2,0463	0,212884	6,8528	2,6814
	γ	11,099		10,934	11,099	9,904	12,854	11,099	11,099	11,064
30	α	0,635	4,4659	1,479	0,7587	1,0945	0,914	4,812	0,6448	1,0488
	β	0,1141	15,614	1,0736	5,5408	2,695	2,4622	0,274469	9,9856	3,0745
	γ	12,199		12,123	12,199	11,355	14,05	12,199	12,199	12,196
40	α	0,7375	4,8934	1,1909	0,8355	1,3448	0,7434	6,049	0,7461	1,3023
	β	0,1113	17,0087	1,4193	6,6905	3,9249	2,9191	0,181524	9,82	3,9792
	γ	12,999		12,759	12,999	11,611	15,536	12,999	12,999	12,942
50	α	0,5438	5,2848	1,3856	0,6942	1,2535	0,7975	6,158	0,5525	0,8905
	β	0,0861	17,945	1,3435	6,3317	3,9607	3,1592	0,208582	13,881	3,6406
	γ	13,799		13,586	13,799	12,27	16,231	13,799	13,799	13,799
60	α	0,5929	5,2985	1,3648	0,7354	1,3119	0,7625	6,396	0,6024	4,0205
	β	0,0903	18,8336	1,3725	6,6279	4,2856	3,2677	0,185086	12,896	0,3641
	γ	14,599		14,389	14,599	12,875	17,161	14,599	14,599	14,599
90	α	0,7506	6,337	1,0855	0,8618	1,7599	0,5684	9,196	0,7607	1,3673
	β	0,0845	21,5326	1,8362	9,1475	7,8767	4,4744	0,0611489	12,871	5,9892
	γ	15,899		15,303	15,899	12,026	19,901	15,9	15,899	15,725
120	α	0,7343	6,9127	1,1075	0,8489	1,8432	0,5421	9,867	0,7444	1,3199
	β	0,0765	23,0826	1,9104	9,8666	9,1105	4,9443	0,0738909	14,302	6,3845
	γ	16,999		16,357	16,999	12,272	21,384	16,999	16,999	16,851
180	α	0,7793	6,9579	1,0086	0,8775	1,967	0,5085	10,013	0,7878	1,523
	β	0,0771	25,2265	2,0143	10,3546	9,8512	5,008	0,0900431	13,9592	7,072
	γ	18,899		18,047	18,899	13,759	23,61	18,9	18,899	18,539
360	α	0,7211	7,0142	1,1702	0,8259	1,4716	0,6793	8,751	0,7294	1,3085
	β	0,0751	29,1936	1,8199	9,6967	6,5484	4,4499	0,186276	14,6524	5,9673
	γ	23,299		22,875	23,299	20,624	27,173	23,299	23,299	23,192
720	α	0,8277	7,2088	1,0156	0,8952	1,7134	0,5836	9,924	0,8325	1,566
	β	0,0768	34,7854	2,0108	10,8854	8,1732	4,7712	0,137414	13,7842	7,0248
	γ	28,299		27,659	28,299	24,803	32,976	28,299	28,299	28,037
1080	α	0,8379	7,8354	1,0398	0,9052	1,6383	0,6105	11,108	0,8437	1,5234
	β	0,0718	37,2389	2,0692	11,8274	8,4404	5,1533	0,105145	14,6842	7,5219
	γ	30,199		29,611	30,199	26,752	35,193	30,199	30,199	29,982
1440	α	0,7771	7,7468	1,0528	0,8621	1,6486	0,6068	10,006	0,7837	1,5171
	β	0,0695	42,0166	2,032	11,2824	8,2085	4,9763	0,181557	15,4945	7,1692
	γ	35,299		34,655	35,299	31,837	40,043	35,299	35,299	35,033
2160	α	0,7665	9,0838	1,1505	0,8576	1,4479	0,697	11,843	0,7747	1,3747
	β	0,0602	46,4011	2,0915	12,8959	8,2298	5,6557	0,153173	17,9494	7,8932
	γ	38,699		38,231	38,699	35,577	43,808	38,699	38,699	38,558
2880	α	0,6476	10,8769	1,1384	0,7857	1,8348	0,5444	14,88	0,6577	1,167
	β	0,0451	50,1544	2,334	14,7452	14,2821	7,784	0,10293	25,1723	9,3561
	γ	40,799		39,71	40,799	33,173	47,457	40,799	40,799	40,688
4320	α	0,7718	11,8182	1,0672	0,8757	1,9242	0,5194	17,245	0,781	1,4074
	β	1,2682	1,5939	0,693	1,1402	4,1593	0,2404	2,787	1,2499	2,3124
	γ	0,4121	7,6824	0,9885	2,9286	5,8422	1,4048	0,000004017	2,2476	2,5627

Tab. C.6. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko

t, min		GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	α	1.1557	1.5683	0.7613	1.0792	3.6505	0.2738	2.699	1.141	2.1593
	β	0.4044	7.7956	0.8681	2.7819	4.9226	1.3484	0.000000009	2.3733	2.3469
	γ	6.089		5.653	6.095	2.65	7.572	6.1	6.09	5.748
10	α	0.819	2.2869	0.8479	0.9368	2.6598	0.376	3.741	0.8315	1.7675
	β	0.2349	11.3812	1.1174	3.6472	4.8997	1.8421	0.000016129	4.4988	2.8213
	γ	9.099		8.59	9.099	6.059	10.958	9.099	9.099	8.84
20	α	0.9813	3.2858	0.632	1.1542	5.2388	0.1575	5.577	1.1155	2.3357
	β	0.1772	16.0847	1.8074	5.8729	15.7596	3.0479	0.000008213	5.0151	5.4919
	γ	12.499		10.728	12.467	0.000010851	15.814	12.499	12.482	11.36
30	α	0.8617	3.7485	0.8077	0.9798	4.8065	0.2079	5.985	0.8785	1.697
	β	0.1513	18.5242	1.6807	5.9649	16.2521	3.3818	0.000000572	6.8403	4.743
	γ	14.799		13.659	14.799	1.872	18.124	14.799	14.799	14.335
40	α	0.801	4.3391	0.8651	0.9201	2.9938	0.3339	6.947	0.814	1.695
	β	0.1246	20.1035	1.7443	6.7206	10.8064	3.6097	0.000001825	8.5345	5.268
	γ	15.899		14.849	15.899	8.575	19.381	15.899	15.899	15.373
50	α	0.7609	4.5243	1.1014	0.8644	1.7661	0.566	6.432	0.7704	1.354
	β	0.1193	21.0957	1.4839	6.5327	5.609	3.1766	0.0807029	9.0741	4.2079
	γ	17.099		16.704	17.099	14.334	19.943	17.1	17.099	16.996
60	α	0.7845	4.7875	1.0135	0.8848	1.919	0.5208	7.124	0.7941	1.4917
	β	0.1131	22.0543	1.6357	7.1295	6.6234	3.4511	0.0546249	9.4865	4.8317
	γ	17.699		17.119	17.699	14.294	20.918	17.7	17.699	17.475
90	α	0.7115	5.0175	1.0066	0.8347	1.8305	0.5462	6.905	0.7212	1.5713
	β	0.1005	24.5566	1.6721	7.2783	6.2755	3.4289	0.131493	10.9886	4.9716
	γ	20.099		19.506	20.099	17.094	23.37	20.099	20.099	19.816
120	α	0.6033	5.65	1.0285	0.7574	1.8956	0.5274	7.675	0.613	1.5041
	β	0.0808	26.4254	1.7796	7.7093	7.5326	3.9743	0.130367	14.3433	5.5596
	γ	21.499		20.746	21.499	17.579	25.111	21.499	21.499	21.134
180	α	0.8271	6.1145	1.066	0.8969	1.5771	0.6336	8.508	0.8334	1.4889
	β	0.0919	29.3041	1.7905	9.1182	6.2393	3.9551	0.116286	11.5174	5.7177
	γ	23.899		23.486	23.899	21.431	27.671	23.899	23.899	23.752
360	α	0.723	7.3306	1.1525	0.8242	1.4794	0.6761	8.92	0.7304	1.3408
	β	0.0721	33.4943	1.8675	10.0772	6.7406	4.556	0.203928	15.2479	6.1903
	γ	27.399		26.938	27.399	24.684	31.424	27.399	27.399	27.269
720	α	0.8218	7.8959	1.0747	0.9014	1.6475	0.6068	11.448	0.8292	1.4462
	β	0.071	40.2353	2.0553	11.8098	8.8575	5.3752	0.0758607	14.9334	7.5963
	γ	33.099		32.538	33.099	29.255	38.112	33.1	33.099	32.915
1080	α	0.5727	8.8017	1.4171	0.7169	1.3114	0.7631	10.085	0.5816	0.9366
	β	0.0529	43.9808	1.8329	10.7997	7.0678	5.3905	0.228212	22.199	6.2072
	γ	36.999		36.713	36.999	34.119	41.186	36.999	36.999	36.999
1440	α	0.8086	10.0304	0.9516	0.9066	2.15	0.4648	15.461	0.8178	1.6066
	β	0.0541	47.875	2.4558	15.4204	16.1656	7.5179	0.0390296	19.6743	10.9391
	γ	38.399		36.928	38.399	29.522	45.687	38.399	38.399	37.732
2160	α	0.6317	10.8661	1.2131	0.7759	1.5463	0.6466	14.875	0.6419	1.2114
	β	0.045	53.1748	2.2446	14.4662	11.2582	7.282	0.0904644	25.4355	9.1799
	γ	43.999		43.31	43.999	38.855	50.116	43.999	43.999	43.865
2880	α	0.8321	11.7315	1.0123	0.9119	1.7671	0.5658	17.649	0.84	1.5379
	β	0.0476	55.9246	2.5193	17.8718	14.255	8.0677	0.0527469	22.1697	11.681
	γ	45.199		44.087	45.199	38.767	53.024	45.199	45.199	44.791
4320	α	0.6849	12.1183	1.2669	0.8002	1.2543	0.7975	14.254	0.6946	1.2121
	β	0.0435	61.4231	2.2481	15.8759	8.7702	6.9888	0.211755	25.6484	9.2342
	γ	51.799		51.322	51.799	48.828	57.595	51.7999	51.799	51.721

Tab. C.7. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra

t, min		GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	α	0.6043	1.2271	0.7905	0.7772	3.6175	0.2763	1.947	0.6149	1.856
	β	0.3684	6.7812	0.585	1.7649	3.8441	1.0628	0.000000809	3.1664	1.6349
	γ	5.599		5.165	5.599	2.767	6.611	5.599	5.599	5.342
10	α	0.5393	2.3137	1.3499	0.6912	1.3721	0.7288	2.804	0.5479	0.8782
	β	0.1943	9.4321	0.5604	2.7954	1.9911	1.4508	0.180614	6.171	1.624
	γ	7.599		7.486	7.599	6.746	8.736	7.6	7.599	7.599
20	α	0.7397	3.655	1.2415	0.8412	1.2257	0.8161	4.812	0.7493	1.2316
	β	0.1507	12.7194	1.1005	4.9871	2.6681	2.1766	0.116394	7.2455	2.9444
	γ	9.699		9.564	9.699	8.836	11.503	9.7	9.699	9.675
30	α	0.751	4.448	1.1636	0.8516	1.4411	0.6937	5.983	0.7602	1.3035
	β	0.1227	14.1772	1.3754	6.2304	4.0832	2.8331	0.113303	8.8572	3.82
	γ	10.399		10.131	10.399	8.784	12.867	10.4	10.399	10.339
40	α	0.6594	4.6107	1.4193	0.7767	1.0185	0.9819	5.113	0.669	1.0986
	β	0.1137	15.3486	1.1402	5.7932	2.4756	2.4319	0.24579	9.9205	3.2195
	γ	11.799		11.712	11.799	11.163	13.639	11.8	11.799	11.791
50	α	0.7403	5.0059	1.1686	0.8439	1.4813	0.6749	6.641	0.7499	1.303
	β	0.1081	16.4013	1.4875	6.9675	4.728	3.1921	0.125965	10.0899	4.2527
	γ	12.199		11.895	12.199	10.258	14.986	12.2	12.199	12.131
60	α	0.6396	4.9738	1.1869	0.7766	1.4655	0.6825	6.314	0.6497	1.2472
	β	0.0995	17.29	1.4636	6.5595	4.6211	3.1533	0.156776	11.4465	4.0988
	γ	13.199		12.854	13.199	11.249	15.87	13.2	13.199	13.12
90	α	0.7125	5.0445	1.2631	0.8201	1.3742	0.7277	6.268	0.7241	1.229
	β	0.1052	19.0419	1.4054	6.8468	4.3076	3.1349	0.179478	10.4278	4.0746
	γ	14.899		14.699	14.899	13.219	17.527	14.9	14.899	14.862
120	α	0.6292	5.3194	1.1925	0.7633	1.4718	0.6793	6.146	0.6386	1.2717
	β	0.0914	20.7963	1.5091	6.927	4.8451	3.2933	0.242111	12.4975	4.3076
	γ	16.499		16.148	16.499	14.462	19.308	16.5	16.499	16.405
180	α	0.6917	2.3137	1.2641	0.7944	1.2821	0.78	6.28	0.6991	1.2471
	β	0.0894	9.4321	1.5016	7.6443	4.2632	3.3244	0.292197	12.4282	4.4349
	γ	18.899		18.691	18.899	17.434	21.697	18.9	18.899	18.855
360	α	0.7516	6.6078	1.0678	0.8382	1.7859	0.5603	8.161	0.7559	1.4958
	β	0.0791	29.3525	1.864	9.4892	7.8561	4.399	0.21689396	13.7724	6.1977
	γ	23.599		23.015	23.599	19.854	27.71	23.6	23.599	23.342
720	α	0.6772	8.7369	1.2228	0.783	1.299	0.77	8.926	0.6845	1.2845
	β	0.0592	36.234	1.9206	11.2353	6.2306	4.7961	0.32874	18.8707	6.4861
	γ	29.499		29.117	29.499	27.399	33.628	29.499	29.499	29.405
1080	α	0.5981	11.2283	1.4685	0.7241	0.9994	1.0011	9.776	0.6072	1.0454
	β	0.0445	41.2985	1.9315	13.0213	5.3778	5.3808	0.407685545	25.9776	6.9283
	γ	33.299		33.105	33.299	31.938	37.314	33.2992	33.299	33.292
1440	α	0.6449	12.9945	1.3667	0.7699	1.1657	0.8574	14.643	0.6547	1.1142
	β	0.0395	45.8721	2.2294	16.3988	8.5213	7.3087	0.238639	28.7683	9.3338
	γ	35.799		35.423	35.799	33.02	41.54	35.799	35.799	35.766
2160	α	0.659	16.0665	1.3015	0.7792	1.2082	0.8277	17.477	0.6687	1.1823
	β	0.0322	52.1435	2.4859	20.5061	10.8409	8.9727	0.230410791	35.034	11.7599
	γ	39.699		39.137	39.699	36.164	47.003	39.7	39.699	39.615
2880	α	0.6261	17.8787	1.3855	0.752	1.1268	0.887	18.355	0.6355	1.1037
	β	0.0281	56.7461	2.5145	22.0552	10.8782	9.6555	0.313864859	40.6291	12.3668
	γ	43.199		42.725	43.199	39.84	50.718	43.2	43.199	43.161
4320	α	0.5803	19.256	1.5143	0.7083	0.9521	1.0499	11.402	0.5892	1.0042
	β	0.0254	63.4328	2.4177	21.8415	8.4317	8.8507	0.99582	45.8107	2.4338
	γ	49.999		49.742	49.999	48.038	56.467	50	49.999	49.999

Tab. C.8. Wartości estymatorów parametrów kształtu (α), skali (β) i położenia (γ) analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz

t, min		GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	α	0.5598	1.5004	1.2809	0.707	1.3942	0.7169	1.6716	0.5687	0.9301
	β	0.3032	6.0824	0.1675	1.8389	1.2837	0.9211	0.260933	3.8948	1.0717
	γ	4.899		4.812	4.899	4.357	5.641	4.899	4.899	4.899
10	α	0.7689	1.8895	1.211	0.8547	1.2485	0.8012	2.5258	0.7778	1.2963
	β	0.2983	8.3361	0.4423	2.6012	1.3616	1.0903	0.0999995	3.6168	1.5139
	γ	6.799		6.727	6.799	6.379	7.74	6.799	6.799	6.782
20	α	0.6625	2.4544	1.2309	0.7845	1.2635	0.7915	2.8115	0.6719	1.2419
	β	0.209	10.8459	0.6763	3.1856	1.7761	1.4055	0.235842	5.3858	1.8886
	γ	8.899		8.781	8.899	8.3	10.076	8.899	8.899	8.871
30	α	0.7369	2.6775	1.2399	0.8219	1.1392	0.8778	2.9282	0.7435	1.2775
	β	0.2056	11.9025	0.7252	3.5522	1.6113	1.4137	0.274898	5.317	2.008
	γ	9.799		9.72	9.799	9.396	11.007	9.799	9.799	9.78
40	α	0.5537	2.726	1.6002	0.6893	0.8632	1.1589	2.4038	0.5624	0.9281
	β	0.1729	12.563	0.4327	3.0668	1.085	1.2577	0.422673	6.8262	1.6146
	γ	10.599		10.564	10.599	10.37	11.456	10.599	10.599	10.599
50	α	0.5741	2.825	1.3055	0.7188	1.3894	0.7197	3.1858	0.583	0.9512
	β	0.1633	13.4488	0.7826	3.5035	2.4247	1.7443	0.250249	7.1782	2.0416
	γ	11.199		11.057	11.199	10.177	12.601	11.199	11.199	11.199
60	α	0.6193	2.9127	1.0153	0.7671	1.9879	0.5027	3.8901	0.6289	1.4696
	β	0.1596	13.8474	1.1212	3.9849	4.1586	2.0917	0.143301	7.2015	2.8638
	γ	11.299		10.885	11.299	9.022	13.181	11.299	11.299	11.12
90	α	0.7725	3.0192	0.935	0.8866	2.1129	0.4734	4.6793	0.7828	1.6734
	β	0.1729	15.7505	1.2712	4.6294	4.7097	2.2282	0.0407042	6.2304	3.3332
	γ	12.899		12.435	12.899	10.386	15.095	12.899	12.899	12.662
120	α	0.7413	3.1362	1.1936	0.8384	1.3637	0.7336	3.9311	0.75	1.2887
	β	0.1742	16.9794	0.9781	4.2986	2.587	1.8975	0.169088	6.2627	2.5592
	γ	14.399		14.24	14.399	13.452	16.039	14.399	14.399	14.364
180	α	0.7129	3.4693	1.015	0.848	2.026	0.4937	5.4169	0.7246	1.4548
	β	0.1476	19.2562	1.3266	5.0434	5.2368	2.5845	0.000017051	7.4757	3.5262
	γ	16.099		15.638	16.099	13.228	18.465	16.099	16.099	15.928
360	α	0.8811	4.491	0.8579	0.9727	2.7176	0.3701	7.3326	0.8934	1.7437
	β	0.1257	23.9717	1.7829	7.255	9.9042	3.6464	0.000051394	8.2077	5.5045
	γ	19.499		18.523	19.499	13.259	23.159	19.499	19.499	19.019
720	α	0.7512	4.9216	1.2351	0.833	1.5742	0.635	5.6829	0.7559	1.4632
	β	0.1084	27.9796	1.6118	6.8823	4.7291	2.9989	0.260346	10.0482	4.2257
	γ	23.899		23.65	23.899	21.972	26.698	23.899	23.899	23.771
1080	α	0.6533	5.7153	1.3029	0.7599	1.2555	0.635	5.5375	0.6591	1.2162
	β	0.0882	30.8318	1.4112	7.1215	3.8803	2.9989	0.355277524	12.7865	4.0633
	γ	26.499		26.32	26.499	25.176	26.698	26.499	26.499	26.464
1440	α	0.8349	7.0854	0.9986	0.8847	1.9297	0.5179	9.457	0.8321	1.6026
	β	0.0775	35.9394	2.0118	10.7399	9.4411	4.893	0.16528798	13.7368	7.223
	γ	29.399		28.723	29.399	24.789	34.231	29.399	29.399	29.085
2160	α	0.7492	9.191	1.0476	0.8406	1.9309	0.5177	11.8733	0.7524	1.4748
	β	0.057	41.1086	2.2221	13.2001	12.3832	6.4138	0.169870483	19.1904	8.9068
	γ	32.899		31.983	32.899	26.471	38.855	32.899	32.899	32.524
2880	α	0.7438	11.011	1.1067	0.8389	1.7945	0.5572	14.2013	0.7485	1.3765
	β	0.0479	46.3761	2.3454	15.6273	13.5869	7.5703	0.164284	22.841	10.1241
	γ	36.699		35.834	36.699	29.955	43.543	36.699	36.699	36.446
4320	α	0.5982	14.8229	1.0778	0.7463	1.844	0.5423	18.6107	0.6063	1.3978
	β	0.0308	51.2898	2.6756	19.6846	18.9154	10.2575	0.183006	37.7065	13.7982
	γ	38.499		36.846	38.499	28.663	47.578	38.499	38.499	37.831

Tab. C.9. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	max
5	-78.89	-81.14	-78.81	-79.14	-82.78	-82.50	-78.50	-82.50	-83.36	-78.50
10	-102.52	-105.06	-102.57	-102.73	-106.27	-106.12	-102.66	-106.12	-107.78	-102.52
20	-131.92	-134.96	-131.95	-132.02	-136.38	-136.61	-131.98	-136.61	-138.84	-131.92
30	-137.14	-141.05	-137.21	-137.83	-142.38	-143.48	-137.54	-143.48	-148.39	-137.14
40	-141.97	-146.59	-142.07	-142.92	-147.96	-149.32	-142.50	-149.32	-153.72	-141.97
50	-149.58	-155.75	-149.73	-151.10	-157.09	-159.21	-150.42	-159.21	-162.00	-149.58
60	-150.81	-157.62	-150.97	-152.64	-158.86	-161.34	-151.79	-161.34	-163.63	-150.81
90	-156.56	-165.10	-156.76	-158.96	-166.04	-168.75	-157.89	-168.75	-169.24	-156.56
120	-161.82	-165.56	-161.87	-162.02	-167.35	-168.35	-162.02	-168.35	-169.88	-161.82
180	-163.17	-165.55	-163.11	-163.18	-167.25	-166.73	-162.75	-166.73	-167.35	-162.75
360	-159.69	-160.12	-159.50	-161.43	-160.80	-160.40	-159.07	-160.40	-160.61	-159.07
720	-165.93	-167.12	-165.83	-166.80	-168.35	-167.99	-165.51	-167.99	-169.16	-165.51
1080	-174.55	-175.86	-174.50	-174.92	-177.22	-177.27	-174.35	-177.27	-179.93	-174.35
1440	-176.94	-181.55	-177.03	-177.63	-182.80	-183.21	-177.47	-183.21	-185.91	-176.94
2160	-180.42	-184.97	-180.52	-182.09	-186.13	-187.59	-181.05	-187.59	-194.28	-180.42
2880	-179.80	-193.88	-180.10	-188.65	-194.90	-195.89	-183.35	-195.89	-199.31	-179.80
4320	-201.67	-205.65	-201.74	-202.11	-206.79	-206.93	-202.06	-206.93	-209.20	-201.67

Tab. C.10. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	max
5	-97.13	-98.22	-97.15	-97.21	-98.95	-98.96	-97.14	-98.96	-102.20	-97.13
10	-111.59	-116.09	-111.67	-112.89	-117.08	-117.70	-112.28	-117.70	-122.24	-111.59
20	-122.74	-133.07	-122.97	-129.05	-134.06	-135.52	-125.16	-135.52	-141.25	-122.74
30	-133.62	-138.94	-133.74	-144.06	-140.00	-141.14	-134.55	-141.14	-147.18	-133.62
40	-142.07	-145.54	-142.13	-153.23	-146.70	-147.41	-142.38	-147.41	-151.80	-142.07
50	-145.02	-147.64	-145.05	-144.91	-148.76	-149.24	-145.14	-149.24	-152.84	-144.91
60	-148.95	-150.99	-148.96	-148.21	-152.04	-151.98	-148.75	-151.99	-153.97	-148.21
90	-149.03	-152.26	-149.11	-149.53	-153.29	-153.60	-149.64	-153.60	-157.56	-149.03
120	-150.70	-152.35	-150.73	-157.75	-153.35	-153.67	-150.85	-153.67	-160.50	-150.70
180	-155.55	-159.24	-155.60	-166.59	-160.27	-161.20	-155.89	-161.20	-166.02	-155.55
360	-161.95	-173.22	-162.01	-167.12	-166.64	-167.16	-162.29	-167.16	-170.89	-161.95
720	-167.76	-178.12	-167.80	-168.10	-171.66	-171.81	-168.05	-171.81	-175.00	-167.76
1080	-170.74	-181.11	-170.78	-170.67	-174.97	-175.27	-170.94	-175.27	-178.24	-170.67
1440	-181.49	-184.28	-181.55	-189.24	-185.25	-185.15	-181.71	-185.15	-186.95	-181.49
2160	-186.80	-190.64	-186.86	-188.34	-191.63	-192.70	-187.25	-192.70	-198.96	-186.80
2880	-194.10	-197.81	-194.16	-195.09	-198.80	-199.59	-194.55	-199.60	-205.47	-194.10
4320	-199.68	-202.59	-199.68	-200.88	-203.45	-204.90	-199.92	-204.90	-214.81	-199.68

Tab. C.11. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	max
5	-66.74	-72.79	-66.86	-68.41	-74.19	-75.73	-67.53	-75.73	-79.21	-66.74
10	-68.96	-70.74	-68.93	-69.02	-71.73	-71.70	-68.78	-71.70	-73.98	-68.78
20	-96.60	-96.74	-96.57	-96.53	-96.61	-96.87	-96.66	-96.87	-105.92	-96.53
30	-110.58	-111.18	-110.56	-110.74	-110.77	-111.14	-110.75	-111.14	-119.11	-110.56
40	-120.50	-118.34	-120.43	-119.11	-118.14	-118.60	-120.19	-118.60	-130.56	-118.14
50	-120.41	-124.12	-120.29	-121.51	-124.31	-125.38	-120.52	-125.38	-137.01	-120.29
60	-124.40	-126.43	-124.27	-124.16	-126.60	-127.73	-124.07	-127.73	-139.90	-124.07
90	-127.11	-124.99	-126.90	-124.89	-124.40	-124.78	-126.20	-124.78	-143.23	-124.40
120	-125.12	-124.34	-124.87	-123.67	-124.74	-126.21	-123.98	-126.21	-146.92	-123.67
180	-134.24	-135.45	-134.12	-134.12	-135.69	-136.93	-133.83	-136.93	-152.57	-133.83
360	-149.18	-151.50	-149.19	-149.66	-152.38	-153.25	-149.34	-153.25	-160.43	-149.18
720	-161.51	-174.33	-161.53	-161.81	-164.64	-165.26	-161.67	-165.26	-171.63	-161.51
1080	-168.82	-170.63	-168.83	-169.22	-171.03	-171.45	-169.00	-171.45	-178.61	-168.82
1440	-171.56	-179.19	-171.71	-175.05	-180.23	-181.62	-173.03	-181.62	-186.01	-171.56
2160	-183.43	-182.96	-183.39	-183.17	-183.27	-183.58	-183.33	-183.58	-195.38	-182.96
2880	-190.21	-190.87	-190.17	-190.09	-190.71	-191.26	-190.19	-191.26	-200.88	-190.09
4320	-193.04	-191.81	-192.90	-191.96	-192.04	-192.43	-192.47	-192.43	-209.66	-191.81

Tab. C.12. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	max
5	-86.48	-87.73	-86.46	-86.21	-88.83	-88.91	-86.36	-88.91	-91.94	-86.21
10	-95.68	-97.06	-95.77	-95.75	-98.07	-97.95	-95.57	-97.95	-100.17	-95.57
20	-117.76	-117.96	-117.73	-117.68	-118.57	-118.98	-117.67	-118.98	-130.41	-117.67
30	-127.99	-129.78	-127.98	-128.20	-130.25	-130.98	-128.05	-130.98	-139.37	-127.98
40	-131.75	-136.38	-131.80	-133.87	-136.95	-137.79	-132.49	-137.79	-146.08	-131.75
50	-134.67	-141.28	-134.78	-138.58	-142.00	-142.97	-136.06	-142.97	-151.23	-134.67
60	-140.90	-142.39	-140.91	-141.45	-143.39	-144.23	-140.97	-144.23	-154.56	-140.90
90	-131.62	-142.75	-131.77	-140.09	-141.59	-145.72	-133.77	-145.72	-157.43	-131.62
120	-142.75	-148.15	-142.84	-145.40	-149.05	-150.38	-143.66	-150.38	-157.90	-142.75
180	-149.08	-153.55	-149.14	-150.60	-154.38	-155.59	-149.59	-155.59	-162.50	-149.08
360	-151.10	-154.18	-151.14	-152.31	-154.67	-155.26	-151.44	-155.26	-163.00	-151.10
720	-157.91	-160.07	-157.93	-157.95	-161.14	-161.08	-157.83	-161.08	-163.11	-157.83
1080	-168.44	-169.75	-168.35	-168.43	-170.78	-170.45	-167.98	-170.45	-171.65	-167.98
1440	-174.40	-175.60	-174.38	-174.53	-176.46	-176.52	-174.29	-176.52	-179.67	-174.29
2160	-179.87	-184.13	-179.94	-180.83	-185.29	-186.18	-180.38	-186.18	-190.68	-179.87
2880	-186.07	-190.19	-186.13	-186.53	-191.48	-191.79	-186.44	-191.79	-194.10	-186.07
4320	-187.40	-188.90	-187.43	-187.51	-189.55	-189.47	-187.41	-189.47	-191.89	-187.40

Tab. C.13. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	max
5	-100.95	-102.02	-100.92	-101.25	-102.84	-102.71	-100.78	-102.71	-104.80	-100.78
10	-113.45	-114.73	-113.45	-113.45	-115.63	-115.84	-113.40	-115.84	-119.95	-113.40
20	-128.26	-131.49	-128.28	-129.65	-132.11	-133.65	-128.47	-133.65	-144.24	-128.26
30	-139.24	-144.14	-139.30	-142.27	-144.81	-147.89	-139.79	-147.89	-158.67	-139.24
40	-147.98	-150.59	-147.99	-149.06	-151.46	-152.64	-148.16	-152.64	-163.28	-147.98
50	-144.16	-154.38	-144.33	-151.31	-153.89	-157.60	-146.15	-157.60	-166.59	-144.16
60	-147.12	-155.13	-147.24	-152.04	-155.37	-158.34	-148.47	-158.34	-166.75	-147.12
90	-162.65	-167.01	-162.70	-163.99	-168.05	-169.25	-163.15	-169.25	-175.11	-162.65
120	-166.60	-171.46	-166.65	-168.16	-172.32	-173.62	-167.14	-173.62	-179.65	-166.60
180	-168.84	-172.09	-168.86	-169.70	-172.80	-173.56	-169.15	-173.56	-180.56	-168.84
360	-166.59	-169.81	-166.59	-167.77	-170.58	-171.96	-166.83	-171.96	-181.57	-166.59
720	-171.44	-172.27	-171.42	-171.62	-172.81	-173.30	-171.47	-173.30	-183.34	-171.42
1080	-175.34	-176.38	-175.34	-175.64	-177.15	-177.74	-175.41	-177.74	-187.07	-175.34
1440	-173.78	-175.14	-173.77	-174.24	-175.55	-176.12	-173.85	-176.12	-187.42	-173.77
2160	-180.42	-182.55	-180.43	-181.25	-183.42	-184.55	-180.58	-184.55	-194.48	-180.42
2880	-186.79	-194.12	-186.90	-190.15	-194.83	-196.37	-187.91	-196.37	-202.44	-186.79
4320	-194.76	-198.60	-194.79	-195.79	-199.57	-200.68	-195.16	-200.68	-206.42	-194.76

Tab. C.14. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	max
5	-99.55	-100.75	-99.55	-99.64	-101.50	-101.55	-99.49	-101.55	-104.46	-99.49
10	-115.30	-118.56	-115.37	-115.97	-119.70	-119.92	-115.80	-119.92	-123.26	-115.30
20	-135.93	-138.35	-135.90	-135.93	-139.81	-139.25	-135.50	-139.27	-139.79	-135.50
30	-139.30	-144.31	-139.38	-139.66	-145.93	-145.80	-139.65	-145.80	-146.52	-139.30
40	-146.08	-150.92	-146.16	-146.92	-152.14	-152.42	-146.65	-152.42	-154.98	-146.08
50	-145.96	-149.98	-145.99	-147.10	-150.88	-152.12	-146.34	-152.12	-158.56	-145.96
60	-149.97	-153.53	-150.01	-150.91	-154.40	-155.20	-150.34	-155.20	-161.51	-149.97
90	-151.45	-154.87	-151.50	-153.19	-155.29	-155.85	-152.09	-155.85	-165.17	-151.45
120	-153.70	-161.34	-153.83	-158.42	-161.84	-162.63	-155.42	-162.63	-170.79	-153.70
180	-162.50	-163.67	-162.50	-162.86	-164.45	-165.13	-162.57	-165.13	-174.83	-162.50
360	-168.69	-171.37	-168.67	-169.61	-172.05	-173.20	-168.83	-173.20	-183.97	-168.67
720	-175.19	-177.39	-175.20	-175.88	-178.46	-179.45	-175.36	-179.45	-186.53	-175.19
1080	-171.69	-180.01	-171.78	-176.96	-180.01	-183.37	-173.04	-183.37	-192.40	-171.69
1440	-188.16	-191.20	-188.19	-188.87	-192.08	-192.66	-188.51	-192.66	-198.22	-188.16
2160	-185.61	-192.83	-185.74	-189.51	-193.71	-195.56	-186.95	-195.56	-202.16	-185.61
2880	-195.67	-197.53	-195.69	-196.17	-198.34	-198.95	-195.86	-198.95	-206.74	-195.67
4320	-191.42	-195.18	-191.46	-193.44	-195.99	-197.60	-191.83	-197.60	-208.54	-191.42

Tab. C.15. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra, za okres wieloletni 1961–2010

$t, \text{ min}$	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	max
5	-78.24	-88.46	-78.52	-83.31	-91.29	-89.78	-80.95	-89.78	-91.39	-78.24
10	-102.93	-113.99	-103.13	-110.58	-113.26	-117.03	-105.15	-117.03	-125.39	-102.93
20	-133.01	-136.41	-133.05	-134.37	-137.58	-139.35	-133.32	-139.35	-147.76	-133.01
30	-143.94	-147.36	-143.97	-145.11	-148.33	-149.68	-144.25	-149.68	-157.85	-143.94
40	-141.44	-145.41	-141.49	-143.88	-146.42	-148.91	-141.84	-148.91	-159.90	-141.44
50	-149.63	-153.15	-149.66	-150.96	-153.97	-155.30	-149.96	-155.30	-164.12	-149.63
60	-146.55	-152.68	-146.65	-149.98	-153.40	-154.87	-147.59	-154.87	-163.85	-146.55
90	-149.19	-152.87	-149.22	-150.75	-153.70	-155.57	-149.51	-155.57	-164.87	-149.19
120	-149.80	-155.20	-149.85	-152.90	-155.71	-157.09	-150.61	-157.09	-168.20	-149.80
180	-155.71	-157.86	-155.66	-156.48	-158.51	-160.05	-155.64	-160.05	-125.39	-125.39
360	-165.78	-167.41	-165.71	-165.83	-167.70	-168.56	-165.68	-168.56	-179.67	-165.68
720	-175.23	-176.96	-175.16	-175.88	-177.45	-178.47	-175.09	-178.47	-193.77	-175.09
1080	-182.81	-186.66	-182.83	-185.70	-187.23	-189.60	-183.10	-189.60	-205.52	-182.81
1440	-193.19	-198.10	-193.26	-196.13	-198.81	-201.14	-193.81	-201.14	-211.90	-193.19
2160	-204.49	-208.42	-204.53	-206.88	-209.15	-210.89	-204.94	-210.89	-223.01	-204.49
2880	-208.40	-212.99	-208.45	-211.34	-213.61	-215.89	-208.93	-215.89	-228.52	-208.40
4320	-208.97	-212.62	-208.98	-211.88	-213.17	-215.68	-209.19	-215.68	-233.09	-208.97

Tab. C.16. Zestawienie wartości logarytmów funkcji wiarygodności $\ln L_{max}$ dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz, za okres wieloletni 1961–2010

$t, \text{ min}$	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	max
5	-82.94	-91.70	-83.04	-88.71	-91.65	-94.17	-84.48	-94.17	-104.66	-82.94
10	-100.55	-102.57	-100.57	-101.41	-103.64	-104.79	-100.65	-104.79	-115.57	-100.55
20	-111.20	-115.17	-111.24	-113.46	-116.00	-117.32	-111.70	-117.32	-128.95	-111.20
30	-117.14	-117.93	-117.10	-117.47	-119.04	-119.87	-116.96	-119.87	-133.77	-116.96
40	-110.19	-116.10	-110.23	-114.99	-116.24	-120.13	-110.89	-120.13	-134.53	-110.19
50	-115.44	-123.38	-115.51	-120.43	-123.60	-126.09	-116.73	-126.09	-136.17	-115.44
60	-121.12	-128.37	-121.21	-125.09	-128.90	-129.81	-122.51	-129.81	-137.45	-121.12
90	-128.09	-131.12	-128.14	-129.19	-131.76	-132.23	-128.62	-132.23	-138.79	-128.09
120	-125.81	-128.65	-125.82	-126.90	-129.50	-130.79	-125.99	-130.79	-140.92	-125.81
180	-132.42	-138.02	-132.53	-134.48	-139.05	-139.94	-133.38	-139.94	-144.76	-132.42
360	-149.36	-152.48	-149.40	-149.62	-153.64	-153.91	-149.59	-153.91	-156.96	-149.36
720	-150.01	-151.44	-149.94	-149.89	-150.94	-151.65	-149.80	-151.65	-165.41	-149.80
1080	-153.32	-154.76	-153.16	-153.34	-155.20	-151.65	-152.80	-156.88	-172.96	-151.65
1440	-171.30	-171.44	-171.22	-170.61	-171.95	-172.61	-171.09	-172.61	-182.40	-170.61
2160	-182.09	-184.42	-182.01	-182.21	-185.11	-186.04	-182.07	-186.04	-194.82	-182.01
2880	-190.46	-193.29	-190.40	-190.88	-194.08	-195.30	-190.52	-195.30	-203.60	-190.40
4320	-201.34	-208.47	-201.36	-205.34	-209.12	-210.19	-202.62	-210.19	-218.81	-201.34

Tab. C.17. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław, za okres wieloletni 1961–2010

t , min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	163.78	168.28	163.62	164.28	171.56	171.00	163.00	171.00	170.72	163.00
10	211.04	216.12	211.14	211.46	218.54	218.24	211.32	218.24	219.56	211.04
20	269.84	275.92	269.90	270.04	278.76	279.22	269.96	279.22	281.68	269.84
30	280.28	288.10	280.42	281.66	290.76	292.96	281.08	292.96	300.78	280.28
40	289.94	299.18	290.14	291.84	301.92	304.64	291.00	304.64	311.44	289.94
50	305.16	317.50	305.46	308.20	320.18	324.42	306.84	324.42	328.00	305.16
60	307.62	321.24	307.94	311.28	323.72	328.68	309.58	328.68	331.26	307.62
90	319.12	336.20	319.52	323.92	338.08	343.50	321.78	343.50	342.48	319.12
120	329.64	337.12	329.74	330.04	340.70	342.70	330.04	342.70	343.76	329.64
180	332.34	337.10	332.22	332.36	340.50	339.46	331.50	339.48	338.70	331.50
360	325.38	326.24	325.00	328.86	327.60	326.80	324.14	327.20	325.22	324.14
720	337.86	340.24	337.66	339.60	342.70	341.98	337.02	341.98	342.32	337.02
1080	355.10	357.72	355.00	355.84	360.44	360.54	354.70	360.54	363.86	354.70
1440	359.88	369.10	360.06	361.26	371.60	372.42	360.94	372.42	375.82	359.88
2160	366.84	375.94	367.04	370.18	378.26	381.18	368.10	381.18	392.56	366.84
2880	365.60	393.76	366.20	383.30	395.80	397.78	372.70	397.78	402.62	365.60
4320	409.34	417.30	409.48	410.22	419.58	419.86	410.12	419.86	422.40	409.34

Tab. C.18. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica, za okres wieloletni 1961–2010

t , min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	200.26	202.44	200.30	200.42	203.90	203.92	200.28	203.92	208.40	200.26
10	229.18	238.18	229.34	231.78	240.16	241.40	230.56	241.40	248.48	229.18
20	251.48	272.14	251.94	264.10	274.12	277.04	256.32	277.04	286.50	251.48
30	273.24	283.88	273.48	294.12	286.00	288.28	275.10	288.28	298.36	273.24
40	290.14	297.08	290.26	312.46	299.40	300.82	290.76	300.82	307.60	290.14
50	296.04	301.28	296.10	295.82	303.52	304.48	296.28	304.48	309.68	295.82
60	303.90	307.98	303.92	302.42	310.08	309.96	303.50	309.98	311.94	302.42
90	304.06	310.52	304.22	305.06	312.58	313.20	305.28	313.20	319.12	304.06
120	307.40	310.70	307.46	321.50	312.70	313.34	307.70	313.34	325.00	307.40
180	317.10	324.48	317.20	339.18	326.54	328.40	317.78	328.40	336.04	317.10
360	329.90	352.44	330.02	340.24	339.28	340.32	330.58	340.32	345.78	329.90
720	341.52	362.24	341.60	342.20	349.32	349.62	342.10	349.62	354.00	341.52
1080	347.48	368.22	347.56	347.34	355.94	356.54	347.88	356.54	360.48	347.34
1440	368.98	374.56	369.10	384.48	376.50	376.30	369.42	376.30	377.90	368.98
2160	379.60	387.28	379.72	382.68	389.26	391.40	380.50	391.40	401.92	379.60
2880	394.20	401.62	394.32	396.18	403.60	405.18	395.10	405.20	414.94	394.20
4320	405.36	411.18	405.36	407.76	412.90	415.80	405.84	415.80	433.62	405.36

Tab. C.19. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	139.48	151.58	139.72	142.82	154.38	157.46	141.06	157.46	162.42	139.48
10	143.92	147.48	143.86	144.04	149.46	149.40	143.56	149.40	151.96	143.56
20	199.20	199.48	199.14	199.06	199.22	199.74	199.32	199.74	215.84	199.06
30	227.16	228.36	227.12	227.48	227.54	228.28	227.50	228.28	242.22	227.12
40	247.00	242.68	246.86	244.22	242.28	243.20	246.38	243.20	265.12	242.28
50	246.82	254.24	246.58	249.02	254.62	256.76	247.04	256.76	278.02	246.58
60	254.80	258.86	254.54	254.32	259.20	261.46	254.14	261.46	283.80	254.14
90	260.22	255.98	259.80	255.78	254.80	255.56	258.40	255.56	290.46	254.80
120	256.24	254.68	255.74	253.34	255.48	258.42	253.96	258.42	297.84	253.34
180	274.48	276.90	274.24	274.24	277.38	279.86	273.66	279.86	309.14	273.66
360	304.36	309.00	304.38	305.32	310.76	312.50	304.68	312.50	324.86	304.36
720	329.02	354.66	329.06	329.62	335.28	336.52	329.34	336.52	347.26	329.02
1080	343.64	347.26	343.66	344.44	348.06	348.90	344.00	348.90	361.22	343.64
1440	349.12	364.38	349.42	356.10	366.46	369.24	352.06	369.24	376.02	349.12
2160	372.86	371.92	372.78	372.34	372.54	373.16	372.66	373.16	394.76	371.92
2880	386.42	387.74	386.34	386.18	387.42	388.52	386.38	388.52	405.76	386.18
4320	392.08	389.62	391.80	389.92	390.08	390.86	390.94	390.86	423.32	389.62

Tab. C.20. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	178.96	181.46	178.92	178.42	183.66	183.82	178.72	183.82	187.88	178.42
10	197.36	200.12	197.54	197.50	202.14	201.90	197.14	201.90	204.34	197.14
20	241.52	241.92	241.46	241.36	243.14	243.96	241.34	243.96	264.82	241.34
30	273.24	283.88	273.48	294.12	286.00	288.28	275.10	288.28	298.36	273.24
40	290.14	297.08	290.26	312.46	299.40	300.82	290.76	300.82	307.60	290.14
50	296.04	301.28	296.10	295.82	303.52	304.48	296.28	304.48	309.68	295.82
60	303.90	307.98	303.92	302.42	310.08	309.96	303.50	309.98	311.94	302.42
90	304.06	310.52	304.22	305.06	312.58	313.20	305.28	313.20	319.12	304.06
120	307.40	310.70	307.46	321.50	312.70	313.34	307.70	313.34	325.00	307.40
180	317.10	324.48	317.20	339.18	326.54	328.40	317.78	328.40	336.04	317.10
360	329.90	352.44	330.02	340.24	339.28	340.32	330.58	340.32	345.78	329.90
720	341.52	362.24	341.60	342.20	349.32	349.62	342.10	349.62	354.00	341.52
1080	347.48	368.22	347.56	347.34	355.94	356.54	347.88	356.54	360.48	347.34
1440	368.98	374.56	369.10	384.48	376.50	376.30	369.42	376.30	377.90	368.98
2160	379.60	387.28	379.72	382.68	389.26	391.40	380.50	391.40	401.92	379.60
2880	394.20	401.62	394.32	396.18	403.60	405.18	395.10	405.20	414.94	394.20
4320	405.36	411.18	405.36	407.76	412.90	415.80	405.84	415.80	433.62	405.36

Tab. C.21. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	207.90	210.04	207.84	208.50	211.68	211.42	207.56	211.42	213.60	207.56
10	232.90	235.46	232.90	232.90	237.26	237.68	232.80	237.68	243.90	232.80
20	262.52	268.98	262.56	265.30	270.22	273.30	262.94	273.30	292.48	262.52
30	261.98	265.56	261.96	262.40	266.50	267.96	262.10	267.96	282.74	261.96
40	269.50	278.76	269.60	273.74	279.90	281.58	270.98	281.58	296.16	269.50
50	275.34	288.56	275.56	283.16	290.00	291.94	278.12	291.94	306.46	275.34
60	287.80	290.78	287.82	288.90	292.78	294.46	287.94	294.46	313.12	287.80
90	269.24	291.50	269.54	286.18	289.18	297.44	273.54	297.44	318.86	269.24
120	291.50	302.30	291.68	296.80	304.10	306.76	293.32	306.76	319.80	291.50
180	304.16	313.10	304.28	307.20	314.76	317.18	305.18	317.18	329.00	304.16
360	308.20	314.36	308.28	310.62	315.34	316.52	308.88	316.52	330.00	308.20
720	321.82	326.14	321.86	321.90	328.28	328.16	321.66	328.16	330.22	321.66
1080	342.88	345.50	342.70	342.86	347.56	346.90	341.96	346.90	347.30	341.96
1440	354.80	357.20	354.76	355.06	358.92	359.04	354.58	359.04	363.34	354.58
2160	365.74	374.26	365.88	367.66	376.58	378.36	366.76	378.36	385.36	365.74
2880	378.14	386.38	378.26	379.06	388.96	389.58	378.88	389.58	392.20	378.14
4320	380.80	383.80	380.86	381.02	385.10	384.94	380.82	384.94	387.78	380.80

Tab. C.22. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	205.10	207.50	205.10	205.28	209.00	209.10	204.98	209.10	212.92	204.98
10	236.60	243.12	236.74	237.94	245.40	245.84	237.60	245.84	250.52	236.60
20	277.86	282.70	277.80	277.86	285.62	284.50	277.00	284.54	283.58	277.00
30	284.60	294.62	284.76	285.32	297.86	297.60	285.30	297.60	297.04	284.60
40	298.16	307.84	298.32	299.84	310.28	310.84	299.30	310.84	313.96	298.16
50	297.92	305.96	297.98	300.20	307.76	310.24	298.68	310.24	321.12	297.92
60	305.94	313.06	306.02	307.82	314.80	316.40	306.68	316.40	327.02	305.94
90	308.90	315.74	309.00	312.38	316.58	317.70	310.18	317.70	334.34	308.90
120	313.40	328.68	313.66	322.84	329.68	331.26	316.84	331.26	345.58	313.40
180	331.00	333.34	331.00	331.72	334.90	336.26	331.14	336.26	353.66	331.00
360	343.38	348.74	343.34	345.22	350.10	352.40	343.66	352.40	371.94	343.34
720	356.38	360.78	356.40	357.76	362.92	364.90	356.72	364.90	377.06	356.38
1080	349.38	366.02	349.56	359.92	366.02	372.74	352.08	372.74	388.80	349.38
1440	382.32	388.40	382.38	383.74	390.16	391.32	383.02	391.32	400.44	382.32
2160	377.22	391.66	377.48	385.02	393.42	397.12	379.90	397.12	408.32	377.22
2880	397.34	401.06	397.38	398.34	402.68	403.90	397.72	403.90	417.48	397.34
4320	388.84	396.36	388.92	392.88	397.98	401.20	389.66	401.20	421.08	388.84

Tab. C.23. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	162.48	182.92	163.04	172.62	188.58	185.56	167.90	185.56	186.78	162.48
10	211.86	233.98	212.26	227.16	232.52	240.06	216.30	240.06	254.78	211.86
20	272.02	278.82	272.10	274.74	281.16	284.70	272.64	284.70	299.52	272.02
30	293.88	300.72	293.94	296.22	302.66	305.36	294.50	305.36	319.70	293.88
40	288.88	296.82	288.98	293.76	298.84	303.82	289.68	303.82	323.80	288.88
50	305.26	312.30	305.32	307.92	313.94	316.60	305.92	316.60	332.24	305.26
60	299.10	311.36	299.30	305.96	312.80	315.74	301.18	315.74	331.70	299.10
90	304.38	311.74	304.44	307.50	313.40	317.14	305.02	317.14	333.74	304.38
120	305.60	316.40	305.70	311.80	317.42	320.18	307.22	320.18	340.40	305.60
180	317.42	321.72	317.32	318.96	323.02	326.10	317.28	326.10	254.78	254.78
360	337.56	340.82	337.42	337.66	341.40	343.12	337.36	343.12	363.34	337.36
720	356.46	359.92	356.32	357.76	360.90	362.94	356.18	362.94	391.54	356.18
1080	371.62	379.32	371.66	377.40	380.46	385.20	372.20	385.20	415.04	371.62
1440	392.38	402.20	392.52	398.26	403.62	408.28	393.62	408.28	427.80	392.38
2160	414.98	422.84	415.06	419.76	424.30	427.78	415.88	427.78	450.02	414.98
2880	422.80	431.98	422.90	428.68	433.22	437.78	423.86	437.78	461.04	422.80
4320	423.94	431.24	423.96	429.76	432.34	437.36	424.38	437.36	470.18	423.94

Tab. C.24. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego AIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	171.88	189.40	172.08	183.42	189.30	194.34	174.96	194.34	213.32	171.88
10	207.10	211.14	207.14	208.82	213.28	215.58	207.30	215.58	235.14	207.10
20	228.40	236.34	228.48	232.92	238.00	240.64	229.40	240.64	261.90	228.40
30	240.28	241.86	240.20	240.94	244.08	245.74	239.92	245.74	271.54	239.92
40	226.38	238.20	226.46	235.98	238.48	246.26	227.78	246.26	273.06	226.38
50	236.88	252.76	237.02	246.86	253.20	258.18	239.46	258.18	276.34	236.88
60	248.24	262.74	248.42	256.18	263.80	265.62	251.02	265.62	278.90	248.24
90	262.18	268.24	262.28	264.38	269.52	270.46	263.24	270.46	281.58	262.18
120	257.62	263.30	257.64	259.80	265.00	267.58	257.98	267.58	285.84	257.62
180	270.84	282.04	271.06	274.96	284.10	285.88	272.76	285.88	293.52	270.84
360	304.72	310.96	304.80	305.24	313.28	313.82	305.18	313.82	317.92	304.72
720	306.02	308.88	305.88	305.78	307.88	309.30	305.60	309.30	334.82	305.60
1080	312.64	315.52	312.32	312.68	316.40	309.30	311.60	319.76	349.92	309.30
1440	348.60	348.88	348.44	347.22	349.90	351.22	348.18	351.22	368.80	347.22
2160	370.18	374.84	370.02	370.42	376.22	378.08	370.14	378.08	393.64	370.02
2880	386.92	392.58	386.80	387.76	394.16	396.60	387.04	396.60	411.20	386.80
4320	408.68	422.94	408.72	416.68	424.24	426.38	411.24	426.38	441.62	408.68

Tab. C.25. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	162.88	167.38	162.72	163.38	170.66	170.10	162.10	170.10	170.12	162.10
10	210.14	215.22	210.24	210.56	217.64	217.34	210.42	217.34	218.96	210.14
20	268.94	275.02	269.00	269.14	277.86	278.32	269.06	278.32	281.08	268.94
30	279.38	287.20	279.52	280.76	289.86	292.06	280.18	292.06	300.18	279.38
40	289.04	298.28	289.24	290.94	301.02	303.74	290.10	303.74	310.84	289.04
50	304.26	316.60	304.56	307.30	319.28	323.52	305.94	323.52	327.40	304.26
60	306.72	320.34	307.04	310.38	322.82	327.78	308.68	327.78	330.66	306.72
90	318.22	335.30	318.62	323.02	337.18	342.60	320.88	342.60	341.88	318.22
120	328.74	336.22	328.84	329.14	339.80	341.80	329.14	341.80	343.16	328.74
180	331.44	336.20	331.32	331.46	339.60	338.56	330.60	338.58	338.10	330.60
360	324.48	325.34	324.10	327.96	326.70	325.90	323.24	326.30	324.62	323.24
720	336.96	339.34	336.76	338.70	341.80	341.08	336.12	341.08	341.72	336.12
1080	354.20	356.82	354.10	354.94	359.54	359.64	353.80	359.64	363.26	353.80
1440	358.98	368.20	359.16	360.36	370.70	371.52	360.04	371.52	375.22	358.98
2160	365.94	375.04	366.14	369.28	377.36	380.28	367.20	380.28	391.96	365.94
2880	364.70	392.86	365.30	382.40	394.90	396.88	371.80	396.88	402.02	364.70
4320	408.44	416.40	408.58	409.32	418.68	418.96	409.22	418.96	421.80	408.44

Tab. C.26. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	199.36	201.54	199.40	199.52	203.00	203.02	199.38	203.02	207.80	199.36
10	228.28	237.28	228.44	230.88	239.26	240.50	229.66	240.50	247.88	228.28
20	250.58	271.24	251.04	263.20	273.22	276.14	255.42	276.14	285.90	250.58
30	272.34	282.98	272.58	293.22	285.10	287.38	274.20	287.38	297.76	272.34
40	289.24	296.18	289.36	311.56	298.50	299.92	289.86	299.92	307.00	289.24
50	295.14	300.38	295.20	294.92	302.62	303.58	295.38	303.58	309.08	294.92
60	303.00	307.08	303.02	301.52	309.18	309.06	302.60	309.08	311.34	301.52
90	303.16	309.62	303.32	304.16	311.68	312.30	304.38	312.30	318.52	303.16
120	306.50	309.80	306.56	320.60	311.80	312.44	306.80	312.44	324.40	306.50
180	316.20	323.58	316.30	338.28	325.64	327.50	316.88	327.50	335.44	316.20
360	329.00	351.54	329.12	339.34	338.38	339.42	329.68	339.42	345.18	329.00
720	340.62	361.34	340.70	341.30	348.42	348.72	341.20	348.72	353.40	340.62
1080	346.58	367.32	346.66	346.44	355.04	355.64	346.98	355.64	359.88	346.44
1440	368.08	373.66	368.20	383.58	375.60	375.40	368.52	375.40	377.30	368.08
2160	378.70	386.38	378.82	381.78	388.36	390.50	379.60	390.50	401.32	378.70
2880	393.30	400.72	393.42	395.28	402.70	404.28	394.20	404.30	414.34	393.30
4320	404.46	410.28	404.46	406.86	412.00	414.90	404.94	414.90	433.02	404.46

Tab. C.27. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	138.58	150.68	138.82	141.92	153.48	156.56	140.16	156.56	161.82	138.58
10	143.02	146.58	142.96	143.14	148.56	148.50	142.66	148.50	151.36	142.66
20	198.30	198.58	198.24	198.16	198.32	198.84	198.42	198.84	215.24	198.16
30	226.26	227.46	226.22	226.58	226.64	227.38	226.60	227.38	241.62	226.22
40	246.10	241.78	245.96	243.32	241.38	242.30	245.48	242.30	264.52	241.38
50	245.92	253.34	245.68	248.12	253.72	255.86	246.14	255.86	277.42	245.68
60	253.90	257.96	253.64	253.42	258.30	260.56	253.24	260.56	283.20	253.24
90	259.32	255.08	258.90	254.88	253.90	254.66	257.50	254.66	289.86	253.90
120	255.34	253.78	254.84	252.44	254.58	257.52	253.06	257.52	297.24	252.44
180	273.58	276.00	273.34	273.34	276.48	278.96	272.76	278.96	308.54	272.76
360	303.46	308.10	303.48	304.42	309.86	311.60	303.78	311.60	324.26	303.46
720	328.12	353.76	328.16	328.72	334.38	335.62	328.44	335.62	346.66	328.12
1080	342.74	346.36	342.76	343.54	347.16	348.00	343.10	348.00	360.62	342.74
1440	348.22	363.48	348.52	355.20	365.56	368.34	351.16	368.34	375.42	348.22
2160	371.96	371.02	371.88	371.44	371.64	372.26	371.76	372.26	394.16	371.02
2880	385.52	386.84	385.44	385.28	386.52	387.62	385.48	387.62	405.16	385.28
4320	391.18	388.72	390.90	389.02	389.18	389.96	390.04	389.96	422.72	388.72

Tab. C.28. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	199.36	201.54	199.40	199.52	203.00	203.02	199.38	203.02	207.80	199.36
10	228.28	237.28	228.44	230.88	239.26	240.50	229.66	240.50	247.88	228.28
20	250.58	271.24	251.04	263.20	273.22	276.14	255.42	276.14	285.90	250.58
30	272.34	282.98	272.58	293.22	285.10	287.38	274.20	287.38	297.76	272.34
40	289.24	296.18	289.36	311.56	298.50	299.92	289.86	299.92	307.00	289.24
50	295.14	300.38	295.20	294.92	302.62	303.58	295.38	303.58	309.08	294.92
60	303.00	307.08	303.02	301.52	309.18	309.06	302.60	309.08	311.34	301.52
90	303.16	309.62	303.32	304.16	311.68	312.30	304.38	312.30	318.52	303.16
120	306.50	309.80	306.56	320.60	311.80	312.44	306.80	312.44	324.40	306.50
180	316.20	323.58	316.30	338.28	325.64	327.50	316.88	327.50	335.44	316.20
360	329.00	351.54	329.12	339.34	338.38	339.42	329.68	339.42	345.18	329.00
720	340.62	361.34	340.70	341.30	348.42	348.72	341.20	348.72	353.40	340.62
1080	346.58	367.32	346.66	346.44	355.04	355.64	346.98	355.64	359.88	346.44
1440	368.08	373.66	368.20	383.58	375.60	375.40	368.52	375.40	377.30	368.08
2160	378.70	386.38	378.82	381.78	388.36	390.50	379.60	390.50	401.32	378.70
2880	393.30	400.72	393.42	395.28	402.70	404.28	394.20	404.30	414.34	393.30
4320	404.46	410.28	404.46	406.86	412.00	414.90	404.94	414.90	433.02	404.46

Tab. C.29. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	178.06	180.56	178.02	177.52	182.76	182.92	177.82	182.92	187.28	177.52
10	196.46	199.22	196.64	196.60	201.24	201.00	196.24	201.00	203.74	196.24
20	240.62	241.02	240.56	240.46	242.24	243.06	240.44	243.06	264.22	240.44
30	261.08	264.66	261.06	261.50	265.60	267.06	261.20	267.06	282.14	261.06
40	268.60	277.86	268.70	272.84	279.00	280.68	270.08	280.68	295.56	268.60
50	274.44	287.66	274.66	282.26	289.10	291.04	277.22	291.04	305.86	274.44
60	286.90	289.88	286.92	288.00	291.88	293.56	287.04	293.56	312.52	286.90
90	268.34	290.60	268.64	285.28	288.28	296.54	272.64	296.54	318.26	268.34
120	290.60	301.40	290.78	295.90	303.20	305.86	292.42	305.86	319.20	290.60
180	303.26	312.20	303.38	306.30	313.86	316.28	304.28	316.28	328.40	303.26
360	307.30	313.46	307.38	309.72	314.44	315.62	307.98	315.62	329.40	307.30
720	320.92	325.24	320.96	321.00	327.38	327.26	320.76	327.26	329.62	320.76
1080	341.98	344.60	341.80	341.96	346.66	346.00	341.06	346.00	346.70	341.06
1440	353.90	356.30	353.86	354.16	358.02	358.14	353.68	358.14	362.74	353.68
2160	364.84	373.36	364.98	366.76	375.68	377.46	365.86	377.46	384.76	364.84
2880	377.24	385.48	377.36	378.16	388.06	388.68	377.98	388.68	391.60	377.24
4320	379.90	382.90	379.96	380.12	384.20	384.04	379.92	384.04	387.18	379.90

Tab. C.30. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	204.20	206.60	204.20	204.38	208.10	208.20	204.08	208.20	212.32	204.08
10	235.70	242.22	235.84	237.04	244.50	244.94	236.70	244.94	249.92	235.70
20	276.96	281.80	276.90	276.96	284.72	283.60	276.10	283.64	282.98	276.10
30	283.70	293.72	283.86	284.42	296.96	296.70	284.40	296.70	296.44	283.70
40	297.26	306.94	297.42	298.94	309.38	309.94	298.40	309.94	313.36	297.26
50	297.02	305.06	297.08	299.30	306.86	309.34	297.78	309.34	320.52	297.02
60	305.04	312.16	305.12	306.92	313.90	315.50	305.78	315.50	326.42	305.04
90	308.00	314.84	308.10	311.48	315.68	316.80	309.28	316.80	333.74	308.00
120	312.50	327.78	312.76	321.94	328.78	330.36	315.94	330.36	344.98	312.50
180	330.10	332.44	330.10	330.82	334.00	335.36	330.24	335.36	353.06	330.10
360	342.48	347.84	342.44	344.32	349.20	351.50	342.76	351.50	371.34	342.44
720	355.48	359.88	355.50	356.86	362.02	364.00	355.82	364.00	376.46	355.48
1080	348.48	365.12	348.66	359.02	365.12	371.84	351.18	371.84	388.20	348.48
1440	381.42	387.50	381.48	382.84	389.26	390.42	382.12	390.42	399.84	381.42
2160	376.32	390.76	376.58	384.12	392.52	396.22	379.00	396.22	407.72	376.32
2880	396.44	400.16	396.48	397.44	401.78	403.00	396.82	403.00	416.88	396.44
4320	387.94	395.46	388.02	391.98	397.08	400.30	388.76	400.30	420.48	387.94

Tab. C.31. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	161.58	182.02	162.14	171.72	187.68	184.66	167.00	184.66	186.18	161.58
10	210.96	233.08	211.36	226.26	231.62	239.16	215.40	239.16	254.18	210.96
20	271.12	277.92	271.20	273.84	280.26	283.80	271.74	283.80	298.92	271.12
30	292.98	299.82	293.04	295.32	301.76	304.46	293.60	304.46	319.10	292.98
40	287.98	295.92	288.08	292.86	297.94	302.92	288.78	302.92	323.20	287.98
50	304.36	311.40	304.42	307.02	313.04	315.70	305.02	315.70	331.64	304.36
60	298.20	310.46	298.40	305.06	311.90	314.84	300.28	314.84	331.10	298.20
90	303.48	310.84	303.54	306.60	312.50	316.24	304.12	316.24	333.14	303.48
120	304.70	315.50	304.80	310.90	316.52	319.28	306.32	319.28	339.80	304.70
180	316.52	320.82	316.42	318.06	322.12	325.20	316.38	325.20	254.18	254.18
360	336.66	339.92	336.52	336.76	340.50	342.22	336.46	342.22	362.74	336.46
720	355.56	359.02	355.42	356.86	360.00	362.04	355.28	362.04	390.94	355.28
1080	370.72	378.42	370.76	376.50	379.56	384.30	371.30	384.30	414.44	370.72
1440	391.48	401.30	391.62	397.36	402.72	407.38	392.72	407.38	427.20	391.48
2160	414.08	421.94	414.16	418.86	423.40	426.88	414.98	426.88	449.42	414.08
2880	421.90	431.08	422.00	427.78	432.32	436.88	422.96	436.88	460.44	421.90
4320	423.04	430.34	423.06	428.86	431.44	436.46	423.48	436.46	469.58	423.04

Tab. C.32. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego BIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	170.98	188.50	171.18	182.52	188.40	193.44	174.06	193.44	212.72	170.98
10	206.20	210.24	206.24	207.92	212.38	214.68	206.40	214.68	234.54	206.20
20	227.50	235.44	227.58	232.02	237.10	239.74	228.50	239.74	261.30	227.50
30	239.38	240.96	239.30	240.04	243.18	244.84	239.02	244.84	270.94	239.02
40	225.48	237.30	225.56	235.08	237.58	245.36	226.88	245.36	272.46	225.48
50	235.98	251.86	236.12	245.96	252.30	257.28	238.56	257.28	275.74	235.98
60	247.34	261.84	247.52	255.28	262.90	264.72	250.12	264.72	278.30	247.34
90	261.28	267.34	261.38	263.48	268.62	269.56	262.34	269.56	280.98	261.28
120	256.72	262.40	256.74	258.90	264.10	266.68	257.08	266.68	285.24	256.72
180	269.94	281.14	270.16	274.06	283.20	284.98	271.86	284.98	292.92	269.94
360	303.82	310.06	303.90	304.34	312.38	312.92	304.28	312.92	317.32	303.82
720	305.12	307.98	304.98	304.88	306.98	308.40	304.70	308.40	334.22	304.70
1080	311.74	314.62	311.42	311.78	315.50	308.40	310.70	318.86	349.32	308.40
1440	347.70	347.98	347.54	346.32	349.00	350.32	347.28	350.32	368.20	346.32
2160	369.28	373.94	369.12	369.52	375.32	377.18	369.24	377.18	393.04	369.12
2880	386.02	391.68	385.90	386.86	393.26	395.70	386.14	395.70	410.60	385.90
4320	407.78	422.04	407.82	415.78	423.34	425.48	410.34	425.48	441.02	407.78

Tab. C.33. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Wrocław, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	159.16	163.66	159.00	159.66	166.94	166.38	158.38	166.38	167.64	158.38
10	206.42	211.50	206.52	206.84	213.92	213.62	206.70	213.62	216.48	206.42
20	265.22	271.30	265.28	265.42	274.14	274.60	265.34	274.60	278.60	265.22
30	275.66	283.48	275.80	277.04	286.14	288.34	276.46	288.34	297.70	275.66
40	285.32	294.56	285.52	287.22	297.30	300.02	286.38	300.02	308.36	285.32
50	300.54	312.88	300.84	303.58	315.56	319.80	302.22	319.80	324.92	300.54
60	303.00	316.62	303.32	306.66	319.10	324.06	304.96	324.06	328.18	303.00
90	314.50	331.58	314.90	319.30	333.46	338.88	317.16	338.88	339.40	314.50
120	325.02	332.50	325.12	325.42	336.08	338.08	325.42	338.08	340.68	325.02
180	327.72	332.48	327.60	327.74	335.88	334.84	326.88	334.86	335.62	326.88
360	320.76	321.62	320.38	324.24	322.98	322.18	319.52	322.58	322.14	319.52
720	333.24	335.62	333.04	334.98	338.08	337.36	332.40	337.36	339.24	332.40
1080	350.48	353.10	350.38	351.22	355.82	355.92	350.08	355.92	360.78	350.08
1440	355.26	364.48	355.44	356.64	366.98	367.80	356.32	367.80	372.74	355.26
2160	362.22	371.32	362.42	365.56	373.64	376.56	363.48	376.56	389.48	362.22
2880	360.98	389.14	361.58	378.68	391.18	393.16	368.08	393.16	399.54	360.98
4320	404.72	412.68	404.86	405.60	414.96	415.24	405.50	415.24	419.32	404.72

Tab. C.34. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Legnica, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	195.64	197.82	195.68	195.80	199.28	199.30	195.66	199.30	205.32	195.64
10	224.56	233.56	224.72	227.16	235.54	236.78	225.94	236.78	245.40	224.56
20	246.86	267.52	247.32	259.48	269.50	272.42	251.70	272.42	283.42	246.86
30	268.62	279.26	268.86	289.50	281.38	283.66	270.48	283.66	295.28	268.62
40	285.52	292.46	285.64	307.84	294.78	296.20	286.14	296.20	304.52	285.52
50	291.42	296.66	291.48	291.20	298.90	299.86	291.66	299.86	306.60	291.20
60	299.28	303.36	299.30	297.80	305.46	305.34	298.88	305.36	308.86	297.80
90	299.44	305.90	299.60	300.44	307.96	308.58	300.66	308.58	316.04	299.44
120	302.78	306.08	302.84	316.88	308.08	308.72	303.08	308.72	321.92	302.78
180	312.48	319.86	312.58	334.56	321.92	323.78	313.16	323.78	332.96	312.48
360	325.28	347.82	325.40	335.62	334.66	335.70	325.96	335.70	342.70	325.28
720	336.90	357.62	336.98	337.58	344.70	345.00	337.48	345.00	350.92	336.90
1080	342.86	363.60	342.94	342.72	351.32	351.92	343.26	351.92	357.40	342.72
1440	364.36	369.94	364.48	379.86	371.88	371.68	364.80	371.68	374.82	364.36
2160	374.98	382.66	375.10	378.06	384.64	386.78	375.88	386.78	398.84	374.98
2880	389.58	397.00	389.70	391.56	398.98	400.56	390.48	400.58	411.86	389.58
4320	400.74	406.56	400.74	403.14	408.28	411.18	401.22	411.18	430.54	400.74

Tab. C.35. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zgorzelec, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	134.86	146.96	135.10	138.20	149.76	152.84	136.44	152.84	159.34	134.86
10	139.30	142.86	139.24	139.42	144.84	144.78	138.94	144.78	148.88	138.94
20	194.58	194.86	194.52	194.44	194.60	195.12	194.70	195.12	212.76	194.44
30	222.54	223.74	222.50	222.86	222.92	223.66	222.88	223.66	239.14	222.50
40	242.38	238.06	242.24	239.60	237.66	238.58	241.76	238.58	262.04	237.66
50	242.20	249.62	241.96	244.40	250.00	252.14	242.42	252.14	274.94	241.96
60	250.18	254.24	249.92	249.70	254.58	256.84	249.52	256.84	280.72	249.52
90	255.60	251.36	255.18	251.16	250.18	250.94	253.78	250.94	287.38	250.18
120	251.62	250.06	251.12	248.72	250.86	253.80	249.34	253.80	294.76	248.72
180	269.86	272.28	269.62	269.62	272.76	275.24	269.04	275.24	306.06	269.04
360	299.74	304.38	299.76	300.70	306.14	307.88	300.06	307.88	321.78	299.74
720	324.40	350.04	324.44	325.00	330.66	331.90	324.72	331.90	344.18	324.40
1080	339.02	342.64	339.04	339.82	343.44	344.28	339.38	344.28	358.14	339.02
1440	344.50	359.76	344.80	351.48	361.84	364.62	347.44	364.62	372.94	344.50
2160	368.24	367.30	368.16	367.72	367.92	368.54	368.04	368.54	391.68	367.30
2880	381.80	383.12	381.72	381.56	382.80	383.90	381.76	383.90	402.68	381.56
4320	387.46	385.00	387.18	385.30	385.46	386.24	386.32	386.24	420.24	385.00

Tab. C.36. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Zielona Góra, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	195.64	197.82	195.68	195.80	199.28	199.30	195.66	199.30	205.32	195.64
10	224.56	233.56	224.72	227.16	235.54	236.78	225.94	236.78	245.40	224.56
20	246.86	267.52	247.32	259.48	269.50	272.42	251.70	272.42	283.42	246.86
30	268.62	279.26	268.86	289.50	281.38	283.66	270.48	283.66	295.28	268.62
40	285.52	292.46	285.64	307.84	294.78	296.20	286.14	296.20	304.52	285.52
50	291.42	296.66	291.48	291.20	298.90	299.86	291.66	299.86	306.60	291.20
60	299.28	303.36	299.30	297.80	305.46	305.34	298.88	305.36	308.86	297.80
90	299.44	305.90	299.60	300.44	307.96	308.58	300.66	308.58	316.04	299.44
120	302.78	306.08	302.84	316.88	308.08	308.72	303.08	308.72	321.92	302.78
180	312.48	319.86	312.58	334.56	321.92	323.78	313.16	323.78	332.96	312.48
360	325.28	347.82	325.40	335.62	334.66	335.70	325.96	335.70	342.70	325.28
720	336.90	357.62	336.98	337.58	344.70	345.00	337.48	345.00	350.92	336.90
1080	342.86	363.60	342.94	342.72	351.32	351.92	343.26	351.92	357.40	342.72
1440	364.36	369.94	364.48	379.86	371.88	371.68	364.80	371.68	374.82	364.36
2160	374.98	382.66	375.10	378.06	384.64	386.78	375.88	386.78	398.84	374.98
2880	389.58	397.00	389.70	391.56	398.98	400.56	390.48	400.58	411.86	389.58
4320	400.74	406.56	400.74	403.14	408.28	411.18	401.22	411.18	430.54	400.74

Tab. C.37. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Opole, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	174.34	176.84	174.30	173.80	179.04	179.20	174.10	179.20	184.80	173.80
10	192.74	195.50	192.92	192.88	197.52	197.28	192.52	197.28	201.26	192.52
20	236.90	237.30	236.84	236.74	238.52	239.34	236.72	239.34	261.74	236.72
30	257.36	260.94	257.34	257.78	261.88	263.34	257.48	263.34	279.66	257.34
40	264.88	274.14	264.98	269.12	275.28	276.96	266.36	276.96	293.08	264.88
50	270.72	283.94	270.94	278.54	285.38	287.32	273.50	287.32	303.38	270.72
60	283.18	286.16	283.20	284.28	288.16	289.84	283.32	289.84	310.04	283.18
90	264.62	286.88	264.92	281.56	284.56	292.82	268.92	292.82	315.78	264.62
120	286.88	297.68	287.06	292.18	299.48	302.14	288.70	302.14	316.72	286.88
180	299.54	308.48	299.66	302.58	310.14	312.56	300.56	312.56	325.92	299.54
360	303.58	309.74	303.66	306.00	310.72	311.90	304.26	311.90	326.92	303.58
720	317.20	321.52	317.24	317.28	323.66	323.54	317.04	323.54	327.14	317.04
1080	338.26	340.88	338.08	338.24	342.94	342.28	337.34	342.28	344.22	337.34
1440	350.18	352.58	350.14	350.44	354.30	354.42	349.96	354.42	360.26	349.96
2160	361.12	369.64	361.26	363.04	371.96	373.74	362.14	373.74	382.28	361.12
2880	373.52	381.76	373.64	374.44	384.34	384.96	374.26	384.96	389.12	373.52
4320	376.18	379.18	376.24	376.40	380.48	380.32	376.20	380.32	384.70	376.18

Tab. C.38. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Kłodzko, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	200.48	202.88	200.48	200.66	204.38	204.48	200.36	204.48	209.84	200.36
10	231.98	238.50	232.12	233.32	240.78	241.22	232.98	241.22	247.44	231.98
20	273.24	278.08	273.18	273.24	281.00	279.88	272.38	279.92	280.50	272.38
30	279.98	290.00	280.14	280.70	293.24	292.98	280.68	292.98	293.96	279.98
40	293.54	303.22	293.70	295.22	305.66	306.22	294.68	306.22	310.88	293.54
50	293.30	301.34	293.36	295.58	303.14	305.62	294.06	305.62	318.04	293.30
60	301.32	308.44	301.40	303.20	310.18	311.78	302.06	311.78	323.94	301.32
90	304.28	311.12	304.38	307.76	311.96	313.08	305.56	313.08	331.26	304.28
120	308.78	324.06	309.04	318.22	325.06	326.64	312.22	326.64	342.50	308.78
180	326.38	328.72	326.38	327.10	330.28	331.64	326.52	331.64	350.58	326.38
360	338.76	344.12	338.72	340.60	345.48	347.78	339.04	347.78	368.86	338.72
720	351.76	356.16	351.78	353.14	358.30	360.28	352.10	360.28	373.98	351.76
1080	344.76	361.40	344.94	355.30	361.40	368.12	347.46	368.12	385.72	344.76
1440	377.70	383.78	377.76	379.12	385.54	386.70	378.40	386.70	397.36	377.70
2160	372.60	387.04	372.86	380.40	388.80	392.50	375.28	392.50	405.24	372.60
2880	392.72	396.44	392.76	393.72	398.06	399.28	393.10	399.28	414.40	392.72
4320	384.22	391.74	384.30	388.26	393.36	396.58	385.04	396.58	418.00	384.22

Tab. C.39. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Jelenia Góra, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	157.86	178.30	158.42	168.00	183.96	180.94	163.28	180.94	183.70	157.86
10	207.24	229.36	207.64	222.54	227.90	235.44	211.68	235.44	251.70	207.24
20	267.40	274.20	267.48	270.12	276.54	280.08	268.02	280.08	296.44	267.40
30	289.26	296.10	289.32	291.60	298.04	300.74	289.88	300.74	316.62	289.26
40	284.26	292.20	284.36	289.14	294.22	299.20	285.06	299.20	320.72	284.26
50	300.64	307.68	300.70	303.30	309.32	311.98	301.30	311.98	329.16	300.64
60	294.48	306.74	294.68	301.34	308.18	311.12	296.56	311.12	328.62	294.48
90	299.76	307.12	299.82	302.88	308.78	312.52	300.40	312.52	330.66	299.76
120	300.98	311.78	301.08	307.18	312.80	315.56	302.60	315.56	337.32	300.98
180	312.80	317.10	312.70	314.34	318.40	321.48	312.66	321.48	251.70	251.70
360	332.94	336.20	332.80	333.04	336.78	338.50	332.74	338.50	360.26	332.74
720	351.84	355.30	351.70	353.14	356.28	358.32	351.56	358.32	388.46	351.56
1080	367.00	374.70	367.04	372.78	375.84	380.58	367.58	380.58	411.96	367.00
1440	387.76	397.58	387.90	393.64	399.00	403.66	389.00	403.66	424.72	387.76
2160	410.36	418.22	410.44	415.14	419.68	423.16	411.26	423.16	446.94	410.36
2880	418.18	427.36	418.28	424.06	428.60	433.16	419.24	433.16	457.96	418.18
4320	419.32	426.62	419.34	425.14	427.72	432.74	419.76	432.74	467.10	419.32

Tab. C.40. Zestawienie wartości kryterium informacyjnego HQIC dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa maksymalnych wysokości opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla stacji Racibórz, za okres wieloletni 1961–2010

t, min	GED	LogN	P3	GPA	LogL	GEV	EV3	EV2	EV1	min
5	167.26	184.78	167.46	178.80	184.68	189.72	170.34	189.72	210.24	167.26
10	202.48	206.52	202.52	204.20	208.66	210.96	202.68	210.96	232.06	202.48
20	223.78	231.72	223.86	228.30	233.38	236.02	224.78	236.02	258.82	223.78
30	235.66	237.24	235.58	236.32	239.46	241.12	235.30	241.12	268.46	235.30
40	221.76	233.58	221.84	231.36	233.86	241.64	223.16	241.64	269.98	221.76
50	232.26	248.14	232.40	242.24	248.58	253.56	234.84	253.56	273.26	232.26
60	243.62	258.12	243.80	251.56	259.18	261.00	246.40	261.00	275.82	243.62
90	257.56	263.62	257.66	259.76	264.90	265.84	258.62	265.84	278.50	257.56
120	253.00	258.68	253.02	255.18	260.38	262.96	253.36	262.96	282.76	253.00
180	266.22	277.42	266.44	270.34	279.48	281.26	268.14	281.26	290.44	266.22
360	300.10	306.34	300.18	300.62	308.66	309.20	300.56	309.20	314.84	300.10
720	301.40	304.26	301.26	301.16	303.26	304.68	300.98	304.68	331.74	300.98
1080	308.02	310.90	307.70	308.06	311.78	304.68	306.98	315.14	346.84	304.68
1440	343.98	344.26	343.82	342.60	345.28	346.60	343.56	346.60	365.72	342.60
2160	365.56	370.22	365.40	365.80	371.60	373.46	365.52	373.46	390.56	365.40
2880	382.30	387.96	382.18	383.14	389.54	391.98	382.42	391.98	408.12	382.18
4320	404.06	418.32	404.10	412.06	419.62	421.76	406.62	421.76	438.54	404.06

Tab. C.41. Wartości kwantyli standaryzowanej zmiennej losowej $t_p(\alpha)$ rozkładu P3

p	α															
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
0,02	1,887	2,706	3,348	3,912	4,431	4,919	5,385	5,834	6,270	6,694	7,109	7,517	7,917	8,311	8,700	9,084
0,04	1,369	2,109	2,698	3,219	3,700	4,156	4,592	5,013	5,422	5,822	6,214	6,599	6,978	7,352	7,721	8,085
0,06	1,084	1,769	2,321	2,813	3,270	3,703	4,119	4,522	4,914	5,298	5,675	6,045	6,410	6,770	7,126	7,478
0,08	0,892	1,532	2,056	2,526	2,963	3,379	3,780	4,168	4,547	4,918	5,283	5,642	5,996	6,346	6,692	7,034
0,10	0,750	1,353	1,852	2,303	2,724	3,126	3,513	3,890	4,258	4,618	4,973	5,322	5,667	6,009	6,346	6,681
0,12	0,640	1,209	1,687	2,120	2,527	2,917	3,293	3,659	4,017	4,369	4,715	5,056	5,393	5,727	6,058	6,385
0,14	0,551	1,089	1,547	1,966	2,361	2,739	3,105	3,462	3,811	4,155	4,493	4,827	5,157	5,484	5,808	6,130
0,16	0,478	0,987	1,428	1,833	2,215	2,583	2,940	3,289	3,630	3,966	4,298	4,625	4,949	5,270	5,588	5,904
0,18	0,416	0,899	1,323	1,715	2,087	2,445	2,794	3,134	3,468	3,798	4,123	4,444	4,762	5,077	5,390	5,700
0,20	0,363	0,821	1,230	1,609	1,971	2,321	2,661	2,994	3,322	3,645	3,964	4,279	4,592	4,902	5,209	5,515
0,22	0,318	0,752	1,146	1,514	1,866	2,207	2,540	2,866	3,188	3,504	3,817	4,128	4,435	4,740	5,043	5,344
0,24	0,278	0,690	1,070	1,427	1,770	2,103	2,429	2,748	3,063	3,374	3,682	3,987	4,290	4,590	4,888	5,185
0,25	0,261	0,662	1,034	1,386	1,725	2,054	2,376	2,693	3,005	3,313	3,618	3,920	4,221	4,519	4,815	5,109
0,27	0,228	0,608	0,967	1,309	1,639	1,961	2,276	2,587	2,893	3,196	3,496	3,793	4,089	4,382	4,674	4,965
0,29	0,200	0,560	0,906	1,238	1,560	1,874	2,183	2,487	2,788	3,085	3,380	3,673	3,964	4,254	4,541	4,828
0,31	0,175	0,515	0,849	1,171	1,485	1,792	2,094	2,393	2,688	2,981	3,271	3,559	3,846	4,131	4,415	4,698
0,33	0,153	0,474	0,796	1,109	1,414	1,715	2,011	2,304	2,594	2,881	3,167	3,451	3,734	4,015	4,295	4,574
0,35	0,134	0,437	0,746	1,050	1,348	1,642	1,932	2,219	2,504	2,787	3,068	3,347	3,626	3,903	4,179	4,455
0,37	0,116	0,402	0,700	0,994	1,285	1,572	1,856	2,138	2,418	2,696	2,972	3,248	3,522	3,796	4,068	4,340
0,39	0,101	0,369	0,656	0,942	1,225	1,505	1,784	2,060	2,335	2,608	2,881	3,152	3,422	3,692	3,961	4,229
0,41	0,088	0,339	0,615	0,892	1,167	1,442	1,714	1,985	2,255	2,524	2,792	3,059	3,326	3,592	3,857	4,122
0,43	0,076	0,311	0,576	0,844	1,113	1,380	1,647	1,913	2,178	2,443	2,707	2,970	3,232	3,495	3,756	4,018
0,45	0,065	0,285	0,539	0,799	1,060	1,322	1,583	1,844	2,104	2,364	2,623	2,883	3,141	3,400	3,658	3,916
0,47	0,056	0,261	0,504	0,755	1,009	1,265	1,520	1,776	2,032	2,287	2,543	2,798	3,053	3,308	3,562	3,817
0,49	0,047	0,238	0,470	0,713	0,961	1,210	1,460	1,710	1,961	2,212	2,464	2,715	2,966	3,217	3,469	3,720
0,51	0,040	0,217	0,439	0,673	0,914	1,157	1,401	1,647	1,893	2,139	2,386	2,634	2,881	3,129	3,377	3,625
0,53	0,034	0,197	0,408	0,635	0,868	1,105	1,344	1,584	1,826	2,068	2,311	2,554	2,798	3,042	3,286	3,531
0,55	0,028	0,179	0,380	0,598	0,824	1,055	1,288	1,523	1,760	1,998	2,237	2,476	2,716	2,956	3,197	3,438
0,57	0,024	0,161	0,352	0,562	0,781	1,006	1,234	1,464	1,696	1,929	2,164	2,399	2,635	2,872	3,109	3,347
0,59	0,019	0,145	0,326	0,528	0,740	0,958	1,180	1,405	1,632	1,861	2,092	2,323	2,555	2,788	3,022	3,256
0,61	0,016	0,130	0,301	0,494	0,699	0,911	1,128	1,348	1,570	1,794	2,020	2,248	2,476	2,705	2,935	3,166
0,63	0,013	0,116	0,277	0,462	0,660	0,866	1,076	1,291	1,508	1,728	1,950	2,173	2,397	2,623	2,849	3,077
0,65	0,010	0,103	0,254	0,431	0,622	0,821	1,026	1,235	1,448	1,663	1,880	2,099	2,319	2,541	2,764	2,988
0,67	0,008	0,091	0,232	0,400	0,584	0,777	0,976	1,180	1,387	1,597	1,810	2,025	2,241	2,459	2,678	2,898
0,69	0,006	0,080	0,211	0,371	0,547	0,733	0,926	1,125	1,327	1,532	1,740	1,951	2,163	2,377	2,592	2,809
0,71	0,005	0,069	0,191	0,342	0,511	0,690	0,877	1,070	1,267	1,468	1,671	1,877	2,085	2,294	2,506	2,719
0,73	0,004	0,060	0,172	0,315	0,476	0,648	0,829	1,016	1,207	1,403	1,601	1,802	2,006	2,211	2,419	2,628
0,75	0,003	0,051	0,153	0,288	0,441	0,606	0,780	0,961	1,147	1,337	1,531	1,727	1,926	2,127	2,331	2,535
0,76	0,002	0,047	0,145	0,274	0,424	0,585	0,756	0,934	1,117	1,304	1,495	1,689	1,886	2,085	2,286	2,489
0,78	0,002	0,039	0,128	0,248	0,389	0,544	0,708	0,879	1,057	1,238	1,424	1,613	1,805	1,999	2,195	2,394
0,80	0,001	0,032	0,111	0,223	0,356	0,503	0,660	0,824	0,995	1,171	1,351	1,535	1,722	1,911	2,103	2,297
0,82	0,001	0,026	0,096	0,198	0,322	0,461	0,611	0,769	0,933	1,103	1,277	1,455	1,637	1,821	2,008	2,197
0,84	0,000	0,020	0,081	0,174	0,289	0,420	0,562	0,712	0,870	1,033	1,201	1,373	1,549	1,727	1,909	2,093
0,86	0,000	0,016	0,067	0,151	0,256	0,378	0,511	0,654	0,804	0,960	1,122	1,287	1,457	1,630	1,806	1,984
0,88	0,000	0,011	0,055	0,128	0,223	0,336	0,460	0,594	0,736	0,885	1,039	1,198	1,360	1,527	1,696	1,869
0,90	0,000	0,008	0,042	0,105	0,190	0,292	0,407	0,532	0,665	0,805	0,951	1,102	1,257	1,417	1,579	1,745
0,92	0,000	0,005	0,031	0,083	0,157	0,247	0,351	0,466	0,589	0,720	0,856	0,998	1,145	1,296	1,451	1,609
0,94	0,000	0,003	0,021	0,062	0,123	0,201	0,292	0,394	0,506	0,625	0,751	0,882	1,019	1,160	1,305	1,454
0,96	0,000	0,001	0,012	0,041	0,087	0,150	0,226	0,314	0,411	0,516	0,628	0,746	0,870	0,999	1,131	1,268
0,98	0,000	0,000	0,005	0,020	0,049	0,092	0,148	0,215	0,291	0,376	0,468	0,567	0,672	0,782	0,897	1,016

SUPPLEMENT D

Tab. D.9. Wartości statystyki testu Andersona-Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Wrocławia

t, min	GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	0.608	0.770	0.896	0.548	0.862	1.311	0.818	0.595	1.034
10	0.845	0.632	0.272	0.299	0.317	1.267	0.637	0.815	0.352
20	0.412	1.112	0.418	0.307	0.521	2.666	0.445	0.397	0.477
30	0.505	1.909	0.658	0.521	0.811	6.619	0.720	0.503	0.678
40	0.554	1.894	0.791	0.591	0.962	7.366	0.875	0.555	0.802
50	0.889	2.014	1.284	0.978	1.442	8.468	1.474	0.891	1.239
60	1.060	2.113	1.512	1.175	1.632	8.642	1.798	1.064	1.447
90	1.413	1.952	2.027	1.575	1.856	4.421	2.290	1.416	1.949
120	1.118	1.677	1.535	1.144	1.726	4.896	1.155	1.118	1.530
180	0.971	1.088	1.033	0.811	1.078	1.520	1.083	0.860	1.109
360	1.642	0.429	0.514	0.551	0.602	0.482	1.933	0.577	0.516
720	0.371	0.570	0.266	0.192	0.330	1.021	0.841	0.202	0.345
1080	0.682	1.126	0.440	0.358	0.555	2.599	0.584	0.340	0.502
1440	0.585	1.283	0.505	0.528	0.541	2.869	0.538	0.572	0.584
2160	0.393	1.867	0.589	0.410	0.766	7.509	0.894	0.392	0.642
2880	2.025	1.232	0.972	2.196	0.793	2.703	2.794	2.030	1.367
4320	0.775	1.101	0.588	0.676	0.569	2.012	0.648	0.757	0.661
A_{kryt.}	0.723	0.757	0.752	0.757	0.757	0.787	0.782	0.762	0.752

Tab. D.10. Wartości statystyki testu Andersona-Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Legnicy

t, min	GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	0.839	0.688	0.162	0.328	0.194	1.362	0.684	0.816	0.214
10	0.537	0.880	0.341	0.490	0.381	2.413	0.208	0.535	0.467
20	1.140	1.523	0.519	1.259	0.614	5.633	0.654	1.147	0.730
30	0.518	1.763	0.421	0.498	0.512	5.485	0.815	0.513	0.489
40	0.219	1.139	0.294	0.191	0.403	3.475	0.215	0.214	0.388
50	0.294	0.867	0.361	0.245	0.382	2.256	0.235	0.286	0.457
60	0.486	0.538	0.260	0.220	0.261	1.093	0.453	0.463	0.333
90	0.785	1.116	0.282	0.630	0.324	2.581	0.537	0.769	0.323
120	0.472	1.716	0.369	0.444	0.468	4.635	0.465	0.467	0.419
180	0.251	1.083	0.490	0.237	0.490	3.343	0.292	0.249	0.530
360	0.378	1.241	0.355	0.324	0.421	3.075	0.320	0.371	0.426
720	0.561	0.726	0.257	0.447	0.286	1.597	0.392	0.551	0.340
1080	0.369	0.766	0.330	0.283	0.377	1.979	0.259	0.356	0.436
1440	0.810	0.623	0.288	0.610	0.279	1.079	0.617	0.785	0.332
2160	0.286	1.540	0.363	0.269	0.441	4.608	0.434	0.285	0.439
2880	0.306	1.360	0.299	0.276	0.393	4.039	0.360	0.302	0.391
4320	0.255	1.703	0.337	0.232	0.477	6.286	0.332	0.250	0.405
A_{kryt.}	0.723	0.757	0.752	0.757	0.757	0.787	0.782	0.762	0.752

Tab. D.11. Wartości statystyki testu Andersona-Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zgorzelca

t, min	GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	0.631	1.171	1.022	0.723	1.182	4.913	1.090	0.640	1.124
10	0.368	0.563	0.362	0.319	0.359	1.150	0.532	0.356	0.447
20	0.965	1.256	0.207	0.935	0.169	2.035	0.801	0.974	0.185
30	1.251	1.187	0.327	1.191	0.219	1.503	1.037	1.259	0.225
40	0.898	1.529	0.415	0.940	0.427	2.314	0.834	0.912	0.404
50	0.802	1.474	0.595	0.833	0.471	2.729	0.772	0.805	0.683
60	0.540	1.494	0.515	0.526	0.356	2.942	0.462	0.530	0.600
90	1.187	2.863	0.304	1.005	0.152	4.097	0.637	1.138	0.188
120	0.661	2.789	0.257	0.392	0.418	8.472	0.238	0.590	0.301
180	0.425	2.383	0.166	0.303	0.196	5.987	0.194	0.394	0.219
360	0.214	1.286	0.253	0.195	0.355	3.825	0.199	0.212	0.341
720	0.319	1.522	1.738	0.295	0.450	4.748	0.334	0.315	0.372
1080	0.850	1.508	0.207	0.495	0.186	2.727	0.423	0.544	0.209
1440	0.696	1.013	0.717	0.724	0.717	3.419	1.019	0.702	0.910
2160	0.711	2.172	0.225	0.657	0.228	4.450	0.511	0.702	0.221
2880	0.950	1.806	0.499	0.912	0.399	2.433	0.770	0.949	0.427
4320	0.798	2.696	0.138	0.644	0.145	6.200	0.365	0.764	0.135
A_{kryt.}	0.723	0.757	0.752	0.757	0.757	0.787	0.782	0.762	0.752

Tab. D.12. Wartości statystyki testu Andersona-Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zielonej Góry

t, min	GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	0.115	0.695	0.201	0.120	0.287	1.751	0.343	0.114	0.290
10	0.951	0.592	0.350	0.368	0.398	1.194	0.808	0.383	0.443
20	0.514	2.169	0.207	0.458	0.254	5.440	0.365	0.503	0.231
30	0.427	1.524	0.313	0.401	0.308	3.066	0.337	0.423	0.357
40	0.538	1.448	0.206	0.525	0.207	3.453	0.514	0.541	0.293
50	0.828	1.601	0.243	0.845	0.293	4.365	0.949	0.835	0.348
60	0.359	2.032	0.272	0.319	0.431	6.897	0.360	0.352	0.331
90	0.743	2.113	0.537	0.964	0.541	7.958	1.853	0.759	1.894
120	0.392	1.573	0.320	0.388	0.426	5.258	0.621	0.392	0.424
180	0.285	1.556	0.383	0.291	0.422	4.399	0.482	0.285	0.512
360	0.693	2.182	0.444	0.660	0.392	4.000	0.695	0.688	0.444
720	0.611	0.631	0.318	0.315	0.344	1.227	0.521	0.587	0.399
1080	0.699	0.445	0.213	0.275	0.239	0.769	1.035	0.314	0.274
1440	0.268	0.861	0.258	0.273	0.284	1.662	0.524	0.266	0.296
2160	0.295	1.101	0.406	0.272	0.514	3.754	0.336	0.292	0.512
2880	0.515	0.628	0.575	0.449	0.545	1.646	0.413	0.508	0.729
4320	0.985	0.579	0.279	0.521	0.287	0.988	0.806	0.959	0.328
A_{kryt.}	0.723	0.757	0.752	0.757	0.757	0.787	0.782	0.762	0.752

Tab. D.13. Wartości statystyki testu Andersona-Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Opola

t, min	GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	0.424	0.495	0.409	0.407	0.421	0.896	0.827	0.418	0.486
10	0.296	0.895	0.190	0.197	0.256	2.056	0.293	0.288	0.595
20	0.316	2.241	0.374	0.287	0.410	6.194	0.413	0.309	0.446
30	0.250	2.104	0.787	0.313	0.876	9.970	0.961	0.255	0.803
40	0.256	2.008	0.267	0.233	0.411	7.394	0.370	0.252	0.334
50	0.497	1.655	0.609	0.667	0.632	7.850	1.582	0.511	1.499
60	0.273	1.504	0.631	0.389	0.646	6.898	1.083	0.285	1.133
90	0.313	1.046	0.536	0.332	0.636	4.000	0.385	0.317	0.668
120	0.249	1.082	0.477	0.278	0.467	3.596	0.434	0.254	0.659
180	0.294	1.142	0.235	0.276	0.265	3.037	0.190	0.294	0.336
360	0.249	1.514	0.358	0.238	0.514	5.313	0.321	0.246	0.466
720	0.437	1.778	0.114	0.387	0.165	4.229	0.284	0.429	0.144
1080	0.686	1.787	0.176	0.345	0.269	4.786	0.295	0.380	0.223
1440	0.593	2.347	0.205	0.522	0.201	4.895	0.407	0.580	0.201
2160	0.463	2.186	0.430	0.425	0.563	6.272	0.476	0.456	0.477
2880	0.542	1.129	0.700	0.650	0.631	3.603	1.026	0.557	1.168
4320	0.301	0.915	0.511	0.300	0.567	3.177	0.334	0.306	0.642
A _{kryt.}	0.723	0.757	0.752	0.757	0.757	0.787	0.782	0.762	0.752

Tab. D.14. Wartości statystyki testu Andersona-Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Kłodzka

t, min	GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	0.703	0.771	0.777	0.707	0.752	1.266	0.894	0.704	0.841
10	0.853	0.885	0.490	0.730	0.600	2.216	0.632	0.842	0.600
20	0.741	0.460	0.387	0.362	0.409	0.735	0.707	0.500	0.488
30	0.819	0.755	0.912	0.785	0.745	1.268	0.794	0.812	1.109
40	0.651	0.705	0.570	0.618	0.562	1.713	0.587	0.650	0.716
50	0.234	1.145	0.460	0.250	0.525	3.953	0.302	0.238	0.592
60	0.239	1.106	0.243	0.224	0.310	3.280	0.185	0.239	0.353
90	0.846	2.064	0.297	0.787	0.280	4.103	0.710	0.841	0.309
120	1.211	1.872	0.382	1.245	0.324	3.726	1.320	1.220	0.446
180	0.452	2.078	0.237	0.412	0.320	5.305	0.366	0.443	0.265
360	0.223	1.710	0.198	0.199	0.315	5.556	0.230	0.218	0.286
720	0.312	1.213	0.464	0.302	0.640	4.480	0.311	0.312	0.558
1080	0.795	1.390	0.912	0.599	0.834	6.812	1.316	0.470	1.359
1440	0.386	0.976	0.280	0.337	0.350	2.729	0.280	0.383	0.375
2160	0.482	1.305	0.586	0.525	0.630	5.256	0.907	0.489	0.726
2880	0.371	1.667	0.228	0.332	0.305	4.396	0.324	0.366	0.279
4320	0.262	2.163	0.351	0.252	0.486	8.547	0.586	0.259	0.418
A _{kryt.}	0.723	0.757	0.752	0.757	0.757	0.787	0.782	0.762	0.752

Tab. D.15. Wartości statystyki testu Andersona-Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Jeleniej Góry

t, min	GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	2.111	0.666	0.511	2.230	0.452	1.365	2.326	2.115	0.633
10	0.876	2.165	0.808	1.083	0.729	7.118	0.959	0.889	1.984
20	0.325	1.695	0.665	0.361	0.879	8.664	0.704	0.330	0.705
30	0.281	1.599	0.483	0.295	0.654	6.360	0.430	0.283	0.567
40	0.303	2.010	0.697	0.351	0.945	11.994	0.933	0.307	0.719
50	0.245	1.867	0.339	0.242	0.413	6.112	0.389	0.244	0.419
60	0.413	1.844	0.346	0.441	0.418	6.135	0.454	0.416	0.490
90	0.187	1.717	0.448	0.190	0.527	6.295	0.380	0.185	0.517
120	0.451	2.060	0.249	0.450	0.277	5.714	0.284	0.449	0.369
180	0.393	234.203	0.392	0.328	0.543	7.223	0.345	0.376	0.464
360	0.582	1.631	0.362	0.538	0.374	3.396	0.352	0.573	0.421
720	0.473	2.552	0.231	0.379	0.317	7.711	0.345	0.452	0.290
1080	0.600	2.799	0.351	0.228	0.530	13.153	0.674	0.257	0.418
1440	0.256	2.221	0.522	0.280	0.667	9.623	0.784	0.256	0.585
2160	0.253	2.466	0.265	0.218	0.394	9.092	0.445	0.246	0.325
2880	0.191	2.326	0.361	0.182	0.515	9.791	0.484	0.187	0.442
4320	0.341	3.052	0.394	0.266	0.605	13.851	0.443	0.325	19.609
A_{kryt.}	0.723	0.757	0.752	0.757	0.757	0.787	0.782	0.762	0.752

Tab. D.16. Wartości statystyki testu Andersona-Darlinga dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Raciborza

t, min	GED	EV1	LogN	EV3	EV2	GEV	GPA	P3	LogL
5	0.645	1.867	0.448	0.814	0.439	6.047	1.412	0.659	1.698
10	0.420	2.448	0.379	0.383	0.531	8.925	0.704	0.414	0.411
20	0.358	2.050	0.320	0.363	0.483	8.249	0.610	0.358	0.414
30	0.544	2.249	0.491	0.472	0.707	10.116	0.553	0.529	0.562
40	0.281	2.023	0.792	0.389	1.109	15.528	1.385	0.287	0.941
50	0.522	1.540	0.576	0.653	0.589	5.826	1.156	0.536	1.457
60	0.985	1.372	0.447	1.061	0.370	2.995	1.157	1.000	0.583
90	0.650	1.300	0.185	0.576	0.214	2.849	0.484	0.646	0.235
120	0.218	1.936	0.286	0.206	0.420	7.178	0.376	0.215	0.356
180	0.561	1.131	0.428	0.539	0.477	3.271	0.640	0.561	0.557
360	0.360	0.685	0.302	0.279	0.371	1.873	0.246	0.351	0.418
720	0.664	2.568	0.656	0.570	0.259	5.188	0.411	0.644	0.273
1080	0.651	2.052	0.256	0.220	0.383	23.915	0.232	0.289	0.331
1440	0.598	1.180	0.473	0.608	0.605	3.021	0.502	0.606	0.577
2160	0.495	0.950	0.533	0.518	0.621	3.125	0.447	0.507	0.649
2880	0.466	1.053	0.657	0.490	0.742	3.811	0.497	0.474	0.772
4320	1.061	1.189	0.647	1.146	0.708	3.474	1.195	1.083	0.819
A_{kryt.}	0.723	0.757	0.752	0.757	0.757	0.787	0.782	0.762	0.752

Tab. D.17. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Wrocławia

t, min	GED	EV3	GPA	P3
5	2.41	2.24	3.12	2.35
10	2.92	1.75	2.31	2.87
20	4.19	3.61	4.15	4.14
30	5.38	5.52	5.20	5.44
40	6.08	6.28	5.66	6.15
50	8.73	9.07	7.60	8.87
60	9.68	10.12	8.28	9.84
90	10.65	11.08	8.59	10.83
120	7.41	7.04	6.95	7.38
180	6.07	5.36	6.64	5.87
360	3.68	3.20	5.47	3.08
720	1.98	1.98	3.25	2.00
1080	2.88	2.80	3.24	2.87
1440	4.10	3.93	3.49	4.13
2160	3.76	4.14	3.97	3.84
2880	5.93	7.68	3.76	6.21
4320	4.27	3.87	3.63	4.26

Tab. D.18. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Legnicy

t, min	GED	EV3	GPA	P3
5	2.95	2.71	2.69	2.89
10	2.97	2.70	2.95	2.94
20	5.15	6.43	4.21	5.40
30	4.44	4.78	4.55	4.53
40	2.62	2.62	2.75	2.64
50	2.40	2.32	2.35	2.39
60	2.99	2.42	2.89	2.91
90	3.82	3.52	3.19	3.84
120	2.69	2.78	3.19	2.70
180	2.47	2.44	2.85	2.46
360	3.21	3.10	3.01	3.22
720	2.44	2.15	2.13	2.41
1080	2.30	2.07	2.03	2.28
1440	3.16	2.52	2.54	3.10
2160	3.05	3.13	3.78	3.07
2880	2.61	2.59	3.23	2.60
4320	3.88	3.65	8.23	3.83

Tab. D.19. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zgorzelca

t, min	GED	EV3	GPA	P3
5	2.75	2.90	2.39	2.80
10	1.58	1.70	1.67	1.60
20	5.15	4.94	6.13	5.09
30	6.43	6.20	6.83	6.38
40	7.91	7.59	8.68	7.85
50	7.23	6.56	9.98	7.08
60	6.94	6.28	10.06	6.79
90	8.69	7.69	11.79	8.48
120	7.46	6.30	13.73	7.24
180	5.70	4.80	11.49	5.54
360	2.65	2.49	4.55	2.60
720	3.01	3.10	3.41	3.03
1080	3.90	3.76	4.90	3.85
1440	3.55	3.75	3.20	3.62
2160	5.22	4.84	7.65	5.14
2880	6.30	5.96	7.75	6.22
4320	6.51	5.70	11.06	6.35

Tab. D.20. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Zielonej Góry

t, min	GED	EV3	GPA	P3
5	1.83	2.00	1.90	1.87
10	2.88	2.50	2.62	2.41
20	4.01	3.67	6.88	3.94
30	4.30	4.00	6.38	4.23
40	3.11	2.63	6.60	3.02
50	3.45	3.36	6.74	3.44
60	3.72	3.60	7.18	3.69
90	3.56	4.47	11.12	3.61
120	2.93	3.10	5.44	2.96
180	3.02	3.03	5.05	3.02
360	3.87	3.83	5.14	3.86
720	2.93	2.50	2.76	2.89
1080	2.34	2.23	3.20	2.26
1440	3.24	3.30	3.39	3.25
2160	2.38	2.34	2.50	2.39
2880	3.35	3.02	2.79	3.33
4320	3.55	3.11	3.25	3.50

Tab. D.21. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Opola

t, min	GED	EV3	GPA	P3
5	4.18	4.29	4.85	4.20
10	2.22	2.46	2.25	2.23
20	4.13	3.84	9.34	4.07
30	3.49	3.89	11.61	3.52
40	3.50	3.24	9.13	3.44
50	3.46	4.50	9.92	3.55
60	2.76	3.29	8.96	2.80
90	3.69	3.60	5.36	3.67
120	3.59	3.49	5.77	3.58
180	3.58	3.25	5.91	3.51
360	3.96	3.54	8.41	3.87
720	4.38	4.11	6.88	4.32
1080	3.78	3.61	6.00	3.74
1440	4.42	4.10	7.69	4.35
2160	3.79	3.62	7.07	3.75
2880	3.52	3.39	5.82	3.49
4320	3.55	3.37	4.86	3.51

Tab. D.22. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Kłodzka

t, min	GED	EV3	GPA	P3
5	5.58	5.67	5.97	5.61
10	4.64	4.31	4.06	4.62
20	4.30	2.63	4.17	3.41
30	5.23	4.65	4.44	5.21
40	4.08	3.75	3.36	4.07
50	3.07	2.92	5.08	3.03
60	2.58	2.39	4.28	2.52
90	3.93	3.65	6.83	3.86
120	4.10	4.02	6.93	4.08
180	4.56	4.43	6.65	4.52
360	3.84	3.48	8.41	3.77
720	2.97	2.82	4.69	2.92
1080	4.04	3.99	8.53	4.00
1440	4.00	3.86	4.43	3.98
2160	2.97	3.16	5.20	3.00
2880	2.99	2.91	4.53	2.95
4320	2.87	2.99	8.12	2.87

Tab. D.23. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Jeleniej Góry

t, min	GED	EV3	GPA	P3
5	5.65	6.17	2.62	5.86
10	5.24	6.67	8.79	5.42
20	3.91	4.09	7.50	3.93
30	4.39	4.47	7.66	4.39
40	4.16	4.48	11.24	4.19
50	3.53	3.50	7.87	3.52
60	3.13	3.23	8.46	3.12
90	3.32	3.19	8.63	3.32
120	4.03	3.68	10.26	3.96
180	5.47	4.81	11.42	5.35
360	6.80	6.26	9.53	6.68
720	5.09	4.33	12.05	4.96
1080	3.99	3.74	14.86	3.94
1440	3.80	4.06	10.77	3.80
2160	4.40	4.53	12.20	4.40
2880	3.97	4.12	13.30	3.98
4320	5.23	5.00	21.24	5.17

Tab. D.24. Wartości kryterium błędów rRMSE dla analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa w przyjętych czasach trwania opadu dla Raciborza

t, min	GED	EV3	GPA	P3
5	3.32	3.26	10.38	3.26
10	4.23	4.31	6.92	4.24
20	2.76	2.47	9.30	2.70
30	4.67	4.25	10.37	4.60
40	3.79	3.64	12.77	3.73
50	3.43	2.94	9.31	3.32
60	3.91	3.39	6.92	3.81
90	2.63	2.37	3.83	2.57
120	2.54	2.36	6.82	2.50
180	2.98	2.95	3.00	3.00
360	2.25	1.99	1.98	2.22
720	4.95	4.32	9.20	4.84
1080	5.66	4.91	11.04	5.52
1440	6.84	6.67	7.82	6.80
2160	7.58	7.57	8.25	7.58
2880	7.27	7.25	8.29	7.26
4320	7.86	7.82	9.32	7.87

SUPPLEMENT E

Tab. E.1. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Wrocławia

t [min]	GED			EV3			P3		
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
5	0.979	0.471	7.390	1.005	3.178	7.387	0.980	2.930	7.387
10		0.373	9.058		3.822	9.053		3.762	9.052
20		0.295	11.103		4.596	11.096		4.830	11.092
30		0.257	12.507		5.119	12.498		5.591	12.492
40		0.234	13.610		5.526	13.599		6.201	13.591
50		0.217	14.532		5.864	14.520		6.721	14.510
60		0.204	15.331		6.155	15.318		7.178	15.307
90		0.178	17.270		6.856	17.253		8.307	17.239
120		0.161	18.793		7.402	18.773		9.215	18.756
180		0.141	21.169		8.245	21.146		10.665	21.124
360		0.111	25.949		9.914	25.917		13.693	25.884
720		0.088	31.808		11.921	31.764		17.580	31.718
1080		0.077	35.830		13.279	35.778		20.347	35.722
1440		0.070	38.989		14.335	38.930		22.570	38.865
2160		0.061	43.920		15.967	43.850		26.123	43.772
2880		0.055	47.792		17.237	47.713		28.977	47.624
4320	0.048	53.836	19.200	53.743	33.538	53.636			

Tab. E.2. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Legnicy

t [min]	GED			EV3			P3		
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
5	0.823	0.270	6.860	0.933	3.136	6.856	0.830	3.919	6.860
10		0.225	8.413		3.762	8.409		4.701	8.413
20		0.188	10.318		4.514	10.314		5.638	10.318
30		0.169	11.626		5.021	11.622		6.271	11.626
40		0.157	12.654		5.416	12.649		6.762	12.654
50		0.148	13.513		5.743	13.508		7.170	13.513
60		0.141	14.258		6.025	14.253		7.521	14.258
90		0.126	16.066		6.702	16.061		8.365	16.066
120		0.117	17.486		7.229	17.481		9.021	17.486
180		0.105	19.703		8.041	19.698		10.033	19.703
360		0.088	24.163		9.648	24.159		12.033	24.163
720		0.073	29.633		11.576	29.631		14.433	29.633
1080		0.066	33.390		12.877	33.389		16.052	33.390
1440		0.061	36.341		13.889	36.341		17.310	36.341
2160		0.055	40.948		15.450	40.950		19.253	40.948
2880		0.051	44.567		16.664	44.570		20.762	44.567
4320	0.046	50.218	18.537	50.223	23.092	50.218			

Tab. E.3. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Zgorzelca

t [min]	GED			EV3			P3		
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
5	0.795	0.556	5.121	0.870	1.467	5.121	0.799	1.909	5.121
10		0.428	6.403		1.889	6.403		2.483	6.403
20		0.330	8.005		2.434	8.005		3.228	8.005
30		0.284	9.122		2.823	9.123		3.765	9.122
40		0.255	10.008		3.136	10.009		4.198	10.008
50		0.234	10.754		3.402	10.755		4.569	10.754
60		0.219	11.405		3.636	11.405		4.896	11.405
90		0.188	12.997		4.217	12.997		5.709	12.997
120		0.169	14.259		4.685	14.259		6.367	14.259
180		0.145	16.249		5.433	16.249		7.424	16.249
360		0.112	20.315		6.999	20.315		9.655	20.315
720		0.086	25.398		9.016	25.399		12.555	25.398
1080		0.074	28.943		10.456	28.944		14.641	28.943
1440		0.066	31.754		11.615	31.755		16.328	31.754
2160		0.057	36.185		13.470	36.187		19.040	36.185
2880		0.051	39.700		14.963	39.701		21.233	39.700
4320	0.044	45.240	17.352	45.242	24.760	45.240			

Tab. E.4. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Zielonej Góry

t [min]	GED			EV3			P3		
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
5	0.858	0.321	7.142	0.941	2.462	7.141	0.879	2.910	7.138
10		0.268	8.635		2.991	8.634		3.591	8.630
20		0.224	10.440		3.634	10.439		4.433	10.434
30		0.201	11.666		4.072	11.665		5.013	11.660
40		0.187	12.623		4.415	12.621		5.471	12.616
50		0.176	13.418		4.700	13.417		5.854	13.411
60		0.168	14.105		4.947	14.104		6.187	14.098
90		0.151	15.762		5.544	15.760		6.998	15.754
120		0.140	17.055		6.010	17.052		7.637	17.045
180		0.126	19.058		6.735	19.055		8.637	19.047
360		0.105	23.042		8.182	23.039		10.660	23.030
720		0.088	27.860		9.940	27.856		13.157	27.844
1080		0.079	31.132		11.138	31.128		14.880	31.115
1440		0.074	33.684		12.076	33.680		16.238	33.666
2160		0.066	37.641		13.532	37.636		18.365	37.620
2880		0.061	40.727		14.670	40.721		20.042	40.705
4320	0.055	45.510	16.439	45.504	22.667	45.486			

Tab. E.5. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Opola

t [min]	GED			EV3			P3		
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
5	0.771	0.222	7.044	0.861	3.648	7.047	0.778	4.753	7.045
10		0.188	8.545		4.276	8.548		5.663	8.546
20		0.158	10.366		5.012	10.369		6.748	10.367
30		0.143	11.606		5.500	11.609		7.477	11.607
40		0.133	12.575		5.874	12.578		8.041	12.576
50		0.126	13.381		6.182	13.385		8.508	13.383
60		0.121	14.079		6.446	14.082		8.910	14.081
90		0.109	15.763		7.073	15.766		9.872	15.765
120		0.102	17.079		7.555	17.082		10.617	17.081
180		0.092	19.122		8.291	19.124		11.763	19.125
360		0.078	23.198		9.718	23.198		14.017	23.200
720		0.066	28.141		11.390	28.140		16.703	28.144
1080		0.059	31.508		12.499	31.505		18.506	31.511
1440		0.055	34.138		13.351	34.134		19.903	34.142
2160		0.050	38.222		14.650	38.216		22.052	38.226
2880		0.047	41.413		15.648	41.405		23.716	41.417
4320	0.042	46.367	17.171	46.357	26.277	46.372			

Tab. E.6. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Kłodzka

t [min]	GED			EV3			P3		
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
5	0.787	0.264	8.129	0.891	3.586	8.129	0.803	3.792	8.129
10		0.216	9.891		4.234	9.891		4.694	9.891
20		0.177	12.035		5.001	12.036		5.812	12.036
30		0.157	13.498		5.512	13.499		6.585	13.499
40		0.145	14.643		5.906	14.645		7.195	14.645
50		0.135	15.598		6.231	15.600		7.706	15.600
60		0.128	16.424		6.510	16.426		8.152	16.426
90		0.114	18.421		7.175	18.424		9.236	18.424
120		0.105	19.983		7.688	19.988		10.092	19.988
180		0.093	22.413		8.474	22.419		11.434	22.419
360		0.076	27.270		10.007	27.279		14.155	27.279
720		0.062	33.180		11.818	33.194		17.524	33.194
1080		0.056	37.215		13.026	37.231		19.855	37.231
1440		0.051	40.371		13.958	40.390		21.695	40.390
2160		0.045	45.280		15.384	45.303		24.580	45.303
2880		0.042	49.120		16.484	49.147		26.858	49.147
4320	0.037	55.093	18.168	55.125	30.430	55.125			

Tab. E.7. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Jeleniej Góry

t [min]	GED			EV3			P3		
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
5	0.661	0.266	5.999	0.782	2.613	5.999	0.670	4.225	5.999
10		0.211	7.466		3.272	7.466		5.346	7.466
20		0.167	9.292		4.096	9.292		6.766	9.292
30		0.145	10.561		4.672	10.561		7.765	10.561
40		0.132	11.564		5.129	11.564		8.562	11.564
50		0.122	12.408		5.513	12.408		9.237	12.408
60		0.115	13.143		5.849	13.143		9.827	13.143
90		0.100	14.937		6.671	14.937		11.278	14.937
120		0.091	16.357		7.323	16.357		12.436	16.357
180		0.079	18.590		8.352	18.590		14.272	18.590
360		0.063	23.135		10.456	23.135		18.061	23.135
720		0.049	28.793		13.091	28.793		22.856	28.793
1080		0.043	32.723		14.930	32.723		26.231	32.723
1440		0.039	35.833		16.389	35.833		28.924	35.833
2160		0.034	40.725		18.691	40.725		33.196	40.725
2880		0.031	44.596		20.519	44.596		36.604	44.596
4320	0.027	50.683	23.401	50.683	42.009	50.683			

Tab. E.8. Wartości uogólnionych parametrów rozkładów GED, EV3 oraz P3 dla Raciborza

t [min]	GED			EV3			P3		
	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}$
5	0.701	0.355	5.542	0.811	1.816	5.542	0.708	3.196	5.542
10		0.290	6.797		2.257	6.797		3.895	6.797
20		0.237	8.335		2.805	8.335		4.747	8.335
30		0.211	9.391		3.186	9.391		5.329	9.391
40		0.194	10.221		3.486	10.221		5.785	10.221
50		0.182	10.914		3.739	10.914		6.166	10.914
60		0.172	11.516		3.959	11.516		6.495	11.516
90		0.153	12.976		4.496	12.976		7.292	12.976
120		0.141	14.122		4.920	14.122		7.916	14.122
180		0.125	15.912		5.588	15.912		8.887	15.912
360		0.102	19.513		6.944	19.513		10.831	19.513
720		0.084	23.928		8.630	23.928		13.200	23.928
1080		0.074	26.961		9.801	26.961		14.819	26.961
1440		0.068	29.343		10.726	29.343		16.088	29.343
2160		0.061	33.062		12.180	33.062		18.061	33.062
2880		0.056	35.983		13.330	35.983		19.607	35.983
4320	0.050	40.543	15.138	40.543	22.012	40.543			

Tab. E.9. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej we Wrocławiu

t [min]	MAPE [%]			rRMSE [%]		
	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3
5	14.56	25.89	22.58	14.99	27.83	24.11
10	2.03	7.09	6.04	2.43	8.97	7.99
20	15.41	9.44	8.97	16.32	10.02	9.49
30	15.81	10.48	9.24	17.10	11.50	10.15
40	13.34	8.38	6.75	15.37	9.99	8.14
50	14.99	10.57	8.63	17.75	12.97	10.79
60	11.77	8.31	6.74	15.62	11.36	9.24
90	11.39	8.96	8.05	14.13	10.79	9.04
120	9.65	7.45	6.37	11.89	8.79	7.22
180	6.82	5.17	5.59	8.73	6.44	8.14
360	5.17	5.24	9.17	5.95	6.13	13.97
720	2.82	3.03	11.96	4.15	4.95	17.06
1080	2.69	2.39	11.17	3.87	3.86	15.54
1440	2.46	2.39	11.90	3.83	3.77	16.37
2160	2.41	2.40	13.48	3.44	3.35	16.92
2880	2.98	2.88	14.71	3.79	3.49	18.04
4320	6.03	5.30	19.84	7.10	6.28	21.76

Tab. E.10. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Legnicy

t [min]	MAPE [%]			rRMSE [%]		
	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3
5	18.28	18.13	18.36	18.93	18.59	19.02
10	3.00	2.83	3.08	3.91	3.58	4.00
20	8.57	8.40	8.42	8.88	8.83	8.71
30	7.97	7.85	7.87	8.59	8.61	8.48
40	6.52	6.45	6.31	7.08	7.17	6.90
50	5.65	5.55	5.44	6.13	6.15	5.92
60	5.65	5.55	5.52	6.30	6.24	6.16
90	5.26	5.24	5.25	5.71	5.76	5.72
120	4.22	4.23	4.19	4.71	4.79	4.68
180	2.55	2.43	2.51	3.05	3.17	3.06
360	2.18	2.20	2.22	3.40	3.25	3.50
720	4.42	4.32	4.41	5.56	5.14	5.54
1080	4.95	5.02	5.07	6.44	6.16	6.57
1440	4.08	3.82	4.08	4.96	4.59	4.97
2160	2.96	2.74	2.89	3.74	3.77	3.67
2880	2.15	2.58	2.17	3.02	3.41	2.98
4320	4.96	5.32	5.03	6.06	6.48	6.05

Tab. E.11. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Zgorzelcu

t [min]	MAPE [%]			rRMSE [%]		
	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3
5	5.67	5.69	5.97	6.11	6.17	6.37
10	7.43	7.65	7.44	8.23	8.51	8.21
20	5.63	5.67	5.70	7.07	6.92	7.09
30	5.40	5.52	5.54	7.44	7.30	7.50
40	3.82	3.84	3.86	7.88	7.67	7.86
50	4.02	3.81	3.92	7.92	7.61	7.82
60	3.98	3.65	3.90	7.78	7.52	7.70
90	9.42	8.88	9.31	11.08	10.49	10.95
120	11.61	10.98	11.49	12.39	11.71	12.26
180	8.75	8.14	8.66	9.49	8.79	9.38
360	6.10	5.33	6.16	6.44	5.69	6.46
720	8.32	7.43	8.34	8.80	8.02	8.84
1080	10.65	9.61	10.73	11.22	10.13	11.33
1440	7.29	8.39	7.31	7.76	8.74	7.78
2160	6.07	6.87	5.98	7.36	7.91	7.22
2880	7.64	8.31	7.59	9.09	9.68	8.99
4320	5.33	5.53	5.28	7.37	7.60	7.21

Tab. E.12. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Zielonej Górze

t [min]	MAPE [%]			rRMSE [%]		
	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3
5	27.39	24.50	24.65	27.65	24.60	24.76
10	6.81	4.61	5.19	9.86	6.89	7.76
20	7.46	9.06	8.22	8.22	9.72	8.92
30	6.96	8.36	7.38	8.07	9.46	8.47
40	6.60	7.85	6.74	7.71	9.13	7.87
50	6.10	7.29	6.07	7.68	9.10	7.69
60	7.25	8.22	7.00	8.67	9.94	8.46
90	3.25	4.11	2.88	6.08	7.15	5.65
120	4.73	5.61	3.89	5.68	6.74	4.88
180	2.71	3.18	2.09	4.13	4.95	3.31
360	3.36	3.25	4.26	4.37	4.14	5.89
720	3.85	3.48	5.44	5.58	5.23	8.60
1080	3.32	3.07	4.95	4.73	4.48	7.73
1440	2.79	2.99	5.96	4.24	4.45	8.01
2160	1.91	2.08	4.50	2.16	2.33	5.22
2880	2.64	2.65	5.06	3.13	3.25	6.39
4320	3.08	3.31	7.08	4.47	4.87	9.62

Tab. E.13. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Opolu

t [min]	MAPE [%]			rRMSE [%]		
	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3
5	21.02	22.07	20.16	23.24	24.61	22.25
10	5.80	6.06	5.49	7.28	8.14	6.89
20	4.81	4.57	5.01	5.37	5.11	5.59
30	6.01	6.03	6.32	7.71	7.62	8.02
40	6.67	6.84	6.96	8.27	8.31	8.56
50	6.14	6.41	6.43	7.90	8.10	8.16
60	5.95	6.17	6.11	7.20	7.34	7.30
90	8.14	8.60	8.31	9.74	10.22	9.90
120	7.83	8.33	7.82	9.68	10.11	9.62
180	5.37	6.15	5.40	7.01	7.63	6.99
360	2.36	2.41	2.31	4.14	4.12	3.99
720	3.65	2.73	3.89	4.68	3.85	4.92
1080	6.28	4.90	6.39	7.05	5.38	7.23
1440	4.72	3.68	4.87	5.94	4.54	6.16
2160	3.49	2.77	3.84	5.15	3.77	5.58
2880	3.15	2.51	3.52	3.83	3.10	4.32
4320	5.88	4.04	6.28	6.59	4.87	7.01

Tab. E.14. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Kłodzku

t [min]	MAPE [%]			rRMSE [%]		
	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3
5	27.67	32.78	25.99	28.75	34.14	27.02
10	6.44	9.63	5.66	7.94	11.26	6.92
20	8.78	7.37	9.36	9.48	8.27	10.01
30	11.32	10.28	11.77	11.77	10.85	12.22
40	11.20	9.91	11.54	11.67	10.48	11.99
50	9.78	8.89	10.19	10.14	9.25	10.56
60	9.21	8.50	9.57	9.51	8.76	9.89
90	8.28	8.02	8.48	9.10	8.79	9.27
120	7.78	7.77	7.79	8.70	8.66	8.68
180	6.76	7.09	6.70	7.62	8.06	7.59
360	1.86	2.23	1.89	4.12	4.74	4.05
720	2.70	1.61	3.01	3.60	2.68	4.01
1080	4.76	3.16	5.70	5.76	4.33	6.75
1440	4.30	2.98	5.14	5.47	4.35	6.31
2160	5.00	2.88	6.03	5.54	3.35	6.64
2880	7.79	5.12	9.27	8.20	5.87	9.73
4320	10.63	6.74	12.26	11.10	7.28	12.82

Tab. E.15. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Jeleniej Górze

t [min]	MAPE [%]			rRMSE [%]		
	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3
5	12.87	14.31	12.78	16.68	19.23	16.69
10	3.21	3.43	3.29	4.45	5.31	4.60
20	9.09	8.56	9.10	10.06	9.61	10.08
30	7.49	7.35	7.59	9.62	9.31	9.71
40	6.14	5.91	6.11	8.05	7.78	8.02
50	5.99	5.91	6.04	7.75	7.50	7.75
60	4.93	4.81	4.93	6.27	6.03	6.22
90	1.81	1.96	1.87	3.12	3.10	3.11
120	2.95	2.51	2.84	4.04	3.59	3.90
180	4.04	3.45	3.90	5.52	4.75	5.35
360	5.86	5.42	5.81	8.14	7.37	8.17
720	4.96	3.73	4.73	6.04	4.66	5.76
1080	2.93	2.71	2.86	4.06	3.46	3.93
1440	2.48	2.91	2.48	3.52	4.16	3.52
2160	3.60	3.65	3.59	5.12	5.84	5.09
2880	4.00	4.07	3.93	5.35	5.87	5.22
4320	5.42	4.82	5.38	6.51	6.10	6.40

Tab. E.16. Wartości kryterium błędów MAPE i rRMSE dla modeli probabilistycznych opracowanych dla stacji meteorologicznej w Raciborzu

t [min]	MAPE [%]			rRMSE [%]		
	GED	EV3	P3	GED	EV3	P3
5	10.43	8.91	10.46	10.92	9.62	11.00
10	2.62	3.85	2.53	4.40	5.93	4.16
20	7.46	8.70	7.20	8.04	9.30	7.71
30	4.97	6.12	4.85	6.52	7.45	6.28
40	2.67	3.22	2.64	4.35	4.75	4.18
50	2.70	3.06	2.65	3.86	4.13	3.67
60	2.79	2.62	2.73	3.82	3.32	3.71
90	2.33	1.91	2.27	2.78	2.39	2.78
120	2.52	2.13	2.54	3.18	2.80	3.27
180	3.00	2.93	3.01	4.54	4.73	4.60
360	3.18	3.51	3.23	4.01	4.53	4.02
720	5.02	4.96	4.83	6.81	6.79	6.59
1080	7.84	8.10	7.44	9.52	9.64	9.09
1440	4.44	4.58	4.33	7.19	7.27	7.05
2160	4.22	4.30	4.35	7.57	7.54	7.62
2880	6.48	6.27	6.73	9.27	8.63	9.48
4320	7.30	6.48	7.51	10.53	9.33	10.71

Tab. E.17. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h , mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji we Wrocławiu

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 1.0,$ $C = 1$	5	6.4	7.4	-1.0	7.5	-1.1	7.4	-1.0
	10	8.9	9.1	-0.2	9.1	-0.2	9.1	-0.2
	20	12.0	11.2	0.8	11.2	0.8	11.2	0.8
	30	13.8	12.6	1.2	12.6	1.2	12.6	1.2
	40	14.4	13.7	0.7	13.7	0.7	13.7	0.7
	50	15.3	14.6	0.7	14.6	0.7	14.6	0.7
	60	15.5	15.4	0.1	15.4	0.1	15.4	0.1
	90	16.6	17.4	-0.8	17.4	-0.8	17.4	-0.8
	120	17.9	18.9	-1.0	18.9	-1.0	18.9	-1.0
	180	20.3	21.3	-1.0	21.3	-1.0	21.3	-1.0
	360	26.2	26.1	0.1	26.1	0.1	26.1	0.1
	720	32.0	32.0	0.0	32.0	0.0	32.0	0.0
	1080	36.5	36.1	0.4	36.0	0.5	36.1	0.4
	1440	39.9	39.2	0.7	39.2	0.7	39.3	0.6
2160	45.2	44.2	1.0	44.2	1.0	44.2	1.0	
2880	48.1	48.1	0.0	48.1	0.0	48.1	0.0	
4320	49.0	54.2	-5.2	54.1	-5.1	54.2	-5.2	
$p = 0.5,$ $C = 2$	5	6.5	7.5	-1.0	7.5	-1.0	7.5	-1.0
	10	8.9	9.2	-0.3	9.2	-0.3	9.2	-0.3
	20	12.1	11.2	0.9	11.3	0.8	11.3	0.8
	30	13.9	12.7	1.2	12.7	1.2	12.7	1.2
	40	14.5	13.8	0.7	13.8	0.7	13.8	0.7
	50	15.4	14.7	0.7	14.8	0.6	14.8	0.6
	60	15.6	15.5	0.1	15.6	0.0	15.6	0.0
	90	16.7	17.5	-0.8	17.5	-0.8	17.5	-0.8
	120	18.6	19.0	-0.4	19.1	-0.5	19.1	-0.5
	180	20.4	21.4	-1.0	21.5	-1.1	21.5	-1.1
	360	26.3	26.3	0.0	26.3	0.0	26.4	-0.1
	720	32.5	32.2	0.3	32.2	0.3	32.4	0.1
	1080	37.5	36.3	1.2	36.3	1.2	36.5	1.0
	1440	40.1	39.5	0.6	39.5	0.6	39.7	0.4
2160	45.3	44.5	0.8	44.5	0.8	44.7	0.6	
2880	48.1	48.5	-0.4	48.4	-0.3	48.7	-0.6	
4320	49.5	54.6	-5.1	54.5	-5.0	54.9	-5.4	
$p = 0.2,$ $C = 5$	5	6.7	7.6	-0.9	7.7	-1.0	7.7	-1.0
	10	9.2	9.3	-0.1	9.5	-0.3	9.4	-0.2
	20	12.5	11.4	1.1	11.6	0.9	11.6	0.9
	30	14.3	12.9	1.4	13.0	1.3	13.0	1.3
	40	15.0	14.0	1.0	14.2	0.8	14.2	0.8
	50	15.8	15.0	0.8	15.1	0.7	15.2	0.6
	60	15.9	15.8	0.1	16.0	-0.1	16.0	-0.1
	90	16.9	17.8	-0.9	18.0	-1.1	18.0	-1.1
	120	18.8	19.4	-0.6	19.5	-0.7	19.6	-0.8
	180	21.5	21.9	-0.4	22.0	-0.5	22.2	-0.7
	360	27.9	26.8	1.1	27.0	0.9	27.2	0.7
	720	33.9	32.9	1.0	33.0	0.9	33.4	0.5
	1080	38.7	37.1	1.6	37.2	1.5	37.7	1.0
	1440	40.4	40.4	0.0	40.4	0.0	41.1	-0.7
2160	46.4	45.5	0.9	45.5	0.9	46.3	0.1	
2880	48.6	49.6	-1.0	49.5	-0.9	50.4	-1.8	
4320	50.0	55.9	-5.9	55.7	-5.7	56.9	-6.9	

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 0.1$ $C = 10$	5	6.8	7.8	-1.0	8.1	-1.3	8.0	-1.2
	10	9.7	9.6	0.1	9.9	-0.2	9.8	-0.1
	20	13.2	11.8	1.4	12.1	1.1	12.1	1.1
	30	14.9	13.3	1.6	13.6	1.3	13.7	1.2
	40	15.5	14.5	1.0	14.8	0.7	14.9	0.6
	50	16.4	15.5	0.9	15.8	0.6	15.9	0.5
	60	16.6	16.4	0.2	16.7	-0.1	16.8	-0.2
	90	17.2	18.4	-1.2	18.8	-1.6	19.0	-1.8
	120	19.4	20.1	-0.7	20.4	-1.0	20.7	-1.3
	180	22.1	22.7	-0.6	23.0	-0.9	23.3	-1.2
	360	29.3	27.8	1.5	28.1	1.2	28.7	0.6
	720	35.1	34.2	0.9	34.4	0.7	35.4	-0.3
	1080	39.3	38.6	0.7	38.7	0.6	40.0	-0.7
	1440	42.3	42.0	0.3	42.1	0.2	43.6	-1.3
2160	47.2	47.4	-0.2	47.4	-0.2	49.2	-2.0	
2880	50.5	51.6	-1.1	51.5	-1.0	53.6	-3.1	
4320	55.7	58.2	-2.5	58.0	-2.3	60.6	-4.9	
$p = 0.04$, $C = 25$	5	7.9	8.8	-0.9	9.5	-1.6	9.3	-1.4
	10	11.0	10.8	0.2	11.6	-0.6	11.5	-0.5
	20	15.8	13.3	2.5	14.2	1.6	14.2	1.6
	30	17.7	15.1	2.6	16.0	1.7	16.1	1.6
	40	18.7	16.4	2.3	17.3	1.4	17.6	1.1
	50	19.8	17.6	2.2	18.5	1.3	18.9	0.9
	60	19.9	18.6	1.3	19.5	0.4	20.0	-0.1
	90	23.8	21.0	2.8	21.9	1.9	22.7	1.1
	120	25.6	22.9	2.7	23.8	1.8	24.8	0.8
	180	27.3	25.8	1.5	26.7	0.6	28.1	-0.8
	360	34.9	31.9	3.0	32.6	2.3	34.8	0.1
	720	40.1	39.3	0.8	39.8	0.3	43.2	-3.1
	1080	45.3	44.4	0.9	44.7	0.6	49.0	-3.7
	1440	48.3	48.4	-0.1	48.6	-0.3	53.6	-5.3
2160	53.9	54.7	-0.8	54.6	-0.7	60.8	-6.9	
2880	60.4	59.8	0.6	59.3	1.1	66.6	-6.2	
4320	62.7	67.6	-4.9	66.7	-4.0	75.5	-12.8	
$p = 0.03$, $C = 30$	5	8.2	9.2	-1.0	10.2	-2.0	9.9	-1.7
	10	11.6	11.4	0.2	12.4	-0.8	12.3	-0.7
	20	16.6	14.1	2.5	15.2	1.4	15.3	1.3
	30	18.8	15.9	2.9	17	1.8	17.3	1.5
	40	20.6	17.3	3.3	18.5	2.1	18.9	1.7
	50	23.8	18.5	5.3	19.7	4.1	20.3	3.5
	60	24.5	19.6	4.9	20.8	3.7	21.5	3.0
	90	27.9	22.2	5.7	23.3	4.6	24.4	3.5
	120	29.3	24.2	5.1	25.3	4.0	26.7	2.6
	180	32.1	27.3	4.8	28.5	3.6	30.3	1.8
	360	36.1	33.8	2.3	34.7	1.4	37.7	-1.6
	720	41.3	41.7	-0.4	42.3	-1.0	46.9	-5.6
	1080	47.1	47.1	0.0	47.6	-0.5	53.3	-6.2
	1440	51.2	51.4	-0.2	51.7	-0.5	58.4	-7.2
2160	57.0	58.2	-1.2	58.0	-1.0	66.3	-9.3	
2880	61.1	63.6	-2.5	63.0	-1.9	72.7	-11.6	
4320	66.7	72.0	-5.3	70.8	-4.1	82.6	-15.9	
$p = 0.025$, $C = 40$	5	9.2	10.6	-1.4	12.3	-3.1	11.8	-2.6
	10	13.6	13.1	0.5	14.9	-1.3	14.7	-1.1
	20	21.4	16.2	5.2	18.1	3.3	18.4	3.0

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 0.02,$ $C = 50$	30	25.7	18.4	7.3	20.3	5.4	20.9	4.8
	40	27.3	20.1	7.2	22.1	5.2	22.9	4.4
	50	29.8	21.5	8.3	23.5	6.3	24.6	5.2
	60	30.3	22.8	7.5	24.7	5.6	26.1	4.2
	90	33.7	25.8	7.9	27.7	6.0	29.7	4.0
	120	34.9	28.2	6.7	30.1	4.8	32.6	2.3
	180	35.4	31.9	3.5	33.8	1.6	37.2	-1.8
	360	38.7	39.6	-0.9	41.1	-2.4	46.5	-7.8
	720	48.9	49.0	-0.1	50.0	-1.1	58.1	-9.2
	1080	56.8	55.5	1.3	56.1	0.7	66.3	-9.5
	1440	63.1	60.6	2.5	60.9	2.2	72.8	-9.7
	2160	70.3	68.8	1.5	68.3	2.0	83.0	-12.7
	2880	73.4	75.3	-1.9	74.1	-0.7	91.2	-17.8
4320	84.0	85.4	-1.4	83.1	0.9	104.0	-20.0	
$p = 0.02,$ $C = 50$	5	13.1	15.7	-2.6	19.8	-6.7	18.8	-5.7
	10	18.7	19.5	-0.8	24.0	-5.3	23.7	-5.0
	20	28.8	24.4	4.4	29.1	-0.3	29.9	-1.1
	30	32.9	27.7	5.2	32.5	0.4	34.2	-1.3
	40	33.8	30.3	3.5	35.2	-1.4	37.7	-3.9
	50	35.1	32.6	2.5	37.4	-2.3	40.6	-5.5
	60	35.3	34.5	0.8	39.4	-4.1	43.2	-7.9
	90	42.7	39.2	3.5	44.0	-1.3	49.5	-6.8
	120	57.7	43.1	14.6	47.7	10.0	54.6	3.1
	180	61.9	48.9	13.0	53.4	8.5	62.6	-0.7
	360	63.1	61.2	1.9	64.7	-1.6	79.1	-16.0
	720	64.2	76.3	-12.1	78.3	-14.1	100.0	-35.8
	1080	72.9	86.6	-13.7	87.7	-14.8	114.8	-41.9
1440	80.1	94.9	-14.8	94.9	-14.8	126.6	-46.5	
2160	92.6	108.0	-15.4	106.2	-13.6	145.3	-52.7	
2880	103.9	118.9	-15.0	115.1	-11.2	160.2	-56.3	
4320	116.9	135.3	-18.4	128.8	-11.9	184.0	-67.1	

Tab. E.18. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h , mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Legnicy

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 1.0,$ $C = 1$	5	5.8	6.9	-1.1	6.9	-1.1	6.9	-1.1
	10	8.3	8.5	-0.2	8.5	-0.2	8.5	-0.2
	20	11.3	10.4	0.9	10.4	0.9	10.4	0.9
	30	12.5	11.7	0.8	11.7	0.8	11.7	0.8
	40	13.0	12.7	0.3	12.7	0.3	12.7	0.3
	50	13.7	13.6	0.1	13.6	0.1	13.6	0.1
	60	14.2	14.3	-0.1	14.3	-0.1	14.3	-0.1
	90	16.5	16.1	0.4	16.2	0.3	16.1	0.4
	180	18.2	17.6	0.6	17.6	0.6	17.6	0.6

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych						
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)	
lata	min	mm							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	360	23.9	24.3	-0.4	24.3	-0.4	24.3	-0.4	
	720	28.6	29.7	-1.1	29.8	-1.2	29.8	-1.2	
	1080	32.4	33.5	-1.1	33.6	-1.2	33.5	-1.1	
	1440	37.4	36.5	0.9	36.5	0.9	36.5	0.9	
	2160	42.0	41.1	0.9	41.2	0.8	41.1	0.9	
	2880	43.4	44.7	-1.3	44.8	-1.4	44.7	-1.3	
	4320	47.7	50.4	-2.7	50.5	-2.8	50.4	-2.7	
$p = 0.5,$ $C = 2$	5	5.8	6.9	-1.1	7	-1.2	6.9	-1.1	
	10	8.3	8.5	-0.2	8.5	-0.2	8.5	-0.2	
	20	11.3	10.4	0.9	10.5	0.8	10.4	0.9	
	30	12.5	11.7	0.8	11.8	0.7	11.7	0.8	
	40	13.1	12.8	0.3	12.8	0.3	12.8	0.3	
	50	14.1	13.6	0.5	13.7	0.4	13.7	0.4	
	60	14.4	14.4	0.0	14.4	0.0	14.4	0.0	
	90	16.5	16.2	0.3	16.3	0.2	16.2	0.3	
	120	18.3	17.7	0.6	17.7	0.6	17.7	0.6	
	180	20.2	19.9	0.3	20	0.2	19.9	0.3	
	360	24.0	24.4	-0.4	24.5	-0.5	24.4	-0.4	
	720	28.7	29.9	-1.2	30	-1.3	29.9	-1.2	
	1080	32.6	33.7	-1.1	33.8	-1.2	33.7	-1.1	
	1440	37.5	36.7	0.8	36.8	0.7	36.7	0.8	
	2160	42.2	41.3	0.9	41.4	0.8	41.3	0.9	
2880	43.7	45.0	-1.3	45.1	-1.4	45.0	-1.3		
	4320	48.4	50.6	-2.2	50.8	-2.4	50.7	-2.3	
$p = 0.2,$ $C = 5$	5	6.2	7.1	-0.9	7.1	-0.9	7.1	-0.9	
	10	8.5	8.7	-0.2	8.7	-0.2	8.7	-0.2	
	20	11.6	10.6	1.0	10.7	0.9	10.7	0.9	
	30	12.9	12.0	0.9	12.1	0.8	12.0	0.9	
	40	13.6	13.0	0.6	13.1	0.5	13.1	0.5	
	50	14.3	13.9	0.4	14	0.3	13.9	0.4	
	60	14.9	14.7	0.2	14.8	0.1	14.7	0.2	
	90	17.4	16.6	0.8	16.6	0.8	16.6	0.8	
	120	19.6	18.0	1.6	18.1	1.5	18.0	1.6	
	180	20.6	20.3	0.3	20.4	0.2	20.3	0.3	
	360	24.7	24.9	-0.2	25	-0.3	24.9	-0.2	
	720	29.2	30.5	-1.3	30.6	-1.4	30.5	-1.3	
	1080	33.2	34.3	-1.1	34.5	-1.3	34.3	-1.1	
	1440	38.5	37.3	1.2	37.6	0.9	37.4	1.1	
	2160	43.2	42.1	1.1	42.3	0.9	42.1	1.1	
2880	44.8	45.8	-1.0	46	-1.2	45.8	-1.0		
	4320	48.9	51.6	-2.7	51.8	-2.9	51.6	-2.7	
$p = 0.1$ $C = 10$	5	6.6	7.4	-0.8	7.5	-0.9	7.4	-0.8	
	10	9.0	9.1	-0.1	9.1	-0.1	9.1	-0.1	
	20	12.1	11.1	1.0	11.2	0.9	11.1	1.0	
	30	13.7	12.5	1.2	12.6	1.1	12.5	1.2	
	40	14.2	13.6	0.6	13.7	0.5	13.6	0.6	
	50	14.9	14.5	0.4	14.6	0.3	14.5	0.4	
	60	16.0	15.3	0.7	15.4	0.6	15.3	0.7	
	90	17.8	17.2	0.6	17.4	0.4	17.3	0.5	
	120	19.9	18.8	1.1	18.9	1.0	18.8	1.1	
	180	21.7	21.1	0.6	21.3	0.4	21.1	0.6	
	360	25.9	25.9	0.0	26	-0.1	25.9	0.0	
	720	31.0	31.7	-0.7	31.9	-0.9	31.7	-0.7	
	1080	35.0	35.6	-0.6	35.9	-0.9	35.7	-0.7	
		1440	41.8	38.8	3.0	39.1	2.7	38.8	3.0

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2160	44.5	43.7	0.8	44	0.5	43.7	0.8
	2880	47.1	47.5	-0.4	47.8	-0.7	47.5	-0.4
	4320	51.0	53.4	-2.4	53.8	-2.8	53.5	-2.5
$p = 0.04,$ $C = 25$	5	7.6	8.9	-1.3	8.9	-1.3	8.9	-1.3
	10	10.9	10.8	0.1	10.9	0.0	10.8	0.1
	20	14.4	13.2	1.2	13.3	1.1	13.2	1.2
	30	15.9	14.9	1.0	14.9	1.0	14.9	1.0
	40	17.5	16.1	1.4	16.2	1.3	16.2	1.3
	50	18.2	17.2	1.0	17.3	0.9	17.2	1.0
	60	19.9	18.1	1.8	18.2	1.7	18.2	1.7
	90	21.4	20.4	1.0	20.5	0.9	20.4	1.0
	120	22.6	22.1	0.5	22.2	0.4	22.2	0.4
	180	25.9	24.9	1.0	25	0.9	24.9	1.0
	360	30.5	30.4	0.1	30.5	0.0	30.4	0.1
	720	35.6	37.1	-1.5	37.2	-1.6	37.1	-1.5
	1080	41.1	41.7	-0.6	41.8	-0.7	41.7	-0.6
	1440	47.9	45.3	2.6	45.4	2.5	45.3	2.6
2160	51.4	50.9	0.5	51.1	0.3	50.9	0.5	
2880	55.9	55.3	0.6	55.5	0.4	55.3	0.6	
4320	59.3	62.1	-2.8	62.4	-3.1	62.2	-2.9	
$p = 0.03,$ $C = 30$	5	8.2	9.6	-1.4	9.6	-1.4	9.6	-1.4
	10	11.4	11.7	-0.3	11.7	-0.3	11.7	-0.3
	20	15.9	14.3	1.6	14.3	1.6	14.3	1.6
	30	17.6	16.0	1.6	16	1.6	16.0	1.6
	40	19.1	17.4	1.7	17.4	1.7	17.4	1.7
	50	19.8	18.5	1.3	18.6	1.2	18.6	1.2
	60	21.0	19.5	1.5	19.6	1.4	19.6	1.4
	90	23.0	22.0	1.0	22	1.0	22.0	1.0
	120	24.5	23.8	0.7	23.8	0.7	23.8	0.7
	180	28.2	26.8	1.4	26.8	1.4	26.8	1.4
	360	31.6	32.6	-1.0	32.6	-1.0	32.6	-1.0
	720	37.9	39.8	-1.9	39.8	-1.9	39.8	-1.9
	1080	42.3	44.7	-2.4	44.7	-2.4	44.7	-2.4
	1440	49.5	48.5	1.0	48.6	0.9	48.5	1.0
2160	55.6	54.5	1.1	54.5	1.1	54.5	1.1	
2880	59.3	59.2	0.1	59.2	0.1	59.2	0.1	
4320	63.2	66.4	-3.2	66.5	-3.3	66.5	-3.3	
$p = 0.025,$ $C = 40$	5	9.8	11.9	-2.1	11.8	-2.0	11.9	-2.1
	10	13.3	14.5	-1.2	14.4	-1.1	14.5	-1.2
	20	20.0	17.6	2.4	17.5	2.5	17.6	2.4
	30	23.8	19.7	4.1	19.6	4.2	19.7	4.1
	40	24.3	21.3	3.0	21.2	3.1	21.4	2.9
	50	24.5	22.7	1.8	22.6	1.9	22.8	1.7
	60	25.2	23.9	1.3	23.8	1.4	24.0	1.2
	90	28.0	26.9	1.1	26.7	1.3	26.9	1.1
	120	31.7	29.1	2.6	28.9	2.8	29.1	2.6
	180	32.2	32.7	-0.5	32.4	-0.2	32.7	-0.5
	360	40.2	39.7	0.5	39.4	0.8	39.7	0.5
	720	43.6	48.3	-4.7	47.9	-4.3	48.3	-4.7
	1080	50.5	54.1	-3.6	53.8	-3.3	54.1	-3.6
	1440	59.6	58.7	0.9	58.3	1.3	58.7	0.9
2160	70.3	65.7	4.6	65.4	4.9	65.8	4.5	
2880	77.1	71.3	5.8	70.9	6.2	71.4	5.7	

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 0.02,$ $C = 50$	4320	79.8	79.9	-0.1	79.5	0.3	80.0	-0.2
	5	16.2	20.7	-4.5	20.5	-4.3	20.8	-4.6
	10	23.5	25.0	-1.5	24.7	-1.2	25.2	-1.7
	20	28.8	30.2	-1.4	29.9	-1.1	30.4	-1.6
	30	32.0	33.8	-1.8	33.4	-1.4	34.0	-2.0
	40	37.4	36.5	0.9	36.1	1.3	36.8	0.6
	50	39.8	38.8	1.0	38.4	1.4	39.1	0.7
	60	40.6	40.8	-0.2	40.4	0.2	41.1	-0.5
	90	41.0	45.7	-4.7	45.1	-4.1	45.9	-4.9
	120	49.6	49.4	0.2	48.8	0.8	49.6	0.0
	180	57.6	55.3	2.3	54.6	3.0	55.5	2.1
	360	60.2	66.7	-6.5	66	-5.8	67.1	-6.9
	720	74.9	80.9	-6.0	79.8	-4.9	81.1	-6.2
	1080	77.3	90.0	-12.7	89.2	-11.9	90.6	-13.3
	1440	86.5	97.6	-11.1	96.6	-10.1	98.1	-11.6
2160	114.8	108.9	5.9	108	6.8	109.6	5.2	
2880	130.2	117.9	12.3	116.9	13.3	118.6	11.6	
4320	148.1	131.5	16.6	130.6	17.5	132.6	15.5	

Tab. E.19. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h , mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Zgorzelcu

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 1.0,$ $C = 1$	5	5.5	5.1	0.4	5.1	0.4	5.1	0.4
	10	7.1	6.4	0.7	6.4	0.7	6.4	0.7
	20	8.5	8.0	0.5	8.0	0.5	8.0	0.5
	30	9.3	9.1	0.2	9.2	0.1	9.1	0.2
	40	9.8	10.0	-0.2	10.0	-0.2	10.0	-0.2
	50	10.3	10.8	-0.5	10.8	-0.5	10.8	-0.5
	60	10.9	11.4	-0.5	11.4	-0.5	11.4	-0.5
	90	12.1	13.0	-0.9	13.0	-0.9	13.0	-0.9
	120	13.3	14.3	-1.0	14.3	-1.0	14.3	-1.0
	180	15.3	16.3	-1.0	16.3	-1.0	16.3	-1.0
	360	18.9	20.4	-1.5	20.4	-1.5	20.4	-1.5
	720	23.0	25.5	-2.5	25.5	-2.5	25.5	-2.5
	1080	25.6	29.0	-3.4	29.1	-3.5	29.0	-3.4
	1440	35.1	31.9	3.2	31.9	3.2	31.9	3.2
	2160	39.2	36.3	2.9	36.3	2.9	36.3	2.9
2880	43.4	39.8	3.6	39.9	3.5	39.8	3.6	
4320	49.0	45.4	3.6	45.4	3.6	45.4	3.6	
$p = 0.5,$ $C = 2$	5	5.5	5.2	0.3	5.2	0.3	5.2	0.3
	10	7.2	6.4	0.8	6.4	0.8	6.4	0.8
	20	8.5	8.1	0.4	8.1	0.4	8.1	0.4
	30	9.3	9.2	0.1	9.2	0.1	9.2	0.1
	50	10.3	10.8	-0.5	10.8	-0.5	10.8	-0.5

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 0.2,$ $C = 5$	60	11.0	11.5	-0.5	11.5	-0.5	11.5	-0.5
	90	12.2	13.1	-0.9	13.1	-0.9	13.1	-0.9
	120	13.5	14.4	-0.9	14.4	-0.9	14.4	-0.9
	180	15.4	16.4	-1.0	16.4	-1.0	16.4	-1.0
	360	19.2	20.5	-1.3	20.5	-1.3	20.5	-1.3
	720	23.4	25.6	-2.2	25.6	-2.2	25.6	-2.2
	1080	25.7	29.2	-3.5	29.2	-3.5	29.2	-3.5
	1440	35.1	32.0	3.1	32	3.1	32.0	3.1
	2160	40.0	36.5	3.5	36.5	3.5	36.5	3.5
	2880	43.7	40.0	3.7	40.1	3.6	40.0	3.7
4320	50.0	45.6	4.4	45.7	4.3	45.6	4.4	
$p = 0.1,$ $C = 10$	5	5.6	5.2	0.4	5.2	0.4	5.2	0.4
	10	7.2	6.5	0.7	6.5	0.7	6.5	0.7
	20	9.0	8.2	0.8	8.2	0.8	8.2	0.8
	30	9.8	9.3	0.5	9.3	0.5	9.3	0.5
	40	10.4	10.2	0.2	10.2	0.2	10.2	0.2
	50	10.5	11.0	-0.5	11	-0.5	11.0	-0.5
	60	11.1	11.7	-0.6	11.7	-0.6	11.7	-0.6
	90	12.8	13.3	-0.5	13.3	-0.5	13.3	-0.5
	120	13.5	14.6	-1.1	14.6	-1.1	14.6	-1.1
	180	15.6	16.6	-1.0	16.6	-1.0	16.6	-1.0
	360	19.5	20.8	-1.3	20.8	-1.3	20.8	-1.3
	720	24.4	26.0	-1.6	26.1	-1.7	26.0	-1.6
	1080	26.5	29.7	-3.2	29.7	-3.2	29.7	-3.2
	1440	35.7	32.6	3.1	32.6	3.1	32.6	3.1
2160	40.8	37.2	3.6	37.2	3.6	37.2	3.6	
2880	44.8	40.8	4.0	40.8	4.0	40.8	4.0	
4320	50.6	46.5	4.1	46.5	4.1	46.5	4.1	
$p = 0.04,$ $C = 25$	5	5.7	5.4	0.3	5.4	0.3	5.4	0.3
	10	7.5	6.7	0.8	6.7	0.8	6.7	0.8
	20	9.1	8.4	0.7	8.4	0.7	8.4	0.7
	30	10.2	9.6	0.6	9.6	0.6	9.6	0.6
	40	10.5	10.5	0.0	10.6	-0.1	10.5	0.0
	50	11.0	11.3	-0.3	11.3	-0.3	11.3	-0.3
	60	11.9	12.0	-0.1	12	-0.1	12.0	-0.1
	90	13.1	13.7	-0.6	13.7	-0.6	13.7	-0.6
	120	13.8	15.1	-1.3	15.1	-1.3	15.1	-1.3
	180	16.3	17.2	-0.9	17.2	-0.9	17.2	-0.9
	360	20.3	21.5	-1.2	21.5	-1.2	21.5	-1.2
	720	24.7	27.0	-2.3	27	-2.3	27.0	-2.3
	1080	28.2	30.8	-2.6	30.8	-2.6	30.8	-2.6
	1440	36.7	33.8	2.9	33.8	2.9	33.8	2.9
2160	42.6	38.6	4.0	38.5	4.1	38.6	4.0	
2880	46.9	42.4	4.5	42.3	4.6	42.4	4.5	
4320	52.4	48.4	4.0	48.3	4.1	48.4	4.0	
$p = 0.04,$ $C = 25$	5	6.5	6.1	0.4	6.1	0.4	6.0	0.5
	10	8.2	7.6	0.6	7.6	0.6	7.6	0.6
	20	10.1	9.6	0.5	9.6	0.5	9.6	0.5
	30	11.7	11.0	0.7	10.9	0.8	10.9	0.8
	40	12.4	12.1	0.3	12.0	0.4	12.0	0.4
	50	13.0	13.0	0.0	12.9	0.1	13.0	0.0
	60	13.5	13.8	-0.3	13.7	-0.2	13.8	-0.3
	90	14.4	15.8	-1.4	15.7	-1.3	15.8	-1.4
	120	15.6	17.4	-1.8	17.2	-1.6	17.3	-1.7
180	18.4	19.9	-1.5	19.7	-1.3	19.8	-1.4	

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 0.03,$ $C = 30$	360	23.8	25.0	-1.2	24.8	-1.0	25.0	-1.2
	720	28.6	31.5	-2.9	31.1	-2.5	31.5	-2.9
	1080	32.6	36.0	-3.4	35.6	-3.0	36.0	-3.4
	1440	43.8	39.7	4.1	39.1	4.7	39.7	4.1
	2160	46.7	45.4	1.3	44.7	2.0	45.4	1.3
	2880	53.8	50.0	3.8	49.2	4.6	50.0	3.8
	4320	58.1	57.1	1.0	56.3	1.8	57.2	0.9
$p = 0.025,$ $C = 40$	5	7.1	6.4	0.7	6.4	0.7	6.4	0.7
	10	8.5	8.1	0.4	8	0.5	8.1	0.4
	20	10.4	10.2	0.2	10.1	0.3	10.2	0.2
	30	12.0	11.7	0.3	11.6	0.4	11.6	0.4
	40	13.2	12.8	0.4	12.7	0.5	12.8	0.4
	50	13.6	13.8	-0.2	13.7	-0.1	13.8	-0.2
	60	14.2	14.7	-0.5	14.6	-0.4	14.7	-0.5
	90	15.6	16.8	-1.2	16.7	-1.1	16.8	-1.2
	120	16.4	18.5	-2.1	18.3	-1.9	18.5	-2.1
	180	19.3	21.2	-1.9	21	-1.7	21.2	-1.9
	360	25.6	26.7	-1.1	26.4	-0.8	26.7	-1.1
	720	32.3	33.8	-1.5	33.3	-1.0	33.7	-1.4
	1080	34.5	38.7	-4.2	38.1	-3.6	38.7	-4.2
	1440	46.9	42.7	4.2	41.9	5.0	42.6	4.3
2160	48.9	48.8	0.1	47.9	1.0	48.8	0.1	
2880	55.3	53.8	1.5	52.7	2.6	53.8	1.5	
4320	60.3	61.6	-1.3	60.4	-0.1	61.7	-1.4	
$p = 0.02,$ $C = 50$	5	7.8	7.5	0.3	7.5	0.3	7.5	0.3
	10	9.2	9.5	-0.3	9.5	-0.3	9.5	-0.3
	20	12.0	12.0	0.0	12	0.0	12.0	0.0
	30	14.2	13.8	0.4	13.7	0.5	13.8	0.4
	40	14.6	15.2	-0.6	15.1	-0.5	15.2	-0.6
	50	15.7	16.5	-0.8	16.3	-0.6	16.4	-0.7
	60	16.7	17.5	-0.8	17.4	-0.7	17.5	-0.8
	90	17.4	20.1	-2.7	19.9	-2.5	20.1	-2.7
	120	20.3	22.2	-1.9	21.9	-1.6	22.1	-1.8
	180	23.8	25.5	-1.7	25.1	-1.3	25.4	-1.6
	360	30.6	32.2	-1.6	31.8	-1.2	32.3	-1.7
	720	37.8	40.9	-3.1	40.1	-2.3	40.9	-3.1
	1080	41.6	47.0	-5.4	46	-4.4	47.1	-5.5
	1440	53.1	52.0	1.1	50.7	2.4	52.0	1.1
2160	59.5	59.6	-0.1	58.2	1.3	59.7	-0.2	
2880	65.2	65.9	-0.7	64.2	1.0	66.0	-0.8	
4320	71.7	75.6	-3.9	73.6	-1.9	75.9	-4.2	

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1080	73.3	79.0	-5.7	79.4	-6.1	79.9	-6.6
	1440	83.8	87.9	-4.1	87.8	-4.0	88.6	-4.8
	2160	119.9	101.2	18.7	101.2	18.7	102.5	17.4
	2880	145.8	112.3	33.5	111.9	33.9	113.6	32.2
	4320	179.2	129.4	49.8	129	50.2	131.5	47.7

Tab. E.20. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h , mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Zielonej Górze

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 1.0,$ $C = 1$	5	5.6	7.2	-1.6	7.2	-1.6	7.2	-1.6
	10	8.5	8.7	-0.2	8.7	-0.2	8.7	-0.2
	20	11.6	10.5	1.1	10.5	1.1	10.5	1.1
	30	12.5	11.7	0.8	11.7	0.8	11.7	0.8
	40	13.3	12.7	0.6	12.7	0.6	12.7	0.6
	50	13.9	13.5	0.4	13.5	0.4	13.5	0.4
	60	14.8	14.2	0.6	14.2	0.6	14.2	0.6
	90	16.3	15.8	0.5	15.8	0.5	15.8	0.5
	120	17.8	17.1	0.7	17.1	0.7	17.1	0.7
	180	19.2	19.1	0.1	19.2	0.0	19.1	0.1
	360	23.1	23.1	0.0	23.2	-0.1	23.1	0.0
	720	28.1	28.0	0.1	28.0	0.1	28.0	0.1
	1080	30.9	31.3	-0.4	31.3	-0.4	31.3	-0.4
	1440	32.3	33.8	-1.5	33.9	-1.6	33.8	-1.5
	2160	36.9	37.8	-0.9	37.8	-0.9	37.8	-0.9
2880	39.2	40.9	-1.7	40.9	-1.7	40.9	-1.7	
4320	44.1	45.7	-1.6	45.8	-1.7	45.7	-1.6	
$p = 0.5,$ $C = 2$	5	5.7	7.2	-1.5	7.2	-1.5	7.2	-1.5
	10	8.5	8.7	-0.2	8.7	-0.2	8.7	-0.2
	20	11.8	10.5	1.3	10.6	1.2	10.5	1.3
	30	12.6	11.8	0.8	11.8	0.8	11.8	0.8
	40	13.3	12.7	0.6	12.8	0.5	12.7	0.6
	50	13.9	13.5	0.4	13.6	0.3	13.6	0.3
	60	15.1	14.2	0.9	14.3	0.8	14.2	0.9
	90	16.3	15.9	0.4	15.9	0.4	15.9	0.4
	120	17.8	17.2	0.6	17.2	0.6	17.2	0.6
	180	19.3	19.2	0.1	19.3	0.0	19.3	0.0
	360	23.2	23.3	-0.1	23.3	-0.1	23.3	-0.1
	720	28.2	28.1	0.1	28.2	0.0	28.2	0.0
	1080	30.9	31.4	-0.5	31.5	-0.6	31.5	-0.6
	1440	32.7	34.0	-1.3	34.1	-1.4	34.1	-1.4
	2160	37.0	38.0	-1.0	38.1	-1.1	38.1	-1.1
2880	39.6	41.1	-1.5	41.2	-1.6	41.2	-1.6	
4320	44.2	45.9	-1.7	46.0	-1.8	46.0	-1.8	
0.25	5	5.9	7.4	-1.5	7.4	-1.5	7.3	-1.4

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	9.0	8.9	0.1	8.9	0.1	8.9	0.1
	20	12.0	10.7	1.3	10.8	1.2	10.7	1.3
	30	12.9	12.0	0.9	12	0.9	12.0	0.9
	40	13.7	13.0	0.7	13	0.7	13.0	0.7
	50	14.3	13.8	0.5	13.8	0.5	13.8	0.5
	60	15.3	14.5	0.8	14.5	0.8	14.5	0.8
	90	16.5	16.2	0.3	16.3	0.2	16.2	0.3
	120	18.2	17.5	0.7	17.6	0.6	17.6	0.6
	180	19.6	19.6	0.0	19.7	-0.1	19.7	-0.1
	360	23.4	23.7	-0.3	23.8	-0.4	23.8	-0.4
	720	29.3	28.6	0.7	28.7	0.6	28.8	0.5
	1080	32.3	32.0	0.3	32.1	0.2	32.2	0.1
	1440	33.6	34.6	-1.0	34.8	-1.2	34.8	-1.2
	2160	37.8	38.7	-0.9	38.8	-1.0	38.9	-1.1
2880	40.1	41.9	-1.8	42	-1.9	42.1	-2.0	
4320	45.5	46.8	-1.3	47	-1.5	47.1	-1.6	
$p = 0.1$ $C = 10$	5	6.2	7.6	-1.4	7.6	-1.4	7.6	-1.4
	10	9.0	9.2	-0.2	9.2	-0.2	9.2	-0.2
	20	12.4	11.2	1.2	11.2	1.2	11.2	1.2
	30	13.5	12.5	1.0	12.5	1.0	12.5	1.0
	40	14.4	13.5	0.9	13.5	0.9	13.5	0.9
	50	15.0	14.3	0.7	14.3	0.7	14.4	0.6
	60	16.1	15.1	1.0	15.1	1.0	15.1	1.0
	90	16.8	16.8	0.0	16.9	-0.1	16.9	-0.1
	120	18.9	18.2	0.7	18.2	0.7	18.3	0.6
	180	20.6	20.3	0.3	20.4	0.2	20.4	0.2
	360	24.8	24.6	0.2	24.7	0.1	24.8	0.0
	720	30.5	29.7	0.8	29.8	0.7	30.0	0.5
	1080	33.9	33.2	0.7	33.3	0.6	33.5	0.4
	1440	35.8	35.9	-0.1	36.1	-0.3	36.3	-0.5
2160	39.0	40.1	-1.1	40.3	-1.3	40.6	-1.6	
2880	42.9	43.4	-0.5	43.6	-0.7	44.0	-1.1	
4320	49.2	48.5	0.7	48.8	0.4	49.2	0.0	
$p = 0.04$, $C = 25$	5	7.1	8.9	-1.8	8.8	-1.7	8.8	-1.7
	10	10.5	10.8	-0.3	10.6	-0.1	10.6	-0.1
	20	13.7	13.0	0.7	12.8	0.9	12.9	0.8
	30	15.6	14.5	1.1	14.3	1.3	14.5	1.1
	40	16.3	15.7	0.6	15.5	0.8	15.7	0.6
	50	17.5	16.7	0.8	16.5	1.0	16.7	0.8
	60	18.4	17.5	0.9	17.4	1.0	17.6	0.8
	90	19.6	19.5	0.1	19.4	0.2	19.7	-0.1
	120	22.2	21.1	1.1	21.0	1.2	21.3	0.9
	180	24.4	23.6	0.8	23.5	0.9	23.9	0.5
	360	27.6	28.5	-0.9	28.4	-0.8	29.0	-1.4
	720	35.3	34.4	0.9	34.4	0.9	35.2	0.1
	1080	39.4	38.4	1.0	38.4	1.0	39.4	0.0
	1440	40.5	41.4	-0.9	41.6	-1.1	42.7	-2.2
2160	45.1	46.3	-1.2	46.5	-1.4	47.9	-2.8	
2880	51.0	50.1	0.9	50.4	0.6	51.9	-0.9	
4320	56.6	55.9	0.7	56.3	0.3	58.2	-1.6	
$p = 0.03$, $C = 30$	5	7.7	9.6	-1.9	9.3	-1.6	9.3	-1.6
	10	10.8	11.5	-0.7	11.3	-0.5	11.3	-0.5
	20	14.5	13.9	0.6	13.6	0.9	13.8	0.7
	30	16.1	15.5	0.6	15.3	0.8	15.4	0.7
	40	17.8	16.8	1.0	16.5	1.3	16.7	1.1

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	50	18.9	17.8	1.1	17.6	1.3	17.8	1.1
	60	19.6	18.7	0.9	18.5	1.1	18.8	0.8
	90	21.1	20.9	0.2	20.6	0.5	21.0	0.1
	120	23.6	22.6	1.0	22.3	1.3	22.8	0.8
	180	25.1	25.2	-0.1	25.0	0.1	25.6	-0.5
	360	28.5	30.4	-1.9	30.2	-1.7	31.1	-2.6
	720	36.4	36.6	-0.2	36.6	-0.2	37.8	-1.4
	1080	40.5	40.9	-0.4	40.9	-0.4	42.3	-1.8
	1440	42.8	44.1	-1.3	44.3	-1.5	45.9	-3.1
	2160	50.0	49.4	0.6	49.6	0.4	51.5	-1.5
2880	55.0	53.4	1.6	53.6	1.4	55.8	-0.8	
4320	59.4	59.6	-0.2	60.0	-0.6	62.6	-3.2	
$p = 0.025,$ $C = 40$	5	8.8	11.5	-2.7	11	-2.2	11.1	-2.3
	10	12.2	13.9	-1.7	13.3	-1.1	13.5	-1.3
	20	17.2	16.7	0.5	16.2	1.0	16.5	0.7
	30	19.5	18.6	0.9	18.1	1.4	18.5	1.0
	40	21.1	20.1	1.0	19.6	1.5	20.0	1.1
	50	22.2	21.4	0.8	20.8	1.4	21.4	0.8
	60	23.7	22.4	1.3	21.9	1.8	22.5	1.2
	90	25.4	25.0	0.4	24.5	0.9	25.3	0.1
	120	27.6	27.1	0.5	26.5	1.1	27.4	0.2
	180	30.8	30.2	0.6	29.7	1.1	30.8	0.0
	360	36.0	36.4	-0.4	35.9	0.1	37.5	-1.5
	720	40.5	43.8	-3.3	43.5	-3.0	45.7	-5.2
	1080	49.0	48.8	0.2	48.7	0.3	51.3	-2.3
	1440	51.1	52.6	-1.5	52.7	-1.6	55.7	-4.6
2160	60.1	58.8	1.3	59	1.1	62.5	-2.4	
2880	62.3	63.7	-1.4	63.8	-1.5	67.9	-5.6	
4320	66.2	71.0	-4.8	71.4	-5.2	76.3	-10.1	
$p = 0.02,$ $C = 50$	5	13.6	18.9	-5.3	17.7	-4.1	17.8	-4.2
	10	19.2	22.7	-3.5	21.4	-2.2	21.8	-2.6
	20	30.1	27.3	2.8	26	4.1	26.7	3.4
	30	37.9	30.5	7.4	29.1	8.8	30.0	7.9
	40	39.9	32.8	7.1	31.5	8.4	32.7	7.2
	50	40.6	34.9	5.7	33.6	7.0	34.9	5.7
	60	41.8	36.6	5.2	35.3	6.5	36.8	5.0
	90	45.1	40.8	4.3	39.5	5.6	41.4	3.7
	120	45.9	44.1	1.8	42.8	3.1	45.0	0.9
	180	51.9	49.1	2.8	47.9	4.0	50.7	1.2
	360	55.0	59.0	-4.0	58.1	-3.1	62.1	-7.1
	720	56.9	70.8	-13.9	70.4	-13.5	76.1	-19.2
	1080	73.6	79.0	-5.4	78.9	-5.3	85.7	-12.1
	1440	89.1	84.8	4.3	85.4	3.7	93.2	-4.1
2160	96.0	94.9	1.1	95.6	0.4	104.9	-8.9	
2880	103.5	102.7	0.8	103.6	-0.1	114.2	-10.7	
4320	109.6	114.2	-4.6	115.9	-6.3	128.6	-19.0	

Tab. E.21. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h , mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Opolu

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 1.0,$ $C = 1$	5	5.9	7.1	-1.2	7.1	-1.2	7.1	-1.2
	10	8.8	8.6	0.2	8.6	0.2	8.6	0.2
	20	11.1	10.4	0.7	10.4	0.7	10.4	0.7
	30	12.2	11.6	0.6	11.7	0.5	11.7	0.5
	40	13.0	12.6	0.4	12.6	0.4	12.6	0.4
	50	13.8	13.4	0.4	13.4	0.4	13.4	0.4
	60	14.6	14.1	0.5	14.1	0.5	14.1	0.5
	90	15.9	15.8	0.1	15.8	0.1	15.8	0.1
	120	17.0	17.1	-0.1	17.2	-0.2	17.1	-0.1
	180	18.9	19.2	-0.3	19.2	-0.3	19.2	-0.3
	360	23.3	23.3	0.0	23.3	0.0	23.3	0.0
	720	28.3	28.2	0.1	28.3	0.0	28.2	0.1
	1080	30.2	31.6	-1.4	31.6	-1.4	31.6	-1.4
	1440	35.3	34.2	1.1	34.3	1.0	34.3	1.0
2160	38.7	38.3	0.4	38.4	0.3	38.4	0.3	
2880	40.8	41.5	-0.7	41.6	-0.8	41.6	-0.8	
4320	43.7	46.5	-2.8	46.5	-2.8	46.5	-2.8	
$p = 0.5,$ $C = 2$	5	6.0	7.1	-1.1	7.1	-1.1	7.1	-1.1
	10	8.9	8.6	0.3	8.6	0.3	8.6	0.3
	20	11.2	10.5	0.7	10.5	0.7	10.5	0.7
	30	12.3	11.7	0.6	11.7	0.6	11.7	0.6
	40	13.1	12.7	0.4	12.7	0.4	12.7	0.4
	50	13.8	13.5	0.3	13.5	0.3	13.5	0.3
	60	14.6	14.2	0.4	14.2	0.4	14.2	0.4
	90	16.0	15.9	0.1	15.9	0.1	15.9	0.1
	120	17.2	17.2	0.0	17.3	-0.1	17.2	0.0
	180	19.1	19.3	-0.2	19.3	-0.2	19.3	-0.2
	360	23.4	23.4	0.0	23.4	0.0	23.4	0.0
	720	28.5	28.4	0.1	28.4	0.1	28.4	0.1
	1080	30.9	31.8	-0.9	31.8	-0.9	31.8	-0.9
	1440	35.4	34.4	1.0	34.5	0.9	34.4	1.0
2160	39.2	38.5	0.7	38.6	0.6	38.5	0.7	
2880	40.9	41.7	-0.8	41.8	-0.9	41.8	-0.9	
4320	44.1	46.7	-2.6	46.8	-2.7	46.7	-2.6	
$p = 0.2,$ $C = 5$	5	6.4	7.3	-0.9	7.3	-0.9	7.3	-0.9
	10	9.2	8.8	0.4	8.9	0.3	8.8	0.4
	20	11.3	10.7	0.6	10.7	0.6	10.7	0.6
	30	12.4	12.0	0.4	12.0	0.4	12.0	0.4
	40	13.6	13.0	0.6	13.0	0.6	13.0	0.6
	50	14.0	13.8	0.2	13.8	0.2	13.8	0.2
	60	14.8	14.5	0.3	14.5	0.3	14.5	0.3
	90	16.8	16.2	0.6	16.3	0.5	16.2	0.6
	120	17.4	17.6	-0.2	17.6	-0.2	17.6	-0.2
	180	19.7	19.7	0.0	19.7	0.0	19.7	0.0
	360	24.1	23.8	0.3	23.9	0.2	23.9	0.2
	720	29.5	28.9	0.6	29.0	0.5	28.9	0.6
	1080	31.4	32.4	-1.0	32.4	-1.0	32.4	-1.0
	1440	36.2	35.1	1.1	35.1	1.1	35.1	1.1
2160	39.8	39.2	0.6	39.3	0.5	39.3	0.5	
2880	41.0	42.5	-1.5	42.5	-1.5	42.5	-1.5	
4320	45.0	47.6	-2.6	47.6	-2.6	47.6	-2.6	

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 0.1$ $C = 10$	5	6.7	7.6	-0.9	7.7	-1.0	7.6	-0.9
	10	9.6	9.2	0.4	9.3	0.3	9.2	0.4
	20	11.8	11.2	0.6	11.2	0.6	11.2	0.6
	30	12.7	12.5	0.2	12.5	0.2	12.5	0.2
	40	14.4	13.5	0.9	13.6	0.8	13.5	0.9
	50	14.6	14.4	0.2	14.4	0.2	14.4	0.2
	60	15.4	15.1	0.3	15.2	0.2	15.1	0.3
	90	17.2	16.9	0.3	17	0.2	16.9	0.3
	120	18.7	18.3	0.4	18.4	0.3	18.3	0.4
	180	21.0	20.5	0.5	20.5	0.5	20.5	0.5
	360	24.9	24.8	0.1	24.9	0.0	24.9	0.0
	720	30.7	30.1	0.6	30.1	0.6	30.1	0.6
	1080	32.9	33.7	-0.8	33.6	-0.7	33.7	-0.8
	1440	37.4	36.5	0.9	36.4	1.0	36.5	0.9
2160	40.9	40.8	0.1	40.7	0.2	40.9	0.0	
2880	44.2	44.2	0.0	44.1	0.1	44.2	0.0	
4320	46.4	49.4	-3.0	49.3	-2.9	49.5	-3.1	
$p = 0.04$, $C = 25$	5	8.2	9.3	-1.1	9.4	-1.2	9.3	-1.1
	10	11.3	11.2	0.1	11.3	0.0	11.2	0.1
	20	14.2	13.6	0.6	13.5	0.7	13.5	0.7
	30	15.9	15.1	0.8	15.1	0.8	15.1	0.8
	40	16.6	16.4	0.2	16.3	0.3	16.3	0.3
	50	18.2	17.4	0.8	17.3	0.9	17.3	0.9
	60	19.0	18.3	0.7	18.2	0.8	18.2	0.8
	90	22.4	20.4	2.0	20.2	2.2	20.3	2.1
	120	23.7	22.0	1.7	21.9	1.8	22.0	1.7
	180	25.4	24.6	0.8	24.4	1.0	24.6	0.8
	360	29.8	29.7	0.1	29.3	0.5	29.7	0.1
	720	35.0	35.8	-0.8	35.3	-0.3	35.9	-0.9
	1080	38.7	40.1	-1.4	39.4	-0.7	40.1	-1.4
	1440	42.4	43.3	-0.9	42.6	-0.2	43.4	-1.0
2160	46.6	48.3	-1.7	47.5	-0.9	48.5	-1.9	
2880	53.5	52.2	1.3	51.3	2.2	52.4	1.1	
4320	56.9	58.4	-1.5	57.2	-0.3	58.6	-1.7	
$p = 0.03$, $C = 30$	5	8.7	10.2	-1.5	10.2	-1.5	10.1	-1.4
	10	12.0	12.3	-0.3	12.3	-0.3	12.2	-0.2
	20	14.4	14.8	-0.4	14.7	-0.3	14.7	-0.3
	30	16.4	16.5	-0.1	16.4	0.0	16.4	0.0
	40	18.6	17.8	0.8	17.7	0.9	17.7	0.9
	50	20.1	18.9	1.2	18.8	1.3	18.8	1.3
	60	20.7	19.8	0.9	19.7	1.0	19.8	0.9
	90	25.2	22.2	3.0	21.9	3.3	22.1	3.1
	120	25.4	23.9	1.5	23.7	1.7	23.9	1.5
	180	29.1	26.7	2.4	26.3	2.8	26.7	2.4
	360	32.7	32.1	0.6	31.7	1.0	32.2	0.5
	720	37.0	38.7	-1.7	38.1	-1.1	38.9	-1.9
	1080	39.6	43.3	-3.7	42.4	-2.8	43.4	-3.8
	1440	44.5	46.8	-2.3	45.8	-1.3	46.9	-2.4
2160	49.1	52.2	-3.1	51.0	-1.9	52.4	-3.3	
2880	56.1	56.3	-0.2	55.0	1.1	56.6	-0.5	
4320	61.6	63.0	-1.4	61.3	0.3	63.2	-1.6	
$p = 0.025$, $C = 40$	5	9.8	12.9	-3.1	13	-3.2	12.8	-3.0
	10	14.1	15.5	-1.4	15.6	-1.5	15.4	-1.3
	20	19.5	18.6	0.9	18.6	0.9	18.5	1.0

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	30	23.5	20.8	2.7	20.7	2.8	20.6	2.9
	40	25.6	22.4	3.2	22.2	3.4	22.3	3.3
	50	26.7	23.8	2.9	23.5	3.2	23.6	3.1
	60	27.0	24.9	2.1	24.7	2.3	24.8	2.2
	90	30.9	27.8	3.1	27.4	3.5	27.7	3.2
	120	35.0	29.9	5.1	29.5	5.5	29.9	5.1
	180	35.7	33.3	2.4	32.8	2.9	33.3	2.4
	360	39.1	40.0	-0.9	39.2	-0.1	40.1	-1.0
	720	44.3	48.0	-3.7	46.9	-2.6	48.3	-4.0
	1080	49.0	53.7	-4.7	52.1	-3.1	53.8	-4.8
	1440	51.8	57.9	-6.1	56.1	-4.3	58.1	-6.3
	2160	63.7	64.4	-0.7	62.3	1.4	64.8	-1.1
2880	64.8	69.2	-4.4	67.1	-2.3	70.0	-5.2	
4320	71.1	77.5	-6.4	74.6	-3.5	78.0	-6.9	
$p = 0.02,$ $C = 50$	5	19.2	23.6	-4.4	25	-5.8	23.4	-4.2
	10	25.0	28.1	-3.1	29.5	-4.5	28.0	-3.0
	20	34.8	33.6	1.2	35	-0.2	33.5	1.3
	30	41.2	37.3	3.9	38.6	2.6	37.3	3.9
	40	50.9	40.2	10.7	41.4	9.5	40.2	10.7
	50	53.1	42.5	10.6	43.7	9.4	42.6	10.5
	60	54.7	44.4	10.3	45.7	9.0	44.7	10.0
	90	68.9	49.5	19.4	50.5	18.4	49.6	19.3
	120	73.3	53.1	20.2	54.2	19.1	53.5	19.8
	180	79.7	59.1	20.6	59.8	19.9	59.5	20.2
	360	79.7	70.3	9.4	70.9	8.8	71.3	8.4
	720	83.7	83.8	-0.1	84.0	-0.3	85.5	-1.8
	1080	84.3	93.8	-9.5	92.9	-8.6	95.0	-10.7
	1440	96.1	100.9	-4.8	99.7	-3.6	102.5	-6.4
2160	109.1	111.7	-2.6	110.1	-1.0	113.9	-4.8	
2880	121.4	119.6	1.8	118.2	3.2	122.8	-1.4	
4320	147.9	133.9	14.0	130.6	17.3	136.6	11.3	

Tab. E.22. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h , mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Kłodzku

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 1.0,$ $C = 1$	5	6.1	8.2	-2.1	8.2	-2.1	8.2	-2.1
	10	9.1	9.9	-0.8	9.9	-0.8	9.9	-0.8
	20	12.5	12.1	0.4	12.1	0.4	12.1	0.4
	30	14.8	13.5	1.3	13.6	1.2	13.5	1.3
	40	15.9	14.7	1.2	14.7	1.2	14.7	1.2
	50	17.1	15.6	1.5	15.7	1.4	15.7	1.4
	60	17.7	16.5	1.2	16.5	1.2	16.5	1.2
	90	20.1	18.5	1.6	18.5	1.6	18.5	1.6
120	21.5	20.0	1.5	20.1	1.4	20.1	1.4	
180	23.9	22.5	1.4	22.5	1.4	22.5	1.4	

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	360	27.4	27.4	0.0	27.4	0.0	27.4	0.0
	720	33.1	33.3	-0.2	33.3	-0.2	33.3	-0.2
	1080	37.0	37.3	-0.3	37.4	-0.4	37.4	-0.4
	1440	38.4	40.5	-2.1	40.6	-2.2	40.5	-2.1
	2160	44.0	45.4	-1.4	45.5	-1.5	45.5	-1.5
	2880	45.2	49.3	-4.1	49.3	-4.1	49.3	-4.1
	4320	51.8	55.3	-3.5	55.3	-3.5	55.3	-3.5
$p = 0.5,$ $C = 2$	5	6.2	8.2	-2.0	8.2	-2.0	8.2	-2.0
	10	9.1	10.0	-0.9	10.0	-0.9	10.0	-0.9
	20	12.6	12.1	0.5	12.2	0.4	12.1	0.5
	30	15.0	13.6	1.4	13.6	1.4	13.6	1.4
	40	16.0	14.8	1.2	14.8	1.2	14.8	1.2
	50	17.2	15.7	1.5	15.8	1.4	15.7	1.5
	60	17.8	16.6	1.2	16.6	1.2	16.6	1.2
	90	20.1	18.6	1.5	18.6	1.5	18.6	1.5
	120	21.5	20.1	1.4	20.2	1.3	20.2	1.3
	180	24.4	22.6	1.8	22.6	1.8	22.6	1.8
	360	27.5	27.5	0.0	27.5	0.0	27.5	0.0
	720	33.8	33.4	0.4	33.5	0.3	33.5	0.3
	1080	37.0	37.5	-0.5	37.6	-0.6	37.6	-0.6
	1440	38.5	40.7	-2.2	40.8	-2.3	40.7	-2.2
2160	44.0	45.6	-1.6	45.7	-1.7	45.7	-1.7	
2880	45.9	49.5	-3.6	49.6	-3.7	49.6	-3.7	
4320	52.1	55.5	-3.4	55.6	-3.5	55.6	-3.5	
$p = 0.2,$ $C = 5$	5	6.5	8.3	-1.8	8.4	-1.9	8.3	-1.8
	10	9.5	10.1	-0.6	10.2	-0.7	10.1	-0.6
	20	13.0	12.3	0.7	12.4	0.6	12.3	0.7
	30	15.2	13.8	1.4	13.9	1.3	13.8	1.4
	40	16.3	15.0	1.3	15.1	1.2	15.0	1.3
	50	17.5	16.0	1.5	16.1	1.4	16.0	1.5
	60	18.1	16.8	1.3	16.9	1.2	16.9	1.2
	90	20.7	18.9	1.8	19.0	1.7	18.9	1.8
	120	21.9	20.5	1.4	20.6	1.3	20.5	1.4
	180	24.8	23.0	1.8	23.1	1.7	23.0	1.8
	360	28.1	28.0	0.1	28.1	0.0	28.0	0.1
	720	34.1	34.0	0.1	34.1	0.0	34.1	0.0
	1080	37.3	38.2	-0.9	38.2	-0.9	38.3	-1.0
	1440	39.7	41.4	-1.7	41.5	-1.8	41.5	-1.8
2160	44.9	46.5	-1.6	46.5	-1.6	46.6	-1.7	
2880	47.1	50.4	-3.3	50.4	-3.3	50.6	-3.5	
4320	52.5	56.5	-4.0	56.5	-4.0	56.7	-4.2	
$p = 0.1$ $C = 10$	5	6.7	8.6	-1.9	8.8	-2.1	8.6	-1.9
	10	10.0	10.5	-0.5	10.7	-0.7	10.5	-0.5
	20	13.9	12.8	1.1	12.9	1.0	12.8	1.1
	30	15.6	14.4	1.2	14.5	1.1	14.3	1.3
	40	17.3	15.6	1.7	15.7	1.6	15.6	1.7
	50	18.4	16.6	1.8	16.7	1.7	16.6	1.8
	60	19.3	17.5	1.8	17.6	1.7	17.5	1.8
	90	22.1	19.6	2.5	19.7	2.4	19.6	2.5
	120	23.1	21.3	1.8	21.4	1.7	21.3	1.8
	180	26.1	23.9	2.2	24.0	2.1	23.9	2.2
	360	29.4	29.0	0.4	29.1	0.3	29.1	0.3
	720	35.1	35.4	-0.3	35.3	-0.2	35.5	-0.4
1080	38.6	39.6	-1.0	39.6	-1.0	39.8	-1.2	
1440	41.2	43.0	-1.8	42.9	-1.7	43.2	-2.0	

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2160	45.9	48.3	-2.4	48.1	-2.2	48.5	-2.6
	2880	49.2	52.3	-3.1	52.1	-2.9	52.6	-3.4
	4320	54.5	58.7	-4.2	58.4	-3.9	59.1	-4.6
$p = 0.04,$ $C = 25$	5	8.4	10.1	-1.7	10.4	-2.0	10.0	-1.6
	10	11.4	12.3	-0.9	12.6	-1.2	12.2	-0.8
	20	17.1	15.0	2.1	15.2	1.9	14.9	2.2
	30	20.0	16.8	3.2	17.0	3.0	16.7	3.3
	40	21.7	18.2	3.5	18.4	3.3	18.2	3.5
	50	21.6	19.4	2.2	19.6	2.0	19.4	2.2
	60	22.6	20.5	2.1	20.6	2.0	20.4	2.2
	90	25.2	23.0	2.2	23.0	2.2	22.9	2.3
	120	26.5	24.9	1.6	24.9	1.6	24.9	1.6
	180	29.9	28.0	1.9	27.9	2.0	28.0	1.9
	360	33.8	34.1	-0.3	33.7	0.1	34.2	-0.4
	720	41.9	41.5	0.4	40.8	1.1	41.7	0.2
	1080	44.2	46.5	-2.3	45.6	-1.4	46.9	-2.7
	1440	48.9	50.5	-1.6	49.3	-0.4	51.0	-2.1
2160	54.1	56.8	-2.7	55.2	-1.1	57.3	-3.2	
2880	54.9	61.5	-6.6	59.7	-4.8	62.2	-7.3	
4320	61.0	69.1	-8.1	66.8	-5.8	70.0	-9.0	
$p = 0.03,$ $C = 30$	5	8.9	10.8	-1.9	11.3	-2.4	10.7	-1.8
	10	13.1	13.2	-0.1	13.6	-0.5	13.0	0.1
	20	18.4	16.1	2.3	16.4	2.0	15.9	2.5
	30	20.9	18.0	2.9	18.3	2.6	17.9	3.0
	40	23.6	19.6	4.0	19.8	3.8	19.5	4.1
	50	23.7	20.9	2.8	21.0	2.7	20.8	2.9
	60	24.6	22.0	2.6	22.1	2.5	21.9	2.7
	90	26.0	24.7	1.3	24.7	1.3	24.6	1.4
	120	28.2	26.8	1.4	26.7	1.5	26.7	1.5
	180	31.5	30.1	1.4	29.8	1.7	30.1	1.4
	360	35.5	36.6	-1.1	36.0	-0.5	36.8	-1.3
	720	44.2	44.7	-0.5	43.5	0.7	44.9	-0.7
	1080	49.1	49.9	-0.8	48.6	0.5	50.5	-1.4
	1440	52.5	54.3	-1.8	52.6	-0.1	54.9	-2.4
2160	57.6	61.1	-3.5	58.8	-1.2	61.8	-4.2	
2880	59.2	66.1	-6.9	63.6	-4.4	67.1	-7.9	
4320	64.6	74.4	-9.8	71.0	-6.4	75.5	-10.9	
$p = 0.025,$ $C = 40$	5	9.6	13.2	-3.6	13.9	-4.3	12.8	-3.2
	10	15.0	16.0	-1.0	16.7	-1.7	15.7	-0.7
	20	21.4	19.5	1.9	20.1	1.3	19.3	2.1
	30	24.1	21.9	2.2	22.4	1.7	21.7	2.4
	40	25.8	23.8	2.0	24.2	1.6	23.6	2.2
	50	28.0	25.4	2.6	25.7	2.3	25.2	2.8
	60	28.9	26.8	2.1	26.9	2.0	26.6	2.3
	90	31.4	30.1	1.3	30.0	1.4	29.9	1.5
	120	34.0	32.6	1.4	32.4	1.6	32.5	1.5
	180	35.0	36.7	-1.7	36.1	-1.1	36.6	-1.6
	360	44.6	44.7	-0.1	43.5	1.1	44.9	-0.3
	720	52.2	54.6	-2.4	52.3	-0.1	55.0	-2.8
	1080	57.5	60.9	-3.4	58.3	-0.8	61.9	-4.4
	1440	64.7	66.4	-1.7	63.0	1.7	67.4	-2.7
2160	73.6	74.7	-1.1	70.2	3.4	75.9	-2.3	
2880	75.7	80.7	-5.0	75.8	-0.1	82.5	-6.8	

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 0.02,$ $C = 50$	4320	85.4	90.9	-5.5	84.5	0.9	93.0	-7.6
	5	18.9	22.1	-3.2	24.8	-5.9	21.4	-2.5
	10	27.5	27.0	0.5	29.6	-2.1	26.3	1.2
	20	30.0	32.9	-2.9	35.3	-5.3	32.3	-2.3
	30	32.4	37.0	-4.6	39.1	-6.7	36.5	-4.1
	40	49.2	40.1	9.1	42.1	7.1	39.8	9.4
	50	54.0	43.0	11.0	44.6	9.4	42.5	11.5
	60	54.5	45.3	9.2	46.7	7.8	44.9	9.6
	90	56.3	50.8	5.5	51.8	4.5	50.7	5.6
	120	60.5	55.2	5.3	55.7	4.8	55.2	5.3
	180	62.8	62.1	0.7	61.8	1.0	62.3	0.5
	360	102.4	75.9	26.5	73.8	28.6	76.7	25.7
	720	103.2	92.8	10.4	88.1	15.1	94.4	8.8
	1080	111.6	103.2	8.4	97.8	13.8	106.5	5.1
	1440	126.3	112.8	13.5	105.3	21.0	116.1	10.2
2160	128.7	127.4	1.3	116.8	11.9	131.1	-2.4	
2880	129.0	137.1	-8.1	125.8	3.2	142.9	-13.9	
4320	129.2	155.0	-25.8	139.6	-10.4	161.4	-32.2	

Tab. E.23. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h , mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Jeleniej Górze

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 1.0,$ $C = 1$	5	5.6	6.0	-0.4	6.0	-0.4	6.0	-0.4
	10	7.6	7.5	0.1	7.5	0.1	7.5	0.1
	20	9.7	9.3	0.4	9.3	0.4	9.3	0.4
	30	10.4	10.6	-0.2	10.6	-0.2	10.6	-0.2
	40	11.8	11.6	0.2	11.6	0.2	11.6	0.2
	50	12.2	12.4	-0.2	12.4	-0.2	12.4	-0.2
	60	13.2	13.2	0.0	13.2	0.0	13.2	0.0
	90	14.9	15.0	-0.1	15.0	-0.1	15.0	-0.1
	120	16.5	16.4	0.1	16.4	0.1	16.4	0.1
	180	18.9	18.6	0.3	18.6	0.3	18.6	0.3
	360	23.6	23.2	0.4	23.2	0.4	23.2	0.4
	720	29.5	28.8	0.7	28.9	0.6	28.8	0.7
	1080	33.3	32.8	0.5	32.8	0.5	32.8	0.5
	1440	35.8	35.9	-0.1	35.9	-0.1	35.9	-0.1
	2160	39.7	40.8	-1.1	40.8	-1.1	40.8	-1.1
2880	43.2	44.7	-1.5	44.7	-1.5	44.7	-1.5	
4320	50.0	50.8	-0.8	50.8	-0.8	50.8	-0.8	
$p = 0.5,$ $C = 2$	5	5.6	6.0	-0.4	6	-0.4	6.0	-0.4
	10	7.6	7.5	0.1	7.5	0.1	7.5	0.1
	20	9.9	9.3	0.6	9.4	0.5	9.3	0.6
	30	10.5	10.6	-0.1	10.6	-0.1	10.6	-0.1
	40	12.0	11.6	0.4	11.6	0.4	11.6	0.4

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	50	12.4	12.5	-0.1	12.5	-0.1	12.5	-0.1
	60	13.2	13.2	0.0	13.2	0.0	13.2	0.0
	90	15.1	15.0	0.1	15	0.1	15.0	0.1
	120	16.5	16.4	0.1	16.5	0.0	16.4	0.1
	180	19.1	18.7	0.4	18.7	0.4	18.7	0.4
	360	23.8	23.3	0.5	23.3	0.5	23.3	0.5
	720	29.6	28.9	0.7	29.0	0.6	29.0	0.6
	1080	33.4	32.9	0.5	33.0	0.4	32.9	0.5
	1440	36.0	36.0	0.0	36.1	-0.1	36.0	0.0
	2160	39.9	40.9	-1.0	41.0	-1.1	41.0	-1.1
2880	43.5	44.8	-1.3	44.9	-1.4	44.8	-1.3	
4320	50.4	51.0	-0.6	51.1	-0.7	51.0	-0.6	
$p = 0.2,$ $C = 5$	5	5.6	6.1	-0.5	6.1	-0.5	6.1	-0.5
	10	7.7	7.6	0.1	7.6	0.1	7.6	0.1
	20	10.0	9.5	0.5	9.5	0.5	9.5	0.5
	30	10.8	10.8	0.0	10.8	0.0	10.8	0.0
	40	12.1	11.8	0.3	11.8	0.3	11.8	0.3
	50	12.6	12.7	-0.1	12.7	-0.1	12.7	-0.1
	60	13.4	13.4	0.0	13.5	-0.1	13.4	0.0
	90	15.2	15.2	0.0	15.3	-0.1	15.2	0.0
	120	16.8	16.7	0.1	16.8	0.0	16.7	0.1
	180	19.3	19.0	0.3	19.0	0.3	19.0	0.3
	360	24.4	23.6	0.8	23.7	0.7	23.6	0.8
	720	30.5	29.4	1.1	29.5	1.0	29.4	1.1
	1080	33.8	33.4	0.4	33.5	0.3	33.4	0.4
	1440	36.8	36.6	0.2	36.7	0.1	36.6	0.2
2160	41.0	41.6	-0.6	41.7	-0.7	41.6	-0.6	
2880	44.7	45.6	-0.9	45.7	-1.0	45.6	-0.9	
4320	50.8	51.8	-1.0	52.0	-1.2	51.8	-1.0	
$p = 0.1$ $C = 10$	5	5.9	6.3	-0.4	6.4	-0.5	6.3	-0.4
	10	7.9	7.9	0.0	7.9	0.0	7.9	0.0
	20	10.2	9.8	0.4	9.9	0.3	9.8	0.4
	30	11.7	11.2	0.5	11.2	0.5	11.2	0.5
	40	12.3	12.2	0.1	12.3	0.0	12.2	0.1
	50	13.5	13.1	0.4	13.2	0.3	13.1	0.4
	60	14.4	13.9	0.5	14	0.4	13.9	0.5
	90	15.9	15.8	0.1	15.9	0.0	15.8	0.1
	120	17.6	17.3	0.3	17.4	0.2	17.3	0.3
	180	20.3	19.7	0.6	19.8	0.5	19.7	0.6
	360	25.7	24.5	1.2	24.6	1.1	24.6	1.1
	720	31.7	30.6	1.1	30.7	1.0	30.6	1.1
	1080	34.8	34.8	0.0	34.9	-0.1	34.8	0.0
	1440	37.8	38.1	-0.3	38.2	-0.4	38.1	-0.3
2160	42.6	43.3	-0.7	43.4	-0.8	43.4	-0.8	
2880	45.8	47.5	-1.7	47.5	-1.7	47.5	-1.7	
4320	52.5	54.0	-1.5	54.0	-1.5	54.0	-1.5	
$p = 0.04,$ $C = 25$	5	7.2	7.6	-0.4	7.6	-0.4	7.5	-0.3
	10	9.5	9.4	0.1	9.4	0.1	9.4	0.1
	20	12.6	11.8	0.8	11.8	0.8	11.8	0.8
	30	14.4	13.4	1.0	13.4	1.0	13.4	1.0
	40	15.2	14.7	0.5	14.7	0.5	14.7	0.5
	50	16.3	15.8	0.5	15.7	0.6	15.8	0.5
	60	17.0	16.8	0.2	16.7	0.3	16.7	0.3
	90	19.6	19.1	0.5	19.0	0.6	19.1	0.5
120	20.8	20.9	-0.1	20.8	0.0	20.9	-0.1	

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	180	24.4	23.9	0.5	23.6	0.8	23.8	0.6
	360	30.2	29.7	0.5	29.4	0.8	29.7	0.5
	720	35.3	37.3	-2.0	36.7	-1.4	37.2	-1.9
	1080	41.0	42.4	-1.4	41.7	-0.7	42.3	-1.3
	1440	44.9	46.5	-1.6	45.7	-0.8	46.4	-1.5
	2160	52.5	53.0	-0.5	52.0	0.5	52.9	-0.4
	2880	55.7	58.0	-2.3	57.0	-1.3	58.0	-2.3
4320	64.4	66.1	-1.7	64.8	-0.4	66.1	-1.7	
$p = 0.03,$ $C = 30$	5	7.4	8.2	-0.8	8.2	-0.8	8.2	-0.8
	10	10.2	10.3	-0.1	10.3	-0.1	10.3	-0.1
	20	14.2	12.9	1.3	12.8	1.4	12.8	1.4
	30	16.8	14.7	2.1	14.6	2.2	14.6	2.2
	40	18.2	16.1	2.1	16.0	2.2	16.0	2.2
	50	18.9	17.3	1.6	17.1	1.8	17.2	1.7
	60	19.4	18.3	1.1	18.2	1.2	18.3	1.1
	90	20.7	20.9	-0.2	20.7	0.0	20.8	-0.1
	120	22.3	22.9	-0.6	22.6	-0.3	22.9	-0.6
	180	26.1	26.1	0.0	25.8	0.3	26.1	0.0
	360	32.5	32.6	-0.1	32.1	0.4	32.6	-0.1
	720	37.5	40.9	-3.4	40	-2.5	40.8	-3.3
	1080	42.8	46.6	-3.8	45.5	-2.7	46.4	-3.6
	1440	52.1	51.1	1.0	49.9	2.2	51.0	1.1
2160	55.7	58.2	-2.5	56.8	-1.1	58.1	-2.4	
2880	63.9	63.8	0.1	62.2	1.7	63.7	0.2	
4320	67.6	72.7	-5.1	70.8	-3.2	72.7	-5.1	
$p = 0.025,$ $C = 40$	5	8.6	10.4	-1.8	10.5	-1.9	10.4	-1.8
	10	13.8	13.1	0.7	13.1	0.7	13.0	0.8
	20	19.5	16.4	3.1	16.4	3.1	16.3	3.2
	30	21.4	18.7	2.7	18.6	2.8	18.6	2.8
	40	22.5	20.5	2.0	20.4	2.1	20.5	2.0
	50	23.9	22.1	1.8	21.9	2.0	22.0	1.9
	60	24.7	23.4	1.3	23.3	1.4	23.4	1.3
	90	25.4	26.7	-1.3	26.5	-1.1	26.7	-1.3
	120	28.4	29.3	-0.9	29.0	-0.6	29.3	-0.9
	180	29.6	33.5	-3.9	33.0	-3.4	33.4	-3.8
	360	36.1	41.9	-5.8	41.2	-5.1	41.9	-5.8
	720	49.8	52.9	-3.1	51.4	-1.6	52.6	-2.8
	1080	61.7	60.2	1.5	58.5	3.2	60.0	1.7
	1440	67.2	66.1	1.1	64.2	3.0	65.9	1.3
2160	82.0	75.4	6.6	73.0	9.0	75.3	6.7	
2880	90.2	82.6	7.6	80.1	10.1	82.7	7.5	
4320	98.7	94.4	4.3	91.1	7.6	94.4	4.3	
$p = 0.02,$ $C = 50$	5	12.3	19.2	-6.9	21.1	-8.8	19.4	-7.1
	10	21.4	24.2	-2.8	26.3	-4.9	24.4	-3.0
	20	39.5	30.4	9.1	32.9	6.6	30.8	8.7
	30	48.8	34.9	13.9	37.5	11.3	35.2	13.6
	40	49.0	38.3	10.7	41.1	7.9	38.7	10.3
	50	49.2	41.3	7.9	44.2	5.0	41.7	7.5
	60	49.3	43.8	5.5	46.8	2.5	44.3	5.0
	90	49.4	50.2	-0.8	53.4	-4.0	50.7	-1.3
	120	54.3	55.1	-0.8	58.5	-4.2	55.8	-1.5
	180	68.7	63.2	5.5	66.7	2.0	63.9	4.8
360	92.2	79.1	13.1	83.4	8.8	80.4	11.8	

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	720	117.1	100.7	16.4	104.2	12.9	101.3	15.8
	1080	122.7	114.7	8.0	118.7	4.0	116.0	6.7
	1440	127.1	126.2	0.9	130.3	-3.2	127.6	-0.5
	2160	144.2	144.4	-0.2	148.4	-4.2	146.1	-1.9
	2880	161.2	158.3	2.9	162.8	-1.6	160.7	0.5
4320	180.0	181.2	-1.2	185.5	-5.5	184.0	-4.0	

Tab. E.24. Porównanie maksymalnych przedziałowych wysokości opadów deszczu (h , mm) obliczonych z modeli probabilistycznych na podstawie rozkładów teoretycznych GED, EV3 i P3 z danymi pomiarowymi wybranych częstości (C , lat) występowania opadów dla stacji w Raciborzu

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 1.0,$ $C = 1$	5	4.9	5.6	-0.7	5.6	-0.7	5.6	-0.7
	10	6.8	6.8	0.0	6.8	0.0	6.8	0.0
	20	8.9	8.4	0.5	8.4	0.5	8.4	0.5
	30	9.8	9.4	0.4	9.4	0.4	9.4	0.4
	40	10.6	10.2	0.4	10.2	0.4	10.2	0.4
	50	11.2	10.9	0.3	10.9	0.3	10.9	0.3
	60	11.3	11.5	-0.2	11.5	-0.2	11.5	-0.2
	90	12.9	13.0	-0.1	13.0	-0.1	13.0	-0.1
	120	14.4	14.1	0.3	14.2	0.2	14.1	0.3
	180	16.1	15.9	0.2	16.0	0.1	15.9	0.2
	360	19.5	19.5	0.0	19.6	-0.1	19.5	0.0
	720	23.9	24.0	-0.1	24.0	-0.1	24.0	-0.1
	1080	26.5	27.0	-0.5	27.0	-0.5	27.0	-0.5
	1440	29.4	29.4	0.0	29.4	0.0	29.4	0.0
2160	32.9	33.1	-0.2	33.2	-0.3	33.1	-0.2	
2880	36.7	36.0	0.7	36.1	0.6	36.0	0.7	
4320	38.5	40.6	-2.1	40.7	-2.2	40.6	-2.1	
$p = 0.5,$ $C = 2$	5	4.9	5.6	-0.7	5.6	-0.7	5.6	-0.7
	10	6.9	6.8	0.1	6.8	0.1	6.8	0.1
	20	8.9	8.4	0.5	8.4	0.5	8.4	0.5
	30	10.0	9.4	0.6	9.5	0.5	9.4	0.6
	40	10.6	10.3	0.3	10.3	0.3	10.3	0.3
	50	11.2	11.0	0.2	11.0	0.2	11.0	0.2
	60	11.3	11.6	-0.3	11.6	-0.3	11.6	-0.3
	90	12.9	13.0	-0.1	13.1	-0.2	13.0	-0.1
	120	14.5	14.2	0.3	14.2	0.3	14.2	0.3
	180	16.1	16.0	0.1	16.0	0.1	16.0	0.1
	360	19.6	19.6	0.0	19.6	0.0	19.6	0.0
	720	24.0	24.0	0.0	24.1	-0.1	24.0	0.0
	1080	26.6	27.1	-0.5	27.1	-0.5	27.1	-0.5
	1440	29.8	29.5	0.3	29.5	0.3	29.5	0.3
2160	33.0	33.2	-0.2	33.3	-0.3	33.2	-0.2	
2880	37.1	36.2	0.9	36.2	0.9	36.2	0.9	
4320	38.5	40.7	-2.2	40.8	-2.3	40.7	-2.2	
$p = 0.2,$ $C = 1$	5	5.0	5.6	-0.6	5.7	-0.7	5.6	-0.6
	10	7.0	6.9	0.1	6.9	0.1	6.9	0.1

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p = 0.03$ $C = 30$	20	9.2	8.5	0.7	8.5	0.7	8.5	0.7
	30	10.2	9.6	0.6	9.6	0.6	9.6	0.6
	40	10.7	10.4	0.3	10.4	0.3	10.4	0.3
	50	11.4	11.1	0.3	11.1	0.3	11.1	0.3
	60	11.5	11.7	-0.2	11.8	-0.3	11.7	-0.2
	90	13.3	13.2	0.1	13.2	0.1	13.2	0.1
	120	14.7	14.4	0.3	14.4	0.3	14.4	0.3
	180	16.5	16.2	0.3	16.3	0.2	16.2	0.3
	360	20.2	19.9	0.3	19.9	0.3	19.9	0.3
	720	24.4	24.4	0.0	24.5	-0.1	24.4	0.0
	1080	27.0	27.5	-0.5	27.6	-0.6	27.5	-0.5
	1440	30.7	29.9	0.8	30.0	0.7	29.9	0.8
	2160	33.9	33.7	0.2	33.8	0.1	33.7	0.2
2880	37.5	36.6	0.9	36.8	0.7	36.6	0.9	
4320	39.4	41.3	-1.9	41.5	-2.1	41.3	-1.9	
$p = 0.1$ $C = 10$	5	5.2	5.8	-0.6	5.8	-0.6	5.8	-0.6
	10	7.2	7.2	0.0	7.1	0.1	7.2	0.0
	20	9.4	8.8	0.6	8.8	0.6	8.8	0.6
	30	10.3	9.9	0.4	9.9	0.4	9.9	0.4
	40	10.8	10.8	0.0	10.8	0.0	10.8	0.0
	50	11.6	11.5	0.1	11.5	0.1	11.5	0.1
	60	12.2	12.1	0.1	12.1	0.1	12.1	0.1
	90	14.0	13.6	0.4	13.7	0.3	13.7	0.3
	120	15.1	14.9	0.2	14.9	0.2	14.9	0.2
	180	17.1	16.7	0.4	16.8	0.3	16.7	0.4
	360	21.1	20.5	0.6	20.6	0.5	20.5	0.6
	720	25.3	25.2	0.1	25.3	0.0	25.2	0.1
	1080	27.6	28.4	-0.8	28.5	-0.9	28.3	-0.7
1440	31.7	30.9	0.8	31.0	0.7	30.8	0.9	
2160	35.5	34.7	0.8	34.9	0.6	34.7	0.8	
2880	39.4	37.8	1.6	38.0	1.4	37.8	1.6	
4320	42.4	42.6	-0.2	42.9	-0.5	42.6	-0.2	
$p = 0.04$ $C = 25$	5	6.3	6.8	-0.5	6.7	-0.4	6.8	-0.5
	10	8.2	8.3	-0.1	8.2	0.0	8.4	-0.2
	20	10.8	10.2	0.6	10.1	0.7	10.2	0.6
	30	11.8	11.5	0.3	11.3	0.5	11.5	0.3
	40	12.8	12.5	0.3	12.4	0.4	12.5	0.3
	50	14.0	13.4	0.6	13.2	0.8	13.4	0.6
	60	14.4	14.1	0.3	13.9	0.5	14.1	0.3
	90	15.9	15.9	0.0	15.7	0.2	15.9	0.0
	120	17.1	17.3	-0.2	17.1	0.0	17.3	-0.2
	180	20.1	19.5	0.6	19.3	0.8	19.5	0.6
	360	25.1	23.9	1.2	23.8	1.3	23.9	1.2
	720	28.0	29.3	-1.3	29.2	-1.2	29.2	-1.2
	1080	30.6	33.0	-2.4	33.0	-2.4	32.9	-2.3
1440	37.8	35.9	1.9	35.9	1.9	35.8	2.0	
2160	42.8	40.4	2.4	40.5	2.3	40.3	2.5	
2880	47.8	44.0	3.8	44.2	3.6	43.8	4.0	
4320	57.0	49.5	7.5	49.8	7.2	49.4	7.6	
$p = 0.03$ $C = 30$	5	6.6	7.3	-0.7	7.1	-0.5	7.3	-0.7
	10	8.7	9.0	-0.3	8.7	0.0	9.0	-0.3
	20	12.0	11.0	1.0	10.8	1.2	11.0	1.0
	30	13.2	12.4	0.8	12.1	1.1	12.4	0.8
	40	13.9	13.5	0.4	13.2	0.7	13.5	0.4
	50	14.8	14.4	0.4	14.1	0.7	14.4	0.4

p, C	t	h_{max}	Wysokość opadu modeli probabilistycznych oraz różnice względem opadów rzeczywistych					
			h_{GED} (5.55)	Δh (4-3)	h_{EV3} (5.56)	Δh (5-3)	h_{P3} (5.57)	Δh (5-3)
lata	min	mm						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	60	15.0	15.2	-0.2	14.9	0.1	15.2	-0.2
	90	16.5	17.1	-0.6	16.9	-0.4	17.1	-0.6
	120	17.8	18.6	-0.8	18.4	-0.6	18.6	-0.8
	180	20.5	21.0	-0.5	20.7	-0.2	20.9	-0.4
	360	26.6	25.7	0.9	25.5	1.1	25.6	1.0
	720	28.6	31.5	-2.9	31.4	-2.8	31.4	-2.8
	1080	32.0	35.5	-3.5	35.4	-3.4	35.3	-3.3
	1440	39.3	38.7	0.6	38.6	0.7	38.4	0.9
	2160	46.6	43.4	3.2	43.6	3.0	43.3	3.3
	2880	53.9	47.3	6.6	47.5	6.4	47.1	6.8
4320	59.2	53.2	6.0	53.6	5.6	53.0	6.2	
$p = 0.025,$ $C = 40$	5	8.5	9.0	-0.5	8.6	-0.1	9.1	-0.6
	10	12.4	11.0	1.4	10.6	1.8	11.1	1.3
	20	14.8	13.5	1.3	13.1	1.7	13.6	1.2
	30	15.5	15.2	0.3	14.8	0.7	15.2	0.3
	40	16.4	16.5	-0.1	16.1	0.3	16.6	-0.2
	50	17.2	17.7	-0.5	17.2	0.0	17.7	-0.5
	60	18.7	18.7	0.0	18.2	0.5	18.7	0.0
	90	20.1	21.0	-0.9	20.6	-0.5	21.0	-0.9
	120	22.3	22.8	-0.5	22.5	-0.2	22.8	-0.5
	180	25.4	25.7	-0.3	25.4	0.0	25.7	-0.3
	360	31.6	31.5	0.1	31.3	0.3	31.4	0.2
	720	34.3	38.5	-4.2	38.6	-4.3	38.4	-4.1
	1080	38.6	43.6	-5.0	43.6	-5.0	43.2	-4.6
	1440	45.3	47.4	-2.1	47.5	-2.2	47.0	-1.7
	2160	54.0	53.2	0.8	53.7	0.3	52.9	1.1
2880	62.1	57.9	4.2	58.6	3.5	57.5	4.6	
4320	68.9	65.1	3.8	66.2	2.7	64.7	4.2	
$p = 0.02,$ $C = 50$	5	15.9	15.6	0.3	15.4	0.5	16.0	-0.1
	10	18.1	19.1	-1.0	19.0	-0.9	19.5	-1.4
	20	27.9	23.4	4.5	23.5	4.4	23.8	4.1
	30	30.3	26.4	3.9	26.6	3.7	26.8	3.5
	40	31.7	28.7	3.0	29.1	2.6	29.1	2.6
	50	35.0	30.6	4.4	31.1	3.9	31.1	3.9
	60	36.1	32.3	3.8	32.9	3.2	32.7	3.4
	90	36.9	36.4	0.5	37.3	-0.4	36.8	0.1
	120	39.8	39.5	0.3	40.7	-0.9	40.0	-0.2
	180	41.2	44.6	-3.4	46.1	-4.9	44.9	-3.7
	360	52.6	54.6	-2.0	57.1	-4.5	54.9	-2.3
	720	70.8	66.6	4.2	70.6	0.2	67.0	3.8
	1080	101.0	75.3	25.7	79.9	21.1	75.4	25.6
	1440	130.3	82.0	48.3	87.3	43.0	81.9	48.4
	2160	165.2	91.8	73.4	98.9	66.3	92.1	73.1
2880	183.8	99.9	83.9	108.0	75.8	100.0	83.8	
4320	227.4	112.2	115.2	122.4	105.0	112.4	115.0	

SUPPLEMENT F

Tab. F.1. Zestawienie 50 uśrednionych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla obszaru „Model 1”

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	15.0	20.9	30.9	35.9	42.2	44.5	45.4	49.3	54.7	60.1	70.3	78.5	89.6	102.4	121.3	134.9	154.8
2	13.8	18.9	27.3	31.7	34.8	37.6	38.6	43.4	46.1	50.2	57.6	67.6	78.6	83.9	97.1	112.4	129.8
3	12.4	16.9	24.8	28.9	31.8	33.9	35.1	38.6	41.2	46.1	53.1	63.7	70.2	77.2	88.3	102.4	117.2
4	11.4	15.9	23.2	27.0	28.8	31.8	33.4	36.4	39.4	42.9	48.1	59.3	65.1	71.6	85.3	94.1	105.7
5	10.7	15.6	22.4	25.4	27.1	29.0	31.5	34.9	36.8	40.1	45.8	54.3	61.2	68.7	82.7	88.9	96.4
6	10.3	14.6	21.2	24.6	26.2	28.1	29.6	33.8	35.5	38.8	43.9	51.9	58.1	67.4	77.4	84.0	93.3
7	9.8	14.4	20.2	23.9	25.3	27.2	27.9	30.8	33.6	36.4	42.6	49.3	55.5	65.8	74.4	79.0	89.4
8	9.6	14.1	19.9	23.2	24.9	26.6	27.4	29.8	31.8	35.1	41.0	48.4	54.5	63.8	72.6	76.7	87.0
9	9.4	13.8	19.1	22.0	23.9	25.7	26.3	28.1	30.8	33.8	38.8	46.4	53.2	60.8	70.0	74.8	84.0
10	9.1	13.3	18.5	21.5	22.8	24.4	25.6	27.7	29.7	32.2	37.8	45.2	51.8	58.8	69.1	72.9	80.3
11	9.0	13.0	18.2	21.0	22.2	23.5	24.4	26.5	29.3	31.0	37.1	43.9	50.6	57.0	66.7	71.4	78.2
12	8.8	12.5	17.5	20.2	21.7	23.0	23.8	26.3	28.1	30.0	36.2	43.1	49.1	56.1	64.7	68.8	74.8
13	8.7	12.2	17.2	19.4	21.1	22.4	23.2	25.7	27.4	29.4	35.1	42.2	48.0	54.7	61.4	66.6	73.1
14	8.7	12.0	16.9	19.0	20.3	21.8	22.9	25.1	26.9	29.3	34.4	41.3	47.0	53.3	59.9	65.3	72.0
15	8.5	11.8	16.5	18.6	20.0	21.3	22.4	24.6	26.6	29.0	33.9	40.5	46.1	52.2	59.2	64.4	70.3
16	8.4	11.6	16.2	18.1	19.7	21.0	22.0	23.9	26.1	28.7	33.2	39.8	45.5	51.1	57.5	62.9	69.0
17	8.2	11.5	15.9	17.6	19.2	20.5	21.5	23.6	25.6	28.4	32.7	39.4	44.7	49.5	56.9	61.8	67.6
18	8.1	11.4	15.5	17.3	18.9	20.1	20.9	23.2	24.9	27.7	32.2	38.9	42.7	49.1	55.1	60.1	66.1
19	8.0	11.3	15.1	16.9	18.7	19.8	20.4	22.7	24.4	27.1	31.9	38.4	42.0	48.5	54.5	59.3	64.6
20	7.9	11.0	14.8	16.8	18.4	19.6	20.1	22.3	23.8	26.8	31.4	37.4	41.6	47.9	53.3	58.7	64.1
21	7.9	10.8	14.6	16.5	18.1	19.2	19.9	22.0	23.4	26.5	31.1	36.9	41.0	47.4	52.6	58.0	62.8
22	7.7	10.7	14.4	16.2	17.8	19.0	19.8	21.6	23.1	25.9	30.9	36.6	40.6	46.2	51.7	56.6	62.2
23	7.6	10.6	14.1	15.9	17.2	18.5	19.5	21.0	22.6	25.4	30.6	36.3	40.1	45.7	51.0	56.1	61.5
24	7.5	10.4	14.0	15.7	16.9	18.1	19.3	20.7	22.3	25.3	30.2	35.8	39.7	45.2	50.5	55.4	61.0
25	7.5	10.3	13.7	15.5	16.6	17.6	18.4	20.5	22.1	24.9	29.7	35.4	39.4	44.7	49.9	54.8	60.3
26	7.4	10.1	13.6	15.4	16.4	17.3	18.1	20.3	21.8	24.5	29.5	35.0	39.1	44.3	49.1	54.1	59.5
27	7.4	10.0	13.3	15.1	16.2	17.0	17.9	19.9	21.5	24.0	29.3	34.8	38.6	44.0	48.6	53.6	58.5
28	7.3	9.9	13.2	15.0	15.8	16.7	17.7	19.7	21.1	23.5	29.0	34.4	38.2	43.5	48.0	53.0	57.5
29	7.2	9.8	12.9	14.7	15.4	16.6	17.4	19.3	20.9	23.4	28.6	34.0	37.8	43.3	47.4	52.2	56.5
30	7.1	9.8	12.8	14.5	15.3	16.3	17.2	19.0	20.7	23.1	28.1	33.6	37.4	42.9	46.9	51.7	55.9
31	7.0	9.7	12.7	14.3	15.2	16.1	16.9	18.7	20.5	22.8	27.7	33.2	37.0	42.3	46.6	51.1	55.3
32	6.9	9.6	12.6	14.1	15.0	15.9	16.7	18.5	20.1	22.4	27.4	33.0	36.7	41.7	46.3	50.5	54.6
33	6.8	9.5	12.5	14.0	14.8	15.7	16.4	18.4	19.9	22.2	27.2	32.6	36.2	41.3	45.7	49.7	53.7
34	6.7	9.4	12.3	13.9	14.7	15.6	16.3	18.3	19.7	22.1	26.9	32.4	35.8	40.8	45.3	49.1	53.4
35	6.6	9.3	12.2	13.6	14.6	15.5	16.1	18.1	19.3	21.9	26.7	32.1	35.5	40.5	45.0	48.5	53.0
36	6.6	9.2	12.1	13.4	14.4	15.3	16.0	17.9	19.2	21.6	26.1	31.7	35.2	40.1	44.3	47.8	52.4
37	6.5	9.1	12.0	13.3	14.3	15.1	15.9	17.7	19.0	21.4	26.0	31.5	34.9	39.7	44.0	47.3	52.1
38	6.4	9.0	11.9	13.2	14.2	15.0	15.7	17.4	18.9	21.2	25.8	31.0	34.5	39.2	43.5	47.0	51.6
39	6.3	8.9	11.8	13.0	13.9	14.7	15.6	17.1	18.7	21.0	25.5	30.8	34.3	38.8	43.0	46.6	51.2
40	6.3	8.8	11.7	12.9	13.9	14.6	15.4	16.9	18.5	20.9	25.3	30.8	34.0	38.5	42.6	46.3	50.8
41	6.2	8.7	11.5	12.8	13.7	14.4	15.2	16.8	18.3	20.7	25.2	30.5	33.8	38.1	42.3	45.8	50.5
42	6.1	8.7	11.5	12.6	13.5	14.3	15.0	16.6	18.2	20.3	24.9	30.4	33.6	37.9	42.0	45.1	49.8
43	6.1	8.6	11.4	12.6	13.4	14.1	14.8	16.6	18.1	20.2	24.8	30.2	33.4	37.6	41.7	44.7	49.4
44	6.0	8.6	11.3	12.5	13.3	14.0	14.6	16.5	18.0	20.1	24.5	30.0	33.1	37.2	41.4	44.3	49.1
45	6.0	8.5	11.2	12.4	13.2	13.8	14.5	16.4	17.7	19.9	24.2	29.8	32.8	36.9	41.2	44.0	48.6
46	6.0	8.4	11.1	12.3	13.2	13.8	14.4	16.2	17.6	19.7	24.0	29.4	32.5	36.5	41.0	43.6	47.8
47	5.9	8.4	11.0	12.2	13.0	13.7	14.3	16.1	17.5	19.5	23.8	29.1	32.3	36.2	40.8	43.2	47.6
48	5.9	8.3	10.9	12.1	12.9	13.6	14.2	15.9	17.3	19.4	23.6	28.9	32.1	36.0	40.5	43.0	47.3
49	5.8	8.2	10.8	12.0	12.9	13.5	14.1	15.7	17.2	19.3	23.4	28.6	31.8	35.6	40.1	42.8	47.2
50	5.7	8.1	10.7	11.9	12.7	13.4	14.0	15.7	17.1	19.1	23.2	28.3	31.6	35.5	39.8	42.5	46.7

Tab. F.2. Zestawienie 50 uśrednionych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla obszaru „Model 2”

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	15.5	21.6	30.6	36.0	40.5	42.2	43.1	49.4	56.6	62.8	64.5	69.9	77.0	88.0	103.1	114.8	130.6
2	13.7	19.6	29.2	33.6	36.9	38.1	38.5	44.3	47.4	51.0	57.2	66.3	71.7	77.1	89.3	103.5	118.2
3	13.0	17.7	26.3	30.7	34.2	36.6	37.4	39.8	41.4	45.5	52.5	63.2	67.4	73.6	84.3	97.0	109.6
4	11.5	16.7	25.2	29.2	31.7	34.7	36.6	38.5	39.9	43.6	49.3	58.9	64.7	71.0	81.8	87.9	98.9
5	10.6	16.3	24.8	28.0	29.5	31.7	33.8	37.1	38.9	40.7	46.8	52.2	61.0	68.6	79.2	83.4	89.3
6	10.5	15.1	23.3	26.8	28.3	30.4	32.0	35.6	38.0	39.9	45.4	51.6	58.7	67.8	75.3	78.7	86.0
7	10.1	14.7	22.2	26.0	27.3	29.5	30.3	33.6	35.7	38.9	44.7	49.2	55.6	65.5	74.5	77.6	84.2
8	9.9	14.3	21.9	25.4	26.5	28.9	29.6	32.7	35.1	38.1	42.4	48.5	54.7	62.7	72.7	76.1	80.3
9	9.6	14.1	20.7	24.1	25.7	27.7	28.6	30.7	33.9	36.2	40.3	46.5	53.9	60.2	69.7	74.1	79.7
10	9.5	13.7	19.9	23.6	25.3	26.2	27.5	30.3	32.8	35.0	39.1	45.3	52.1	58.3	68.4	71.3	77.9
11	9.4	13.3	19.5	23.1	24.6	25.8	26.6	29.5	32.3	33.5	38.5	44.3	51.3	56.4	66.1	69.4	75.3
12	9.3	12.9	18.6	21.9	23.9	25.4	26.1	29.1	30.8	32.0	37.6	44.0	50.6	55.7	64.3	68.1	74.3
13	9.2	12.8	18.3	21.1	23.1	24.8	25.5	28.5	30.1	31.6	36.4	43.0	49.1	53.9	60.5	66.2	72.2
14	9.1	12.6	17.9	20.5	22.1	23.8	25.2	27.9	29.6	31.4	35.8	42.5	48.3	52.9	59.2	64.2	70.9
15	8.9	12.6	17.3	19.8	21.6	23.4	24.7	27.4	29.5	31.1	35.2	42.2	47.2	51.4	58.9	63.6	70.1
16	8.8	12.4	17.0	19.1	21.2	23.2	24.3	26.6	28.9	30.8	34.4	41.5	46.4	50.0	56.9	61.5	69.0
17	8.6	12.3	16.6	18.7	20.5	22.5	23.6	26.2	28.1	30.5	33.8	40.8	45.5	49.0	56.1	60.2	68.4
18	8.4	12.2	16.2	18.2	20.1	21.9	22.9	25.8	27.3	29.9	33.2	40.4	44.2	48.9	54.6	59.3	66.6
19	8.3	12.0	15.8	17.8	19.9	21.4	22.1	25.1	26.8	29.5	32.8	39.9	43.4	48.4	54.0	58.5	64.7
20	8.3	11.8	15.6	17.7	19.6	21.1	21.8	24.6	26.0	29.1	32.5	38.8	43.1	47.5	53.2	58.0	64.4
21	8.2	11.5	15.4	17.2	19.0	20.7	21.5	24.3	25.7	28.6	32.2	38.2	42.4	47.0	52.9	57.9	62.7
22	8.1	11.3	15.1	17.0	18.7	20.4	21.3	23.7	25.4	27.6	32.0	37.9	42.0	46.2	52.5	57.2	61.8
23	8.0	11.2	14.8	16.8	18.1	20.1	21.0	22.7	24.7	26.9	31.8	37.6	41.6	45.9	51.6	56.9	60.8
24	7.8	11.0	14.8	16.5	17.8	19.3	20.8	22.4	24.4	27.0	31.3	37.2	41.5	45.7	51.2	56.5	60.3
25	7.8	10.9	14.6	16.4	17.5	18.6	19.6	22.1	24.0	26.5	30.8	36.9	41.3	45.1	50.5	55.9	59.7
26	7.7	10.9	14.5	16.3	17.3	18.4	19.3	21.8	23.5	25.8	30.7	36.5	41.1	44.8	49.3	55.2	58.9
27	7.7	10.7	14.3	16.0	17.0	18.1	19.2	21.2	23.3	25.5	30.5	36.3	40.6	44.4	48.8	54.5	58.4
28	7.6	10.6	14.2	15.8	16.7	17.8	18.9	21.1	22.7	24.8	30.3	35.8	40.1	44.1	48.3	53.4	57.1
29	7.5	10.5	13.8	15.5	16.3	17.7	18.6	20.6	22.3	24.9	30.0	35.6	39.8	43.9	47.7	52.6	56.4
30	7.4	10.5	13.7	15.3	16.2	17.4	18.4	20.4	22.1	24.5	29.6	35.2	39.3	43.8	47.2	52.0	56.1
31	7.3	10.4	13.6	15.2	16.1	17.2	17.9	19.9	21.8	24.2	29.1	34.9	38.8	43.4	47.0	51.4	55.4
32	7.2	10.4	13.4	14.9	15.8	17.0	17.6	19.6	21.3	23.7	28.8	34.7	38.6	42.8	46.8	50.5	54.8
33	7.2	10.2	13.3	14.8	15.7	16.7	17.4	19.5	21.0	23.4	28.7	34.2	37.8	42.3	46.4	49.7	54.1
34	7.1	10.1	13.1	14.8	15.6	16.5	17.2	19.3	20.7	23.4	28.4	33.9	37.3	41.8	46.0	49.4	53.7
35	6.9	10.0	13.1	14.6	15.5	16.4	17.1	19.0	20.2	23.2	28.2	33.6	37.2	41.4	45.6	48.7	53.4
36	6.9	9.9	12.9	14.4	15.3	16.2	17.0	18.8	20.1	22.8	27.5	33.0	37.0	41.3	44.8	47.7	53.1
37	6.8	9.7	12.8	14.2	15.2	15.9	16.8	18.4	19.8	22.4	27.2	32.8	36.5	41.0	44.7	47.1	52.7
38	6.7	9.6	12.7	14.0	15.0	15.8	16.6	18.1	19.7	22.2	27.0	32.4	36.0	40.5	43.9	46.8	52.1
39	6.6	9.6	12.6	13.9	14.8	15.5	16.3	17.8	19.5	21.8	26.6	32.2	35.8	40.1	43.6	46.6	51.4
40	6.6	9.4	12.5	13.8	14.7	15.4	16.2	17.5	19.4	21.7	26.4	32.2	35.4	39.9	43.3	46.5	50.9
41	6.6	9.3	12.4	13.7	14.6	15.2	16.0	17.3	19.2	21.4	26.2	31.8	35.3	39.3	42.9	46.2	50.6
42	6.4	9.3	12.3	13.4	14.4	15.1	15.8	17.2	19.1	21.0	25.9	31.6	35.2	39.1	42.6	45.2	49.3
43	6.4	9.2	12.2	13.4	14.3	15.0	15.6	17.2	19.0	20.9	25.8	31.5	35.0	38.7	42.6	44.8	49.0
44	6.4	9.1	12.1	13.3	14.2	14.8	15.5	17.1	18.7	20.8	25.6	31.2	34.5	38.1	42.2	44.3	48.4
45	6.3	9.1	12.1	13.2	14.1	14.6	15.3	17.0	18.6	20.6	25.2	31.0	34.2	37.8	42.0	44.0	48.0
46	6.3	9.0	11.9	13.1	14.0	14.6	15.2	16.9	18.5	20.4	25.0	30.5	33.9	37.2	41.8	43.6	47.4
47	6.3	8.9	11.7	13.1	13.7	14.5	15.2	16.8	18.4	20.2	24.9	30.1	33.5	37.0	41.6	43.3	47.2
48	6.1	8.8	11.6	13.0	13.6	14.3	15.1	16.5	18.2	20.0	24.5	29.9	33.3	36.9	41.4	43.2	46.7
49	6.0	8.7	11.6	12.8	13.5	14.3	14.9	16.4	18.0	19.8	24.2	29.5	33.0	36.4	40.9	43.1	46.6
50	5.9	8.6	11.5	12.8	13.4	14.2	14.8	16.3	17.7	19.6	24.1	29.3	32.5	36.2	40.7	42.9	46.1

Tab. F.3. Zestawienie 50 uśrednionych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla obszaru „Model 3”

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	14.5	20.1	31.1	35.9	44.0	46.9	47.8	49.2	52.7	57.5	76.1	87.1	102.2	116.9	139.5	155.0	179.0
2	14.0	18.2	25.5	29.8	32.8	37.2	38.7	42.4	44.9	49.5	58.0	69.0	85.5	90.7	104.9	121.3	141.5
3	11.8	16.0	23.2	27.1	29.4	31.2	32.7	37.3	41.0	46.6	53.7	64.2	73.0	80.7	92.3	107.8	124.9
4	11.4	15.2	21.2	24.9	26.0	28.9	30.1	34.3	38.9	42.2	47.0	59.8	65.5	72.2	88.8	100.3	112.4
5	10.7	15.0	20.0	22.7	24.7	26.3	29.1	32.7	34.8	39.6	44.9	56.4	61.3	68.9	86.1	94.4	103.4
6	10.1	14.1	19.0	22.4	24.1	25.8	27.1	31.9	33.0	37.8	42.3	52.1	57.6	67.1	79.6	89.4	100.6
7	9.5	14.0	18.1	21.9	23.3	25.0	25.6	28.1	31.6	33.9	40.6	49.4	55.4	66.1	74.3	80.4	94.7
8	9.3	13.9	17.9	21.0	23.2	24.4	25.1	27.0	28.5	32.2	39.7	48.3	54.4	64.9	72.6	77.3	93.6
9	9.2	13.5	17.6	19.9	22.2	23.7	24.1	25.4	27.8	31.4	37.3	46.3	52.5	61.4	70.3	75.4	88.4
10	8.8	13.0	17.2	19.3	20.3	22.7	23.7	25.0	26.7	29.4	36.5	45.2	51.6	59.3	69.8	74.6	82.7
11	8.6	12.6	16.9	18.8	19.8	21.2	22.3	23.6	26.3	28.5	35.7	43.5	49.9	57.6	67.3	73.3	81.2
12	8.4	12.2	16.4	18.5	19.4	20.6	21.6	23.5	25.3	28.0	34.7	42.2	47.6	56.5	65.1	69.5	75.3
13	8.3	11.7	16.1	17.8	19.1	20.0	21.0	22.9	24.7	27.3	33.8	41.4	46.8	55.6	62.3	67.0	74.1
14	8.2	11.3	15.8	17.6	18.6	19.8	20.6	22.3	24.3	27.2	33.1	40.1	45.7	53.8	60.7	66.5	73.1
15	8.1	11.0	15.6	17.4	18.3	19.1	20.0	21.9	23.8	26.9	32.7	38.9	45.0	53.0	59.5	65.2	70.5
16	8.1	10.8	15.4	17.1	18.1	18.8	19.7	21.3	23.3	26.6	32.1	38.2	44.5	52.1	58.0	64.3	68.9
17	7.9	10.7	15.2	16.6	17.9	18.5	19.4	21.0	23.1	26.4	31.5	38.0	43.9	50.0	57.7	63.4	66.8
18	7.7	10.6	14.7	16.4	17.8	18.3	18.9	20.5	22.4	25.4	31.3	37.5	41.3	49.4	55.7	60.9	65.7
19	7.6	10.5	14.3	15.9	17.5	18.3	18.7	20.4	22.0	24.8	31.0	36.9	40.6	48.6	54.9	60.0	64.5
20	7.5	10.2	13.9	15.8	17.3	18.1	18.4	20.0	21.6	24.5	30.3	36.0	40.1	48.3	53.5	59.3	63.8
21	7.5	10.1	13.8	15.7	17.2	17.8	18.3	19.7	21.2	24.4	30.1	35.7	39.6	47.7	52.2	58.1	62.9
22	7.3	10.1	13.6	15.4	16.8	17.7	18.3	19.4	20.8	24.3	29.8	35.2	39.3	46.1	50.9	56.1	62.6
23	7.2	10.0	13.5	15.0	16.3	17.0	17.9	19.2	20.4	24.0	29.4	35.1	38.5	45.4	50.3	55.2	62.3
24	7.2	9.9	13.2	15.0	16.0	16.8	17.7	19.0	20.3	23.6	29.0	34.4	38.0	44.7	49.9	54.3	61.7
25	7.2	9.6	12.9	14.6	15.7	16.6	17.3	19.0	20.1	23.4	28.7	33.9	37.4	44.4	49.3	53.8	61.0
26	7.1	9.3	12.7	14.5	15.5	16.2	16.9	18.8	20.0	23.2	28.2	33.5	37.1	43.9	49.0	53.1	60.1
27	7.1	9.3	12.3	14.3	15.4	16.0	16.6	18.6	19.7	22.5	28.1	33.4	36.7	43.6	48.4	52.8	58.6
28	7.0	9.2	12.1	14.1	14.9	15.7	16.5	18.3	19.5	22.2	27.7	33.0	36.3	42.9	47.8	52.5	58.0
29	6.9	9.1	12.0	13.8	14.6	15.5	16.2	18.0	19.4	21.9	27.2	32.4	35.8	42.8	47.1	51.8	56.7
30	6.7	9.1	12.0	13.7	14.4	15.2	16.0	17.7	19.3	21.7	26.6	31.9	35.5	41.9	46.6	51.3	55.6
31	6.6	9.0	11.8	13.5	14.3	15.0	15.9	17.6	19.2	21.5	26.3	31.5	35.2	41.2	46.2	50.9	55.1
32	6.5	8.9	11.7	13.3	14.1	14.9	15.7	17.4	18.9	21.2	26.0	31.3	34.8	40.7	45.7	50.5	54.4
33	6.5	8.8	11.6	13.2	14.0	14.7	15.5	17.4	18.8	21.0	25.8	30.9	34.6	40.3	45.1	49.7	53.3
34	6.4	8.7	11.5	12.9	13.8	14.6	15.4	17.3	18.6	20.8	25.5	30.8	34.2	39.9	44.5	48.8	53.0
35	6.4	8.6	11.4	12.7	13.7	14.5	15.2	17.2	18.5	20.7	25.2	30.6	33.9	39.6	44.3	48.2	52.5
36	6.2	8.6	11.4	12.5	13.6	14.5	15.1	17.0	18.3	20.5	24.8	30.3	33.5	38.9	43.8	47.9	51.7
37	6.1	8.4	11.3	12.4	13.4	14.3	15.0	16.9	18.2	20.4	24.8	30.2	33.4	38.4	43.3	47.5	51.4
38	6.0	8.4	11.1	12.3	13.3	14.2	14.8	16.6	18.1	20.3	24.7	29.6	33.0	38.0	43.0	47.3	51.1
39	6.0	8.3	11.0	12.2	13.1	13.9	14.8	16.5	17.9	20.2	24.4	29.5	32.8	37.5	42.4	46.6	51.0
40	5.9	8.2	10.9	12.1	13.0	13.8	14.6	16.3	17.6	20.1	24.3	29.4	32.6	37.1	41.9	46.2	50.8
41	5.9	8.2	10.7	12.0	12.7	13.6	14.5	16.3	17.4	20.0	24.1	29.2	32.3	36.9	41.7	45.3	50.5
42	5.9	8.1	10.7	11.9	12.6	13.5	14.2	16.1	17.3	19.7	24.0	29.1	31.9	36.7	41.4	45.1	50.2
43	5.8	8.1	10.5	11.8	12.5	13.3	14.0	16.0	17.3	19.5	23.9	29.0	31.8	36.6	40.9	44.7	49.9
44	5.7	8.0	10.5	11.7	12.5	13.2	13.8	15.9	17.2	19.3	23.5	28.9	31.7	36.2	40.7	44.2	49.8
45	5.7	7.9	10.4	11.6	12.4	13.0	13.8	15.7	16.9	19.1	23.3	28.7	31.4	36.0	40.3	43.9	49.1
46	5.7	7.9	10.3	11.5	12.4	13.0	13.5	15.5	16.7	19.1	23.1	28.4	31.2	35.7	40.2	43.5	48.3
47	5.6	7.8	10.2	11.4	12.3	12.9	13.5	15.3	16.6	18.9	22.8	28.1	31.1	35.4	40.0	43.0	48.0
48	5.6	7.8	10.1	11.3	12.2	12.8	13.4	15.2	16.5	18.8	22.6	27.9	30.9	35.1	39.6	42.8	47.8
49	5.6	7.7	10.0	11.2	12.2	12.8	13.3	15.1	16.5	18.8	22.5	27.7	30.7	34.9	39.2	42.6	47.8
50	5.5	7.7	9.9	11.1	12.0	12.7	13.3	15.0	16.4	18.6	22.4	27.4	30.6	34.7	39.0	42.1	47.3

Tab. F.4. Estymatory parametrów analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla „Model 1”

t, min	GED			EV3			P3		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
5	1.0926	0.4745	5.695	1.0743	2.2883	5.696	1.0968	2.0317	5.695
10	0.953	0.3207	8.099	1.0015	3.0248	8.099	0.9613	3.1446	8.099
20	0.8462	0.1982	10.699	0.9248	4.3718	10.699	0.8555	5.2868	10.699
30	0.8001	0.1613	11.899	0.8931	5.0878	11.899	0.8102	6.6070	11.899
40	0.7974	0.1457	12.699	0.8869	5.5936	12.699	0.8066	7.3286	12.699
50	0.7643	0.1307	13.399	0.8670	5.9956	13.399	0.7744	8.2712	13.399
60	0.7779	0.1269	13.999	0.8796	6.2986	13.999	0.7882	8.4687	13.999
90	0.6980	0.1102	15.699	0.8291	6.5572	15.699	0.7088	10.0807	15.699
120	0.7642	0.1106	17.099	0.8650	7.0642	17.099	0.7738	9.7717	17.099
180	0.8062	0.1057	19.099	0.8950	7.8045	19.099	0.8150	10.0696	19.099
360	0.8525	0.0978	23.199	0.9294	8.9198	23.199	0.8604	10.7010	23.199
720	0.8718	0.0876	28.299	0.9387	10.1514	28.299	0.8788	11.8721	28.299
1080	0.7997	0.0733	31.599	0.8907	11.1591	31.599	0.8085	14.5494	31.599
1440	0.7969	0.0631	35.499	0.9000	13.0404	35.499	0.8073	16.9068	35.499
2160	0.7644	0.0529	39.799	0.8640	14.7526	39.799	0.7737	20.4288	39.799
2880	0.7593	0.0461	42.499	0.8657	16.8963	42.499	0.7690	23.4818	42.499
4320	0.7542	0.0410	46.699	0.8547	18.7394	46.699	0.7627	26.4984	46.699

Tab. F.5. Estymatory parametrów analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla „Model 2”

t, min	GED			EV3			P3		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
5	1.3484	0.5077	5.872	1.1702	2.4820	5.8880	1.3203	1.7914	5.8750
10	1.0719	0.3320	8.595	1.0714	3.2291	8.5940	1.0150	3.0965	8.5990
20	0.8084	0.1838	11.499	0.8998	4.5136	11.4990	0.8186	5.7792	11.4990
30	0.6843	0.1384	12.799	0.8159	5.1017	12.7990	0.6953	8.0694	12.7990
40	0.7982	0.1345	13.399	0.8941	6.1012	13.3990	0.8088	7.9293	13.3990
50	0.7437	0.1185	14.199	0.8600	6.4860	14.1990	0.7554	9.1883	14.1990
60	0.7844	0.1177	14.799	0.8924	6.8988	14.7990	0.7965	9.0985	14.7990
90	0.7738	0.1045	16.299	0.8867	7.6844	16.2990	0.7861	10.2955	16.2990
120	0.8475	0.1041	17.699	0.9332	8.3756	17.6990	0.8582	10.0472	17.6990
180	0.8588	0.0992	19.599	0.9459	8.9292	19.5990	0.8695	10.5058	19.5990
360	0.8839	0.0991	24.099	0.9674	9.1977	24.0990	0.8946	10.4171	24.0990
720	0.9358	0.0937	29.299	1.0279	10.3446	29.2940	0.9459	10.8160	29.2990
1080	0.9559	0.0836	32.499	1.0578	11.8958	32.4840	1.0477	11.1096	32.4880
1440	0.8906	0.0726	36.199	0.9761	12.6617	36.1990	0.9022	14.1659	36.1990
2160	0.7760	0.0589	40.699	0.8802	13.5596	40.6990	0.7869	18.2486	40.6990
2880	0.7473	0.0500	42.899	0.8702	15.5481	42.8990	0.7591	21.7506	42.8990
4320	0.8348	0.0469	46.099	0.9298	18.4093	46.0990	0.8453	22.4483	46.0990

Tab. F.6. Estymatory parametrów analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla „Model 3”

t, min	GED			EV3			P3		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
5	0.9050	0.4441	5.499	0.9683	2.0833	5.499	0.9138	2.3101	5.499
10	0.7310	0.2894	7.699	0.8541	2.6179	7.699	0.7424	3.7837	7.699
20	0.8680	0.2118	9.899	0.9400	4.1927	9.899	0.8765	4.9114	9.899
30	0.8260	0.1706	11.099	0.9106	4.8076	11.099	0.8351	6.0004	11.099
40	0.7795	0.1565	11.999	0.8682	5.0590	11.999	0.7872	6.8790	11.999
50	0.7305	0.1399	12.699	0.8343	5.2909	12.699	0.7389	7.8369	12.699
60	0.6711	0.1271	13.299	0.8020	5.3995	13.299	0.6807	8.8332	13.299
90	0.7841	0.1350	14.999	0.8655	5.8609	14.999	0.7902	7.9661	14.999
120	0.7148	0.1206	16.399	0.8177	5.9475	16.399	0.7228	9.1407	16.399
180	0.7445	0.1122	18.599	0.8382	6.6788	18.599	0.7520	9.7193	18.599
360	0.7701	0.0931	22.399	0.8648	8.4172	22.399	0.7777	11.6021	22.399
720	0.7854	0.0806	27.399	0.8666	9.8307	27.399	0.7918	13.3248	27.399
1080	0.6824	0.0642	30.599	0.7944	10.6142	30.599	0.6908	17.3776	30.599
1440	0.7514	0.0565	34.699	0.8568	13.6001	34.699	0.7606	19.2300	34.699
2160	0.7292	0.0472	38.999	0.8341	15.6714	38.999	0.7377	23.2533	38.999
2880	0.7598	0.0425	42.099	0.8553	18.1627	42.099	0.7675	25.5427	42.099
4320	0.6801	0.0358	47.299	0.7902	18.8622	47.299	0.7015	30.0000	47.299

Tab. F.7. Wartości kryterium informacyjnego $HQIC$ analizowanych rozkładów prawdopodobieństwa dla obszarów „Model 1”, „Model 2”, „Model 3”

t, min	Model 1			Model 2			Model 3		
	GED	P3	EV3	GED	P3	EV3	GED	P3	EV3
5	181.30	181.28	181.10	185.32	185.26	185.06	175.78	175.82	176.02
10	211.94	211.96	212.00	215.90	215.90	215.68	201.20	201.38	202.64
20	251.40	251.46	251.80	255.30	255.38	255.88	246.72	246.76	247.04
30	267.48	267.58	268.10	268.60	268.80	270.42	261.34	261.40	261.82
40	277.36	277.42	277.86	285.52	285.62	286.18	268.22	268.24	268.56
50	284.62	284.72	285.40	292.06	292.24	293.30	273.60	273.62	274.14
60	289.08	289.18	289.86	297.44	297.58	298.40	274.96	275.06	276.56
90	293.36	293.54	295.10	308.22	308.40	309.34	283.40	283.36	283.50
120	301.22	301.30	301.90	315.94	316.02	316.44	286.26	286.24	286.54
180	310.34	310.40	310.84	321.84	321.92	322.34	297.32	297.30	297.50
360	322.56	322.60	322.92	324.10	324.16	324.50	319.06	319.06	319.52
720	335.28	335.30	335.54	333.78	333.82	333.92	335.08	335.04	335.18
1080	346.22	346.26	346.74	346.66	346.76	346.62	344.68	344.66	345.12
1440	361.02	361.12	361.84	355.74	355.82	356.14	366.86	366.92	367.64
2160	374.96	375.02	375.60	365.64	365.74	366.48	382.14	382.16	382.70
2880	388.14	388.22	388.98	378.82	379.00	380.24	396.40	396.40	396.80
4320	399.28	399.32	399.86	394.62	394.70	395.26	402.64	402.62	402.88

Tab. F.8. Zestawienie 50 teoretycznych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla modelu probabilistycznego „Model 1”

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	19.5	23.7	28.8	32.3	35.1	37.4	39.3	44.1	47.9	53.7	65.3	79.5	89.2	96.7	108.5	117.7	132.0
2	17.0	20.7	25.2	28.3	30.7	32.7	34.4	38.6	41.9	47.0	57.2	69.7	78.2	84.8	95.2	103.3	115.9
3	15.6	19.0	23.1	25.9	28.1	30.0	31.6	35.4	38.4	43.1	52.6	64.0	71.8	78.0	87.5	95.0	106.6
4	14.6	17.8	21.6	24.3	26.3	28.1	29.6	33.2	36.0	40.4	49.3	60.1	67.4	73.2	82.1	89.2	100.1
5	13.8	16.8	20.5	23.0	25.0	26.6	28.0	31.5	34.2	38.4	46.8	57.0	64.0	69.5	78.0	84.7	95.1
6	13.2	16.1	19.6	22.0	23.9	25.5	26.8	30.1	32.7	36.7	44.7	54.6	61.3	66.5	74.7	81.1	91.1
7	12.7	15.4	18.8	21.1	23.0	24.5	25.8	29.0	31.4	35.3	43.0	52.5	59.0	64.0	71.9	78.1	87.7
8	12.2	14.9	18.2	20.4	22.2	23.6	24.9	28.0	30.4	34.1	41.6	50.7	57.0	61.9	69.5	75.5	84.8
9	11.8	14.4	17.6	19.8	21.5	22.9	24.1	27.1	29.4	33.0	40.3	49.2	55.2	60.0	67.4	73.2	82.2
10	11.5	14.0	17.1	19.2	20.8	22.2	23.4	26.3	28.6	32.1	39.2	47.8	53.7	58.3	65.5	71.2	79.9
11	11.2	13.6	16.6	18.7	20.3	21.6	22.8	25.6	27.8	31.3	38.1	46.5	52.3	56.8	63.8	69.3	77.9
12	10.9	13.3	16.2	18.2	19.8	21.1	22.2	25.0	27.1	30.5	37.2	45.4	51.0	55.4	62.3	67.7	76.1
13	10.6	13.0	15.8	17.8	19.3	20.6	21.7	24.4	26.5	29.8	36.4	44.4	49.9	54.2	60.9	66.2	74.4
14	10.4	12.7	15.5	17.4	18.9	20.1	21.2	23.9	25.9	29.1	35.6	43.4	48.8	53.1	59.6	64.8	72.8
15	10.2	12.4	15.2	17.0	18.5	19.7	20.8	23.4	25.4	28.5	34.9	42.6	47.9	52.0	58.4	63.5	71.4
16	10.0	12.2	14.8	16.7	18.1	19.3	20.4	22.9	24.9	28.0	34.2	41.8	46.9	51.0	57.3	62.3	70.0
17	9.8	11.9	14.6	16.4	17.8	19.0	20.0	22.5	24.4	27.5	33.6	41.0	46.1	50.1	56.3	61.2	68.8
18	9.6	11.7	14.3	16.1	17.5	18.6	19.6	22.1	24.0	27.0	33.0	40.3	45.3	49.2	55.3	60.1	67.6
19	9.4	11.5	14.1	15.8	17.2	18.3	19.3	21.7	23.6	26.5	32.4	39.6	44.5	48.4	54.4	59.2	66.5
20	9.3	11.3	13.8	15.5	16.9	18.0	19.0	21.4	23.2	26.1	31.9	39.0	43.8	47.6	53.6	58.2	65.5
21	9.1	11.1	13.6	15.3	16.6	17.7	18.7	21.0	22.8	25.7	31.4	38.4	43.2	46.9	52.8	57.4	64.5
22	9.0	11.0	13.4	15.1	16.4	17.5	18.4	20.7	22.5	25.3	30.9	37.8	42.5	46.2	52.0	56.5	63.6
23	8.8	10.8	13.2	14.8	16.1	17.2	18.1	20.4	22.2	24.9	30.5	37.3	41.9	45.6	51.3	55.7	62.7
24	8.7	10.6	13.0	14.6	15.9	17.0	17.9	20.1	21.9	24.6	30.1	36.8	41.4	45.0	50.6	55.0	61.8
25	8.6	10.5	12.8	14.4	15.7	16.7	17.6	19.8	21.6	24.3	29.7	36.3	40.8	44.4	49.9	54.3	61.0
26	8.5	10.3	12.6	14.2	15.5	16.5	17.4	19.6	21.3	23.9	29.3	35.8	40.3	43.8	49.3	53.6	60.3
27	8.3	10.2	12.5	14.0	15.3	16.3	17.2	19.3	21.0	23.6	28.9	35.4	39.8	43.3	48.7	52.9	59.5
28	8.2	10.1	12.3	13.9	15.1	16.1	17.0	19.1	20.7	23.3	28.6	34.9	39.3	42.7	48.1	52.3	58.8
29	8.1	9.9	12.2	13.7	14.9	15.9	16.7	18.8	20.5	23.1	28.2	34.5	38.8	42.2	47.5	51.7	58.2
30	8.0	9.8	12.0	13.5	14.7	15.7	16.6	18.6	20.3	22.8	27.9	34.1	38.4	41.8	47.0	51.1	57.5
31	7.9	9.7	11.9	13.4	14.5	15.5	16.4	18.4	20.0	22.5	27.6	33.7	38.0	41.3	46.5	50.5	56.9
32	7.8	9.6	11.7	13.2	14.4	15.3	16.2	18.2	19.8	22.3	27.3	33.4	37.6	40.9	46.0	50.0	56.3
33	7.8	9.5	11.6	13.1	14.2	15.2	16.0	18.0	19.6	22.0	27.0	33.0	37.2	40.4	45.5	49.5	55.7
34	7.7	9.4	11.5	12.9	14.1	15.0	15.8	17.8	19.4	21.8	26.7	32.7	36.8	40.0	45.1	49.0	55.2
35	7.6	9.3	11.4	12.8	13.9	14.9	15.7	17.6	19.2	21.6	26.4	32.4	36.4	39.6	44.6	48.5	54.6
36	7.5	9.2	11.3	12.7	13.8	14.7	15.5	17.5	19.0	21.4	26.2	32.1	36.1	39.3	44.2	48.1	54.1
37	7.4	9.1	11.1	12.5	13.6	14.6	15.4	17.3	18.8	21.2	25.9	31.8	35.8	38.9	43.8	47.6	53.6
38	7.4	9.0	11.0	12.4	13.5	14.4	15.2	17.1	18.6	21.0	25.7	31.5	35.4	38.5	43.4	47.2	53.1
39	7.3	8.9	10.9	12.3	13.4	14.3	15.1	17.0	18.5	20.8	25.5	31.2	35.1	38.2	43.0	46.8	52.7
40	7.2	8.8	10.8	12.2	13.3	14.2	14.9	16.8	18.3	20.6	25.2	30.9	34.8	37.9	42.6	46.4	52.2
41	7.2	8.8	10.7	12.1	13.1	14.0	14.8	16.7	18.1	20.4	25.0	30.7	34.5	37.5	42.3	46.0	51.8
42	7.1	8.7	10.6	12.0	13.0	13.9	14.7	16.5	18.0	20.3	24.8	30.4	34.2	37.2	41.9	45.6	51.4
43	7.0	8.6	10.5	11.9	12.9	13.8	14.6	16.4	17.8	20.1	24.6	30.2	34.0	36.9	41.6	45.3	51.0
44	7.0	8.5	10.5	11.8	12.8	13.7	14.4	16.3	17.7	19.9	24.4	29.9	33.7	36.7	41.3	44.9	50.6
45	6.9	8.5	10.4	11.7	12.7	13.6	14.3	16.1	17.6	19.8	24.2	29.7	33.4	36.4	41.0	44.6	50.2
46	6.9	8.4	10.3	11.6	12.6	13.5	14.2	16.0	17.4	19.6	24.1	29.5	33.2	36.1	40.7	44.3	49.9
47	6.8	8.3	10.2	11.5	12.5	13.4	14.1	15.9	17.3	19.5	23.9	29.3	33.0	35.9	40.4	44.0	49.5
48	6.8	8.3	10.1	11.4	12.4	13.3	14.0	15.8	17.2	19.4	23.7	29.1	32.8	35.6	40.1	43.7	49.2
49	6.7	8.2	10.1	11.4	12.4	13.2	13.9	15.7	17.1	19.2	23.6	28.9	32.5	35.4	39.9	43.4	48.9
50	6.7	8.2	10.0	11.3	12.3	13.1	13.8	15.6	17.0	19.1	23.4	28.7	32.4	35.2	39.7	43.2	48.6

Tab. F.9. Zestawienie 50 teoretycznych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla modelu probabilistycznego „Model 3”

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	18.1	22.4	27.6	31.2	34.1	36.4	38.5	43.5	47.5	53.7	66.3	81.8	92.4	100.9	114.0	124.4	140.7
2	15.7	19.4	23.9	27.1	29.5	31.6	33.4	37.7	41.2	46.6	57.4	70.9	80.1	87.4	98.8	107.9	121.9
3	14.3	17.7	21.8	24.7	26.9	28.8	30.5	34.4	37.6	42.5	52.4	64.7	73.1	79.8	90.2	98.4	111.3
4	13.4	16.5	20.4	23.0	25.1	26.9	28.4	32.1	35.1	39.7	48.9	60.4	68.2	74.5	84.2	91.9	103.9
5	12.7	15.6	19.3	21.8	23.8	25.4	26.9	30.4	33.2	37.5	46.3	57.1	64.5	70.4	79.6	86.8	98.2
6	12.1	14.9	18.4	20.8	22.7	24.3	25.6	29.0	31.6	35.7	44.1	54.4	61.5	67.1	75.9	82.8	93.6
7	11.6	14.3	17.6	19.9	21.7	23.3	24.6	27.8	30.3	34.3	42.3	52.2	59.0	64.4	72.8	79.5	89.8
8	11.2	13.8	17.0	19.2	21.0	22.4	23.7	26.8	29.2	33.1	40.8	50.3	56.9	62.1	70.2	76.6	86.6
9	10.8	13.3	16.4	18.6	20.3	21.7	22.9	25.9	28.3	32.0	39.4	48.7	55.0	60.0	67.9	74.1	83.7
10	10.5	12.9	15.9	18.0	19.7	21.0	22.2	25.1	27.4	31.0	38.3	47.2	53.4	58.2	65.8	71.8	81.2
11	10.2	12.6	15.5	17.5	19.1	20.5	21.6	24.4	26.7	30.2	37.2	45.9	51.9	56.6	64.0	69.9	79.0
12	9.9	12.2	15.1	17.1	18.6	19.9	21.1	23.8	26.0	29.4	36.2	44.7	50.6	55.2	62.4	68.1	76.9
13	9.7	11.9	14.7	16.7	18.2	19.4	20.6	23.2	25.4	28.7	35.4	43.6	49.3	53.8	60.9	66.4	75.1
14	9.5	11.7	14.4	16.3	17.8	19.0	20.1	22.7	24.8	28.0	34.6	42.6	48.2	52.6	59.5	64.9	73.4
15	9.3	11.4	14.1	15.9	17.4	18.6	19.7	22.2	24.3	27.4	33.8	41.7	47.2	51.5	58.2	63.5	71.8
16	9.1	11.2	13.8	15.6	17.0	18.2	19.3	21.8	23.8	26.9	33.1	40.9	46.2	50.4	57.0	62.2	70.4
17	8.9	11.0	13.5	15.3	16.7	17.9	18.9	21.4	23.3	26.4	32.5	40.1	45.4	49.5	55.9	61.0	69.0
18	8.7	10.8	13.3	15.0	16.4	17.5	18.5	21.0	22.9	25.9	31.9	39.4	44.5	48.6	54.9	59.9	67.8
19	8.6	10.6	13.1	14.8	16.1	17.2	18.2	20.6	22.5	25.4	31.4	38.7	43.7	47.7	54.0	58.9	66.6
20	8.4	10.4	12.8	14.5	15.8	17.0	17.9	20.3	22.1	25.0	30.8	38.0	43.0	46.9	53.1	57.9	65.5
21	8.3	10.2	12.6	14.3	15.6	16.7	17.6	19.9	21.7	24.6	30.3	37.4	42.3	46.2	52.2	57.0	64.4
22	8.2	10.1	12.4	14.1	15.3	16.4	17.4	19.6	21.4	24.2	29.9	36.9	41.7	45.5	51.4	56.1	63.4
23	8.1	9.9	12.3	13.9	15.1	16.2	17.1	19.3	21.1	23.9	29.4	36.3	41.0	44.8	50.6	55.3	62.5
24	7.9	9.8	12.1	13.7	14.9	15.9	16.9	19.1	20.8	23.5	29.0	35.8	40.5	44.1	49.9	54.5	61.6
25	7.8	9.7	11.9	13.5	14.7	15.7	16.6	18.8	20.5	23.2	28.6	35.3	39.9	43.5	49.2	53.7	60.7
26	7.7	9.5	11.8	13.3	14.5	15.5	16.4	18.5	20.2	22.9	28.2	34.8	39.4	43.0	48.6	53.0	59.9
27	7.6	9.4	11.6	13.1	14.3	15.3	16.2	18.3	20.0	22.6	27.9	34.4	38.9	42.4	48.0	52.3	59.2
28	7.5	9.3	11.5	13.0	14.1	15.1	16.0	18.1	19.7	22.3	27.5	34.0	38.4	41.9	47.4	51.7	58.4
29	7.4	9.2	11.3	12.8	14.0	14.9	15.8	17.9	19.5	22.0	27.2	33.5	37.9	41.4	46.8	51.1	57.7
30	7.4	9.1	11.2	12.7	13.8	14.8	15.6	17.7	19.3	21.8	26.9	33.2	37.5	40.9	46.2	50.5	57.1
31	7.3	9.0	11.1	12.5	13.7	14.6	15.4	17.5	19.0	21.5	26.6	32.8	37.1	40.4	45.7	49.9	56.4
32	7.2	8.9	10.9	12.4	13.5	14.5	15.3	17.3	18.8	21.3	26.3	32.4	36.7	40.0	45.2	49.3	55.8
33	7.1	8.8	10.8	12.2	13.4	14.3	15.1	17.1	18.6	21.1	26.0	32.1	36.3	39.6	44.8	48.8	55.2
34	7.0	8.7	10.7	12.1	13.2	14.2	15.0	16.9	18.5	20.9	25.7	31.8	35.9	39.2	44.3	48.3	54.6
35	7.0	8.6	10.6	12.0	13.1	14.0	14.8	16.7	18.3	20.7	25.5	31.4	35.5	38.8	43.9	47.8	54.1
36	6.9	8.5	10.5	11.9	13.0	13.9	14.7	16.6	18.1	20.5	25.2	31.1	35.2	38.4	43.4	47.4	53.6
37	6.8	8.4	10.4	11.8	12.8	13.7	14.5	16.4	17.9	20.3	25.0	30.8	34.9	38.1	43.0	46.9	53.1
38	6.8	8.4	10.3	11.7	12.7	13.6	14.4	16.3	17.8	20.1	24.8	30.6	34.6	37.7	42.6	46.5	52.6
39	6.7	8.3	10.2	11.6	12.6	13.5	14.3	16.1	17.6	19.9	24.6	30.3	34.3	37.4	42.3	46.1	52.1
40	6.7	8.2	10.1	11.5	12.5	13.4	14.2	16.0	17.5	19.7	24.4	30.0	34.0	37.1	41.9	45.7	51.7
41	6.6	8.2	10.1	11.4	12.4	13.3	14.0	15.9	17.3	19.6	24.2	29.8	33.7	36.8	41.6	45.4	51.3
42	6.6	8.1	10.0	11.3	12.3	13.2	13.9	15.7	17.2	19.4	24.0	29.6	33.4	36.5	41.2	45.0	50.9
43	6.5	8.0	9.9	11.2	12.2	13.1	13.8	15.6	17.0	19.3	23.8	29.3	33.2	36.2	40.9	44.7	50.5
44	6.5	8.0	9.8	11.1	12.1	13.0	13.7	15.5	16.9	19.1	23.6	29.1	32.9	35.9	40.6	44.3	50.1
45	6.4	7.9	9.8	11.0	12.0	12.9	13.6	15.4	16.8	19.0	23.4	28.9	32.7	35.7	40.3	44.0	49.8
46	6.4	7.9	9.7	11.0	12.0	12.8	13.5	15.3	16.7	18.9	23.3	28.7	32.5	35.4	40.1	43.7	49.4
47	6.3	7.8	9.6	10.9	11.9	12.7	13.4	15.2	16.6	18.8	23.1	28.5	32.3	35.2	39.8	43.4	49.1
48	6.3	7.8	9.6	10.8	11.8	12.6	13.4	15.1	16.5	18.6	23.0	28.4	32.1	35.0	39.6	43.2	48.8
49	6.3	7.7	9.5	10.8	11.8	12.6	13.3	15.0	16.4	18.5	22.9	28.2	31.9	34.8	39.4	42.9	48.5
50	6.2	7.7	9.5	10.7	11.7	12.5	13.2	14.9	16.3	18.4	22.8	28.1	31.7	34.6	39.2	42.7	48.3

Tab. F.10. Zestawienie 50 teoretycznych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla pierwszego modelu probabilistycznego „Model 2.1”

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	20.1	24.4	29.5	33.0	35.8	38.0	40.1	44.7	48.4	54.2	65.8	79.9	89.6	97.0	107.9	116.6	131.5
2	17.7	21.5	26.0	29.2	31.6	33.6	35.4	39.5	42.8	47.9	58.2	70.7	79.3	85.8	95.6	103.3	116.4
3	16.4	19.8	24.0	26.9	29.2	31.0	32.6	36.5	39.5	44.3	53.7	65.3	73.2	79.3	88.4	95.5	107.7
4	15.4	18.6	22.6	25.3	27.5	29.1	30.7	34.3	37.2	41.7	50.6	61.5	69.0	74.7	83.3	90.0	101.4
5	14.6	17.7	21.5	24.1	26.1	27.7	29.2	32.7	35.4	39.7	48.1	58.6	65.7	71.1	79.3	85.8	96.6
6	14.0	17.0	20.6	23.1	25.0	26.6	28.0	31.3	33.9	38.0	46.2	56.1	63.0	68.2	76.1	82.3	92.7
7	13.5	16.3	19.8	22.2	24.1	25.6	27.0	30.2	32.7	36.6	44.5	54.1	60.7	65.7	73.3	79.3	89.4
8	13.0	15.8	19.2	21.5	23.3	24.7	26.1	29.2	31.6	35.4	43.0	52.4	58.7	63.6	71.0	76.8	86.5
9	12.6	15.3	18.6	20.8	22.6	24.0	25.3	28.3	30.7	34.4	41.8	50.8	57.0	61.7	68.9	74.6	84.0
10	12.3	14.9	18.1	20.2	22.0	23.3	24.6	27.5	29.8	33.4	40.6	49.4	55.4	60.1	67.1	72.6	81.7
11	11.9	14.5	17.6	19.7	21.4	22.7	24.0	26.8	29.1	32.6	39.6	48.2	54.0	58.6	65.4	70.8	79.7
12	11.6	14.1	17.2	19.2	20.9	22.2	23.4	26.2	28.4	31.8	38.7	47.0	52.8	57.2	63.9	69.1	77.8
13	11.4	13.8	16.8	18.8	20.4	21.7	22.9	25.6	27.7	31.1	37.8	46.0	51.6	55.9	62.5	67.6	76.1
14	11.1	13.5	16.4	18.4	20.0	21.2	22.4	25.0	27.1	30.4	37.0	45.0	50.5	54.8	61.2	66.3	74.6
15	10.9	13.2	16.1	18.0	19.6	20.8	21.9	24.5	26.6	29.8	36.3	44.1	49.5	53.7	60.0	65.0	73.1
16	10.7	13.0	15.8	17.7	19.2	20.4	21.5	24.1	26.1	29.3	35.6	43.3	48.6	52.7	58.9	63.8	71.7
17	10.5	12.7	15.5	17.3	18.8	20.0	21.1	23.6	25.6	28.7	34.9	42.5	47.7	51.7	57.8	62.6	70.5
18	10.3	12.5	15.2	17.0	18.5	19.7	20.7	23.2	25.2	28.2	34.3	41.8	46.9	50.8	56.8	61.6	69.3
19	10.1	12.3	14.9	16.7	18.2	19.3	20.4	22.8	24.7	27.7	33.7	41.1	46.1	50.0	55.9	60.6	68.1
20	9.9	12.1	14.7	16.5	17.9	19.0	20.0	22.4	24.3	27.3	33.2	40.4	45.4	49.2	55.0	59.6	67.1
21	9.8	11.9	14.5	16.2	17.6	18.7	19.7	22.1	24.0	26.9	32.7	39.8	44.7	48.4	54.2	58.7	66.0
22	9.6	11.7	14.2	16.0	17.3	18.4	19.4	21.8	23.6	26.5	32.2	39.2	44.0	47.7	53.4	57.9	65.1
23	9.5	11.5	14.0	15.7	17.1	18.2	19.1	21.4	23.3	26.1	31.7	38.7	43.4	47.0	52.6	57.0	64.2
24	9.3	11.4	13.8	15.5	16.8	17.9	18.9	21.1	22.9	25.7	31.3	38.1	42.8	46.4	51.9	56.3	63.3
25	9.2	11.2	13.6	15.3	16.6	17.7	18.6	20.8	22.6	25.4	30.9	37.6	42.2	45.8	51.2	55.5	62.4
26	9.1	11.1	13.4	15.1	16.4	17.4	18.3	20.6	22.3	25.0	30.5	37.1	41.6	45.2	50.6	54.8	61.6
27	9.0	10.9	13.3	14.9	16.2	17.2	18.1	20.3	22.0	24.7	30.1	36.6	41.1	44.6	49.9	54.1	60.9
28	8.8	10.8	13.1	14.7	15.9	17.0	17.9	20.0	21.7	24.4	29.7	36.2	40.6	44.0	49.3	53.5	60.1
29	8.7	10.6	12.9	14.5	15.7	16.8	17.7	19.8	21.5	24.1	29.3	35.7	40.1	43.5	48.8	52.9	59.4
30	8.6	10.5	12.8	14.3	15.6	16.6	17.4	19.6	21.2	23.8	29.0	35.3	39.6	43.0	48.2	52.3	58.7
31	8.5	10.4	12.6	14.2	15.4	16.4	17.2	19.3	21.0	23.5	28.7	34.9	39.2	42.5	47.6	51.7	58.1
32	8.4	10.3	12.5	14.0	15.2	16.2	17.0	19.1	20.7	23.3	28.3	34.5	38.8	42.1	47.1	51.1	57.5
33	8.3	10.1	12.3	13.8	15.0	16.0	16.9	18.9	20.5	23.0	28.0	34.2	38.3	41.6	46.6	50.6	56.8
34	8.2	10.0	12.2	13.7	14.9	15.8	16.7	18.7	20.3	22.8	27.7	33.8	37.9	41.2	46.1	50.1	56.3
35	8.1	9.9	12.1	13.5	14.7	15.7	16.5	18.5	20.1	22.5	27.5	33.5	37.5	40.7	45.7	49.5	55.7
36	8.1	9.8	11.9	13.4	14.6	15.5	16.3	18.3	19.9	22.3	27.2	33.1	37.2	40.3	45.2	49.1	55.1
37	8.0	9.7	11.8	13.3	14.4	15.3	16.2	18.1	19.7	22.1	26.9	32.8	36.8	39.9	44.8	48.6	54.6
38	7.9	9.6	11.7	13.1	14.3	15.2	16.0	18.0	19.5	21.9	26.6	32.5	36.5	39.6	44.4	48.1	54.1
39	7.8	9.5	11.6	13.0	14.1	15.0	15.8	17.8	19.3	21.7	26.4	32.2	36.1	39.2	44.0	47.7	53.6
40	7.7	9.4	11.5	12.9	14.0	14.9	15.7	17.6	19.1	21.5	26.2	31.9	35.8	38.8	43.6	47.3	53.1
41	7.7	9.3	11.4	12.8	13.9	14.8	15.6	17.5	19.0	21.3	25.9	31.6	35.5	38.5	43.2	46.9	52.7
42	7.6	9.3	11.3	12.7	13.7	14.6	15.4	17.3	18.8	21.1	25.7	31.3	35.2	38.2	42.8	46.5	52.2
43	7.5	9.2	11.2	12.5	13.6	14.5	15.3	17.2	18.6	20.9	25.5	31.1	34.9	37.9	42.5	46.1	51.8
44	7.5	9.1	11.1	12.4	13.5	14.4	15.2	17.0	18.5	20.7	25.3	30.8	34.6	37.6	42.1	45.7	51.4
45	7.4	9.0	11.0	12.3	13.4	14.3	15.0	16.9	18.3	20.6	25.1	30.6	34.3	37.3	41.8	45.4	51.0
46	7.3	8.9	10.9	12.2	13.3	14.2	14.9	16.7	18.2	20.4	24.9	30.3	34.1	37.0	41.5	45.1	50.6
47	7.3	8.9	10.8	12.1	13.2	14.1	14.8	16.6	18.0	20.3	24.7	30.1	33.8	36.7	41.2	44.7	50.2
48	7.2	8.8	10.7	12.1	13.1	14.0	14.7	16.5	17.9	20.1	24.5	29.9	33.6	36.5	40.9	44.4	49.9
49	7.2	8.7	10.7	12.0	13.0	13.9	14.6	16.4	17.8	20.0	24.4	29.7	33.4	36.2	40.7	44.2	49.6
50	7.1	8.7	10.6	11.9	12.9	13.8	14.5	16.3	17.7	19.9	24.2	29.5	33.2	36.0	40.4	43.9	49.3

Tab. F.11. Zestawienie 50 teoretycznych wysokości maksymalnych opadów deszczu o czasie trwania t od 5 do 4320 minut, dla drugiego modelu probabilistycznego „Model 2.2”

N	Przedziałowe wysokości opadów maksymalnych h [mm], dla czasów trwania opadu t [min]																
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	14.6	20.0	31.0	39.5	44.2	46.4	47.7	50.1	51.8	54.9	61.6	72.0	80.4	88.5	102.4	115.2	133.3
2	13.2	17.9	27.3	34.5	38.5	40.4	41.6	43.9	45.5	48.5	54.8	64.2	71.7	78.9	91.0	102.2	117.9
3	12.4	16.7	25.1	31.5	35.1	36.9	38.1	40.3	41.9	44.7	50.8	59.7	66.7	73.3	84.4	94.5	109.0
4	11.9	15.8	23.6	29.4	32.8	34.5	35.6	37.7	39.3	42.1	48.0	56.5	63.1	69.3	79.7	89.1	102.6
5	11.4	15.2	22.4	27.8	30.9	32.6	33.6	35.7	37.3	40.0	45.8	54.0	60.3	66.2	76.1	85.0	97.7
6	11.1	14.6	21.4	26.5	29.4	31.0	32.0	34.1	35.7	38.3	44.0	51.9	58.1	63.7	73.1	81.6	93.7
7	10.8	14.2	20.6	25.4	28.2	29.7	30.7	32.8	34.3	36.9	42.5	50.2	56.2	61.6	70.6	78.7	90.3
8	10.5	13.8	19.9	24.4	27.1	28.6	29.5	31.6	33.1	35.7	41.2	48.7	54.5	59.8	68.5	76.2	87.3
9	10.3	13.4	19.2	23.6	26.1	27.6	28.5	30.6	32.1	34.6	40.0	47.4	53.1	58.1	66.6	74.0	84.8
10	10.1	13.1	18.7	22.8	25.3	26.7	27.6	29.6	31.1	33.7	39.0	46.3	51.8	56.7	64.9	72.0	82.5
11	9.9	12.9	18.2	22.1	24.5	25.9	26.8	28.8	30.3	32.8	38.1	45.2	50.6	55.4	63.3	70.3	80.4
12	9.7	12.6	17.7	21.5	23.8	25.1	26.1	28.0	29.5	32.0	37.2	44.3	49.5	54.2	61.9	68.7	78.5
13	9.6	12.4	17.3	20.9	23.2	24.4	25.4	27.3	28.8	31.3	36.4	43.4	48.6	53.1	60.7	67.2	76.7
14	9.4	12.2	16.9	20.4	22.6	23.8	24.7	26.7	28.2	30.6	35.7	42.6	47.7	52.1	59.5	65.8	75.1
15	9.3	12.0	16.5	19.9	22.0	23.2	24.1	26.1	27.6	30.0	35.1	41.8	46.8	51.2	58.4	64.6	73.6
16	9.2	11.8	16.2	19.5	21.5	22.7	23.6	25.5	27.0	29.4	34.4	41.1	46.0	50.3	57.3	63.4	72.2
17	9.0	11.6	15.9	19.0	21.0	22.2	23.1	25.0	26.5	28.9	33.9	40.5	45.3	49.5	56.4	62.3	70.9
18	8.9	11.4	15.6	18.6	20.5	21.7	22.6	24.5	26.0	28.4	33.3	39.8	44.6	48.7	55.5	61.2	69.7
19	8.8	11.3	15.3	18.2	20.1	21.3	22.1	24.0	25.5	27.9	32.8	39.2	44.0	48.0	54.6	60.2	68.6
20	8.7	11.1	15.0	17.9	19.7	20.8	21.7	23.6	25.1	27.4	32.3	38.7	43.4	47.3	53.8	59.3	67.5
21	8.6	11.0	14.8	17.5	19.3	20.4	21.3	23.2	24.6	27.0	31.8	38.2	42.8	46.7	53.0	58.4	66.4
22	8.6	10.8	14.5	17.2	18.9	20.1	20.9	22.8	24.2	26.6	31.4	37.7	42.2	46.1	52.3	57.6	65.4
23	8.5	10.7	14.3	16.9	18.6	19.7	20.5	22.4	23.9	26.2	31.0	37.2	41.7	45.5	51.6	56.8	64.5
24	8.4	10.6	14.1	16.6	18.3	19.3	20.2	22.1	23.5	25.8	30.6	36.7	41.2	44.9	51.0	56.0	63.6
25	8.3	10.5	13.9	16.3	17.9	19.0	19.8	21.7	23.2	25.5	30.2	36.3	40.7	44.4	50.3	55.3	62.7
26	8.2	10.4	13.7	16.1	17.6	18.7	19.5	21.4	22.8	25.1	29.8	35.9	40.2	43.9	49.7	54.6	61.9
27	8.2	10.3	13.5	15.8	17.3	18.4	19.2	21.1	22.5	24.8	29.5	35.5	39.8	43.4	49.1	53.9	61.1
28	8.1	10.2	13.3	15.6	17.1	18.1	18.9	20.8	22.2	24.5	29.1	35.1	39.4	42.9	48.6	53.3	60.4
29	8.0	10.1	13.1	15.3	16.8	17.8	18.6	20.5	21.9	24.2	28.8	34.7	39.0	42.5	48.1	52.7	59.7
30	8.0	10.0	13.0	15.1	16.5	17.5	18.3	20.2	21.6	23.9	28.5	34.4	38.6	42.0	47.5	52.1	59.0
31	7.9	9.9	12.8	14.9	16.3	17.3	18.1	19.9	21.3	23.6	28.2	34.1	38.2	41.6	47.0	51.5	58.3
32	7.9	9.8	12.6	14.7	16.0	17.0	17.8	19.7	21.1	23.3	27.9	33.7	37.8	41.2	46.6	51.0	57.6
33	7.8	9.7	12.5	14.5	15.8	16.8	17.6	19.4	20.8	23.1	27.6	33.4	37.5	40.8	46.1	50.4	57.0
34	7.7	9.6	12.3	14.3	15.6	16.6	17.3	19.2	20.6	22.8	27.4	33.1	37.1	40.4	45.7	49.9	56.4
35	7.7	9.6	12.2	14.1	15.4	16.3	17.1	18.9	20.3	22.6	27.1	32.8	36.8	40.1	45.2	49.4	55.8
36	7.6	9.5	12.1	13.9	15.2	16.1	16.9	18.7	20.1	22.4	26.9	32.5	36.5	39.7	44.8	49.0	55.3
37	7.6	9.4	11.9	13.7	15.0	15.9	16.7	18.5	19.9	22.1	26.6	32.3	36.2	39.4	44.4	48.5	54.7
38	7.6	9.3	11.8	13.5	14.8	15.7	16.5	18.3	19.7	21.9	26.4	32.0	35.9	39.0	44.0	48.1	54.2
39	7.5	9.3	11.7	13.4	14.6	15.5	16.3	18.1	19.5	21.7	26.2	31.7	35.6	38.7	43.7	47.6	53.7
40	7.5	9.2	11.6	13.2	14.4	15.3	16.1	17.9	19.3	21.5	26.0	31.5	35.3	38.4	43.3	47.2	53.2
41	7.4	9.1	11.4	13.1	14.2	15.1	15.9	17.7	19.1	21.3	25.7	31.3	35.1	38.1	43.0	46.8	52.7
42	7.4	9.1	11.3	12.9	14.1	15.0	15.7	17.5	18.9	21.1	25.5	31.0	34.8	37.9	42.6	46.4	52.3
43	7.3	9.0	11.2	12.8	13.9	14.8	15.5	17.3	18.7	20.9	25.3	30.8	34.6	37.6	42.3	46.1	51.9
44	7.3	9.0	11.1	12.6	13.7	14.6	15.4	17.2	18.6	20.8	25.2	30.6	34.3	37.3	42.0	45.7	51.4
45	7.3	8.9	11.0	12.5	13.6	14.5	15.2	17.0	18.4	20.6	25.0	30.4	34.1	37.1	41.7	45.4	51.0
46	7.2	8.9	10.9	12.4	13.4	14.3	15.1	16.8	18.2	20.4	24.8	30.2	33.9	36.8	41.4	45.0	50.6
47	7.2	8.8	10.8	12.2	13.3	14.2	14.9	16.7	18.1	20.3	24.6	30.0	33.7	36.6	41.1	44.7	50.3
48	7.2	8.8	10.8	12.1	13.2	14.0	14.8	16.6	18.0	20.1	24.5	29.8	33.5	36.4	40.9	44.4	49.9
49	7.1	8.7	10.7	12.0	13.1	13.9	14.7	16.4	17.8	20.0	24.3	29.7	33.3	36.2	40.6	44.1	49.6
50	7.1	8.7	10.6	11.9	12.9	13.8	14.5	16.3	17.7	19.9	24.2	29.5	33.1	36.0	40.4	43.9	49.3

Tab. F.12. Porównanie wybranych wysokości opadów deszczu (h, mm) obliczonych z modeli probabilistycznych z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C, lat) dla stacji Modelu 2 (M 2.1 i 2.2) i Modelem 1 (M 1). Wzory modeli podano w nawiasach.

C, lata	t, min	Zielona Góra (5.58)		Wrocław (5.49)		Legnica (5.52)		Opole (5.61)		M 2.1, M 2.2 (5.81, 5.82)		M 1 (5.80)
		h _{max}	h _{GED}	h _{max}	h _{GED}	h _{max}	h _{GED}	h _{max}	h _{GED}	h ¹ _{GED}	h ² _{GED}	h _{EV3}
C = 1	5	5.6	7.2	6.4	7.4	5.8	6.9	5.9	7.1	7.1	7.1	6.7
	10	8.5	8.7	8.9	9.1	8.3	8.5	8.8	8.6	8.7	8.7	8.2
	20	11.6	10.5	12.0	11.2	11.3	10.4	11.1	10.4	10.6	10.6	10.0
	30	12.5	11.7	13.8	12.6	12.5	11.7	12.2	11.6	11.9	11.9	11.3
	40	13.3	12.7	14.4	13.7	13.0	12.7	13.0	12.6	12.9	12.9	12.3
	50	13.9	13.5	15.3	14.6	13.7	13.6	13.8	13.4	13.8	13.8	13.1
	60	14.8	14.2	15.5	15.4	14.2	14.3	14.6	14.1	14.5	14.5	13.8
	90	16.3	15.8	16.6	17.4	16.5	16.1	15.9	15.8	16.3	16.3	15.6
	120	17.8	17.1	17.9	18.9	18.2	17.6	17.0	17.1	17.7	17.7	17.0
	180	19.2	19.1	20.3	21.3	20.0	19.8	18.9	19.2	19.9	19.9	19.1
	360	23.1	23.1	26.2	26.1	23.9	24.3	23.3	23.3	24.2	24.2	23.4
	720	28.1	28.0	32.0	32.0	28.6	29.7	28.3	28.2	29.5	29.5	28.7
	1080	30.9	31.3	36.5	36.1	32.4	33.5	30.2	31.6	33.2	33.1	32.4
	1440	32.3	33.8	39.9	39.2	37.4	36.5	35.3	34.2	36.0	36.0	35.2
2160	36.9	37.8	45.2	44.2	42.0	41.1	38.7	38.3	40.4	40.4	39.7	
2880	39.2	40.9	48.1	48.1	43.4	44.7	40.8	41.5	43.9	43.9	43.2	
4320	44.1	45.7	49.0	54.2	47.7	50.4	43.7	46.5	49.3	49.3	48.6	
C = 2	5	5.7	7.2	6.5	7.5	5.8	6.9	6.0	7.1	7.2	7.1	6.7
	10	8.5	8.7	8.9	9.2	8.3	8.5	8.9	8.6	8.7	8.7	8.2
	20	11.8	10.5	12.1	11.2	11.3	10.4	11.2	10.5	10.7	10.7	10.1
	30	12.6	11.8	13.9	12.7	12.5	11.7	12.3	11.7	12.0	12.0	11.4
	40	13.3	12.7	14.5	13.8	13.1	12.8	13.1	12.7	13.0	13.1	12.4
	50	13.9	13.5	15.4	14.7	14.1	13.6	13.8	13.5	13.9	13.9	13.2
	60	15.1	14.2	15.6	15.5	14.4	14.4	14.6	14.2	14.6	14.7	13.9
	90	16.3	15.9	16.7	17.5	16.5	16.2	16.0	15.9	16.4	16.4	15.7
	120	17.8	17.2	18.6	19.0	18.3	17.7	17.2	17.2	17.8	17.8	17.1
	180	19.3	19.2	20.4	21.4	20.2	19.9	19.1	19.3	20.0	20.0	19.2
	360	23.2	23.3	26.3	26.3	24.0	24.4	23.4	23.4	24.4	24.3	23.6
	720	28.2	28.1	32.5	32.2	28.7	29.9	28.5	28.4	29.7	29.7	28.9
	1080	30.9	31.4	37.5	36.3	32.6	33.7	30.9	31.8	33.4	33.3	32.5
	1440	32.7	34.0	40.1	39.5	37.5	36.7	35.4	34.4	36.2	36.2	35.4
2160	37.0	38.0	45.3	44.5	42.2	41.3	39.2	38.5	40.7	40.6	39.9	
2880	39.6	41.1	48.1	48.5	43.7	45.0	40.9	41.7	44.2	44.1	43.4	
4320	44.2	45.9	49.5	54.6	48.4	50.6	44.1	46.7	49.6	49.6	48.9	
C = 5	5	5.9	7.4	6.7	7.6	6.2	7.1	6.4	7.3	7.3	7.2	6.9
	10	9.0	8.9	9.2	9.3	8.5	8.7	9.2	8.8	8.9	8.9	8.4
	20	12.0	10.7	12.5	11.4	11.6	10.6	11.3	10.7	10.9	10.9	10.3
	30	12.9	12.0	14.3	12.9	12.9	12.0	12.4	12.0	12.2	12.4	11.6
	40	13.7	13.0	15.0	14.0	13.6	13.0	13.6	13.0	13.3	13.4	12.6
	50	14.3	13.8	15.8	15.0	14.3	13.9	14.0	13.8	14.2	14.3	13.5
	60	15.3	14.5	15.9	15.8	14.9	14.7	14.8	14.5	14.9	15.1	14.2
	90	16.5	16.2	16.9	17.8	17.4	16.6	16.8	16.2	16.7	16.8	16.0
	120	18.2	17.5	18.8	19.4	19.6	18.0	17.4	17.6	18.2	18.2	17.4
	180	19.6	19.6	21.5	21.9	20.6	20.3	19.7	19.7	20.4	20.4	19.6
	360	23.4	23.7	27.9	26.8	24.7	24.9	24.1	23.8	24.9	24.8	24.1
	720	29.3	28.6	33.9	32.9	29.2	30.5	29.5	28.9	30.3	30.2	29.5
	1080	32.3	32.0	38.7	37.1	33.2	34.3	31.4	32.4	34.1	33.9	33.2
	1440	33.6	34.6	40.4	40.4	38.5	37.3	36.2	35.1	37.0	36.8	36.1
2160	37.8	38.7	46.4	45.5	43.2	42.1	39.8	39.2	41.5	41.4	40.7	
2880	40.1	41.9	48.6	49.6	44.8	45.8	41.0	42.5	45.1	45.0	44.3	
4320	45.5	46.8	50.0	55.9	48.9	51.6	45.0	47.6	50.6	50.6	49.9	
C = 10	5	6.2	7.6	6.8	7.8	6.6	7.4	6.7	7.6	7.7	7.4	7.2
	10	9.0	9.2	9.7	9.6	9.0	9.1	9.6	9.2	9.3	9.1	8.8
	20	12.4	11.2	13.2	11.8	12.1	11.1	11.8	11.2	11.4	11.4	10.7

C, lata	t, min	Zielona Góra (5.58)		Wrocław (5.49)		Legnica (5.52)		Opole (5.61)		M 2.1, M 2.2 (5.81, 5.82)		M 1 (5.80)
		h _{max}	h _{GED}	h _{max}	h _{GED}	h _{max}	h _{GED}	h _{max}	h _{GED}	h ¹ _{GED}	h ² _{GED}	h _{EV3}
C = 25	5	7.1	8.9	7.9	8.8	7.6	8.9	8.2	9.3	9.1	8.2	8.5
	10	10.5	10.8	11.0	10.8	10.9	10.8	11.3	11.2	11.1	10.4	10.3
	20	13.7	13.0	15.8	13.3	14.4	13.2	14.2	13.6	13.4	13.7	12.6
	30	15.6	14.5	17.7	15.1	15.9	14.9	15.9	15.1	15.1	16.1	14.2
	40	16.3	15.7	18.7	16.4	17.5	16.1	16.6	16.4	16.4	17.6	15.5
	50	17.5	16.7	19.8	17.6	18.2	17.2	18.2	17.4	17.4	18.7	16.5
	60	18.4	17.5	19.9	18.6	19.9	18.1	19.0	18.3	18.3	19.5	17.4
	90	19.6	19.5	23.8	21.0	21.4	20.4	22.4	20.4	20.6	21.4	19.6
	120	22.2	21.1	25.6	22.9	22.6	22.1	23.7	22.0	22.3	22.8	21.3
	180	24.4	23.6	27.3	25.8	25.9	24.9	25.4	24.6	25.0	25.1	23.9
	360	27.6	28.5	34.9	31.9	30.5	30.4	29.8	29.7	30.5	29.8	29.3
	720	35.3	34.4	40.1	39.3	35.6	37.1	35.0	35.8	37.1	35.9	35.8
	1080	39.4	38.4	45.3	44.4	41.1	41.7	38.7	40.1	41.6	40.2	40.3
1440	40.5	41.4	48.3	48.4	47.9	45.3	42.4	43.3	45.2	43.9	43.8	
2160	45.1	46.3	53.9	54.7	51.4	50.9	46.6	48.3	50.6	49.7	49.3	
2880	51.0	50.1	60.4	59.8	55.9	55.3	53.5	52.2	54.8	54.6	53.6	
4320	56.6	55.9	62.7	67.6	59.3	62.1	56.9	58.4	61.6	61.9	60.3	
C = 30	5	7.7	9.6	8.2	9.2	8.2	9.6	8.7	10.2	9.8	8.6	9.1
	10	10.8	11.5	11.6	11.4	11.4	11.7	12.0	12.3	11.9	11.0	11.1
	20	14.5	13.9	16.6	14.1	15.9	14.3	14.4	14.8	14.5	14.8	13.6
	30	16.1	15.5	18.8	15.9	17.6	16.0	16.4	16.5	16.2	17.5	15.3
	40	17.8	16.8	20.6	17.3	19.1	17.4	18.6	17.8	17.6	19.3	16.6
	50	18.9	17.8	23.8	18.5	19.8	18.5	20.1	18.9	18.7	20.4	17.7
	60	19.6	18.7	24.5	19.6	21.0	19.5	20.7	19.8	19.7	21.3	18.7
	90	21.1	20.9	27.9	22.2	23.0	22.0	25.2	22.2	22.1	23.2	21.0
	120	23.6	22.6	29.3	24.2	24.5	23.8	25.4	23.9	24.0	24.6	22.8
	180	25.1	25.2	32.1	27.3	28.2	26.8	29.1	26.7	26.9	27.0	25.7
	360	28.5	30.4	36.1	33.8	31.6	32.6	32.7	32.1	32.7	31.8	31.4
	720	36.4	36.6	41.3	41.7	37.9	39.8	37.0	38.7	39.8	38.2	38.4
	1080	40.5	40.9	47.1	47.1	42.3	44.7	39.6	43.3	44.7	42.8	43.2
1440	42.8	44.1	51.2	51.4	49.5	48.5	44.5	46.8	48.4	46.7	46.9	
2160	50.0	49.4	57.0	58.2	55.6	54.5	49.1	52.2	54.2	53.0	52.8	
2880	55.0	53.4	61.1	63.6	59.3	59.2	56.1	56.3	58.7	58.4	57.4	
4320	59.4	59.6	66.7	72.0	63.2	66.4	61.6	63.0	66.0	66.4	64.5	
C = 40	5	8.8	11.5	9.2	10.6	9.8	11.9	9.8	12.9	11.9	9.9	11.2
	10	12.2	13.9	13.6	13.1	13.3	14.5	14.1	15.5	14.5	12.9	13.6
	20	17.2	16.7	21.4	16.2	20.0	17.6	19.5	18.6	17.6	18.2	16.6
	30	19.5	18.6	25.7	18.4	23.8	19.7	23.5	20.8	19.7	22.1	18.7
	40	21.1	20.1	27.3	20.1	24.3	21.3	25.6	22.4	21.4	24.5	20.3
	50	22.2	21.4	29.8	21.5	24.5	22.7	26.7	23.8	22.7	25.9	21.6
	60	23.7	22.4	30.3	22.8	25.2	23.9	27.0	24.9	24.0	26.8	22.8
	90	25.4	25.0	33.7	25.8	28.0	26.9	30.9	27.8	26.8	28.8	25.6
	180	27.6	27.1	34.9	28.2	31.7	29.1	35.0	29.9	29.1	30.3	27.8
		30.8	30.2	35.4	31.9	32.2	32.7	35.7	33.3	32.6	32.8	31.3

C, lata	t, min	Zielona Góra (5.58)		Wrocław (5.49)		Legnica (5.52)		Opole (5.61)		M 2.1, M 2.2 (5.81, 5.82)		M 1 (5.80)
		h _{max}	h _{GED}	h _{max}	h _{GED}	h _{max}	h _{GED}	h _{max}	h _{GED}	h ¹ _{GED}	h ² _{GED}	h _{EV3}
	360	36.0	36.4	38.7	39.6	40.2	39.7	39.1	40.0	39.6	38.1	38.1
	720	40.5	43.8	48.9	49.0	43.6	48.3	44.3	48.0	48.2	45.2	46.5
	1080	49.0	48.8	56.8	55.5	50.5	54.1	49.0	53.7	54.0	50.6	52.3
	1440	51.1	52.6	63.1	60.6	59.6	58.7	51.8	57.9	58.6	55.4	56.8
	2160	60.1	58.8	70.3	68.8	70.3	65.7	63.7	64.4	65.4	63.3	63.8
	2880	62.3	63.7	73.4	75.3	77.1	71.3	64.8	69.2	70.8	70.3	69.3
	4320	66.2	71.0	84.0	85.4	79.8	79.9	71.1	77.5	79.7	80.4	77.9
C = 50	5	13.6	18.9	13.1	15.7	16.2	20.7	19.2	23.6	20.1	14.6	19.5
	10	19.2	22.7	18.7	19.5	23.5	25.0	25.0	28.1	24.4	20.0	23.7
	20	30.1	27.3	28.8	24.4	28.8	30.2	34.8	33.6	29.5	31.0	28.8
	30	37.9	30.5	32.9	27.7	32.0	33.8	41.2	37.3	33.0	39.5	32.3
	40	39.9	32.8	33.8	30.3	37.4	36.5	50.9	40.2	35.8	44.2	35.1
	50	40.6	34.9	35.1	32.6	39.8	38.8	53.1	42.5	38.0	46.4	37.4
	60	41.8	36.6	35.3	34.5	40.6	40.8	54.7	44.4	40.1	47.7	39.3
	90	45.1	40.8	42.7	39.2	41.0	45.7	68.9	49.5	44.7	50.1	44.1
	120	45.9	44.1	57.7	43.1	49.6	49.4	73.3	53.1	48.4	51.8	47.9
	180	51.9	49.1	61.9	48.9	57.6	55.3	79.7	59.1	54.2	54.9	53.7
	360	55.0	59.0	63.1	61.2	60.2	66.7	79.7	70.3	65.8	61.6	65.3
	720	56.9	70.8	64.2	76.3	74.9	80.9	83.7	83.8	79.9	72.0	79.5
	1080	73.6	79.0	72.9	86.6	77.3	90.0	84.3	93.8	89.6	80.4	89.2
	1440	89.1	84.8	80.1	94.9	86.5	97.6	96.1	100.9	97.0	88.5	96.7
	2160	96.0	94.9	92.6	108.0	114.8	108.9	109.1	111.7	107.9	102.4	108.5
2880	103.5	102.7	103.9	118.9	130.2	117.9	121.4	119.6	116.6	115.2	117.7	
4320	109.6	114.2	116.9	135.3	148.1	131.5	147.9	133.9	131.5	133.3	132.0	

Tab. F.13. Porównanie wybranych wysokości opadów deszczu (h, mm) obliczonych z modeli probabilistycznych z danymi pomiarowymi dla wybranych częstości (C, lat) dla stacji Modelu 3 i Modelu 1. Wzory modeli podano w nawiasach.

C, lata	t, min	Zgorzelec (5.56)		Jelenia Góra (5.68)		Kłodzko (5.65)		Racibórz (5.71)		Model 3 (5.83)	Model 1 (5.80)
		h _{max}	h _{EV3}	h _{max}	h _{EV3}	h _{max}	h _{EV3}	h _{max}	h _{EV3}	h _{EV3}	h _{EV3}
C = 1	5	5.5	5.1	5.6	6.0	6.1	8.2	4.9	5.6	6.2	6.7
	10	7.1	6.4	7.6	7.5	9.1	9.9	6.8	6.8	7.7	8.2
	20	8.5	8.0	9.7	9.3	12.5	12.1	8.9	8.4	9.5	10.0
	30	9.3	9.2	10.4	10.6	14.8	13.6	9.8	9.4	10.7	11.3
	40	9.8	10.0	11.8	11.6	15.9	14.7	10.6	10.2	11.7	12.3
	50	10.3	10.8	12.2	12.4	17.1	15.7	11.2	10.9	12.5	13.1
	60	10.9	11.4	13.2	13.2	17.7	16.5	11.3	11.5	13.2	13.8
	90	12.1	13.0	14.9	15.0	20.1	18.5	12.9	13.0	14.9	15.6
	120	13.3	14.3	16.5	16.4	21.5	20.1	14.4	14.2	16.3	17.0
	180	15.3	16.3	18.9	18.6	23.9	22.5	16.1	16.0	18.4	19.1
	360	18.9	20.4	23.6	23.2	27.4	27.4	19.5	19.6	22.8	23.4
	720	23.0	25.5	29.5	28.9	33.1	33.3	23.9	24.0	28.1	28.7
	1080	25.6	29.1	33.3	32.8	37.0	37.4	26.5	27.0	31.7	32.4
	1440	35.1	31.9	35.8	35.9	38.4	40.6	29.4	29.4	34.6	35.2
	2160	39.2	36.3	39.7	40.8	44.0	45.5	32.9	33.2	39.2	39.7
2880	43.4	39.9	43.2	44.7	45.2	49.3	36.7	36.1	42.7	43.2	
4320	49.0	45.4	50.0	50.8	51.8	55.3	38.5	40.7	48.3	48.6	
C = 2	5	5.5	5.2	5.6	6.0	6.2	8.2	4.9	5.6	6.3	6.7
	10	7.2	6.4	7.6	7.5	9.1	10.0	6.9	6.8	7.7	8.2
	20	8.5	8.1	9.9	9.4	12.6	12.2	8.9	8.4	9.5	10.1
	30	9.3	9.2	10.5	10.6	15.0	13.6	10.0	9.5	10.8	11.4
	40	10.2	10.1	12.0	11.6	16.0	14.8	10.6	10.3	11.8	12.4
	50	10.3	10.8	12.4	12.5	17.2	15.8	11.2	11.0	12.6	13.2
	60	11.0	11.5	13.2	13.2	17.8	16.6	11.3	11.6	13.3	13.9
	90	12.2	13.1	15.1	15.0	20.1	18.6	12.9	13.1	15.0	15.7
120	13.5	14.4	16.5	16.5	21.5	20.2	14.5	14.2	16.4	17.1	

C, lata	t, min	Zgorzelec (5.56)		Jelenia Góra (5.68)		Kłodzko (5.65)		Racibórz (5.71)		Model 3 (5.83)	Model 1 (5.80)
		h _{max}	h _{EV3}	h _{max}	h _{EV3}	h _{max}	h _{EV3}	h _{max}	h _{EV3}	h _{EV3}	h _{EV3}
		180	15.4	16.4	19.1	18.7	24.4	22.6	16.1	16.0	18.5
360	19.2	20.5	23.8	23.3	27.5	27.5	19.6	19.6	22.9	23.6	
720	23.4	25.6	29.6	29.0	33.8	33.5	24.0	24.1	28.2	28.9	
1080	25.7	29.2	33.4	33.0	37.0	37.6	26.6	27.1	31.9	32.5	
1440	35.1	32.0	36.0	36.1	38.5	40.8	29.8	29.5	34.8	35.4	
2160	40.0	36.5	39.9	41.0	44.0	45.7	33.0	33.3	39.4	39.9	
2880	43.7	40.1	43.5	44.9	45.9	49.6	37.1	36.2	42.9	43.4	
4320	50.0	45.7	50.4	51.1	52.1	55.6	38.5	40.8	48.5	48.9	
C = 5	5	5.6	5.2	5.6	6.1	6.5	8.4	5.0	5.7	6.4	6.9
	10	7.2	6.5	7.7	7.6	9.5	10.2	7.0	6.9	7.9	8.4
	20	9.0	8.2	10.0	9.5	13.0	12.4	9.2	8.5	9.7	10.3
	30	9.8	9.3	10.8	10.8	15.2	13.9	10.2	9.6	11.0	11.6
	40	10.4	10.2	12.1	11.8	16.3	15.1	10.7	10.4	12.0	12.6
	50	10.5	11.0	12.6	12.7	17.5	16.1	11.4	11.1	12.8	13.5
	60	11.1	11.7	13.4	13.5	18.1	16.9	11.5	11.8	13.5	14.2
	90	12.8	13.3	15.2	15.3	20.7	19.0	13.3	13.2	15.3	16.0
	120	13.5	14.6	16.8	16.8	21.9	20.6	14.7	14.4	16.7	17.4
	180	15.6	16.6	19.3	19.0	24.8	23.1	16.5	16.3	18.9	19.6
	360	19.5	20.8	24.4	23.7	28.1	28.1	20.2	19.9	23.3	24.1
	720	24.4	26.1	30.5	29.5	34.1	34.1	24.4	24.5	28.7	29.5
	1080	26.5	29.7	33.8	33.5	37.3	38.2	27.0	27.6	32.5	33.2
	1440	35.7	32.6	36.8	36.7	39.7	41.5	30.7	30.0	35.4	36.1
	2160	40.8	37.2	41.0	41.7	44.9	46.5	33.9	33.8	40.1	40.7
2880	44.8	40.8	44.7	45.7	47.1	50.4	37.5	36.8	43.7	44.3	
4320	50.6	46.5	50.8	52.0	52.5	56.5	39.4	41.5	49.4	49.9	
C = 10	5	5.7	5.4	5.9	6.4	6.7	8.8	5.2	5.8	6.6	7.2
	10	7.5	6.7	7.9	7.9	10.0	10.7	7.2	7.1	8.2	8.8
	20	9.1	8.4	10.2	9.9	13.9	12.9	9.4	8.8	10.1	10.7
	30	10.2	9.6	11.7	11.2	15.6	14.5	10.3	9.9	11.4	12.1
	40	10.5	10.6	12.3	12.3	17.3	15.7	10.8	10.8	12.4	13.1
	50	11.0	11.3	13.5	13.2	18.4	16.7	11.6	11.5	13.3	14.0
	60	11.9	12.0	14.4	14.0	19.3	17.6	12.2	12.1	14.0	14.8
	90	13.1	13.7	15.9	15.9	22.1	19.7	14.0	13.7	15.9	16.7
	120	13.8	15.1	17.6	17.4	23.1	21.4	15.1	14.9	17.3	18.1
	180	16.3	17.2	20.3	19.8	26.1	24.0	17.1	16.8	19.6	20.4
	360	20.3	21.5	25.7	24.6	29.4	29.1	21.1	20.6	24.2	25.0
	720	24.7	27.0	31.7	30.7	35.1	35.3	25.3	25.3	29.8	30.7
	1080	28.2	30.8	34.8	34.9	38.6	39.6	27.6	28.5	33.7	34.5
	1440	36.7	33.8	37.8	38.2	41.2	42.9	31.7	31.0	36.8	37.5
	2160	42.6	38.5	42.6	43.4	45.9	48.1	35.5	34.9	41.6	42.3
2880	46.9	42.3	45.8	47.5	49.2	52.1	39.4	38.0	45.4	46.0	
4320	52.4	48.3	52.5	54.0	54.5	58.4	42.4	42.9	51.3	51.8	
C = 25	5	6.5	6.1	7.2	7.6	8.4	10.4	6.3	6.7	7.7	8.5
	10	8.2	7.6	9.5	9.4	11.4	12.6	8.2	8.2	9.5	10.3
	20	10.1	9.6	12.6	11.8	17.1	15.2	10.8	10.1	11.8	12.6
	30	11.7	10.9	14.4	13.4	20.0	17.0	11.8	11.3	13.3	14.2
	40	12.4	12.0	15.2	14.7	21.7	18.4	12.8	12.4	14.5	15.5
	50	13.0	12.9	16.3	15.7	21.6	19.6	14.0	13.2	15.5	16.5
	60	13.5	13.7	17.0	16.7	22.6	20.6	14.4	13.9	16.4	17.4
	90	14.4	15.7	19.6	19.0	25.2	23.0	15.9	15.7	18.5	19.6
	120	15.6	17.2	20.8	20.8	26.5	24.9	17.1	17.1	20.2	21.3
	180	18.4	19.7	24.4	23.6	29.9	27.9	20.1	19.3	22.9	23.9
	360	23.8	24.8	30.2	29.4	33.8	33.7	25.1	23.8	28.2	29.3
	720	28.6	31.1	35.3	36.7	41.9	40.8	28.0	29.2	34.8	35.8
	1080	32.6	35.6	41.0	41.7	44.2	45.6	30.6	33.0	39.4	40.3
	1440	43.8	39.1	44.9	45.7	48.9	49.3	37.8	35.9	43.0	43.8
	2160	46.7	44.7	52.5	52.0	54.1	55.2	42.8	40.5	48.6	49.3
2880	53.8	49.2	55.7	57.0	54.9	59.7	47.8	44.2	53.0	53.6	

C, lata	t, min	Zgorzelec (5.56)		Jelenia Góra (5.68)		Kłodzko (5.65)		Racibórz (5.71)		Model 3 (5.83)	Model 1 (5.80)
		h _{max}	h _{EV3}	h _{max}	h _{EV3}	h _{max}	h _{EV3}	h _{max}	h _{EV3}	h _{EV3}	h _{EV3}
		4320	58.1	56.3	64.4	64.8	61.0	66.8	57.0	49.8	59.9
C = 30	5	7.1	6.4	7.4	8.2	8.9	11.3	6.6	7.1	8.3	9.1
	10	8.5	8.0	10.2	10.3	13.1	13.6	8.7	8.7	10.2	11.1
	20	10.4	10.1	14.2	12.8	18.4	16.4	12.0	10.8	12.6	13.6
	30	12.0	11.6	16.8	14.6	20.9	18.3	13.2	12.1	14.3	15.3
	40	13.2	12.7	18.2	16.0	23.6	19.8	13.9	13.2	15.6	16.6
	50	13.6	13.7	18.9	17.1	23.7	21.0	14.8	14.1	16.7	17.7
	60	14.2	14.6	19.4	18.2	24.6	22.1	15.0	14.9	17.6	18.7
	90	15.6	16.7	20.7	20.7	26.0	24.7	16.5	16.9	19.9	21.0
	120	16.4	18.3	22.3	22.6	28.2	26.7	17.8	18.4	21.7	22.8
	180	19.3	21.0	26.1	25.8	31.5	29.8	20.5	20.7	24.6	25.7
	360	25.6	26.4	32.5	32.1	35.5	36.0	26.6	25.5	30.3	31.4
	720	32.3	33.3	37.5	40.0	44.2	43.5	28.6	31.4	37.4	38.4
	1080	34.5	38.1	42.8	45.5	49.1	48.6	32.0	35.4	42.3	43.2
	1440	46.9	41.9	52.1	49.9	52.5	52.6	39.3	38.6	46.2	46.9
2160	48.9	47.9	55.7	56.8	57.6	58.8	46.6	43.6	52.2	52.8	
2880	55.3	52.7	63.9	62.2	59.2	63.6	53.9	47.5	57.0	57.4	
4320	60.3	60.4	67.6	70.8	64.6	71.0	59.2	53.6	64.4	64.5	
C = 40	5	7.8	7.5	8.6	10.5	9.6	13.9	8.5	8.6	10.2	11.2
	10	9.2	9.5	13.8	13.1	15.0	16.7	12.4	10.6	12.6	13.6
	20	12.0	12.0	19.5	16.4	21.4	20.1	14.8	13.1	15.5	16.6
	30	14.2	13.7	21.4	18.6	24.1	22.4	15.5	14.8	17.5	18.7
	40	14.6	15.1	22.5	20.4	25.8	24.2	16.4	16.1	19.1	20.3
	50	15.7	16.3	23.9	21.9	28.0	25.7	17.2	17.2	20.5	21.6
	60	16.7	17.4	24.7	23.3	28.9	26.9	18.7	18.2	21.6	22.8
	90	17.4	19.9	25.4	26.5	31.4	30.0	20.1	20.6	24.4	25.6
	120	20.3	21.9	28.4	29.0	34.0	32.4	22.3	22.5	26.7	27.8
	180	23.8	25.1	29.6	33.0	35.0	36.1	25.4	25.4	30.2	31.3
	360	30.6	31.8	36.1	41.2	44.6	43.5	31.6	31.3	37.2	38.1
	720	37.8	40.1	49.8	51.4	52.2	52.3	34.3	38.6	45.9	46.5
	1080	41.6	46.0	61.7	58.5	57.5	58.3	38.6	43.6	51.9	52.3
	1440	53.1	50.7	67.2	64.2	64.7	63.0	45.3	47.5	56.6	56.8
2160	59.5	58.2	82.0	73.0	73.6	70.2	54.0	53.7	64.0	63.8	
2880	65.2	64.2	90.2	80.1	75.7	75.8	62.1	58.6	69.9	69.3	
4320	71.7	73.6	98.7	91.1	85.4	84.5	68.9	66.2	79.0	77.9	
C = 50	5	11.0	12.2	12.3	21.1	18.9	24.8	15.9	15.4	18.1	19.5
	10	13.5	15.5	21.4	26.3	27.5	29.6	18.1	19.0	22.4	23.7
	20	27.0	19.7	39.5	32.9	30.0	35.3	27.9	23.5	27.6	28.8
	30	32.0	22.7	48.8	37.5	32.4	39.1	30.3	26.6	31.2	32.3
	40	46.0	25.1	49.0	41.1	49.2	42.1	31.7	29.1	34.1	35.1
	50	49.2	27.2	49.2	44.2	54.0	44.6	35.0	31.1	36.4	37.4
	60	51.2	28.9	49.3	46.8	54.5	46.7	36.1	32.9	38.5	39.3
	90	54.2	33.3	49.4	53.4	56.3	51.8	36.9	37.3	43.5	44.1
	120	56.1	36.9	54.3	58.5	60.5	55.7	39.8	40.7	47.5	47.9
	180	57.3	42.5	68.7	66.7	62.8	61.8	41.2	46.1	53.7	53.7
	360	57.3	54.1	92.2	83.4	102.4	73.8	52.6	57.1	66.3	65.3
	720	57.3	68.9	117.1	104.2	103.2	88.1	70.8	70.6	81.8	79.5
	1080	73.3	79.4	122.7	118.7	111.6	97.8	101.0	79.9	92.4	89.2
	1440	83.8	87.8	127.1	130.3	126.3	105.3	130.3	87.3	100.9	96.7
2160	119.9	101.2	144.2	148.4	128.7	116.8	165.2	98.9	114.0	108.5	
2880	145.8	111.9	161.2	162.8	129.0	125.8	183.8	108.0	124.4	117.7	
4320	179.2	129.0	180.0	185.5	129.2	139.6	227.4	122.4	140.7	132.0	

.....
(nazwa jednostki organizacyjnej)

mgr inż. Marcin Wdowikowski

.....
(imię i nazwisko)

"Opracowanie probabilistycznych modeli opadów maksymalnych
w dorzeczu górnej i środkowej Odry"

.....
(tytuł pracy)

OŚWIADCZENIE

Wyrażam zgodę (~~nie wyrażam zgody~~)* na udostępnienie mojej pracy dyplomowej,
doktorskiej*, raportu serii SPR.

.....
(podpis)

Wrocław, dnia

*) niepotrzebne skreślić