

# PANDa - Polski Atlas Natężeń Deszczów a adaptacja miast do zmian klimatu

Katarzyna Siekanowicz-Grochowina, RETENCJAPL Sp. z o.o.

18-19 września 2018  
Warszawa

# Polski Atlas Natężeń Deszczów - PANDa





**Atlas PANDa** – projekt dofinansowany z Funduszy Europejskich  
w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020  
realizowany przez **RETENCJAPL** Sp. z o.o.  
we współpracy z **IMGW-PIB** w latach 2016-2019



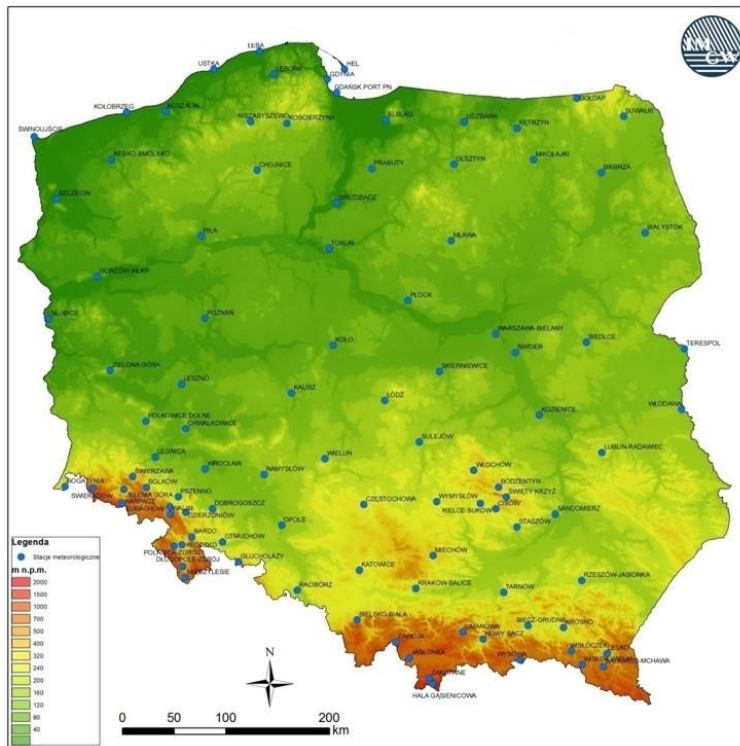
**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



- Cyfrowa baza danych opadowych – 1-minutowe szeregi czasowe:
  -  z lat 1986 – 2015 (30 lat)
  -  ze 100 stacji należących do Instytutu Meteorologii Gospodarki Wodnej
- Lokalne modele natężeń deszczów miarodajnych dla 100 deszczomierzy w Polsce (modele fizyczne IDF + modele probabilistyczne DDF)
- Szeroki przedział natężeń miarodajnych deszczów o czasach trwania od 5 min do 4320 min
- Prawdopodobieństwa zgodne z wymogami normy PN-EN 752
- Nowoczesny warsztat analizy statystycznej

## Źródło aktualnej i niepodważalnej informacji o opadach

# Stacje wybrane do projektu PANDa





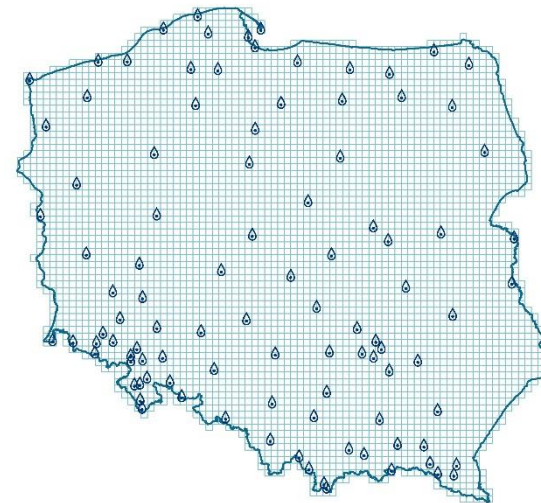
# PANDa – ewolucja projektu



2016

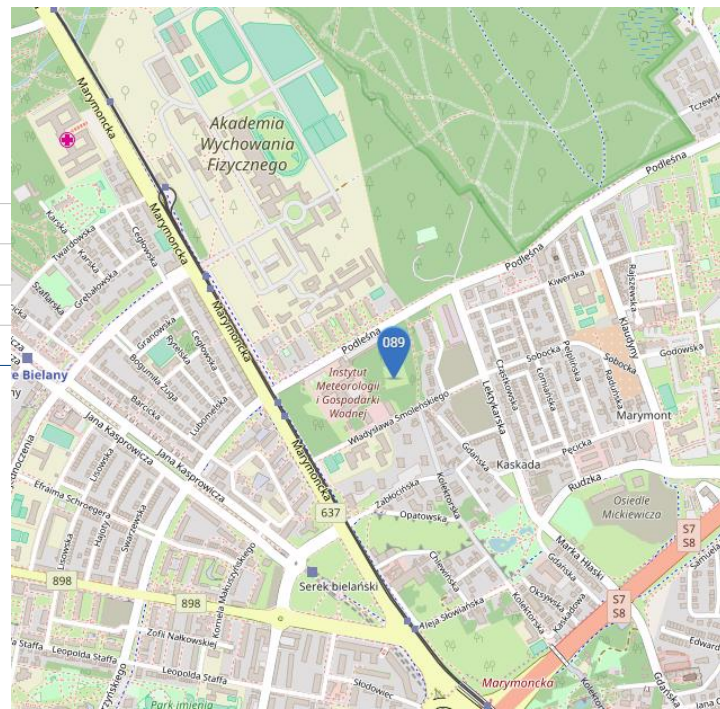
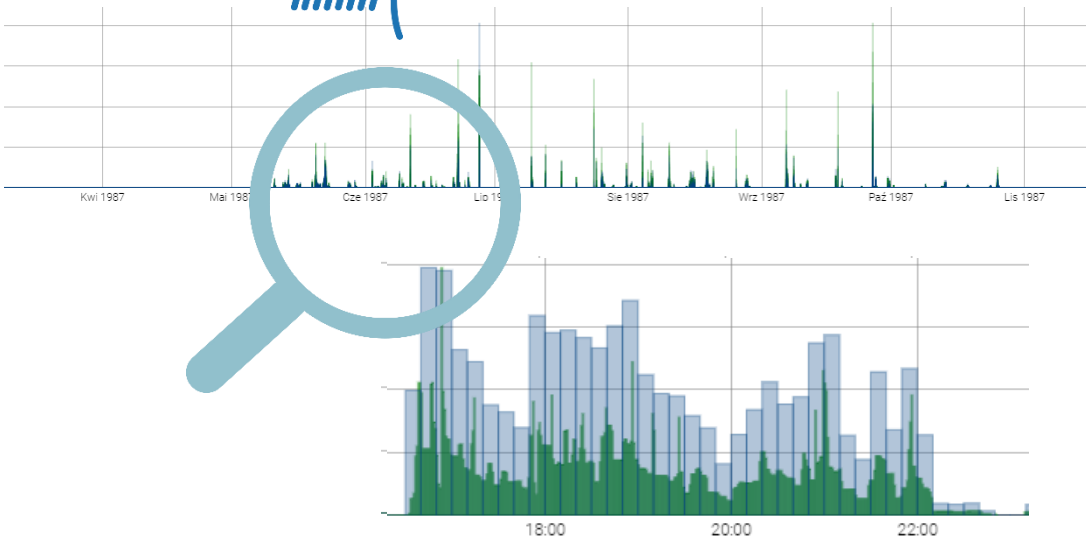


2018



2019

# Polski Atlas Natężeń Deszczów - PANDa



# Maksima opadowe

Lp.	5	60. maksymalnych średnich natężeń I, U/s/ha dla okresu (w min):													
		15	30	45	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
1	341.35800	285.92609	174.55877	121.67099	93.95314	64.91286	49.32847	34.29956	25.11129	15.80198	10.66716	8.00424	5.34327	4.19030	3.49754
2		268.99678	170.31429	116.94512	87.99179	61.65499	46.57540	34.06104	21.50934	13.26099	8.85168	6.83091	5.08402	4.07028	3.16839
3		239.91354	157.78457	107.00120	81.82448	59.09078	44.34244	32.13169	18.58804	11.53306	8.57561	6.82496	4.59757	3.64393	2.68904
4		220.91609	143.99680	104.39761	80.84205	55.30872	44.00970	31.87915	18.16415	11.37487	8.51534	6.39255	4.57889	3.61967	2.63816
5		218.73708	137.57948	94.85332	71.13999	53.48181	42.92638	30.69274	17.22442	9.85499	6.66695	5.48645	4.55934	3.61111	2.61707
6		193.60183	121.01517	82.87939	65.41351	50.66442	42.64060	30.00905	17.38759	9.28013	6.65266	5.26620	4.11352	3.43650	2.49950
7		191.67653	116.94179	82.79380	65.02691	49.57336	40.54995	29.96227	17.28175	8.72069	6.61945	5.19665	4.10945	3.23764	2.35762
8		305.76367	219.05628	143.43447	115.77524	78.02387	64.88985	48.97598	38.14498	16.43770	8.67471	6.43517	5.04301	3.98013	3.23179
9		294.79187	216.20112	150.49456	104.66005	76.40099	64.79374	47.42666	36.21329	29.30689	16.06860	8.64087	6.20929	4.96459	3.85031
10		288.51867	194.87653	168.57804	97.42674	72.83920	58.53862	45.85169	35.66793	27.75413	16.02887	8.08679	6.16401	4.82804	3.53395
11		282.33343	193.92913	156.92438	97.41779	70.13991	58.02984	43.37645	35.24919	25.83155	15.09623	8.06817	6.05786	4.72350	3.49556
12		272.97547	189.60035	156.20738	96.14114	67.29743	52.65138	41.75380	34.46860	14.60497	8.04228	5.93560	4.71209	3.47069	2.62533
13		271.23903	187.43537	155.82783	91.24551	65.43359	52.26823	39.03893	34.15895	25.27732	13.86454	7.65052	5.87414	4.60447	3.30972
14		265.51833	187.35033	145.13811	85.51516	65.11853	48.88935	35.88935	34.87935	16.13861	8.28811	6.28811	4.13735	3.28811	2.48811

Maksymalne wartości natężeń opadów z analizowanego okresu (1986-2015) dla czasów trwania:  
5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360, 360, 720, 1080, 1440, 2160, 2880, 4320 minut.

23	235.00373	184.77895	119.02330	73.83712	54.32180	44.80038	33.35120	27.22986	19.33994	11.10299	6.22934	4.71813	3.98217	2.94043	2.32486	1.63194
24	230.63527	146.41612	117.11290	72.25210	53.74948	42.78102	33.08644	26.98065	19.52514	11.09720	6.21773	4.70822	3.91946	2.84722	2.27029	1.60832
25	229.01233	145.80342	115.26319	70.57082	53.27465	42.19275	32.84264	26.32569	19.50845	10.91487	6.20739	4.70679	3.81337	2.77032	2.25929	1.57503
26	226.20783	144.30079	114.63772	70.55818	51.26865	41.80047	32.61384	26.30031	19.49830	10.72384	6.07278	4.62151	3.78149	2.72970	2.19893	1.53549
27	224.90867	142.01977	114.14638	69.98971	50.10136	41.37372	32.51696	26.19545	19.41891	10.59192	5.95593	4.53702	3.69335	2.66788	2.12371	1.52118
28	223.11007	141.34563	113.51293	69.80512	50.01911	41.09527	32.41440	26.15991	19.20645	10.53546	5.90240	4.50203	3.68319	2.63265	2.07434	1.50636
29	222.80033	140.24823	111.77342	68.03842	49.86910	40.40217	31.89663	26.11021	18.52226	10.34606	5.64847	4.40971	3.61942	2.55101	2.03290	1.49991
30	218.79600	139.73208	110.36268	68.01861	49.70001	40.31961	31.70420	25.10038	17.98760	10.33553	5.57340	4.32243	3.56568	2.49802	1.97105	1.49497

# Atlas PANDa - zweryfikowane dane odpadowe

suma opadu	czas początku opadu	czas trwania opadu [min]	warunki do wystąpienia opadu	sytuacja synoptyczna (dolna)	sytuacja synoptyczna (górna)	geneza opadu (ze względu na sytuację synoptyczną)	geneza opadu (ze względu na stratyfikację atmosfery)	źródła danych
24	1986-08-05 13:36	30	tak	front chłodny związany z niżem znad północnej Skandynawii przemieszczał się z zachodu na wschód Polski; PZ przed frontem, PPM za	500hPa i 300hPa: przednia część zatoki rozciągającej się od Morza Norweskiego po Polskę, wzmagającej ruchy wstępujące na froncie (adwekcja wirowości cyklonalnej)	frontalny	konwekcyjny (możliwa burza)	Climate Forecast System (CFS) wetter3.de/Archiv; Codzienny Biuletyn Meteorologiczny IMGW
44	1988-07-27 19:35	720	tak	pofalowany front chłodny związany z niżem znad Morza Norweskiego i Skandynawii przebiegał przez Polskę po północne Włochy (z zafalowaniem przemieszczającym się 27/28.07 z południa na północny wschód Polski); PZ przed frontem, chłodne PPM za; 28.07 za frontem rozbudowywał się wyżej, a 29.07 nad zachodnią Polskę układ okludujących się frontów związany z niżem znad Morza Północnego	500hPa i 300hPa: 27.07 przednia część zatoki znad Islandii, w nocy 27/28.07 oś zatoki przemieszczała się przez Polskę, generując zafalowanie (adwekcja wirowości cyklonalnej i prawie wejście prądu strumieniowego); 28/29.07 słaby klin, brak czynników wspomagających ruchy wstępujące; 29.07 od zachodu kraju przednia część zatoki niżu znad Atlantyku i Morza Północnego, wspomagającej ruchy wstępujące na froncie	frontalny	jednostajny z wbudowanymi konwekcyjnymi	Climate Forecast System (CFS) wetter3.de/Archiv; Codzienny Biuletyn Meteorologiczny IMGW



# Atlas PANDa - zweryfikowane dane odpadowe



## Radar w Legionowie

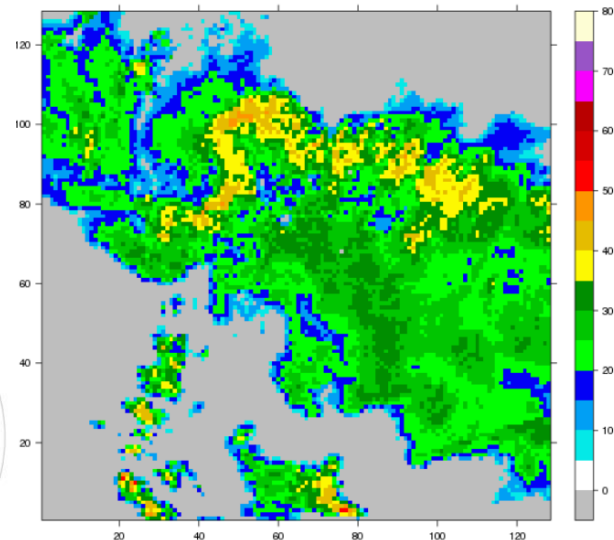
Źródło: <http://fotopolska.eu/314550,foto.html>



## Sieć radarowa POLRAD

Źródło: Opracowanie własne na podst.: Moszkowicz S., Tuszyńska I, Meteorologia radarowa. Podręcznik użytkownika informacji radarowej IMGW, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2006

### Radar precipitation, 06 Aug 2010 18:45



## Zobrazowanie radarowe

# Maksima opadowe

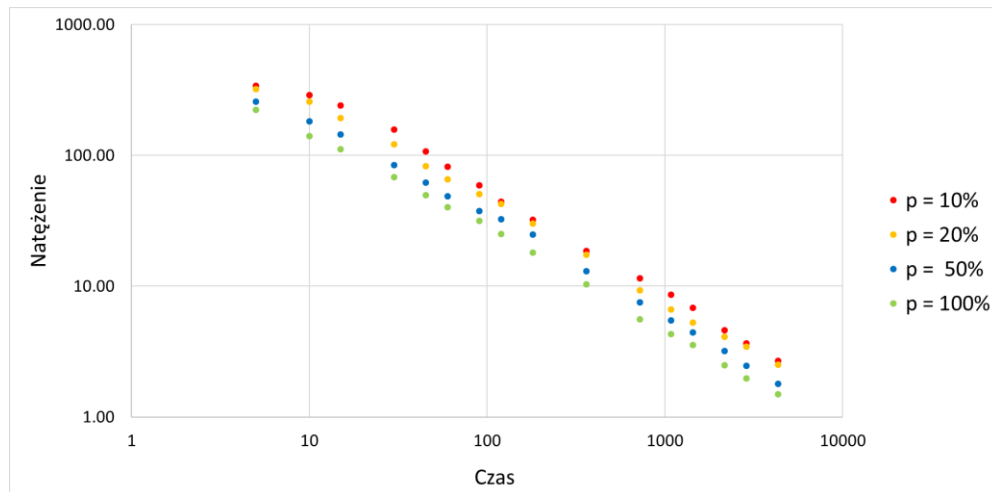
Lp.	p
1	3%
2	6%
<b>3</b>	<b>10%</b>
4	13%
5	16%
<b>6</b>	<b>19%</b>
7	23%
8	26%
9	29%
10	32%
11	35%
12	39%
13	42%
14	45%
<b>15</b>	<b>48%</b>
16	52%
17	55%
18	58%
19	61%
20	65%
21	68%
22	71%
23	74%
24	77%
25	81%
26	84%
27	87%
28	90%
29	94%
<b>30</b>	<b>97%</b>

$$p \cdot (n + 1)$$

$p$  – prawdopodobieństwo  
 $n$  – liczba wszystkich obserwacji (30)

**Przykład:**

$$\frac{20}{100} \cdot (30 + 1) = 6$$



p	czas trwania opadu, min															
	5	10	15	30	45	60	90	120	180	360	720	1080	1440	2160	2880	4320
10%	341.40	289.40	239.90	157.80	107.00	81.82	59.09	44.34	32.13	18.59	11.53	8.58	6.83	4.60	3.64	2.69
20%	320.40	258.20	193.60	121.00	82.88	65.41	50.66	42.64	30.01	17.39	9.28	6.65	5.27	4.11	3.44	2.50
50%	258.50	183.00	144.00	84.28	62.14	48.90	37.44	32.50	24.85	13.06	7.55	5.46	4.41	3.21	2.46	1.79
100%	222.80	140.20	111.80	68.02	49.70	40.32	31.70	25.10	17.99	10.34	5.57	4.32	3.57	2.50	1.97	1.50

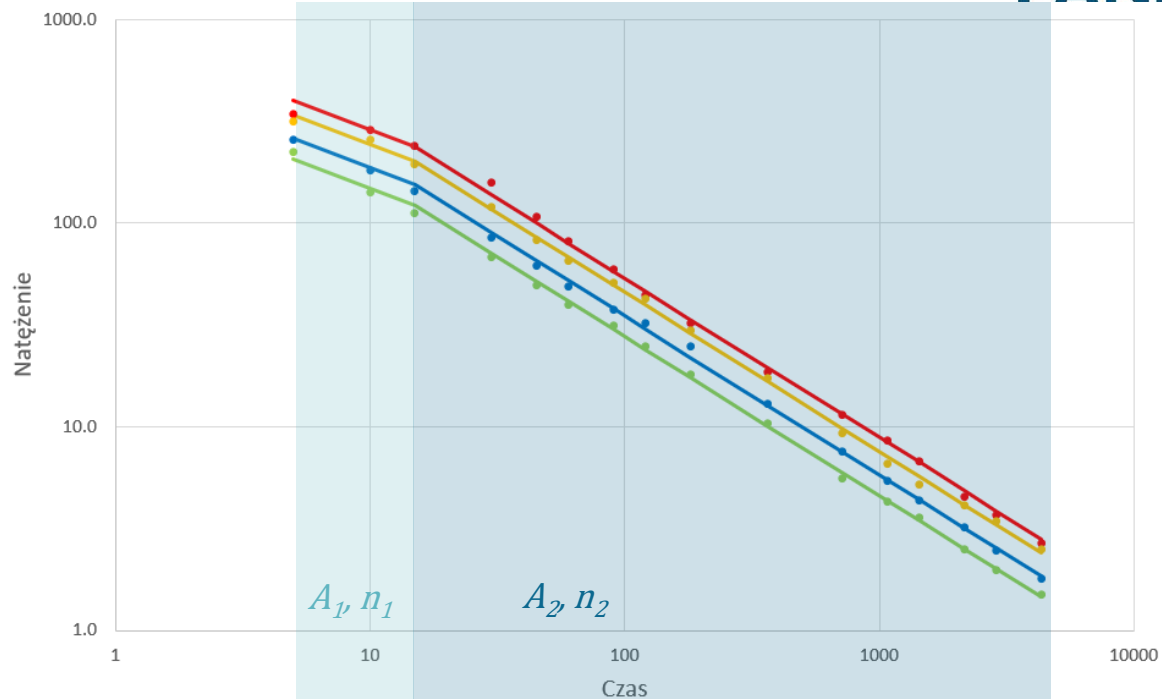
# Modele fizyczne

$$I = \frac{A}{t^n}$$

I – natężenie opadu, l/s·ha

t – czas, min

A, n – parametry modelu



• 10% • 20% • 50% • 100% — p = 10% — p = 20% — p = 50% — p = 100%

# Modele probabilistyczne – rozkład Gen. Pareto

Funkcja gęstości rozkładu prawdopodobieństwa uogólnionego rozkładu Pareto (Generalized Pareto)

$$f(x; k, \sigma, \mu) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-1-1/k} & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{(x - \mu)}{\sigma}\right) & k = 0 \end{cases},$$

Kwantyl rozkładu prawdopodobieństwa uogólnionego rozkładu Pareto (Generalized Pareto)

$$X_{(\mu, p')} = \begin{cases} \frac{\sigma(1 - (1 - p')^{-k})}{-k} + \mu, & k \neq 0, \\ -\sigma \log(1 - p') + \mu, & k = 0 \end{cases},$$

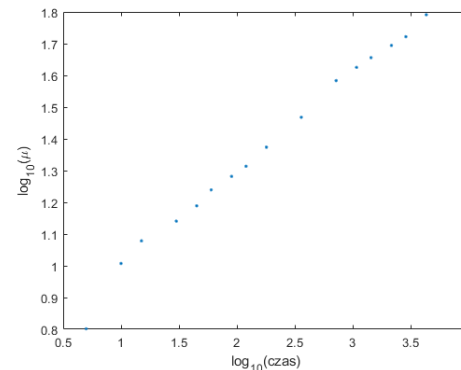
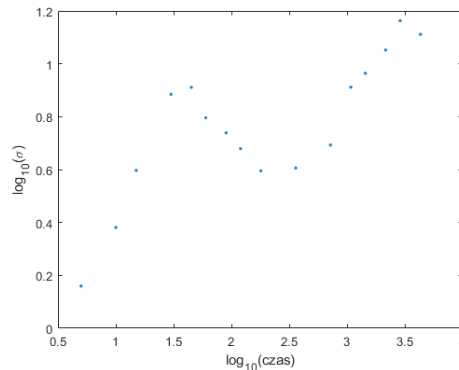
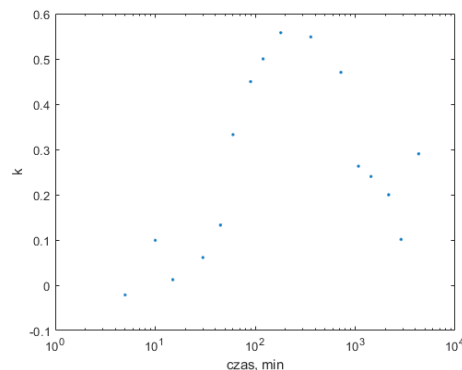


# Modele probabilistyczne – rozkład Gen. Pareto

## Funkcja gęstości rozkładu prawdopodobieństwa uogólnionego rozkładu Pareto (Generalized Pareto)

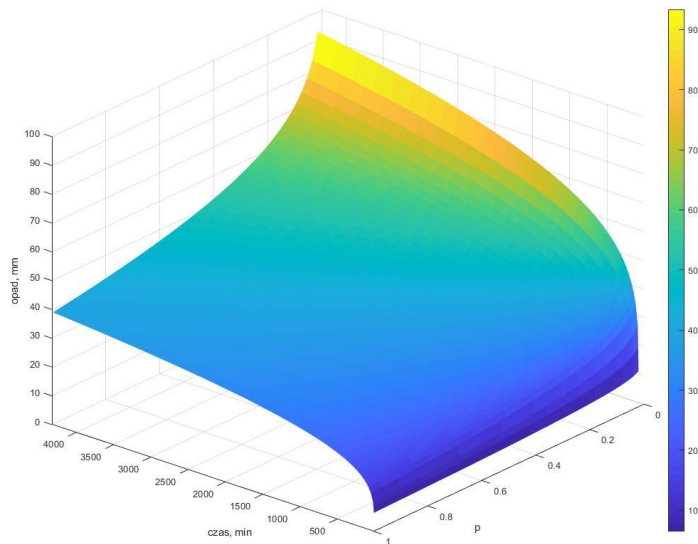
$$f(x; k, \sigma, \mu) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-1-1/k} & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{(x - \mu)}{\sigma}\right) & k = 0 \end{cases},$$

$k$  – parametr kształtu  
 $\sigma$  – parametr skali  
 $\mu$  – parametr lokalizacji

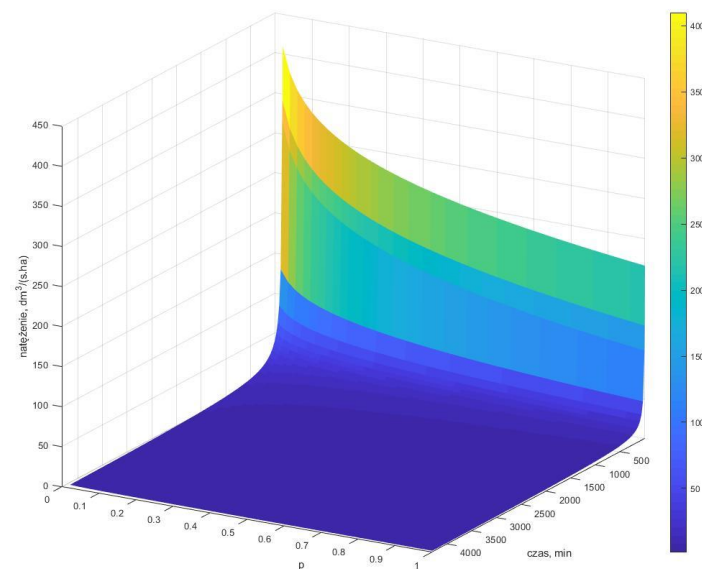


Wartości parametru  $k$ ,  $\sigma$  i  $\mu$  dla przykładowego deszczomierza

# Modele probabilistyczne – rozkład Gen. Pareto

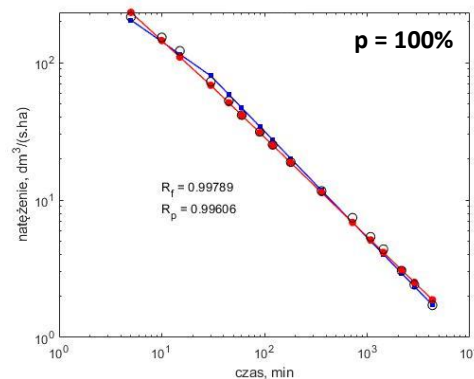
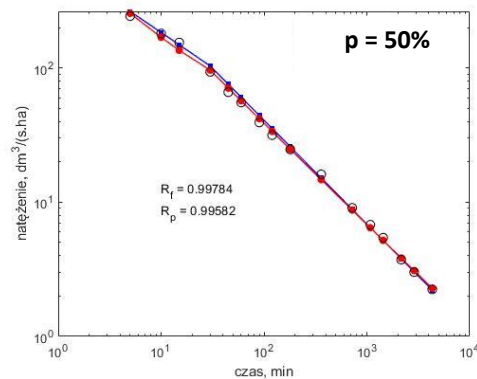
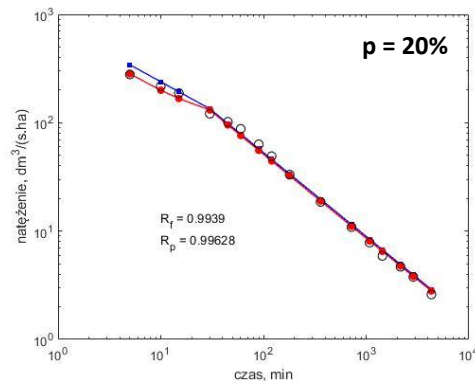
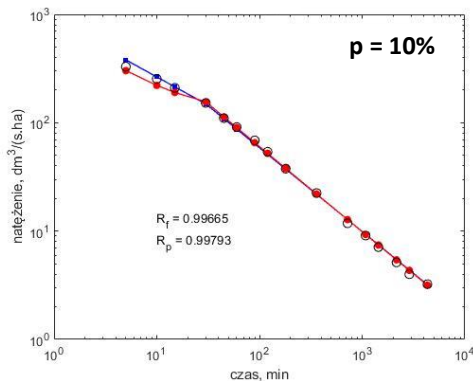


Opady miarodajne estymowane na podstawie modelu probabilistycznego **DDF** dla wybranego deszczomierza dla czasów trwania  $t$  od 5 do 4320 min i prawdopodobieństw  $p$  od 0,02 do 1

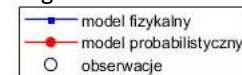


Opady miarodajne estymowane na podstawie modelu probabilistycznego **IDF** dla wybranego deszczomierza dla czasów trwania  $t$  od 5 do 4320 min i prawdopodobieństw  $p$  od 0,02 do 1

# Modele probabilistyczne a fizykalne



Legenda:



# Aplikacja komputerowa

Nateżenia deszczów miarodajnych

Opad modelowy



O projekcie

Eksport danych

Pomoc

Wyloguj

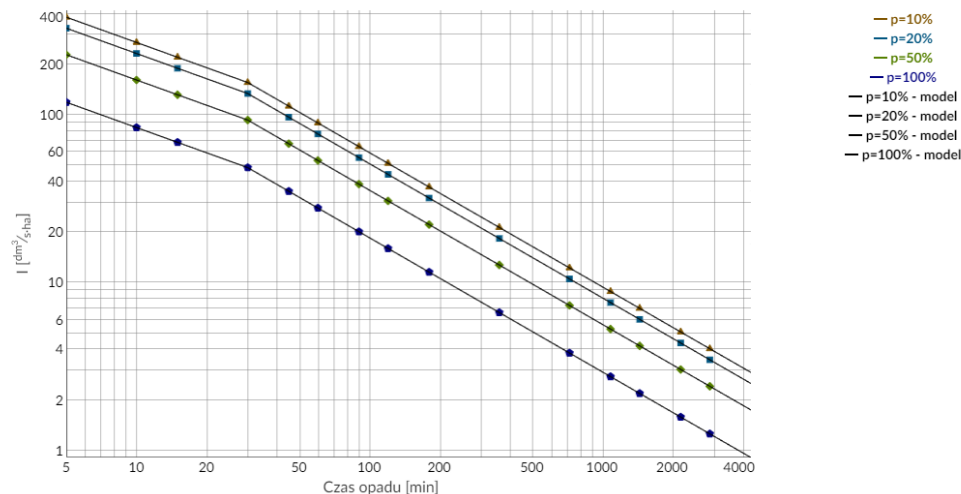
Nateżenia deszczu miarodajnego I [ $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ ] według modelu

Czas opadu [min]	p=10%	p=20%	p=50%	p=100%
5	381.4	327.9	227.9	118.7
10	269.7	231.9	161.2	84.0
15	220.2	189.3	131.6	68.6
30	155.7	133.9	93.1	48.5
45	112.6	96.8	67.3	35.0
60	89.4	76.9	53.4	27.8
90	64.7	55.6	38.6	20.1
120	51.4	44.2	30.7	16.0
180	37.1	31.9	22.2	11.6
360	21.3	18.3	12.7	6.6
720	12.3	10.5	7.3	3.8
1080	8.9	7.6	5.3	2.8
1440	7.0	6.0	4.2	2.2
2160	5.1	4.4	3.0	1.6
2880	4.0	3.5	2.4	1.3
4320	2.9	2.5	1.7	0.9

Skala liniowa / logarytmiczna

Wyeksportuj do Bentley

Nateżenia deszczu miarodajnego





# Aplikacja komputerowa

Nateżenia deszczów miarodajnych

Opad modelowy




O projekcie

Eksport danych

Pomoc

Wyloguj



## Eksport danych


Kalkulator opadu modelowego

Nateżenia deszczu miarodajnego ▾ 21 min

Czas opadu [min]	p=10%	p=20%	p=50%	p=100%
21	186.1	160.0	111.2	57.9

Eksport natężenia deszczu miarodajnego według modelu do programu Bentley

Czas początkowy 5 min Krok 1 min Czas końcowy 59 min

Wyeksportuj do Bentley 

# Stosowane modele opadowe

## Model Błaszczyka

$$q = \frac{A}{t^{0,667}}$$

- $q$  – natężenie deszczu miarodajnego, l/(s·ha)
- $t$  – czas trwania deszczu, min
- $A$  – współczynnik zależny od prawdopodobieństwa pojawienia się deszczu oraz średniej rocznej wysokości opadu

**PN-S-02204:1997:** Drogi samochodowe - Odwodnienie dróg

Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia dróg oraz przystanków komunikacyjnych, Warszawa, 2009

## Model Bogdanowicz-Stachý

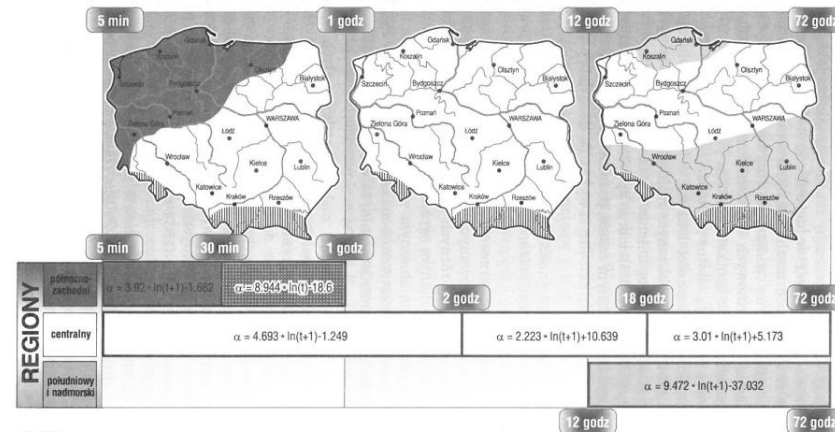
### SCHEMAT OBLICZANIA MAKSYMALNYCH OPADÓW PRAWDOPODOBNIYCH W POLSCE

Maksymalne sumy opadu  $P_{max}$  [mm] w czasie  $t$  [min] i o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p$  (pe (0,1)) oblicza się według wzoru:

$P_{max}(t,p) = \epsilon(t) + \alpha(R,t) \cdot (-\ln p)^{0,584}$ , gdzie  $\epsilon(t)$  i  $\alpha(R,t)$  są parametrami położenia i skali,  $R$  - region.

Parametr  $\epsilon$  zależy wyłącznie od czasu i jest określony dla wszystkich regionów równaniem:  $\epsilon(t) = 1,42 \cdot t^{0,33}$ .

Parametr  $\alpha$  wyznacza się na podstawie położenia punktu w jednym z trzech regionów i czasu  $t$  w sposób przedstawiony poniżej



UWAGA:

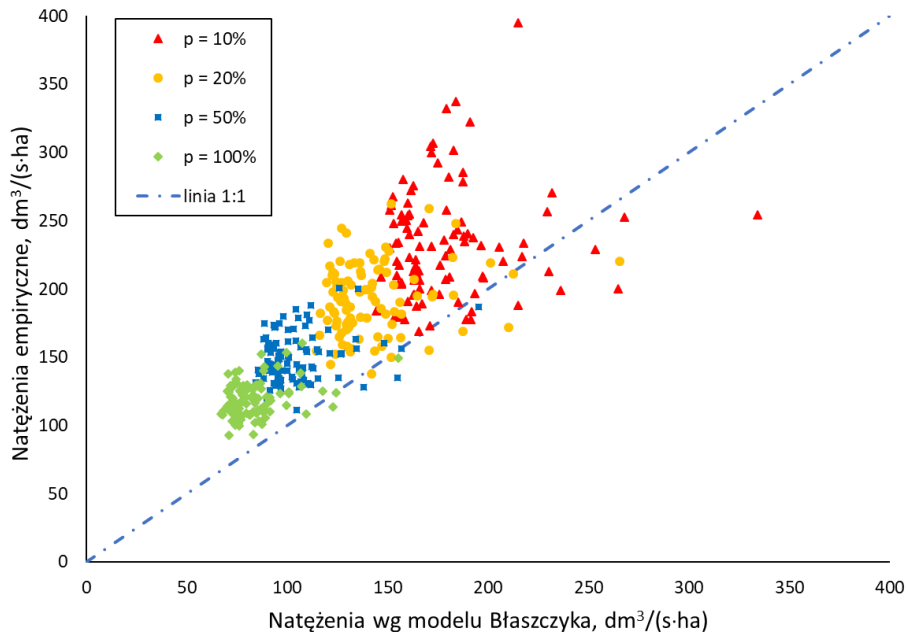
Równania są ważne na obszarze kraju z wyjątkiem Sudetów i Karpat. Obliczenia parametrów  $\epsilon(t)$ ,  $\alpha(R,t)$  oraz  $P_{max}(t,p)$  należy wykonywać z dokładnością 0,1 mm.

Bogdanowicz E., Stachý J.: Maksymalne opady deszczu w Polsce. Charakterystyki opadowe, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 1998

# Czym się różni się PANDa od wzoru Błaszcyka?

Parametr	Model Błaszcyka	Model PANDa	Korzyści
Dane opadowe	Historyczne 1837- 1891 i 1914 -1925	Aktualne 30-lecie: 1986-2015	✓ Aktualność i wiarygodność
Źródło danych	Nieznane	IMGW-PIB	✓ Wiarygodność i standaryzacja
Czasy trwania	Od 5 min do 180 min	Od 5 min do 4320 min (3 doby)	✓ Elastyczność
Forma opracowania	Wzór	Model cyfrowy	✓ Łatwość dostępu
Liczba deszczomierzy	1 deszczomierz	100 deszczomierzy	✓ Dane dostępne dla całego kraju

# Czym się różni się PANDa od wzoru Błaszcyka?



Błąd względny:	p = 10%	p = 20%	p = 50%	p = 100%
średni	26.3%	31.5%	37.3%	37.1%
maksymalny	101.6%	116.6%	100.4%	98.3%
minimalny	-49.9%	-40.3%	-30.2%	-21.8%

Zestawienie wielkości błędu względnego powyższych prawdopodobieństw, dla czasów 5-180 minut dla 100 deszczomierzy

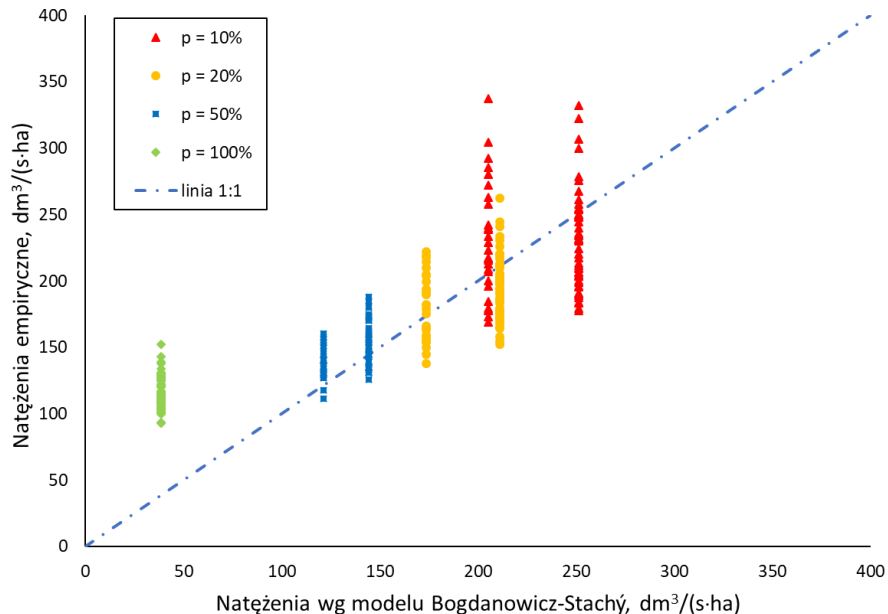
Porównanie empirycznie wyznaczonych natężeń opadów i ich oszacowań z użyciem modelu Błaszcyka, 100 deszczomierzy, czas trwania 15 minut, p równe 10%, 20%, 50% i 100%



# Czym się różni się PANDa od modelu Bogdanowicz-Stachý?

Parametr	Model Bogdanowicz-Stachý	Model PANDa	Korzyści
Dane opadowe	1960-1990	Aktualne 30-lecie: 1986-2015	✓ Aktualność i wiarygodność
Źródło danych	IMGW-PIB (zapisy analogowe)	IMGW-PIB (zapisy cyfrowe)	✓ Wiarygodność i uniwersalność
Czasy trwania	Od 5 min do 4320 min	Od 5 min do 4320 min	✓ Standaryzacja
Forma opracowania	Nieciągłe formuły dla regionów	Model cyfrowy	✓ Łatwość dostępu i spójność
Liczba deszczomierzy	20 deszczomierzy	100 deszczomierzy	✓ Dane dostępne dla całego kraju

# Czym się różni się PANDa od formuły Bogdanowicz-Stachý?



Porównanie empirycznie wyznaczonych natężeń opadów i ich oszacowań z użyciem modelu Bogdanowicz-Stachý, 79 deszczomierzy, czas trwania 15 minut,  $p = 10\%$ ,  $20\%$ ,  $50\%$  i  $100\%$

Błąd względny:	$p = 10\%$	$p = 20\%$	$p = 50\%$	$p = 100\%$
średni	-5.4%	-7.6%	2.8%	182.4%
maksymalny	75.7%	52.5%	64.1%	312.6%
minimalny	-47.7%	-41.9%	-29.8%	105.2%

Zestawienie wielkości błędu względnego  $p = 10\%$ ,  $20\%$ ,  $50\%$  i  $100\%$  dla czasów 5-180 minut dla 79 deszczomierzy

# 3 wymiary innowacyjności modelu PANDa



Aktualność i wiarygodność



Cyfryzacja modelu



Adaptacja do zmian klimatu

# Podsumowanie

- Zmienność opadów wymaga zastosowania współczesnego warsztatu ich przetwarzania
- PANDa jest źródłem aktualnych i wiarygodnych modeli opadowych dla potrzeb projektowania, modelowania oraz eksploatacji systemów odwodnienia
- PANDa może stanowić podstawę do tworzenia modeli opadowych z adaptacją do zmian klimatu w okresie perspektywicznym
- Użycie nieaktualnych formuł prowadzi do niedoszacowania przepustowości systemów odwodnienia i kubatury niezbędnej retencji



# DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ



[katarzyna.siekanowicz-grochowina@retencja.pl](mailto:katarzyna.siekanowicz-grochowina@retencja.pl)



+ 48 731 909 891

Prezentowane wyniki prac powstały w ramach projektu:  
*„Opracowanie i wdrożenie Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa)”*  
dofinansowanego z Funduszy Europejskich – POIR.01.01.01-00-1428/15