

Andrzej Kotowski, Andrzej Dancewicz, Bartosz Kaźmierczak

Czasowo-przestrzenne zróżnicowanie opadów atmosferycznych we Wrocławiu

Z punktu widzenia hydrologii miejskiej, zarówno krótkotrwałe opady nawalne o małym zasięgu terytorialnym, jak i długotrwałe opady deszczu o mniejszej intensywności, lecz dużym zasięgu, mogą wywołać katastrofalne zniszczenia w infrastrukturze miejsko-przemysłowej. Występujące zalania i podtopienia terenu są najczęściej skutkiem braku możliwości odbioru przez system kanalizacyjny (bądź koryto rzeki) dużych objętości wód opadowych. Wraz z postępującą urbanizacją, powodującą uszczelnienie naturalnych terenów retencji wód opadowych w miastach, zjawiska te będą się nasilać w przyszłości. Norma europejska PN-EN 752:2008 ogranicza częstość wylewów z kanalizacji do rzadkich (akceptowanych społecznie) powtarzalności ich występowania – co 10÷50 lat, w zależności od rodzaju zagospodarowania przestrzennego terenu. Dlatego tak ważne są systematyczne badania opadów, niezbędne do określenia statystycznej częstości występowania ich maksymalnej wysokości, intensywności czy natężeń jednostkowych, nawet w przypadku tak małej powtarzalności deszczów. Niezbędny jest do tego odpowiednio obszerny materiał archiwalny z obserwacji opadów, z możliwie jak najgęstszej sieci obserwacyjnej. Natężenie deszczu nie jest bowiem stałe, zarówno w czasie jego trwania, jak i w przestrzeni objętej opadem. W pracy [1] sformułowano zasady tworzenia modeli opadów, zarówno fizykalnych, jak i probabilistycznych, do zastosowania w innych aglomeracjach. Do modelowania hydrodynamicznego sieci odwodnieniowych w skali dużego miasta niezwykle ważne są wiarygodne informacje o reprezentatywności danych opadowych pochodzących z pojedynczych stacji lub sieci stacji zlokalizowanych na danym terenie. Wiedza ta jest podstawą do niezbędnych analiz wykonywanych podczas prac projektowych, dotyczących budowy nowych lub modernizacji istniejących (ogólnospławnych bądź deszczowych) systemów kanalizacyjnych.

Przedstawione w niniejszej pracy wybrane wyniki badań przestrzennego zróżnicowania opadów atmosferycznych we Wrocławiu mają zarówno zwrócić uwagę na wagę problemu, jak i pomóc w prawidłowej interpretacji danych o opadach do celów projektowych. Przykładowo, znajomość wysokości opadu normalnego na danym obszarze

miasta jest niezbędna do zastosowania do obliczeń modelu Błaszczyka (który jest dotychczas najczęściej stosowany do wymiarowania kanalizacji), czy też modelu Lambora [2, 3].

Wysokość opadów na obszarze Polski

Opady atmosferyczne, będące nieciągłym elementem meteorologicznym, charakteryzują się dużą zmiennością czasową i przestrzenną występowania oraz znacznym zróżnicowaniem sumy ich wysokości. O reżimie opadowym określonego obszaru decyduje szereg uwarunkowań środowiskowych, spośród których do najważniejszych zalicza się położenie geograficzne, odległość od mórz i oceanów, ukształtowanie powierzchni i wyniesienie obszaru nad poziomem morza, a także pokrycie i sposób użytkowania terenu. Pomiar opadu odbywa się w sposób punktowy w sieci stacji pomiarowych, co wymaga stosowania odpowiednich metod interpretacji uzyskanych wyników na większych obszarach. W zależności od wielkości analizowanego obszaru i zróżnicowania zakresu badanego zjawiska opadu (sumy roczne, miesięczne, dobowe czy godzinne), zmienia się w wyniku uogólnień stopień dokładności odwzorowania ich przestrzennego rozkładu. Na obszarze kraju czy też regionu izohiety mają najczęściej przebieg regularny, podczas gdy w odwzorowaniach na niewielkich obszarach (gmina, miasto) przebiegi izolinii stają się bardziej zawiłe, silnie uzależnione od gęstości sieci pomiarowej. Stopniowo (w zależności od skali) wzrasta także dokładność, a więc i praktyczna przydatność otrzymanych informacji o opadach.

Związki natężenia (intensywności czy wysokości) deszczu wraz z czasem jego trwania i częstością występowania, opracowane na przykładach wielu regionów geograficznych świata (Ameryki, Azji czy Europy), są do siebie jakościowo zbliżone [1, 4, 5]. Nie znaczy to, że są one identyczne ilościowo, zwłaszcza w mikroskali opadów lokalnych. Dane zamieszczone w tabeli 1 prezentują najwyższe, w skali monitorowanej instrumentalnie powierzchni globu ziemskiego, historycznie odnotowane sumy wysokości opadów o określonym czasie trwania. Dane te informują jednocześnie o skali zagrożenia, jakie niesie ze sobą wystąpienie opadów o określonej intensywności, tj. wysokości w jednostce czasu. Analizując przypadki opadów ekstremalnych należy zauważyć, że większość z nich odnosi się do innych stref klimatycznych niż umiarkowana. W strefie ciepłego klimatu monsunowego czy tropikalnego osiągane podczas długotrwałych opadów jedno- lub kilkudniowe sumy wysokości opadów wielokrotnie przewyższają roczne opady w Polsce. Na obszarze Polski rekordem

Dr hab. inż. A. Kotowski, mgr inż. B. Kaźmierczak: Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska, Zakład Usuwania Ścieków, Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27, 50–370 Wrocław
andrzej.kotowski@pwr.wroc.pl, bartosz.kazmierczak@pwr.wroc.pl
Mgr A. Dancewicz: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Oddział we Wrocławiu, ul. Parkowa 30, 51–616 Wrocław
andrzej.dancewicz@imgw.wroc.pl

Tabela 1. Najwyższa suma wysokości opadów atmosferycznych i ich średnia intensywność na świecie i w Polsce (czas trwania opadu od 1 min do 72h) [1]

Table 1. Maximum rainfall totals and average rainfall intensity throughout the world and in Poland (the duration of the rainfall events ranging from 1 min. to 72h) [1]

Czas trwania opadu	Suma mm	Intensywność mm/min	Miejscowość (kraj)	Data opadu
1 min	38	38,00	Barot/Barst (Gwadelupa)	26-11-1970
2 min	35,3	17,65	Szychowice (Polska)	13-06-1956
8 min	126	15,75	Füssen (Niemcy)	25-05-1920
15 min	198	13,20	Plumb Point (Jamajka)	12-05-1916
20 min	206	10,30	Curtea-de-Arges (Rumunia)	07-07-1889
30 min	280	9,33	Sikeshugou (Chiny)	03-07-1974
60 min	401	6,68	Shangdi (Chiny)	03-07-1975
3 h	600	3,33	Duan Jiazhuang (Chiny)	28-06-1973
10 h	1400	2,33	Muduocaidang (Chiny)	01-08-1977
24 h	300	0,21	Hala Gąsienicowa (Polska)	30-06-1973
24 h	1870	1,30	Cilaos (Reunion)	15/16-03-1952
48 h	428	0,30	Masyw Śnieżnika (Polska)	05/07-07-1997
48 h	2500	0,87	Cilaos (Reunion)	15/17-03-1962
72 h	557	0,13	Masyw Śnieżnika (Polska)	05/07-07-1997
72 h	3929	0,91	Cratère Commerson (Reunion)	24/26-02-2007

wysokości opadów za 24-godz. czas jest opad odnotowany 30 czerwca 1973 r., którego suma wyniosła 300 mm [6]. Najwyższe sumy wysokości opadów trwających 48 h i 72 h wystąpiły w rejonie Masywu Śnieżnika (powiat kłodzki) podczas powodzi w lipcu 1997 r. – odpowiednio 428 mm i 557 mm [7, 8].

Z analizy maksymalnych wysokości opadów o czasach trwania od 5 min do 72 h (tab. 2), charakterystycznych w wybranych krajach europejskich, w odniesieniu do warunków klimatycznych Polski (m.in. na tle zmierzonych we Wrocławiu-Strachowicach [1]), wynika, że należy liczyć się z możliwością wystąpienia opadów o podobnej wysokości. W większości krajów europejskich opady np. 24-godz. charakteryzują się zbliżoną do Polski wysokością, sięgającą nawet 350 mm. Ekstremalne wysokości opadów krótkotrwałych (8 min lub 20 min) na obszarze Niemiec czy

Rumunii wskazują także na możliwość wystąpienia opadów o zbliżonej wysokości na obszarze Polski. Zmierzona w Polsce 2-min. najwyższa wysokość opadu (35,3 mm), przeliczona na opad 1-min. (17,7 mm), jest tylko o połowę niższa od rekordu światowego (38 mm). Należy nadmienić, że intensywne opady krótkotrwałe w warunkach polskich nie różnią się znacząco pod względem ich wysokości od opadów notowanych w krajach ościennych (tab. 2).

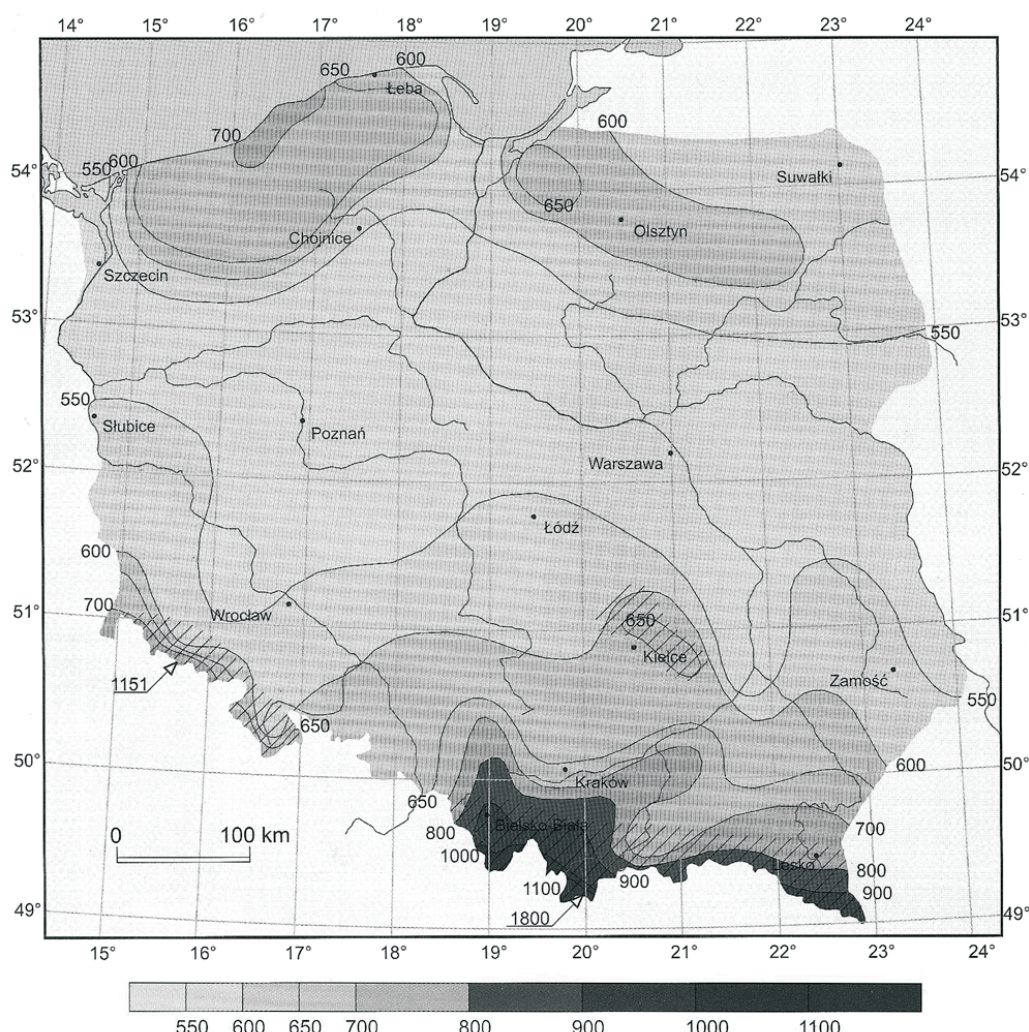
Według dostępnych atlasów i publikacji naukowych, w których do wyznaczenia wysokości opadów w Polsce przyjmowane były różnorodne okresy wieloletnie i zróżnicowana liczba stacji, zamieszczone są różniące się bardziej lub mniej wartości średniego opadu rocznego na obszarze całego kraju [9–11]. Z informacji zawartych w analizowanych pracach wynika, że średnia roczna wysokość opadów na przeważającej części Polski zawiera się w granicach

Tabela 2. Maksymalna wysokość opadów atmosferycznych (w mm) o czasie trwania od 5 min do 72 h w wybranych krajach Europy na tle Wrocławia i Warszawy [1]

Table 2. Maximum amount of precipitation (mm) of a duration varying between 5 min. and 72 h in some European countries, compared to those observed in Wrocław and Warszawa [1]

Kraj Miasto	Czas trwania opadu											
	min				h							
	5	10	15	30	1	2	3	6	12	24	48	72
Polska	25,3	80	79,8	126 ^a	176,1 ^b	117,9	220	221,8 ^c	–	300	428	557
Niemcy		126 ^d		40	200	239	246 ^e	112	–	312	379,9	458
Czechy	29,8	39,8	50,2	79,9	92,8	117	126,6	158,5	203,6	345,1	380	536,7
Węgry	–	64,2	–	–	120	–	–	–	–	260	288	–
Słowenia	–	–	56	84	141	147	191	275	297	363	584	–
Szwecja	–	28,5	50	49 ^f		114 ^g	185 ^h	–	–	276		–
Norwegia	17,9	31,5	–	60	64,9	–	–	105	142,2 ⁱ	229,6	378,9	402,4
Wielka Brytania	32		–	80	92	193	178	–	–	279	–	–
Wrocław-Strachowice	13,1	18,7	24,7	32,9	35,3	57,7	61,9	63,1	64,2	80,1	103,9	116,9
Warszawa-Bielany	20,6	21,9	28	36,6	40,8	49,5	50,4	57	68	80,1	109,7	113,3
Helsinki (Finlandia)	10,7	16,7	22	26	32,3	–	–	–	–	83,9	–	–

Polska – ^a26 min, ^b1,25h, ^c6,5h, Niemcy – ^d8 min, ^e4h, Szwecja – ^f20 min, ^g2,5h, ^h3,5h, Norwegia – ⁱ14h



Rys. 1. Średnia roczna wysokość opadów (mm) w Polsce w latach 1971–2000 [10]
 Fig. 1. Average annual amount of precipitation (mm) in Poland in the time span of 1971–2000 [10]

500÷700 mm. W przypadku wartości wieloletnich, najwyższa średnia suma rocznych wysokości opadów wynosi 1800 mm – na Kasprowym Wierchu w Tatrach, natomiast najniższa 500 mm – na stacji Kujawy w Wielkopolsce.

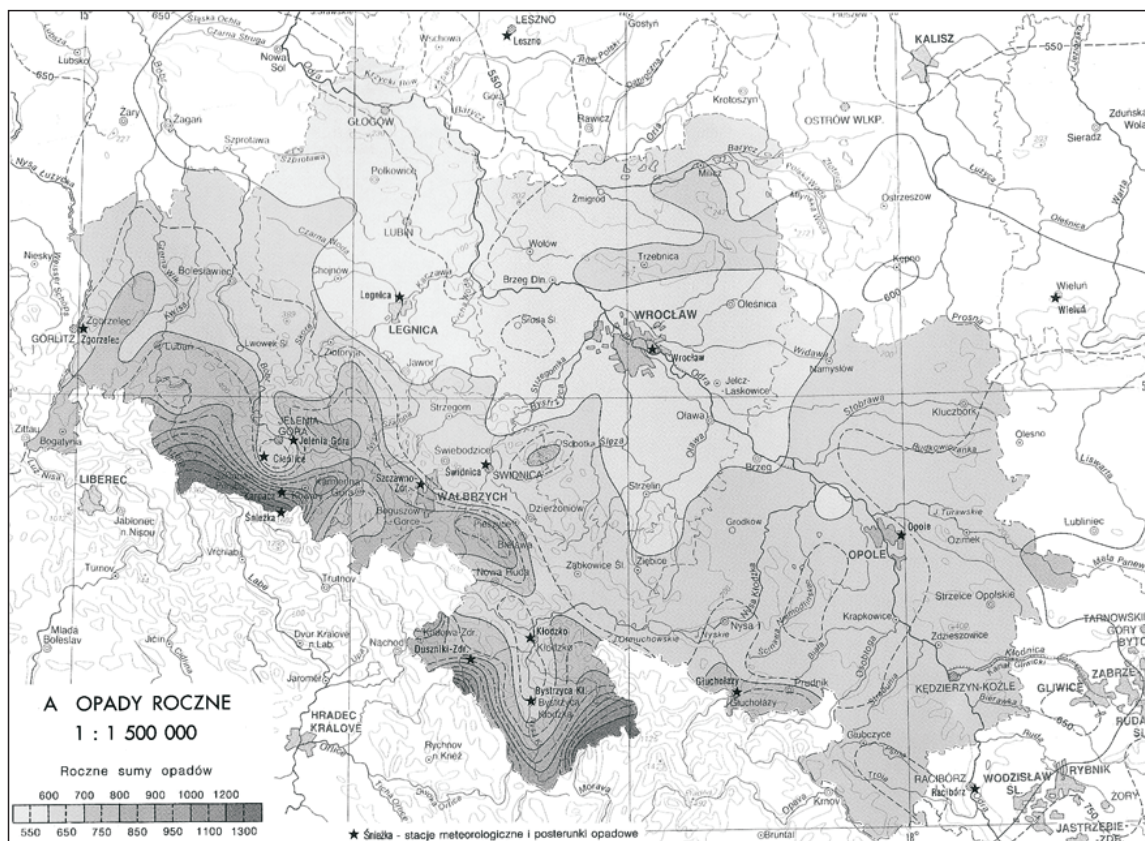
Na rysunku 1 przedstawiono przykład zróżnicowania średnich rocznych wysokości opadów w Polsce w latach 1971–2000 [10]. Zbliżony do równoleżnikowego przebieg izohiet rocznych nawiązuje do ukształtowania hipsometrycznego kraju. Na terenach o mało zróżnicowanej rzeźbie bądź równinnych izolinie zbliżonych sum opadów obejmują duże obszary. Wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza zagęszczenie izohiet wzrasta, informując tym samym o większym zróżnicowaniu wysokości opadów. Jak zatem widać, zmienia się także zasięg reprezentatywności stacji, który uzależniony jest od jej położenia na terenie kraju. Z prezentowanej mapy (rys. 1) w skali kraju wynika, że w rejonie Wrocławia średnia roczna wysokość opadów wynosi około 550 mm.

Wysokość opadów na Dolnym Śląsku

Przestrzenne zróżnicowanie opadów w skali makroregionu Dolnego Śląska uwarunkowane jest wyraźnie wysokością wyniesienia obszaru nad poziomem morza i rzeźbą terenu. Średnie roczne wysokości opadów podawane w wielu publikacjach [12–16] kształtują się w granicach od nieco ponad 500 mm w dolinie Odry do powyżej 1350 mm

w Karkonoszach i Górach Izerskich. Szacowana w skali mapy zamieszczonej na rysunku 2 wysokość średniego rocznego opadu w rejonie Wrocławia kształtuje się w przedziale 550÷600 mm. Przebieg izohiety 600 mm na terenie Dolnego Śląska obejmuje znacznie mniejszy obszar, niż jest to pokazane na rysunku 1 (w skali kraju). Według pracy [12] najniższa suma rocznych wysokości opadów w województwie dolnośląskim wynosiła 381 mm (Wrocław 1982 r.), natomiast wg [17] najwyższa suma opadów zmierzonych na Śnieżce (1977 r.) wynosiła 1909 mm. W ujęciu regionalnym prezentacja przestrzennego zróżnicowania opadów atmosferycznych na mniejszych obszarach charakteryzuje się wzrostem dokładności odwzorowania, która wynika bezpośrednio z gęstości sieci pomiarowo-obszaryjnej na badanym obszarze [18–20]. Przy opracowywaniu wieloletnich charakterystyk opadowych mniejszych obszarów, przy wysokiej gęstości stacji, okazuje się, że przebieg izohiet staje się bardzo zawiły (rys. 2).

Kształt izolinii jest w tym przypadku także wynikiem przyjęcia określonej metody interpolacyjnej, możliwie najbardziej obiektywnej, uwzględniającej charakter analizowanego zjawiska meteorologicznego. Skomplikowany niekiedy przebieg izohiet na małych obszarach przedstawianych w dużej skali czasami jest bardzo trudny do interpretacji, gdyż trudno dopatrzeć się wówczas związku pomiędzy przebiegiem izolinii na danym obszarze a miejscowymi warunkami środowiskowymi (rodzaj pokrycia terenu, sieć hydrograficzna, zabudowa itp.).



Rys. 2. Średnia roczna wysokość opadów (mm) na Dolnym Śląsku w latach 1951–1980 [13]
Fig. 2. Average annual amount of precipitation (mm) in Lower Silesia in the time span of 1951–1980 [13]

Wysokość opadów w aglomeracji wrocławskiej

Tematyka czasowo-przestrzennego zróżnicowania opadów atmosferycznych w skali aglomeracji wrocławskiej była podejmowana wielokrotnie. Zagadnienie to interpretowano w szerokim zakresie, od opisów wyników pomiarów z określonych stacji, po analizy syntetyczne dla całego obszaru miasta [1, 21–24]. W długoletniej historii instrumentalnych pomiarów opadów atmosferycznych w rejonie Wrocławia, sięgającej 1799 r. [25], były one prowadzone na wielu stacjach, wśród których najdłuższe serie pomiarowe dostępne są w trzech stacjach IMGW (Starachowice, Stabłowice i Ogród Botaniczny) oraz w stacjach Uniwersytetu Wrocławskiego (Biskupin) i Uniwersytetu Przyrodniczego (Swojec). Z rysunku 3 wynika, że rozmieszczenie stacji opadowych na terenie Wrocławia jest nierównomierne, gdyż są one zlokalizowane równoleżnikowo, w pasie środkowym miasta. Tereny północne i południowe miasta nie są w ogóle objęte pomiarami.

Publikowane wyniki badań średnich rocznych wysokości opadów we Wrocławiu przedstawiono w tabeli 3. Pochodzą one z różnych stacji i z różnych lat bilansowych. Należy zwrócić uwagę na wysokość opadów w bliskich sobie 10-letnich okresach – 1951–1960 (Wrocław-Gądów Mały – 516 mm [9]) i 1963–1972 (Wrocław-Karłowice – 669 mm [30]), jako wartości skrajnych średnich wieloletnich sum opadów we Wrocławiu. Różnica wysokości opadów wyniosła tu 153 mm, co stanowiło 26% średniej, 100-letniej tzw. wrocławskiej serii opadowej z lat 1881–1980, wynoszącej 593 mm [25]. Z kolei zestawione wysokości opadów z największej liczby wrocławskich stacji (11) funkcjonujących w jednakowym, wspólnym 10-leciu 1963–1972 wskazują, że różnica średnich sum skrajnych

na terenie Wrocławia wyniosła 83 mm (Karłowice – 669 mm, Swojec – 586 mm). Potwierdza to tym samym główne cechy charakteryzujące opady – ich dużą czasowo-przestrzenną zmienność na terenie miasta.

W pracy [27] porównano wysokości opadów zanotowane w trzech wrocławskich stacjach – na Strachowicach,



Rys. 3. Rozmieszczenie stacji pomiarowych na terenie Wrocławia (1 – IMGW Wrocław-Strachowice, 2 – IMGW Wrocław-Stabłowice, 3 – IMGW Wrocław-Ogród Botaniczny, 4 – UWr Wrocław-Biskupin, 5 – UP Wrocław-Swojec)
Fig. 3. Location of gauging stations within the city of Wrocław (1 = IMGW Wrocław-Strachowice, 2 = IMGW Wrocław-Stabłowice, 3 = IMGW Wrocław-Ogród Botaniczny, 4 = UWr Wrocław-Biskupin, 5 = UP Wrocław-Swojec)

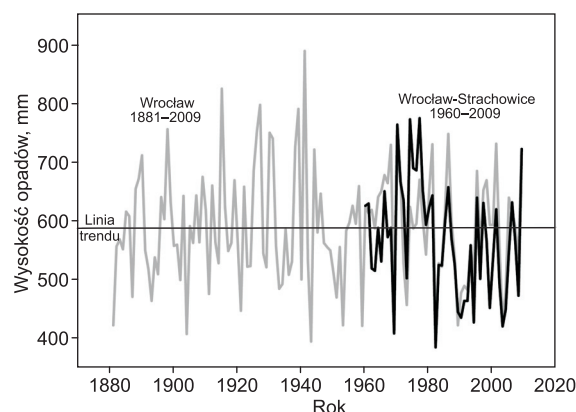
Tabela 3. Średnia roczna wysokość opadów we Wrocławiu
Table 3. Average annual amount of precipitation received in Wrocław

Nazwa stacji	Czas analizy	Suma opadów mm	Źródło danych
Biskupin (UWr)	1946–1980	590	[26]
Biskupin (UWr)	1961–1990	597	[27]
Biskupin (UWr)	1981–2000	567	[28]
Krzyki	1891–1930	585	[29]
Psie Pole	1891–1930	572	[29]
Stabłowice	1891–1930	599	[29]
Wrocławska seria opadowa	1881–1980	593	[25]
Strachowice	1971–2000	569	[30]
Ogród Botaniczny	1971–2000	576	[30]
Stabłowice	1971–2000	568	[30]
Gądów Mały	1951–1960	516	[9]
Swojec	1961–1990	573	[27]
Strachowice	1961–1990	588	[27]
Swojec	1963–1972	586	[31]
Biskupin (IMGW)	1963–1972	639	[30]
Biskupin (UWr)	1963–1972	632	[32]
Gądów Mały	1963–1972	600	[30]
Karłowice	1963–1972	669	[30]
Ogród Botaniczny	1963–1972	667	[30]
Oporów	1963–1972	665	[30]
Psie Pole	1963–1972	645	[30]
Strachowice	1963–1972	598	[30]
Tarnogaj	1963–1972	620	[30]
Złotniki/Stabłowice	1963–1972	616	[30]
Strachowice	1960–2009	568	[1]
Biskupin (UWr)	1960–2009	590	[1, 32]
Wrocławska seria opadowa	1881–2009	588	[1]

Biskupinie oraz Swojcu i wykazano w 30-leciu 1961–1990 różnicę sięgającą 24 mm (Biskupin – 597 mm, Strachowice – 588 mm, Swojec – 573 mm). Odnotowane relacje i wartości średnich uległy w ostatnich dziesięcioleciach nieznacznemu zmniejszeniu. Z własnych obliczeń [1] uzyskano na stacji IMGW Wrocław-Strachowice w latach 1960–2009 średnią 568 mm (588 mm w latach 1961–1990 [27], 569 mm w latach 1971–2000 wg danych IMGW [30]). W tym samym czasie (1960–2009) średnia na stacji Wrocław-Biskupin (UWr) wyniosła 590 mm (597 mm w latach 1961–1990 [27], 593 mm w latach 1881–1980 [25]). Oznacza to nieznaczny spadek rocznych wysokości opadów w ostatnich kilkudziesięciu latach wg obu analizowanych

stacji. Na rysunku 4 zobrazowano przebieg opadów atmosferycznych na stacji IMGW Wrocław-Strachowice względem dostępnej serii pomiarowej opadów we Wrocławiu z lat 1881–2009 [1]. Materiały 129-letniej „wrocławskiej serii opadowej” zawierają połączone przedwojenne wyniki pochodzące ze stacji zlokalizowanych w rejonie Uniwersytetu Wrocławskiego, Ogrodu Botanicznego, Krzyków, Gądowa Małego i Strachowice, a w okresie powojennym z Biskupina. Przebieg opadów porównywanych serii w okresie 1960–2009 jest zasadniczo zgodny (rys. 4), a występujące odstępstwa przypisać należy naturalnej zmienności przestrzennej opadów. Porównywane stacje zlokalizowane są bowiem w różnych częściach Wrocławia, a odległość pomiędzy nimi wynosi ok. 20 km (rys. 3).

Średnia z „wrocławskiej serii opadowej” za 129-letni czas obserwacji (1881–2009) wynosi 588 mm (śr. z Biskupina z lat 1960–2009 – 590 mm). Równanie linii trendu przyjmuje postać $H=0,0061x+587,21$ ($R=0,0024$), co świadczy o braku trendu zmian wysokości opadu normalnego (H) na przestrzeni 129 lat (rys. 4). Najniższa suma roczna w latach 1960–2009 wyniosła 380,8 mm w 1982 r., natomiast najwyższe opady odnotowano w 1977 r. – 776,2 mm (dwukrotnie wyższe od rocznego minimum). Przyjmując dziesięcioprocentowe dodatnie i ujemne odchylenia sumy opadów w danym roku względem wielkości średniej wieloletniej, w 50-letniej serii obserwacji wystąpiło 15 lat z odchyleniem plus 10% i 15 lat z odchyleniem minus 10% (szczególnie licznych w ostatnim dwudziestolecu). Umownie można określić je jako „lata mokre” i „lata suche”. W sąsiedztwie wartości średniej mieściło się 20 lat („lata przeciętne”). Przykładowo, lata wielkich powodzi na Dolnym Śląsku (1997 r. i 2001 r.) okazały się w przypadku Wrocławia latami przeciętnymi pod względem wysokości opadów (odpowiednio 629,9 mm i 619,3 mm [1]).



Rys. 4. Roczna wysokość opadów z „wrocławskiej serii opadowej” w latach 1881–2009 oraz serii Wrocław-Strachowice w latach 1960–2009 [1]

Fig. 4. Annual amounts of precipitation from the „Wrocław precipitation series” in the time span of 1881–2009, and from the Wrocław-Strachowice series in the time span of 1960–2009 [1]

Tabela 4. Suma wysokości opadów o czasach trwania 24 h, 48 h i 72 h w latach 1960–2009 (Wrocław-Strachowice)
Table 4. Rainfall totals (mm) for Wrocław-Strachowice in the time span of 1960–2009 (the duration of the rainfall events being 24 h, 48 h and 72 h)

Czas h	Deszczomierz Hellmanna (suma stała)			Pluviograf (suma ruchoma)		
	suma mm	data	godz.	suma mm	data	godz.
24	74,4	20 VII 2001	07:00–07:00	80,1	18–19 VII 1997	11:20–11:15
48	101,1	09–10 VIII 1964	07:00–07:00	103,9	06–08 VIII 2006	12:55–12:50
72	110,8	18–20 VII 1997	07:00–07:00	116,9	05–08 VIII 2006	10:50–10:45

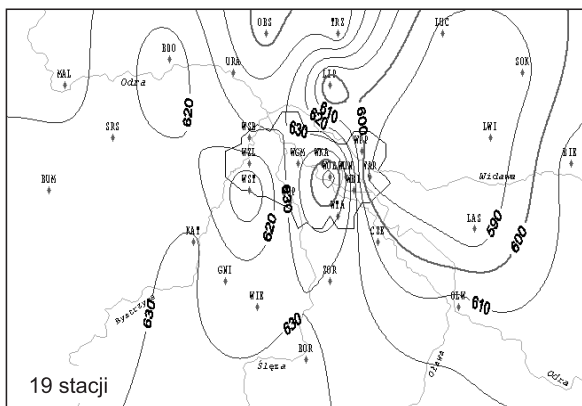
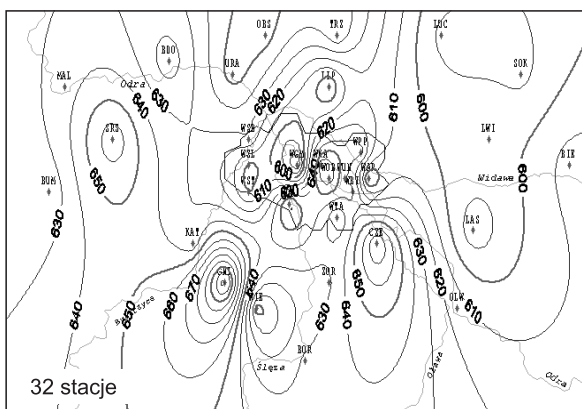
W badanym wieloleciu 1960–2009 maksymalna dobową sumą wysokości opadów zmierzonych deszczomierzem tradycyjnym w sztywnym przedziale czasu na stacji Wrocław-Strachowice wyniosła 74,4 mm, natomiast najwyższa suma za ruchomy czas 24-godz. wyniosła już 80,1 mm [1]. W tabeli 4 zamieszczono najwyższe sumy opadów w przedziałach czasu 24 h, 48 h i 72 h. Wyznaczone wartości w przedziałach czasu 48 h i 72 h wskazują, że różnice te nie były duże i zawierały się (na badanej stacji) od ok. 3% do ok. 8%.

Tabela 5. Suma wysokości opadów o czasach trwania 24 h, 48 h i 72 h przy najwyższych opadach dobowych w latach 1960–2009

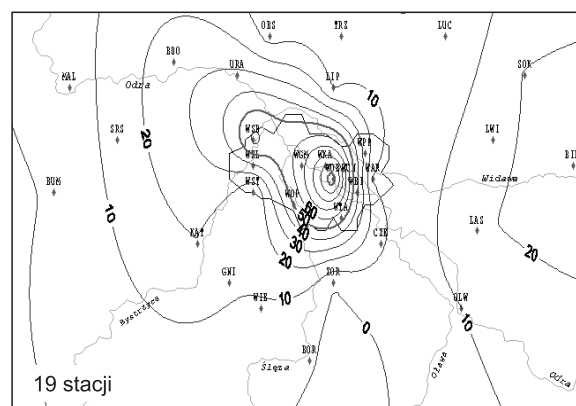
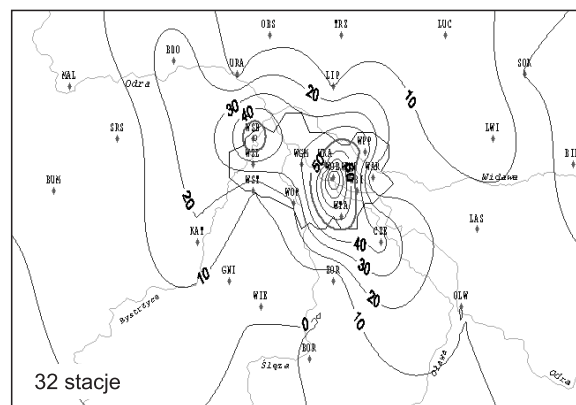
Table 5. Rainfall totals at the highest daily precipitation amounts in the time span of 1960–2009 (the duration of the rainfall events being 24 h, 48 h and 72 h)

Wrocław-Oporów 09–11 VIII 1964 r.			Wrocław-Psie Pole 16–18 VII 1965 r.		
24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
110,4 mm	148,2 mm	159,0 mm	115,0 mm	119,0 mm	120,0 mm

Analizując opady występujące na terenie Wrocławia w latach 1960–2009 stwierdzono, że największa dobową sumą wysokości opadów wyniosła 115,0 mm i została zmierzona 17 lipca 1965 r. na stacji opadowej Wrocław-Psie Pole. Nieznacznie niższa suma – 110,4 mm wystąpiła 10 sierpnia 1964 r. na stacji Wrocław-Oporów (tab. 5).



Rys. 5. Mapy średnich rocznych wysokości opadów (mm) w rejonie aglomeracji wrocławskiej w latach 1963–1972
Fig. 5. Maps showing average annual amounts of precipitation (mm) within the area of the municipality of Wrocław in the time span of 1963–1972



Rys. 6. Mapy dobowych wysokości opadów atmosferycznych (mm) z 06-06-1971 w rejonie aglomeracji wrocławskiej
Fig. 6. Maps showing daily amounts of precipitation (mm) received on 06-06-1971 within the area of the municipality of Wrocław

Analiza czasowo-przestrzennego zróżnicowania maksymalnych sum opadów w przedziałach czasu 24 h, 48 h i 72 h na terenie Wrocławia wskazuje, że różnice zmierzonych wysokości opadów na poszczególnych stacjach różniły się istotnie, co może powodować okresowe przeciążenia sieci kanalizacyjnej w różnych rejonach miasta. Fakt ten wskazuje na konieczność stałego monitorowania zjawiska opadów na całym obszarze miasta w gęstszej – niż dotychczasowa – sieci obserwacyjnej.

W badaniach nad przestrzennym zróżnicowaniem opadów w aglomeracji wrocławskiej, przeprowadzonych w pracy [20], wykorzystano wyniki pomiarów opadów z 32 stacji działających w latach 1963–1972 na terenie Wrocławia i w promieniu około 40 km wokół miasta. Porównanie przeprowadzono w odniesieniu do liczby obecnie funkcjonujących 19 stacji (17 stacji IMGW oraz Swojec UP i Biskupin UWr) – po ograniczeniu sieci IMGW w latach 90. ubiegłego wieku. Wykazano istotny wpływ zmniejszenia liczby stacji na dokładność przestrzennego odwzorowania rozkładu średnich wysokości opadów (rys. 5). Podobną analizę wykonano na przykładzie wybranego wysokiego opadu dobowego z 6 czerwca 1971 r. (rys. 6).

W obu przypadkach zmniejszenie liczby analizowanych stacji spowodowało powstanie zasadniczych różnic w przebiegu izohiet i ich zasięgu. Uzyskane wyniki potwierdzają tezę, iż mała liczba stacji pomiarowych powoduje znaczną utratę informacji o rzeczywistej wysokości opadów na badanym obszarze oraz zbyt duże uogólnienie przebiegu izohiet. Wskazane jest zatem, aby na obszarach zurbanizowanych gęstość sieci pomiarowej opadów była możliwie jak największa.

Modele opadów krótkotrwałych na terenie Wrocławia

Analiza maksymalnej dobowej wysokości opadów na stacji Wrocław-Strachowice za 50-lecie 1960–2009 wykazała, że najwyższa suma dobowa wyniosła 74,4 mm (tab. 4), podczas gdy na innych wrocławskich stacjach notowane były w tych latach sumy przekraczające 100 mm (np. Wrocław-Psie Pole – 115,0 mm) (tab. 5). Różnica wysokości opadu wynosiła aż 40,6 mm, co na stacji Wrocław-Strachowice było wartością przewyższającą o 55% najwyższą zmierzoną dobową wysokość opadów. Widać zatem wyraźnie, jak duże jest zróżnicowanie przestrzenne opadów na obszarze aglomeracji wrocławskiej. Zatem wnioskowanie oparte na wynikach pochodzących z jednej stacji może powodować duże niedoszacowanie wielkości opadów w innych obszarach miasta.

W przypadku prac projektowych nad rozbudową czy modernizacją sieci kanalizacji ogólnospławnej lub deszczowej aglomeracji wrocławskiej niezwykle istotne są charakterystyki natężeń deszczów o określonym czasie trwania, najczęściej poniżej 360 min. Informacje takie rejestrowane są na tradycyjnych (papierowych) zapisach pluwiograficznych, a także, od kilku lat, w formacie cyfrowym – z deszczomierzy automatycznych. Sieć zaledwie trzech stacji pomiarowych o ciągłej rejestracji opadów we Wrocławiu (Starachowice, Swojec, Biskupin) jest z pewnością za rzadka i należy dążyć do jej zagęszczenia (co najmniej podwojenia), z uwzględnieniem przy lokalizacji nowych stacji charakterystycznych lokalnych cech zurbanizowanego środowiska – szczególnie w części południowej i północnej miasta (rys. 3). Obszernych analiz obserwacji pluwiograficznych, pod kątem przydatności do celów projektowych, dotychczas doczekały się materiały archiwalne pochodzące ze stacji IMGW Wrocław-Starachowice [1] i Wrocław-Swojec [23, 24]. Tak więc materiały zgromadzone w archiwum Zakładu Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Wrocławskiego wciąż czekają na naukowe opracowanie, które mogłoby być pomocne do projektowania odwodnienia terenów, w tym modelowania hydrodynamicznego kanalizacji w centralnej części Wrocławia. Lokalne różnice wysokości opadów krótkotrwałych w skali dużego miasta można wykazać na przykładzie Wrocławia-Strachowic i Wrocławia-Swojca na podstawie porównania wyników obliczeń natężenia deszczów z modeli fizykalnych opracowanych na potrzeby tych rejonów miasta.

W pracy [1], na podstawie danych pluwiograficznych ze stacji meteorologicznej IMGW Wrocław-Strachowice z wielolecia 1960–2009, wyodrębniono 514 opadów spełniających kryterium wysokości ($h \geq 0,75t^{0,5}$) w 16 przedziałach czasu ich trwania (od 5 min do 72 h). Na tej podstawie opracowano modele (fizykalny i probabilistyczny) na maksymalną wysokość opadów. Model fizykalny maksymalnego natężenia opadów we Wrocławiu-Strachowicach, gdy $t \in [5; 4320]$ min i $C \in [1; 50]$ lat, ma postać:

$$q = 166,7 \left[(6,670 + 1,677 \ln(C - 0,530)) (t - 3,45)^{0,265} \right] t^{-1} \quad (1)$$

natomiast model probabilistyczny, oparty na kwantylu rozkładu prawdopodobieństwa Fishera-Tippetta typ III_{min} ma postać:

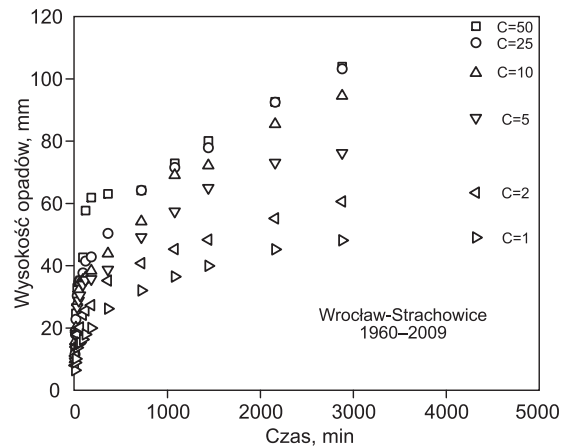
$$q = 166,7 \left[-4,583 + 7,412 t^{0,242} + (97,105 t^{0,0222} - 98,675) (-\ln p)^{0,809} \right] t^{-1} \quad (2)$$

w których:

q – jednostkowe (maksymalne) natężenie opadu, $dm^3/s \cdot ha$
 C – częstość występowania deszczu o danym natężeniu (z przewyższeniem), rok
 t – czas trwania opadu, min

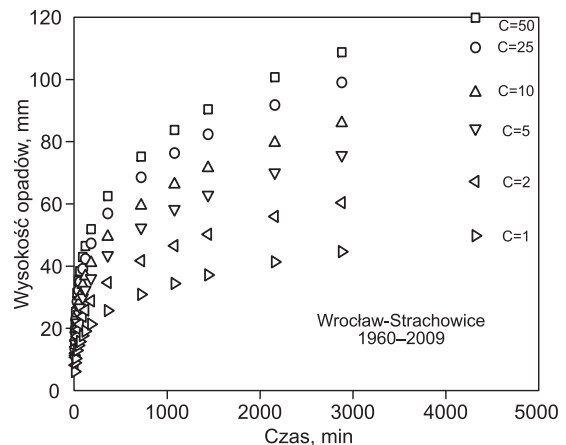
p – prawdopodobieństwo przewyższenia opadu, $p \in (0; 1]$

Na rysunku 7 przedstawiono zbiorcze zestawienie zmierzonych (niewygładzonych) szeregów częstości maksymalnych wysokości opadów szentetycznych we Wrocławiu-Strachowicach z lat 1960–2009, a na rysunku 8 zbiorcze zestawienie krzywych typu DDF – wygładzonych modelem fizykalnym (1).



Rys. 7. Zbiorcze zestawienie zmierzonych (niewygładzonych) szeregów częstości maksymalnych wysokości opadów we Wrocławiu-Strachowicach z lat 1960–2009

Fig. 7. Measured (non-smoothed) series of the frequency of maximum precipitation amounts in Wrocław-Strachowice in the time span of 1960–2009



Rys. 8. Zbiorcze zestawienie krzywych typu DDF – maksymalnych wysokości opadów z lat 1960–2009 we Wrocławiu-Strachowicach wygładzonych modelem (1)

Fig. 8. DDF-type curves of maximum precipitation amounts (smoothed using model (1)) in Wrocław-Strachowice in the time span of 1960–2009

Tabela 6. Wartości współczynników a, b, c, n do modelu (3)
 Table 6. Values of the coefficients a, b, c, n for model (3)

Prawdopodobieństwo (p), %			
10% C=10 lat	20% C=5 lat	50% C=2 lata	100% C=1 rok
a=713,8329	a=82413,63	a=643645564	a=1573,239
b=-3,88429	b=19,57292	b=64,88700	b=4,787518
c=-210,067	c=20,40978	c=20,62691	c=6,351722
n=0,218073	n=1,752958	n=3,535880	n=0,949642

Tabela 7. Porównanie wyników obliczeń maksymalnego natężenia deszczów (q , $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$) z modeli fizykalnych (Polska, Wrocław-Strachowice, Wrocław-Swojec)
 Table 7. Comparison of maximum rainfall intensities (q , $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$) calculated from physical models (Poland, Wrocław-Strachowice, Wrocław-Swojec)

Częstość	Czas min	Model Błaszczyka H=590 mm	Model (1) Wrocław-Strachowice	Model (3) Wrocław-Swojec	Różnica (1)–(3)	Różnica względna, % [(1)–(3)]/(3)
C=1 rok	15	76,0	114,8	98,8	16,0	16,2
	30	47,7	71,7	60,4	11,7	19,4
	60	30,0	43,8	36,3	7,5	20,7
	120	18,9	26,5	22,4	4,1	18,3
	180	14,4	19,7	17,4	2,3	13,2
C=2 lata	15	95,7	155,4	141,3	14,1	10,0
	30	60,2	96,9	86,3	10,6	12,3
	60	37,8	59,2	45,5	13,7	30,1
	120	23,8	35,8	26,8	9,0	33,6
	180	18,1	26,7	22,9	3,8	16,6
C=5 lat	15	129,9	194,8	185,9	8,9	4,8
	30	81,6	121,4	108,4	13,0	12,0
	60	51,3	74,2	58,8	15,4	26,2
	120	32,3	44,9	34,7	10,2	29,4
	180	24,6	33,4	28,1	5,3	18,9
C=10 lat	15	163,7	221,4	212,1	9,3	4,4
	30	102,9	138,0	140,4	-2,4	-1,7
	60	64,6	84,3	86,5	-2,2	-2,5
	120	40,6	51,1	43,0	8,1	18,8
	180	31,0	38,0	21,1	16,9	80,1

W pracy [23] na podstawie danych pluwiograficznych ze stacji meteorologicznej Wrocław-Swojec z wielolecia 1975–2002 wyodrębniono 959 opadów, przyjmując kryterium wysokości $h \geq 1,3 \text{ mm}$ przy czasie trwania $t \leq 6 \text{ h}$. Na tej podstawie wyestymowano współczynniki empiryczne różnych postaci modeli fizykalnych opadów – na średnie oraz na maksymalne natężenia deszczów (te ostatnie spośród 662 największych opadów) o częstości występowania $C=1, 2, 5$ i 10 lat i czasu trwania $t \leq 180 \text{ min}$. W przypadku opadów maksymalnych we Wrocławiu-Swojcu model przyjmuje postać [24]:

$$q_{\text{maks}} = \frac{a}{(t+b)^n} + c \quad (3)$$

w której:

q_{maks} – jednostkowe (maksymalne) natężenie opadów, $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$

t – czas trwania deszczu, min

a, b, c, n – współczynniki regresji, zależne od prawdopodobieństwa (p) (tab. 6)

W tabeli 7 przedstawiono porównanie wyników obliczeń maksymalnego natężenia deszczów obliczonego z modeli fizykalnych na przykładzie Wrocławia-Strachowic (1) i Wrocławia-Swojca (3), przy wybranych częstościach występowania ($C=1 \div 10$ lat) i czasów trwania opadów ($t=15 \div 180 \text{ min}$), na tle wyników obliczeń z modelu Błaszczyka ($H=590 \text{ mm}$).

Wyniki obliczeń wartości q według analizowanych modeli różnią się znacznie – najczęściej w zachodnich rejonach miasta (Strachowice) występują wyższe wartości natężeń opadów o około 20% w stosunku do wschodnich rejonów miasta Wrocławia (Swojec). Przykładowo, przy

$C=1$ rok i $t=15 \text{ min}$ wg modelu (3): $q_{15,1}=98,8 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$, a wg modelu (1): $q_{15,1}=114,8 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$. Na Swojcu wystąpiły też nieco niższe wysokości opadów normalnych (np. w 30-leciu 1961–1990: Strachowice 588 mm, a Swojec 573 mm). Różnice te były więc następstwem różnego położenia przestrzennego źródłowych stacji meteorologicznych w mieście (na wschodzie i zachodzie miasta). Model Błaszczyka, który jest jak dotychczas najczęściej stosowany do wymiarowania kanalizacji w Polsce, znacznie zaniża wyniki obliczeń miarodajnych natężeń deszczów (przykładowo $q_{15,1}=76 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$) – aż o około 50% w rejonie Wrocławia-Strachowic i o około 30% w rejonie Wrocławia-Swojca (tab. 7). Nie powinien więc być stosowany w warunkach wrocławskich.

Podsumowanie

W zakresie potrzeb projektowych, w tym modelowania hydrodynamicznego sieci kanalizacyjnych na obszarze Wrocławia, przeprowadzone studium czasowo-przestrzennego zróżnicowania opadów pod kątem zbadania reprezentatywności stacji wykazało, że obecna sieć pomiarowo-obszernościowa nie sprostana zapotrzebowaniu na oczekiwane informacje, niezbędne do projektowania bądź modernizacji systemów kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej. Odnosi się to głównie do wyników charakteryzujących wysokości opadów o zróżnicowanym czasie trwania, a w szczególności intensywnych opadów krótkotrwałych, stwarzających duże zagrożenie funkcjonowania kanalizacji. Wykazano znaczne różnice ilościowe natężeń opadów w zachodnich i we wschodnich rejonach Wrocławia. Tak więc w skali

dużego miasta posługiwanie się danymi pochodzącymi z jednej czy dwóch stacji może powodować niedoszacowanie wielkości opadów w niektórych rejonach miasta. Dążyć należy zatem do optymalnego pokrycia obszaru Wrocławia siecią stacji automatycznie rejestrujących wysokość opadu w czasie, co w lepszy sposób pozwoli projektować i modernizować miejską sieć kanalizacyjną (zwłaszcza na północy i południu miasta). W efekcie tych działań poprawi się zabezpieczenie i ochrona terenów zurbanizowanych Wrocławia przed lokalnymi wylewami z kanalizacji czy podtopieniami wywołanymi intensywnymi opadami deszczów.

Z badań wynika, że na przestrzeni lat 1881–2009 średnia roczna wysokość opadów we Wrocławiu nie miała istotnego trendu zmian. Tak więc przyczyn coraz częściej obecnie występujących wylewów z kanalizacji czy nawet powodzi należy upatrywać zarówno we wzroście gwałtowności czy długotrwałości zjawisk opadowych (a nie we wzroście wysokości opadów), jak i w niekorzystnych przyrodniczo zmianach w infrastrukturze miejskiej, gdzie w miejsce naturalnych powierzchni terenu wprowadza się w nadmiarze powierzchnie nieprzepuszczalne i zwartą zabudowę, przez co zwiększa się spływ powierzchniowy. Skutkiem tego jest także zjawisko obniżania się poziomu wód podziemnych w miastach [33, 34].

LITERATURA

1. A. KOTOWSKI, B. KAŻMIERCZAK, A. DANCEWICZ: Analiza maksymalnych wysokości opadów we Wrocławiu w latach 1960–2009. Modelowanie opadów miarodajnych do wymiarowania kanalizacji. Raporty Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Seria SPR nr 26/2009.
2. A. KOTOWSKI: Dyskusja nad zaleceniami normy PN-EN 752 odnośnie zasad wymiarowania odwodnień terenów w Polsce. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN 2007, Vol. 46, ss. 27–37.
3. A. KOTOWSKI, B. KAŻMIERCZAK: Ocena przydatności dotychczasowych wzorów na natężenie opadów deszczowych do projektowania odwodnień terenów w Polsce. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2009, nr 11, s. 11–17.
4. A. ŚWIĄTECKI: Analiza możliwości zastosowania typowych krzywych natężenia deszczów w funkcji czasu trwania opadu. Prace i Studia Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, t. VIII, Warszawa 1965.
5. P. PROKOP: Maksymalne opady oraz czas ich trwania na świecie i w Polsce. *Przegląd Geofizyczny* 2006, R. LI, nr 2.
6. IMGW: Opady atmosferyczne 1973. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1978.
7. J. PIASECKI, M. SZYMANOWSKI, J. REHAŁ: Opady atmosferyczne lipcu 1997 w Masywie Śnieżnika Kłodzkiego. Inicjacja powodzi w regionie. Materiały forum „Powódź 1997: Wstępna ocena przyczyn, rozmiarów i skutków” Ustroń 1997.
8. B. GŁOWICKI, A. DANCEWICZ, I. OTOP: Katalog maksymalnych opadów dobowych w Polsce południowo-zachodniej w latach 1971–2000. Współczesne problemy klimatu Polski – fakty i niepewności. Monografie IMGW, Warszawa 2006, ss. 7–22.
9. IMGW: Atlas Klimatyczny Polski. PPWK, Warszawa 1973.
10. H. LOREC [red]: Atlas klimatu Polski. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2005.
11. M. KIRSCHENSTEIN, D. BARANOWSKI: Sumy opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1951–1995. Badanie Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A – Geografia Fizyczna 2005, t. 56, ss. 55–72.
12. www.twojapogoda.pl.
13. Praca zbiorowa: Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego. Uniwersytet Wrocławski, Wrocław 1977.
14. B. GŁOWICKI, I. OTOP, G. URBAN, K. TOMCZYŃSKI: Klimat. Opracowanie fizjograficzne dla województwa dolnośląskiego. Wojew. Biuro Urbanistyczne, Wrocław 2005, ss. 53–61.
15. M. SOBIK: Klimat. Przyroda Dolnego Śląska [red. J. FABISZEWSKI], PAN, Wrocław 2005, ss. 39–57.
16. S. BAC, M. ROJEK: Warunki klimatyczne Dolnego Śląska. Rolnictwo na Dolnym Śląsku. PWN, Warszawa 1984, ss. 25–42.
17. B. GŁOWICKI: Klimat Śnieżki. Wysokogórskie obserwatorium meteorologiczne na Śnieżce. Biblioteka Monitoringu Środowiska, IMGW-PIOŚ, Wrocław 1995, ss. 37–64.
18. A. DANCEWICZ: Pole opadów atmosferycznych w otoczeniu sztucznych zbiorników wodnych Otmuchów i Nysa przed i po ich powstaniu. *Wiadomości IMGW* 1993, t. XVI, z. 4, ss. 71–85.
19. J. BAC-BRONOWICZ, A. DANCEWICZ: Evaluation of the influence of precipitation conditions on the transformations of the land usage. Proc. 19th International Cartographic Conference, Ottawa 1999.
20. J. BAC-BRONOWICZ, A. DANCEWICZ: The density of precipitation network of urban area as a base for evaluating the interpretation of spatial differentiation of precipitation with the example of Wrocław agglomeration. GIS Conference. By interoperability to mobility. Ostrava-Poruba 2005.
21. J. WOŁOSZYN: Średnie natężenie, średni czas trwania i rozkład natężenia normalnych opadów we Wrocławiu. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Rolniczej we Wrocławiu, Melioracja* 1961, nr 61, ss. 23–41.
22. M. SOWIŃSKI: Wyznaczenie maksymalnego natężenia opadu o T-letnim okresie powtarzalności na przykładzie Wrocławia. *Wiadomości IMGW* 1980, t. VI, z. 3–4, ss. 117–126.
23. P. LICZNAK, J. ŁOMOTOWSKI: Analiza średnich natężeń deszczów miarodajnych we Wrocławiu. *Ochrona Środowiska* 2005, vol. 27, nr 1, ss. 29–34.
24. P. LICZNAK, J. ŁOMOTOWSKI: Analiza chwilowych natężeń deszczów miarodajnych we Wrocławiu. *Ochrona Środowiska* 2005, vol. 27, nr 2, ss. 25–28.
25. J.L. PYKA: Temperatura i opady atmosferyczne we Wrocławiu w latach 1881–1980. *Acta Universitatis Wratislaviensis* 1991, Prace Inst. Geogr. Seria A, t. VI, ss. 19–54.
26. M. DUBICKA: Opady atmosferyczne we Wrocławiu i ich związek z cyrkulacją atmosfery. *Acta Universitatis Wratislaviensis* 1991, Prace Inst. Geogr. Seria A, t. VI, ss. 55–84.
27. S. BAC: Estimate of reliability of information on atmospheric precipitation. *Acta Universitatis Wratislaviensis* 1997, Prace Inst. Geogr. Seria C, t. IV, ss. 163–170.
28. A. DUBICKI, M. DUBICKA, M. SZYMANOWSKI: Klimat Wrocławia. Środowisko Wrocławia – Informator, Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju, Wrocław 2002, ss. 9–25.
29. W. WISZNIEWSKI: Atlas opadów atmosferycznych w Polsce 1891–1930. PIHM, Wydawnictwa Komunikacyjne, Warszawa 1953.
30. Zasoby archiwalne IMGW Oddział we Wrocławiu (prace niepublikowane).
31. Zasoby archiwalne Uniwersytetu Przyrodniczego. Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska we Wrocławiu (prace niepublikowane).
32. Zasoby archiwalne Uniwersytetu Wrocławskiego. Zakład Meteorologii i Klimatologii we Wrocławiu (prace niepublikowane).
33. T.G. SCHMITT: Kommentar zum Arbeitsblatt A 118 „Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen“. DWA, Hennef 2000; Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2007.
34. M. WORSZA-KOZAK, A. KOTOWSKI, A. WARTALSKI: Monitoring stanów wód podziemnych w rejonie Śródmiejskiego Węzła Wodnego we Wrocławiu. *Przegląd Geologiczny* 2008, t. 56, nr 4, ss. 302–307.

Kotowski, A., Dancewicz, A., Kaźmierczak, B. Space-time Distribution of Precipitation in the City of Wrocław. *Ochrona Środowiska* 2010, Vol. 32, No. 4, pp. 37–46.

Abstract: Analysis of the space-time distribution of precipitation for the city of Wrocław obtained from many years' measurements has demonstrated that the existing network of gauging stations fails to provide reliable data for the design or modernization, and primarily for the hydrodynamic modeling of draining systems. This finding holds true particularly for high-intensity rainfalls of a short duration, as they pose a real threat to the functioning of the storm water drain and combined sewage systems. The results of the study have revealed considerable differences in the amount and intensity of precipitation between particular parts of the city. Within the area of the Wrocław-Strachowice station (in the western part of the city) the amount of precipitation

received was by approx. 20% higher as compared to that within the Wrocław-Swojec station (in the eastern part of the city). Drawing conclusions based on the data obtained from the two meteorological stations may lead to the underestimation of the precipitation amounts received in the northern and southern parts of the city, as can be inferred from the higher values of daily precipitation amounts measured in Wrocław-Psie Pole and Wrocław-Oporów. It is therefore recommendable to increase the number of stations that will provide automatic records of the precipitation amounts received with time. This will guarantee a more efficient protection of the municipality of Wrocław against local flooding or outflow from the sewerage system.

Keywords: Rainfall, precipitation amount, rainfall intensity, network of gauging stations.