

Analiza struktury czasowej opadów maksymalnych Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa)

An analysis of the time structure of maximum precipitation of the Polish Atlas of Rainfall Intensity (PANDa)

EWA BURSZA-ADAMIAK, PAWEŁ LICZNAR

W artykule przedstawiono wyniki analiz rozkładów w poszczególnych miesiącach roku opadów maksymalnych o wysokiej rozdzielczości czasowej (od 5 min do 3 dób). Materiał źródłowy stanowiły archiwalne dane pomiarowe, ze stu stacji z całej Polski, obejmujące lata 1986-2015. Przygotowana z nich cyfrowa baza danych o opadach ekstremalnych jest podstawą do opracowania Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa). Przyszłościowo atlas PANDa ma być źródłem aktualnej i niepodważalnej informacji o natężeniach deszczów miarodajnych dla wszystkich 919 miast Polski, stanowiąc podstawę projektowania oraz modelowania systemów odprowadzania ścieków deszczowych. Wyniki badań wykazały, że ponad 70% największych opadów zdarzyło się w miesiącach letnich tj. czerwiec – sierpień. Taką tendencję obserwowano dla wszystkich czasów trwania oraz dla deszczy o najwyższych wysokościach w bazie opadowej, a także dla deszczy z przypisanym prawdopodobieństwem przewyższenia $p = 10\%$, 20% oraz 50% . W okresie jesienno-zimowym dominowały opady maksymalne o długim czasie trwania (powyżej 6h), natomiast w okresie ciepłym roku przeważały opady krótkotrwałe.

Słowa kluczowe: opad maksymalny, struktura czasowa opadów, atlas PANDa, powódzie miejskie

The paper presents the results of analyses of the distributions of maximum rainfall events characterised by high time resolution (5 minutes to 3 days) in specific months of the year. The archive registrations from one hundred stations throughout Poland, recorded in the years 1986-2015 is used as the source material. The resulting digital database of extreme precipitation is a basis for the development of the Polish Atlas of Rainfall Intensity (PANDa). In the future, the PANDa atlas is planned to be a source of up-to-date, indisputable information about the design rainfall intensities for all 919 cities in Poland and thus a basis for the design and modelling of stormwater drainage systems. The study results demonstrate that over 70% of the rainfall maxima occurs in summer months, i.e. from June to August. Such trend is visible for all the durations and for the maximum rainfall intensities in the precipitation database, as well as for precipitations with the assigned exceedance probability $p = 10\%$, 20% and 50% . The autumn and winter seasons are dominated by maximum rainfall events of a long duration (over 6h), while short-term rainfall events are dominant in the warm season of the year.

Key words: maximum rainfall, rainfall time structure, Polish Atlas of Rainfall Intensity PANDa atlas, urban floods

Wprowadzenie

Utrudnienia w odbiorze przez system kanalizacyjny lub odbiornik ekstremalnie dużych objętości wód opadowych mogą mieć miejsce zarówno w czasie intensywnych kilkudniowych opadów deszczu, o charakterze rozlewnym jak i w warunkach deszczy nawalnych, czyli opadów o dużym natężeniu, których czas trwania waha się od kilku do kilkudziesięciu minut. Skutkiem występowania tego rodzaju opadów są liczne problemy w zakresie zagospodarowania wód opadowych i realne zagrożenia awariami infrastruktury technicznej [1]. Nierzadko, przy intensyfikacji

zjawiska, dochodzi do tzw. powodzi błyskawicznych (ang. *Flash Floods*), które ze względu na coraz częstsze występowanie w przestrzeniach zurbanizowanych zyskały określenie „powodzi miejskich” (ang. *Urban Floods*). Powódzie te należą do najkrótszych i najbardziej dynamicznych zdarzeń hydrologicznych, powiązanych bezpośrednio z funkcjonowaniem odborników spływów opadowych [2-4].

Negatywne skutki ekstremalnych charakterystyk meteorologicznych i hydrologicznych oddziałują bezpośrednio na życie społeczne i gospodarcze. Wysoki stopień uszczelnienia terenu w miastach, generuje szybki spływ powierzchniowy,

którego system odwodnieniowy nie jest w stanie bezpiecznie przyjąć. Dodatkowo w wielu polskich miastach, funkcjonująca dziś infrastruktura kanalizacyjna była wybudowana jeszcze w XIX w., a więc dla innych uwarunkowań zagospodarowania terenu jak i odmiennych charakterystyk meteorologicznych. Z prognoz klimatycznych [5] wynika, że częstość występowania intensywnych opadów będzie wzrastać, co sugeruje, że niekorzystne zjawiska mogą się nasilać w przyszłości.

Analizy porównawcze prowadzone przez innych autorów [6] wykazują, że stosowany dotychczas do projektowania systemów odwodnieniowych model opadów

dr hab. inż. Ewa Bursza-Adamiak – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska, Wrocław, RETENCJAPL Sp. z o. o., Gdańsk
dr hab. inż. prof.PWr Paweł Licznar – Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska, Wrocław, RETENCJAPL Sp. z o. o., Gdańsk

Błaszczyka z 1954 roku, znacznie zaniża wyniki obliczeń objętości spływów opadowych. Ma to swoje konsekwencje dla infrastruktury odwodnieniowej, która w trakcie intensywnych opadów jest przeciążona, doprowadzając do wylewów z kanalizacji i lokalnych podtopień. Z tych względów coraz częściej podkreślana jest potrzeba posiadania wiarygodnych danych o przebiegu maksymalnych opadów, celem wykorzystania ich do opracowania nowych, ale i bardziej dokładnych modeli, odzwierciedlających charakterystykę lokalną opadów na wzór niemieckiego atlasu opadów maksymalnych KOSTRA [7-9]. Atlas ten jest obecnie powszechnie wykorzystywany w branży sanitarnej na terenie Niemiec do projektowania systemów kanalizacyjnych oraz obiektów towarzyszących tj. przelewy burzowe, zbiorniki retencyjne itp. W Polsce pierwszą próbę opracowania atlasu opadów maksymalnych podjęto, pod redakcją Stachy, w 1987 roku [10]. Podstawą wykreślenia map w atlasie były maksymalne sumy dobowe opadów. Wadą tej pracy był zbyt krótki, bo tylko 10 letni (1966-1975) okres obserwacji opadów, o ograniczonym do 2 godzin czasie ich trwania [11]. Inne realizacje, których wyniki można znaleźć w formie zwartych opracowań, atlasów klimatycznych lub hydrologicznych bazowały na opadach średnich miesięcznych wyznaczonych z lat 1931-1960 i 1951-1960 (atlas klimatyczny Polski pod red. W. Wiszniewskiego) [12] oraz średnich rocznych opadach z lat 1951-1970 [13]. Bardziej aktualne dane (z lat 1961-2007) można znaleźć w publikacji IMGW – PIB [14]. Zebrana przez IMGW – PIB baza opadów reprezentuje średnie obszarowe sumy opadów w regionach fizycznogeograficznych według podziału J. Kondrackiego. Zagraniczne doniesienia naukowe na temat opadów maksymalnych [8,15] opierają się, podobnie jak atlas pod redakcją Stachy, na analizach danych dobowych. Z punktu widzenia potrzeb inżynierskich dane prezentowane w ww. opracowaniach nie są wystarczające. Wymiarowanie, eksploatacja i całościowa ocena funkcjonowania systemów odwodnieniowych wymaga długich i ciągłych serii pomiarowych z dużą rozdzielczością czasową. Niestety dostępność do tego typu danych jest ograniczona [16]. Dodatkowo do celów projektowych dla infrastruktury technicznej, niezbędne jest uwzględnienie danych obserwacyjnych z dużej liczby stacji meteorologicznych i posterunków opadowych, najlepiej z długich, przynajmniej 30-letnich szeregów opadowych o wysokiej rozdzielczości czasowej. Nie bez znaczenia, z uwagi na zachodzące zmiany klimatu jest aktual-

ność danych opadowych, których dotychczasowe opracowania dotyczące opadów maksymalnych już nie zapewniają. Widząc potrzebę zapalenia tej luki podjęte zostały stosowane działania. W Polsce obecnie trwają prace nad projektem pt.: *Opracowanie i wdrożenie Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa)* – POIR.01.01.01-00-1428/15, który jest dofinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020. W ramach projektu dotychczas została opracowana i zweryfikowana cyfrowa baza szeregów opadowych o rozdzielczości czasowej rzędu pojedynczych minut. Baza obejmuje dane pochodzące ze 100 stacji zlokalizowanych na terenie Polski, z lat 1986-2015. W wyniku przetwarzania zgromadzonych szeregów czasowych opadów, dla każdej ze stacji wyznaczono maksymalne fazowe warstwy opadów dla całej hierarchii czasów trwania równych: 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360, 720, 1080, 1440, 2160, 2880 i 4320 min. Na ich podstawie zostały już opracowane modele fizyczne natężeń deszczów miarodajnych dla wszystkich analizowanych deszczomierzy w całym zakresie czasów trwania i dla prawdopodobieństw $p=10\%$, 20% , 50% i 100% (odpowiadających odpowiednio częstościom występowania w latach $c=10$, 5 , 2 , i 1).

Z uwagi na okresowość występowania problemów w prawidłowym funkcjonowaniu systemów odwodnieniowych w miastach, istotnym zagadnieniem wydaje się być ocena struktury czasowej w przebiegu rocznym opadów maksymalnych, wyodrębnionych w ramach realizacji prac w ww. projekcie. W literaturze można znaleźć wyniki badań dotyczące określenia częstości opadów (liczby dni z opadem $\geq 0,1$ mm) oraz ich obfitości (definiowanej jako stosunek wysokości opadu do liczby dni z opadem z danego okresu) [17]. Analizy te jednak dotyczą wszystkich opadów (o różnych wysokościach), które wystąpiły w danym przedziale czasowym, bez wydzielenia opadów maksymalnych o zadanych czasach trwania. Analizy opadów maksymalnych w aspekcie ich zmienności sezonowej i wieloletniej podjął się Stach [18]. Ograniczeniem w skorzystaniu z tych danych dla potrzeb inżynierskich jest czas trwania analizowanych opadów. W tym przypadku badania przeprowadzono tylko dla danych dobowych. Analizy rozkładów czasowych opadów maksymalnych o dużej rozdzielczości czasowej, wymaganej w projektowaniu systemów odwodnieniowych, dotychczas, wg wiedzy autorów, nie były podejmowane. Celem artykułu jest przedstawie-

nie struktury czasowej w przebiegu rocznym opadów ekstremalnych, zebranych w cyfrowej bazie danych, będącej podstawą opracowania Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa). Znajomość zagadnienia ma znaczenie dla prognozowania zjawisk hydrologicznych, przeciążeń systemów odwodnieniowych czy też organizacji sieci monitoringu w systemach kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej, względnie projektowania kampanii pomiarowych, np. w celu późniejszej kalibracji modeli hydrodynamicznych.

Metodyka badań

Materiałem badawczym użytym w pracy była cyfrowa baza danych o opadach w wysokiej rozdzielczości czasowej. Baza ta obejmowała rejestrację opadów z 30-lecia (1986-2015) z sieci 100 stacji, zlokalizowanych na terenie Polski. Stacje te należały do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB), a ich lokalizacja została zaprezentowana w pracy Burszty-Adamiak i in. [19].

Na podstawie przeglądu cyfrowej bazy szeregów opadowych dokonano identyfikacji opadów maksymalnych o czasach trwania od 5 min do 4320 min. Wydzielenia maksymalnych opadów fazowych dokonano metodą przewyższeń (ang. Peak-Over-Threshold – POT) w oparciu o tzw. „kryterium własne II” odcięcia. Próg odcięcia dla tego kryterium jest wyznaczany przez dwa osobne równania (1) i (2), odnoszące się odpowiednio do krótszych (od 5 min do 15 min) i dłuższych okresów trwania opadów (od 30 min do 4320 min):

$$h_{min} = 2,308t^{0,48} \quad (1)$$

$$h_{min} = 4,321t^{0,24} \quad (2)$$

gdzie: h_{min} jest graniczną wysokością opadu (poziomym odcięciem), powyżej której wartości opadów są uwzględniane w analizach w mm, a t czasem trwania deszczu w min. Szczegółowy opis wyznaczenia opadów maksymalnych za pomocą kryterium „własnego II” można znaleźć w pracy Burszty-Adamiak i in. [19].

Oryginalne ciągi opadowe pochodzą z dwóch źródeł tj. z zapisów na paskach pluwiograficznych (w większości stacji dla lat od 1986 do 2000) oraz z nowej generacji deszczomierzy elektronicznych (z lat 2000-2015). Pluwiografy pływakowe z uwagi na brak systemu ogrzewania

i możliwość zamarzania w ziemie były stosowane jedynie w okresie dodatnich temperatur, a więc w okresie od około 1 maja do 30 października. Elektroniczne deszczomierze nowej generacji były wyposażone w system ogrzewania (zapobiegający zamarzaniu mechanizmu deszczomierza). Mogły one zatem rejestrować opady przez cały rok, także w miesiącach zimowego półroczu hydrologicznego.

Zapisy z pasków pluwiograficznych, mające format analogowy, poddawane były procesowi digitalizacji zgodnie z metodą opracowaną przez [20]. Na podstawie przekonwertowanych do formatu cyfrowego danych pluwiograficznych oraz dostępnych zapisów z elektronicznych deszczomierzy sporządzano pseudo-szeregi czasowe z ujednoliconą 1-minutową rozdzielczością czasową. Na potrzeby wyszukiwania maksymalnych wartości wysokości opadów opracowano specjalistyczną aplikację komputerową. Aplikacja ta w sposób iteracyjny wyszukiwała największe przedziałowe wysokości opadów, wyrażone w mm, dla całej hierarchii czasów trwania równych: 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360, 720, 1080 i 1440, 2160, 2880 oraz 4320 minut, z zachowaniem danych o dacie ich wystąpienia. Informacja ta była niezbędna do wykonania analiz struktury czasowej opadów.

Wyznaczone maksymalne przedziałowe (fazowe) wysokości opadów były porządkowane w szeregi rozdzielcze według nierosnących wartości, a ich kolejnym elementom przyporządkowano prawdopodobieństwa przewyższenia (p , %), obliczone według równania (3).

$$p(m, N) = \frac{m}{N+1} \quad (3)$$

gdzie: m oznacza miejsce danego wyrazu w ciągu rozdzielczym opadów, a N to liczebność ciągu. W ten sposób możliwym było określenie empirycznych wartości maksymalnych przedziałowych (fazowych) wysokości opadów dla prawdopodobieństw $p = 10\%$, 20% i 50% .

Analiza wyników

W analizowanym trzydziestoleciu opady maksymalne występowały głównie w lipcu (35,3 % udziału w całości). Zbliżony do lipcowego udział wysokich sum opadów kształtował się także w sierpniu i czerwcu (odpowiednio 21,6 % i 20,9 %). W maju i wrześniu udział opadów maksymalnych o czasach trwania od 5 min do 4320 min wynosił odpowiednio 10,5% oraz 8,3 %. Najmniej opadów ekstremalnych wystąpiło w lutym (udział ich dla wszystkich stacji dla 16 czasów trwania wynosił zaledwie 0,08%). W lutym z powodu niskich temperatur i częstej dominacji

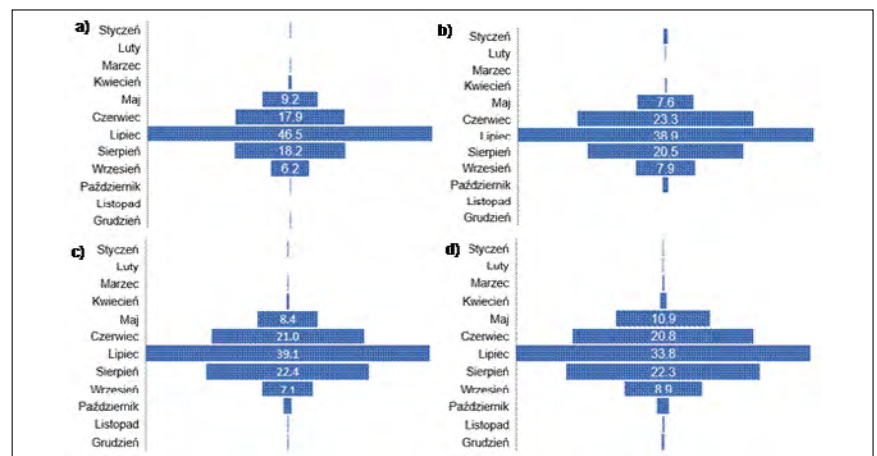
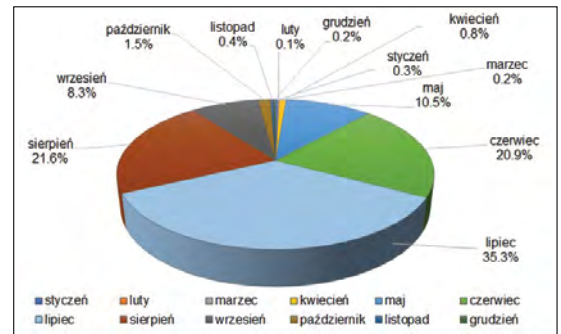
wyżów napływających z Europy, opady są najczęściej dużo mniej obfite, niż te występujące w miesiącach letnich czy jesiennych. W pozostałych miesiącach opady maksymalne były rejestrowane sporadycznie tzn. opady te stanowiły mniej niż 0,5% w całości opadów (m.in. 0,2% w marcu i grudniu, 0,3% w styczniu) (rys. 1).

Podobne udziały występowania opadów maksymalnych w poszczególnych miesiącach można było zaobserwować na

wszystkich poziomach szeregów rozdzielczych. Na rysunku 2 przedstawiono strukturę czasową opadów maksymalnych zarejestrowanych w badanym okresie 30 lat dla wszystkich 100 stacji meteorologicznych dla opadów o najwyższych wysokościach (1 wiersz w szeregu rozdzielczym nierosnących wysokości) oraz dla opadów o prawdopodobieństwach przewyższenia $p=10\%$, 20% i 50% . Analizę ww. parametrów wykonano także z wydzieleniem lat 2000-2015,

Rys. 1. Udział (w %) maksymalnych zdarzeń opadowych, które zarejestrowano w 100 stacjach meteorologicznych w poszczególnych miesiącach w latach 1986-2015

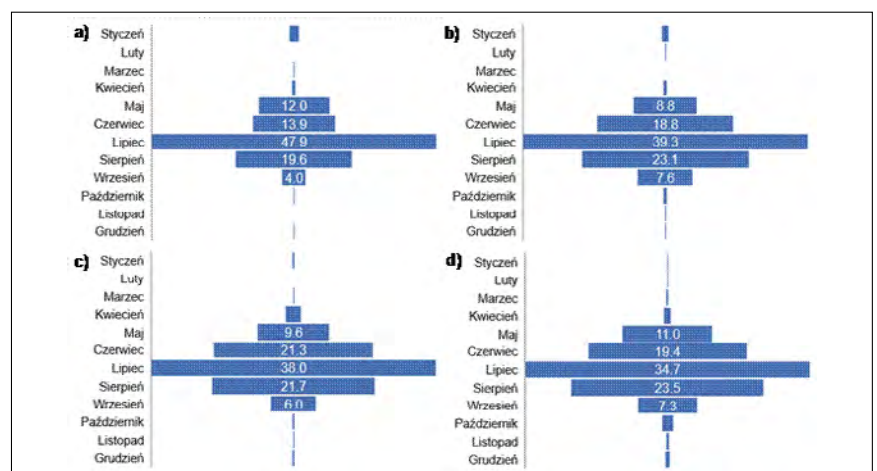
Fig. 1. Share (%) of maximum rainfall events recorded in 100 meteorological stations in specific months in the 1986-2015 period



Rys. 2.

Udział (%) zdarzeń w poszczególnych miesiącach, w których wystąpiły opady maksymalne z 30-lecia (1986-2015) ze wszystkich 100 analizowanych stacji: a) dla opadów o największej wysokości (1 wiersz szeregu rozdzielczego) oraz dla prawdopodobieństwa przekroczenia b) $p=10\%$, c) $p=20\%$ i d) $p=50\%$

Fig. 2. Share (%) of events in specific months in which the maximal precipitation occurred from the 30-year period (1986-2015) from all 100 analysed stations: a) for rainfall events of the highest intensity (1st line of the maximal rainfall distribution) and for the probability of exceedance b) $p=10\%$, c) $p=20\%$ and d) $p=50\%$



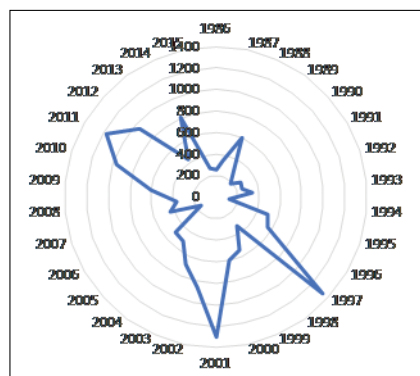
Rys. 3.

Udział (%) zdarzeń w poszczególnych miesiącach, w których wystąpiły opady maksymalne z lat 2000-2015 ze wszystkich 100 analizowanych stacji: a) dla opadów o największej wysokości (1 wiersz szeregu rozdzielczego) oraz dla prawdopodobieństwa przekroczenia b) $p=10\%$, c) $p=20\%$ i d) $p=50\%$

Fig. 3. Share (%) of events in specific months in which the maximal precipitation occurred from the years 2000-2015 from all 100 analysed stations: a) for rainfall events of the highest intensity (1st line of the maximal rainfall distribution) and for the probability of exceedance b) $p=10\%$, c) $p=20\%$ and d) $p=50\%$

czyli okresu, w którym opady były monitorowane przez cały rok, z uwzględnieniem zimowego półroczia hydrologicznego (rys. 3). Z przeprowadzonych analiz dla obu okresów wynika, że opady maksymalne zdarzały się w ostatnim 30-leciu przede wszystkim w okresie ciepłym roku tzn. od maja do września, z przewagą opadów w lipcu. Według wielu autorów [21,22] lipiec to miesiąc, w którym miesięczne sumy opadów należą do najwyższych w roku. Podobnie w analizowanej przez autorów bazie danych z lat 1986-2015, opady miały najczęściej wyższą wysokość w lipcu niż zarejestrowane w pozostałych miesiącach. Większość opadów występujących w lipcu to opady pochodzenia konwekcyjnego powstałe z chmur burzowych [23]. Z takich chmur, nad danym obszarem w krótkim czasie może spaść nawet kilkadziesiąt litrów wody na metr kwadratowy powierzchni, co zazwyczaj nie zostaje obciążone dla pracy systemów kanalizacyjnych.

Szczegółowa analiza dat wystąpienia opadów lipcowych wykazała, że największy udział opadów maksymalnych z lat 1986 – 2015 stanowiły deszcze, które wystąpiły w lipcu w latach 1997, 2001 i 2011. Udział ich w 30 letniej serii opadów lipcowych stanowił ok. 21 %, co oznaczało, że ponad 1000 zdarzeń opadowych przypadało na każde z tych trzech lat (rys.4). Lata 1997, 2001 i 2011 wpisały się do kart historii jako okresy z licznymi zdarzeniami ekstremalnymi stwarzającymi zagrożenie powodziowe. W lipcu 1997 roku doszło do powodzi tysiąclecia, która nawiedziła południową i zachodnią Polskę oraz kraje sąsiadujące tj. Czechy, wschodnią część Niemiec (Łużyce) oraz północno-zachodnią Słowację i wschodnią Austrię, doprowadzając do kilkudziesięciu ofiar śmiertelnych, strat materialnych w dobytku miesz-



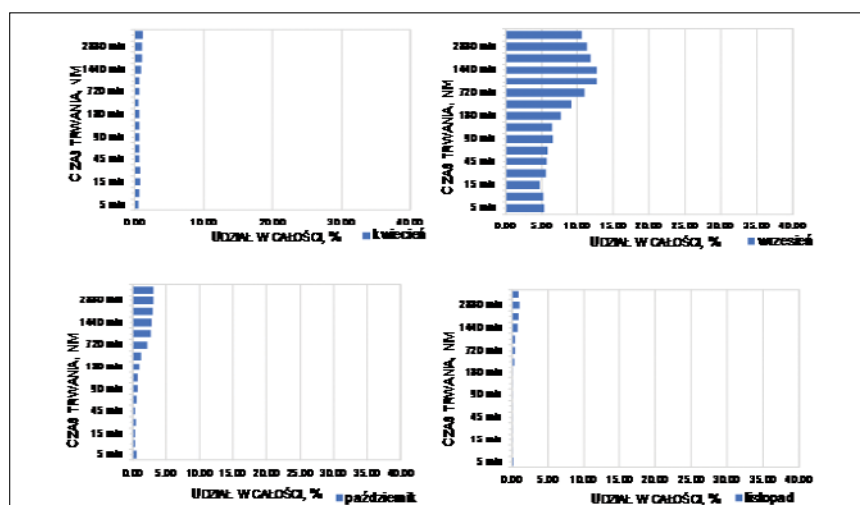
Rys. 4.

Liczba zdarzeń z opadami maksymalnymi z poszczególnych lat, które wystąpiły w lipcu z analizowanym 30-leciu, ze 100 stacji meteorologicznych

Fig. 4. The number of maximum rainfall events of specific years that occurred in July, in the analysed 30-year period, from 100 meteorological stations

kańców oraz infrastrukturze technicznej (w tym odwodnieniowej) na podtopionych obszarach. Na terenie Polski wówczas wylały wody dorzeczy rzek: Bóbr, Bystrzyca, Kaczawa, Kwisa, Mała Panew, Nysa Kłodzka, Nysa Łużycka, Odra, Olza, Otawa, Skora, Szprotawa, Śleza i Widawa oraz górnej Wisły. Porównywalna obszarowo, ale na mniejszą skalę powódź nastąpiła w 2010 roku. Z powodu intensywnych opadów deszczu (w drugiej połowie maja oraz na początku czerwca) odbiorniki wód opadowych nie były w stanie przyjąć dużych spływów opadowych w stosunkowo krótkim czasie. Obrazem tej sytuacji są zarejestrowane przekroczenia alarmowych stanów wód w dorzeczu górnej Wisły i Odry. Podtopione zostały także liczne osiedla, drogi, tunele, przejścia podziemne, a w niektórych przypad-

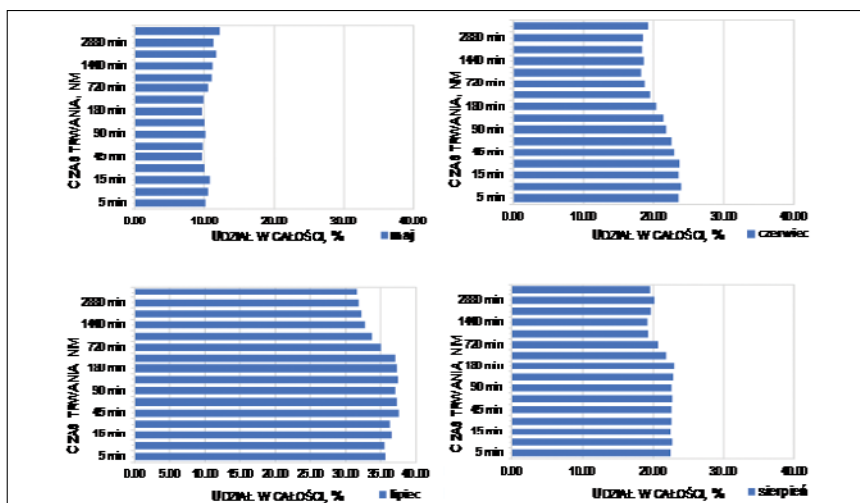
kach nawet całe miasta. Sytuację pogorszyły warunki opadowe, które miały miejsce w lipcu 2010 r. Na przeważającym obszarze kraju spadło od 120 do 150 procent normy miesięcznej deszczu. Występujące w lipcu gwałtowne burze i intensywne opady doprowadziły do sytuacji, w której przestały prawidłowo funkcjonować sieci kanalizacyjne, studzienki odbierające spływy opadowe oraz oczyszczalnie ścieków. W lipcu 2011 roku z zarejestrowaną dużą ilością opadów maksymalnych nie doszło do powodzi, ale liczne podtopienia przyniosły kolejne straty gospodarcze. Na znacznych obszarach kraju w lipcu 2011 roku miesięczna suma opadów przekraczała miesięczną normę opadową dla lipca o co najmniej 50 %. Wskutek intensywnego spływu powierzchniowego, w wyniku niedostatecznej zdolności przepustowej



Rys. 5.

Udział (%) maksymalnych zdarzeń opadowych o poszczególnych czasach trwania w 30 - letniej serii opadów, z analizowanych 100 stacji, w miesiącach kwiecień oraz wrzesień – listopad

Fig. 5. Share (%) of maximum rainfall events of specific durations in the 30-year precipitation series, from the analysed 100 stations, in the months of April and September-November



Rys. 6.

Udział (%) maksymalnych zdarzeń opadowych o poszczególnych czasach trwania w 30 - letniej serii opadów, z analizowanych 100 stacji, w miesiącach maj-sierpień

Fig. 6. Share (%) of maximum rainfall events of specific durations in the 30-year precipitation series, from the analysed 100 stations, in the months from May to August

rowów melioracyjnych, systemów kanalizacyjnych itp. dochodziło do licznych podtopień na większej części obszaru Polski.

Biorąc pod uwagę strukturę czasową występowania opadów w obrębie roku kalendarzowego w kontekście czasów ich trwania, wyraźnie zaznacza się dominacja opadów długotrwałych (od 360 min do 3 dób) w okresie chłodnym roku (listopad – kwiecień oraz wrzesień – październik) (rys. 5). Miesiąc maj można traktować jako miesiąc „przejściowy”, w którym obserwowana jest równowaga pomiędzy liczbą opadów krótkotrwałych (od 5 do 180 min), a deszczami o dłuższym czasie trwania (powyżej 360 min). W porze letniej (czerwiec – sierpień) zaznacza się przewaga (na poziomie 5%) opadów krótkotrwałych w stosunku do opadów dłuższych trwających (rys. 6).

Podsumowanie

Długotrwałe jak i krótkotrwałe intensywne opady deszczu w połączeniu z nieefektywnym systemem odprowadzania wód deszczowych mogą być przyczyną powstawania dotkliwych strat gospodarczych, środowiskowych oraz ekonomicznych. Analiza rozkładów opadów maksymalnych w poszczególnych miesiącach roku, oparta na aktualnej i wiarygodnej bazie danych o dużej rozdzielczości czasowej wykazała, że przeważająca część (77,5%) opadów maksymalnych w badanym 30-leciu wystąpiła w miesiącach letnich tzn. w okresie czerwiec – sierpień. Wśród tych opadów większy udział (o około 5%) stanowiły opady krótkotrwałe (od 5 do 180 min), których gwałtowny i burzliwy charakter w połączeniu z opadami rozległymi przyczyniał się okresowo do występowania podtopień i powodzi w analizowanym 30-leciu. Najmniej opadów o takiej charakterystyce miało miejsce w lutym (tylko 0,08%) oraz w grudniu i marcu (0,2%). Oznacza to, że w okresie letnim systemy odwodnieniowe miast są w największym stopniu narażone na przeciążenia hydrauliczne oraz zanieczyszczenia odbiorników płynących (rzek miejskich) splukiwanymi ze zlewni substancjami. Jest to także okres utrzymywania w stałej gotowości miejskich służb tj. policji, straży miejskiej, zespołu zarządzania kryzysowego oraz zarządców systemów odwodnieniowych miast, którzy w stosunkowo krótkim czasie muszą zareagować na skutki wystąpienia ekstremalnych zdarzeń pochodzenia opadowego. Uwzględnienie przez projektantów danych o natężeniu deszczu miarodajnych z atlasu (PANDa), bazującego na danych o opadach z 30 lat, wśród

których wydarzyły się także zdarzenia ekstremalne tj. powodzie i podtopienia, pozwoli na zwiększenie gotowości systemów odwadniających na przyjęcie większej objętości spływów. Takie podejście jest istotne z punktu widzenia przyszłej pracy systemów odwadniających, a tym samym zapewnienia bezpieczeństwa społecznego oraz zmniejszenia szkód o charakterze ekonomicznym i środowiskowym w zmieniających się uwarunkowaniach klimatycznych oraz w coraz bardziej „zabetonowanych” przestrzeniach miejskich.

LITERATURA

- [1] Kuśnierz M., Świerczek E. Infrastruktura krytyczna a niezawodność systemu odprowadzania i oczyszczania ścieków w niekorzystnych warunkach pogodowych. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich Nr 1/1/2014, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 125-135.
- [2] Pociask-Karteczka J., Żychowski J.. Powodzie błyskawiczne (flash floods) – przyczyny i przebieg. (w:) Ciupa, R. Suligowski (red.) Woda w mieście Monografie Komisji Hydrologicznej PTG – tom 2, Instytut Geografii, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Kielce, 2014, s. 213-226.
- [3] Sörensen J., Mobini S., Pluvial, urban flood mechanisms and characteristics – Assessment based on insurance claims, Journal of Hydrology, Volume 555, 2017, Pages 51-67, ISSN 0022-1694, doi:10.1016/j.jhydrol.2017.09.039.
- [4] Jiang Y., Zevenbergen Ch., Ma Y., Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China's challenges and "sponge cities" strategy. Environmental Science & Policy, Volume 80, February 2018, Pages 132-143, doi: 10.1016/j.envsci.2017.11.016
- [5] World Meteorological Organization. 2011. "Climate observations, stations and networks (Ch. 2)." In: Guide to Climatological Practices. World Meteorological Organization, WMO-No. 100. (ISBN 978-92-63-10100-6).
- [6] Kotowski A., Kaźmierczak B., Danczewicz A. Bezpieczne wymiarowanie kanalizacji na podstawie lokalnych modeli opadów. Czasopismo techniczne. Środowisko. z. 1, 2011.
- [7] Barel H., Malitz G., Asmus S., Albrecht F.M., Dietzer B., Günther T., Ertel H., 1997, Starkniederschlagshöhen für Deutschland. KOSTRA. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes. Offenbach am Main
- [8] Szolgay J., Parajka J., Kohnová S., Hlavčová K. Comparison of mapping approaches of design annual maximum daily precipitation. Atmospheric Research 92, 2009, s. 289-307.
- [9] Licznar P., Mielczarek Sz., Siekanowicz-Grochowina K. Zróżnicowanie natężeń deszczów miarodajnych w Polsce. Instal nr 7/8, 2015, s. 58-64.
- [10] Stachy J. (red.): Atlas hydrologiczny Polski. Tom I. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa 1987.
- [11] Kotowski A., Kaźmierczak B., Danczewicz A.: Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji. Wyd. Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN. Instytut Podstawowych Problemów Techniki. Studia z zakresu Inżynierii nr 68, Warszawa 2010.
- [12] Wiszniewski W. Atlas klimatyczny Polski, IMGW, Państwowe Przedsiębiorstwo

Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa 1973.

- [13] Niedzwiedz T., Obrębska-Starkłowa B. Klimat, (w:) I. Dynowska, M. Maciejowski (red.), Dorzecze górnej Wisły, Wydawnictwo PWN, Warszawa 1991, 68-84.
- [14] IMGW-PIB: Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego), Warszawa 2012.
- [15] Villarini G. Analyses of annual and seasonal maximum daily rainfall accumulations for Ukraine, Moldova, and Romania. International Journal of Climatology. Vol. 30, 2012, s. 2213-2226.
- [16] Callau Poduje A.C., Haberlandt U. Short time step continuous rainfall modeling and simulation of extreme events. Journal of Hydrology 552, 2017, s. 182-197.
- [17] Olechnowicz-Bobrowska B., 1970 Częstość dni z opadem w Polsce. Prace IG PAN, 86, 1-75, Kożuchowski K.M. Obfitość opadów w Polsce w przebiegu rocznym. Przegląd Geofizyczny, Zeszyt 1-2, 2015, s.27-38.
- [18] Stach A., 2007: Zmienność czasowa struktury przestrzennej maksymalnych sum dobowych opadów. Monitoring Środowiska Przyrodniczego nr 8, s. 73-90, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce
- [19] Burszta-Adamiak E., Licznar P., Zaleski J. 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. Research and Operational Applications, ISSN: 2299-3835, 2018 (w druku).
- [20] Licznar P. Propozycja metody przetwarzania danych pluwiograficznych na potrzeby projektowania i eksploatacji miejskich systemów odwadnienia. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie, t. 5 z. specj. (14), 2005, s.197-207.
- [21] Czarnecka M, Nidzgorzka-Lencewicz J. Wieloletnia zmienność sezonowych opadów w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie 2012 (IV-VI): t. 12 z. 2 (38).
- [22] Szyga-Pluta K., Grześkowiak K., Warunki pluwalne w Poznaniu w latach 1981-2015, Badania Fizjograficzne r. VII – Seria A – Geografia Fizyczna (A67), s. 239-256, Doi 10.14746/bfg.2016.7.18
- [23] Matuszko D. Wpływ miasta na zachmurzenie i opady (na przykładzie Krakowa), (w:) K. German, J. Balon (red.), Przemiany środowiska przyrodniczego Polski a jego funkcjonowanie, Problemy Ekologii Krajobrazu, 10, IGiGP UJ, Kraków 2001, s.529-536.

Podziękowanie

Projekt pt.: *Opracowanie i wdrożenie Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa)* – POIR.01.01.01-00-1428/15 jest finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, Oś priorytetowa Wsparcie prowadzenia prac B+R przez przedsiębiorstwa, Działanie: Projekty B+R przedsiębiorstw, Poddziałanie Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa.