

Obliczanie systemów odprowadzania wody z dachów w Polsce. Dobór natężeń deszczy

Calculation of roof drainage systems in Poland. Selection of rainfall intensities

PAWEŁ LICZNAR, JAROSŁAW CHUDZICKI, ANNA SOSNOWSKA, AGNIESZKA WRZESIŃSKA, MARIA BOGACZ-RYGAS, ROBERT UNIEJEWSKI

DOI 10.36119/15.2023.4.5

Warsztat projektowania systemów odwodnień dachów w Polsce ma istotne luki, wśród których zasadniczą jest brak wytycznych co do przyjmowania natężeń opadów do obliczeń spływów z dachów. Bardzo często w praktyce do obliczeń odwodnień przyjmowane są subiektywne i zaniżane wartości natężeń deszczy miarodajnych. Jest to bardzo niebezpieczne zwłaszcza w przypadku projektowania odwodnień dachów płaskich. Zgodnie z rekomendacjami europejskiej normy natężenia te powinny być ustalane na podstawie lokalnych modeli opadowych. Konieczne jest jednak w tym celu przyjęcie standardów co do wymaganych częstości i czasów trwania deszczy. W ramach realizacji projektu WaterFolder Connect i budowy kalkulatorów odnowień dachów zaproponowano, aby lokalne natężenia deszczy przyjmować dla czasu trwania 5 minut i częstości jego występowania od $C = 5$ lat (prawdopodobieństwo $p = 20\%$) do $C = 100$ lat (prawdopodobieństwo $p = 1\%$) w zależności od typu instalacji i funkcji budynku. W końcowej części pracy, wyniki stosowania zaproponowanych standardów są dyskutowane na bazie ogólnopolskich odczytów natężeń deszczy miarodajnych z Polskiego Atlasu Natężeń Deszczy (PANDa) w odniesieniu do bezpieczeństwa systemów odwodnienia dachów w perspektywie prognozowanych zmian klimatu.

Słowa kluczowe: natężenie opadów atmosferycznych; współczynnik ryzyka; spływ wód opadowych; platforma cyfrowa WaterFolder

The design workshop for roof drainage systems in Poland has significant gaps, the main one being the lack of guidance on the adoption of rainfall intensities for calculating roof runoff. Very often in practice, subjective and underestimated values of the representative rainfall intensities are adopted for drainage calculations. This is very dangerous, especially when designing drainage systems for flat roofs. According to the recommendations of the European standard, these intensities should be determined on the basis of local rainfall models. However, for this it is necessary to adopt standards as to the required rainfall frequencies and durations. As part of the implementation of the WaterFolder Connect project and the construction of roof drainage systems' calculators, it was proposed that local rain intensities should be adopted for a duration of 5 minutes and a frequency of occurrence ranging from $C = 5$ years (probability $p = 20\%$) to $C = 100$ years (probability $p = 1\%$) depending on the type of installation and the function of the building. In the final part of the paper, the results of the application of the proposed standards are discussed on the basis of nationwide readings of the design rainfall intensities from the Polish Atlas of Rainfall Intensities (PANDa) in relation to the safety of roof drainage systems in view of projected climate change.

Keywords: atmospheric precipitation intensity; risk factor; stormwater runoff; WaterFolder digital platform

Wprowadzenie

Systemy odprowadzania wód opadowych z dachów pełnią istotną funkcję z punktu widzenia nie tylko komfortu użytkowników budynków mieszkalnych oraz użyteczności publicznej i przemysłowych. W przypadku coraz większej liczby budynków, określanych mianem wielkopowierzchniowych sprawne przechwycenie wód opadowych z powierzchni dachu i ich szybkie i niezawodne odprowadzenie

przewodami deszczowymi decyduje wręcz o bezpieczeństwie ich konstrukcji. Katastrofa, do której doszło w styczniu 2006 w Chorzowie, tj. zawalenie się dachu hali Międzynarodowych Targów Katowickich (MTK) podczas ogólnopolskiej wystawy gołębi pocztowych, zwróciła uwagę na potrzebę odpowiedniego uwzględniania obciążeń dachów od zalegającego na nich śniegu, ich interwencyjnego odśnieżania w przypadku podejrzenia potencjalnego przekroczenia nośności konstrukcji da-

chów, czy też nawet instalacji systemów służących do ciągłego monitoringu obciążeń [1,2]. Wspomniana katastrofa, ale także inne mniej znane awarie udowodniły, jak dużym niebezpieczeństwem może być zignorowanie dodatkowych obciążeń od śniegu, często o charakterze nierównomiernym w postaci worków śnieżnych na stabilność konstrukcji stalowych, które z uwagi na chęć obniżenia ich kosztów, podlegają daleko idącej presji na stosowanie lżejszych i tańszych rozwiązań.

prof. dr hab. inż. Paweł Licznar, <https://orcid.org/0000-0002-2559-5296>, dr inż. Jarosław Chudzicki, prof. uczelni, <https://orcid.org/0000-0002-0951-664X>, mgr inż. Anna Sosnowska <https://orcid.org/0000-0002-0440-1392> – Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska, Warszawa, mgr inż. Agnieszka Wrzesińska, mgr inż. Maria Bogacz-Rygaz, mgr inż. Robert Uniejewski – Wavin Polska S.A., Buk. Autor korespondencyjny/ corresponding author: pawel.licznar@pw.edu.pl

Niestety, mniej powszechną wiedzą jest świadomość, że do przeciążeń konstrukcji dachów może dochodzić także w przypadku opadów ciekłych. Trzeba bowiem pamiętać, że większość z wnoszonych obiektów wielkopowierzchniowych ma płaskie dachy, w obrębie których, jeśli zawodzić będzie system odwodnienia, w czasie intensywnych deszczy może dochodzić do formowania się dużych zastoisk wody i miejscowego przeciążenia połączeń dachowych. Stąd też bardzo ważne jest prawidłowe projektowanie systemów odprowadzania wód opadowych, zwłaszcza z obiektów wielkopowierzchniowych o dachach płaskich. Ważne jest właściwy dobór podstawowego systemu odwodnienia i rozwiązań służących do awaryjnego odprowadzania wód, często w postaci nawet drugiego, niezależnego układu odwodnienia. W obydwu przypadkach konieczne jest prawidłowe obliczenie przepustowości hydraulicznej obydwu systemów, a w tym celu konieczne jest przyjęcie odpowiednich natężeń miarodajnych deszczy.

Zagadnieniu projektowania i obliczania przewodów deszczowych poświęcona jest norma PN-EN 12056-3:2002 Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków. Część 3: Przewody deszczowe. Projektowanie układu i obliczenia [3]. W normie tej zawarte są opisy metod obliczania przepustowości hydraulicznej niesyfonowych systemów odprowadzania wody z dachów oraz wymagania użytkowe dotyczące syfonowych systemów odprowadzania wody z dachów. W opinii autorów publikacji zapisy wspomnianej normy, będącej tłumaczeniem normy europejskiej EN 12056-3:2000, są jednak niewystarczające w obydwu obszarach tematycznych normatywu. Po pierwsze, w metodyce obliczania przepustowości hydraulicznej niesyfonowych systemów, nazywanych też często systemami grawitacyjnymi, brakuje konkretnych wskazań dotyczących przyjmowania przez projektanta wielkości natężeń opadów miarodajnych do wyznaczenia natężenia przepływu wody opadowej. Po drugie, w odniesieniu do powszechnie stosowanych na obiektach wielkopowierzchniowych systemów syfonowych (nazywanych często odwodnieniami podciśnieniowymi) brak jest algorytmu obliczeniowego poszczególnych ich elementów. W miejscu tym należy zauważyć, że w innych krajach istnieją metodyki obliczeń hydraulicznych podciśnieniowych układów odwadniających, np. w Niemczech stosuje się wytyczne VDI 3806 (Roof drainage with siphonic system) [4], lecz często są to metodyki uproszczone, w których przyjmuje się założenie całkowitego wypełnienia prze-

wodów cieczą. Należy także wspomnieć o autorskich programach do obliczeń układów podciśnieniowych opracowanych i stosowanych przez producentów systemów odwadniających.

Wskazane fundamentalne braki w krajowym warsztacie inżynierskim obliczania systemów odwodnień, prowadzą do sytuacji, w której projektanci są zmuszeni do poszukiwania wsparcia u producentów systemów odwodnienia. Wsparcie to nie zawsze jest wystarczające i profesjonalne, choćby dlatego, że pomimo znacznej wiedzy o charakterze know-how w obszarze hydrauliki samych instalacji odwodnień, ich dostawcy nie orientują się jakie wysokości natężeń miarodajnych należy przyjmować, aby zagwarantować odpowiedni poziom bezpieczeństwa oferowanych rozwiązań. Nakłada się na to niekorzystnie, aspekt wzajemnej konkurencji cenowej oferowanych rozwiązań, który zachęca do podejmowania ryzyka zaniżania natężeń deszczów miarodajnych i zmniejszania średnic przewodów celem obniżenia kalkulowanych finalnie ofert instalacji. Wyraźnie zaznacza się brak krajowego standardu doboru natężeń deszczów miarodajnych do projektowania systemów odwodnienia dachów, a zarazem narzędzi do wspomaganie projektowania odwodnień dachów płaskich, zwłaszcza systemów odwodnień podciśnieniowych o charakterze otwartym i bezpłatnym dla wszystkich inżynierów.

Wychodząc naprzeciw powyższemu potrzebom w ramach rozbudowy cyfrowej platformy projektowej www.WaterFolder.com i realizowanej integracji znajdujących się na niej kalkulatorów w projekcie 01.01.01-00-0119/21 *WaterFolder Connect – zintegrowana platforma projektowania i modelowania systemów odwodnienia*, przyjęto za konieczne wdrożenie dwóch kalkulatorów służących obliczaniu odwodnień grawitacyjnych i podciśnieniowych dachów płaskich oraz co ważniejsze zaproponowanie ogólnopolskich standardów dotyczących przyjmowania natężeń deszczów miarodajnych do projektowania odwodnień dachów. Celem publikacji jest dyskusja postulowanych ogólnopolskich standardów dotyczących doboru natężeń deszczów miarodajnych do projektowania odwodnień dachów. Zagadnienia projektowania i obliczania dachów o nietypowych pokryciach (np. dachów zielonych), a także instalacji podciśnieniowych w połączeniu z prezentacją kalkulatorów do obliczania odwodnień dachów na platformie WaterFolder.com będą przedmiotem kolejnych publikacji. Prezentowane w tym artykule rozwiązania dotyczące standary-

zacji doboru natężeń deszczy do obliczeń odwodnień dachów są efektem prac badawczych zrealizowanych przez firmę Retencjapl Sp. z o.o. we współpracy merytorycznej z Politechniką Warszawską oraz firmą Wavin Polska S.A., będącą liderem w obszarze rozwiązań odwodnień podciśnieniowych dachów płaskich w Polsce.

Obliczenie spływu wody opadowej

Wielkość spływu wody opadowej, którą należy odprowadzić z dachu zgodnie z PN-EN 12056-3 [3] winna być obliczana na podstawie formuły racjonalnej:

$$Q = r \cdot A \cdot C, \quad (1)$$

gdzie:

- Q – natężenie przepływu wody, dm^3/s ,
- r – natężenie opadów atmosferycznych, $\text{dm}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,
- A – efektywna powierzchnia dachu, m^2 ,
- C – współczynnik spływu (przyjmowany jako 1,0, chyba, że krajowe i lokalne przepisy oraz wytyczne stanowią inaczej), bezwymiarowy.

We wzorze (1) najmniej wątpliwość budzą dwie składowe na jego końcu, których iloczyn jest odpowiednikiem powierzchni zredukowanej zlewni, jaką jest dach. Wydaje się, jak najbardziej uzasadnione, aby ze względów bezpieczeństwa do obliczeń przyjmować wartość współczynnika spływu równą 1,0. Prawdą jest, że nie cała woda spływa, nawet z klasycznego szczelnego dachu o dużym nachyleniu i zwłaszcza we wstępnej fazie opadu powstają straty w spływie z uwagi na odparowywanie z nagranych powierzchni, czy też mikroretencję na powierzchni pokryć dachowych. Niemniej zgodnie z normą wzór (1) dotyczy warunku stanu ustalonego, a więc sytuacji, kiedy wspomniane straty początkowe opadu nie mają już znaczenia, a woda po osiągnięciu czasu koncentracji odplywa już z całej powierzchni dachu. Współczynnik spływu występujący we wzorze (1) należy zatem interpretować jako szczytowy współczynnik spływu określający maksymalną relację pomiędzy natężeniem spływu a natężeniem deszczu, który go wywołuje. Niższe wartości współczynnika spływu mogą być uzasadnione w przypadku stosowania dachów zielonych, lecz nie są to rozwiązania często spotykane w przypadku obiektów wielkoprzestrzennych, choćby z uwagi na wysokie koszty wykonania i eksploatacji oraz dodatkowe obciążenie konstrukcji. Na dodatek, co nie jest powszechną wiedzą, systemy odwodnienia dachów zielonych muszą mieć inną konstrukcję. Zagadnienie

odwadniania dachów zielonych wykracza poza zakres tego artykułu, w którym uwagę skupiono na klasycznych odwodnieniach stosowanych dla zdecydowanej większości dachów płaskich.

Pewne wątpliwości może w specyficznych wypadkach rodzić ustalenie efektywnej powierzchni dachu. Norma PN-EN 12056-3 [3] rozróżnia dwie sytuacje: pierwszą, w której nie powinno się wprowadzać poprawki na wpływ wiatru i drugą odwrotną, tam gdzie krajowe i lokalne przepisy i wytyczne stanowią o konieczności stosowania poprawki. W pierwszym przypadku efektywna powierzchnia dachu jest po prostu powierzchnią jego rzutu z góry (patrz. rys. 1) [3,5]:

$$A = L_R \cdot B_R \quad (2)$$

gdzie:

L_R – długość dachu, z którego odprowadza się wodę, m,

B_R – szerokość rzutu poziomego dachu, od rynny do jego szczytu, m.

- 1) Jeśli wprowadza się poprawkę na wpływ wiatru, efektywna powierzchnia dachu winna być obliczana na podstawie wzorów (3) lub (4) odpowiednio od przyjętego kąta padania deszczu i uwzględniając charakterystyczne wymiary dachu (patrz. rys. 1) [dla deszczu padającego pod kątem od 26° do padającego pionowo

$$A = L_R \cdot \left(B_R + \frac{H_R}{2} \right) \quad (3)$$

- 2) dla deszczu padającego prostopadle do dachu

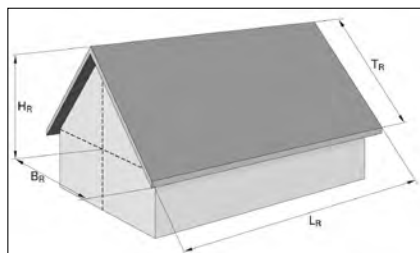
$$A = L_R \cdot T_R \quad (4)$$

gdzie:

H_R – wysokość dachu, od rynny do jego szczytu, m,

T_R – odległość między rynną a szczytem mierzona wzdłuż dachu, m.

Zgodnie z najlepszą wiedzą autorów brak jest krajowych lub lokalnych przepi-



Rys. 1. Charakterystyczne wymiary dachu stosowane do obliczeń jego efektywnej powierzchni
Fig. 1. Characteristic roof dimensions used to calculate its effective area

sów i wytycznych stanowiących o stosowaniu poprawki na wpływ wiatru w Polsce. Wprowadzenie takich zaleceń nie wydaje się być uzasadnione w najbliższym czasie, gdyż trzeba pamiętać, że we wzorze (1) występuje jeszcze czynnik natężenia opadu, który będzie jeszcze dalej szerzej dyskutowany. W miejscu tym trzeba zwrócić uwagę, że nasza wiedza o natężeniach deszczy miarodajnych bierze się z obserwacji, które były i są nadal prowadzone z użyciem deszczomierzy, które to były i są standardowo instalowane tak, aby ich powierzchnie wlotowe były skierowane pionowo ku górze, nawet jeśli ich miejscem ekspozycji jest stok górski, czy też w warunkach stacji lub posterunków miejskich dach o pewnym nachyleniu. Warto też wspomnieć, że dla analizowanych dachów płaskich, o małych nachyleniach, różnice pomiędzy wynikami stosowania wzorów (2), (3) lub (4) nie są duże i szczególnie istotne. Niemniej w kontekście coraz częściej wznoszonych w polskich miastach wysokich budynków, znacznie ważniejszym zdaje się być zalecenie, aby do efektywnej powierzchni dachu dodawać 50% powierzchni ściany, gdy obliczenia są prowadzone dla połaci połączonych z zewnętrznymi ścianami wyższych kondygnacji innego lub tego samego budynku.

Istotne problemy ze stosowaniem wzoru (1) rodzą się przy przyjmowaniu natężenia opadów atmosferycznych. Norma PN-EN 12056-3 [3] stanowi, że w przypadku, gdy istnieją wystarczające dane statystyczne o opadach atmosferycznych, dotyczące częstotliwości występowania deszczu nawalnych o określonym natężeniu i czasie trwania, natężenie opadów r powinno być przyjmowane z należyтым uwzględnieniem charakteru i sposobu wykorzystania budynku, a także powinno być odpowiednio do stopnia możliwego do zaakceptowania ryzyka. W przeciwnym przypadku, gdy nie istnieją dane statystyczne o opadach atmosferycznych, minimalne natężenie opadu traktowane jako podstawa do obliczeń projektowych, powinno być wybrane spośród wartości wyznaczonych w tabeli 1. Dobór ten po-

winien odbywać się odpowiednio do warunków klimatycznych w miejscu usytuowania budynku i zgodnie z krajowymi i lokalnymi przepisami oraz wytycznymi. Wspomniane minimalne natężenie opadu powinno być pomnożone przez współczynnik ryzyka odczytany z tabeli 2.

Tabela 2. Współczynniki ryzyka [3]
Table 2. Risk factors [3]

Sytuacja	Współczynnik ryzyka
Rynny okapowe	1,0
Rynny okapowe, gdzie przelanie się wody spowodowałoby szczególną uciążliwość, np. nad wejściami do budynków użyteczności publicznej	1,5
Rynny nie okapowe oraz wszystkie inne sytuacje, w których wyjątkowo ulewny deszcz lub zator w systemie odprowadzania wody z dachu mogłyby spowodować przelanie się wody do budynku	2,0
W przypadku rynien nieokapowych w budynkach, w których niezbędny jest wyjątkowy stopień zabezpieczenia, np.: – sale operacyjne w szpitalach, – szczególnie ważne pomieszczenia komunikacyjne, – miejsce składowania substancji, które po zwilżeniu wydzielają trujące lub łatwo palne opary, – budynki, w których znajdują się wybitne dzieła sztuki	3,0

Odnosząc się do rekomendacji zawartych w normie trzeba mieć świadomość, że jest ona tłumaczeniem normy europejskiej EN 12056-3 z 2000 roku, która miała nakreślać podejście do projektowania systemów kanalizacji grawitacyjnych w budynkach nie tylko w Polsce, ale w całej Europie. Stąd zapisy dotyczące parametru regionalnego, jakim jest natężenie deszczu są tak mało precyzyjne i w efekcie tak mało przydatne dla inżyniera. W jeszcze do niedawna funkcjonujących realiach projektowania w Polsce, nie było możliwości skorzystania o wiarygodnych danych statystycznych o opadach atmosferycznych. Z tabeli 1 należało zatem wybrać jedną z wartości mieszczących się w przedziale natężeń od 100 dm³/(s·ha) do nawet 600 dm³/(s·ha). W rezultacie w projektowaniu systemów odwodnienia często przyjmowano a priori wartość natężenia deszczu równą 300 dm³/(s·ha). Za wyborem tej wartości przemawiać mogło to, że plasowała się ona w środku tab. 1, a zarazem wartość ta odpowiadała w przybliżeniu natężeniu deszczu o czasie trwania $t = 5$ min i częstotliwości $C = 5$ lat ($p = 20\%$), szacowanej z formuły Błaszczyka (Błaszczyk i in. 1954). Ponadto była ona zgodna z wartością sugerowaną w poprzedniej normie krajowej PN-92/B-01707 (Instalacje kanalizacyjne. Wymagania w projektowaniu) z 1992 roku [6]. Z drugiej strony, poszukując wskazań co do doboru wartości natężeń deszczu miarodajnych do

Tabela 1. Wielkości natężenia opadów atmosferycznych [3]
Table 1. The magnitudes of precipitation intensity [3]

Natężenie opadów atmosferycznych, dm ³ /(s·m ²)
0,010
0,015
0,020
0,025
0,030
0,040
0,050
0,060

wymiarowania odwodnień dachów, w artykułach dostępnych w Internecie można spotkać się z zaleceniem stosowania także natężenia znacznie niższego na poziomie tylko $130 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$. Można domniemywać, że jest to efektem błędnej adaptacji wartości natężenia deszczu miarodajnego stosowanego standardowo do projektowania systemów odwodnienia, a konkretnie do obliczania kanałów deszczowych w Polsce, które to odpowiadało w przybliżeniu natężeniu deszczu o czasie trwania $t = 15 \text{ min}$ i częstości $C = 5 \text{ lat}$ ($p=20\%$), wyliczanemu z formuły Błaszczyka [7]. W świetle współczesnych badań dotyczących natężeń deszczów miarodajnych w Polsce, oczywistą prawdą jest, że przyjmowanie natężenia $130 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ do projektowania kanalizacji deszczowych, czy też ogólnie stosowanie formuły Błaszczyka [7] prowadzi współcześnie do niebezpiecznego zaniżania strumienia spływu wód opadowych. Tym bardziej stosowanie tak niskiej wartości natężenia deszczu do projektowania odwodnień dachów musi prowadzić do istotnego niedowymiarowania instalacji. Jednocześnie przytoczone badania dowiodły zróżnicowania natężeń opadów maksymalnych w poszczególnych częściach Polski, zatem przyjmowanie uniwersalnej wartości natężeń deszczu na poziomie $300 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ lub nawet wyższym, nie jest rozwiązaniem racjonalnym.

Standardy doboru natężeń deszczów miarodajnych

Sytuacja braku dostępu do danych statystycznych o opadach atmosferycznych nie tylko w odniesieniu do projektowania odwodnień dachów, ale całych systemów odwodnień stała się impulsem do realizacji przez firmę Retenciapl Sp. z o.o. pierwszego cyfrowego Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa). Realizacja projektu PANDa była możliwa dzięki dofinansowaniu ze strony Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) przyznanemu na projekt POIR.01.01.01 – 00-1428/15: *Opracowanie i wdrożenie Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa)*. Bezpośrednim efektem zakończonego w 2020 r. projektu, w trakcie którego przeanalizowano dane ze 100 stacji w kraju, z okresu wielolecia 1986-2015, jest baza złożona z 12885 lokalnych modeli opadów maksymalnych (dla czasów trwania od 5 min do 4320 min), przypisanych konkretnym oczkom siatki o rozdzielczości 5 km na 5 km, obejmującej obszar całego kraju. Metodyka opracowania modelu jest opisana szczegółowo w wieloautorskiej mono-

grafii pod redakcją Licznara i Zaleskiego [8]. Jednym z najważniejszych osiągnięć naukowych projektu było wypracowanie i wdrożenie w praktyce bardzo nowoczesnej metodyki generowania przestrzennej reprezentacji zmienności natężeń deszczów miarodajnych na obszarze całej Polski, wykorzystującej w tym celu symulacje geostatystyczne. W efekcie tego dla obszaru całego kraju uzyskano nie tylko informację o wysokościach opadów miarodajnych, ale także o przedziałach ufności estymowanych wartości wysokości opadów miarodajnych. Dwoma podstawowymi wyróżnikami współczesnych atlasów opadowych, takich jak niemiecki atlas KO-STRa [9], amerykański NOAA (ang. National Oceanic and Atmospheric Administration) Atlas 14 [10], czy też atlas PANDa [8] są:

- 1) możliwość odczytu wysokości, czy też natężeń deszczów miarodajnych dla dowolnej lokalizacji;
- 2) wskazanie przy odczycie przedziału ufności odczytywanych wartości wysokości, czy też natężeń deszczów miarodajnych.

Wspomniany Atlas PANDa zmienił już trwale oblicze projektowania systemów odwodnienia w Polsce. W ramach komercjalizacji wyników projektu, który był dofinansowany ze środków NCBiR, wartości natężeń deszczów miarodajnych według Atlasu PANDa mogą być bezpośrednio pozyskiwane do celów komercyjnych ze specjalnego portalu dla projektantów, dostępnego w Internecie po adresem: <https://portal.atlaspanda.pl>. Co ważniejsze Atlas PANDa stał się impulsem do rozwoju pionierskiej w skali Polski cyfrowej platformy dla projektantów www.WaterFolder.com [11]. Dzięki partnerom platformy, takim jak firma Wavin Polska S.A. dostęp do platformy jest całkowicie bezpłatny dla projektantów oraz studentów. W efekcie tego w ciągu dwóch lat historii platformy, konta na niej utworzyło i z jej narzędzi skorzystało w celach praktycznych i edukacyjnych już ponad 6400 użytkowników. Co może warto zauważyć projekt Atlasu PANDa dowiódł, że systematyczne przetwarzania statystycznych danych opadowych w Polsce jest możliwe i skłonił na przykład wiodących w kraju eksploatatorów systemów odwodnienia do opracowywania lokalnych modeli opadowych, a nawet ich cyklicznego uaktualniania w oparciu o własne, lokalne szeregi opadowe.

Powracając zatem do zapisów normy PN-EN 12056-3 [3] należy stwierdzić, że aktualne dane statystyczne o opadach atmosferycznych są już dostępne w Polsce i należy je wdrożyć w praktyce. Nie jest to

jednak zadanie trywialnie proste, gdyż przytoczone w normie dane statystyczne o opadach atmosferycznych w projektowaniu systemów odwodnienia oznaczają modele opadowe, a więc zależności typu IDF (ang. Intensity-Duration-Frequency) lub DDF (ang. Depth-Duration-Frequency). Zatem, aby z nich skorzystać i określić natężenie opadów atmosferycznych r do wzoru (1) należy przyjąć określony czas trwania deszczu miarodajnego oraz częstość C lub równoważne prawdopodobieństwo p jego wystąpienia. W tym zakresie brak jest jakichkolwiek wskazań w normie oraz w krajowych lub lokalnych przepisach i wytycznych. Lukę tą trzeba uzupełnić, a propozycja rozwiązania jest prezentowana w dalszej części artykułu. Wypracowanie spójnych standardów w tym obszarze posiada przesłanki nie tylko wynikające z bezpieczeństwa samego projektowania, ale także wpływające z potrzeby wiarygodnej oceny konkurencyjności cenowej rozwiązań oferowanych przez różnych producentów systemów odwodnień, a na koniec także z długofalowej eksploatacji obiektów, gdzie przyjęcie na wstępie do projektowania pewnej częstości występowania deszczu C powinno być skorelowane ze stawkami ubezpieczeń od zalań przez deszcze nawalne, dla przyszłych użytkowników budynków, czy też hal magazynowo-produkcyjnych.

Rozważania o doborze natężeń opadów do projektowania odwodnień dachów warto zacząć od czasu trwania deszczu. W klasycznym projektowaniu kanalizacji deszczowych, miarodajny czas trwania deszczu jest utożsamiany z czasem koncentracji spływu deszczu ze zlewni kanalizacyjnej. Czas ten jest możliwie krótki, a zarazem na tyle długi, aby woda mogła odpływać do przekroju obliczeniowego nawet z najbardziej oddalonego punktu zlewni. Oznacza to, że cała zlewnia kontrybuuje co do spływu powierzchniowego, a zarazem dla krótkiego czasu trwania natężenie deszczu jest większe, niż dla dłuższych czasów, co gwarantuje maksymalizację miarodajnego do obliczeń strumienia odpływu wód opadowych. Oczywiście precyzyjne określenie czasu koncentracji terenowej dla elementarnych zlewni kanalizacyjnych jest trudne. Niemniej w wytycznych niemieckich [12], stosowanych także w Polsce, dla małych zlewni, o spadkach powyżej 4% i stopniu uszczelnienia powyżej 50%, zaleca się przyjmować najkrótszy miarodajny czas trwania deszczu $t = 5 \text{ minut}$. Jeśli miałyby się przyjąć podobne podejście do określania czasu deszczu miarodajnego dla odpływu z dachu na podstawie czasu

koncentracji, uzyskiwane wyniki byłyby nieco zaskakujące. Nawet w przypadku dachów płaskich, minimalne nachylenie połaci dachowej powinno wynosić co najmniej 3° , a może sięgać $10 \div 12^\circ$. Zgodnie z nomogramem do określania prędkości spływu powierzchniowego zamieszczonym w książce Haested Methods [13] nawet dla minimalnego nachylenia 3° , a więc blisko 5% na powierzchniach uszczelnionych prędkość spływu może osiągać wartość około 1,5 m/s. Przy takiej prędkości woda może pokonać odległość 20 m odpowiadającą maksymalnemu rozstawowi wpustów dachowych w ciągu zaledwie 13 s. Z punktów widzenia samej wiedzy o natężeniach deszczów miarodajnych nie jest możliwe oszacowanie natężenia deszczu miarodajnego o takim czasie trwania. Wynika to z faktu, że jak dotąd obserwacje natężeń opadów były prowadzone z użyciem deszczomierzy o rozdzielczości pomiarów sięgającej najczęściej około 5 minut, a w najlepszym przypadku 1 minuty [14]. Ta ostatnia rozdzielczość jest osiągana współcześnie na przykład przez nowoczesne elektroniczne deszczomierze wagowe. Nadal jednak zdarza się, że dane rejestrowane przez deszczomierze elektroniczne są przed ich zapisem do zbiorczych baz danych agregowane do rozdzielczości 10 minut, tak jak np. w przypadku bazy opadowej IM-GW-PIB. Stąd dostępne modele opadowe, w tym także wspomniany Atlas PANDa może być stosowany dla czasów nie krótszych od 5 minut. Rejestracja opadów z rozdzielczością czasową rzędu 30 s a nawet 10 s jest współcześnie możliwe jedynie z użyciem disdrometrów optycznych [15]. Nie są to jednak nadal przyrządy stosowane na szeroką skalę. Stąd jedynym racjonalnym rozwiązaniem jest także w przypadku odwodnień dachów posilkowanie się czasem trwania deszczu $t = 5$ minut. Za taką opcją przemawia także samo funkcjonowanie wpustów deszczowych systemów odwodnień podciśnieniowych. Aby system taki rozpoczął właściwą pracę ciśnieniową, musi dojść do wypełnienia przewodów odpływowych wodą i zalania samych wpustów wodą zgromadzoną na dachu. Jeśli nawet przyjmując powszechnie przyjmowany deszcz o natężeniu $300 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$, to w ciągu 5 minut oznacza on deponację 9 mm warstwy wody, która może już spłynąć do wpustów i napełnić przewody odpływowe.

Niezależne potwierdzenie zasadności postulatu operowania czasem trwania deszczu miarodajnego równym 5 minut można odnaleźć także w praktyce obliczeń odwodnień dachów w pobliskich

Niemczech [16]. W obliczeniach odwodnień typowych dachów z użyciem rynien okapowych stosuje się tam lokalne natężenia deszczu r dla czasu trwania 5 minut i częstości $C = 5$ lat. Dodatkowo w odniesieniu do systemów odwodnień podciśnieniowych i niezbędnych systemów awaryjnych stawia się wymóg, aby łącznie systemy te zabezpieczyły odprowadzenie spływów wód wywołanych lokalnym opadem miarodajnym o czasie trwania 5 minut i częstości $C = 100$ lat. Wymienione tutaj częstości deszczu $C = 5$ lat i $C = 100$ lat uznano za naturalne granice przedziałów postulowanych częstości deszczu miarodajnych przyjmowanych do obliczania różnego typu systemów odwodnień chroniących obiekty o zróżnicowanym poziomie znaczenia z punktu widzenia bezpieczeństwa ich użytkowników, funkcjonowania infrastruktury krytycznej, czy też ochrony zgromadzonego majątku.

Tabela 3. Częstości i prawdopodobieństwa deszczu miarodajnych do obliczania odwodnień dachów
Table 3. Frequencies and probabilities of design rainfalls for calculating roof drains

Proponowany, przykładowy obszar stosowania	Częstość, C	Prawdopodobieństwo, p
Obliczanie rynien okapowych	C = 5 lat	p = 20%
Obliczanie rynien okapowych w budynkach w centrach miast	C = 10 lat	p = 10%
Obliczanie odwodnień podciśnieniowych z możliwością zrzutów awaryjnych	C = 20 lat	p = 5%
Obliczanie rynien nieokapowych oraz odwodnień podciśnieniowych z ograniczoną możliwością zrzutów awaryjnych	C = 50 lat	p = 2%
Obliczanie rynien nieokapowych oraz odwodnień podciśnieniowych chroniących budynki o szczególnym znaczeniu	C = 100 lat	p = 1%

Zgodnie z tabelą 3 proponuje się, aby deszcz o częstości 5 lat stosować tylko do obliczeń najprostszych systemów odwodnień opartych o rozwiązanie w postaci rynien okapowych, niemniej te same systemy w centrach miast zaleca się obliczać na deszcz o częstości 10 lat. Jest to częstość zgodna z częstością wymaganą przy projektowaniu kanalizacji zewnętrznych zgodnie z normą PN-EN-752 [17], gdy wpływ ich niezawodności funkcjonowania jest średni do wysokiego, a ich niedowymiarowanie może prowadzić na przykład do zalania w zamieszkałych budynkach. Systemy odwodnień podciśnieniowych odprowadzające wody opadowe zazwyczaj z dużych obiektów o dachach płaskich, najczęściej nie posiadających dużego zapasu nośności proponuje się dla bezpieczeństwa obliczać standardowo z wykorzystaniem deszczu miarodajnego o częstości 20 lat. Postulowana tutaj wyższa częstość deszczu miarodajnego jest uzasadniona w dużej mierze potrzebą prawidłowego funkcjonowania tych wrażliwych na przeciążenia konstrukcji w perspektywie co najmniej ćwierćwiecza. Trzeba już dziś obliczając te konstrukcje uwzględnić, że w warunkach zmieniającego się klimatu systemy odwodnień dachów będą w przy-

szłości działać być może rzadziej z uwagi na dłuższe okresy suszy, ale zarazem będą poddawane coraz większej presji ze strony opadów nawalnych. Potwierdzeniem tych słów mogą być odczyty prognozowanych zmian w dobowych sumach opadów dla obszaru Polski na podstawie symulacji projektu CORDEX (ang. Coordinated Regional Downscaling Experiment). Celem tego projektu było wygenerowanie klimatycznych baz danych o wysokiej rozdzielczości (50 km) dzięki skalowaniu w dół (ang. downscaling) symulacji Coupled Model Intercomparison Project 5 (CMIP5), w którym modele numeryczne do prognozowania zmian klimatu implementowano do długoterminowego i krótkoterminowego prognozowania przebiegu modeli klimatycznych [18, 19]. Chociaż wzrosty średniej wysokości dobowych sum opadów są prognozowane na poziomie nie przekraczającym 10%, to liczba dni z opadem przekracza-

jącym 10 mm i 20 mm (parametry R10mm i R20mm) w letnim półroczu hydrologicznym wzrośnie o kilka procent w przypadku R10mm oraz o kilkanaście procent w przypadku R20mm. Są to odczyty dla obszaru Polski dotyczące jedynie horyzontu roku 2050 i to przy założeniu względnie łagodnego scenariusza zmian klimatycznych RCP 4.5. Wychodząc z podobnych przesłanek konieczności bezpiecznego funkcjonowania systemów odwodnienia opartych o rozwiązania w postaci rynien nieokapowych oraz odwodnień podciśnieniowych, przy ograniczonej możliwości stosowania zrzutów awaryjnych przez przelewy awaryjne sugeruje się w tabeli 3 ich obliczanie na podstawie deszczu miarodajnego o częstości 50 lat. W przypadku systemów odwodnienia, chroniących budynki o szczególnym znaczeniu, których przykłady można odnaleźć w tabeli 2 (sale operacyjne w szpitalach, szczególnie ważne pomieszczenia komunikacyjne, miejsce składowania substancji, które po zwilżeniu wydzielają trujące lub łatwo palne opary oraz budynki, w których znajdują się wybitne dzieła sztuki) postuluje się ich obliczanie na podstawie lokalnego natężenia deszczu miarodajnego o czasie trwania 5 minut i częstości 100 lat.

Aplikacja postulowanych standardów

W sposób oczywisty dla inżynierów zajmujących się projektowaniem odwodnień dachów najważniejszym jest odpowiedzenie na pytanie: na ile postulowane w artykule standardy przyjmowania natężeń deszczów miarodajnych w oparciu o lokalny model opadowy oraz postulowane częstotliwości i przyjęty czas trwania 5 minut są możliwe do zastosowania w praktyce? W pytaniu tym mieści się pragmatyczne spojrzenie na problem, pod kątem tego na ile przyjmowane zgodnie z postulowanymi standardami natężenia są porównywalne z zakresami wartości w tabeli 1, zaczerpniętej z normy PN-EN 12056-3 [3] i czy w efekcie końcowym zaprojektowane instalacje będą akceptowalne pod kątem kosztów dla inwestorów? Aby odpowiedzieć na te pytania i wątpliwości przeprowadzono badania polegające na odczycie natężeń deszczów dla czasu trwania 5 minut i częstotliwości zgodnych z tabelą 3 na podstawie 12885 lokalnych modeli opadów maksymalnych przypisanych konkretnym oczkom siatki o rozdzielczości 5 km na 5 km pokrywających w Atlasie PANDa cały obszar Polski. Wyniki tych odczytów zestawiono graficznie w postaci histogramów na rysunkach 2÷6. Ponadto podstawowe statystyki otrzymanych zbiorów natężeń deszczów miarodajnych, w postaci wartości minimalnych, maksymalnych, średnich oraz median, zestawiono w tabeli 4.

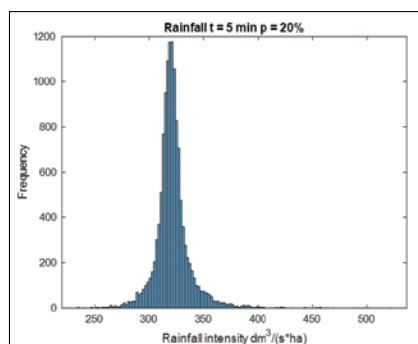
Interpretując histogramy na rysunkach 2÷6 należy stwierdzić, że na każdym z nich występuje jedno wyraźnie zaznaczone maksimum. Są to typowe rozkłady

Tabela 4. Statystyki zbiorów maksymalnych natężeń deszczów miarodajnych o czasie trwania 5 minut i przyjętych częstotliwościach (prawdopodobieństwach) wystąpienia

Table 4. Statistic of maximum design rainfall intensities sets for 5-minute duration and adopted frequencies (probabilities) of occurrence

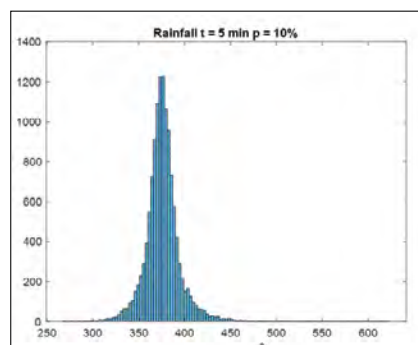
Częstotliwość, C	Prawdopodobieństwo, p	Minimum, $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$	Maksimum, $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$	Średnia $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$	Mediana $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$
C = 5 lat	p = 20%	235	521	321	320
C = 10 lat	p = 10%	267	623	376	375
C = 20 lat	p = 5%	302	748	437	436
C = 50 lat	p = 2%	350	923	526	526
C = 100 lat	p = 1%	390	1062	602	601

jednomodalne o dużej symetrii, nie może zatem dziwić, że wartości średnie i mediana zestawione w tabeli 4 są wzajemnie bliskie co do swoich wartości. Konfrontując tabelę 4 z tabelą 1 można też od razu zauważyć, że zazwyczaj, dla większości przypadków wartości natężeń deszczów odczytywane z Atlasu PANDa do obliczeń odwodnień dachów będą mieścić się w zakresie natężeń rekomendowanych w nor-



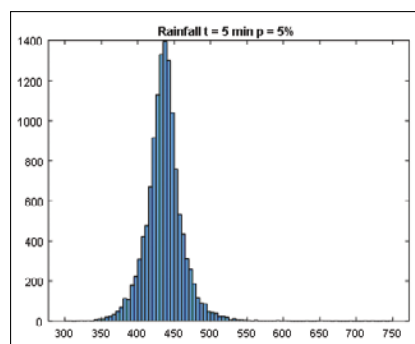
Rys. 2. Histogram maksymalnych natężeń deszczów miarodajnych o czasie trwania 5 minut i częstotliwości 5 lat (prawdopodobieństwa 20%). Na osi poziomej zakresy wartości natężeń deszczy wyrażono w $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$

Fig. 2. Histogram of maximum design rainfall intensities for 5-minute duration and 5-year frequency (probability of 20%). Rainfall intensities ranges are provided on horizontal axis in units of $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$



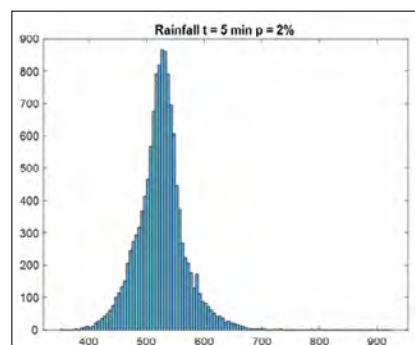
Rys. 3. Histogram maksymalnych natężeń deszczów miarodajnych o czasie trwania 5 minut i częstotliwości 10 lat (prawdopodobieństwa 10%). Na osi poziomej zakresy wartości natężeń deszczy wyrażono w $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$

Fig. 3. Histogram of maximum design rainfall intensities for 5-minute duration and 10-year frequency (probability of 10%). Rainfall intensities ranges are provided on horizontal axis in units of $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$



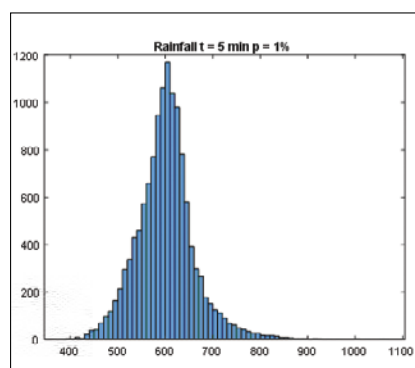
Rys. 4. Histogram maksymalnych natężeń deszczów miarodajnych o czasie trwania 5 minut i częstotliwości 20 lat (prawdopodobieństwa 5%). Na osi poziomej zakresy wartości natężeń deszczy wyrażono w $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$

Fig. 4. Histogram of maximum design rainfall intensities for 5-minute duration and 20-year frequency (probability of 5%). Rainfall intensities ranges are provided on horizontal axis in units of $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$



Rys. 5. Histogram maksymalnych natężeń deszczów miarodajnych o czasie trwania 5 minut i częstotliwości 50 lat (prawdopodobieństwa 2%). Na osi poziomej zakresy wartości natężeń deszczy wyrażono w $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$

Fig. 5. Histogram of maximum design rainfall intensities for 5-minute duration and 50-year frequency (probability of 2%). Rainfall intensities ranges are provided on horizontal axis in units of $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$



Rys. 6. Histogram maksymalnych natężeń deszczów miarodajnych o czasie trwania 5 minut i częstotliwości 100 lat (prawdopodobieństwa 1%). Na osi poziomej zakresy wartości natężeń deszczy wyrażono w $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$

Fig. 6. Histogram of maximum design rainfall intensities for 5-minute duration and 100-year frequency (probability of 1%). Rainfall intensities ranges are provided on horizontal axis in units of $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$

mie PN-EN 12056-3 [3]. Nie można jednak nie zauważyć, że stosowanie pojedynczej uniwersalnej wartości natężenia deszczu jest całkowicie nieuzasadnione. Jak widać, nawet w przypadku najczęściej statystycznie występującego opadu o częstotliwości 5 lat, co prawda jego natężenia są najczęściej bliskie $320 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$, ale są także miejsca w Polsce, gdzie sięgają nawet $521 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$, a są też lokalizacje, gdzie

osiągają zaledwie $235 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$. Zaprojektowanie odwodnienia dachu na domyślne natężenie deszczu równe $300 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ w tym pierwszym przypadku doprowadzi do niebezpiecznego niedowymiarowania, a w drugim przypadku do nieuzasadnionego finansowo przewymiarowania instalacji. Skupiając jeszcze uwagę na deszczu o częstotliwości 20 lat, postulowanym do obliczania odwodnień podciśnieniowych z możliwością zrzutów awaryjnych można wyciągnąć wniosek, że zapewne większość takich systemów w Polsce jest współcześnie obliczana na zbyt niskie natężenie deszczu na poziomie wspomnianych $300 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$. W rzeczywistości systemy te z uwagi na ryzyko przeciążenia konstrukcji dachów powinny być wymiarowane na natężenia miarodajne deszczu mieszczące się w zakresie od 302 do $748 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$, a najczęściej wynoszące około $437 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$. Ta ostatnia liczba w przybliżeniu odpowiada wspomnianej już wysokości $300 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ przemnożonej przez 1,5, a więc pierwszą wartość współczynnika ryzyka większą od 1,0 według tabeli 2 przytoczonej z normy [3]. Niezależnie od tego należy pamiętać, że dla zachowania bezpieczeństwa wspomniane systemy podciśnieniowych muszą być instalowane z rozwiązaniami umożliwiającymi zrzuty awaryjne. Na koniec poruszając jeszcze aspekt bezpieczeństwa projektowania i niezawodności działania instalacji odwodnienia należy podkreślić, że zawarte w tabeli 4 natężenia deszczu to bezpośrednio odczyty natężeń z Atlasu PANDa dla siatki o rozdzielczości 5 km na 5 km. W przypadku wątpliwości, czy lokalne uwarunkowania w mniejszej skali przestrzennej, takie jak na przykład specyficzne umiejscowienie obiektu w bliskości przeszkód terenowych, nie będzie skutkowało podwyższonymi lokalnie natężeniami deszczu, rekomenduje się korzystania z wartości odpowiadających górnym przedziałom ufności odczytywanych natężeń z Atlasu PANDa.

Podsumowanie

Przeprowadzona na wstępie pracy analiza stanu warsztatu projektowania systemów odwodnień dachów w Polsce wykazała istotne luki polegające na: braku wytycznych co do przyjmowania natężeń opadów do obliczeń spływów z dachów, braku ogólnie dostępnych algorytmów obliczeniowych i materiałów (np. nomogramów, tablic z parametrami) wspomagających projektowanie układów i obliczenia hydrauliczne odwodnień podciśnieniowych, a także wątpliwościach co do wiel-

kości współczynników spływu dla dachów o nowych typach pokryć, w tym przede wszystkim dla dachów zielonych. Jak łatwo zauważyć dwie pierwsze luki istotnie wpływają na bezpieczeństwo projektowanych systemów odwodnień zarówno grawitacyjnych, jak i podciśnieniowych obiektów wieloprzestrzennych o dachach płaskich. Aktualna norma PN-EN 12056-3 [3] dotycząca zagadnienia odwodnień dachów, będąca jedynie tłumaczeniem normy europejskiej o charakterze ramowym, nie zapewnia odpowiedniego wsparcia merytorycznego w wymienionych powyżej obszarach luk w warsztacie inżynierskim. Nawet w przypadku jej nowelizacji nie należy oczekiwać precyzyjnego uregulowania najważniejszej z wymienionych kwestii, a więc wskazania lokalnych wartości natężeń deszczów miarodajnych do wymiarowania systemów odwodnienia w Polsce.

W dalszej części badań uwagę skoncentrowano na wypracowaniu rozwiązań w postaci ogólnopolskich standardów doboru natężeń deszczów miarodajnych do obliczania odwodnień dachów. W myśl normy PN-EN 12056-3 [3] stwierdzono, że od 2020 roku, czyli od czasu powstania Atlasu PANDa, istnieje już powszechny dostęp na terenie całego kraju do aktualnych danych statystycznych o opadach atmosferycznych, dotyczących częstotliwości występowania deszczu nawalnych o określonym natężeniu i czasie trwania. W konsekwencji tego natężenie opadów r do obliczeń powinno być przyjmowane z należytym uwzględnieniem charakteru i sposobu wykorzystania budynku, a także powinno być odpowiednie do stopnia możliwości do zaakceptowania ryzyka. Kierując się tymi przesłankami, po analizie zjawiska formowania się spływu powierzchniowego na dachu i w odniesieniu do rozwiązań stosowanych w praktyce w pobliskich Niemczech, zaproponowano, aby lokalne natężenia deszczu odczytywać dla czasu trwania 5 minut i częstotliwości jego występowania od $C=5$ lat (prawdopodobieństwa $p=20\%$) do $C=100$ lat (prawdopodobieństwa $p=1\%$). W przypadku odwodnień podciśnieniowych spotykanych powszechnie w praktyce odwodnień dachów płaskich obiektów wielkopowierzchniowych zaproponowano, aby były one obliczane standardowo na natężeniu deszczu miarodajnego o częstotliwości $C=20$ lat lub $C=50$ lat w przypadkach, gdy należy ograniczyć objętość i częstość zrzutów awaryjnych. Wspomniane wytyczne zdaniem autorów publikacji posiadają uzasadnienie wypływające zarówno z powszechnego trendu „odchudzenia” kon-

strukcji obiektów wielkopowierzchniowych oraz z prognozowanych zmian klimatu.

- 1) W końcowej części pracy zbadano wpływ postulowanych standardów na rzeczywiste wysokości natężeń deszczów, które należałoby stosować w praktyce. W tym celu dokonano odczytów natężeń deszczów miarodajnych o czasie trwania 5 minut i częstotliwości 5, 10, 20, 50 i 100 lat z 12885 lokalnych modeli opadów maksymalnych przypisanych poszczególnym oczkom siatki o rozdzielczości 5 km na 5 km pokrywających w Atlasie PANDa cały obszar Polski. Po przeanalizowaniu otrzymanych zbiorów wartości natężeń deszczu miarodajnych można wyciągnąć następujące wnioski: pomimo wyraźnej jednododalnego charakteru uzyskanych rozkładów zbiorów natężeń deszczu miarodajnych, nie jest prawidłowe projektowanie systemów odwodnień dachów danego typu na pojedynczą, uniwersalną wartość natężenia opadu. Nawet w przypadku najwyższej częstotliwości $C=20$ lat (deszcz 5-letni) rozpiętość wahań natężeń deszczu jest szeroka od $235 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ do nawet $521 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$, przy średniej wartości $321 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$. Dla tej częstotliwości przyjmowanie na wejściu do obliczeń wartości średniej jako miarodajnej będzie skutkować ryzykiem niedoszacowania strumieni spływu wód opadowych rzędu nawet 62%.
- 2) Wartość natężenia deszczu równa $300 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ jest wyraźnie zbyt niska, jako podstawa do obliczania spływu z dachów płaskich w przypadku odwodnień podciśnieniowych. W zależności od lokalizacji planowanej inwestycji, natężenia stosowane w tym celu powinny kształtować się w zakresie od 302 do $748 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ (przy średniej wartości równej $437 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$), bądź nawet od 350 do $923 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ (przy średniej wartości równej $526 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$), jeśli pojawia się konieczność ograniczenia objętości i częstotliwości przelewów awaryjnych z dachów.
- 3) Z punktu widzenia bezpieczeństwa funkcjonowania odwodnień dachów rekomenduje się dodatkowo, w przypadku szczególnych lokalizacji, gdzie może pojawić się trudny do przewidzenia wpływ lokalnej turbulencji na maksymalne intensywności opadów, jako miarodajne do obliczeń projektowych natężenia deszczu odpowiadające górnym ograniczeniom przedziałów ufności z Atlasu PANDa.

Z uwagi na ograniczenia tego artykułu zagadnienia szczegółowe dotyczące projektowania odwodnień dachów o niestandardowych pokryciach, w tym przede wszystkim dachów zielonych oraz doboru instalacji podciśnieniowych będą przedmiotem kolejnego artykułu.

Podziękowanie

Prezentowane wyniki badań zostały uzyskane w ramach realizacji projektu POIR. 01.01.01-00-0119/21 *WaterFolder Connect – zintegrowana platforma projektowania i modelowania systemów odwodnienia*, finansowanego przez NCBiR 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.

Wkład autorów: Oświadczamy, że wszyscy autorzy przyczynili się do powstania koncepcji i projektu tego artykułu. Metodologię i gromadzenie danych zrealizowali: Agnieszka Wrzesińska, Maria Bogacz-Rygas, Robert Uniejewski i Paweł Licznar. Analizy przeprowadzili: Jarosław Chudzicki i Anna Sosnowska. Wszyscy autorzy byli odpowiedzialni za napisanie wstępnego szkicu rękopisu. Justyna Stańczyk była odpowiedzialna za przygotowanie

discussii nad wynikami oraz ostateczną edycję manuskryptu. Paweł Licznar był odpowiedzialny za koordynację badań i koncepcję naukową manuskryptu. Na koniec każdy autor przeczytał i zatwierdził pracę końcową.

LITERATURA

- [1] Licznar P.: Propozycje w zakresie zmian normatywu dotyczącego przyjmowania obciążeń od śniegu. *Budownictwo i Prawo*, 2, 2006, 19 – 22.
- [2] Licznar P.: Śnieg na dachu. *Inżynier budownictwa*, Kwiecień 2006, 39 – 43.
- [3] PN-EN 12056-3: 2002. Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków. Część 3: Przewody deszczowe. Projektowanie układu i obliczenia.
- [4] VDI 3806:2000-04. Roof drainage with siphonic system (Dachentwässerung mit Druckströmung).
- [5] Chudzicki J., Sosnowski S.: Instalacje wodociągowe – projektowanie, wykonanie, eksploatacja, Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa 2011.
- [6] PN-92/B-01707: 1992. Instalacje kanalizacyjne. Wymagania w projektowaniu.
- [7] Błaszczuk W.: Spływy deszczowe w sieci kanalizacyjnej (wytyczne do normatywu), *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 9, 1954, 262-271.
- [8] Metodyka opracowania Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa) (Licznar P. i Zaleski J.), Seria publikacji naukowo-badawczych IMGW-PIB, Warszawa 2020.
- [9] Bartels H.: Starkniederschlagshöhen für Deutschland. KOSTRA, Deutscher Wetterdienst, Offenbach 1997.
- [10] Perica S., Pavlovic S., Laurent M.St., Trypaluk C., Unruh D., Wilhite O.: NOAA Atlas 14. Precipitation-frequency atlas of the United States, Volume 11, Version 2.0, 2018.
- [11] Licznar P.: Cyfrowe projektowanie systemów odwodnień. *Przewodnik Projektanta*, nr 1, 2021, 39-45.
- [12] Schmitt T.G.: Komentarz do ATV-A 118. Hydrauliczne wymiarowanie systemów odwadniających, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2000.
- [13] Haestad Methods Engineering Staff, Walski T.M., Barnard T.E., Durrans S. R., Meadows M.E.: Computer applications in hydraulic engineering. Connecting theory to practice. Sixth Edition. Haestad Press, 2004.
- [14] Licznar P.: Analiza opadów atmosferycznych na potrzeby projektowania systemów odwodnienia. *Monografie Polska Akademia Nauk. Komitet Inżynierii Środowiska*; nr 137, Wrocław 2018.
- [15] Licznar P.: Disdrometr laserowy – nowe narzędzie pomiarowe opadów atmosferycznych dla potrzeb inżynierii środowiska. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, Kwiecień 2007, 10-12.
- [16] Friedrich M., Friedrich L.: Dachentwässerung. Basiswissen für Dachhandwerker. Eichwalde Dezember 2021.
- [17] PN-EN 752: 2017. Drain and sewer systems outside buildings – Sewer system management. Zewnętrzne systemy odwadniające i kanalizacyjne – Zarządzanie systemem kanalizacyjnym.
- [18] Sillmann, J., Kharin V. V., Zhang X., Zwiers F. W., Bronaugh D.: Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 2013, 1716–1733, doi:10.1002/jgrd.50203.
- [19] Sillmann, J., Kharin V. V., Zhang X., Zwiers F. W., Bronaugh D.: Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 2013, 2473–2493, doi:10.1002/jgrd.50188.