

Pomoce dydaktyczne do przedmiotu Kanalizacja (wykład i projekt) i do dyplomów - studia I stopnia (dzienne i zaoczne)

[*] Kotowski A.: *Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów*.
Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa 2011.

8. STANDARDY ODWODNIENIA TERENÓW ZURBANIZOWANYCH

8.1. WYMAGANIA DO WYMIAROWANIA KANALIZACJI

Z przyczyn ekonomicznych systemy kanalizacyjne na terenach zurbanizowanych nie mogą być tak projektowane, aby dla każdego intensywnego opadu deszczu w wieloletnim okresie mogły zagwarantować pełną ochronę terenów przed wylaniem, tj. zapobiec w pełni szkodom w wyniku podmoknięcia terenu czy podtopienia budowli, czy też utrudnieniom komunikacyjnym.

Zapewnienie odpowiedniego standardu odwodnienia terenu definiuje się jako przystosowanie sieci kanalizacyjnej do przyjęcia maksymalnych - przewidywanych strumieni wód opadowych, z częstością równą dopuszczalnej - akceptowalnej społecznie częstości wystąpienia wylania na powierzchnię terenu.

Określenie dopuszczalnych częstości z jaką średnio w okresie wieloletnim użytkownik systemu kanalizacyjnego ma tolerować występowanie zaburzeń w funkcjonowaniu kanalizacji, powinno uwzględniać każdorazowo we właściwy sposób miejscowe uwarunkowania (tab. 8.1).

Tab. 8.1. Zalecane wg PN-EN 752:2008 częstości deszczu obliczeniowego i dopuszczalne częstości wylewów z kanalizacji

| Częstość deszczu obliczeniowego C^* [1 raz na C lat] | Kategoria standardu odwodnienia terenu (Rodzaj zagospodarowania) | Częstość wystąpienia wylania C_w [1 raz na C lat] |
|---|--|--|
| 1 na 1 | I. Tereny pozamiejskie (w oryginale „wiejskie”) | 1 na 10 |
| 1 na 2 | II. Tereny mieszkaniowe | 1 na 20 |
| 1 na 5 | III. Centra miast, tereny usług i przemysłu | 1 na 30 |
| 1 na 10 | IV. Podziemne obiekty komunikacyjne, przejścia i przejazdy pod ulicami, itp. | 1 na 50 |

*) Dla deszczu obliczeniowego nie mogą wystąpić żadne przeciążenia systemów.

Wdrożona w Polsce (zharmonizowana) norma europejska **PN-EN 752:2008** przyjmuje dopuszczalną częstość wylania (C_w) jako miarę stopnia ochrony terenów przed wylaniem, w zależności od rodzaju jego zagospodarowania. Jak wynika z tabeli 8.1, o wymaganym **współcześnie** standardzie odwodnienia terenu decyduje rodzaj zagospodarowania, w tym obecność obiektów specjalnych infrastruktury podziemnej. Tym samym wyróżniono cztery kategorie standardu odwodnienia terenu, różniące się istotnie dopuszczalną częstością wystąpienia wylania (C_w).

Podobną kategoryzację (I - IV) przyjęto w Polsce w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku - w zależności od zagospodarowania i spadków terenu, rozróżniając przy tym jeszcze rodzaj systemu kanalizacyjnego (tab. 8.2). Były to jednak **znacznie niższe** dopuszczalne częstości wystąpienia wylania (1, 2, 5 i 10 lat - w kanalizacji deszczowej, w porównaniu do podanych w tabeli 8.1. - 10, 20, 30 i 50 lat).

Zalecenia **PN-EN 752:2008** są więc na tym tle bardzo rygorystyczne, a przy tym nie różnicują częstości wylewów dla kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej.

Tab. 8.2. Dopuszczalne prawdopodobieństwa (częstości) wystąpienia zalewów terenu dla kanałów deszczowych i ogólnospławnych wg IKŚ* z 1983 r.

| Kategoria standardu odwodnienia terenu | Rodzaju ukształtowania i zagospodarowania terenu - w standardach odwodnienia: I, II, III i IV kategorii | Prawdopodobieństwo p w % (częstość C_w w latach) | |
|--|---|--|-----------------------------|
| | | - kanalizacja deszczowa | - kanalizacja ogólnospławna |
| I | Wszystkie rodzaje zagospodarowania z wyjątkiem dzielnic śródmiejskich, centrów miast oraz ulic klasy E i P - teren płaski | 100 (1) | 50 (2) |
| II | Wszystkie rodzaje zagospodarowania jw., teren o spadkach 2÷4%; Dzielnice śródmiejskie i centra miast oraz ulice klasy E i P na terenach płaskich | 50 (2) | 20 (5) |
| III | Wszystkie rodzaje zagospodarowania jak w I, lecz w szczególnie niekorzystnych warunkach ze względu na odwodnienie (niecki terenowe); Dzielnice śródmiejskie i centra miast oraz ulice klasy E i P na terenach o spadkach 2÷4%; | 20 (5) | 10 (10) |
| IV | Dzielnice śródmiejskie, centra miast oraz ulice klasy E i P na terenach szczególnie niekorzystnych ze względu na odwodnienie lub form zagospodarowania, wymagających wyjątkowej pewności odwodnienia | 10 (10) | 5 (20) |

^{*)} Instytut Kształtowania Środowiska: Zasady planowania i projektowania systemów kanalizacyjnych w aglomeracjach miejsko-przemysłowych i dużych miastach, Warszawa 1983.

Zgodnie z niemiecką praktyką kanalizacyjną:

- wylanie należy wiązać ze szkodami względnie zakłóceniami funkcjonowania jezdni, czy podziemnych obiektów komunikacyjnych, spowodowanymi wystąpieniem wód opadowych z systemu kanalizacyjnego na powierzchnię terenu, lub niemożnością ich odprowadzenia do systemu wskutek jego przeciążenia.
- samo wystąpienie wody opadowej na ulicę nie spełnia warunku faktycznego stanu wylania, dopóki spływ w przekroju poprzecznym ulicy uniemożliwia dalszy wzrost poziomu lustra wody **powyżej krawężników i przekroczenie granic posesji**.

Przy niewystarczającym spadku podłużnym jezdni czy braku wpustu, zwierciadło wody może jednak podnieść się powyżej wysokości krawężnika i doprowadzić do wylania wody na teren posesji, a stamtąd do potencjalnego wnikania do budynków (szkody).

Zalecenia PN-EN 752:2008 co do dopuszczalnych częstości wylewów z kanalizacji są praktycznie niemożliwe do weryfikacji na etapie projektowania nowych systemów. Wytyczna **ATV A-118:1999:2006** wprowadza pojęcie **częstości nadpiętrzenia (C_n)** jako pomocniczą wielkość wymiarującą do obliczeń sprawdzających (modelowania) sieci kanalizacyjnych. Przez nadpiętrzenie w sieci (studziencie) kanalizacyjnej należy rozumieć przekroczenie przyjętego poziomu odniesienia - najczęściej powierzchni terenu. Obliczenia sprawdzające przepustowości kanałów ograniczono więc zatem do takich stanów systemu, przy których lustro ścieków pozostaje wewnątrz systemu, względnie osiąga poziom powierzchni terenu.

Takie stany dają się w poprawny sposób odwzorować przy wykorzystaniu istniejących modeli hydrodynamicznych, na podstawie danych o geometrii sieci, wymiarów kanałów i obiektów. Przez to zostaje wyznaczony obliczeniowo stan przeciążenia, który jest najbliższy potencjalnie występującemu w dalszej kolejności wylaniu (tab. 8.3).

Tab. 8.3. Zalecane wg ATV A-118:2006 częstotliwości nadpiętrzenia do obliczeń sprawdzających projektowanych bądź modernizowanych systemów kanalizacyjnych (poziom odniesienia powierzchnia terenu)

| Rodzaj zagospodarowania terenu | Częstość nadpiętrzenia C_n [1 raz na C lat] |
|--|--|
| I. Tereny pozamiejskie | 2 |
| II. Tereny mieszkaniowe | 3 |
| III. Centra miast, tereny usług i przemysłu | rzadziej niż 5 |
| IV. Podziemne obiekty komunikacyjne, przejścia i przejazdy pod ulicami, itp. | rzadziej niż 10 ^{*)} |
| *) Przy przejazdach należy wziąć pod uwagę, że nadpiętrzeniu powyżej powierzchni terenu z reguły towarzyszy bezpośrednio wylanie, o ile nie są stosowane lokalne środki zabezpieczające. Tutaj częstotliwości nadpiętrzenia i wylania odpowiadają wymienionej w tabeli 8.1 wartości „1 na 50”. | |

Podane w tabelach 8.1 i 8.3 częstotliwości obliczeniowe obowiązują w Niemczech przy zastosowaniu do wymiarowania kanalizacji metod czasu przepływu (MWO i MZWS), **dających bezpieczne wyniki**, zwłaszcza dla zlewni o powierzchni $F < 200$ ha. Odpowiada to najczęściej długości kolektora rzędu 1÷3 km, w zależności od prędkości przepływu (spadków i wypełnień kanałów).

Dla większych systemów kanalizacyjnych zaleca się obecnie weryfikowanie tak zwymiarowanych (metodami czasu przepływu) kanałów i obiektów, na podstawie modeli symulacyjnych - hydrodynamicznych, w szczególności tam, gdzie mogą wystąpić znaczne szkody bądź też zagrożenia. Ma to na celu uniknięcie z jednej strony nieekonomicznego wymiarowania kanalizacji, ale również zbyt niskiej rezerwy bezpieczeństwa ze względu na wylania, z drugiej strony.

Na przykładzie całkowicie wypełnionych kanałów o przekroju kołowym, łatwo wykazać, że wzrost ich przepustowości całkowitej (Q) zależy od średnicy kanału (d), w funkcji:

$$\frac{Q_i(d_i)}{Q_1(d_1)} = \frac{\sqrt[3]{d_i^8}}{\sqrt[3]{d_1^8}} \quad (8.1)$$

Dowód. Korzystając z wzoru Manninga na prędkość średnią (rozdział 9.):

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} i^{1/2}, \quad (8.2)$$

dla promienia hydraulicznego $R_h = d/4$ i współczynnika szorstkości kanału $n = 0,013 \text{ s/m}^{1/3}$ otrzymamy

$$v = \frac{1}{n} \left(\frac{d}{4}\right)^{2/3} i^{1/2} = 30,53 d^{2/3} i^{1/2}, \quad (8.3)$$

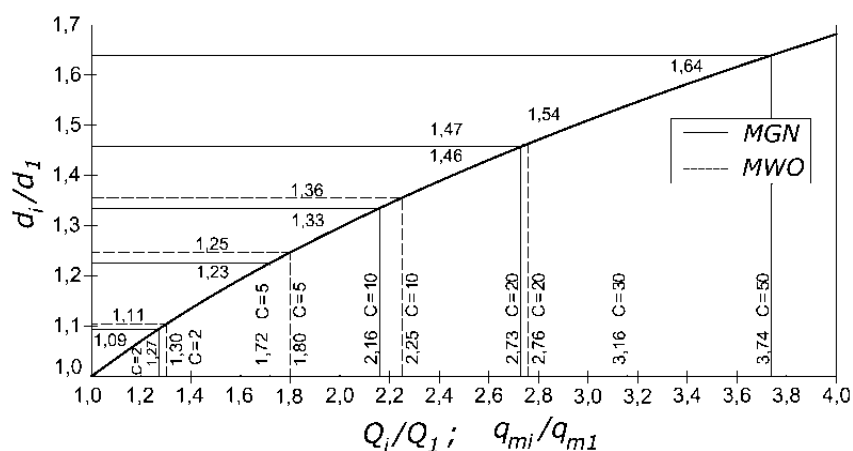
stosując równanie ciągłości ruchu

$$Q = A \cdot v = \frac{\pi d^2}{4} 30,53 d^{2/3} i^{1/2} = 23,98 \sqrt[3]{d^8} \sqrt{i}, \quad (8.4)$$

przy spadku linii energii równemu spadkowi dna kanału $i_i = i_1 = \text{idem}$, otrzymamy

$$\frac{Q_i(d_i)}{Q_1(d_1)} = \frac{23,98 \sqrt[3]{d_i^8} \sqrt{i_i}}{23,98 \sqrt[3]{d_1^8} \sqrt{i_1}} = \frac{\sqrt[3]{d_i^8}}{\sqrt[3]{d_1^8}}. \quad (8.5)$$

Na wykresie na rysunku 8.1, przedstawiono względne zależności: d_i/d_1 od względnych obliczonych strumieni $Q_i/Q_1 \equiv q_{mi}/q_{m1}$ – przykładowo wg MGN i wg MWO. Uwaga: badane są tutaj względne przyrosty Q i q_m w obu metodach przy zmianach częstości deszczy. Ilościowo wyniki Q i q_m w obu metodach różnią się!



Rys. 8.1. Zależność względnej średnicy kanału od względnego strumienia objętości

Z wykresu wynika, że dwukrotne zwiększenie wartości częstości deszczy z $C = 1$ rok na $C = 2$ lata powoduje wzrost wartości strumienia deszczy o wartość mnożnika: **1,27** - wg wzoru Błaszczyka (MGN) lub o **1,3** - wg wzoru Reinholda (MWO), a więc wymaga wzrostu przepustowości kanału o rząd **30%**, co wymaga z kolei wzrostu średnicy kanału tylko rzędu **10%** (rys. 8.1). Dziesięciokrotne zwiększenie wartości częstości deszczy, np. z $C = 1$ rok na $C = 10$ lat powoduje względny wzrost wartości strumienia deszczy o wartość mnożnika ok. **2,2** (w MGN 2,16 i w MWO 2,25) i wymaga wzrostu średnicy kanału jedynie rzędu **35%**.

Jak z tego wynika „bezpieczne” projektowanie średnic kanałów na większą wartość C , np. na $C = 2$ w porównaniu z $C = 1$, lub na $C = 5$ w porównaniu z $C = 2$, czy też na $C = 10$ w porównaniu z $C = 5$, wymaga tylko nieznacznego wzrostu średnicy o około **10%**, a więc praktycznie nie podnosi kosztów budowy kanalizacji, zapewniając jednocześnie większą pewność poprawnego jej działania.

Racjonalne jest więc zapewnianie „wyższego standardu” ochrony terenów zurbanizowanych przed wylaniami z kanalizacji, poprzez podnoszenie (w pewnym zakresie) wartości częstości obliczeniowych deszczy (C) miarodajnych do projektowania kanalizacji, czyli obniżanie przyjmowanych wartości prawdopodobieństwa (p) ich pojawiania się.

8.2. PORÓWNANIE METOD WYMIAROWANIA KANALIZACJI

Obliczane wg niemieckiej metody współczynnika opóźnienia - **MWO** miarodajne do wymiarowania kanalizacji strumienie ścieków deszczowych (Q_m) są znacznie większe w porównaniu do obliczanych wg **MGN**.

Wynika to głównie z różnic zastosowanych modeli opadów, ale także z odmiennych założeń wyjściowych samych metod obliczeniowych, co do miarodajnego czasu trwania deszczy: w **MWO** $t_d = t_p$, czy też wartości współczynników spływu: ψ - w MGN i ψ_s - w MWO.

Wyniki obliczeń strumieni Q_m wg MWO mogą być nawet **dwukrotnie większe** w porównaniu do obliczanych wg MGN - dla tych samych parametrów zlewni deszczowych, tj. czasu przepływu i częstości występowania deszczy obliczeniowego.

Tab. 8.4. Porównanie natężenia deszczy 10-minutowych dla wybranych polskich miast (z atlasu KOSTRA) na tle zmierzonych we Wrocławiu i w Bochum oraz obliczonych z modeli Reinholda, Błaszczyka i Bogdanowicz-Stachy

| Lp. | Miejscowość | Natężenie deszczu $q_{10,C}$ (w $\text{dm}^3/\text{s ha}$) dla częstości występowania C (w latach) | | | | | Uwagi | |
|-----------|------------------------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|---|-----------|
| | | $C = 1$ | $C = 2$ | $C = 5$ | $C = 10$ | $C = 20$ | | |
| 1 | Świnoujście | 135,2 | 164,0 | 202,0 | 230,8 | 259,6 | atlas KOSTRA, 1997 | |
| 2 | Szczecin | 144,7 | 177,6 | 221,1 | 254,0 | 286,9 | | |
| 3 | Kostrzyń | 144,1 | 174,7 | 215,1 | 245,7 | 276,3 | | |
| 4 | Słubice | 148,6 | 164,8 | 186,3 | 202,5 | 218,7 | | |
| 5 | Gubin | 157,1 | 201,9 | 261,1 | 305,9 | 350,7 | | |
| 6 | Zgorzelec | 147,7 | 186,9 | 238,6 | 277,8 | 316,9 | | |
| 7 | Bogatynia | 141,0 | 186,6 | 246,9 | 292,6 | 338,2 | | |
| 8 | Średnio 1÷7 | 145,5 | 179,5 | 224,4 | 258,5 | 292,5 | | |
| 9 | Wrocław | 148,3 | 183,3 | 230,0 | 261,7 | 283,4 | 1960÷2009 | |
| 10 | Wg wzoru Reinholda | 126,3 | 164,2 | 225,4 | 282,0 | 349,3 | $q_{15,1} = 100$ $\text{dm}^3/\text{s ha}$ | |
| 11 | Wg wzoru Błaszczyka | 100,9 | 127,6 | 172,5 | 217,3 | 273,8 | $H = 600$ mm | |
| 12 | Różnica (10-11) / (11) | 25,2% | 28,7% | 30,7% | 29,8% | 27,6% | - | |
| 13 | Różnica (8-11) / (11) | 44,2% | 40,7% | 30,1% | 19,0% | 6,8% | - | |
| 14 | Wg Bogdanowicz-Stachy dla regionu: | R_1 | 50,6 | 185,2 | 270,8 | 322,0 | 367,0 | 1960÷1990 |
| | | R_2 | 50,6 | 154,7 | 220,9 | 260,4 | 295,4 | |
| 15 | Bochum - Niemcy | 160,0 | 198,4 | 250,0 | 288,4 | 326,7 | 1951÷1980 | |

Porównanie stosowanych w obu metodach obliczeniowych modeli opadów, tj. **wzoru Reinholda z wzorem Błaszczyka**, jest możliwe dla czasu trwania deszczu $t_d = t_{d \min} = 10$ minut, skąd oblicza się maksymalne w obu metodach natężenie deszczu $q_{10,C}$ (tab. 8.4).

Dla czasu trwania deszczu $t_d = 10$ minut, wzajemne różnice wyników obliczeń natężeń deszczu $q_{10,C}$ - obliczonych z modelu Reinholda względem obliczonych z modelu Błaszczyka są rzędu 30% (tab. 8.4, wiersz 12) na niekorzyść modelu Błaszczyka, a względem opadów zmierzonych we Wrocławiu (1960÷2009) i podanych w atlasie KOSTRA dla polskich miast przygranicznych – **rzędu 40%**.

Uwzględniając fakt, że w MGN wymiarowania sieci kanalizacyjnych wyjściowe natężenia deszczu $q_{10,C}$ są następnie redukowane dodatkowo o zmienne czasy retencji terenowej i kanałowej - zależne od C i t_p ($t_{dm} = 1,2t_p + t_k$), faktyczne różnice natężeń wyjściowych w obu metodach obliczeniowych są znacznie większe. Na ostateczny wynik obliczeń miarodajnego do wymiarowania kanalizacji strumienia Q_m wpływ mają też współczynniki spływu: ψ - w MGN i ψ_s - w MWO, **przy czym $\psi_s > \psi$** .

Średnie wartości natężeń deszczu $q_{10,C}$ dla polskich miast mieszczących się w zasięgu atlasu **KOSTRA** (z 1997 roku) są niemal identyczne ze zmierzonymi we Wrocławiu i zbliżone wartościami do obliczonych z modelu – wzoru Reinholda (tab. 8.4 - wiersze 8, 9 i 10). Średnie te są znacznie wyższe od obliczonych z modelu Błaszczyka **od 44% do 19%**, w praktycznym do projektowania kanalizacji deszczowej zakresie $C \in [1; 10]$ lat (tab. 8.4 - wiersz 13).

Wg modelu Bogdanowicz-Stachy, w regionie centralnym Polski (R_1) natężenia $q_{10,C}$ są wyższe niż w regionie północno-zachodnim (R_2). Obliczane z tego modelu natężenia deszczu, **poza $C = 1$ rok**, korespondują zarówno ze zmierzonymi we Wrocławiu i w Bochum, jak i podanymi w atlasie KOSTRA dla polskich miast przygranicznych.

Z przeprowadzonych analiz wynikają istotne wnioski interpretacyjne co do wartości natężeń deszczu obliczanych z modelu Błaszczyka w MGN. Przy dostosowywaniu do zaleceń PN-EN 752:2008 (tab. 8.1) odnośnie częstości projektowych (C) deszczu do wymiarowania

kanalizacji deszczowej (i modernizacji ogólnospławnej) należy konieczne podnieść wartości częstości C wprowadzanych do wzoru Błaszczyka:

- z $C = 1$ rok na $C = 2$ lata - w I kategorii standardu odwodnienia terenu,
- z $C = 2$ lata na $C = 5$ lat - w II kategorii,
- z $C = 5$ lat na $C = 10$ lat - w III kategorii,
- z $C = 10$ lat na $C = 20$ lat - w IV kategorii odwodnienia terenu.

Postuluje się także jednolitą interpretację w MGN czasów opóźnienia-retencji (t_k i t_r), tj.:

- zmniejszenie czasu koncentracji terenowej (t_k) z 10, 5, 2, 2 minut (odpowiednio w I, II, III i IV kategorii standardu odwodnienia terenu wg [18] - z [*]) do 5, 2, 2, 2 minut - wg zaleceń IKŚ [243] (tab. 7.1 z [*]),
- skrócenie czasu retencji kanałowej (t_r) z 20% do 10% czasu przepływu (t_p) - na podstawie propozycji Edela.

Zbliży to jedynie rezultaty wymiarowania, nowych bądź modernizowanych systemów kanalizacyjnych w Polsce, do bezpieczniejszych, ze względu na zalecane obecnie częstości napiętrzeń (C_n) czy wylewów (C_w). **Jednak będą to nadal niższe wartości** miarodajnych strumieni Q_m - obliczanych wg MGN w porównaniu z obliczanymi wg MWO, m.in. ze względu na różnice wartości współczynników spływu: ψ - w MGN i ψ_s - w MWO.

Tak zmodyfikowana MGN może być warunkowo nadal stosowana jedynie:

- dla płaskich terenów zlewni - o $i_t \leq 1\%$,
- w I kategorii standardu odwodnienia (tereny wiejskie).

8.3. ZALECENIA DO WYMIAROWANIA KANALIZACJI W POLSCE

Pod względem wysokości i intensywności opadów maksymalnych warunki hydrologiczne Polski i Niemiec są zbliżone (tab. 8.4). Oba kraje położone są na granicy stref klimatu kontynentalnego i morskiego. Tak więc ogólne zasady wymiarowania i modelowania systemów kanalizacyjnych wypracowane w Niemczech mogą być stosowane w Polsce [*].

W celu zwiększenia niezawodności - bezpieczeństwa działania systemów kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej, budowanych czy modernizowanych w Polsce, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 752:2008 pilna staje się potrzeba zmiany dotychczasowych zasad (MGN) ich wymiarowania, a zwłaszcza zastąpienie wzoru Błaszczyka nowymi, dokładniejszymi modelami opadów (maksymalnych).

W tym celu, proponuje się daleko idącą modyfikację MGN - na wzór niemieckiej MWO, poprzez wyeliminowanie czasów opóźnienia-retencji t_k i t_r , a więc uzależnienie opóźnienia odpływu jedynie od rzeczywistego czasu trwania opadu t_d - równego czasowi przepływu t_p (jak w MWO), i korzystanie z wiarygodnych polskich modeli opadów maksymalnych.

Miarodajne do bezpiecznego projektowania systemów kanalizacyjnych są maksymalne wysokości opadów deszczu, o czasach trwania od kilku minut do kilku godzin, które występują z reguły w okresach długotrwałych zjawisk opadowych, trwających nawet kilka dni. Wówczas znaczenie koncentracji terenowej (t_k) i retencji kanałowej (t_r) jest pomijalnie małe (występują zastoje wód na powierzchniach utwardzonych zlewni, a kanały są częściowo wypełnione po poprzednim deszczu [*]).

Wg proponowanej - umownie nazwanej - „**metody maksymalnych natężeń**” (MMN) miarodajny strumień deszczu Q_m (w dm^3/s) wynosi:

$$Q_m = q_{\max}(t_d, C) \cdot \psi_s \cdot F \quad (8.6)$$

gdzie:

- $q_{\max}(t_d, C)$ - maksymalne natężenie jednostkowe deszczu (w $\text{dm}^3/\text{s ha}$) dla czasu trwania $t_d = t_p$ i częstości występowania C – z polskich modeli opadów maksymalnych (krzywych IDF),
- ψ_s - maksymalny (szczytowy) współczynnik spływu wód deszczowych, przyjmowany w zależności od stopnia uszczelnienia powierzchni (ψ), nachylenia terenu (i_t) i natężenia wzorcowego deszczu ($q_{15,C}$) - wg ATV A-118:1999:2006 (Załącznik nr 1),
- F - powierzchnia zlewni deszczowej, ha.

W proponowanej MMN najkrótsze czasy trwania deszczu $t_{d\min}$ należy dobierać w zależności od nachylenia terenu i stopnia uszczelnienia powierzchni. Zastosowanie więc mają czasy $t_{d\min} \in \{5, 10, 15\}$ minut - jak w MWO wg ATV A-118:1999:2006 (Załącznik nr 2).

Ponadto zaleca się przyjąć w Polsce jako zasadę, dobór średnic grawitacyjnych kanałów deszczowych i ogólnospławnych na niecałkowite wypełnienie – do 90% przepustowości przekroju przy strumieniu Q_m - według zaleceń ATV A-118:1999:2006 - czyli do 0,75 h/D.

Na podstawie analiz porównawczych dotychczasowych modeli opadów do wymiarowania odwodnień terenów w Polsce można sformułować zalecenia co do ich przydatności w MMN:

- **do wymiarowania sieci kanalizacyjnych:**
 - dla częstości projektowej deszczu $C = 1$ rok (w I kategorii standardu odwodnienia terenu - tab. 8.1 – **tereny wiejskie**) należy stosować modele lokalne - krzywe typu IDF lub DDF opadów maksymalnych (jak np. w przypadku Wrocławia), bądź do czasu ich opracowania, z konieczności stosować można wzór Błaszczyka, jednak z niezbędną korektą częstości deszczu **z $C = 1$ rok na $C = 2$ lata**;
 - dla częstości projektowych deszczu $C = 2, 5$ i 10 lat zaleca się stosowanie modeli lokalnych opadów maksymalnych (jak np. w przypadku Wrocławia) bądź modelu **Bogdanowicz-Stachy** (Załącznik nr 3); Jednak na terenach podgórskich i górskich, których nie obejmuje model Bogdanowicz-Stachy, z konieczności stosować można wzór Błaszczyka - z niezbędną korektą częstości deszczu:
 - z $C = 2$ lata na $C = 5$ lat - w II kategorii,
 - z $C = 5$ lat na $C = 10$ lat - w III kategorii,
 - z $C = 10$ lat na $C = 20$ lat - w IV kategorii odwodnienia terenu;
- **do wymiarowania zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych**, ze względu na ich wagę w zapewnieniu niezawodności działania systemów odwodnieniowych terenów, należy odpowiednio zwiększyć wartości przyjmowanych częstości projektowych opadów dla zbiorników ($C_z > C$) w stosunku do zalecanych częstości projektowych do wymiarowania sieci kanalizacyjnych (na wzór wytycznych niemieckich) i korzystać tutaj z zalecanych wyżej modeli opadów (tab. 8.5).

Tab. 8.5. Zalecane modele opadów do wymiarowania systemów sieci odwodnieniowych oraz zbiorników retencyjnych do MMN

| Kategoria standardu | Wymagane częstości projektowe | Zalecane modele opadów i częstości deszczu: | |
|---------------------|-------------------------------|---|--|
| | | C - do wymiarowania sieci odwodnieniowych | C_z - do wymiarowania zbiorników retencyjnych |
| - | lata | lata | lata |
| I | $C = 1$ rok | Modele lokalne dla $C = 1$ lub model Błaszczyka dla $C = 2$ | Modele lokalne dla $C_z = 2$ lub model Błaszczyka dla $C_z = 5$ |
| II | $C = 2$ lata | Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy dla $C = 2$ (Model Błaszczyka dla $C = 5$) | Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy dla $C_z = 5$ (Model Błaszczyka dla $C_z = 10$) |

| | | | |
|-----|--------------|---|---|
| III | $C = 5$ lat | Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy dla $C = 5$ (Model Błaszczyka dla $C = 10$) | Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy dla $C_z \geq 10$ (Model Błaszczyka dla $C_z \geq 20$) |
| IV | $C = 10$ lat | Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy dla $C = 10$ (Model Błaszczyka dla $C = 20$) | Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy dla $C_z \geq 20$ (Model Błaszczyka dla $C_z \geq 30$) |

Proponowana metoda maksymalnych natężeń (MMN) pozwoli osiągnąć w Polsce równie bezpieczne rezultaty wymiarowania systemów kanalizacyjnych, jak w przypadku metod czasu przepływu stosowanych w Niemczech (MWO i MZWS), zarówno pod względem wartości miarodajnych strumieni deszczy obliczeniowych (Q_m dla $C = 1, 2, 5$ i 10 lat – wg PN-EN 752:2008), jak i osiąganych w praktyce częstości nadpiętrzeń ($C_n = 2, 3, >5$ i >10 lat – wg DWA-A118:1999:2006) oraz częstości wylewów ($C_w = 10, 20, 30$ i 50 lat – wg PN-EN 752:2008).

Tak zwymiarowane większe systemy kanalizacyjne, obejmujące zlewnie deszczowe o powierzchni $F > 2$ km², zaleca się dodatkowo sprawdzać pod kątem ich przepustowości hydraulicznej (sieci i obiektów) w oparciu o skalibrowane modele symulacyjne (hydrodynamiczne), dla spełnienia wymagań PN-EN 752:2008 co do akceptowalnych społecznie częstości nadpiętrzeń czy wylewów (wg tab. 8.1 i 8.3). Zastosowanie mają tutaj m.in. **modele probabilistyczne opadów maksymalnych**.

W przypadku Wrocławia, korzystać można z modelu opartego na rozkładzie prawdopodobieństwa Fishera-Tippetta (typu III_{min}), dla zakresu $t_d \in [5; 4320]$ minut i $p \in [1; 0,01]$, o postaciach:

$$h_{\max}(t_d, p) = -4,58 + 7,41t_d^{0,242} + (97,11t_d^{0,0222} - 98,68)(-\ln p)^{0,809} \quad (8.11)$$

lub

$$q_{\max}(t_d, p) = 166,7[-4,58 + 7,41t_d^{0,242} + (97,11t_d^{0,0222} - 98,68)(-\ln p)^{0,809}]t_d^{-1} \quad (8.12)$$

gdzie:

h_{\max} - maksymalna wysokość opadu (DDF), mm,

q_{\max} - maksymalne jednostkowe natężenie opadu (IDF), dm³/s ha,

t_d - czas trwania deszczu, min,

p - prawdopodobieństwo przewyższenia opadu: $p = 1/C \in (0; 1]$, -

DDF - Depth-Duration Frequency (Powtarzalna wysokość opadu),

IDF - Intensity-Duration Frequency (Powtarzalna intensywność opadu),

Załącznik nr 1.

W niemieckich metodach czasu przepływu (MWO i MZWS) zalecane są wartości szczytowego współczynnika spływu ψ_s (wg tabeli 7.6 z [*]) w zależności od stopnia uszczelnienia powierzchni ψ , grupy spadków terenu i_t oraz wzorcowego natężenia deszczu obliczeniowego $q_{15,C}$.

Szczytowe współczynniki spływu, stopniowane dla różnych natężeń deszczu obliczeniowych: $q_{15,C} = 100, 130, 180$ i 225 dm³/s ha - tj. odpowiednio dla $C = 1, 2, 5$ i 10 lat, w 4 grupach spadków terenu, uwzględniają rosnący udział spływu powierzchniowego, w miarę zwiększania się natężenia deszczu obliczeniowego (C) i spadków terenu (tab. 7.6).

Tab. 7.6. Szczytowe współczynniki spływu (ψ_s) dla różnych natężeń - częstości deszczu wzorcowych ($q_{15,C}$) - o czasie trwania 15 minut w zależności od grupy spadków terenu (i_t) oraz stopnia uszczelnienia (ψ) wg ATV A-118 (z **[*]**)

| Stopień uszczelnienia terenu ψ , % | Szczytowe współczynniki spływu ψ_s | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-------------|-------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Grupy spadków terenu | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1). $i_t \leq 1\%$ | | | | 2). $1\% < i_t \leq 4\%$ | | | | 3). $4\% < i_t \leq 10\%$ | | | | 4). $i_t > 10\%$ | | | |
| | Wzorcowe natężenie deszczu $q_{15,C}$ - w $\text{dm}^3/\text{s ha}$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 100 | 130 | 180 | 225 | 100 | 130 | 180 | 225 | 100 | 130 | 180 | 225 | 100 | 130 | 180 | 225 |
| 0 (*) | 0 | 0 | 0,10 | 0,31 | 0,10 | 0,15 | 0,30 | (0,46) | 0,15 | 0,20 | (0,45) | (0,60) | 0,20 | 0,30 | (0,55) | (0,75) |
| 10 (*) | 0,09 | 0,09 | 0,19 | 0,38 | 0,18 | 0,23 | 0,37 | (0,51) | 0,23 | 0,28 | 0,50 | (0,64) | 0,28 | 0,37 | (0,59) | (0,77) |
| 20 | 0,18 | 0,18 | 0,27 | 0,44 | 0,27 | 0,31 | 0,43 | 0,56 | 0,31 | 0,35 | 0,55 | 0,67 | 0,35 | 0,43 | 0,63 | 0,80 |
| 30 | 0,28 | 0,28 | 0,36 | 0,51 | 0,35 | 0,39 | 0,50 | 0,61 | 0,39 | 0,42 | 0,60 | 0,71 | 0,42 | 0,50 | 0,68 | 0,82 |
| 40 | 0,37 | 0,37 | 0,44 | 0,57 | 0,44 | 0,47 | 0,56 | 0,66 | 0,47 | 0,5 | 0,65 | 0,75 | 0,50 | 0,56 | 0,72 | 0,84 |
| 50 | 0,46 | 0,46 | 0,53 | 0,64 | 0,52 | 0,55 | 0,63 | 0,72 | 0,55 | 0,58 | 0,71 | 0,79 | 0,58 | 0,63 | 0,76 | 0,87 |
| 60 | 0,55 | 0,55 | 0,61 | 0,70 | 0,60 | 0,63 | 0,70 | 0,77 | 0,62 | 0,65 | 0,76 | 0,82 | 0,65 | 0,70 | 0,80 | 0,89 |
| 70 | 0,64 | 0,64 | 0,70 | 0,77 | 0,68 | 0,71 | 0,76 | 0,82 | 0,70 | 0,72 | 0,81 | 0,86 | 0,72 | 0,76 | 0,84 | 0,91 |
| 80 | 0,74 | 0,74 | 0,78 | 0,83 | 0,77 | 0,79 | 0,83 | 0,87 | 0,78 | 0,8 | 0,86 | 0,90 | 0,80 | 0,83 | 0,87 | 0,93 |
| 90 | 0,83 | 0,83 | 0,87 | 0,90 | 0,86 | 0,87 | 0,89 | 0,92 | 0,86 | 0,88 | 0,91 | 0,93 | 0,88 | 0,89 | 0,93 | 0,96 |
| 100 | 0,92 | 0,92 | 0,95 | 0,96 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 |

(*) Stopnie uszczelnienia $\psi \leq 10\%$ wymagają uwzględnienia lokalnych uwarunkowań ψ_s

Przykładowo, dla **30-to procentowego** stopnia uszczelnienia terenu, wartości ψ_s zmieniają się od 0,28 do 0,51 (dla C od 1 do 10 lat) - w pierwszej grupie spadków terenu, od 0,35 do 0,61 - w drugiej, od 0,39 do 0,71 - w trzeciej i od 0,42 do 0,82 - w czwartej grupie spadków.

W MWO, wpływ opóźnienia odpływu wywołanego koncentracją terenową uwzględniany jest jedynie dla opadów o częstości występowania $C = 1$ i 2 lata ($q_{15} = 100$ i $130 \text{ dm}^3/\text{s ha}$) na terenach o spadku powierzchni mniejszym od 1%, poprzez nieznaczne obniżenie wartości współczynnika szczytowego spływu poniżej wartości stopnia uszczelnienia terenu.

Szczytowy spływ powierzchniowy pochodzi ze zlewni zredukowanej, o równoważnej szczernej powierzchni: $\psi_s \cdot F = F_{zr}$.

Załącznik nr 2.

Tab. 7.4. Najkrótsze miarodajne czasy trwania deszczu ($t_{d \min}$) w zależności od spadku terenu i stopnia uszczelnienia powierzchni wg ATV A-118:1999:2006 (z **[*]**)

| Średni spadek terenu | Stopień uszczelnienia | Minimalny czas trwania deszczu | Deszcz obliczeniowy |
|----------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|
| < 1 % | $\leq 50\%$ | 15 minut | $q_{15,C}$ |
| | $> 50\%$ | 10 minut | |
| 1 % do 4 % | $> 0\%$ | 10 minut | $q_{10,C}$ |
| | $\leq 50\%$ | 10 minut | |
| > 4 % | $\leq 50\%$ | 10 minut | $q_{5,C}$ |
| | $> 50\%$ | 5 minut | |

Przykładowo, do projektowania odwodnień dróg, autostrad (wpusty deszczowe) czy dachów (rynny) za miarodajny wg DIN 1986-2 uznaje się czas $t_{d \min} = 5$ minut, stąd np. $q_{5,5} = 300 \text{ dm}^3/\text{s ha}$.

Załącznik nr 3.

Model opadów maksymalnych Bogdanowicz i Stachy (z [1])

Bogdanowicz i Stachy, na podstawie ogólnopolskich pomiarów deszczy na 20 stacjach meteorologicznych IMGW, opublikowali w 1998 roku tzw. „charakterystyki projektowe” opadów, w postaci modelu probabilistycznego ([24]):

$$h_{\max} = 1,42t_d^{0,33} + \alpha(R, t_d) \cdot (-\ln p)^{0,584} \quad (6.16)$$

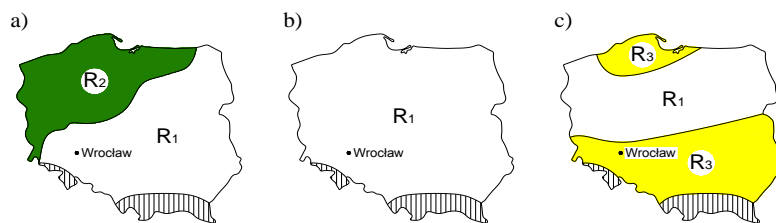
gdzie:

h_{\max} - maksymalna wysokość opadu, mm,

t_d - czas trwania deszczu, min,

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

α - parametr (skali) zależny od regionu Polski i czasu t_d (rys. 6.10 z [1]).



Rys. 6.10. Regiony opadów maksymalnych: a) dla czasów trwania deszczy $t_d \in [5; 60]$ min; b) dla $t_d \in [60; 720]$ min; c) dla $t_d \in [720; 4320]$ min (R_1 - region centralny; R_2 - region północno-zachodni; R_3 - regiony południowy i nadmorski)

Do opracowania modelu (6.16) przyjęto za podstawę 31 opadów maksymalnych, po jednym największym z każdego roku obserwacji (1960÷1990) dla każdej z 20 stacji meteorologicznych. Opady szeregowano wg nierosnących przedziałowych wysokości w 14 interwałach czasowych (od 5 minut do 72 godzin).

Przyjmując $p = 1$ ($C = 1$ rok) model (6.16) upraszcza się do funkcji, będącej dolnym ograniczeniem przyjętego rozkładu prawdopodobieństwa, postaci:

$$h_{\max} = 1,42t_d^{0,33} \quad (6.17)$$

Dla prawdopodobieństw przewyższenia $p < 1$ (czyli dla $C > 1$), w regionie centralnym Polski (R_1) parametr α obliczany jest z wzorów (rys. 6.10):

$$\alpha(R, t_d) = 4,693 \ln(t_d + 1) - 1,249 \quad - \text{dla } t_d \in [5; 120] \text{ min}, \quad (6.18)$$

$$\alpha(R, t_d) = 2,223 \ln(t_d + 1) + 10,639 \quad - \text{dla } t_d \in [120; 1080] \text{ min}, \quad (6.19)$$

$$\alpha(R, t_d) = 3,01 \ln(t_d + 1) + 5,173 \quad - \text{dla } t_d \in [1080; 4320] \text{ min}. \quad (6.20)$$

Analogicznie, dla regionu północno-zachodniego (R_2) parametr α obliczany jest z wzorów (dla czasów trwania opadów ≥ 60 minut region R_2 zanika, przechodząc w R_1):

$$\alpha(R, t_d) = 3,92 \ln(t_d + 1) - 1,662 \quad - \text{dla } t_d \in [5; 30] \text{ min}, \quad (6.21)$$

$$\alpha(R, t_d) = 9,160 \ln(t_d + 1) - 19,6 \quad - \text{dla } t_d \in (30; 60) \text{ min}. \quad (6.22)$$

Dla regionów południowego i nadmorskiego (R_3) parametr α obliczany jest z wzoru:

$$\alpha(R, t_d) = 9,472 \ln(t_d + 1) - 37,032 \quad - \text{ dla } t_d \in [720; 4320] \text{ min.} \quad (6.23)$$

Model Bogdanowicz i Stachy nie obejmuje obszarów górskich - zakreskowane na rysunku 6.10. Jest też obarczony błędem odnośnie wysokości opadów dla częstości deszczy pojawiających się raz na rok (patrz tab. 8.4). Dla częstości deszczy o $C = 2, 5$ i 10 lat, z modelu Bogdanowicz-Stachy (przekształconego na q), przykładowo dla centralnej Polski, otrzymujemy o ok. 50% większe natężenia deszczy względem obliczanych z modelu Błaszczyka. Te maksymalne natężenia opadów są już bliskie (nieznacznie wyższe) zmierzonych we Wrocławiu (1960-2009) [*].

Dodatek

Scenariusze opadów do modelowania przeciążeń kanalizacji w przyszłości

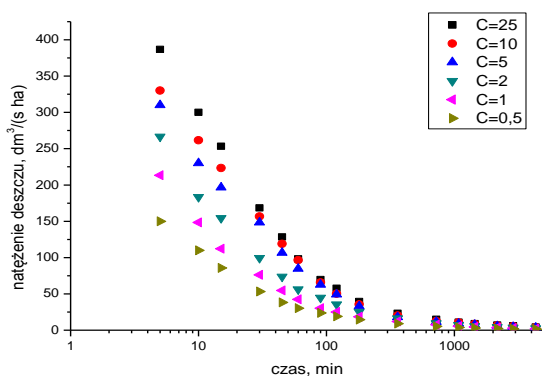
[**] Kotowski A.: *Wyzwania wywołane zmianami klimatu w projektowaniu systemów odwodnień terenów w Polsce*. Inżynier Budownictwa 2013, nr 3 (w druku).

Zaobserwowane w XX wieku ocieplenie klimatu nie pozostaje bez wpływu na opady. Wzrost średniej rocznej temperatury globu wywołuje zwiększoną cyrkulację wody w cyklu hydrologicznym oraz nasilenie się ekstremalnych zjawisk pogodowych (susze, powódzie, trąby powietrzne). Z powodu ocieplenia klimatu zmieni się wysokość i intensywność opadów regionalnych i lokalnych w Polsce w perspektywie 2100 roku.

Według prognoz opartych na globalnym modelu klimatu IPCC:2007, w bieżącym stuleciu temperatura globu może się podnieść o $1,7^{\circ}\text{C}$ do $4,4^{\circ}\text{C}$, a na każdy stopień wzrostu temperatury przewiduje się ok. 7% wzrost intensywności opadów. Stąd też w przyszłości wystąpi więcej zdarzeń ekstremalnych opadów lokalnych, które mogą powodować szkody na obszarach zurbanizowanych, w skutek wylewów z kanałów. Ponieważ budowane obecnie systemy kanalizacyjne powinny sprawdzać się w działaniu w horyzoncie czasowym 2100 roku, niezbędne jest już dzisiaj podjęcie odpowiednich działań zaradczych, w celu zminimalizowania negatywnych skutków takich zdarzeń w przyszłości.

Aktualny stan prawny nakłada na projektantów systemów kanalizacyjnych obowiązek bezpiecznego ich projektowania, tj. zgodnie z najnowszą dostępną wiedzą (BAT) – m.in. z uwzględnieniem negatywnych skutków prognozowanych zmian klimatu w przyszłości.

Odnosnie intensywnych opadów (z okresów pomiarowych 1960-2010), przyjmowanych obecnie za kryterialne do projektowania odwodnień terenów wg obecnych standardów PN-EN 752:2008 i DWA-A118:2006, przewiduje się wzrost częstości ich występowania w przyszłości. Biorąc pod uwagę obecną wiedzę na temat trendów zmian klimatu do 2100 roku, dostosowanie typowych opadów projektowych do wymiarowania i modelowania odwodnień terenów można dokonać poprzez korektę ich intensywności - krzywych IDF o obecnych częstościach występowania ($C \in [1; 10]$ lat), lub zmieniając częstości występowania współczesnych opadów projektowych (przykład na rys. 1).



Rys. 1. Obecne krzywe jednostkowych natężeń deszczy (IDF) o $C = 0,5 \div 25$ lat obliczone z modelu probabilistycznego (8.12) dla Wrocławia (z okresu 1960-2009)

Oznacza to, że przy tzw. wysokim scenariuszu zmian klimatu, dzisiejsze intensywności opadów należałoby zwiększyć o ok. 20% dla $C = 1$ rok do ok. 50% dla $C = 10$ lat, lub też częstości występowania obecnych opadów należałoby zredukować ok. 2 razy. Na tej podstawie opracowano wytyczne do identyfikacji przyszłych przeciążeń hydraulicznych w systemach kanalizacyjnych Flandrii w Belgii. Podobne trendy stwierdzono też w innych regionach Europy (Niemcy, Szwecja).

Staufer zaproponował korektę częstości opadów projektowych, przyjmowanych obecnie do weryfikacji nadpiętrzeń i wylewów w Niemczech, wg standardu DWA ATV-A118:2006. Przykładowo, dla terenów mieszkaniowych zaproponowano scenariusz opadów $C = 5$ lat zamiast $C = 3$ lata (wg tab. 8.3) do weryfikacji występowania przyszłych nadpiętrzeń oraz scenariusz opadów ekstremalnych o $C = 100$ lat dla zapewnienia wymaganej obecnie dopuszczalnej częstości wylewów raz na 20 lat (wg tab. 8.1). Na tej podstawie Krajowy Urząd ds. Środowiska w Bawarii wydał w 2009 roku zalecenie, odnośnie częstości opadów do identyfikacji przyszłych przeciążeń kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej w Północnej Nadrenii-Westfalii, co przedstawiono w poniższej tabeli.

Tab. x. Zalecane zmiany scenariuszy opadów do identyfikacji przeciążeń kanalizacji w przyszłości dla Północnej Nadrenii-Westfalii w Niemczech

| Rodzaj zagospodarowania terenu | Częstości opadów do symulacji: | |
|--|--------------------------------|------------------|
| | - nadpiętrzeń | - wylewów |
| | [1 raz na C lat] | |
| Tereny wiejskie | 3 w miejsce 2 | 50 w miejsce 10 |
| Tereny mieszkaniowe | 5 w miejsce 3 | 100 w miejsce 20 |
| Centra miast, tereny usług i przemysłu | 10 w miejsce 5 | 100 w miejsce 30 |

Wnioski:

Do bezpiecznego wymiarowanych odwodnień terenów w Polsce, wg obecnych standardów (PN-EN 752:2008 i DWA-A118:2006), tj. dla częstości deszczy obliczeniowych $C = 1, 2, 5$ i 10 lat (wg tab. 8.1) i obecnych wzorców opadów maksymalnych (IDF czy DDF z okresów 1960-1990-2009), należy zmienić częstości deszczy do symulacji występowania nadpiętrzeń do poziomu terenu (przyjmowanych obecnie jako $C = 2, 3, > 5, > 10$ lat – wg tab. 8.3), tak aby odzwierciedlały one częstości nadpiętrzeń w przyszłości. Mianowicie, proponuje się sprawdzać nadpiętrzenia na obecne deszcze o $C = 3, 5, 10$ (wg tab. x) oraz konsekwentnie > 20 lat - odpowiednio do rodzaju zagospodarowania terenu.

Z uwagi na niepewność obecnych prognoz co do przyszłych scenariuszy opadów, proponuje się sprawdzać sieci na deszcze ekstremalne o $C = 50, 100, 100$ (tab. x), oraz konsekwentnie > 100 lat - odpowiednio do rodzaju zagospodarowania (standardu

odwodnienia) terenu. Wówczas zachowane zostaną prawdopodobnie dopuszczalne obecnie częstotliwości wylewów $C = 10, 20, 30, 50$ lat (wg PN-EN 752:2008 - tab. 8.1) także w przyszłości.

Powyższe ustalenia są już obecnie zalecane do projektowania kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej w wielu krajach Europy. Niezbędne są jednak dalsze badania, w tym w Polsce, dotyczące uprawdopodobnienia się wysokiego scenariusza wzrostu intensywności opadów w przyszłości. Badania takie podjęto na Politechnice Wrocławskiej.