

Andrzej Kotowski, Katarzyna Wartalska, Monika Nowakowska

## Uogólniona metoda analityczna wymiarowania przelewowych zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych

Systemy odwodnień terenów zurbanizowanych projektowane są zwykle na perspektywę co najmniej 50÷100 lat. Z powodu ocieplania klimatu w przyszłości wystąpi prawdopodobnie znacznie więcej ekstremalnych zjawisk opadowych, które będą powodować jeszcze większe niż obecnie straty gospodarcze i społeczne, wskutek tzw. powodzi miejskich. Obserwowane już obecnie zmiany w strukturze opadów objawiają się m.in. tym, że krótkie intensywne deszcze ulegają przegrupowaniu w dłuższe – nawet kilkudniowe – o natężeniu znacznie wyższym niż dawniej [1–3]. We Wrocławiu na przestrzeni ostatnich 50 lat (1960–2010) stwierdzono tendencję spadkową rocznej i sezonowej wysokości opadów, ale jednocześnie odnotowano tendencję wzrostową zarówno liczby dni deszczowych w roku, jak i intensywności opadów [4]. Uwzględnienie tych zjawisk w perspektywie do 2100 r. jest więc niezbędne w celu bezpiecznego projektowania kanalizacji [5–7].

Do wymiarowania systemów odwodnień terenów, to jest sieci kanalizacji deszczowej wraz z obiektami specjalnymi (zbiorniki retencyjne), stosowane są różne metody obliczeniowe. Konsekwencją doboru niewłaściwej metody bilansowania strumieni wód opadowych jest możliwość zaprojektowania kanałów o niedostatecznej przepustowości hydraulicznej czy też zbiorników retencyjnych o zbyt małej objętości, co spowoduje w przyszłości przeciążenie sieci i zwiększy ryzyko wystąpienia wylewów z kanałów (podtopień terenów, zalewania ulic i piwnic) [8,9]. W nowoprojektowanych czy modernizowanych systemach kanalizacyjnych zaleca się obecnie weryfikację przepustowości hydraulicznej zwymiarowanych kanałów i obiektów na drodze symulacji hydrodynamicznych, przy różnych scenariuszach obciążenia zlewni opadami atmosferycznymi. Tymi scenariuszami, według obecnych standardów odwadniania terenów (PN-EN 752:2008 i DWA-A 118:2006), są rzeczywiste serie intensywnych deszczów z wielolecia bądź deszcze modelowe, w tym generowane losowo [10–13].

W niniejszej pracy dokonano analizy metod wymiarowania tak zwanych przelewowych zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych. Analizie poddano dotychczasową metodę analityczną, opracowaną przez Dziopaka [14, 15], w której zastosowano wzór Błaszczyka na natężenie jednostkowe deszczu. Na tej podstawie opracowano nową – uogólnioną – metodę wymiarowania zbiorników przelewowych z wykorzystaniem współczesnych modeli deszczów

maksymalnych. Na przykładowej zlewni deszczowej, w warunkach hydrologicznych Wrocławia, wykazano różnice wyników obliczeń objętości użytkowej zbiorników obliczanych obiema metodami.

### Współczesne modele opadów deszczu i metody wymiarowania kanalizacji

Do wymiarowania systemów odwodnień terenów w Polsce stosowano najczęściej dwie metody obliczeniowe – metodę stałych natężeń (MSN – zlewnie do 50 ha) lub metodę granicznych natężeń (MGN). Obie metody wykorzystywały fizyczny wzór W. Błaszczyka, który został oparty na opadach zarejestrowanych w Warszawie w latach 1837–1891 i 1914–1925 (średnio ponad 100 lat temu), o postaci (wzorowanej na wzorze Gorbaczowa) podanej w pracy [16] z 1954 r.:

$$q = 6,67C^{1/3}H^{2/3}t_d^{-2/3} \quad (1)$$

w którym:

q – jednostkowe natężenie deszczu,  $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$

C – częstość deszczu o natężeniu 'q' z przewyższeniem, lata

H – wysokość opadu normalnego (średniego z wielolecia), mm

$t_d$  – czas trwania deszczu, min

Wzór Błaszczyka (1) zanika obecne wartości jednostkowych natężeń deszczów, co wykazano między innymi w pracy [17] na przykładzie opadów zmierzonych we Wrocławiu w latach 1960–2009. Ponadto założenia wyjściowe w dotychczas stosowanych metodach obliczeniowych (MSN, MGN), odnośnie czasów retencji kanałowej i terenowej, dodatkowo zmniejszają strumień spływu wód opadowych w stosunku do innych metod czasu przepływu stosowanych w Europie – w podobnych jak w Polsce warunkach klimatycznych. Powoduje to częstsze wylewy z kanałów niż dopuszczalne według obowiązującej normy PN-EN 752:2008 [18] (C=10 lat, 20 lat, 30 lat i 50 lat, w zależności od standardu odwadniania terenów), co wykazano między innymi w pracach [9–11].

Do wymiarowania systemów odwadniania terenów zalecana jest obecnie metoda maksymalnych natężeń (MMN) ze współczesnymi modelami opadów maksymalnych, jak np. probabilistyczny model Bogdanowicz-Stachy o ogólnopolskim zasięgu [19] (który powstał na podstawie pomiarów deszczów na 20 stacjach IMGW w latach 1960–1990) czy też modele lokalne, jak np. wzór fizyczny w przypadku stacji IMGW Wrocław-Strachowice (oparty na pomiarach deszczów z lat 1960–2009) – o uproszczonej postaci ( $q=f(C, t_d)$ ), podanej w monografii [17]:

$$q_{\max} = 166,7(-11,93C^{-0,218} + 17,0)t_d^{-0,725} \quad (2)$$

w którym:

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

$C$  – częstość występowania deszczu (z przewyższeniem);  $C \in [1; 100]$  lat

$t_d$  – czas trwania deszczu;  $t_d \in [5; 4320]$  min

Miarodajny do wymiarowania sieci i obiektów strumień ścieków deszczowych ( $Q$ ,  $\text{dm}^3/\text{s}$ ) według metody MMN oblicza się ze wzoru [9]:

$$Q = q_{\max} \Psi_s F = q_{\max} F_{zr} \quad (3)$$

w którym:

$q_{\max}$  – jednostkowe (maksymalne) natężenie deszczu o czasie trwania ( $t_d$ ) równym czasowi przepływu ścieków ( $t_p$ ) w kanale,  $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$

$\Psi_s$  – szczytowy (maksymalny) współczynnik spływu, zależny od stopnia uszczelnienia terenu, spadków powierzchni i częstości ( $C$ ) opadu

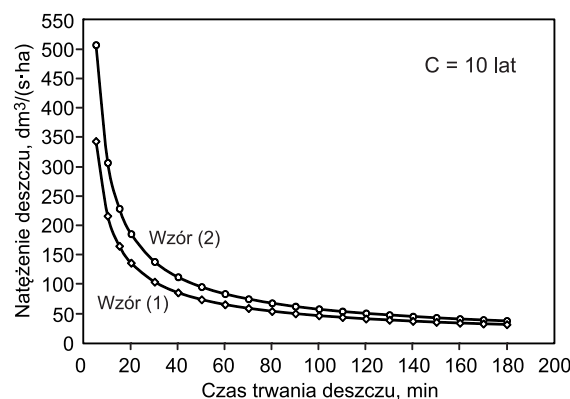
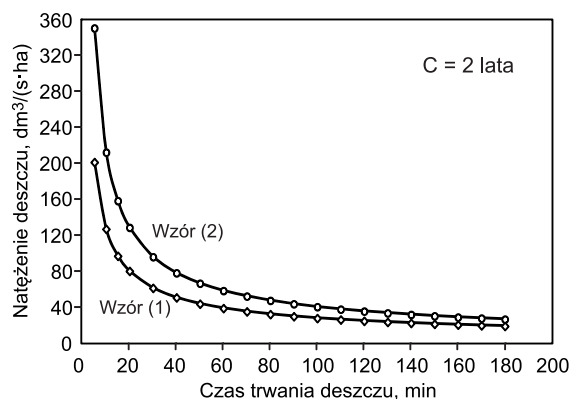
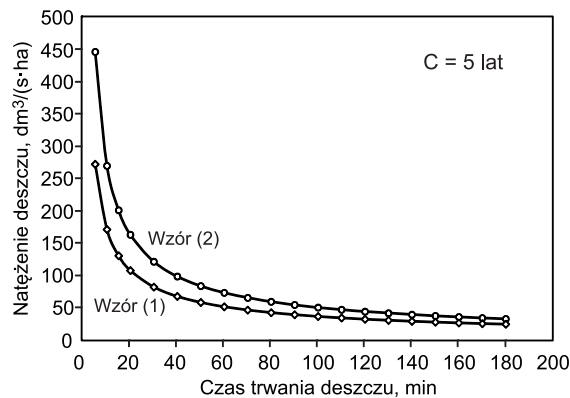
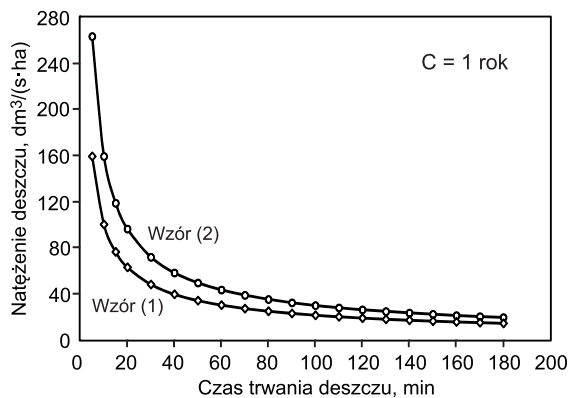
$F$  – powierzchnia zlewni deszczowej, ha

$F_{zr}$  – zredukowana (szczelna) powierzchnia zlewni deszczowej, ha

W tabeli 1 oraz na rysunku 1 zobrazowano różnice w wynikach obliczeń jednostkowych natężeń deszczów obliczonych ze wzoru Błaszczyka (1) ( $H=590$  mm) oraz ze wzoru opartego na pomiarach deszczów we Wrocławiu (2) ( $t_d \in [5; 180]$  min;  $C \in \{1; 2; 5; 10\}$  lat). Do celów porównawczych przyjęto wynik obliczeń natężenia jednostkowego deszczów z modelu Błaszczyka ( $q_B$ ) za 1,0 (100%). Przewyższenie wyników obliczeń z modelu dotyczącego Wrocławia ( $q_W$ ) względem modelu Błaszczyka (1) oznaczono jako  $q_W/q_B$ .

Tabela 1. Porównanie wartości natężenia deszczu obliczonych ze wzoru (2) ( $q_W$ ) względem wartości obliczonych ze wzoru (1) ( $H=590$  mm) ( $q_B$ )  
Table 1. Comparison of precipitation intensity calculated from the equation (2) ( $q_W$ ) versus calculated from the formula (1) ( $H=590$  mm) ( $q_B$ )

| Czas trwania deszczu min | Natężenie deszczu przy danej częstości jego występowania, $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ |       |           |          |       |           |         |       |           |          |       |           |
|--------------------------|--|-------|-----------|----------|-------|-----------|---------|-------|-----------|----------|-------|-----------|
|                          | C=1 rok  |       |           | C=2 lata |       |           | C=5 lat |       |           | C=10 lat |       |           |
|                          | $q_W$  | $q_B$ | $q_W/q_B$ | $q_W$    | $q_B$ | $q_W/q_B$ | $q_W$   | $q_B$ | $q_W/q_B$ | $q_W$    | $q_B$ | $q_W/q_B$ |
| 5                        | 263,4  | 159,4 | 1,65      | 350,2    | 200,9 | 1,74      | 446,6   | 272,6 | 1,64      | 507,7    | 343,5 | 1,48      |
| 10                       | 159,4  | 100,4 | 1,59      | 211,9    | 126,5 | 1,68      | 270,2   | 171,7 | 1,57      | 307,1    | 216,3 | 1,42      |
| 15                       | 118,8  | 76,6  | 1,55      | 157,9    | 96,5  | 1,64      | 201,4   | 131,0 | 1,54      | 228,9    | 165,1 | 1,39      |
| 30                       | 71,9   | 48,3  | 1,49      | 95,5     | 60,8  | 1,57      | 121,8   | 82,5  | 1,48      | 138,5    | 104,0 | 1,33      |
| 60                       | 43,5   | 30,4  | 1,43      | 57,8     | 38,3  | 1,51      | 73,7    | 52,0  | 1,42      | 83,8     | 65,5  | 1,28      |
| 120                      | 26,3   | 19,1  | 1,38      | 35,0     | 24,1  | 1,45      | 44,6    | 32,7  | 1,36      | 50,7     | 41,2  | 1,23      |
| 180                      | 19,6   | 14,6  | 1,34      | 26,1     | 18,4  | 1,42      | 33,2    | 25,0  | 1,33      | 37,8     | 31,5  | 1,20      |



Rys. 1. Krzywe jednostkowych natężeń deszczu (typu IDF) przy czasach trwania  $t_d \in [5; 180]$  min i częstości występowania  $C \in \{1; 2; 5; 10\}$  lat

Fig. 1. Intensity-duration-frequency (IDF) curves for duration  $t_d \in [5; 180]$  min and frequency  $C \in \{1; 2; 5; 10\}$  years

Wyniki porównania wartości  $q_W/q_B$  wykazały znaczne różnice wartości natężenia jednostkowego deszczów miarodajnych obecnie do wymiarowania kanalizacji według wzoru (2), w porównaniu z obliczonymi z modelu Błaszczyka (1). Przewyższenia  $q_W/q_B$  były różne w różnych zakresach wartości  $t_d$  i  $C$  – tym większe im krótszy był czas  $t_d$ , co świadczy między innymi o większej intensywności deszczów obecnie. W skrajnych przypadkach różnice sięgały nawet 74%, a przeciętnie wynosiły około 40%. Wynika stąd wniosek o pilnej konieczności zastąpienia modelu Błaszczyka (1) w wymiarowaniu systemów kanalizacyjnych w Polsce współczesnymi modelami deszczów maksymalnych [9, 10, 17].

### Dotychczasowe metody wymiarowania zbiorników retencyjnych

Zbiorniki retencyjne pełnią funkcję ograniczającą strumień ścieków w systemach kanalizacji ogólnospławnej, rozdzielczej bądź półrozdzielczej. Budowane są głównie w celu ochrony wód odbiornika ścieków przed nadmiernym zanieczyszczeniem [20], a także zabezpieczenia sieci kanalizacyjnych, pompowni czy oczyszczalni ścieków przed przeciążeniem hydraulicznym, w tym ochrony przed wylewami z kanałów i podtopieniami terenów [21–23]. Ze względu na konstrukcję i zasadę działania zbiorniki retencyjne można podzielić na dwie grupy [9]:

- przepływowe tradycyjne (najczęściej jednokomorowe),
- przelewowe nowoczesne (wielokomorowe).

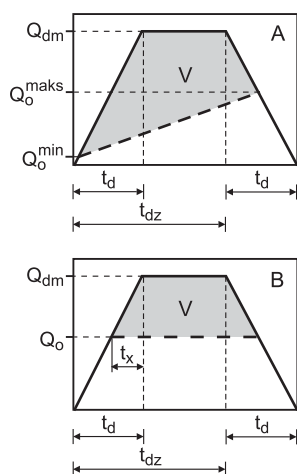
Przepływowe zbiorniki retencyjne budowane są z reguły jako ziemne (odkryte), natomiast przelewowe są z reguły żelbetowe (podziemne). Zbiorniki przelewowe działają równomiernie i cechują się przez to mniejszą wymaganą objętością retencyjną w stosunku do zbiorników przepływowych [14, 24]. Głównym parametrem eksploatacyjnym zbiornika retencyjnego jest współczynnik redukcji strumienia ( $\beta$ ), definiowany w postaci zależności (rys. 2):

$$\beta = Q_o/Q_{dm} \quad (4)$$

w której:

$Q_o$  – strumień objętości ścieków odpływających ze zbiornika,  $m^3/s$

$Q_{dm}$  – miarodajny strumień objętości ścieków dopływających do zbiornika,  $m^3/s$



Rys. 2. Modelowe hydrogramy dopływu i odpływu ścieków deszczowych w przypadku zbiorników przepływowego (A) i przelewowego (B)

Fig. 2. Model inflow and outflow rainwater hydrographs for flow (A) and overflow (B) reservoirs

Do obliczania objętości retencyjnej zbiorników przepływowych stosowana była metoda analityczna opracowana przez Błaszczyka [25], w której strumień dopływu ścieków deszczowych do zbiornika ( $Q_{dm}$ ) obliczano według metody MGN z zastosowaniem wzoru Błaszczyka (1). Metoda ta polega na obliczaniu objętości czynnej zbiornika ( $V$ ) na podstawie parametrów hydrologicznych zlewni i parametrów hydraulicznych sieci kanalizacyjnej doprowadzającej ścieki do zbiornika, tj. strumienia  $Q_{dm}(C, H, t_d, F, \psi)$ , przy czasie trwania deszczu ( $t_d$ ) równego czasowi przepływu ścieków ( $t_p$ ) w kanale dopływowym, ze wzoru:

$$V = f(\beta, \delta) Q_{dm} t_p \quad (5)$$

w którym  $f(\beta, \delta)$  jest funkcją transformującą deszcz miarodajny do wymiarowania sieci na deszcz miarodajny do wyznaczenia objętości czynnej zbiornika, zależną od współczynnika redukcji  $\beta = Q_{omaks}/Q_{dm}$  i współczynnika nierównomierności odpływu  $\delta = Q_{omin}/Q_{omaks}$  (rys. 2 – A).

Odnośnie zbiorników przelewowych, które charakteryzują się odmiennym sposobem działania w stosunku do zbiorników przepływowych (rys. 2 – B), dotychczasową podstawą określenia ich objętości czynnej był również modelowy (trapezowy) hydrogram dopływu ścieków deszczowych ( $Q_{dm}$ ) obliczany z zastosowaniem wzoru (1), lecz inny hydrogram odpływu o praktycznie stałej wartości  $Q_o$  ( $\beta = idem$ ). W tym przypadku wymaganą objętość komory retencyjnej zbiornika ( $V$ ) można określić analitycznie z całkowania bryły wykresu (poła trapezu) na rysunku 2 – B ze wzoru:

$$V = 60(t_{dz} - t_d + t_x)(Q_{dm} - Q_o) \quad (6)$$

Przedział czasu ' $t_x$ ', określający początek akumulacji ścieków w komorze retencyjnej, można wyznaczyć z zasady przystawiania trójkątów:

$$\frac{t_x}{Q_{dm} - Q_o} = \frac{t_d}{Q_{dm}} \Rightarrow t_x = \frac{Q_{dm} - Q_o}{Q_{dm}} t_d = \left(1 - \frac{Q_o}{Q_{dm}}\right) t_d \quad (7)$$

Po wstawieniu wzoru (7) do wzoru (6) otrzymuje się zależność:

$$V = 60 \left( t_{dz} - \frac{Q_o}{Q_{dm}} t_d \right) (Q_{dm} - Q_o) \quad (8)$$

W dotychczasowej metodzie wymiarowania przelewowych zbiorników retencyjnych [14] wykorzystywano wzór Błaszczyka (1) – o dogodnej analitycznej postaci:

$$q = \frac{A(C, H)}{t_d^{2/3}} \quad (9)$$

w której  $A(C, H) = 6,67 C^{1/3} H^{2/3}$  – ze wzoru (1). Stąd w metodzie MGN miarodajny strumień objętości ścieków ( $Q_{dm}$ ) zapisywano jako:

$$Q_{dm} = \frac{6,67 \sqrt[3]{CH^2}}{t_d^{2/3}} \frac{\psi F}{1000} = q F_{Zr} / 1000 \quad (10)$$

Po zastosowaniu odpowiednich przekształceń, wyjściowe równanie bilansu (8) można sprowadzić do postaci kanonicznej równania drugiego stopnia, którego rozwiązaniem – w przypadku miarodajnego czasu trwania deszczu do wymiarowania pojemności zbiornika  $t_d = t_{dz}$

– jest pierwiastek (przy stałych równych odpowiednio  $K_1=(6,67(CH_2)^{1/3}\Psi F)/1000$  oraz  $K_2=(Q_o^2 t_d)/K_1$ ) [24]:

$$t_{dz} = \left[ \frac{K_1}{\sqrt{K_2^2 + 3K_1 Q_o - K_2}} \right]^3 \quad (11)$$

Do obliczania pojemności czynnej przepływowych bądź przelewowych zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych stosowane były w Polsce również inne metody analityczne, jak np. Mołokowa [25], Pechera czy Anna i Londonga [26], bądź też metody wskaźnikowe, jak np. Błaszczyka [25, 27, 28] czy Mrowca [29]. W Niemczech stosowana jest obecnie metoda wskaźnikowa według normy DWA A-117 z 2006 r. [9, 30].

### Uogólniona metoda wymiarowania przelewowych zbiorników retencyjnych

Jako podstawę wyjściową do sformułowania uogólnionej metody analitycznego obliczania pojemności czynnej (V) zbiorników przelewowych przyjęto modelowy hydrogram dopływu ścieków deszczowych do zbiornika ( $Q_{dm}$  – obliczany z nowych modeli deszczów maksymalnych według MMN) oraz modelowy hydrogram odpływu ścieków ( $Q_o$  przy  $\beta = \text{idem}$ ; rys. 2 – B). Miarodajny strumień objętości dopływu ścieków deszczowych do zbiornika ( $Q_{dm} = Q_{dz}$ ) podczas miarodajnego opadu deszczu o natężeniu  $q = q_{dz}$ , zależnym od częstości występowania (C) i czasu trwania ( $t_{dz}$ ) oraz spływu wód deszczowych z powierzchni zlewni (F) o współczynniku spływu ( $\psi_s$ ), można określić np. z uniwersalnego równania hiperboli:

$$q_{dz} = \frac{A(C)}{t_{dz}^m} \quad (12)$$

z zastosowania którego wynika zależność:

$$Q_{dz} = \frac{A(C)}{t_{dz}^m} \frac{1}{1000} F \psi_s = q_{dz} F_{zr} / 1000 \quad (13)$$

przy czym wartości  $A(C)$  oraz  $m$  należy wyznaczyć na drodze aproksymacji w przypadku konkretnej miejscowości. Podstawą aproksymacji powinny być opracowania statystyczne deszczów, których metody tworzenia podano między innymi w pracy [17] (w przypadku Wrocławia według uproszczonego modelu deszczów maksymalnych (2):  $A(C) = 166,7(-11,93 C^{-0,218} + 17,0)$  oraz  $m = 0,725$ ).

Wymaganą pojemność czynną zbiornika przelewowego (V) określić można z analogicznej do równania (8) postaci równania wyjściowego bilansu:

$$V = 60 \left( t_{dz} - \frac{Q_o}{Q_{dz}} t_d \right) (Q_{dz} - Q_o) \quad (14)$$

Wprowadzając stałą pomocniczą  $K_1 = (A(C) F_{zr}) / 1000$  i podstawiając ją do wzoru (14), przyjmie on (po wymnożeniach) postać:

$$V = 60 \left( K_1 t_{dz}^{1-m} - Q_o t_{dz} - Q_o t_d + \frac{Q_o^2 t_d t_{dz}^m}{K_1} \right) \quad (15)$$

Wprowadzając natomiast drugą stałą  $K_2 = (Q_o^2 t_d) / K_1$ , wzór (15) otrzyma uogólnioną postać analityczną:

$$V(t_{dz}) = 60 (K_1 t_{dz}^{1-m} - Q_o t_{dz} - Q_o t_d + K_2 t_{dz}^m) \quad (16)$$

W celu wyznaczenia wartości  $t_{dz}$ , przy której funkcja (16) przyjmuje wartość ekstremalną, należy rozwiązać równania:

$$dV/dt_{dz} = 60[(1-m)K_1 t_{dz}^{-m} - Q_o + mK_2 t_{dz}^{m-1}] = 0 \quad (17)$$

$$(1-m)K_1 t_{dz}^{-m} + mK_2 t_{dz}^{m-1} - Q_o = 0 \quad (18)$$

Wprowadzając zastępczą niewiadomą  $X = t_{dz}^{m-1}$ , a także oznaczając dwie kolejne stałe jako  $K_3 = (1-m)K_1$  oraz  $K_4 = mK_2$ , równanie (18) można zapisać ostatecznie jako:

$$K_3 X^{m/(1-m)} + K_4 X - Q_o = 0 \quad (19)$$

Równanie (19) można rozwiązać numerycznie, choć szczególne jego przypadki przy niektórych wartościach wykładnika potęgi  $m$  dają się rozwiązać analitycznie (np. przy  $m = 2/3$ , jak w modelu Błaszczyka (1)). Po rozwiązaniu równania (19) można już obliczyć miarodajny (do wymiarowania zbiornika) czas trwania deszczu ( $t_{dz}$ ):

$$t_{dz} = X^{\frac{1}{m-1}} \quad (20)$$

Do celów analizy porównawczej opracowano autorski program o nazwie ZBIORNIK, obliczający nową uogólnioną metodą miarodajny czas trwania deszczu ( $t_{dz}$ ) – równania (19) i (20) oraz wymaganą pojemność zbiornika retencyjnego V – równanie (16). Należy zaznaczyć, że wartość drugiej pochodnej równania (16):

$$d^2V/(dt_{dz})^2 = 60[(1-m)K_1(-m)t_{dz}^{-m-1} + mK_2(m-1)t_{dz}^{m-2}] \quad (21)$$

w przypadku praktycznego w hydrologii zakresu  $0,5 \leq m < 1$  jest ujemna przy każdej dodatniej wartości  $t_{dz}$ , co oznacza, że wyznaczony z równań (19) i (20) czas trwania deszczu  $t_{dz}$  opisuje maksimum funkcji (16), czyli największą niezbędną pojemność zbiornika retencyjnego ( $V_{maks}$ ).

### Porównanie pojemności czynnej zbiorników przelewowych według różnych modeli deszczów

W celu wykazania różnic w wymaganej (niezbędnej) pojemności retencyjnej zbiorników przelewowych, wymiarowanych dotychczasową metodą oraz nową uogólnioną metodą, wykonano przykładowe obliczenia, których wyniki zamieszczono w tabelach 2–4, przyjmując odpowiednio wartości współczynnika redukcji strumienia ( $\beta$ ) równe 0,25, 0,50 oraz 0,75. Jako podstawę obliczeń w przypadku dotychczasowej metody przyjęto model opadów Błaszczyka ( $m = 2/3$ ,  $A(C) = 6,67 C^{1/3} H^{2/3}$ ), natomiast w przypadku nowej metody przyjęto model opadów maksymalnych we Wrocławiu ( $m = 0,725$ ,  $A(C) = 166,7(-11,93 C^{-0,218} + 17,0)$ ). Obliczenia niezbędnej pojemności zbiorników (V) przeprowadzono przyjmując czasy trwania deszczu miarodajnego ( $t_d = t_p$ ) równe 30 min, 60 min, 120 min i 180 min oraz częstości występowania deszczu (C) równe 1 rok, 2 lata, 5 lat i 10 lat (oba parametry dotyczą kolektora doprowadzającego ścieki do zbiornika). Aby zachować przejrzystość wyników, przyjęto jednakową częstość deszczu zarówno w przypadku kanału dopływowego, jak i zbiornika retencyjnego ( $C = C_z$ ), a także założono równość współczynników spływu ( $\psi = \psi_s$ ) w metodach MGN i MMN bilansowania strumieni  $Q_{dm}$ . Powierzchnię zredukowaną zlewni ścieków deszczowych przyjęto jako  $F_{zr} = 50$  ha, a wysokość deszczu średniego rocznego z wielolecia równą  $H = 590$  mm – jak w przypadku warunków hydrologicznych

Tabela 2. Parametry i pojemność retencyjna zbiorników przelewowych przy  $\beta=0,25$   
 Table 2. Parameters and retention volume of overfall reservoirs for  $\beta=0,25$

| $t_d=t_p$<br>min | Model Błaszczyka (1); H=590 mm |              |                     |                  |                | Model (2) oparty na pomiarach deszczów we Wrocławiu |              |                     |                  |                | $V_W/V_B$ |
|------------------|--------------------------------|--------------|---------------------|------------------|----------------|---|--------------|---------------------|------------------|----------------|-----------|
|                  | $t_{dz}$<br>min                | $t_d/t_{dz}$ | $Q_{dm}$<br>$m^3/s$ | $Q_o$<br>$m^3/s$ | $V_B$<br>$m^3$ | $t_{dz}$<br>min                                     | $t_d/t_{dz}$ | $Q_{dm}$<br>$m^3/s$ | $Q_o$<br>$m^3/s$ | $V_W$<br>$m^3$ |           |
| C = 1 rok        |                                |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 57                             | 0,53         | 2,413               | 0,603            | 2646           | 44  | 0,68         | 3,593               | 0,898            | 3731           | 1,41      |
| 60               | 115                            | 0,52         | 1,520               | 0,380            | 3333           | 88  |              | 2,174               | 0,543            | 4514           | 1,35      |
| 120              | 229                            |              | 0,69                | 1,315            | 0,329          | 5462  | 1,30         |                     |                  |                |           |
| 180              | 344                            |              | 0,68                | 0,980            | 0,245          | 6107  | 1,27         |                     |                  |                |           |
| C = 2 lata       |                                |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 57                             | 0,53         | 3,040               | 0,760            | 3334           | 44  | 0,68         | 4,777               | 1,194            | 4960           | 1,49      |
| 60               | 115                            | 0,52         | 1,915               | 0,479            | 4199           | 88  |              | 2,890               | 0,722            | 6002           | 1,43      |
| 120              | 229                            |              | 0,69                | 1,748            | 0,437          | 7262  | 1,37         |                     |                  |                |           |
| 180              | 344                            |              | 0,68                | 1,303            | 0,326          | 8119  | 1,34         |                     |                  |                |           |
| C = 5 lat        |                                |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 57                             | 0,53         | 4,126               | 1,031            | 4524           | 44  | 0,68         | 6,091               | 1,523            | 6325           | 1,40      |
| 60               | 115                            | 0,52         | 2,599               | 0,650            | 5699           | 88  |              | 3,685               | 0,921            | 7654           | 1,34      |
| 120              | 229                            |              | 0,69                | 2,229            | 0,557          | 9261  | 1,29         |                     |                  |                |           |
| 180              | 344                            |              | 0,68                | 1,662            | 0,415          | 10353   | 1,26         |                     |                  |                |           |
| C = 10 lat       |                                |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 57                             | 0,53         | 5,199               | 1,300            | 5701           | 44  | 0,68         | 6,925               | 1,731            | 7191           | 1,26      |
| 60               | 115                            | 0,52         | 3,274               | 0,819            | 7181           | 88  |              | 4,189               | 1,047            | 8701           | 1,21      |
| 120              | 229                            |              | 0,69                | 2,535            | 0,634          | 10528   | 1,16         |                     |                  |                |           |
| 180              | 344                            |              | 0,68                | 1,889            | 0,472          | 11770   | 1,14         |                     |                  |                |           |

Tabela 3. Parametry i pojemność retencyjna zbiorników przelewowych przy  $\beta=0,50$   
 Table 3. Parameters and retention volume of overfall reservoirs for  $\beta=0,50$

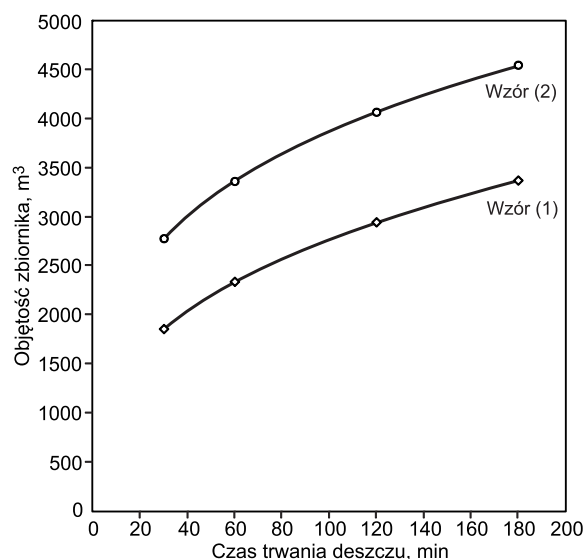
| $t_d=t_p$<br>min | Model Błaszczyka (1); H=590 mm |              |                     |                  |                | Model (2) oparty na pomiarach deszczów we Wrocławiu |              |                     |                  |                | $V_W/V_B$ |
|------------------|--------------------------------|--------------|---------------------|------------------|----------------|---|--------------|---------------------|------------------|----------------|-----------|
|                  | $t_{dz}$<br>min                | $t_d/t_{dz}$ | $Q_{dm}$<br>$m^3/s$ | $Q_o$<br>$m^3/s$ | $V_B$<br>$m^3$ | $t_{dz}$<br>min                                     | $t_d/t_{dz}$ | $Q_{dm}$<br>$m^3/s$ | $Q_o$<br>$m^3/s$ | $V_W$<br>$m^3$ |           |
| C = 1 rok        |                                |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 30                             | 1,0          | 2,413               | 1,207            | 1086           | 25  | 1,20         | 3,593               | 1,796            | 1639           | 1,51      |
| 60               | 60                             |              | 51                  | 2,174            | 1,087          | 1984  | 1,45         |                     |                  |                |           |
| 120              | 120                            |              | 102                 | 1,315            | 0,658          | 2400  | 1,39         |                     |                  |                |           |
| 180              | 180                            |              | 152                 | 0,980            | 0,490          | 2683  | 1,36         |                     |                  |                |           |
| C = 2 lata       |                                |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 30                             | 1,0          | 3,040               | 1,520            | 1368           | 25  | 1,20         | 4,777               | 2,388            | 2180           | 1,59      |
| 60               | 60                             |              | 51                  | 2,890            | 1,445          | 2637  | 1,53         |                     |                  |                |           |
| 120              | 120                            |              | 102                 | 1,748            | 0,874          | 3191  | 1,47         |                     |                  |                |           |
| 180              | 180                            |              | 152                 | 1,303            | 0,652          | 3568  | 1,44         |                     |                  |                |           |
| C = 5 lat        |                                |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 30                             | 1,0          | 4,126               | 2,063            | 1857           | 25  | 1,20         | 6,091               | 3,046            | 2779           | 1,50      |
| 60               | 60                             |              | 51                  | 3,685            | 1,843          | 3363  | 1,44         |                     |                  |                |           |
| 120              | 120                            |              | 102                 | 2,229            | 1,115          | 4069  | 1,38         |                     |                  |                |           |
| 180              | 180                            |              | 152                 | 1,662            | 0,831          | 4549  | 1,35         |                     |                  |                |           |
| C = 10 lat       |                                |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 30                             | 1,0          | 5,199               | 2,599            | 2339           | 25  | 1,20         | 6,925               | 3,462            | 3160           | 1,35      |
| 60               | 60                             |              | 51                  | 4,189            | 2,095          | 3823  | 1,30         |                     |                  |                |           |
| 120              | 120                            |              | 102                 | 2,535            | 1,267          | 4626  | 1,25         |                     |                  |                |           |
| 180              | 180                            |              | 152                 | 1,889            | 0,945          | 5172  | 1,22         |                     |                  |                |           |

Tabela 4. Parametry i pojemność retencyjna zbiorników przelewowych przy  $\beta=0,75$   
 Table 4. Parameters and retention volume of overflow reservoirs for  $\beta=0,75$

| $t_d=t_p$<br>min | Model Błaszcyka (1); H=590 mm |              |                     |                  |                | Model (2) oparty na pomiarach deszczów we Wrocławiu |              |                     |                  |                | $V_W/V_B$ |
|------------------|-------------------------------|--------------|---------------------|------------------|----------------|---|--------------|---------------------|------------------|----------------|-----------|
|                  | $t_{dz}$<br>min               | $t_d/t_{dz}$ | $Q_{dm}$<br>$m^3/s$ | $Q_o$<br>$m^3/s$ | $V_B$<br>$m^3$ | $t_{dz}$<br>min                                     | $t_d/t_{dz}$ | $Q_{dm}$<br>$m^3/s$ | $Q_o$<br>$m^3/s$ | $V_W$<br>$m^3$ |           |
| C=1 rok          |                               |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 27                            | 1,11         | 2,413               | 1,810            | 282            | 24  | 1,25         | 3,593               | 2,695            | 446            | 1,58      |
| 60               | 53                            | 1,13         | 1,520               | 1,140            | 355            | 49  | 1,22         | 2,174               | 1,630            | 540            | 1,52      |
| 120              | 107                           | 1,12         | 0,957               | 0,718            | 447            | 98  |              | 1,315               | 0,986            | 653            | 1,46      |
| 180              | 160                           | 1,13         | 0,730               | 0,548            | 512            | 147   |              | 0,980               | 0,735            | 731            | 1,43      |
| C=2 lata         |                               |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 27                            | 1,11         | 3,040               | 2,280            | 355            | 24  | 1,25         | 4,777               | 3,583            | 593            | 1,67      |
| 60               | 53                            | 1,13         | 1,915               | 1,436            | 447            | 49  | 1,22         | 2,890               | 2,167            | 718            | 1,61      |
| 120              | 107                           | 1,12         | 1,206               | 0,904            | 563            | 98  |              | 1,748               | 1,311            | 869            | 1,54      |
| 180              | 160                           | 1,13         | 0,920               | 0,690            | 645            | 147   |              | 1,303               | 0,977            | 971            | 1,50      |
| C=5 lat          |                               |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 27                            | 1,11         | 4,126               | 3,084            | 482            | 24  | 1,25         | 6,091               | 4,568            | 757            | 1,57      |
| 60               | 53                            | 1,13         | 2,599               | 1,949            | 607            | 49  | 1,22         | 3,685               | 2,764            | 916            | 1,51      |
| 120              | 107                           | 1,12         | 1,637               | 1,227            | 764            | 98  |              | 2,229               | 1,672            | 1108           | 1,45      |
| 180              | 160                           | 1,13         | 1,249               | 0,937            | 875            | 147   |              | 1,662               | 1,246            | 1239           | 1,42      |
| C=10 lat         |                               |              |                     |                  |                |   |              |                     |                  |                |           |
| 30               | 27                            | 1,11         | 5,199               | 3,899            | 607            | 24  | 1,25         | 6,925               | 5,194            | 860            | 1,42      |
| 60               | 53                            | 1,13         | 3,274               | 2,456            | 765            | 49  | 1,22         | 4,189               | 3,142            | 1041           | 1,36      |
| 120              | 107                           | 1,12         | 2,062               | 1,547            | 963            | 98  |              | 2,535               | 1,901            | 1259           | 1,31      |
| 180              | 160                           | 1,13         | 1,574               | 1,180            | 1102           | 147   |              | 1,889               | 1,417            | 1408           | 1,28      |

we Wrocławiu. Wyniki porównań pojemności zbiorników  $V_W/V_B$ , podanych w ostatniej kolumnie tabel 2–4 (odpowiednio  $\beta=0,25$ ,  $\beta=0,5$  i  $\beta=0,75$ ) jednoznacznie wykazały istotne zniżenie wartości pojemności czynnej zbiorników ( $V_B$ ) obliczonych z zastosowaniem modelu Błaszcyka (1) względem miarodajnych obecnie deszczów we Wrocławiu ( $V_W$ ) według wzoru (2). Względne przewyższenia stosunku  $V_W/V_B$  były różne w różnych zakresach wartości parametrów  $\beta$ ,  $t_d$  oraz C. W skrajnych przypadkach sięgały nawet 67% ( $\beta=0,75$ ,  $t_d=30$  min, C=2 lata – tab. 4), przy czym na ogół mieściły się w zakresie 30÷50%. Stąd też wynika konieczność zastąpienia modelu deszczów Błaszcyka (1) w wymiarowaniu systemów kanalizacyjnych w Polsce współczesnymi modelami opadów, co postulowano już w pracach [9, 10, 17].

Wykazane różnice wartości niezbędnej pojemności przelewowej zbiorników retencyjnych (V), obliczonych dwiema metodami (tab. 2–4), zilustrowano na rysunku 3 (C=5 lat,  $\beta=0,5$ ). Wybierając do jakościowej interpretacji np. z tabeli 3 wyniki obliczeń pojemności retencyjnej zbiorników ( $V_B$  i  $V_W$ ) przy czasie  $t_d=t_p=60$  min łatwo wykazać, że przyjmując założenie  $C=C_z$  zmiana powtarzalności deszczu obliczeniowego z C=1 rok na C=2 lata będzie skutkowałą zwiększeniem wymaganej pojemności czynnej zbiornika o 26% ( $V_B$ ) i 33% ( $V_W$ ), a z C=2 lata na C=5 lat – o 36% ( $V_B$ ) i 28% ( $V_W$ ) oraz z C=5 lat na C=10 lat – o 26% ( $V_B$ ) i 14% ( $V_W$ ), zależnie od formuły użytej do opisu deszczów. Na przykład 10-krotne zwiększenie częstości deszczu z C=1 rok do C=10 lat spowodowało względny wzrost wymaganej pojemności retencyjnej zbiornika o 115% ( $V_B$ ) i 93% ( $V_W$ ), czyli średnio podwoiło pojemność V. Należy zaznaczyć, że całkowita pojemność czynna zbiornika przelewowego wymaga uwzględnienia jeszcze obecności komory przepływowej, której pojemność



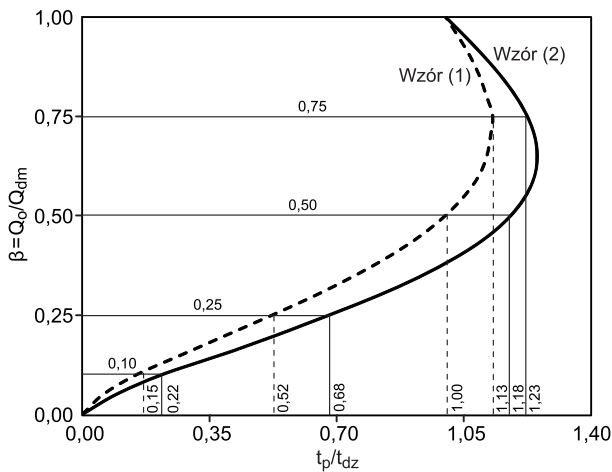
Rys. 3. Różnice obliczonych pojemności zbiorników przy C=5 lat i  $\beta=0,50$

Fig. 3. The differences in calculated reservoir volumes for C=5 years and  $\beta=0.50$

przyjmuje się zwykle jako 4÷6% pojemności komory retencyjnej (V) [9, 14, 15, 24].

W celu fizycznej interpretacji wzorów analitycznych (11) i (20) sporządzono nomogram (rys. 4) do określania stosunku  $t_p/t_{dz}$  zależnie od wartości współczynnika  $\beta$ . Z nomogramu, przy zadanej wartości współczynnika  $\beta=Q_o/Q_{dm}$ , odczytuje się stosunek  $t_p/t_{dz}$ , a stąd (tab. 5):

$$t_{dz} = t_p \left( \frac{t_p}{t_{dz}} \right)^{-1} \quad (22)$$



Rys. 4. Nomogram do określania stosunku  $t_p/t_{dz}$  w przypadku zbiorników przelewowych

Fig. 4. The nomogram allowing determination of  $t_p/t_{dz}$  ratio for overflow reservoirs

Tabela 5. Przykład zastosowania nomogramu według rysunku 4 do wzoru (22)

Table 5. An example of the nomogram use according to the figure 4 for the formula (22)

| Model Błaszczyka (1)<br>H=590 mm |              |                | Model oparty na pomiarach<br>deszczów we Wrocławiu (2) |              |                |
|----------------------------------|--------------|----------------|--|--------------|----------------|
| $\beta$                          | $t_p/t_{dz}$ | $t_{dz}$ , min | $\beta$  | $t_p/t_{dz}$ | $t_{dz}$ , min |
| 0,10                             | 0,15         | 6,67 $t_p$     | 0,10   | 0,22         | 4,55 $t_p$     |
| 0,25                             | 0,52         | 1,92 $t_p$     | 0,25   | 0,68         | 1,47 $t_p$     |
| 0,50                             | 1,00         | 1,00 $t_p$     | 0,50   | 1,18         | 0,85 $t_p$     |
| 0,75                             | 1,13         | 0,88 $t_p$     | 0,75   | 1,23         | 0,81 $t_p$     |

Z przykładowego zestawienia, które zawiera tabela 5 wynika praktyczny wniosek, że w przypadku nowej uogólnionej metody czas miarodajny do wymiarowania zbiornika jest krótszy. Wynika to z krzywych IDF analizowanych modeli opadów o różnych wartościach  $A(C)$  oraz  $m'$ .

## Podsumowanie

Zbiorniki retencyjne ścieków deszczowych, w przypadku występowania częstszych niż obecnie deszczów ekstremalnych, staną się podstawowym środkiem zaradczym w celu zmniejszenia szczytowego strumienia objętości ścieków i w efekcie zabezpieczenia sieci kanalizacyjnych (czy oczyszczalni ścieków) przed przeciążeniem hydraulicznym, prowadzącym do wylewów z kanałów i podtopień terenów zurbanizowanych. Jednakże dotychczasowe podstawy ich wymiarowania należy uznać za niedostateczne. Z tego względu wskazano na wagę zagadnienia dokładności modeli deszczów służących do określania strumieni spływów ścieków deszczowych ( $Q_{dm}$ ), miarodajnych do wymiarowania zarówno zbiorników retencyjnych, jak też samych kanałów deszczowych (czy ogólnospławnych). Opracowane w latach sześćdziesiątych i utrwalone w podręcznikach [15, 25, 27] zasady projektowania i metody wymiarowania odwodnień terenów zurbanizowanych – z wyjściowym wzorem Błaszczyka (1) na natężenie jednostkowe deszczów – są obecnie coraz powszechniej kontestowane jako nieodpowiednie, ponieważ zaniżają wyniki obliczeń miarodajnych strumieni ścieków, a tym samym rezultaty wymiarowania sieci i obiektów kanalizacji deszczowej w Polsce [8, 9, 12, 17, 31].

Na podstawie analizy dotychczasowej metody analitycznej wymiarowania przelewowych zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych, w której stosowany był nieaktualny już wzór Błaszczyka (1), opracowano nową uogólnioną metodę analitycznego wymiarowania pojemności zbiorników przelewowych, z uwzględnieniem współczesnych modeli opadów maksymalnych. Na przykładowej zlewni deszczowej, w warunkach hydrologicznych Wrocławia, wykazano przydatność nowej metody, jako dającej bezpieczne wyniki wymiarowania zbiorników. Obliczoną analitycznie pojemność użytkową każdego zbiornika retencyjnego ścieków deszczowych, zlokalizowanego w określonym miejscu danego systemu odwodnieniowego, należy jednak zweryfikować w modelowaniu hydrodynamicznym – z uwzględnieniem rzeczywistej charakterystyki hydraulicznej sieci i charakterystyki hydrologicznej zlewni, a także z uwzględnieniem przyszłych zmian klimatycznych. Należy przy tym przyjmować większą częstość deszczu do wymiarowania zbiornika od częstości do wymiarowania sieci ( $C_z > C$ ) [9, 26, 30]. Otrzymane wyniki wymagają więc odpowiedniej interpretacji w stosunku do wymagań normy PN-EN 752:2008 [18], odnośnie standardów ochrony odwadnianych terenów przed skutkami przeciążeń kanalizacji (wylewy), zarówno obecnie, jak i w przyszłości. Propozycje zmian dotychczasowych zasad i metod wymiarowania kanalizacji w Polsce zawarto między innymi w pracach [9, 10].

*Badania zrealizowano w ramach tematu badawczego pt. „Zasady bezpiecznego projektowania i modernizacji systemów odwodnień terenów zurbanizowanych”, sfinansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach działalności statutowej Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej w 2015 r.*

## LITERATURA

- S. HÄNSEL, S. PETZOLD, J. MATSCHULLAT: Precipitation trend analysis for central eastern Germany 1851–2006. *Bioclimatology and Natural Hazards* 2009, Vol. 14, pp. 29–38.
- IPCC: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge 2014.
- Z. W. KUNDZEWICZ: Zmiany ryzyka powodziowego w Europie. Materiały konferencyjne IRD/DREAL Centre, Paryż–Orlean 2012, ss. 11–20.
- B. KAŻMIERCZAK, A. KOTOWSKI: The influence of precipitation intensity growth on the urban drainage systems designing. *Theoretical and Applied Climatology* 2014, Vol. 118, No. 1, pp. 285–296.
- J. OLSSON, K. BERGGREN, M. OLOFSSON, M. VINKLANDER: Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City Sweden. *Atmospheric Research* 2009, Vol. 92, pp. 364–375.
- C. ONOF, K. ARNBJERG-NIELSEN: Quantification of anticipated future changes in high resolution design rainfall for urban areas. *Atmospheric Research* 2009, Vol. 92, No. 3, pp. 350–363.
- P. STAUFER, G. LECKEBUSCH, J. PINNEKAMP: Die Ermittlung der relevanten Niederschlags-charakteristik für die Siedlungsentwässerung im Klimawandel. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2010, Nr. 12 (Jg. 57).
- W. DĄBROWSKI, B. DĄBROWSKA: Przewidywany wpływ zmian klimatu na dysfunkcję systemów odprowadzania ścieków. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2012, nr 1, ss. 17–20.

9. A. KOTOWSKI: Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów. Wydanie II. Tom I – Sieci kanalizacyjne, Tom II – Obiekty specjalne. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2015.
10. B. KAŻMIERCZAK, A. KOTOWSKI: Weryfikacja przepustowości kanalizacji deszczowej w modelowaniu hydrodynamicznym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
11. A. KOTOWSKI, B. KAŻMIERCZAK, M. NOWAKOWSKA: Analiza obciążenia systemu odwadniania terenu w przypadku prognozowanego zwiększenia częstości i intensywności deszczów z powodu zmian klimatycznych (Analysis of the drainage system load in case of the predicted increase in frequency and intensity of rain due to climate change). *Ochrona Środowiska* 2013, vol. 35, nr 1, ss. 25–32.
12. D. SŁYŚ, A. STEC: Hydrodynamic modeling of the combined sewage system for the city of Przemyśl. *Environment Protection Engineering* 2012, Vol. 38, No. 4, pp. 99–112.
13. P. LICZNAR: Wymiarowanie zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych na podstawie syntetycznych szeregów czasowych opadów deszczu (Stormwater reservoir dimensioning based on synthetic rainfall time series). *Ochrona Środowiska* 2013, vol. 35, nr 2, ss. 27–32.
14. J. DZIOPAK: Analiza teoretyczna i modelowanie wielokomorowych zbiorników kanalizacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1992.
15. J. DZIOPAK: Modelowanie wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
16. W. BŁASZCZYK: Spływy deszczowe w sieci kanalizacyjnej. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 1954, nr 9, ss. 262–271.
17. A. KOTOWSKI, B. KAŻMIERCZAK, A. DANCEWICZ: Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji. Monografie PAN *Studia z Zakresu Inżynierii* 2010, nr 68, Warszawa 2010.
18. PN-EN 752:2008: Drain and sewer systems outside buildings (Zewnętrzne systemy kanalizacyjne). PKN, Warszawa 2008.
19. E. BOGDANOWICZ, J. STACHY: Maksymalne opady deszczu w Polsce. Charakterystyki projektowe. IMGW, Seria: Hydrologia i Oceanologia nr 23, Warszawa 1998.
20. M. ZAWILSKI, A. BRZEZIŃSKA: Areal rainfall intensity distribution over an urban area and its effect on a combined sewerage system. *Urban Water Journal* 2013, Vol. 10, pp. 1–11.
21. A. BOGACZ, P. WOŹNICZKA, E. BURSZTA-ADAMIAK, K. KOLASIŃSKA: Metody zwiększanie retencji wodnej na terenach zurbanizowanych. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 2013, vol. 22, nr 59, ss. 27–35.
22. E. BURSZTA-ADAMIAK: Analysis of stormwater retention on green roofs. *Archives of Environmental Protection* 2012, Vol. 38, No. 4, pp. 3–13.
23. B. KAŻMIERCZAK: Modelowanie matematyczne przelewu burzowego z cylindrycznym regulatorem wirowym odpływu. *Annual Set of Environment Protection* 2013, Vol. 15, pp. 2158–2174.
24. A. KOTOWSKI, J. WARTALSKI, A. WARTALSKI: Stosować przepływowe czy przelewowe zbiorniki retencyjne ścieków deszczowych? *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2009, nr 2, ss. 18–22.
25. W. BŁASZCZYK, M. ROMAN, H. STAMATELLO: Kanalizacja. Tom I. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1974.
26. K. IMHOFF, K. R. IMHOFF: Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Poradnik. Wydawnictwo Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1996.
27. PRACA ZBIOROWA: Zasady planowania i projektowania systemów kanalizacyjnych w aglomeracjach miejsko-przemysłowych i dużych miastach. IKŚ, Warszawa 1983.
28. J. TABERNACKI: Deszczowe zbiorniki retencyjne w kanalizacji. Wydawnictwo Arkady, Seria: *Nowa Technika w Inżynierii Sanitarnej. Wodociągi i Kanalizacja* nr 11, Warszawa 1980.
29. M. MROWIEC: Propozycja wymiarowania zbiorników retencyjnych odciążających hydraulicznie sieć kanalizacyjną. Mat. „VI Zjazd Kanalizatorów Polskich POLKAN’07”, Łódź 2007; Monografie KIS PAN, Lublin 2007, vol. 46, ss. 153–162.
30. DWA-A117: Bemessung von Regenrückhalteräumen. DVWK, Hennef 2006.
31. A. KOTOWSKI, B. KAŻMIERCZAK, M. NOWAKOWSKA: Analiza przeciężeń kanalizacji deszczowej na osiedlu Rakowice we Wrocławiu wywołanych zmianami klimatu. *Rocznik Ochrona Środowiska* 2014, t. 16(1), ss. 608–626.

**Kotowski, A., Wartalska, K., Nowakowska, M. Generalized Analytical Method of Overfall Storm Water Retention Reservoir Sizing. *Ochrona Środowiska* 2016, Vol. 38, No. 1, pp. 45–52.**

**Abstract:** An analysis of overfall storm water reservoir sizing methodology was presented. The analytical method used currently, employing the already outdated Blaszczyk’s rainfall intensity formula, was analyzed. On the basis of this analysis, a new generalized methodology for reservoir sizing was developed, taking into account the contemporary maximum precipitation models. Based on the example of the hydrological catchment of the city of Wrocław, suitability of the new method for calculating useful storage volume of overfall reservoirs was demonstrated. Comparison of results of tank volume calculations,

based on Blaszczyk’s model and the new maximum precipitation model for Wrocław, showed significant differences of up to 67%. Developed in the sixties of the 20<sup>th</sup> century and consolidated in the textbooks, the design rules and sizing methods for urban drainage – with the original Blaszczyk’s formula for rainfall intensity – are currently viewed as inadequate. They underestimate the results of reliable wastewater stream calculations and consequently of the outcomes of sizing storm water drainage network and its facilities in Poland. Therefore, there is an urgent need to change the methods of network and sewerage facilities sizing in Poland, so that they become adapted to the current rainfall rates.

**Keywords:** Stormwater drainage, urban hydrology, precipitation models, reservoir retention.