

Paweł Licznar

Wymiarowanie zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych na podstawie syntetycznych szeregów czasowych opadów deszczu

Zbiorniki retencyjne ścieków deszczowych są ważnym elementem współczesnych systemów odwadniania aglomeracji miejskich. W wielu przypadkach są one jedynym dostępnym rozwiązaniem technicznym, pozwalającym na poprawę funkcjonowania systemów kanalizacji deszczowej. W warunkach miejskich, z uwagi choćby na ograniczenia przestrzenne, dominującą rolę odgrywają podziemne zbiorniki retencyjne. Rosnące praktyczne zainteresowanie instalacją takich obiektów przyczyniło się do postępu w ich konstrukcji [1]. Znaczny nacisk położony został przy tym na optymalizację wykorzystania objętości w trakcie całego procesu transformacji fali spływu ścieków deszczowych przez zbiornik oraz na możliwość zwiększenia całkowitej objętości retencji, przy ograniczonej powierzchni rzutu poziomego zbiornika. Część z wypracowanych konstrukcji, na przykład w postaci zbiorników dwukomorowych, znalazła już zastosowanie w praktyce. Ostatnie lata przyniosły także znaczne poszerzenie gamy materiałów i technologii konstrukcyjnych stosowanych przy budowie zbiorników retencyjnych.

Zarówno postęp w wykonawstwie zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych, jak i rosnąca w ostatnich latach rola systemów odwadniania w bezpiecznym funkcjonowaniu dużych ośrodków miejskich, wymagają rozwoju metod projektowania tych zbiorników. W krajowej praktyce inżynierskiej nadal wykorzystuje się metodę Aftanasa-Błaszczyka [2,3], która wprowadza cały szereg uproszczeń, zaczynając od definicji opadu deszczu, który jest przyjmowany jako blokowy o stałej intensywności w czasie. Deszcz ten jest następnie konwertowany do spływu powierzchniowego na podstawie najprostszego modelu opartego na metodzie racjonalnej i znajomości tylko jednego parametru – szczytowego współczynnika spływu wód deszczowych. W wyniku uzyskuje się hydrogram dopływu ścieków deszczowych do zbiornika w kształcie regularnego trapezu, którego transformacja przez zbiornik, z założonym warunkiem brzegowym, jest podstawą do określenia jego niezbędnej objętości retencyjnej. Po opublikowaniu tzw. Poradnika Imhoffa [4] spopularyzowana została w Polsce także metoda obliczeniowa Annena i Londonga, która opiera się na matematycznie sformułowanej zależności pojemności zbiornika od strumienia objętości wód deszczowych i czasu trwania deszczu, czasu przepływu

i współczynnika opóźnienia zależnego od kształtu zlewni, a dalej na obliczeniu maksimum uzyskanego z różniczkowania danej funkcji. Podstawowym założeniem tej metody jest również przyjęcie uproszczonego modelu deszczu blokowego.

Na skutek stosowania tych starych algorytmów obliczeniowych ukształtowało się mylne przekonanie, że podstawowym wynikiem wymiarowania zbiornika retencyjnego powinna być pojedyncza liczba określająca jego niezbędną pojemność. Takie podejście pozostaje w całkowitej sprzeczności ze współczesną filozofią projektowania, weryfikacji i modelowania sieci kanalizacyjnych, wynikającą z europejskiej normy PN-EN 752 [5,6], zgodnie z którą wymaga się zapewnienia komfortu kanalizacyjnego na zadanym poziomie prawdopodobieństwa [7]. Co za tym idzie – podejście zarówno do zagadnienia wylądowania z kanalizacji, jak i nadpiętrzeń w systemach kanalizacyjnych ma charakter probabilistyczny. Podstawowym narzędziem probabilistycznej oceny funkcjonowania systemów odwadniania, zwłaszcza w przypadku systemów bardziej skomplikowanych i odwadniających zlewnie o powierzchni powyżej 200 ha, jest modelowanie hydrodynamiczne [6]. Upowszechnienie modelowania hydrodynamicznego sieci kanalizacyjnych w ostatnim dziesięcioleciu stało się impulsem do zmiany sposobu podejścia do wymiarowania zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych w Niemczech. Nowe wytyczne techniczne DWA-A 117 [8] pozostawiają możliwość stosowania uproszczonej metodyki wymiarowania (Bemessung), o charakterze czysto rachunkowym (pozbawionym elementu modelowania), tylko w przypadku małych zlewni, o powierzchni skanalizowanej do 200 ha, bądź też o czasie przepływu do 15 min. W przypadku zlewni większych wytyczne te zalecają metodykę ogólną – tzw. wykrywania objętości zbiorników retencyjnych (Nachweis). Co ważne – metodyka ogólna nie ma ograniczeń i może być stosowana do dowolnej wielkości zlewni kanalizacyjnych, o dowolnym poziomie komplikacji, w tym także zastępować metodykę uproszczoną w przypadku bardzo małych zlewni. Niestety nowe wytyczne DWA-A 117 nie są ogólnie znane w Polsce. Jak dotąd, jedynie w pracach własnych [9,10] zostały przedstawione zasadnicze elementy tych wytycznych oraz filozofia i tok prowadzenia obliczeń zarówno metodą uproszczoną, jak i ogólną.

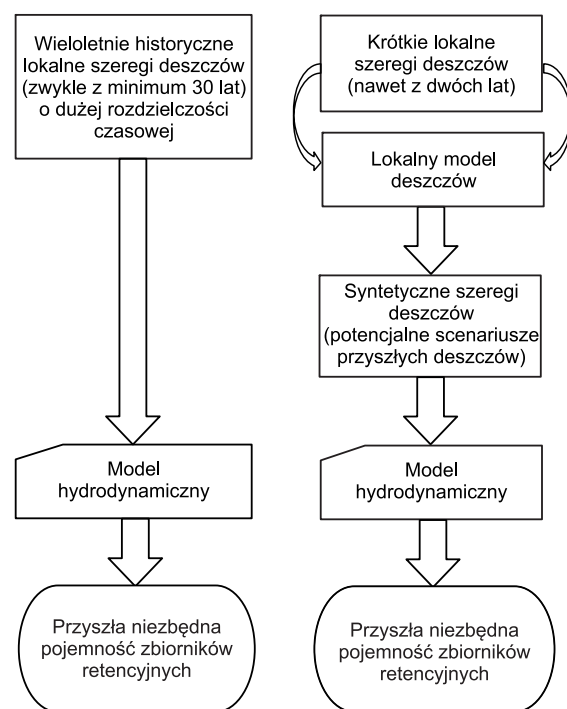
Metoda ogólna, zastosowana w części badawczej niniejszej pracy, opiera się na założeniu, że w przypadku każdego opadu deszczu konieczna jest inna objętość zbiornika retencyjnego, konieczna do przechwycenia i zakumulowania

specyficznego, wywołanego przez deszcz, hydrogramu odpływu ścieków deszczowych siecią. W warunkach krajowych [10–12] wykazano na podstawie modelowania hydrodynamicznego silne powiązanie kształtu i natężeń hydrogramów odpływu z dynamiką deszczów. Zostało to w pracy [12] potwierdzone badaniami przeprowadzonymi w zlewniach eksperymentalnych dużego systemu kanalizacyjnego, w przypadku którego wskazano także na potrzebę uwzględniania przestrzennej zmienności deszczów. Z tego właśnie względu metodyka ogólna według DWA-A 117 [8] zakłada potrzebę budowy komputerowego modelu hydrodynamicznego sieci kanalizacyjnej, potrafiącego odwzorować dynamiczne związki zachodzące między deszczem a odpływem ścieków deszczowych z systemu kanalizacyjnego. Następnie zaleca ona przeprowadzenie całego szeregu symulacji hydrodynamicznych z wykorzystaniem zarejestrowanych deszczów lokalnych z długiego przedziału czasu (w przypadku zlewni miejskich minimum 30 lat), a następnie wyznaczenie niezbędnej pojemności zbiornika retencyjnego w przypadku każdego deszczu. Tak powstały zbiór wyników jest następnie opracowywany statystycznie, w wyniku czego powstaje zależność o charakterze funkcyjnym wiążąca niezbędną pojemność zbiornika retencyjnego z czasem jej przewyższenia. Wykres takiej zależności jest podstawą do odczytu niezbędnej objętości retencji na świadomie przyjętym poziomie bezpieczeństwa.

Upowszechnienie probabilistycznego podejścia do wymiarowania zbiorników retencyjnych w kraju napotyka na wyraźne bariery. Problemem jest nadal jeszcze rzadkie korzystanie z modelowania hydrodynamicznego w praktyce projektowania i eksploatacji krajowych systemów kanalizacyjnych. Sytuacja ta jednak stopniowo ulega poprawie, czego dowodzi rosnąca w ostatnich latach liczba artykułów dotyczących modelowania kanalizacji [13–16] i wzrastająca stopniowo liczba przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych dysponujących modelami swoich sieci. Największą, z pozoru nie do pokonania, barierą jest brak wieloletnich lokalnych szeregów czasowych opadów deszczu, niezbędnych do zasilania modeli hydrodynamicznych.

W niniejszym artykule zaproponowano rozwiązanie pozwalające przełamać tę barierę przez zastąpienie rzeczywistych szeregów czasowych opadów deszczu szeregami syntetycznymi z lokalnego modelu. Zasadniczym celem badań była weryfikacja poprawności takiego rozwiązania na przykładzie wybranej zlewni kanalizacyjnej, na wylocie której zlokalizowany jest podziemny zbiornik retencyjny z regulowanym odpływem, który był wymiarowany na podstawie rzeczywistych szeregów deszczów z Wrocławia oraz szeregów syntetycznych z lokalnego modelu opartego na architekturze losowej kaskady mikrokanonicznej. Proponowane i zweryfikowane w pracy rozwiązanie przedstawiono schematycznie na rysunku 1.

Postawiono hipotezę badawczą, że konieczne do wymiarowania zbiornika wieloletnie szeregi obserwacyjne o wysokiej rozdzielczości czasowej (ok. 5 min) można zastąpić szeregami syntetycznymi, generowanymi z lokalnego modelu opadów deszczu. Rozwiązanie takie wydaje się być lepsze choćby z uwagi na fakt, że używając archiwalne dane o deszczach do wymiarowania zbiorników zakłada się *a priori*, że dokładnie ten sam scenariusz opadów deszczu wydarzy się w przyszłości. Jest to oczywiście uproszczenie, gdyż scenariusze deszczów nie powielają się w sposób automatyczny w naturze. Dlatego lepsze – bardziej racjonalne – wydaje się wykorzystanie zapisów archiwalnych nie jako materiału do obliczeń, lecz materiału do budowy lokalnego



Rys. 1. Schemat blokowy toku obliczeń pojemności zbiorników retencyjnych (po lewej – klasyczny wg DWA-A 117, po prawej – zmodyfikowany wg autora artykułu)

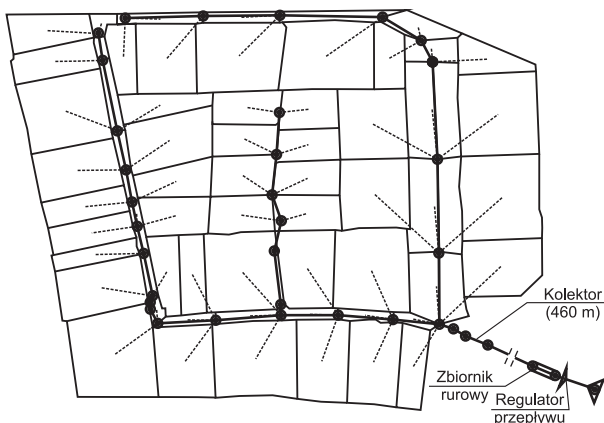
Fig. 1. Block diagram of calculation process of stormwater reservoir volume (on the left - classic, according to DWA-A 117, on the right - modified, according to the author of the paper)

modelu deszczu. Model taki może być później użyty do tworzenia syntetycznych szeregów deszczów, które cechują się właściwościami statystycznymi zgodnymi z właściwościami stwierdzonymi w przypadku szeregów rzeczywistych i – co za tym idzie – mogą być traktowane jako przyszłe potencjalne scenariusze deszczów. Ważną przesłanką do podjęcia takich badań był już dobrze rozwinięty krajowy warsztat modelowania deszczów i tworzenia ich syntetycznych szeregów. Krajowe studia dotyczące tworzenia syntetycznych szeregów deszczów zapoczątkowano w pracy [18] w przypadku szeregów pluwiograficznych z Wrocławia. Badania te dowiodły możliwości tworzenia syntetycznych szeregów deszczów z wykorzystaniem kaskady mikrokanonicznej na podstawie rozdziału dobowych sum deszczu. Zaproponowano przy tym nowatorski typ rozkładu generatora kaskady, stanowiący połączenie rozkładu beta z rozkładem normalnym. Zasadność stosowania generatorów kaskad mikrokanonicznych opartych na połączonych rozkładach beta i normalnym została pozytywnie zweryfikowana na arenie międzynarodowej [18] i potwierdzona niezależnymi badaniami przeprowadzonymi w przypadku szeregów pochodzących z deszczomierzy z terenu Niemiec [19]. Kolejnym ich potwierdzeniem stały się badania przeprowadzone na szeregach z 25 deszczomierzy sieci monitoringu MPWiK w Warszawie [20]. Co ważne, te ostatnie studia dowiodły możliwości opracowania lokalnych modeli deszczów, nawet na podstawie bardzo krótkich szeregów obserwacyjnych o długości zaledwie dwóch lat. Implikuje to możliwość stosunkowo prostego i szybkiego tworzenia takich lokalnych generatorów także w innych miastach Polski i ich stosowania do generowania syntetycznych szeregów deszczów, używanych następnie do zasilania modeli hydrodynamicznych kanalizacji i wymiarowania zbiorników retencyjnych.

Poligon badawczy i metodyka badań

Poligonem badawczym wykorzystanym do weryfikacji możliwości stosowania syntetycznych szeregów czasowych deszczów w miejsce szeregów obserwacyjnych przy wymiarowaniu zbiorników retencyjnych była przykładowa niewielka sieć kanalizacji deszczowej zlokalizowana na terenie Wrocławia. Sieć ta składała się z zasadniczej części odwadniającej powierzchnie komunikacyjne i działki osiedla mieszkaniowego o łącznej powierzchni 72 271 m² oraz kanału o długości 460 m odprowadzającego ścieki deszczowe do pobliskiego cieku. Sieć ta składała się z 46 studni kanalizacyjnych i 46 przewodów (o śr. dł. 2 m) o przekrojach kołowych i o średnicach w zakresie 0,2–0,6 m. Na wylocie sieci, z uwagi na ograniczenia chłonności odbiornika ścieków, zainstalowano regulator przepływu ograniczający odpływ z sieci do poziomu nieprzekraczającego 40 dm³/s. Topologia sieci została odtworzona w programie SewerGEMS. Aplikacja ta była już stosowana do symulacji funkcjonowania systemów odwadniania w warunkach krajowych, w tym w specyficznych warunkach ograniczonego odpływu ścieków deszczowych z uwagi na wysokie stany odbiornika [15]. Uzupełnieniem topologii sieci był podział obszaru zlewni kanalizacyjnej na cząstkowe zlewnie spływu powierzchniowego ciężące do poszczególnych węzłów obliczeniowych (studni kanalizacyjnych). Łącznie wydzielono 66 cząstkowych zlewni spływu powierzchniowego o powierzchniach w zakresie od 180 m² do 2 870 m². Jako model spływu powierzchniowego przyjęto model SCS, co wymagało przypisania poszczególnym zlewniom odpowiednich wartości parametru CN (curve number), które wahały się od 77 do 83, a więc w zakresie typowym w przypadku zlewni zurbanizowanych.

Na rysunku 2 schematycznie zaznaczono (na końcowym odcinku kolektora) wstępnie przyjęty mały zbiornik rurowy o średnicy wewnętrznej 1,6 m i długości 12 m, o łącznej kubaturze 24 m³. Zbiornik ten ma na celu rekompensować niekorzystny efekt wynikający z ograniczenia maksymalnego odpływu do wartości 40 dm³/s. W toku dalszych badań przeprowadzono symulacje hydrodynamiczne na rzeczywistych i syntetycznych szeregach deszczów, mające na celu wykazać niezbędną dodatkową pojemność, o którą należy zwiększyć przyjęte wstępnie rozwiązanie w celu uniknięcia nadmiernych napięć w sieci kanalizacji deszczowej osiedla. W trakcie symulacji hydrodynamicznych wykorzystano zarówno rzeczywiste szeregi deszczów, jak i szeregi syntetyczne. Szeregi obserwacyjne



Rys. 2. Schemat opracowanego modelu hydrodynamicznego kanalizacji deszczowej osiedla

Fig. 2. Diagram of the developed hydrodynamic model of stormwater drainage in residential area

pochodziły ze stacji meteorologicznej Wrocław-Swojec i obejmowały 38 lat w wieloleciu 1962–2004. Były to przekonwertowane do formatu cyfrowego zapisy pluwiograficzne zapisane z rozdzielczością 5 min. Jako szeregi syntetyczne wykorzystano ciągi wygenerowane z modelu kaskady mikrokanonicznej z generatorem beta-normalnym [17, 18]. Szeregi te miały także rozdzielczość 5 min i powstały przez rozdział dobowych sum deszczów z tych samych 38 lat. W badaniach wykorzystano 10 niezależnych szeregów syntetycznych wygenerowanych przez 10-krotne uruchomienie modelu kaskady losowej. Były to zatem potencjalne scenariusze deszczów obejmujące łącznie 380 lat.

Zarówno z rzeczywistych szeregów obserwacyjnych, jak i z poszczególnych szeregów syntetycznych wydzielono niezależne opady deszczu. Przyjęto przy tym kryteria zaproponowane w pracy [7] w komentarzu do wytycznych ATV-A 118. Wysokość opadu deszczu musiała wynosić co najmniej 10 mm, a poszczególne deszcze musiał rozdzielać czas pogody bezdeszczowej minimum 4 h. W szeregach obserwacyjnych wydzielono łącznie 250 deszczów nawalnych o wysokości w zakresie od 10,0 mm do 69,3 mm i czasie trwania od 25 min do 1 970 min. Liczba wydzielonych opadów deszczu w poszczególnych szeregach syntetycznych wahała się natomiast od 245 do 267. Łącznie w 10 szeregach syntetycznych wydzielono 2 554 deszcze, których wysokość wahała się od 10,0 mm do 76,9 mm, a czas trwania od 20 min do 1 265 min. W przypadku każdego z wydzielonych deszczów rzeczywistych i syntetycznych przeprowadzono symulacje hydrodynamiczne odpływu ze zlewni badawczej. Notowano przy tym całkowitą objętość nadpięć, a więc objętość ścieków deszczowych wypływających przez włazy studni kanalizacyjnych, przyjmując ją jako miarę brakującej retencji systemu. Tak otrzymane zbiory wartości nadpięć uporządkowano tworząc szeregi rozdzielcze malejących wartości. Poszczególnym elementom tych szeregów przyporządkowano następnie wartości czasów powtarzalności w postaci [8]:

$$T_n = \frac{L+1}{k} \frac{M}{L} \quad (1)$$

w której:

T_n – okres powtarzalności, lata

M – zakres czasu symulacji, lata

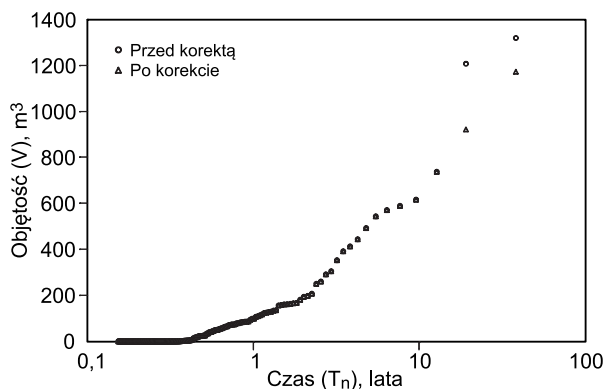
L – liczebność zbioru wyników

k – numer pozycji elementu zbioru wyników w szeregu rozdzielczym (od 1 do L)

Ostatnim elementem opracowania wyników badań było opracowanie zależności objętości nadpięć w sieci i czasów ich powtarzalności w poszczególnych zbiorach danych. Zależności te w celu ich lepszej recepcji wykreślono w skali logarytmicznej czasu T_n .

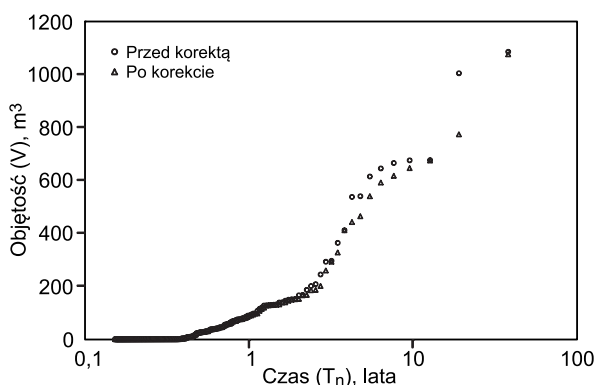
Dyskusja wyników

Opracowane statystycznie wyniki symulacji szeregów czasowych deszczów rzeczywistych i syntetycznych z pojedynczej generacji kaskady przedstawiono odpowiednio na rysunkach 3 i 4. Wykreślone przebiegi wartości nadpięć na obydwu rysunkach są ogólnie podobne. Wraz z wydłużającym się czasem T_n objętość nadpięć, a więc objętość dodatkowej retencji (niezbędnej w systemie) wzrastała, co jest logicznie uzasadnione. Na obu wykresach prezentowane są dane przed i po korekcie. Dane przed korektą oznaczają nadpięcia zdiagnozowane w przypadku analizowanej sieci z warunkiem brzegowym



Rys. 3. Zależność między objętością rejestrowanych nadpiętrzeń sieci a okresem ich powtarzalności (38 lat; 250 deszczów rzeczywistych)

Fig. 3. Correlation between recorded system overtopping volume and their return period (38 years; 250 real rainfalls)



Rys. 4. Zależność między objętością rejestrowanych nadpiętrzeń sieci a okresem ich powtarzalności (szereg synt10; 38 lat; 252 deszcze syntetyczne)

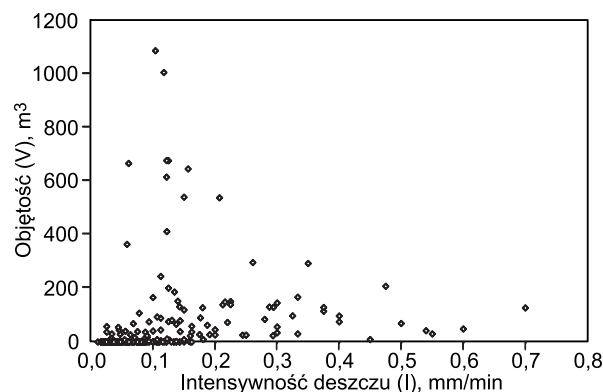
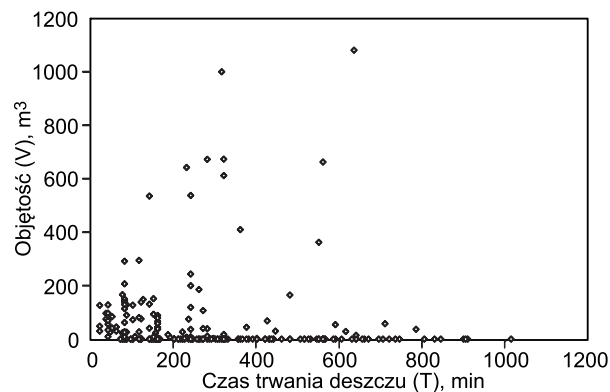
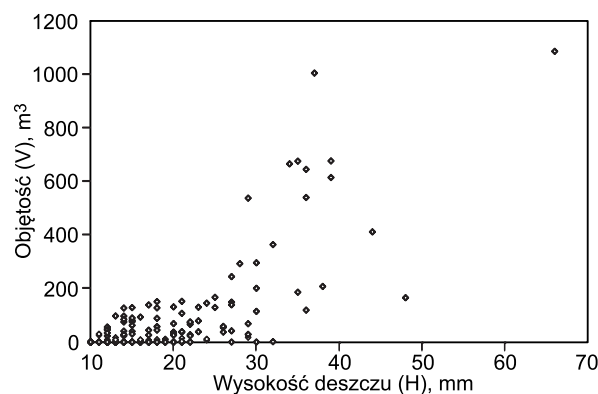
Fig. 4. Correlation between recorded system overtopping volume and their return period (synt10 series; 38 years; 252 synthetic rainfalls)

odpływu maksymalnego równego $40 \text{ dm}^3/\text{s}$, natomiast dane po korekcie oznaczają te same nadpiętrzenia, lecz skorygowane o te, które pojawiły się na tej samej sieci, która nie miała narzuconego warunku brzegowego (sieć ze swobodnym odpływem ścieków, bez regulatora przepływu).

Fizyczną interpretacją tej korekty była potrzeba wyeliminowania objętości krytycznych nadpiętrzeń pojawiających się w sieci, lecz wynikających nie z ograniczenia strumienia objętości odpływających ścieków, ale z przepełnienia pewnych odcinków sieci w trakcie najbardziej niekorzystnych (krytycznych) deszczów. Zgodnie z komentarzem do wytycznych ATV-A 118 [7], nadpiętrzenia takie są dozwolone nie częściej niż co 3 lata w przypadku terenów mieszkaniowych, gdyż nieekonomiczne jest projektowanie sieci na przepływy wywoływane przez rzadko występujące deszcze katastrofalne. Na rysunkach 3 i 4 widać wyraźnie, że takie krytyczne nadpiętrzenia wystąpiły jedynie w przypadku kilku, ewentualnie kilkunastu deszczów. Wprowadzenie diskutowanej korekty objętości prowadziło do wygładzenia przebiegu wykresów przy największych wartościach T_n . Wzrost objętości w skali logarytmicznej wartości T_n miał na obydwu wykresach charakter zbliżony do liniowego, ze zmieniającym się jedynie nachyleniem poszczególnych jego segmentów. Na obu wykresach widać bardzo wyraźnie, że podczas bardzo wielu deszczów nie notowano żadnych nadpiętrzeń. W przypadku tych deszczów zabudowany niewielki zbiornik retencyjny spełniał

swoje zadanie i kanały sieci nie ulegały przepełnieniu. Dążąc jednak do rozwiązania, w którym analizowana sieć po instalacji regulatora przepływu nie będzie miała nadpiętrzeń statystycznie częściej niż co 3 lata, konieczne jest zwiększenie retencji o około $285\text{--}320 \text{ m}^3$ (rys. 3 i 4). Warto jednak pamiętać, że rozwiązanie takie powinno być w projekcie potwierdzone korektą modelu, polegającą na zwiększeniu kubatury zbiornika i ponownym sprawdzającym cyklu symulacji hydrodynamicznych.

Na rysunku 5 zestawiono wartości skorygowanych objętości nadpiętrzeń z rysunku 4 na tle podstawowych charakterystyk deszczów, które je wywołały, a więc ich wysokości, czasów trwania i średnich intensywności. Widać wyraźnie, że wielkości te ze sobą nie korelują i nie jest możliwe ustalenie związków dających możliwość nawet przybliżonego oszacowania pojemności zbiornika retencyjnego na podstawie samej informacji o wysokości, czasie trwania i średniej intensywności deszczu. Dowodzi to z jednej strony konieczności uwzględnienia czasowej

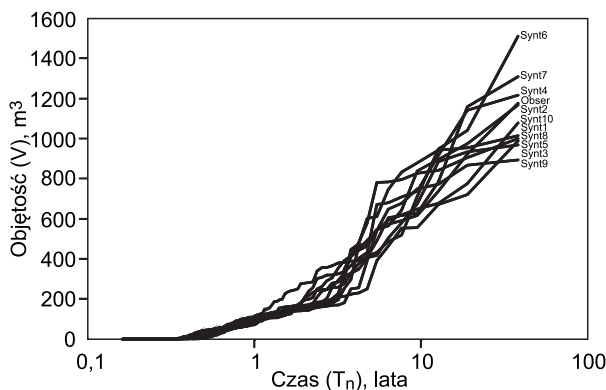


Rys. 5. Zależność między objętością rejestrowanych nadpiętrzeń sieci a wysokością (H), czasem trwania (T) i średnią intensywnością (I) deszczów (szereg synt10; 252 deszcze syntetyczne)

Fig. 5. Correlation between recorded system overtopping volume and depth (H), duration time (T) and average rainfall intensity (I) (synt10 series; 252 synthetic rainfalls)

dynamiki deszczu, a z drugiej strony słabości przestarzałego warsztatu wymiarowania zbiorników retencyjnych, opartego na modelu blokowym deszczu i odrzucającego *a priori* zmienność intensywności deszczu w czasie.

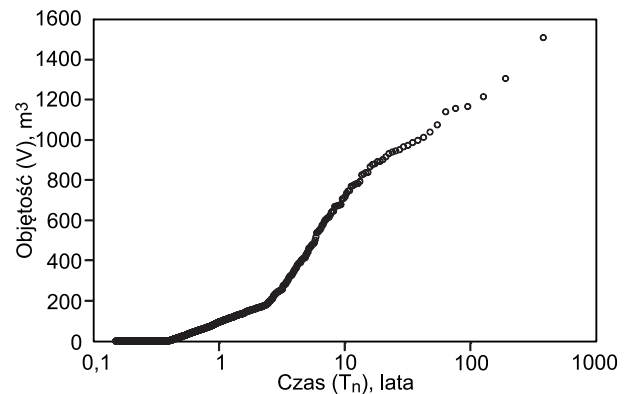
Podobieństwo wyników symulacji szeregu obserwacyjnego i szeregu syntetycznego (synt10) (rys. 3 i 4) obserwowano także w odniesieniu do pozostałych szeregów syntetycznych. W celu lepszego zobrazowania podobieństwa wykresów zależności objętości nadpiętrzeń od czasu T_n w przypadku szeregu obserwacyjnego i szeregów syntetycznych zestawiono je na jednym wykresie (rys. 6). W celu zastosowania na zbiorczym wykresie spójnej podziałki czasów powtarzalności T_n wyeliminowano niektóre zerowe deszcze (niepowodujące nadpiętrzeń), ograniczając liczebność wszystkich zbiorów do 245 elementów każdy. Analiza wykreślonego pęku krzywych wskazuje na bardzo dobrą wzajemną zgodność wyników uzyskanych zarówno w obrębie zbiorów opadów syntetycznych, jak i w odniesieniu do zbioru obserwacyjnego. Weryfikuje to w sposób pozytywny hipotezę o możliwości zastąpienia szeregów obserwacyjnych szeregami syntetycznymi przy stosowaniu metodyki ogólnej według wytycznych DWA-A 117 [8].



Rys. 6. Porównanie zależności między objętością nadpiętrzeń sieci a okresem ich powtarzalności (szeregi rzeczywiste i 10 niezależnych szeregów syntetycznych z 38 lat)

Fig. 6. Correlation comparison of recorded system overtopping volume and their return period (real series and synt10 series from 38 years)

Pęk krzywych na rysunku 6 układał się w sposób bardzo ścisły – od najmniejszych czasów powtarzalności aż do około 2 lat. Przy dłuższych czasach T_n zaczynał on już przypominać kształt „luźnego warkocza”. W zakresie największych wartości T_n nie można jednak oczekiwać idealnej zgodności opracowanych charakterystyk, co wynika z natury deszczu. W pracy [17] udowodniono, że wykorzystane w badaniach szeregi deszczów z Wrocławia miały właściwości multifraktalne. W przypadku zbiorów multifraktalnych normalnym zjawiskiem jest rzadkie występowanie tzw. osobliwości, a więc deszczów krytycznych o znacznej intensywności, powodujących największe nadpiętrzenia w systemach odwadniania. W mało licznych zbiorach, takich jak np. zbiory 38-letnie, prawdopodobieństwo wystąpienia osobliwości jest bardzo małe, zdarzają się one bardzo rzadko. Trudno zatem w sposób wiarygodny i precyzyjny opisać przebieg wykresów na rysunku 6 przy najdłuższych czasach T_n , gdyż występują tam jedynie nieliczne, pojedyncze punkty. Rozumowanie takie wydaje się przynajmniej częściowo uzasadniać wykres na rysunku 7, który powstał na podstawie zbiorczego zestawienia objętości nadpiętrzeń zdiagnozowanych w przypadku 2554 deszczów ze wszystkich 10 szeregów syntetycznych. Wykres



Rys. 7. Zależność między objętością nadpiętrzeń sieci a okresem ich powtarzalności (wszystkie szeregi syntetyczne; 380 lat; 2554 deszcze)

Fig. 7. Correlation between recorded system overtopping volume and their return period (all synthetic series; 380 years; 2554 rainfalls)

ten ma już znacznie bardziej ciągły przebieg w zakresie T_n od 5 lat do 38 lat, w porównaniu z dyskutowanymi wykresami na rysunkach 3, 4 i 6. Sugeruje on jednocześnie, że za pomocą modeli mikrokanonicznych kaskad losowych można generować syntetyczne szeregi deszczów do wymiarowania zbiorników retencyjnych w przedziałach czasu, które wielokrotnie wykraczają poza ramy czasowe możliwych do zgromadzenia szeregów obserwacyjnych.

Podsumowanie

Przy obecnym poziomie narzędzi inżynierskich, a zwłaszcza upowszechnieniu modelowania hydrodynamicznego, stosowanie przestarzałych metod przybliżonego wymiarowania zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych jest już trudne do akceptacji. Projektowanie zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych, jako integralnego elementu całego systemu odwadniania, powinno się opierać na ich komputerowym modelowaniu. Pozwala to na lepsze zrozumienie funkcjonowania projektowanych zbiorników i oszacowanie ich niezbędnej pojemności koniecznej do przechwycenia rzeczywistego spływu wód deszczowych, wywołanego lokalnie występującymi opadami atmosferycznymi. Konieczne jest upowszechnienie uogólnionej metodyki wymiarowania zbiorników retencyjnych według wytycznych DWA-A 117 w warunkach krajowych tak, aby filozofia projektowania zbiorników retencyjnych była spójna ze współczesną probabilistyczną filozofią projektowania i eksploatacji systemów kanalizacyjnych. W tym aspekcie przeprowadzone badania pozwalają na następujące uogólnienia:

- ♦ Bariera braku lokalnych szeregów czasowych deszczów o wysokiej rozdzielczości może być z powodzeniem wyeliminowana przez ich zastąpienie lokalnymi szeregami syntetycznymi o analogicznych właściwościach statystycznych. Syntetyczne szeregi deszczów mogą być przy tym traktowane jako potencjalne scenariusze opadów atmosferycznych, których horyzont czasowy nie jest ograniczony wąskim zakresem lokalnych szeregów obserwacyjnych.

- ♦ Zaprezentowane pierwsze krajowe badania nad zastąpieniem szeregów obserwacyjnych syntetycznymi szeregami deszczów, przeprowadzone na przykładzie pojedynczej małej zlewni, powinny zostać potwierdzone w większej skali przestrzennej i na przykładzie zlewni o większym stopniu komplikacji budowy sieci kanalizacyjnej. Badania

takie powinny być w przyszłości prowadzone w zlewniach mających już skalibrowane modele hydrodynamiczne. Powinny one także obejmować inne regiony kraju, znajdujące się pod wpływem odmiennych warunków atmosferycznych.

Badania zrealizowano ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2012–2013 w ramach działalności statutowej Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej.

LITERATURA

1. J. DZIOPAK: Efektywne sposoby retencjonowania ścieków w kanalizacji. *Ochrona Środowiska* 1988, vol. 10, nr 3–4, ss. 35–42.
2. W. NIEDZIELSKI, M. SOWIŃSKI: Obliczanie kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych. *Ochrona Środowiska* 1984, vol. 6, nr 3–4, ss. 55–58.
3. W. BŁASZCZYK, M. ROMAN, H. STAMATELLO: Kanalizacja, t.1. Arkady, Warszawa 1974.
4. K. IMHOFF, K.R. IMHOFF: Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Poradnik. Arkady, Warszawa 1982.
5. PN-EN 752-2: 2000. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne. Wymagania.
6. PN-EN 752-4: 2001. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne. Obliczanie hydrauliczne i oddziaływanie na środowisko.
7. T.G. SCHMITT: Komentarz do ATV-A 118. Hydrauliczne wymiarowanie systemów odwadniających. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2000.
8. Arbeitsblatt DWA-A 117: Bemessung von Regenrückhalte-räumen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2006.
9. P. LICZNAR: Wymiarowanie zbiorników retencyjnych wód opadowych zgodnie z wymogami niemieckiej wytycznej DWA A-117. *Instal* 2010, nr 11, ss. 51–56.
10. P. LICZNAR: Wykrywanie niezbędnej objętości zbiorników wód opadowych na podstawie symulacji hydrodynamicznych. *Instal* 2011, nr 1, ss. 39–48.
12. P. LICZNAR: Praktyczna realizacja modelu hydrodynamicznego sieci kanalizacyjnej w pakiecie SewerPac. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2008, nr 3, ss. 11–19.
13. M. MROWIEC: Efektywne wymiarowanie i dynamiczna regulacja kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2009.
14. B. KAŻMIERCZAK, A. KOTOWSKI, A. DANCEWICZ: Weryfikacja metod wymiarowania kanalizacji deszczowej za pomocą modelu hydrodynamicznego (SWMM) w warunkach wrocławskich. *Ochrona Środowiska* 2012, vol. 34, nr 2, ss. 25–31.
15. A. KOTOWSKI, B. KAŻMIERCZAK, M. NOWAKOWSKA: Analiza obciążenia systemu odwadniania terenu w przypadku prognozowanego zwiększenia częstości i intensywności deszczów z powodu zmian klimatycznych. *Ochrona Środowiska* 2013, vol. 35, nr 1, ss. 25–32.
16. P. LICZNAR, M. KNYSZ, A. CHUDZIAK, J. ZIELIŃSKI: Modelowanie wpływu wysokich stanów wód odbiornika na pracę kanalizacji deszczowej. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 2012, nr 2, ss. 83–92.
17. D. SLYS, A. STEC: Hydrodynamic modeling of the combined sewage system for the city of Przemsł. *Environment Protection Engineering* 2012, Vol. 4, pp. 99–112.
18. P. LICZNAR: Generatory syntetycznych szeregów opadów do modelowania sieci kanalizacji deszczowych i ogólnospławnych. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2009.
19. P. LICZNAR, J. ŁOMOTOWSKI, D.E. RUPP: Random cascade driven rainfall disaggregation for urban hydrology: An evaluation of six models and a new generator. *Atmospheric Research* 2011, Vol. 99, pp. 563–578.
20. P. LICZNAR, T.G. SCHMITT, D.E. RUPP: Distributions of microcanonical cascade weights of rainfall at small timescales. *Acta Geophysica* 2011, Vol. 59, No. 5, pp. 1013–1043.
21. P. LICZNAR, D.E. RUPP, W. ADAMOWSKI: Variability in the microcanonical cascades parameters among gauges of urban precipitation monitoring network. *Geophysical Research Abstracts* 2013, vol. 15.

Licznar, P. Stormwater Reservoir Dimensioning Based on Synthetic Rainfall Time Series. *Ochrona Środowiska* 2013, Vol. 35, No. 2, pp. 27–32.

Abstract: Current progress in hydrodynamic modeling of urban drainage systems enables better modeling and dimensioning of stormwater reservoirs. According to new German DWA-A 117 guidelines, hydrodynamic simulations based on local, long-lasting rainfall time series are obligatory for dimensioning of stormwater reservoirs installed on drainage systems with area in excess of 200 ha. Results of stormwater outflow simulation series allow for probabilistic dimensioning of necessary reservoir volume. This is fully in line with the overall probabilistic philosophy of drainage system functioning introduced by the European Standard PN-EN 752. This methodology is not applied in Poland due to the lack of local, long-lasting rainfall time series with time resolution of individual minutes. The paper proposes replacing the missing data with the synthetic one, originating from daily rainfall totals disaggregation.

This strategy was tested in the example of a hydrodynamic model of a small drainage system located in Wrocław. The system had a single underground tank installed and its maximum outflow was limited. The system performance was analyzed against 250 real rainfalls (derived from a 38-year local record) and 2554 synthetic rainfall scenarios derived from 10 independent rainfall time series (38 years each) that had previously been generated by microcanonical cascade model. Complex hydrodynamic simulations based on real and synthetic rainfall time series led to generation of system overtopping volume plots against their return periods. Overtopping volume plots for real and synthetic time series were observed to correlate very well. In addition, a common single overtopping volume versus return period plot was developed for all 2554 synthetic rainfall scenarios. This plot may serve as a probabilistic assessment of necessary retention volumes for long return periods of up to 380 years.

Keywords: Stormwater drainage, hydrodynamic model, probabilistic sizing, rainfall disaggregation.