

PAŹIK RAFAŁ^{*}, KOSTECKI JAKUB^{}**

**DOBÓR OPTYMALNEJ POJEMNOŚCI ZBIORNIKA
RETENCJONUJĄCEGO WODY
W MAŁYCH ZLEWNIACH DESZCZOWYCH**

Streszczenie

Dobór pojemności zbiorników retencyjnych jest istotnym czynnikiem wpływającym na sprawność kanalizacji deszczowej. Jego dobór jest uzależniony od wielkości deszczu, wartości odpływu oraz czasem dopływu wód do zbiornika. Celem niniejszej pracy było określenie wpływu niewłaściwego doboru pojemności zbiorników przetrzymujących wody deszczowe, w małych zlewniach miejskich w pracach projektowych poprzedzających etap realizacyjny.

Słowa kluczowe: zlewnia miejska, mały zbiornik retencyjny

WSTĘP

Podtopienia terenów wynikające z występowania intensywnych opadów deszczowych są problemem powszechnie spotykanym. Szczególne znaczenie ma to w przypadku kanalizacji deszczowej oraz ogólnospławnej. Zjawiska te, choć występujące okresowo, przyczyniać mogą się do zniszczenia mienia. Jednym z rozwiązań tego problemu jest budowa małych zbiorników retencyjnych. Aby spełniały one swą rolę, powinny być zaprojektowane w odpowiedni sposób. Jednak nie rzadko, rzeczywista wielkość opadu przekracza wartości obliczeniowe, co jest skutkiem częstych błędów projektowych lub wykonawczych.

Elementami kanalizacji deszczowej, mającymi wpływ na skuteczność jego działania są np. zbiorniki magazynujące okresowo wody deszczowe. Ich celem jest odciążenie odbiorników, którymi mogą być rzeki, kanały, rowy bądź dalsze kolektory deszczowe. Przy wciąż rozwijających się aglomeracjach miejskich i rozbudowywanych terenach coraz trudniej wykorzystać, celem odwodnienia,

^{*} doktorant Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego

^{**} Zakład Ochrony i Rekultywacji Gruntów, Instytut Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego

istniejące systemy kanalizacyjne. Dołączane dodatkowo zlewnie o powierzchni $F < 1 \text{ km}^2$ traktowane jako bardzo małe mogą powodować konieczność zagospodarowania wód deszczowych we własnym zakresie [Szling i Pacześniak, 2004]. W takich sytuacjach często proponowanym rozwiązaniem jest wykorzystanie ww. zbiorników, które stanowią odciążenie odbiornika. Zgromadzone w zbiornikach ścieki deszczowe mogą więc być odprowadzane stopniowo do sieci.

Innym powszechnie stosowanym rozwiązaniem jest zrzut ścieków deszczowych bezpośrednio do gruntu poprzez systemy rozsączające. Część wód jest odprowadzana natychmiast do gruntu, a pozostała ilość jest magazynowana w zbiorniku, skąd w miarę upływu czasu jest rozsączana, aż do jego opróżnienia. Odbiornik, np. istniejący system kanalizacyjny, pracuje wówczas bez zmian, zgodnie ze stanem dotychczasowym w zakresie strumieni przyjmowanych wód.

Przy obliczaniu pojemności zbiorników, oprócz prawdopodobieństwa pojawienia się deszczu, uwzględnia się czas dopływu do zbiornika odpowiadający czasowi z projektu sieci kanalizacyjnej [Błaszczuk, 1983]. Ten ostatni, w sposób bardzo istotny decyduje o pojemności zbiornika. Jego błędne obliczenie lub przyjęcie może powodować niedoszacowanie pojemności zbiornika. Dla bardzo małych odpływów (w stosunku do dopływu dla deszczu miarodajnego, obliczonego dla sieci kanalizacyjnej), może się okazać, że deszcz przy danym prawdopodobieństwie będzie trwał dłużej niż czas dopływu wyznaczany na podstawie wyliczeń sieci, i dobór pojemności nie będzie do końca prawidłowym i dającym maksymalną objętość wód deszczowych w czasie [Imhoff i Imhoff, 1996; Marzejon, 2012; Niedzielski i Sowiński, 1981]. Krytycznym może się okazać deszcz bardzo długi o bardzo małym natężeniu, a nie deszcz krótki o natężeniu dużym [Edel, 2002; Marzejon, 2012].

Niektóre metody obliczeniowe, m.in. metoda Aftanasa-Błaszczuka uwzględnia to i umożliwia prawidłowy dobór najważniejszego parametru [Niedzielski i Sowiński, 1981]. Wielu projektantów pokazuje jednak, że czas dopływu do zbiornika nie jest w rzeczywistości wystarczająco dokładnie analizowany, a jego dobór najczęściej polega na przyjęciu wartości w granicach od 15 do 30 minut. Nie gwarantuje to jednak wyznaczenia prawidłowej pojemności zbiornika i prowadzić może do przeciążeń sieci.

Przyjęcie czasu trwania deszczu w granicach 15-30 minut lub wysokości deszczu na poziomie 25 mm spotykane jest również w opracowaniach producentów takich jak [Ekobudex 2012] czy [Wavin 2012]. W materiałach [Pipelife 2012] zaleca się przyjmowanie czasu w przedziale od 15-360 min. Często zalecane są również metody uproszczone bazujące np. na różnicy w ilości wody dopływającej i odpływającej ze zbiornika [ATV-A138, 2002; Ekobudex, 2012; Geiger i Dreiseitl, 1999; Sawicka-Siarkiewicz, 2003].

Szeroko również opisał stosowanie różnych metod Kotowski [2011], jednak o metodzie uproszczonej jedynie krótko tam wspomniano.

Konieczność odprowadzenia minimalnej ilości wód wynika często z restrykcyjnych wymogów podawanych przez właścicieli istniejących odbiorników lub – w przypadku wykorzystania gruntu jako odbiornika – gdy jego współczynnik filtracji spełnia warunek $10^{-3} < k_f < 10^{-6}$ [Wavin, 2012].

Celem niniejszej pracy była analiza wpływu wyznaczanego czasu dopływu deszczu do zbiornika na jego pojemność. Analizie poddano metodę Aftanasa-Błaszczyka, Mołokowa i Szygorina, Mullera-Neuhausa oraz metodę różnicy na wlocie i wylocie ze zbiornika.

ZAŁOŻENIA OGÓLNE

Coraz częściej w terenach zurbanizowanych, celem odciążenia istniejących odbiorników wód opadowych, nakazuje się zrzut do nich wód deszczowych w ilości minimalnej, która może wynosić zaledwie ok. 5-10% przepływu obliczeniowego dla sieci. Tak mały odpływ daje małe szanse do opróżnienia zbiornika w ciągu 3-6 h [Edel, 2002]. Zasadnym wydaje się więc budowa małych zbiorników retencyjnych, które pozwolą na dobór najkrótszego czasu opróżnienia i pozwolą na przyjęcie przez zbiornik kolejnego dużego opadu bezpośrednio po ustaniu poprzedniego.

Dla potrzeb niniejszej pracy do analizy przyjęto zlewnię o powierzchni zredukowanej 600000 m^2 (60 ha). Prawdopodobieństwo pojawienia się deszczu założono na poziomie $p = 20\%$ (takie jak dla obliczeń sieci). Odpływ wody na wylocie ze zbiornika retencyjnego zachodzi bez wahań zależnych od wysokości lustra wody.

Przyjęto wysokość opadu rocznego $H = 600 \text{ mm}$, długość kanalizacji $L = 1800 \text{ m}$, a średnia prędkość w kanałach $v = 2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Wyliczony minimalny czas dopływu do zbiornika dla deszczu obliczeniowego sieci ($Q_{D(15)}$) wynosi $t_d = 15,0 \text{ min}$. Wielkość natężenia deszczu dla przykładowej małej zlewni wyznaczono zgodnie z metodą Błaszczyka. Większe natomiast zlewnie ($F > 2 \text{ km}^2$) powinny być już modelowane hydrodynamicznie zgodnie z [PN-EN 752; Kaźmierczak, Kotowski 2012; Kotowski, Kaźmierczak, Dancewicz 2010].

Przyjęto zbiornik przepływowy wg rysunku 1, bez możliwości wykorzystania przelewu.



Rys. 1. Schemat układu retencyjnego
Fig. 1. Scheme of the drainage system

METODYKA BADAŃ

Obliczenia retencji wykonano w oparciu o metodę Mullera-Neuhaus, Mołokowa i Szygorina oraz uproszczoną. Wykresy wykorzystywane w dwóch pierwszych metodach uniemożliwiają odczyty dla bardzo małych odpływów, stąd też wartości przyjmowano w sposób przybliżony.

Pojemności zbiorników wyliczono dla różnych wartości odpływów i w przypadku metody uproszczonej - dla różnych czasów trwania deszczu. Podobne zalecenia (związane z różnymi czasami odpowiadającymi maksymalnej pojemności) spotyka się m.in. w opracowaniach Edela [2002], Imhoffa i Imhoffa [1996] i Marzejon [2012], a także w wytycznych ATV-A117 [2006] i ATV 138 [2002]. Powyższe zalecenia spełnia również metoda Aftanasa-Błaszcyka i wg niej także wykonano obliczenia pojemności. Obliczenia wydajności gruntu (odpływ) wykonano w oparciu o dostępną literaturę [Geiger i Dreiseitl 1999; Wavin, 2012].

WYNIKI BADAŃ

Wyniki obliczeń dla zbiorników odprowadzających wody deszczowe do odbiornika zawarto w tabelach 1-4. Tabela 5 zawiera wartości pojemności dla zbiorników odprowadzających wody deszczowe do gruntu. Dla przyjętej wysokości zbiornika wynoszącej $b = 1,2$ m i powierzchni wsiąkania równej powierzchni zbiornika, odpływ pozostawał bez zmian.

Na rysunku 2 przedstawiono zależność pojemności zbiornika od długości trwania deszczu, dla różnych wartości odpływu, dla obliczeń wykonanych metodą uproszczoną. Czerwonymi punktami oznaczono szczytowe wymagane pojemności przy różnych odpływach. Każdy deszcz był rozpatrywany od początku tj. czasu wyznaczonego dla sieci (od 15 min). Dodatkowo wyznaczono, przy pomocy regresji potęgowej, krzywą (oznaczoną kolorem czerwonym) przedstawiającą pojemność zbiornika w zależności od czasu najbardziej niekorzystnego. Dla każdego prawdopodobieństwa pojawienia się deszczu i zmiennej

wysokości opadu rocznego, będzie ona opisywana oczywiście inną zależnością potęgową.

Tab. 1 Pojemność zbiornika obliczona metodą Mullera-Neuhausa

Tab. 1 Required capacity of the tank calculated by Muller-Neuhaus method

Przewidyw. deszczu	Opad roczny	Pow. zredukowana	Czas dopływu	Natężenie deszczu	Wysokość opadu	Dopływ	Odpyw			Wymagana poj. zbiornika	Czas opróżniania
p	H	F_{ZR}	t_d	q	h	Q_D	Q_O	\acute{e}	$f(x)$	V	t_o
%	mm	ha	min.	$dm^3 \cdot (s \cdot ha)^{-1}$	mm	$dm^3 \cdot s^{-1}$	$dm^3 \cdot s^{-1}$	-	-	m^3	h
20	600	60	15	131	11,8	7886	1000	0,13	0,99	7035	1,95
							700	0,09	1,16	8260	3,28
							600	0,08	1,24	8789	4,07
							500	0,06	1,33	9415	5,23
							400	0,05	1,43	10181	7,07
							300	0,04	1,57	11169	10,3
							200	0,03	1,77	12561	17,4
							180	0,02	1,82	12923	19,9
						100	0,01	2,11	14941	41,5	

$\acute{e}, f(x)$ parametry charakterystyczne dla metody

Tab. 2 Pojemność zbiornika obliczona metodą Molokowa i Szygorina

Tab. 2 Required capacity of the tank calculated by Molokow and Szygorin method

Przewidyw. deszczu	Opad roczny	Pow. zredukowana	Czas dopływu	Natężenie deszczu	Wysokość opadu	Dopływ	Odpyw			Wymagana poj. zbiornika	Czas opróżniania zbiornika
p	H	F_{ZR}	t_d	q	h	Q_D	Q_O	\acute{a}	$f(x)$	V	t_o
%	mm	ha	min.	$dm^3 \cdot (s \cdot ha)^{-1}$	mm	$dm^3 \cdot s^{-1}$	$dm^3 \cdot s^{-1}$	-	-	m^3	h
20	600	60	15	131	11,8	7886	1000	0,13	1,25	8853	1,97
							700	0,09	1,62	11527	3,47
							600	0,08	1,78	12624	4,42
							500	0,06	1,95	13840	5,86
							400	0,05	2,14	15185	8,26
							300	0,04	2,35	16668	12,8
							200	0,03	2,58	18301	23,66
							180	0,02	2,63	18647	27,84
						100	0,01	2,83	20095	67,2	

$\acute{a}, f(x)$ parametry charakterystyczne dla metody

Tab. 3 Pojemność zbiornika obliczona metodą uproszczoną

Tab. 3 Required capacity of the tank calculated by simplified method

Prawdopodob. deszczu	Opad roczny	Pow. zredukowana	Czas dopływu	Natężenie deszczu	Wysokość opadu	Dopływ	Odpływ	Objętość dopływu	Objętość odpływu	Wymagana poj. zbiornika	Czas opróżniania zbiornika
p	H	F_{ZR}	t_d	q	h	Q_D	Q_O	V_D	V_O	V	t_o
%	mm	ha	min.	$dm^3 \cdot (s \cdot ha)^{-1}$	mm	$dm^3 \cdot s^{-1}$	$dm^3 \cdot s^{-1}$	m^3	m^3	m^3	h
20	600	60	63	50,2	19,0	3015	1000	11396	3780	7616	2,12
			106	35,5	22,6	2127	700	13531	4452	9079	3,60
			134	30,3	24,4	1818	600	14619	4824	9795	4,53
			176	25,2	26,7	1515	500	15995	5280	10715	5,95
			245	20,2	29,7	1214	400	17840	5880	11960	8,31
			377	15,2	34,3	909	300	20567	6786	13781	12,8
			691	10,1	41,9	606	200	25119	8292	16827	23,4
			808	9,1	44,1	546	180	26450	8726	17723	27,4
1943	5,1	58,5	308	100	35072	11400	23672	65,8			

Tab. 4 Pojemność zbiornika obliczona metodą Aftanasa-Błaszczyka

Tab. 4 Required capacity of the tank calculated by Aftanas-Błaszczyk method

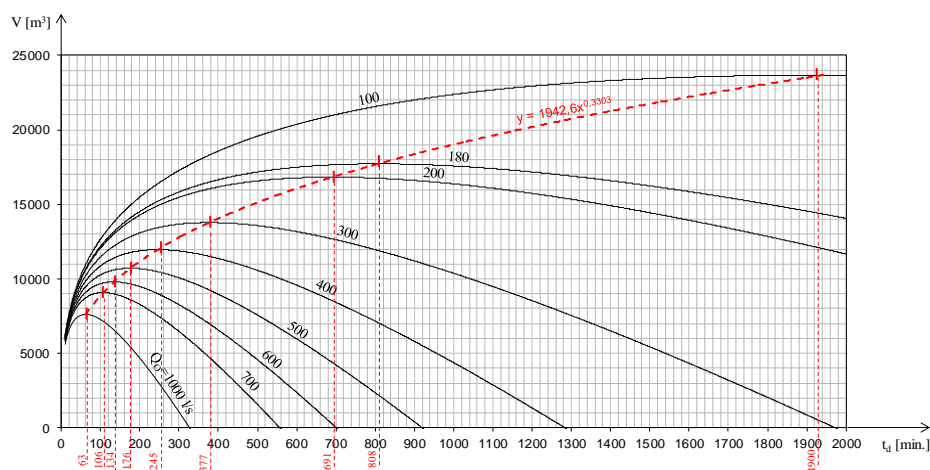
Prawdopodob. deszczu	Opad roczny	Pow. zredukowana	Czas dopływu	Natężenie deszczu	Dopływ	Odpływ					Wymagana poj. zbiornika	Czas opróżniania zbiornika
p	H	F_{ZR}	t_d	q	Q_D	Q_O	β	γ	δ	$f(\beta, \delta)$	V	t_o
%	mm	ha	min.	$dm^3 \cdot (s \cdot ha)^{-1}$	$dm^3 \cdot s^{-1}$	$dm^3 \cdot s^{-1}$	-	-	-	-	m^3	h
20	600	60	15	131	7886	1000	0,13	0,60	1,00	1,00	7079	2,12
						700	0,09	0,51	1,00	1,23	8752	3,60
						600	0,08	0,47	1,00	1,34	9545	4,53
						500	0,06	0,43	1,00	1,49	10550	5,95
						400	0,05	0,39	1,00	1,68	11890	8,31
						300	0,04	0,34	1,00	1,95	13826	12,8
						200	0,03	0,28	1,00	2,40	17033	23,4
						180	0,02	0,26	1,00	2,53	17973	27,4
100	0,01	0,19	1,00	3,41	24198	65,8						

β , γ , δ , $f(\beta, \delta)$ - parametry charakterystyczne dla metody

Tab. 5 Pojemność zbiornika dla rozszczązania w gruncie

Tab. 5 Required capacity of the tank calculated for ground infiltration

Prawdopodob. deszczu	Opad roczny	Pow. zredukowana	Czas trwania deszczu	Natężenie deszczu	Dopływ	Wysokość zbiornika	Powierzchnia wsiąkania	Współczynnik filtracji
p	H	F_{ZR}	t_d	q	Q_D	b	A	k_f
%	mm	ha	min.	$dm^3 \cdot (s \cdot ha)^{-1}$	$dm^3 \cdot s^{-1}$	m	m^2	$m \cdot s^{-1}$
20	600	60	63	50,2	3015	1,2	6347	0,00032
			106	35,5	2127	1,2	7566	0,00019
			134	30,3	1818	1,2	8163	0,00015
			176	25,2	1515	1,2	8929	0,00011
			245	20,2	1214	1,2	9967	0,00008
			377	15,2	909	1,2	11484	0,00005
			691	10,1	606	1,2	14022	0,00003
			808	9,1	546	1,2	14769	0,00002
			1943	5,1	303	1,2	19727	0,00001



Rys. 2. Wykres maksymalnych pojemności zbiornika w zależności od czasu dopływu (metoda uproszczona)

Fig. 2. Dependency of the max capacities of the tank and the inflow time (simplified method)

WNIOSKI

Na podstawie wykonanych obliczeń można stwierdzić, że wyznaczenie pojemności zbiornika w oparciu o czas wg obliczeń sieci bądź przyjmowanie go

w granicach 15-30 min., lub nawet 360 min., dla wartości odpływu stanowiącego do ok. 10% dopływu (wg obliczeń sieci), może nieść ze sobą znaczne niedowymiarowanie zbiorników retencyjnych w małych zlewniach miejskich. Dotyczy to szczególnie metody uproszczonej, gdzie różnice w pojemności osiągają nawet ponad 200%. Jest to widoczne zwłaszcza w przypadku gdy odpływ stanowi ok 30% dopływu (wg obliczeń sieci). A im mniejszy odpływ, tym większym błędem mogą być obciążone obliczenia.

Czas opróżniania, który powinien wynosić 3-6 h wydłuża się. Przy zbyt małym odpływie może to powodować znaczny wzrost teoretycznej pojemności zbiornika i bardzo długi czas jego opróżniania. Może to powodować brak możliwości przyjęcia kolejnego dużego deszczu, następującego bezpośrednio po poprzednim.

Dla bardzo małych odpływów, problemu dla zbiorników nie stanowią deszcze krótkie o obliczeniowym dla sieci natężeniu, lecz deszcze długie o natężeniu małym. Niosą one ze sobą znaczną objętość wód koniecznych do zagospodarowania. Dla odpływu stanowiącego zaledwie ok. 1-2% dopływu wg. długości sieci, czas opróżniania wynosi 2-3 dób. Jest to ryzykowne i w takich sytuacjach należy rozważyć zmianę rozwiązania.

Obliczone pojemności zbiorników wg wszystkich metod różnią się dość znacznie. Może to wynikać z trudności związanych z prawidłowym przybliżonym odczytem funkcji $f(x)$. Najbardziej zbliżone wyniki do metody Aftanasa-Błaszczyka dawała metoda uproszczona. Może to potwierdzać słuszność wyznaczania wymiarów zbiornika w oparciu o metodę uproszczoną iteracyjną.

Podobnie sytuacja wygląda w przypadku zbiornika retencyjno-rozsączającego. Mimo korzystnie założonej powierzchni wsiąkania, dającej wymagane do celów analizy wartości bardzo małych odpływów, już dla gruntu od współczynnika $k_f < 8 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, pojawia się konieczność przyjęcia czasu dopływu większego niż wg. obliczeń sieci. Odpowiada on tą wartością już piaskom średnio i drobnoziarnistym [Geiger i Dreiseitl, 1999; Wavin, 2012]. Dla takich rozwiązań, warto również przeprowadzać obliczenia pojemności zbiornika metodą kolejnych przybliżeń. Pomimo czasochłonności tej metody da to to jednak pewność w zakresie doboru odpowiedniej pojemności.

Dość bezpiecznym wydaje się również obliczanie zbiornika (wg dowolnej metody), przyjmując prawdopodobieństwo o klasę wyższe niż w obliczeniach sieci zgodnie z zaleceniami m. in. [Kotowski 2011]. Uzyskamy tym sposobem pewien zapas i zbiornik będzie mniej narażony na niedowymiarowanie.

W podsumowaniu należy podkreślić, że dobór poprawnej pojemności zbiornika retencyjnego lub retencyjno - rozsączającego stanowi ważny etap przy projektowaniu systemu odwadniania. Błędne założenia mogą prowadzić do dużych niedokładności a to przełoży się może na efektywność działania całej sieci. Z tego powodu ważna jest dokładna analiza obliczeń pojemności i sprawdzenie na jaki odpływ możliwe jest zaprojektowanie zbiornika.



Autor jest stypendystą w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa

LITERATURA

1. ATV-A138, 2002. Wytyczne – Wymiarowanie obiektów do rozsączania wód opadowych.
2. ATV-A117, 2006. Wytyczne – Wymiarowanie deszczowych zbiorników retencyjnych.
3. BŁASZCZYK P. (red.), 1983. Zasady planowania i projektowania systemów kanalizacyjnych w aglomeracjach miejsko- przemysłowych i dużych miastach. Zakład Wyd. Inst. Kształtowania Środ., Warszawa, ss. 149.
4. EDEL R., 2002. Odwodnienie dróg. Wydawnictw komunikacji i łączności. Warszawa, ss. 320.
5. EKOBUDEX, 2012. Podręcznik projektowania. Rozsączanie, retencja, magazynowanie. Komory drenażowe S. C. Odwodnienia nowej generacji.
6. GEIGER W., DREISEITL H., 1999. Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Oficyna Wydawnicza Projprzem – EKO. Bydgoszcz; ss. 334.
7. IMHOFF K., IMHOFF K.R., 1996. Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków: Poradnik. Oficyna Wydawnicza Projprzem – EKO. Bydgoszcz; ss. 450.
8. Kaźmierczak B., Kotowski A. 2012. Weryfikacja przepustowości kanalizacji deszczowej w modelowaniu hydrodynamicznym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław; ss. 144.
9. KOTOWSKI A., KAŻMIERCZAK B., DANCEWICZ A., 2010. Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN. Warszawa; ss. 170.
10. KOTOWSKI A. 2011. Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnienia terenów. Wydawnictwo Seidel-Przywecki. Warszawa; ss. 528.
11. MARZEJON K., 2012. ABC zagospodarowania wody deszczowej. Magazyn instalatora, Nr 3, 6.
12. NIEDZIELSKI W., SOWIŃSKI M., 1981. Obliczanie kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych. Ochrona Środowiska, Nr 434/3-4, (20-21), s. 55-58.
13. PIPELIFE, 2012. System skrzynek retencyjno – rozsączających Stormbox
14. PN-EN 752-1 do 7, Zewnętrzne systemy kanalizacyjne (PKN 2000-2002).

15. SAWICKA-SIARKIEWICZ H., 2003. Ograniczenie zanieczyszczeń w sypkach powierzchniowych z dróg. Ocena technologii i zasady wyboru. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa; ss. 53.
16. SZLING Z., PACZEŚNIAK E., 2004. Odwodnienia budowli komunikacyjnych. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław; ss. 225.
17. WAVIN, 2012. Katalog produktów: Systemy zagospodarowania wody deszczowej Q-Bic i Azura.

OPTIMUM REQUIRED CAPACITY OF THE TANK IN THE SMALL DRAINAGE BASIN

S u m m a r y

The capacity of the tank is an important factor affecting the efficiency of the drainage system. Its selection depends on the size of the rain and the water inflow to the tank. The purpose of this study was to determine the effect of improper selection of capacity of tanks in small urban catchments.

Key words: urban catchment, small drainage tank