



ZASTOSOWANIE METODY TRÓJKĄTA DO OBLICZENIA OBJĘTOŚCI WÓD INFILTRACYJNYCH I PRZYPADKOWYCH W KANALIZACJI SANITARNEJ

Grzegorz Kaczor, Piotr Bugajski, Tomasz Bergel
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kollątaja w Krakowie

APPLICATION OF THE TRIANGLE METHOD FOR THE CALCULATION OF THE INFILTRATION AND INFLOW VOLUME IN A SANITARY SEWER SYSTEM

Streszczenie

Celem badań było wykorzystanie metody trójkąta do obliczenia objętości wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływających do kanalizacji sanitarnej, funkcjonującej w powiecie krakowskim (województwo małopolskie). Analizowana kanalizacja, o długości 10 km, wykonana jest z rur kamionkowych o średnicach 200, 250 i 300 mm. Wody infiltracyjne i przypadkowe, nazywane także wodami obcymi wpływają niekorzystnie na funkcjonowanie kanalizacji oraz oczyszczalni ścieków, co w konsekwencji może przekładać się na zanieczyszczenie wód odbiornika. Ich ilość w dopływach do kanalizacji powinna być szacowana za pomocą dostępnych metod obliczeniowych, a przyczyny występowania na bieżąco eliminowane. Przeprowadzone badania wykazały alarmujące objętości wód obcych dopływających do analizowanej kanalizacji, w roku 2010 stanowiły one 41,1%, w roku 2011 – 28,7%, a w roku 2012 – 23,4% łącznej rocznej objętości wód zanieczyszczonych. Objętość wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływająca do badanej kanalizacji uzależniona była przede wszystkim od częstości występowania opadów, natomiast w mniejszym stopniu od ich sumy rocznej. Główną przyczyną dopływu wód przypadkowych do analizowanego systemu kanalizacyjnego, ustaloną na podstawie wizji terenowych oraz przeprowadzonych przez przedsiębiorstwo wodociągowe testów dymnych, są nielegalne podłączenia do przykanalików ściekowych wylotów rynien dachowych lub wpustów podwórzowych.

Słowa kluczowe: ścieki, kanalizacja, wody infiltracyjne, wody przypadkowe

Summary

The aim of this study was the application of the triangle method for the calculation of the infiltration and inflow volume entering the sanitary sewer system operating in the Cracow County (Lesser Poland Voivodeship). The analyzed, 10 km long, sewer system is made of vitrified clay pipes with diameters of 200, 250 and 300 mm. Infiltration and inflow, also called extraneous water, adversely affect the operation of sewer systems and sewage treatment plants, what in turn may result in water contamination in the receiver. Amount of extraneous water in the inflows to sewer systems should be estimated using the available computational methods and their causes should be eliminated on an ongoing basis. The conducted study showed an alarming amount of extraneous water flowing into the analyzed sewer system, i.e. in 2010 it accounted for 41.1% (40033 m³), in 2011 – 28.7% (22224 m³), while in 2012 – 23.4% (16848 m³) of the total annual volume of polluted water. The volume of infiltration and inflow entering the examined sewer system depended primarily on the frequency of precipitation, and – to a lesser extent – on its annual total amount. Illegal connections of yard inlets or gutters to the sewage drains are the main cause of extraneous water inflow to the analyzed sewer system, as determined based on field inspections and smoke tests, conducted by the water supply company.

Key words: sewage, sewer system, infiltration and inflow

WPROWADZENIE

Początek XXI wieku w Polsce przyniósł wiele działań i inwestycji skierowanych na ochronę środowiska, a w szczególności zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Zaobserwowane w ostatnich latach gwałtowne zmiany klimatyczne, dały podstawy do obaw związanych z perspektywą zaopatrzenia ludności Kraju w odpowiednią ilość wody do spożycia. Polska pod względem zasobów wodnych (około 1580 m³·rok⁻¹) plasuje się na 35 miejscu wśród 38 analizowanych krajów europejskich. Na jakość wody, a tym samym na jej dostępność dla ludności istotny wpływ wywierają wprowadzane do niej zanieczyszczenia, których podstawowym źródłem wciąż pozostają ścieki przemysłowe i bytowe. W aspekcie ochrony środowiska bardzo istotnym jest, aby systemy odprowadzania i unieszkodliwiania ścieków funkcjonowały niezawodnie.

Jednym z czynników wpływających negatywnie na działanie kanalizacji oraz oczyszczalni ścieków są dopływy do tych instalacji tzw. wód obcych, czyli przypadkowych i infiltracyjnych.

Wody przypadkowe są to najczęściej wody deszczowe lub roztopowe (pochodzące z tajania śniegu) [Kaczor, 2011], przedostające się do kanalizacji poprzez nieszczelności lub otwory we włazach studni kanalizacyjnych [Kaczor, 2009] jak również wprowadzane do niej celowo lub omyłkowo ze spustów rynien dachowych i wpustów podwórzowych. Do wód przypadkowych zalicza się także wprowadzane do kanalizacji odpływy z systemów odwadniających budynki lub posesje (wody drenażowe) jak również strumienie odprowadzane podczas prac budowlanych, remontowych czy też powstające po splukiwaniu nawierzchni ulic lub myciu pojazdów.

Wody infiltracyjne są to najczęściej wody gruntowe, napływające do kanalizacji poprzez uszkodzenia przewodów, ich połączeń oraz nieszczelności ścian i dna studni kanalizacyjnych. Dopływ wód infiltracyjnych do kolektorów ściekowych następuje wtedy, gdy ich niweleta dna ułożona jest w gruncie poniżej zwierciadła wody gruntowej. Intensywność infiltracji jest wprost proporcjonalna do wysokości słupa wody nad przewodem [Madryas i in., 2010]. Narazony na infiltrację kanał ściekowy zachowuje się jak drenaż, powodując obniżenie poziomu wody gruntowej i przesuszenie przyległego gruntu. Infiltrująca do przewodu woda niesie ze sobą znaczne ilości wymywanego gruntu, powodując wzrost stężenia zawiesin w ściekach [Schilperoort, 2004]. Infiltracja połączona z wymywaniem gruntu może być przyczyną osiadania przewodów lub studzienek kanalizacyjnych [Madryas i in., 2010].

Zarówno wody przypadkowe jak również infiltracyjne w kanalizacji sanitarnej przyczyniają się do często wielokrotnego wzrostu przepływów ścieków, co skutkuje całkowitym wypełnieniem średnic kolektorów (praca kanału pod ciśnieniem), piętrzeniem ścieków w studzienkach, a w ekstremalnych przypadkach ich wypływem poprzez wpusty podłogowe w pomieszczeniach podpiwniczonych lub obiektach podziemnej infrastruktury technicznej.

Szczególnie niekorzystnie wody obce (infiltracyjne i przypadkowe łącznie) oddziałują na funkcjonowanie oczyszczalni ścieków. Przy podwyższonych wodami przypadkowymi przepływach ścieków następują przeciążenia hydrauliczne poszczególnych obiektów technologicznych oczyszczalni, co w konsekwencji wpływa negatywnie na jakość ścieków odprowadzanych do odbiornika [Kaczor i Bergel, 2008]. Wody obce rozcieńczają także i przechładzają ścieki (w okresie roztopów wiosennych) dopływające do reaktorów biologicznych, co

wywiera niekorzystny wpływ na procesy osadu czynnego związane z usuwaniem związków biogenych [Ślizowski i Chmielowski, 2007, Wałęga i Kaczor, 2012, Kaczor i Bugajski, 2012].

Mając na uwadze przedstawione fakty, należy w sposób ciągły monitorować pracę systemu kanalizacyjnego, co pozwoli na bieżąco wykrywać dopływy niepożądanych wód.

Istnieje wiele metod ilościowych, chemicznych lub izotopowych [Hennerkes, 2006, Kaczor, 2012] do obliczania objętości wód obcych trafiających do kanalizacji. Wszystkie te metody są szacunkowe, gdyż dokładne ustalenie ile wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływających do kanalizacji wymagało by dokładnego opomiarowania wszystkich strumieni ścieków, co ze względu na ograniczenia techniczne oraz finansowe nie jest na ogół możliwe do zrealizowania.

W niniejszej pracy do obliczenia objętości wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływających do kanalizacji sanitarnej zastosowano jedną z metod ilościowych t.j. metodę trójkąta.

CEL, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Celem badań było obliczenie objętości wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływających do kanalizacji sanitarnej funkcjonującej w powiecie krakowskim (województwo małopolskie).

Analizowana kanalizacja, o długości 10 km (bez przykanalików), funkcjonuje od roku 1951 (61 lat), wykonana jest z rur kamionkowych o średnicach 200, 250 i 300 mm. Studzienki połączeniowe i kontrolne wykonane są z kręgów betonowych. Głębokość ułożenia kanałów waha się od 1,6 do 3,5 m. Podłoże gruntowe w zlewni kanalizacyjnej stanowią głównie piaski drobne lub gliniaste oraz ropy i gliny zwięzłe. Do kanalizacji podłączone jest 330 budynków, zamieszkałych przez 1485 mieszkańców. W osiedlu funkcjonuje kanalizacja deszczowa o długości 1 km. Ścieki z kanalizacji odprowadzane są do mechaniczno-biologicznej oczyszczalni o przepustowości $225 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.

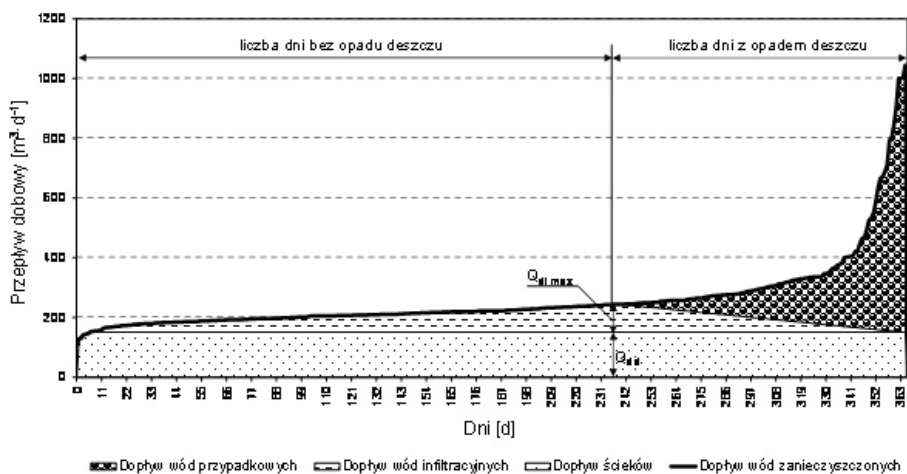
Pomiary dobowych odpływów ścieków z kanalizacji wykonywano na terenie oczyszczalni za pomocą ultradźwiękowej sondy poziomego przelewem trójkątnym. Dane poddane analizie obejmują okres od 01.01.2010 do 31.12.2012r. Trzy lata poddane analizie są bardzo zróżnicowane pod względem sumy rocznej opadów. Wg klasyfikacji Kaczorowskiej [1962] rok 2010 oceniany

jest jako skrajnie wilgotny, 2011 – jako suchy, natomiast 2012 – jako normalny. W analizie wstępnej założono, że wilgotność roku będzie miała istotny wpływ na ilość wód obcych dopływających do kanalizacji.

Dla potrzeb analizy wykorzystano dobowe wysokości opadów atmosferycznych zmierzone na terenie badanej zlewni kanalizacyjnej za pomocą deszczomierza korytkowego z rejestratorem, zainstalowanego na terenie oczyszczalni ścieków.

Dane wymagane do metody trójkąta to [Weiss i in., 2002]: liczba mieszkańców korzystających z kanalizacji, informacja o liczbie dni, w których wystąpił opad atmosferyczny (tzw. dzienny klucz pogodowy) oraz wartości dobowych przepływów ścieków. Za pomocą omawianej metody ustala się zwykle globalną objętość wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływających do kanalizacji w danym roku kalendarzowym.

Pierwszym etapem obliczeń jest uszeregowanie dobowych przepływów ścieków w ciąg rosnący, uporządkowany od wartości najmniejszej do największej. Na podstawie uzyskanego ciągu danych tworzy się wykres przedstawiony na rycinie 1, w którym na osi rzędnych odkłada się wartość dobowych przepływów wód zanieczyszczonych w $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, a na osi odciętych ich czas trwania w dobach.



Rysunek 1. Objętości wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływających do analizowanej kanalizacji w roku 2010 uzyskane za pomocą metody trójkąta

Figure 1. Volumes of infiltration and inflow entering the analyzed sewer system in 2010 determined using the triangle method

Powierzchnia znajdująca się pod utworzoną w ten sposób krzywą obrazuje roczną sumę wszystkich dopływów do kanalizacji, czyli samych ścieków, wód infiltracyjnych oraz wód przypadkowych. Rzeczywista dobową ilość ścieków (bez wód obcych) wyliczana jest na podstawie rocznego zużycia wody podzielonego przez 365 dni lub iloczynu liczby mieszkańców korzystających z kanalizacji i przyjętej jednostkowej ilości ścieków. Wyliczoną w ten sposób dobową ilość ścieków właściwych (Q_{ds}), jako wartość stałą, umieszcza się na wykresie w postaci linii równoległej do osi odciętych.

Od prawej strony wykresu zaznacza się łączną liczbę dni pogody mokrej, czyli z opadem większym niż 1 mm. Pozostałe dni w roku zaliczane są do pogody suchej. Wartość maksymalnego dopływu wód infiltracyjnych podczas pogody bezdeszczowej ($Q_{di\max}$) można odczytać z wykresu w punkcie sumarycznej liczby dni przy pogodzie suchej (ryc. 1). W omawianej metodzie zakłada się, że przy pogodzie deszczowej podwyższony poziom wód zanieczyszczonych w kanale wyklucza lub ogranicza infiltrację wody gruntowej do jego wnętrza. Jest to skutek prawie całkowitego wypełnienia średnicy kanału mieszaniną ścieków i wód przypadkowych. W zaznaczonym na wykresie przedziale pogody deszczowej punkt maksymalnego dopływu wód infiltracyjnych łączy się z punktem końcowym linii obrazującej dobowy przepływ ścieków właściwych. Poprowadzona przez te dwa punkty linia rozdziela dobowe dopływy do kanalizacji wód przypadkowych wywołanych deszczem od dobowych dopływów infiltrujących wód gruntowych.

Za pomocą omawianej metody można określić roczną ilość dopływających do kanalizacji wód infiltracyjnych poprzez obliczenie powierzchni zawartej pomiędzy krzywą przepływu dziennego wód zanieczyszczonych (ścieków i wód obcych), linią dobowych przepływów ścieków rzeczywistych i linią rozdzielałą wody infiltracyjne od wód przypadkowych w przedziale pogody deszczowej. Roczny dopływ wód infiltracyjnych i przypadkowych do kanalizacji w ujęciu łącznym obrazuje powierzchnia ograniczona krzywą dobowego przepływu wód zanieczyszczonych i poziomą linią dobowego przepływu ścieków właściwych. Roczny udział i dodatek poszczególnych rodzajów wód obcych można obliczyć, korzystając ze wzorów (1) i (2) [Pecher, 1999]. Wyrażony w procentach udział wód obcych UWO w dobowym dopływie do kanalizacji można określić wzorem:

$$UWO = \frac{Q_{db}}{Q_d} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

Q_{dob} – dobowy dopływ wód obcych do kanalizacji [$m^3 \cdot d^{-1}$],

Q_d – dobowy dopływ do kanalizacji ścieków i wód obcych łącznie [$m^3 \cdot d^{-1}$].

Wartość udziału wód obcych jest zawsze mniejsza od 100%. Procentowy dodatek wód obcych DWO w dobowym dopływie do kanalizacji określany jest wzorem:

$$DWO = \frac{Q_{dob}}{Q_{dsw}} \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie:

Q_{dob} – dobowy dopływ wód obcych do kanalizacji [$m^3 \cdot d^{-1}$],

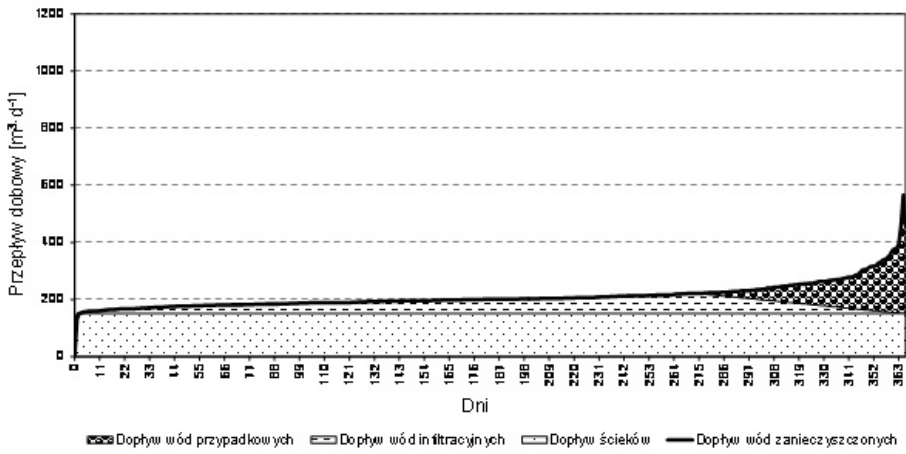
Q_{dsw} – dobowy dopływ ścieków do kanalizacji podczas pogody bezdeszczowej [$m^3 \cdot d^{-1}$].

Wyliczona ze wzoru wartość DWO może przekraczać i często przekracza 100%. Obliczenie poszczególnych parametrów do metody trójkąta wykonano za pomocą arkusza kalkulacyjnego.

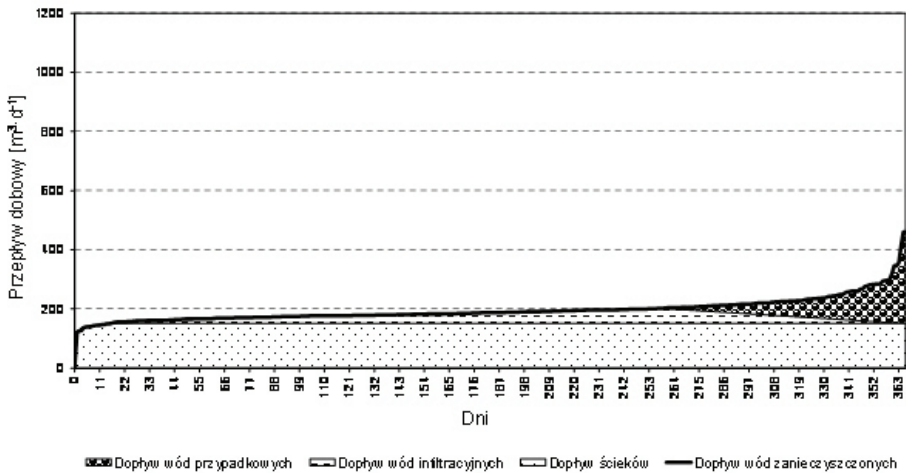
WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Dla każdego analizowanego roku kalendarzowego wykonano analogiczny wykres jak dla roku 2010 (ryc. 1). Na rycinie 2 przedstawiono objętości wód obcych dopływających do analizowanego systemu kanalizacyjnego w roku 2011, a na rycinie 3 – 2012. Dla łatwiejszego porównania uzyskanych wyników na wszystkich trzech wykresach zastosowano tę samą skalę osi rzędnych.

Za pomocą arkusza kalkulacyjnego wyliczono objętości wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływających do analizowanego systemu kanalizacyjnego w poszczególnych latach kalendarzowych, natomiast wzorami (1) i (2) wyliczono udział i dodatek poszczególnych strumieni wód obcych. Uzyskane wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 1.



Rysunek 2. Objętości wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływających do analizowanej kanalizacji w roku 2011 uzyskane za pomocą metody trójkąta
Figure 2. Volumes of infiltration and inflow entering the analyzed sewer system in 2011 determined using the triangle method



Rysunek 3. Objętości wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływających do analizowanej kanalizacji w roku 2012 uzyskane za pomocą metody trójkąta
Figure 3. Volumes of infiltration and inflow entering the analyzed sewer system in 2012 determined using the triangle method

Rok 2010 charakteryzował się bardzo wysoką roczną sumą opadów, która dla stacji Kraków–Balice wyniosła 1150 mm. Częstość i intensywność opadów znalazła odzwierciedlenie w objętości wód obcych dopływających do analizowanej kanalizacji. W roku tym do kolektorów ściekowych przedostało się łącznie 40033 m³ wód obcych, z czego 18895 m³ wód infiltracyjnych, a 21138 m³ – przypadkowych. W skali roku wody te stanowiły 41,1 % łącznej objętości wód zanieczyszczonych, które dopłynęły do badanej kanalizacji.

Tabela 1. Udziały, dodatki i roczne objętości wód obcych dopływających do analizowanej kanalizacji sanitarnej w latach 2010–2012

Table 1. Share, additions and annual volumes of extraneous water flowing into the analyzed sanitary sewer system in 2010–2012

| Parametr | Jednostka | Wartość parametru w roku | | |
|---|----------------|--------------------------|-------|-------|
| | | 2010 | 2011 | 2012 |
| Objętość wód zanieczyszczonych (ścieków i wód obcych) | m ³ | 95086 | 77471 | 71949 |
| Objętość ścieków właściwych (bez wód obcych) | | 55266 | 55266 | 55266 |
| Objętość wód infiltracyjnych | | 18895 | 14329 | 9830 |
| Objętość wód przypadkowych | | 21138 | 7895 | 7018 |
| Objętość wód obcych (infiltracyjnych i przypadkowych łącznie) | | 40033 | 22224 | 16848 |
| Udział wód obcych (infiltracyjnych i przypadkowych łącznie) | % | 41,1 | 28,7 | 23,4 |
| Dodatek wód obcych (infiltracyjnych i przypadkowych łącznie) | | 72,7 | 40,2 | 30,6 |
| Udział wód infiltracyjnych | | 19,9 | 18,5 | 13,7 |
| Dodatek wód infiltracyjnych | | 34,3 | 25,9 | 17,8 |
| Udział wód przypadkowych | | 22,2 | 10,2 | 9,8 |
| Dodatek wód przypadkowych | | 38,4 | 14,3 | 12,7 |

źródło: obliczenia własne

Rok 2011 wg rocznej sumy opadów (467 mm) klasyfikowany jest jako suchy, znalazło to odzwierciedlenie w znacznie niższej, w porównaniu do roku 2010, ilości wód obcych docierających do kanalizacji. Łączna objętość wód obcych w roku 2011 wyniosła 22224 m³, czyli o blisko 44% mniej w stosunku do

skrajnie wilgotnego roku 2010. Objętość wód infiltracyjnych w roku 2011 była mniejsza o 62,7% w stosunku do poprzedniego roku. Tendencja ta jest wynikiem obniżonego zwierciadła wód gruntowych w roku suchym. W sytuacji braku kontaktu wód gruntowych z przewodami kanalizacyjnymi – infiltracja zanika. Udział wód obcych w rocznym odpływie ścieków z analizowanej kanalizacji wyniósł 28,7% czyli był o 12,4% niższy niż w roku 2010.

Ostatni analizowany rok badań – 2012 – pod względem rocznej sumy opadów (619 mm) klasyfikowany jest jako normalny. Z racji wyższej sumy opadów należałoby oczekiwać wyższych w stosunku do roku 2011 objętości wód obcych dopływających do kanalizacji. Uzyskane metodą trójkąta wyniki, zamieszczone w tabeli 1, nie potwierdzają jednak tej tezy. W roku 2012 do badanej kanalizacji dopłynęło o 5376 m³ mniej wód infiltracyjnych i przypadkowych niż w roku 2011. Zatem należy przyjąć, że objętość wód obcych dopływających do kanalizacji nie jest ściśle skorelowana z roczną sumą opadów. Nie zależy także od ilości dni z intensywnym opadem, ponieważ w roku 2011 było ich 25, a w roku 2012 o 9 więcej. Analiza dobowych przepływów ścieków na tle dobowej wysokości opadów wykazała, że więcej wód obcych dociera do kanalizacji, jeżeli kolejne opady deszczu występują w małych odstępach czasu. W roku 2011 w porównaniu do roku 2012 sumarycznie opadów wystąpiło mniej, ale w okresie od końca kwietnia do końca lipca łączna ich suma wyniosła 249 mm, czyli 53% sumy rocznej. W roku 2012 suma roczna opadów była wyższa niż w roku 2011, ale kolejne opady występowały w dłuższych odstępach czasu.

WNIOSKI

Metoda trójkąta, opracowana przez Weissa, Brombacha i Hallera [2002] może być z powodzeniem stosowana do oszacowania ilości wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływających do małych systemów kanalizacyjnych. Zaletą tej metody jest mała ilość niezbędnych do obliczeń danych, wymagane są bowiem tylko: liczba mieszkańców korzystających z kanalizacji, informacja o liczbie dni, w których wystąpił opad atmosferyczny (tzw. dzienny klucz pogodowy), oraz wartości dobowych przepływów ścieków. Dane takie zapisywane są w standardowych dziennikach eksploatacyjnych większości oczyszczalni ścieków.

Przeprowadzone badania wykazały znaczne ilości wód obcych dopływających do analizowanej kanalizacji, w roku 2010 stanowiły one 41,1%, w roku 2011 – 28,7%, a w roku 2012 – 23,4% rocznej objętości wód zanieczyszczonych.

Objętość wód infiltracyjnych i przypadkowych dopływających do kanalizacji uzależniona jest przede wszystkim od częstości występowania opadów, natomiast w mniejszym stopniu od ich sumy rocznej.

Główną przyczyną dopływu wód przypadkowych do analizowanego systemu kanalizacyjnego, ustaloną na podstawie wizji terenowych oraz przeprowadzonych przez przedsiębiorstwo wodociągowe testów dymnych, są nielegalne podłączenia do przykanalików ściekowych wylotów rynien dachowych lub wpustów podwórzowych. W sytuacji, gdy mieszkańcy nie mają możliwości odprowadzenia wód opadowych z terenu swoich posesji do kanalizacji deszczowej, gdyż nie jest ona wybudowana lub ma za mały zasięg, bardzo często odprowadzają je w sposób niezgodny z prawem do kanalizacji sanitarnej.

BIBLIOGRAFIA

- Hennerkes J. (2006). Reduzierung von Fremdwasser bei der Abwasserentsorgung. PhD Thesis, Aachener Schriften zur Stadtentwässerung, 10, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen. ss. 197.
- Kaczor G. (2009). Otwory we włączach kanalizacyjnych jako jedna z przyczyn przedostawania się wód przypadkowych do kanalizacji sanitarnej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 9, 155–163.
- Kaczor G. (2011). Wpływ wiosennych roztopów śniegu na dopływ wód przypadkowych do oczyszczalni ścieków bytowych. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus* 10(2), 27–35.
- Kaczor G. (2012). Wpływ wód infiltracyjnych i przypadkowych na funkcjonowanie małych systemów kanalizacyjnych. *Zeszyty naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie*, zeszyt nr 495, rozprawy, nr 372, ss. 228.
- Kaczor G., Bergel T. (2008). Wpływ wód przypadkowych na ładunki zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni i odprowadzanych do odbiornika. *Przemysł Chemiczny*, 87(5), 476–478.
- Kaczor G., Bugajski P. (2012). Impact of a snowmelt inflow on temperature of sewage discharged to treatment plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21, 2, 381–386.
- Kaczorowska Z. (1962). Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. PAN, Instytut Geografii, Pr. Geogr. 33, Warszawa, ss. 112.
- Madryas C., Przybyła B., Wysocki L. (2010). Badania i ocena stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych. *Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne*, Wrocław, ss. 312.
- Pecher R. (1999). Wody przypadkowe w sieci kanalizacyjnej – problem gospodarki wodnej. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 12, 1–6.
- Schilperoot R. (2004). Natural water isotopes for the quantification of infiltration and inflow in sewer systems. MSc thesis. Delf University of Technology, ss. 161.

- Ślizowski R., Chmielowski K. (2003). Wpływ temperatury na efekt oczyszczania w przydomowej oczyszczalni ścieków typu „Biocompact” w Tworkowej. *Inżynieria Rolnicza*, 3(45), 23–33.
- Wałęga A., Kaczor G. (2012). Wstępne badania nad wpływem wód przypadkowych na aktywność osadu czynnego oraz podatność ścieków na biodegradację. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 2, Warszawa, 100–102.
- Weiss G., Brombach H., Haller B. (2002). Infiltration and inflow in combined sewer systems: long term analysis. *Water Sci. Technol.*, 45(7), 11–19.

dr hab. inż. Grzegorz Kaczor.
dr hab. inż. Piotr Bugajski,
dr hab. inż. Tomasz Bergel
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 24/28
tel. 12 662 4188, 12 662 4039
rmkaczor@cyf-kr.edu.pl,
p.bugajski@ur.krakow.pl,
t.bergel@ur.krakow.pl.