



Wpływ sumy rocznej opadów atmosferycznych na objętość wód przypadkowych dopływających do kanalizacji sanitarnej

Grzegorz Kaczor, Krzysztof Chmielowski, Piotr Bugajski
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja, Kraków

1. Wprowadzenie

Od wdrożenia do realizacji wytycznych zawartych w Dyrektywie 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 roku podjęto w poszczególnych krajach Unii Europejskiej działania zmierzające do uporządkowania oraz poprawy stanu gospodarki ściekowej. W latach 2007-2013 na ten cel przeznaczono 14 mld €. W Polsce, w ramach realizacji Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (zgodnie z jego aktualizacją z 2009 roku), podjęto decyzję o budowie 177 nowych oczyszczalni ścieków oraz modernizacji lub rozbudowie kolejnych 596 takich obiektów. Zadeklarowano także budowę 30 641 km nowej sieci kanalizacyjnej oraz modernizację 2 883 km sieci istniejącej. Wszelkie działania podejmowane w celu ochrony i poprawy jakości wód powierzchniowych i podziemnych nie powinny jednak skupiać się wyłącznie na budowie nowych i modernizacji istniejących systemów do odprowadzania i oczyszczania ścieków. Równie ważną kwestią jest utrzymanie odpowiedniej skuteczności i niezawodności działania sieci kanalizacyjnych oraz oczyszczalni ścieków już istniejących, a niekwalifikujących się jeszcze pod względem ekonomicznym do modernizacji (Bielińska i in. 2014, Józwiakowski i in. 2015, Kotowski i in. 2014).

W przypadku istniejących i funkcjonujących sieci kanalizacyjnych najważniejszym priorytetem powinno być utrzymywanie ich szczelności, niezawodność działania oraz wymaganej przepustowości

(Madryas i in. 2010). Poprzez szczelność sieci kanalizacyjnej należy rozumieć przede wszystkim zabezpieczenie kanałów ściekowych przed dopływami wód infiltracyjnych i przypadkowych oraz ewentualną eksfiltracją ścieków z wnętrza kolektorów do gruntu (Kaczor 2012).

Eksfiltracja to niekontrolowany, podziemny wypływ ścieków z kanałów sanitarnych lub studni kanalizacyjnych poprzez uszkodzenia ich ścian, dna lub nieszczelności połączeń poszczególnych elementów sieci i jej uzbrojenia (Ellis & Bertrand-Krajewski 2010).

Wody infiltracyjne to głównie wody gruntowe dopływające do kanalizacji poprzez uszkodzenia przewodów, ich połączeń oraz nieszczelności ścian i dna studni kanalizacyjnych (Cieślak & Pawełek 2014). Dopływ ten następuje wtedy, gdy przewody kanalizacyjne lub obiekty sieciowe ułożone są poniżej zwierciadła wody gruntowej. Intensywność dopływu wód infiltracyjnych do kanałów ściekowych jest wprost proporcjonalna do wysokości zwierciadła wody gruntowej nad przewodem (Madryas i in. 2010).

Jednym z najpoważniejszych problemów eksploatacyjnych sieci kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków jest dopływ do tych obiektów wód przypadkowych (De Bénédittis 2004). Wody przypadkowe to najczęściej wody opadowe (deszczowe) lub roztopowe, przedostające się do wnętrza kanałów sanitarnych przez otwory włączowe lub wentylacyjne studni kanalizacyjnych, a także poprzez nielegalnie wykonywane przez mieszkańców włączenia do przykanalików rynien dachowych (Butler & Davis 2011), wpustów podwórzowych (Kaczor 2012) lub drenaży służących do odwodnienia posesji (Pecher 1999). Do wód przypadkowych zalicza się także kierowane do kanalizacji, w sposób zamierzony lub niezamierzony, wody odprowadzane podczas wykonywanych prac budowlanych lub remontowych, wody chłodnicze, a także wody przedostające się do kanalizacji przez otwory we włączach studzienek po splukiwaniu nawierzchni ulic lub myciu pojazdów.

Podczas eksploatacji sieci kanalizacyjnych wody przypadkowe, pojawiające się najczęściej podczas intensywnych opadów atmosferycznych, powodują przepełnienie kanałów, przeciążenie przepompowni ścieków, okresowe przepływy ścieków w kanałach grawitacyjnych w warunkach ciśnieniowych lub nawet w sytuacjach ekstremalnych wypływ ścieków ze studzienek kanalizacyjnych na powierzchnię terenu. Najbardziej negatywny wpływ wody przypadkowe wywierają na funk-

cjonowanie oczyszczalni, w których wymiary i pojemności poszczególnych obiektów technologicznych nie są przystosowane do okresowo zwiększonej przepustowości. Dopływ wód przypadkowych wpływa na przeciążenia hydrauliczne głównie takich obiektów jak piaskowniki oraz osadniki wstępne oraz wtórne. Wpływają one także negatywnie na funkcjonowanie reaktorów biologicznych, powodując obniżenie temperatury ścieków (zwłaszcza podczas roztopów śniegu) oraz skracają czas zatrzymania ścieków w poszczególnych komorach lub strefach reaktora (Kaczor 2011, Kaczor & Bugajski 2012). Nie bez znaczenia jest także obniżenie stężeń zanieczyszczeń w ściekach poprzez ich rozcieńczenie wodą deszczową, a tym samym ich zubożenie w substancje organiczne niezbędne dla rozwoju mikroorganizmów osadu czynnego (Kaczor i in. 2015, Bugajski i in. 2016). Oddziaływanie wód przypadkowych na wiele aspektów funkcjonowania oczyszczalni ścieków prowadzi w konsekwencji do okresowego obniżenia jej sprawności działania, a tym samym występowania zagrożenia zanieczyszczenia wód odbiornika ściekami niedostatecznie oczyszczonymi (Kowalik i in. 2015).

Objętość wód przypadkowych dopływających do sieci kanalizacyjnej zależy od warunków atmosferycznych (Wałęga i in. 2014). Jednak w literaturze dotyczącej problematyki wód obcych brakuje informacji oraz wyników badań potwierdzających, że objętość wód przypadkowych dopływających do kolektorów ściekowych zależy od sumy rocznej opadów atmosferycznych. Taka analiza możliwa jest do przeprowadzenia dopiero po uzyskaniu długoletnich ciągów pomiarowych. W ramach niniejszej publikacji, na podstawie 12 letniego ciągu obserwacyjnego, podjęto próbę określenia siły związku korelacyjnego pomiędzy omawianymi parametrami.

2. Cel i zakres badań

Celem badań była ocena siły związku korelacyjnego pomiędzy roczną sumą opadów atmosferycznych oraz roczną objętością wód przypadkowych dopływających do 3 wybranych sieci kanalizacyjnych. W analizie wykorzystano 12 letnie ciągi pomiarowe, obejmujące sumy roczne opadów atmosferycznych dla Krakowa oraz roczne objętości wód przypadkowych dopływających do 3 rozdzielczych sieci kanalizacyjnych, odprowadzających ścieki bytowe z osiedli mieszkalnych, w latach 2004-2015.

3. Metodyka badań

Roczną sumę opadów atmosferycznych dla aglomeracji krakowskiej odczytano dla analizowanych lat 2004-2015 z Roczników Statystycznych Rzeczypospolitej Polskiej.

Roczne objętości wód przypadkowych określono na podstawie analizy dobowych dopływów ścieków do trzech badanych sieci kanalizacyjnych podczas pogody bezdeszczowej (tzw. suchej) oraz pogody deszczowej (tzw. mokrej). Przepływy ścieków mierzono na terenie oczyszczalni, do których były one odprowadzane z analizowanych sieci kanalizacyjnych. Pomiar dobowych przepływów ścieków, w przypadku każdego obiektów, wykonywano za pomocą takich samych układów pomiarowych, składających się z sondy poziomego nad przelewem trójkątnym. W rocznym ciągu pomiarowym dany dobowy odpływ ścieków z kanalizacji zaliczano do pogody suchej, jeżeli w tym dniu oraz w pięciu dniach poprzedzających nie wystąpił żaden opad atmosferyczny, lub wystąpił, ale jego wysokość dobową nie przekraczała 1 mm. Informację o braku lub występowaniu opadów atmosferycznych odczytano z dzienników eksploatacyjnych poszczególnych oczyszczalni.

Średni dobowy odpływ ścieków z kanalizacji, w danym roku, podczas pogody bezdeszczowej posłużył do ustalenia przeciętnej ilości tzw. ścieków właściwych, czyli nie zawierających wód przypadkowych. Podczas pogody mokrej, czyli w okresie opadów atmosferycznych, części dobowych przepływów ścieków wyższe od ustalonego przeciętnego poziomu ścieków właściwych zaliczano do wód przypadkowych. Zatem dobową objętość wód przypadkowych obliczano według wzoru (1):

$$Q_{dp} = Q_{dm} - Q_{ds} \quad (1)$$

gdzie:

Q_{dp} – dobowy dopływ do kanalizacji wód przypadkowych ($m^3 \cdot d^{-1}$),

Q_{dm} – dobowy dopływ do kanalizacji mieszaniny ścieków właściwych i wód przypadkowych podczas pogody mokrej ($m^3 \cdot d^{-1}$),

Q_{ds} – średni dobowy dopływ do kanalizacji ścieków właściwych (bez wód przypadkowych) podczas pogody suchej ($m^3 \cdot d^{-1}$).

W analizach porównawczych roczną objętość wód przypadkowych, która dopłynęła do kanalizacji, opisuje się najczęściej za pomocą dwóch wskaźników wyrażanych w procentach. Są to udział wód przy-

padkowych oraz dodatek wód przypadkowych (Pecher 1999). Roczny udział wód przypadkowych, w odniesieniu do rocznej objętości mieszaniny ścieków właściwych i wód przypadkowych, oblicza się według wzoru (2):

$$UWP = \frac{Q_{rp}}{Q_r} \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie:

UWP – roczny udział wód przypadkowych w kanalizacji (%),

Q_{rp} – roczna objętość wód przypadkowych dopływających do kanalizacji (m^3),

Q_r – roczna objętość mieszaniny ścieków właściwych i wód przypadkowych dopływających do kanalizacji (m^3).

Roczny dodatek wód przypadkowych ustala się natomiast zgodnie ze wzorem (3):

$$DWP = \frac{Q_{rp}}{Q_{rs\dot{w}}} \cdot 100 \quad (3)$$

gdzie:

DWP – roczny dodatek wód przypadkowych w kanalizacji (%),

Q_{rp} – roczna objętość wód przypadkowych dopływających do kanalizacji (m^3),

$Q_{rs\dot{w}}$ – roczna objętość ścieków właściwych (bez wód przypadkowych) dopływająca do kanalizacji (m^3).

Obliczone dla każdego roku wielolecia wartości Q_{dp} , UWP , DWP zestawiono z rocznymi sumami opadów, a następnie poddano analizie statystycznej. Analizę korelacji pomiędzy badanymi zmiennymi przeprowadzono za pomocą odpowiednich funkcji i procedur obliczeniowych programu komputerowego Statistica.

4. Opis obiektów badań

Badaniami objęto 3 wybrane sieci grawitacyjnej kanalizacji rozdzielczej, wykonane z kamionki, odprowadzające ścieki bytowe z osiedli domów jednorodzinnych zlokalizowanych w bliskim sąsiedztwie Krakowa (województwo małopolskie). Ze względu na brak zgody ze strony eksploatatorów obiektów na ujawnienie nazw miejscowości, w niniejszej pracy badane sieci kanalizacyjne oznaczono indeksami A, B i C. Ogólną

charakterystykę poddanych analizie porównawczej obiektów badań przedstawiono w tabeli 1.

Długość poddanych analizie sieci kanalizacyjnych waha się od 9,0 do 15,2 km. Wiek kanalizacji jest zbliżony, ponieważ ich budowę rozpoczęto w tym samym okresie. We wszystkich analizowanych sieciach kanalizacyjnych, w okresie pogody mokrej, zaobserwowano zwiększone przepływy ścieków powodowane wodami przypadkowymi. Wizje terenowe oraz wywiady z eksploatatorami kanalizacji wykazały, że przyczyn dopływu wód przypadkowych do kolektorów należy upatrywać głównie w nielegalnie wykonanych przez mieszkańców podłączeniach rynien dachowych oraz wpustów podwórzowych do kanalizacji sanitarnej.

Tabela 1. Ogólna charakterystyka analizowanych sieci kanalizacyjnych
Table 1. General characteristics of the investigated sewerage networks

Parametr	Kanalizacja		
	A	B	C
Długość sieci [km]	9,0	11,0	15,2
Materiał rur [-]	kamionka		
Wiek kanalizacji [lata]	18	17	17
Liczba przyłączy [szt]	330	470	455
Liczba mieszkańców [-]	1485	2120	2050
Odległość od stacji opadowej [km]	8,7	10,7	8,5

W trakcie wizji lokalnych na trasie kanalizacji zważono wiele włączów studni kanalizacyjnych obniżonych względem powierzchni drogi lub chodnika. W okresie opadów spływające wody deszczowe gromadzą się nad takim włączem i przedostają do wnętrza studzienek przez otwory w pokrywie.

5. Analiza wyników badań

W pierwszym etapie badań, oddzielnie dla każdej kanalizacji oraz roku, obliczono sumaryczną objętość ścieków oraz sumaryczną objętość wód przypadkowych. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 2. W tabeli tej zamieszczono dodatkowo roczne sumy opadów dla poszczególnych lat badań oraz obliczoną dla każdego roku wartość udziału oraz dodatku wód przypadkowych. Oznaczenia poszczególnych zmiennych w nagłówkach kolumn tabeli 2 są zgodne z podanymi we wzorach (2) i (3).

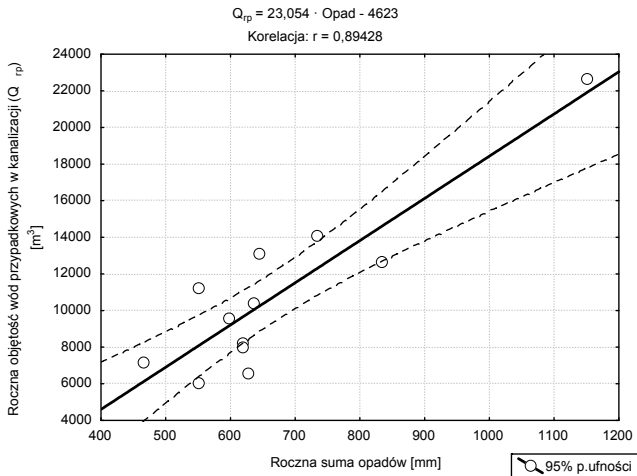
Tabela 2. Roczne objętości ścieków i wód przypadkowych dopływające do poszczególnych kanalizacji na tle rocznych sum opadów**Table 2.** Annual volume of sewage and accidental water entering individual sewerage systems compared with total annual precipitation

Rok	Σ roczna opadów (mm)	Q _r (m ³)	Q _{rśw} (m ³)	Q _p (m ³)	UWP (%)	DWP (%)
Kanalizacja A						
2015	551	67277,5	61208,6	6068,9	9,0	9,9
2014	627	71463,0	64867,2	6595,8	9,2	10,2
2013	644	79829,0	66760,8	13068,2	16,4	19,6
2012	619	72017,0	63805,7	8211,3	11,4	12,9
2011	467	76823,0	69665,2	7157,8	9,3	10,3
2010	1150	95007,0	72374,6	22632,4	23,8	31,3
2009	735	84176,0	70093,1	14082,9	16,7	20,1
2008	619	79288,0	71291,9	7996,1	10,1	11,2
2007	834	86902,0	74222,9	12679,1	14,6	17,1
2006	552	76423,0	65188,6	11234,4	14,7	17,2
2005	637	65977,0	55572,1	10404,9	15,8	18,7
2004	598	63953,0	54363,5	9589,5	15,0	17,6
Średnia	669,4	76594,6	65784,5	10810,1	14,1	16,4
Kanalizacja B						
2015	551	158511,1	116033,5	42477,5	26,8	36,6
2014	627	167634,5	123082,9	44551,6	26,6	36,2
2013	644	152599,5	100099,2	52500,3	34,4	52,4
2012	619	120696,0	88099,9	32596,1	27,0	37,0
2011	467	119888,0	79864,1	40023,9	33,4	50,1
2010	1150	165155,0	88887,2	76267,8	46,2	85,8
2009	735	159640,0	108144,8	51495,2	32,3	47,6
2008	619	117350,0	81448,4	35901,6	30,6	44,1
2007	834	113225,0	64975,0	48250,0	42,6	74,3
2006	552	80593,0	55071,1	25521,9	31,7	46,3
2005	637	78835,0	47426,9	31408,1	39,8	66,2
2004	598	74930,0	45640,1	29289,9	39,1	64,2
Średnia	669,4	125754,8	83231,1	42523,7	33,8	51,1
Kanalizacja C						
2015	551	313814,0	257156,0	56658,0	18,1	22,0
2014	627	361749,0	293871,7	67877,3	18,8	23,1
2013	644	392220,0	316828,0	75392,0	19,2	23,8
2012	619	309180,0	250786,2	58393,8	18,9	23,3
2011	467	292348,0	237148,1	55199,9	18,9	23,3
2010	1150	367381,0	224123,0	143258,0	39,0	63,9
2009	735	297120,0	191677,6	105442,4	35,5	55,0
2008	619	246326,0	169550,9	76775,1	31,2	45,3
2007	834	289903,0	192571,1	97331,9	33,6	50,5
2006	552	224183,0	179181,3	45001,7	20,1	25,1
2005	637	259933,0	199147,7	60785,3	23,4	30,5
2004	598	240797,0	187916,2	52880,8	22,0	28,1
Średnia	669,4	299579,5	224996,5	74583,0	24,9	33,1

Przeprowadzone badania wykazały, że w analizowanym wieloleciu 2004-2015 największe objętości wód przypadkowych dopływały do kanalizacji C. Średnia roczna objętość tych wód wynosiła $74\,583\text{ m}^3$.

Objętość ta stanowiła 24,0% średniego rocznego odpływu ścieków z tej kanalizacji. Najmniejsze ilości wód przypadkowych dopływały natomiast do kanalizacji A. Średnia roczna objętość tych wód w analizowanym wieloleciu wyniosła $10\,810\text{ m}^3$, co stanowiło 14,1% średniego rocznego odpływu ścieków z tej kanalizacji. W obiekcie badawczym B roczna objętość wód przypadkowych była o $32\,059\text{ m}^3$ mniejsza niż w C, ale udział tych wód stanowił aż 33,8% średniego rocznego odpływu wszystkich ścieków z tej kanalizacji.

Obliczona w tabeli 2 wartość dodatku wód przypadkowych (DWP) wskazuje, że podczas pogody mokrej wody te powodują wzrost dobowego przepływu ścieków w kanalizacji A – średnio o 16,5%, w kanalizacji B – średnio o 51,1% a w kanalizacji C – średnio o 33,1%.



Rys. 1. Przykładowy wykres rozrzutu wpływu rocznej sumy opadów atmosferycznych na roczną objętość wód przypadkowych dopływających do kanalizacji A

Fig. 1. Example scatterplot relationship between annual precipitation totals and annual volume accidental water entering into sewer A

Drugi etap przeprowadzonych badań obejmował ocenę siły korelacji pomiędzy sumą roczną opadów atmosferycznych i roczną objętością wód przypadkowych dopływających do analizowanych sieci kanalizacyjnych (rys. 1). Dodatkowo przeanalizowano zależność korelacyjną

pomędzy sumą roczną opadów atmosferycznych oraz wartością udziału lub dodatku wód przypadkowych. Analizę korelacji, a następnie regresji liniowej wykonano za pomocą programu komputerowego Statistica. Szczegółowe wyniki tej analizy zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie wyników analizy korelacji oraz regresji liniowej
Table 3. Summary results of the correlation analysis and linear regression

Objekt badań	\bar{x}	σ	r	Siła korelacji	r^2	t	p	b	a
Wpływ sumy rocznej opadów na roczną objętość wód przypadkowych (Q_p)									
A	10810,1	4564,2	0,89	bardzo wysoka	0,80	6,32	0,000087	-4622,71	23,05
B	42523,7	13790,6	0,82	bardzo wysoka	0,67	4,55	0,001057	-295,31	63,70
C	74583,0	28174,8	0,93	niemal pełna	0,87	8,28	0,000009	-24929,70	148,66
Wpływ sumy rocznej opadów na wartość udziału wód przypadkowych (UWP)									
A	13,8	4,3	0,81	bardzo wysoka	0,65	4,30	0,001568	0,66	0,02
B	34,2	6,5	0,70	bardzo wysoka	0,49	3,03	0,012754	17,34	0,03
C	24,9	7,7	0,81	bardzo wysoka	0,66	4,39	0,001355	1,34	0,04
Wpływ sumy rocznej opadów na wartość dodatku wód przypadkowych (DWP)									
A	16,3	6,1	0,83	bardzo wysoka	0,69	4,72	0,000817	-2,86	0,03
B	53,4	15,9	0,74	bardzo wysoka	0,55	3,48	0,005907	8,78	0,07
C	34,5	14,9	0,84	bardzo wysoka	0,70	4,82	0,000704	-12,72	0,07

Oznaczenia zmiennych zawartych w tabeli 3: \bar{x} – średnia arytmetyczna danej zmiennej, σ – odchylenie standardowe danej zmiennej, r – wartość współczynnika korelacji Pearsona, r^2 – wartość współczynnika determinacji, t – wartość statystyki t-Studenta badającej istotność współczynnika korelacji, p – wyliczony poziom istotności (powinien być mniejszy od założonego poziomu istotności wynoszącego 0,05), b – wyraz wolny regresji liniowej, a – współczynnik kierunkowy regresji liniowej.

Przeprowadzone badania wykazały, że istnieje bardzo wysoka w przypadku obiektu A i B oraz niemal pełna w przypadku obiektu C korelacja pomiędzy roczną sumą opadów i roczną objętością wód przypadkowych dopływających do analizowanych sieci kanalizacyjnych. Dodatkowo wykazano, że istnieje także bardzo wysoka korelacja pomiędzy roczną sumą opadów i rocznym udziałem oraz dodatkiem wód przypad-

kowych. Wszystkie obliczone wartości współczynnika korelacji Pearsona okazały się istotne statystycznie na przyjętym poziomie 0,05. Wyniki analizy korelacji potwierdziły, że badane sieci kanalizacyjne są zasilane wodami opadowymi, przez co w konsekwencji funkcjonują one podobnie jak kanalizacja ogólnospławna.

Za pomocą analizy regresji dla każdego obiektu badań obliczono parametry równań funkcji liniowych, pozwalających na podstawie sumy rocznej opadów, wyrażonej w mm, prognozować roczną objętość wód przypadkowych oraz ich udział i dodatek: $Q_{rp} = a \cdot \Sigma \text{roczna opadów} + b$, $UWP = a \cdot \Sigma \text{roczna opadów} + b$, $DWP = a \cdot \Sigma \text{roczna opadów} + b$. Parametry „a” oraz „b” wymienionych równań zamieszczono w tabeli 3.

Po podstawieniu wartości liczbowych do poszczególnych równań obliczono, że wzrost sumy rocznej opadów o 100 mm spowoduje wzrost rocznej objętości wód przypadkowych dopływających do kanalizacji A o 2 305 m³, do kanalizacji B o 6 379 m³, a do kanalizacji C aż o 14 866 m³. Analogicznie wzrost rocznej sumy opadów o 100 mm będzie powodować wzrost wartości UWP w przypadku obiektu A o 2%, obiektu B o 3%, natomiast obiektu C aż o 4%.

W ostatnich czterech latach (2012-2015) suma roczna opadów dla Krakowa wahała się od 467 do 644 mm. Takie sumy roczne dla tej miejscowości charakteryzują według systematyki Kaczorowskiej (1962) odpowiednio lata od bardzo suchych do normalnych. W okresie tym wartości UWP w badanych kanalizacjach nie przekraczały 17% w przypadku obiektu A, 35% w przypadku obiektu B i 20% w przypadku obiektu C. Jednak przeprowadzona analiza regresji wskazuje, że jeżeli pojawią się na terenie zlewni tych kanalizacji opady o sumie rocznej takiej, jaka miała miejsce przykładowo w roku 2010 (1150 mm), to wartości UWP mogą wzrosnąć, w przypadku obiektu A o 6%, w przypadku obiektu B o 11%, natomiast w przypadku obiektu C aż o 19%.

Uzyskane na podstawie analiz wyniki badań dają podstawy do zintensyfikowania działań mających na celu wyeliminowanie nielegalnych podłączeń rynien dachowych lub wpustów podwórzowych do analizowanych sieci kanalizacyjnych. Jest to szczególnie istotne w przypadku kanalizacji B i C.

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz wyników analiz sformułowano następujące wnioski:

- W odniesieniu do analizowanych obiektów badań występuje bardzo wysoka lub w niektórych przypadkach niemal pewna, zależność korelacyjna pomiędzy roczną sumą opadów atmosferycznych oraz roczną objętością wód przypadkowych dopływających do kolektorów kanalizacyjnych.
- Stwierdzono występowanie bardzo silnej korelacji pomiędzy roczną sumą opadów atmosferycznych a wartością udziału oraz dodatku wód przypadkowych dopływających wszystkich badanych kanalizacji.
- Obliczone parametry równań regresji pozwalają prognozować obciążenie hydrauliczne badanych sieci kanalizacyjnych wodami przypadkowymi w sytuacji wystąpienia lat wilgotnych lub skrajnie wilgotnych, charakteryzujących się wysoką roczną sumą opadów.
- Na podstawie sformułowanych równań liniowej funkcji regresji obliczono, że wzrost sumy rocznej opadów o 100 mm spowoduje wzrost rocznej objętości wód przypadkowych dopływających do kanalizacji A o 2 305 m³, do kanalizacji B o 6 379 m³, a do kanalizacji C o 14 866 m³. Analogicznie wzrost rocznej sumy opadów o 100 mm będzie powodować wzrost wartości UWP w przypadku obiektu A o 2%, obiektu B o 3%, natomiast obiektu C – aż o 4%.
- Uzyskane wyniki badań, po przekazaniu ich eksploatatorom analizowanych sieci kanalizacyjnych, powinny stać się przyczynkiem do podjęcia intensywnych i skutecznych działań mających na celu wyeliminowanie nielegalnych podłączeń rynien dachowych lub wpustów podwórzowych do kanalizacji sanitarnej. Jednocześnie powinien być wykonany przegląd zwieńczeń studni kanalizacyjnych w aspekcie zalewania wodami opadowymi pokryw włączów obniżonych w stosunku do powierzchni terenu.

Literatura

- Andraka, D., Dzienis, L. (2013). Modelowanie ryzyka w eksploatacji oczyszczalni ścieków. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 1111-1125.
- Bielińska, E.J., Baran, S., Pawłowski, L., Józwiakowski, K., Futa, B., Bik-Małodzińska, M., Mucha, Z., Generowicz, A. (2014). Theoretical aspects of integrated protection of suburban areas. *Problems of sustainable development*, 9(1), 127-139.
- Bugajski, P., Chmielowski, K., Kaczor, G. (2016). Wpływ dopływu wód opadowych na jakość ścieków w małym systemie kanalizacyjnym. *Acta Scientiarum Polonorum (Formatio Circumiectus)*, 15(2), 1-9.
- Butler, D., Davies, J.W. (2011). *Urban Drainage*. 3rd Edition. London and New York: Spon Press an imprint of Taylor & Francis.
- Cieślak, O., Pawełek, J. (2014). Dopływ wód obcych do kanalizacji sanitarnej na przykładzie gminy Mézos we Francji. *Instal*, 7-8, 90-95.
- De Bénédittis, J. (2004). *Mesurage de l'infiltration et de l'exfiltration dans les réseaux d'assainissement. Le grade de docteur*. INSA de Lyon, Villeurbanne, France.
- Ellis, J.B., Bertrand-Krajewski, J.L. (2010). *Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems*. IWA Publishing.
- Józwiakowski, K., Mucha, Z., Generowicz, A., Baran, S., Bielińska, J. (2015). The use of multi-criteria analysis for selection of technology for a household WWTP compatible with sustainable development. *Archives Of Environmental Protection*, 41(3), 76-82.
- Kaczor, G. (2011). Wpływ wiosennych roztopów śniegu na dopływ wód przypadkowych do oczyszczalni ścieków bytowych. *Acta Scientiarum Polonorum (Formatio Circumiectus)*, 10(2), 27-34.
- Kaczor, G. (2012). Wpływ wód infiltracyjnych i przypadkowych na funkcjonowanie małych systemów kanalizacyjnych. Rozprawa habilitacyjna, nr 372, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie*, nr 495.
- Kaczor, G., Bergel, T., Bugajski, P. (2015). Impact of extraneous waters on the proportion of sewage pollution indices regarding its biological treatment. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, IV/3/2015, 1251-1260.
- Kaczor, G., Bugajski, P. (2012). Impact of 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. Prace Geograficzne*, 33, Instytut Geograficzny PAN.
- Kotowski, A., Kaźmierczak, B., Nowakowska, M. (2014). Analiza przeciężeń kanalizacji deszczowej na osiedlu Rakowiec we Wrocławiu wywołanych zmianami klimatu. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 16, 608-626.

- Kowalik, T., Bogdał, A., Borek, Ł., Kogut, A. (2015). The effect of treated sewage outflow from a modernized sewage treatment plant on water quality of the Breń river. *Journal of Ecological Engineering*, 16(4), 96-102.
- Madryas, C., Przybyła, B., Wysocki, L. (2010). *Badania i ocena stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych*. Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne.
- Pecher, R. (1999). Wody przypadkowe w sieci kanalizacyjnej – problem gospodarki wodnej. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 12/1999, 1-6.
- Wałęga, A., Cupak, A., Pawełek, J., Michalec, B. (2014). Transformation of Pollutants in the Stormwater Treatment Process. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(3), 909-916.

The Effect of Total Annual Precipitation on the Volume of Accidental Water Entering Sanitary Sewage System

Abstract

The aim of the study was to find out the strength of the correlation between total annual precipitation and annual volume of accidental water entering three selected sewerage systems. Accidental water is usually precipitation or melt water entering the sanitary sewers via manhole wells or the outlets of rain gutters, yard gullies or local drainage systems illegally connected to the drains. The analysis included 12-year measurement series covering total annual precipitation for Kraków and annual volume of accidental water entering three distribution sewerage networks discharging domestic sewage from residential areas in the years 2004-2005. The study revealed a significant and very strong correlation between total annual precipitation and annual volume of accidental water entering the investigated sewerage systems. Results of regression equations showed that a 100 mm increase in total annual precipitation would enhance the annual volume of accidental water supplied to the analyzed sewerage systems from 2 305 up to 14 866 m³. This clearly indicates the need to intensify the efforts aimed at elimination of illegal connections of rain gutters and yard gullies to the investigated sewerage systems.

Streszczenie

Celem badań była ocena siły korelacji pomiędzy roczną sumą opadów atmosferycznych i roczną objętością wód przypadkowych dopływających do 3 wybranych sieci kanalizacyjnych. Wody przypadkowe to najczęściej wody opadowe lub roztopowe przedostające się do wnętrza kanałów sanitarnych przez włazy studni kanalizacyjnych oraz nielegalnie wykonywane włączenia do przykanalików wylotów rynien dachowych, wpustów podwórzowych lub wylotów

drenaży służących do odwodnienia posesji. Analizę oparto na 12 letnich ciągach pomiarowych, obejmujących sumy roczne opadów atmosferycznych dla Krakowa oraz roczne objętości wód przypadkowych dopływających do 3 rozdzielczych sieci kanalizacyjnych, odprowadzających ścieki bytowe z osiedli mieszkaniowych w latach 2004-2015. Przeprowadzone badania wykazały istotną statystycznie, bardzo wysoka korelację pomiędzy roczną sumą opadów atmosferycznych i roczną objętością wód przypadkowych dopływających do badanych sieci kanalizacyjnych. Na podstawie równań funkcji regresji obliczono, że wzrost sumy rocznej opadów o 100 mm spowoduje wzrost rocznej objętości wód przypadkowych dopływających do analizowanych kanalizacji od 2 305 aż do 14 866 m³. Uzyskane wyniki badań, powinny być sygnałem do podjęcia przez eksploatatorów sieci kanalizacyjnych intensywnych i skutecznych działań mających na celu wyeliminowanie nielegalnych połączeń rynien dachowych lub wpustów podwórzowych do kolektorów sanitarnych.

Słowa kluczowe:

kanalizacja, ścieki, wody przypadkowe, opady, oczyszczalnia ścieków

Keywords:

sewerage system, sewage, accidental water, precipitation, sewage treatment plant