

Bożena GIL, Wojciech KORAL

INSTYTUT INŻYNIERII WODY I ŚCIEKÓW
POLITECHNIKA ŚLĄSKA

PRZEDSIĘBIORSTWO WODOCIĄGÓW I KANALIZACJI
GLIWICE

KORZYŚCI PŁYNĄCE Z ZASTOSOWANIA ZINTEGROWANEGO PODEJŚCIA DO MONITORINGU SIECI WOD-KAN

THE BENEFITS OF AN INTEGRATED APPROACH TO JOINT MONITORING OF WATER AND SEWAGE NETWORK

Rising interest in water and sewage system operation has been observed in recent years. This development is related to both the expansion of water and sewage systems [11] as well as the development of their monitoring system. The aim of the study is to present the benefits of using information obtained from the monitoring of the water supply system with the information derived from the monitoring of the sewage system. An integrated approach to metering of hydraulic parameters of water supply and sewage requires the separation of integrated measurement zone – the water supply network should cover the related sewer catchment. Comparing the information from two independent monitoring systems allows operators to control of the mutual interactions between the systems in real time.

For example on the basis of the water/sewer balance, the amount of: random waters (with our without rain), wastewater discharged (from a residential zone or industrial zone) can be determined. Also the failure in the water supply system (resulting in an increase in the amount of incoming wastewater) can be confirmed. Such a joint approach to the monitoring allows the operator also to shorten the response time in case of emergency occurring both in the water supply and sewage systems.

1. Wprowadzenie

Wprowadzenie monitoringu parametrów hydraulicznych (ciśnienia, przepływów) w wydzielonych zamkniętych strefach sieci wodociągowej pozwala na analizę przestrzenno-czasową zmian zachodzących w układzie.

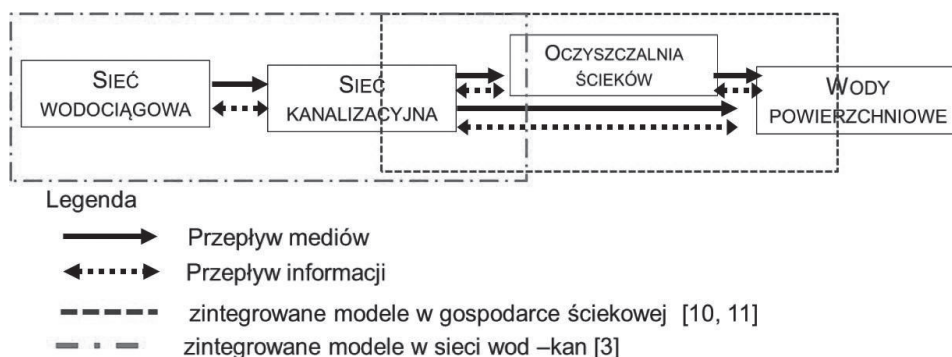
Analiza ta pozwala między innymi na [6]:

- regulację systemu w trybie on-line, z jednoczesnym stałym nadzorem nad wprowadzanymi modyfikacjami,
- wykonanie zaawansowanych analiz (hydraulicznych, stanu technicznego, niezawodnościowych itd.),
- wykonanie analiz przyczynowo-skutkowych po wystąpieniu zdarzeń nietypowych czy awaryjnych, wykonywanych na podstawie danych archiwalnych, np. lokalizację zamkniętych zasuw, zmian kierunków zasilania czy zmian profilu ciśnienia,
- prognozowanie przyszłych zdarzeń na podstawie danych archiwalnych,
- planowanie modernizacji/rozbudowy systemu wodociągowo-kanalizacyjnego na podstawie rzeczywistych danych
- praktycznie natychmiastową reakcję w wypadku awarii systemu wodociągowo-kanalizacyjnego.

Doświadczenia płynące z zastosowania strefowego monitoringu w sieci wodociągowej stopniowo przenoszone są na sieć kanalizacyjną. Obecnie w naszym kraju system monitoringu hydraulicznego sieci kanalizacyjnej opiera się głównie na monitoringu pompowni ścieków. Charakter sieci kanalizacji grawitacyjnej pozwala na podział zlewni kanalizacyjnej, na mniejsze reprezentatywne zlewnie cząstkowe, zakończone punktami pomiarowymi. Jednakże ze względu na charakter jakościowy ścieków lokalizacja punktów pomiarowych (i dobór urządzeń pomiarowych) wymaga dużego doświadczenia eksploatatora sieci [5].

Uzyskane informacje o dynamicznie zmieniających się warunkach hydraulicznych w poszczególnych punktach sieci wodociągowej czy sieci kanalizacyjnej mogą być wykorzystywane przez eksploatatora do monitorowania, sterowania oraz zarządzania poszczególnymi elementami sieci.

W celu pełnego wykorzystania informacji, uzyskanych z poszczególnych systemów monitoringu, można informację z danego podsystemu wykorzystać również do monitorowania pracy kolejnego elementu systemu, co przedstawia rys. 1. Takie podejście całościowe do monitoringu sieci wod-kan pozwala na maksymalne wykorzystanie uzyskiwanych danych, które służą w czasie rzeczywistym do kontroli wewnętrznej systemu.



Rys. 1 Schemat blokowy zintegrowanego systemu gospodarki wodno-ściekowej [1, 2, 3]
 Pic 1. Block diagram of integrated system of water supply and wastewater disposal [1, 2, 3]

Zintegrowane podejście do gospodarki wodno-ściekowej nie jest nowym pomysłem. W artykule Becka z 1976 [1] oraz w artykule M. Schütza z 1985 [3] przedstawiono idee całościowego podejścia do gospodarki wodno-ściekowej, które pozwalają w czasie rzeczywistym na:

- kontrolę wewnętrzną poszczególnych elementów podsystemu na podstawie informacji z innego podsystemu zgodnie z kierunkiem przepływu mediów (np. działanie pomp w kanalizacji sanitarnej sterowane przez stężenie zawartości tlenu w dopływających ściekach do pompowni),
- kontrolę pracy podsystemu w oparciu o informację zwrotną (sprzężenie zwrotne) o stanie innego elementu podsystemów (np. działanie pompowni ścieków uwzględniające informację o obciążeniu hydraulicznym oczyszczalni ścieków w czasie pogody deszczowej).

Celem pracy jest przedstawienie korzyści jakie płyną z zastosowania zintegrowanego podejścia do monitoringu sieci wod-kan. Podejście całościowe do systemu dostarcza dodatkowych informacji o pracy sieci wod-kan i może być kolejnym etapem rozwoju systemu monitoringu. Podejście takie nie neguje wykorzystania monitoringu sieci wodociągowej czy monitoringu sieci kanalizacyjnej do sterowania, prognozowania i analizowania zjawisk zachodzące w poszczególnych elementach systemu. Dostarcza jednak dodatkowych informacji, co pozwala na optymalne wykorzystanie wiedzy uzyskanej z poszczególnych podsystemów monitoringu.

2. Zintegrowany system monitoringu sieci wod-kan dla wybranej zlewni pilotowej

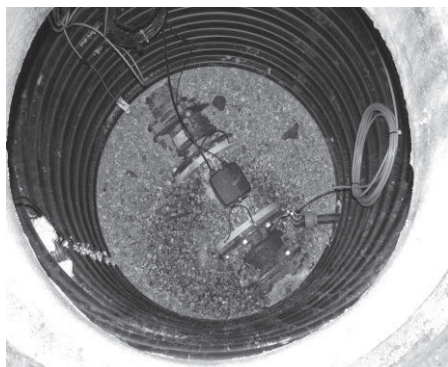
2.1. Główne założenia przyjęte przy wyborze zlewni pilotowej

Przy wyborze pilotowej zlewni zurbanizowanej przyjęto następujące założenia:

- możliwość wydzielenia zamkniętego obszaru zasilanego z monitorowanego źródła/źródeł wody,
- występowanie systemu kanalizacji rozdzielczej,
- możliwość wydzielenia na wybranym obszarze całości lub fragmentu sieci kanalizacyjnej sanitarnej z możliwością opomiarowania sieci (monitoring napełnienia kanałów lub przepływu ścieków),
- możliwość wykonania bilansu wodno-ściekowego dla zlewni pilotowej.

Podstawą opracowania zintegrowanego podejścia do monitoringu sieci wod-kan jest możliwość przeprowadzenia bilansu wodno-ściekowego w wytypowanym obszarze. Może to wiązać się z koniecznością wprowadzenia dodatkowych punktów pomiarowych na sieci wodociągowej lub sieci kanalizacyjnej.

Wprowadzenie dodatkowych punktów pomiarowych, a tym samym stref opomiarowania na sieci wodociągowej, z punktu widzenia technicznego, możliwe jest poprzez zastosowanie wodomierzy (w przypadku tylko zasilania strefy) lub przepływomierzy (w przypadku możliwości pracy dwukierunkowej). Przykład wykonania punktów pomiarowych (z zastosowaniem przepływomierzy) dla sieci wodociągowej przedstawia rys. 2.



przeptywomierz kołnierzowy



przeptywomierz sztycowy

Rys. 2 Przykład wykonania dodatkowych punktów pomiarowych na sieci wodociągowej z zastosowaniem przeptywomierzy elektromagnetycznych

Pic 2. Examples of additional measuring points on the water supply system with the use of electromagnetic flowmeters

W przypadku sieci kanalizacyjnej również możliwe jest wprowadzenie dodatkowych punktów pomiarowych (zamykających obszar zlewni cząstkowej) wyposażonych w przeptywomierze przeznaczone do koryt otwartych (metody pomiarów bezpośrednie i pośrednie - rys. 3 [12]) lub przeptywomierze elektromagnetyczne (co wymaga jednak przebudowy sieci kanalizacyjnej [5, 12]).



przeptywomierz ultradźwiękowy
(PCM F firmy NIVUS)



przeptywomierz radarowy
(FlowSIREN firmy Blue-Siren)

Rys. 3 Przykład wykonania punktów kontrolnych na sieci kanalizacyjnej z wykorzystaniem przeptywomierzy do koryt otwartych

Pic 3. Examples of additional measuring points on the sewerage system with the use of flow meters to open channels

Wybór rozwiązania technicznego dla sieci kanalizacyjnej jest uwarunkowany panującymi warunkami hydraulicznymi w danym punkcie sieci (np. minimalne napełnienie kanału ściekami w godzinach nocnych, zakres min-max prędkości i przepływu ścieków, występowanie osadów kanalizacyjnych, ...).

Przy wyznaczeniu dodatkowych zlewni cząstkowych na sieci kanalizacyjnej warto uwzględnić charakter funkcjonalno-użytkowy obszaru zurbanizowanego, np. osobne wyznaczenie zlewni cząstkowej dla terenu mieszkaniowego z zabudową jednorodziną, terenu o zabudowie wielorodzinnej czy strefie usługowo-produkcyjnej. Takie podejście zostało przyjęte przy wyborze zlewni pilotowych, opisanych w dalszej części.

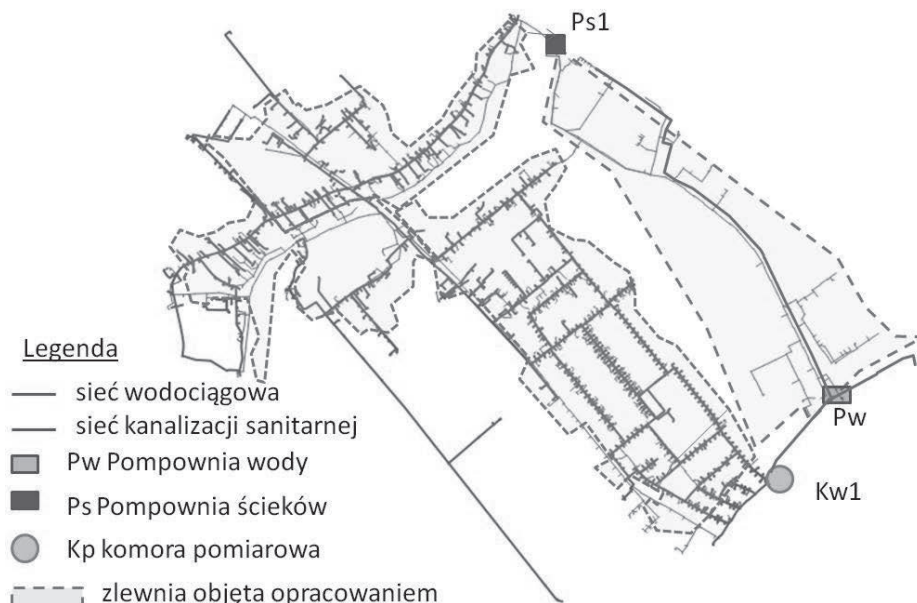
Jednocześnie należy podkreślić, że zintegrowane podejście do monitoringu sieci wod-kan opiera się m.in. na bilansie wodno-ściekowym, dlatego przy wyborze rozwiązania technicznego (a w tym przypadku i miejsca pomiarowego) należy również uwzględnić wielkość akceptowalnego błędu pomiarowego stosowanych urządzeń. Niestety obecnie wielkość błędu pomiarowego wyznaczonego dla punktów pomiarowych, w przypadku przepływomierzy do koryt otwartych, jest najczęściej większy niż wielkość błędu pomiarowego dla punktów kontrolnych na sieci wodociągowej.

2.2. Charakterystyka zlewni pilotowej

Do badań wytypowano pilotową zlewnię podmiejsko-przemysłową, zlokalizowaną w zachodniej części Aglomeracji Górnośląskiej. Wytypowany obszar zlewni pilotowej obejmuje swoim zasięgiem dwa niezależnie ciśnieniowo obszary sieci wodociągowej (zasilane z dwóch różnych źródeł) oraz pięć zlewni kanalizacyjnych, odprowadzających końcowo ścieki z kanalizacji sanitarnej do pompowni ścieków Ps1 (zlokalizowanej w północno-zachodniej części wyznaczonego obszaru -rys. 4).

Na wyznaczonym obszarze sieć wodociągowa jest siecią:

- pierścieniową (DN40- DN200) dla części mieszkaniowej, zasilaną przez komorę pomiarową zlokalizowaną w punkcie Kw1. Komora wyposażona jest w przepływomierz elektromagnetyczny zasilany bateryjnie. Stan liczydła przepływomierza odczytywany i rejestrowany jest co 2 minuty.
- rozgałęźną (DN90-DN225), dla części przemysłowej, zasilaną przez pompownię strefową wody Pw1. Pomiar przepływu prowadzony jest przez przepływomierz elektromagnetyczny zasilany sieciowo. Stan liczydła przepływomierza oraz wartość przepływu chwilowego odczytywane i rejestrowane są co 30 sekund.
- wszyscy odbiorcy na terenie wyznaczonego obszaru opomiarowani są wodomierzami odczytywanymi drogą radiową, co pozwala na wykonanie bilansu miesięcznego ilości wody wtłoczonej, sprzedanej oraz ilości przepompowanych ścieków.



Rys. 4 Schemat systemu gospodarki wodno-ściekowej [4]

Pic 4. Scheme of integrated system of water supply and wastewater disposal system [4]

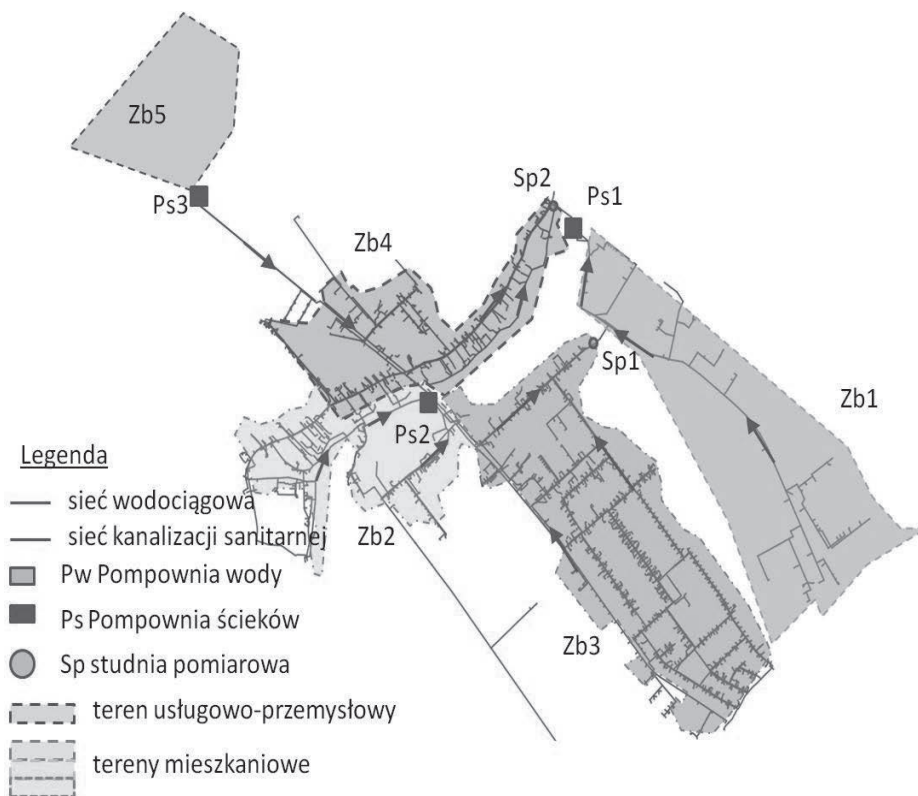
Na terenie zlewni pilotowej występuje system kanalizacji rozdzielczej [4]. Ścieki bytowe oraz ścieki przemysłowe odprowadzane są kanalizacją sanitarną do pompowni ścieków Ps1, a z stamtąd do oczyszczalni ścieków. Ze względu na ukształtowanie terenu (różnica rzędnych terenu wynosi ok. 20 m) i spadki terenu w zlewni zlokalizowane są na analizowanym obszarze dwie dodatkowe pompownie ścieków (Ps2, i Ps3), przetłaczające końcowo ścieki do pompowni Ps1.

Ścieki deszczowe odprowadzane są do kanalizacji deszczowej, skąd dalej odprowadza się bezpośrednio do odbiornika wód powierzchniowych.

Na terenie objętym badaniami występuje:

- strefa zabudowy mieszkaniowej (zabudowa jednorodzinna, stanowiąca ok. 60% powierzchni zurbanizowanej, ogólna liczba mieszkańców wynosiła w 2015r ok. 2500 osób)
- strefa usługowo-produkcyjna (stanowiąca ok. 40% powierzchni zurbanizowanej).

W celu precyzyjnego wyznaczenia ilości ścieków pochodzących obu stref mieszkaniowych wyznaczono dodatkowe punkty kontrolne na sieci kanalizacyjnej (Sp1 i Sp2), co przedstawia rys 5.



Rys. 5 Schemat sytemu gospodarki wodno-ściekowej uwzględniający podział na zlewnie częściowe kanalizacji [4]

Pic 5. Scheme of integrated system of water supply and wastewater disposal system [4]

2.2. Metodyka prowadzonych analizy statystycznych

Pomiary przeprowadzono w siedmiu charakterystycznych przekrojach zlewni zurbanizowanej, mierząc (rys. 2):

- przepływy chwilowe w pompowni wodociągowej zasilającej część przemysłową (przeływomierz elektromagnetyczny, dokładność pomiaru $\pm 0,5\%$),
- przepływy chwilowe w komorze zasilającej strefę mieszkaniową (przeływomierz elektromagnetyczny, dokładność pomiaru $\pm 0,5\%$),
- miesięczne zużycie wody na podstawie wskazań wodomierzy (dokładność $\pm 2\%$)
- zmiany poziomu zwierciadeł ścieków oraz przepływów ścieków w trzech pompowniach Ps1, Ps2, Ps3 (pomiar przepływowymi elektromagnetycznymi, dokładność pomiaru $\pm 0,5\%$),
- natężenia przepływów ścieków w studniach kontrolnych (pomiar z wykorzystaniem przeływomierza ultradźwiękowego do koryt otwartych, rejestrujących dane z interwałem 2 minut, dokładność pomiaru $\pm 5\%$) w dwóch studniach pomiarowych Sp1 i Sp2.

Zlokalizowanie studni pomiarowej Sp1 pozwoliło na uchwycenie informacji o ściekach bytowych pochodzących ze znacznej części strefy mieszkaniowej (ok. 4/5 ogólnej powierzchni tej strefy) a w przypadku studni pomiarowej Sp2 - pozostałej części ścieków bytowych pochodzącej ze strefy mieszkaniowej podczas pory dziennej (pompownia ścieków Ps3 tłoczy ścieki jedynie w godzinach nocnych).

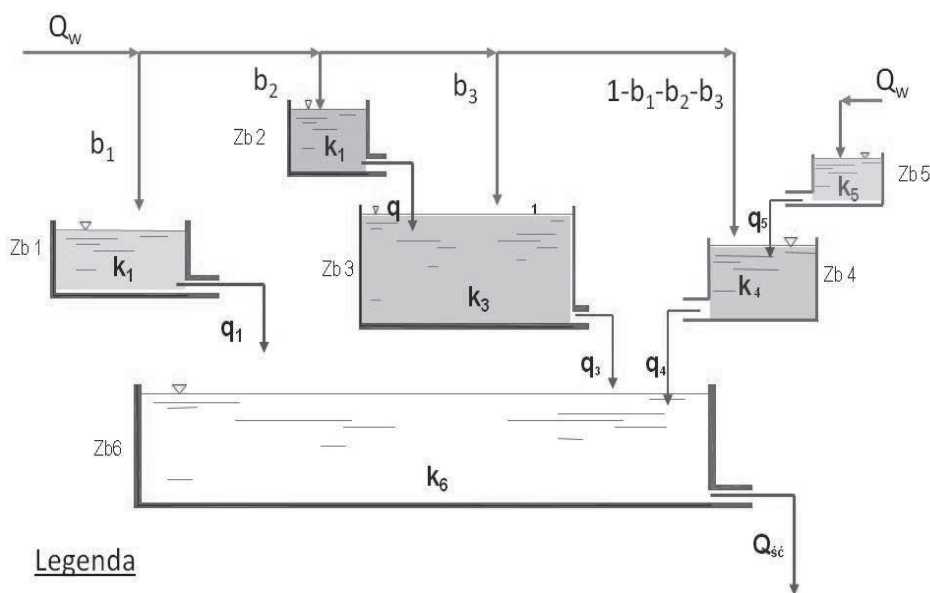
Pomiary przeprowadzono w różnych okresach kontrolnych [4] tj.:

- a) od 1 lutego do 29 lutego 2016 r.,
- b) od 1 stycznia do 30 grudnia 2015 r dla wybranych punktów pomiarowych.

Do analizy przepływów ścieków, w poszczególnych przekrojach kontrolnych, wykorzystano model zintegrowany do prognozowania ilości ścieków w pogodzie bezdeszczowej. Model został opracowany w Zakładzie Wodociągów i Kanalizacji Politechniki Śląskiej w Gliwicach bazując na modelu konceptualnym (symptomatycznym) [2]. Taki sposób opisanie zlewni jest stosowany w przypadku modelowania przepływów w zlewni wód powierzchniowych w hydrologii [13].

W modelu konceptualnym pilotowa zlewnia zurbanizowana (rys. 2) została podzielona na zlewnie cząstkowe, których granice zostały wyznaczone przez obszar działania przepompowni ścieków (P1, P2, P3) oraz studnie kontrolne (SP1, SP2). Jednocześnie przyjęto założenie, że każda ze zlewni cząstkowych jest fikcyjnym zbiornikiem retencyjnym [13], którego zmiana pojemności retencji jest uwarunkowana zasilaniem (q_i) i odpływem mediów (q_{i+1}), oraz charakterystyką sieci kanalizacyjnej (współczynnik k_i) uwzględniającą jej strukturę, a w przypadku zlewni zakończonej pompownią ścieków również charakterystykę pracy pompowni ścieków (pojemność czynna zbiornika pompowni ścieków, wydajność pomp, czas wymiany ścieków w przewodzie tłocznym, ...). Cały obszar pilotowej zlewni został podzielony na zbiorniki ZbI-ZbVI.

Współdziałanie pomiędzy wydzielonymi elementami pilotowej zlewni zostało ujęte jako współpraca kaskadowa pomiędzy połączonymi ze sobą zbiornikami, co przedstawia rys. 6.

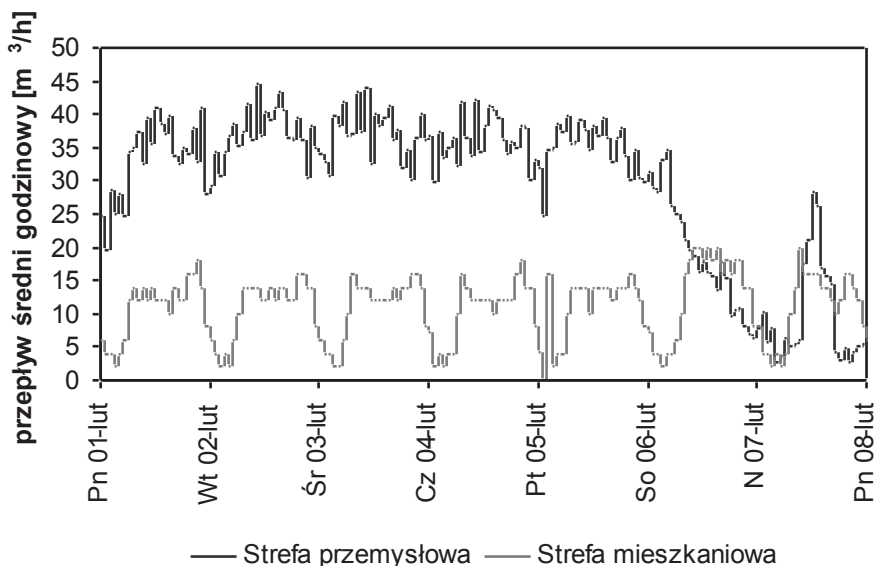


Legenda

- sieć wodociągowa
- sieć kanalizacji sanitarnej
- ▨ tereny usługowo-produkcyjne
- ▩ tereny mieszkaniowe

Rys. 6 Schemat modelu chwilowego przepływu dla pilotowej zlewni zurbanizowanej
 Pic 6. Block diagram of flows for the pilot urban catchments

W celu prognozowania przepływów ścieków w pogodzie bezdeszczowej wykorzystano model bazujący na danych pochodzące z monitoringu pompowni wody (krzywe rozbiorów godzinowych z podziałem na dni wolne od pracy i dni robocze, co przedstawia rys. 7) oraz średnie dobowe zużycie wody dla wytypowanych zlewni cząstkowych. Zbiorniki II, III, IV są zasilane z jednej pompowni wodociągowej (Q_w). Współczynnik rozdziału zużycia wody (b_2 , b_3 , $1-b_2-b_3$) pomiędzy zbiornikami ZbII, ZbIII, ZbIV zostały określone na podstawie zdalnego odczytu wodomierzy w strefie o zabudowie mieszkaniowej.



Rys. 7 Średni godzinowy przepływ wody dla dni roboczych i dni wolnych
 Pic 7. Analysis of variation of the water diversity factor

Do prognozowania przepływów ścieków w wybranych punktach kontrolnych zlewni kanalizacyjnych wykorzystano model bazujący na sieciach neuronowych. Należy zaznaczyć że sieci neuronowe są coraz częściej wykorzystywane do prognozowania w gospodarce wodnej np. do prognozowania rozbiórów godzinowych wody [16] w przypadku warunków normalnych (bez zakłóceń wynikających np. z sytuacji awaryjnych).

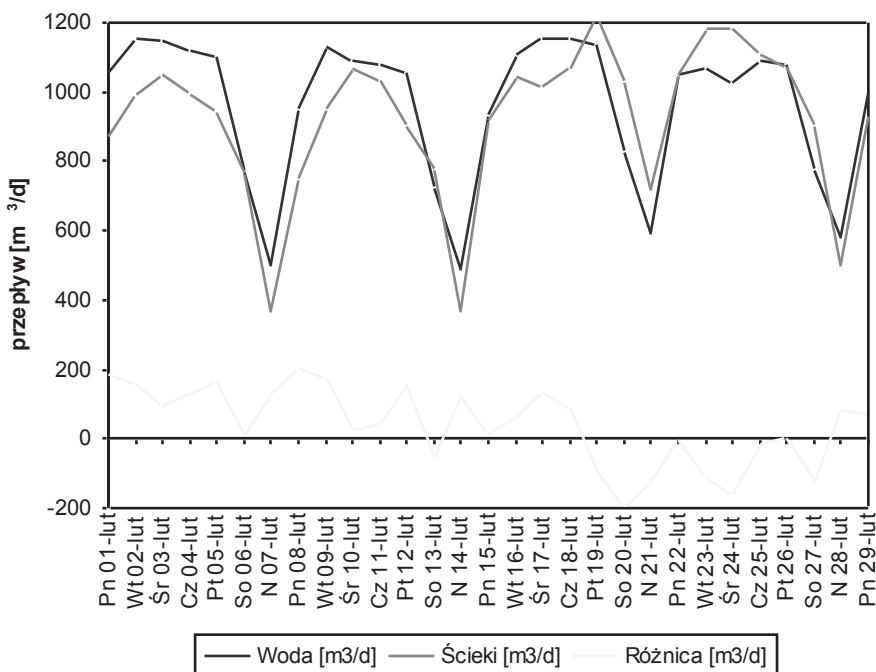
3. Korzyści płynące z zastosowania zintegrowanego monitoringu sieci wod-kan

Podstawą podejścia zintegrowanego do monitoringu sieci wod-kan jest opracowanie bilansu wodno-ściekowego. Ogólny bilans obejmujący ilości dobowe wody wtłoczonej do sieci wodociągowej oraz ilości przepompowanych ścieków dla jednego miesiąca pokazuje rys. 8, a bilans wody wtłoczonej, sprzedanej (na podstawie odczytów wodomierzy) oraz przetłoczonych ścieków, co przedstawia tab. 1

Tab. 1 Bilans miesięczny produkcji i sprzedaży wody oraz ilości przepompowanych ścieków dla zlewni pilotowej

Table 1. Monthly water and sewage balance for the pilot urban catchment

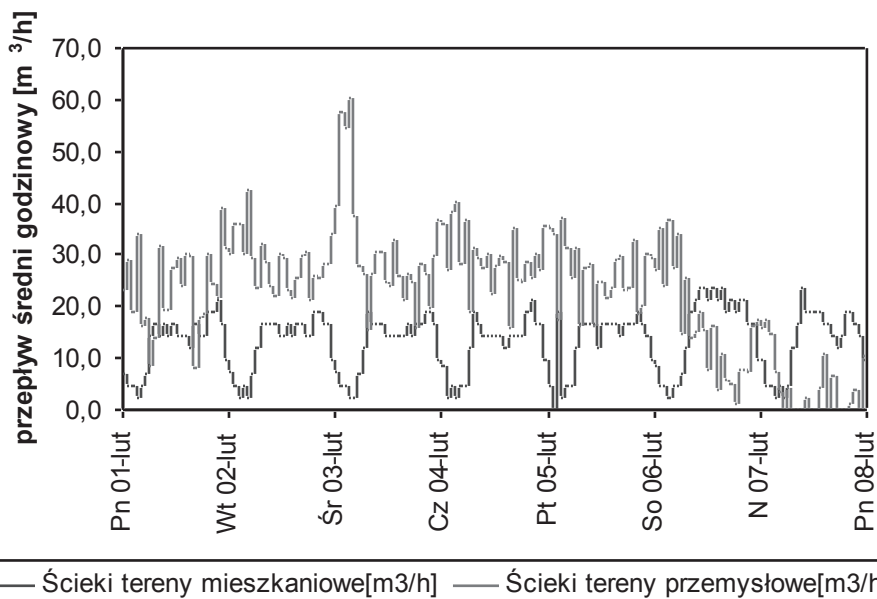
	[m ³ /miesiąc]	Procent produkcji
Produkcja wody	27925	
Sprzedaż wody	25128	90%
Ilość ścieków	26778	95,9%
Różnica produkcja-ścieki	1147	4,1%
Różnica sprzedaż-ścieki	-1650	-6,2%



Rys. 8 Bilans przepływów dobowych wody i ścieków luty 2016 r
Pic 8. Daily water and sewage balance - February 2016

Dodatkową korzyścią z zastosowania zintegrowanego monitoringu sieci wod-kan, przy wyznaczeniu zlewni cząstkowych, jest możliwość określenia zmienności ścieków w charakterystycznych punktach zlewni (określonych przez lokalizację studni pomiarowych lub pompownie ścieków).

W przypadku analizowanej pilotowej zlewni, zastosowanie dodatkowych punktów pomiarowych, pozwoliło na określenie w sposób pośredni ilości ścieków odpływających ze strefy usługowo-produkcyjnej (zb 1 rys. 5) oraz sposobu obciążenia tymi ściekami kanalizacji (rys. 9).



Rys. 9 Przykład zmiany profili tygodniowy zmiany przepływów ścieków ze strefy mieszkaniowej i ze strefy usługowo-produkcyjnej,

Pic 9. Changes in actual and forecasted hourly sewage flow and the amount of rainfall

Uzyskanie informacji o ściekach dopływających ze strefy usługowo -produkcyjnej jest istotne nie tylko dla kontroli pracy systemu kanalizacji ale również w przypadku planowania nowych obszarów przemysłowych czy usług. W literaturze branżowej rzadko bowiem opisane są informacje dotyczące ilości ścieków odprowadzanych ze strefy usługowo-przemysłowej [15, 18]. Najczęściej odnoszą się do określenia przepływu jednostkowego (średniego dobowego), np. wg ATV [15] ilość ścieków przyjmuje się:

- dla zakładów o nieznacznym zużyciu wody od $0.2\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ do $0.5\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$,
- dla zakładów o średnim i wysokim zużyciu wody od $0.5\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ do $1\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$.

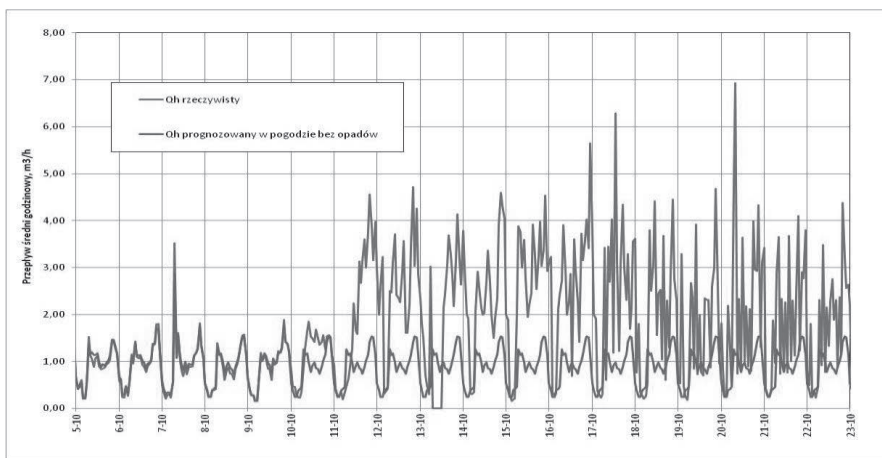
Dlatego najlepszym źródłem informacji o ilości ścieków odprowadzanych ze strefy usługowo-produkcyjnej oraz sposobie obciążenia nimi kanalizacji jest własna baza danych pochodząca z monitoringu sieci wod-kan. W taki przypadku, na podstawie danych z dłuższego okresu analizy, jest możliwość określenia przepływu jednostkowego (w przeliczeniu na powierzchnie terenów zgodnie z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego), co pozwala na planowanie ilości ścieków ze stref usługowo-produkcyjnych, gdy nie ma dokładnych informacji o rodzaju branży, wielkości zakładu (liczbie pracowników czy wielkości produkcji).

Najczęściej zintegrowany monitoring sieci wod-kan pozwala na określenie udziału wód przypadkowych w kanalizacji sanitarnej w wyznaczonych punktach kontrolnych (pompownie ścieków, studnie pomiarowe). Wody przypadkowe obejmują niepożądany dopływ do kanalizacji, który może być spowodowany między innymi [7, 15, 17]:

- infiltracją wody gruntowej, dopływem wód drenażowych lub źródłanych poprzez nieszczelności w sieci kanalizacji grawitacyjnej,
- infiltracją ścieków deszczowych z nieszczelnej kanalizacji deszczowej zlokalizowanej w pobliżu kanalizacji sanitarnej poprzez nieszczelności tej ostatniej,
- błędami w podłączeniu kanalizacji najczęściej z rur spustowych i wpustów podwórzowych,
- dopływem deszczowych wód powierzchniowych poprzez włazy studzienek i poprzez zwieńczenia studzienek kanalizacyjnych,
- dopływem wody z awarii sieci wodociągowej, zlokalizowanej w pobliżu sieci kanalizacyjnej

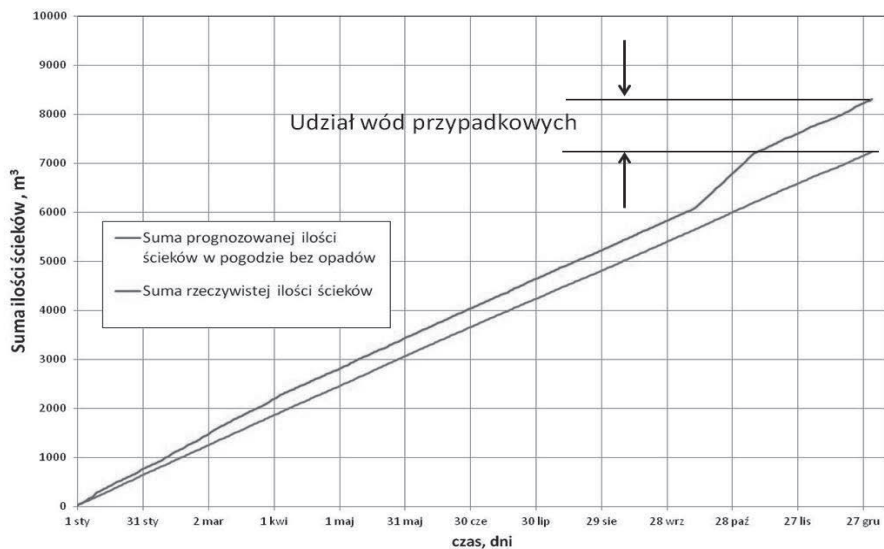
Ilość wód przypadkowych można określić między innymi na podstawie porównania przepływów ścieków w pogodzie deszczowej z prognozowanymi przepływami ścieków w pogodzie bez opadów. Należy zaznaczyć, że zwiększoną ilość ścieków dopływających, w danym punkcie pomiarowym, korzystnie rozpatrywać:

- a) w czasie rzeczywistym tak aby uchwycić chwilowe obciążenia kanalizacji (w celu określenia w jakim stopniu została wykorzystana pojemność retencyjna układu, czy nie istnieje ryzyko wystąpienia podtopienia lub awarii układu), rys 10,
- b) w dłuższym okresie czasu (w celu określenia w jaki stopniu udział wód przypadkowych zwiększa ilość ścieków transportowanych kanalizacją, pompownią ścieków), rys 11,
- c) porównując profil rozbiórów wody z komór/pompowni z profilem dopływu ścieków do pompowni ścieków/punktów kontrolnych.



Rys. 10 Zmiany rzeczywistych i prognozowanych przepływów godzinowych ścieków dla punktu pomiarowego Ps2, 5-23.10.2015r

Pic 10. Changes in actual and forecasted hourly sewage flow and the amount of rainfall in the period



Rys. 11 Roczna suma ilości ścieków rzeczywistych i prognozowanych dla punktu pomiarowego Ps2, 2015r

Pic 11. Changes in actual and forecasted hourly sewage flow

W zlewni cząstkowej (Zb2 rys 5) ilość wód przypadkowych, w 2015r (który był rokiem suchym tzn. wysokość opadu roczna była mniejsza niż wartość średnia z wielolecia), nie odbiegała od wartości podawanych w literaturze. W okresie występowania opadów lub kilkanaście godzin później następuje widoczny, gwałtowny wzrost przepływu godzinowego (rys. 10). W okresie zwiększonego udziału wód przypadkowych, w analizowanym roku (od 11 października 2015r do 5 listopada 2015r) przepływu jednostkowego wód przypadkowych wynosi $0,14 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$. Porównując uzyskany przepływ jednostkowy dla wód przypadkowych z danymi teoretycznymi zalecanymi w ATV (od $0,2$ do $0,7 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$) [15]), można stwierdzić iż wartość ta jest mniejsza niż wartości zalecane. Jednocześnie suma ilości ścieków w okresie roku objętość ścieków odprowadzanych do kanalizacji była o 15% większa w porównaniu z ilością ścieków prognozowanych w okresie pogody bez opadów.

4. Podsumowanie

W ostatnich latach nastąpił intensywny rozwój i rozpowszechnienie zarówno systemu do monitoringu sieci wodociągowej jak i sieci kanalizacyjnej. W celu maksymalnego wykorzystania informacji pochodzących z jednego i drugiego systemu zasadne jest wykorzystanie zintegrowanego monitoringu sieci wod-kan.

Wprowadzenie systemów zintegrowanego monitoringu sieci wod-kan umożliwi:

- kontrolę pracy zlewni cząstkowych (przez analizę interakcji między podsystemami) w okresie występowania opadów atmosferycznych/ w pogodzie bezdeszczowej,
- kontrolę ilości ścieków pochodzących z wyznaczonych zlewni cząstkowych (z podziałem na strefy terenów zabudowy mieszkaniowej i strefę terenów usługowo-produkcyjnych),
- wspomaganie podejmowania decyzji przy wprowadzaniu zmian w poszczególnych podsystemach (np. przy prognozowaniu ilości ścieków podczas planowania nowych inwestycji głównie w przypadku stref usługowo-produkcyjnych dla przedsiębiorstw o niskiej wodochłonności, średniej czy wysokiej wodochłonności),
- maksymalne wykorzystanie potencjału całego układu wod-kan poprzez symulacje pracy systemu w różnych warunkach (w tym w okresach zmiennych warunków atmosferycznych).

W przypadku zintegrowanego podejścia do monitoringu siecią wod-kan. na wyznaczonych zlewniach wymagana jest możliwość wykonania bilansu wodno-ściekowego. W takim podejściu do zintegrowanego monitoringu konieczne jest dodatkowe wyznaczenie punktów pomiarowych na sieci wodociągowej i/lub sieci kanalizacyjnej. Przy wyborze rozwiązania technicznego, dla wytypowanych punktów pomiarowych w przypadku sieci kanalizacyjnej, konieczne jest uwzględnienie nie tylko warunków hydraulicznych panujących w danym miejscu sieci ale również akceptowalnej wartości błędu pomiarowego.

Bibliografia

- 1) BECK M. B.: Dynamic Modelling and Control Applications in Water Quality Maintenance. *Water Research*, 1976, 10, 575-595
- 2) BOMERSBACH Z., Gil B., KORAL W.: Możliwość wykorzystania modelu zintegrowanego systemu gospodarki wodno-ściekowej do kontroli pracy poszczególnych elementów tego systemu. XIX Krajowa, VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo - Techniczna „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, Wielkopolski Oddział PZITS, 2006
- 3) BUTLER D., SCHÜTZE M.: Integrating simulation models with a view to optimal control of urban wastewater systems. *Environmental Modelling & Software*, 2005, 20, 415-426
- 4) Dane archiwalne. Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, Gliwice, 2015
- 5) GIL B.: Diagnostyka warunków pomiaru przepływu ścieków na podstawie prostych analiz statystycznych. Konferencja GIS, modelowanie i monitoring w zarządzaniu systemami wodociągowymi i kanalizacyjnymi, Warszawa, 2015
- 6) GIL B., KORAL W., KAWCZYŃSKI A.: Znaczenie systemów monitoringu w gospodarce wodno-ściekowej. Aktualne zagadnienia w inżynierii środowiska. Politechnika Śląska, Gliwice, 2015
- 7) Gil B., KAWCZYŃSKI A.: Problem wód przypadkowych w kanalizacji sanitarnej na terenach wiejskich. Politechnika Śląska, Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych, 2012
- 8) KORAL W.: Sektoryzacja sieci wodociągowej pierścieniowej przy zastosowaniu przepływomierzy elektromagnetycznych na przykładzie PWiK Gliwice (cz.1). *Instal 2/2012*, str. 53-54
- 9) KORAL W., WILCZAK K.: Sektoryzacja sieci wodociągowej pierścieniowej przy zastosowaniu przepływomierzy elektromagnetycznych na przykładzie PWiK Gliwice. Część 2 - aspekty techniczne zabudowy w terenie. *Instal 5/2012*, str. 28-30
- 10) KOTOWSKI A., KAŻMIERCZAK B., DANCEWICZ A.: Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk. *Studia z Zakresu Inżynierii nr 68*, Warszawa 2010
- 11) Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Ministerstwo Ochrony Środowiska, Warszawa, 2013
- 12) MICHALSKI A.: Pomiary przepływu wody w kanałach otwartych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2004
- 13) SOCZYŃSKA U.: Hydrologia dynamiczna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997
- 14) ZAWILSKI M.: Wstępne rezultaty monitoringu przestrzennego rozkładu opadów w Łodzi w 2010 r. Wody opadowe a zjawiska ekstremalne. Monografia pod redakcją Janusza Łomotowskiego. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa, 2011
- 15) SCHMITT T. G.: Komentarz do ATV-A118 Hydrauliczne wymiarowanie systemów odwadniania. Niemiecki Zbiór Reguł DWA, Wydawnictwo „Seidel-Przywecki”, Warszawa, 2000
- 16) SIWOŃ Zb., ŁOMOTOWSKI J., CIĘŻAK W., LICZJAR P., CIĘŻAK J.: Analizy i prognozowanie rozbiorów wody w systemach wodociągowych. Polska Akademia Nauk Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej Instytut Podstawowych Problemów Techniki, *Studia z zakresu inżynierii, zeszyt 61*, Warszawa, 2008

- 17) KACZOR G.: Wpływ wód infiltracyjnych i przypadkowych na funkcjonowanie małych systemów kanalizacyjnych. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, nr 495. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków, 2012
- 18) KRÓLIKOWSKA J., KRÓLIKOWSKI A., ŻABA T.: Kanalizacja. Podstawy projektowania, wykonawstwa i eksploatacji. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2015

