

# Modelowanie sieci w Wodociągach Miasta Krakowa

tekst: ANNA BIEDRZYCKA, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne

zdjęcia: MIEJSKIE PRZEDSIĘBIORSTWO WODOCIĄGÓW I KANALIZACJI SA W KRAKOWIE

Współczesne miasta aspirują do bycia smart, czyli miastami inteligentnymi (*smart cities*), które w strategii swojego rozwoju stawiają na kreatywność, otwartość na innowacje, elastyczność rozumianą jako umiejętność szybkiego dostosowywania się do uwarunkowań zewnętrznych i wewnętrznych, realizowaną za pomocą nowoczesnych technologii informacyjnych i komunikacyjnych (*information and communication technologies – ICT*) w obszarze gospodarki, środowiska, mobilności i zarządzania. Również Kraków chce być smart, a swoją znaczącą cegiełkę do realizacji tych założeń dokładają Wodociągi Miasta Krakowa, podejmując działania w ramach *smart environment* (inteligentne środowisko), jak doskonalenie systemu informacji geograficznej, modelowanie hydrauliczne, telemetria czy zdalne prowadzenie odczytów wodomierzy.



System wizualizacji podtopień stosowany w MPWiK SA w Krakowie

Narzędzia ICT służą do zbierania danych m.in. na temat aktualnego stanu zasobów i problemów miasta oraz udostępniania tych danych w czasie rzeczywistym. Wobec stałego kurczenia się zasobów i rosnących kosztów ich pozyskiwania ciągła analiza powyższych danych jest kluczowa, ponieważ umożliwia zmiany w produkcji i konsumpcji, a w konsekwencji przyczynia się do ograniczenia zużycia zasobów naturalnych bez pogorszenia jakości życia mieszkańców.

W obszarze działalności wodociągowo-kanalizacyjnej efektywnym narzędziem informatycznym do prowadzenia tego typu analiz są komputerowe modele hydrauliczne sieci wodociągowej i kanalizacyjnej. Ciągła rozbudowa tych modeli, a także zarządzanie już istniejącymi wymaga stałej pracy sztabu wykwalifikowanych specjalistów. Wirtualny model odwzorowuje system rzeczywisty, dlatego za jego pomocą można przeprowadzać symulacje różnych zjawisk występujących w sieci oraz analizę i porównanie wielu wariantów, dotyczących np. wyznaczenia

stref zasilania lub optymalizacji ciśnienia wody w przypadku sieci wodociągowych czy też w odniesieniu do sieci kanalizacyjnych symulację wypełnień i przepływów w przypadku intensywnych deszczy nawalnych, przepływów zwrotnych, ocenę zdolności retencyjnych kanałów, selekcję terenów szczególnie zagrożonych podtopieniami.

Wśród wielu zastosowań modelowania hydraulicznego wymienia się również zarządzanie ciśnieniem wody i strefami ciśnienia, szacowanie rozborów w węzłach, analizę wydajności hydrantów na wypadek pożarów, prognozę wieku wody i stężenia chloru, prognozę przemieszczania się zanieczyszczeń, możliwości wielowariantowych rozwiązań związanych z planami awaryjnymi i oceną ryzyka, dobór i wymiarowanie hydroforni oraz zbiorników, wykrywanie i optymalizację strat wody, planowanie prac remontowych, rewitalizacyjnych i związanych z rozbudową oraz projektowaniem sieci, wykrywanie i lokalizację ukrytych wycieków wody, opiniowanie możliwości zasilania w wodę i odbioru ścieków dla nowo projektowanych obiektów, programowanie pracy sieci w warunkach awaryjnych, energooszczędne i predyktoryjne sterowanie pracą hydroforni i pompowni wody, pompowni opadowych, przepompowni strefowych, monitorowanie stanu na odpytywie w kanalizacji, monitorowanie pracy sieci, obliczenia hydrauliczne sieci – przepływ, prędkość, wypełnienie.

Główną zaletą modelu komputerowego sieci jest to, że wykonując symulacje i analizy, działa się w przestrzeni wirtualnej, więc nietrafione rozwiązania nie są obciążone konsekwencjami jak w świecie rzeczywistym, można się z nich wycofać i wybrać właściwe – po analizie i porównaniu wielu wariantów.

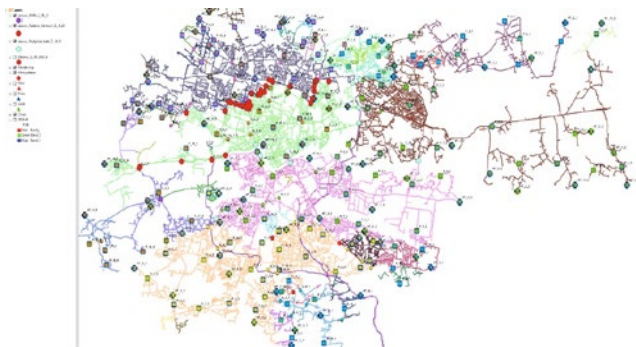
## Największa w Polsce kampania pomiarowa

Warunkiem uzyskania prawidłowych wyników jest dokładność wirtualnego modelu, będącego ze swojej natury tylko przybliżonym odzwierciedleniem danej rzeczywistości. Należy dążyć do tego, aby model jak najwierniej odwzorowywał sieć. W tym celu wykonuje się kalibrację, czyli dopasowanie wskazań modelu do rzeczywistych wartości występujących w sieci, opierając się na szeregu urządzeń pomiarowych. Umiejętnie skalibrowany model gwarantuje wysoką skuteczność, aby jednak tak się stało, należy zgromadzić wystarczająco dużą liczbę informacji o działaniu

sieci w rzeczywistości, najczęściej na podstawie okresowych kampanii pomiarowych.

Największą kampanią pomiarową dla sieci wodociągowej oraz kanalizacyjnej w Polsce właśnie zakończyły Wodociągi Miasta Krakowa. W jej ramach w przypadku modelu wodociągowego został wykonany pomiar ciśnienia oraz przepływu w ponad 300 punktach sieci wraz z okresowym uruchamianiem hydrantów przeciwpożarowych (co mogło powodować nieznaczne spadki ciśnienia w wybranych miejscach sieci). Uruchomienie hydrantów z pełną wydajnością w połączeniu z pomiarami ciśnienia i przepływu pozwoliło tak skalibrować model matematyczny, aby jego działanie odzwierciedlało realne działanie sieci w warunkach stabilnej pracy systemu oraz pożaru. Włączenie hydrantów mogło spowodować wzrost prędkości przepływu w sieci i okresowe pogorszenie jakości wody, ale miało też swoje zalety – szybszy przepływ w rurach spowodował przepłukanie wody z osadów, a zatem docelowo nastąpiła poprawa jakości wody w Krakowie.

W przypadku modelu kanalizacyjnego wszystkie punkty pomiarowe (ponad 200, pomiar poziomu i prędkości przeliczone na przepływ) będą funkcjonować na stałe. W połączeniu z 30 stacjami opadowymi MPWiK SA posłużą do szczegółowej kalibracji modelu kanalizacyjnego. W kluczowych miejscach sieci urządzenia pozostaną na stałe w celu ciągłej kalibracji modeli szczegółowych. Skalibrowane modele szczegółowe posłużą do budowy inteligentnego systemu zarządzania siecią, opartego na modelach online predykcyjnych oraz *real time control* (RTC). W przypadku wdrażanego modelu online predykcyjnego RTC sieci kanalizacyjnej oraz wodociągowej ich działanie będzie opierać się na ciągłym przeliczaniu w czasie rzeczywistym parametrów hydraulicznych. Modele te wymagają nieustannego zasilania w dane zabudowywanych punktów pomiarowych. Na podstawie tych danych system w sposób dynamiczny będzie obrazować możliwe przeciążenia systemu kanalizacyjnego w Krakowie w nawiązaniu do nadchodzących zdarzeń opadowych. W przypadku modelu wodociągowego system będzie obrazował stan rzeczywisty sieci z interwałem dwuminutowym oraz stan perspektywiczny z wyprzedzeniem do siedmiu dni wprzód. Przedsięwzięcie stanowi element projektu *Gospodarka wodno-ściekowa w Krakowie – Etap V*, współfinansowanego ze środków Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko 2014–2020. Prace powinny się zakończyć w 2020 r. Poniżej przedstawiono mapę z lokalizacją punktów pomiarowych w ramach kampanii pomiarowej sieci wodociągowej w Krakowie, przeprowadzonej od 21 października do 21 listopada 2019 r.



Lokalizacja punktów pomiarowych w ramach kampanii pomiarowej sieci wodociągowej w Krakowie



Test hydrantowy w ramach kampanii pomiarowej wodociągowej

## Modele hydrauliczne

Pierwszy model kanalizacyjny dla całego Krakowa MPWiK SA w Krakowie opracowało siłami swoich pracowników w latach 2008–2014. Ponieważ główny nacisk położono na zbudowanie kompletnego modelu, tylko kilka zlewni zostało w należyty sposób skalibrowanych. Brak wymiany informacji pomiędzy bazą GIS i bazą modelową spowodował, że nie nastąpiła integracja obu baz. Natomiast model wodociągowy był początkowo budowany poza przedsiębiorstwem – przez Politechnikę Krakowską na autorskim oprogramowaniu ISYDYW 2.0.

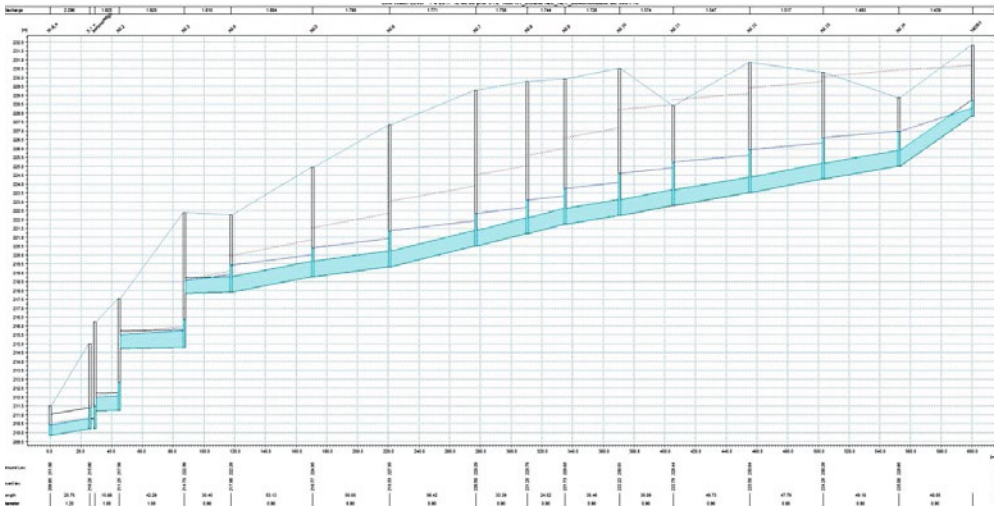
Teraz w krakowskim MPWiK funkcjonuje Dział Modelowania Systemów, którego głównym celem jest opracowywanie koncepcji sieci wodociągowej oraz kanalizacyjnej z wykorzystaniem skalibrowanych modeli szczegółowych wraz z ciągłym utrzymaniem aktualności modeli z bazami GIS, SCADA, Billing. Obecnie trwa przebudowa starych modeli na nowe z wykorzystaniem najnowocześniejszych technologii.

W ramach budowania inteligentnego systemu zarządzania siecią zostaną wykonane następujące modele:

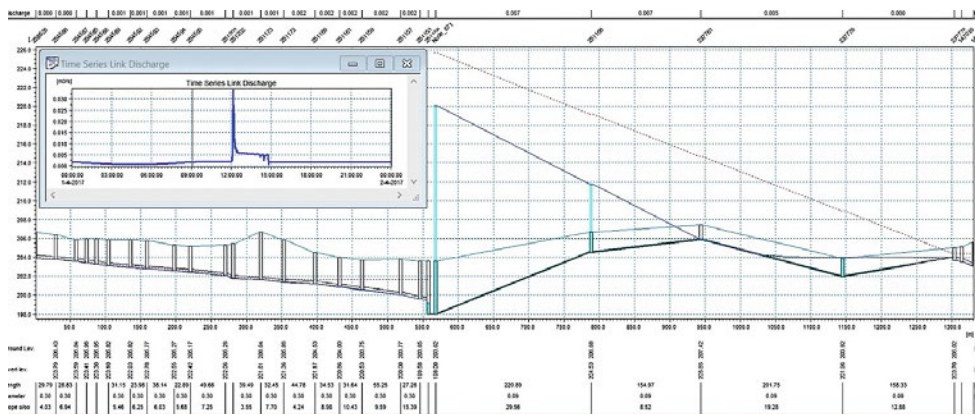
- model szczegółowy kanalizacji – obejmie ok. 1900 km sieci kanalizacji ogólnospławnej i sanitarnej miasta Krakowa, a we wskazanych miejscach również dopływy z kanalizacji deszczowej oraz sieci będących poza eksploatacją MPWiK SA. Zostaną też uwzględnione dopływy do systemu z gmin sąsiednich. Model będzie zawierał wszystkie obiekty, takie jak np. pompownie ścieków, przelewy burzowe, przelewy wewnętrzne, kaskady. Będzie modelem zintegrowanym 1D + 2D. Model 2D zostanie wykonany z zastosowaniem siatki nieregularnej (trójkątnej – Flexible Mesh), zapewniając



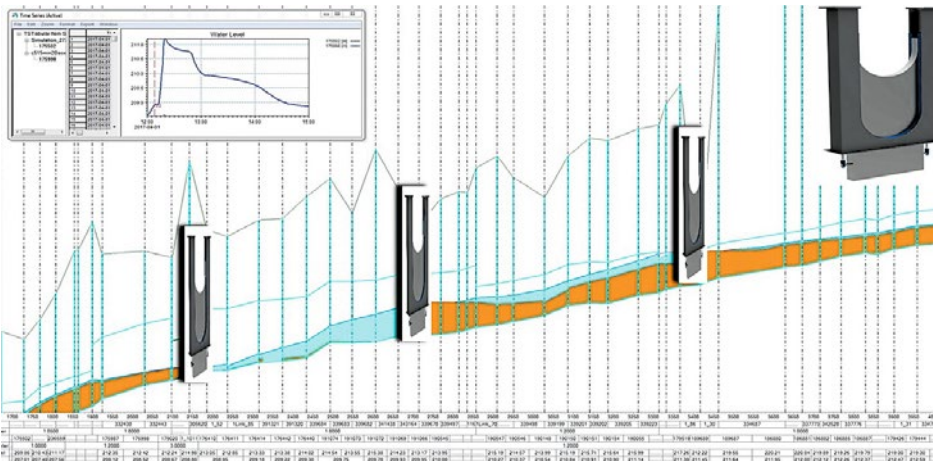
Urządzenia do pomiaru ciśnienia użyte w ramach zrealizowanej kampanii pomiarowej



Pomiar przepływu w sieci wodociągowej przeprowadzony w ramach kampanii pomiarowej



Profil hydrauliczny sieci kanalizacji



Wykres pracy pompowni ścieków w modelu kanalizacyjnym

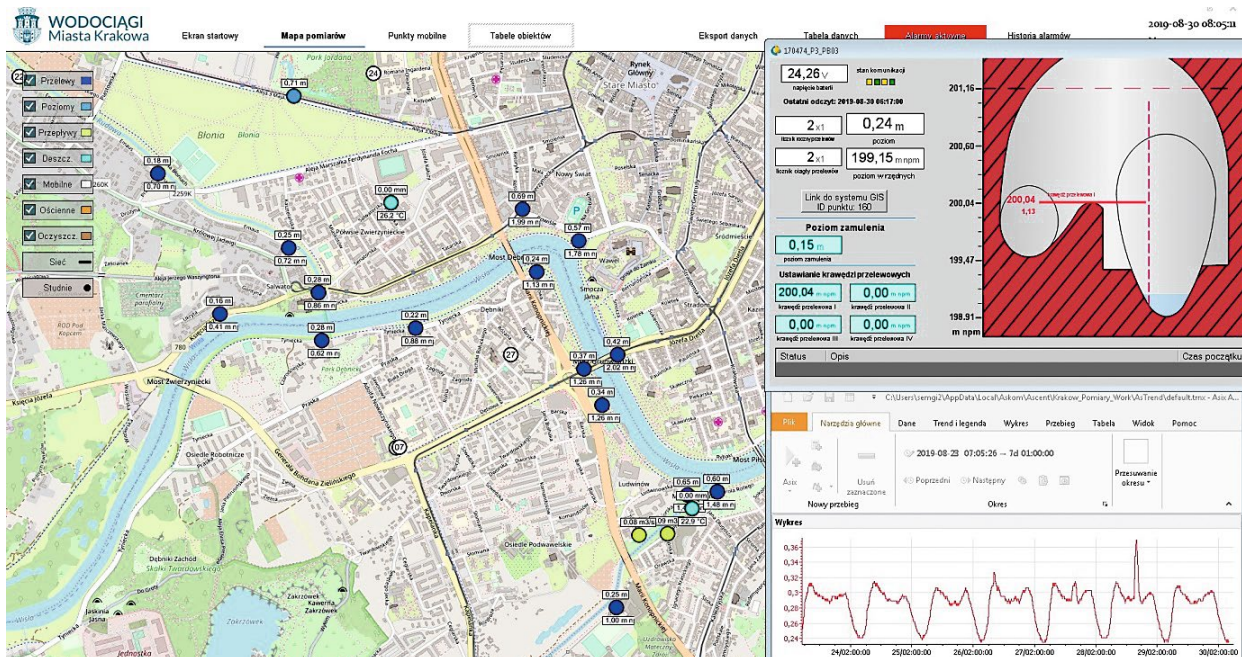
swobodną wymianę przepływu pomiędzy modelem jedno- i dwuwymiarowym. Wyniki modelu 2D będą przedstawiać prędkości i kierunki przepływu w czasie na powierzchni jako skutek ewentualnych podtopień w obszarze zlewni;

- model szczegółowy wodociągowy – obejmie cały system wodociągowy miasta Krakowa (również tranzyt doprowadzający wodę z ujęcia w Dobczycach, będącego poza granicami administracyjnymi Krakowa, oraz sprzedaż wody do gmin sąsiednich). Model będzie odzwierciedlać realną

topologią sieci 1:1 względem bazy GIS i posiadać ten sam układ współrzędnych co baza GIS. W modelu zostaną zawarte średnice od DN 50 mm, a całkowita długość sieci to ok. 2000 km. Model obejmie źródła zasilania, układy pompowe, zbiorniki, zasowy, reduktory oraz inne elementy sterujące zgodnie z ich trybem pracy. W modelu zostaną zawarte dane o rozbiorach, kompatybilne z informacjami zgromadzonymi w systemie bilingowym oraz poza nim, wprowadzone zgodnie z odpowiadającymi im krzywymi nierównomierności. Model ma odzwierciedlać nierównomierność rozbioru dla siedmiu następujących po sobie dni tygodnia oraz w zależności od pory roku.

- model predykcyjny *real time* kanalizacji – będzie zgeneralizowanym modelem wydzielonym z modelu szczegółowego kanalizacji;
- model online *real time* wodociągowy – będzie zbudowany na podstawie modelu szczegółowego wodociągowego. Obejmie całą topologię sieci z modelu szczegółowego. Zarówno model szczegółowy wodociągowy, jak i kanalizacyjny będą kompatybilne z oprogramowaniem funkcjonującym w Wodociągach Miasta Krakowa z możliwością późniejszej modyfikacji i rozbudowy, tak aby w przyszłości utrzymać opracowany model, prowadzić na nim prace analityczne oraz aktualizować jego strukturę.

Zbudowany i wykalibrowany model szczegółowy sieci wodociągowej będzie połączony z danymi pomiarowymi z systemu SCADA w celu zbudowania systemu prezentującego pracę sieci wodociągowej w czasie rzeczywistym, w tym m.in. najważniejsze parametry hydrauliczne (ciśnienie, przepływ, prędkość wody, rozbiory, Id przewodów, średnica itp.) oraz wiek wody w sieci. Podobnie model online wodociągowy będzie zintegrowany z danymi SCADA, tak aby system w sposób ciągły przeliczał całą sieć wodociągową na podstawie zmieniających się warunków mierzonych w obiektach.



System SCADA do sterowania retencją kanałową stosowany w MPWiK SA w Krakowie

Symulacje układu mają być realizowane z częstotliwością co najmniej 2 minut, kiedy system na podstawie realnych odczytów będzie dokonywał symulacji pracy sieci wodociągowej. W przypadku nagłej zmiany parametrów pracy sieci, np. wskutek uruchomienia hydrantu lub spadku ciśnienia spowodowanego awarią hydroforni, system zacznie przeliczać model w interwale 1 minuty, o ile tylko pozwoli na to czas trwania obliczeń. System będzie prognozował pracę sieci wodociągowej z wyprzedzeniem do 168 godzin oraz ukazywał aktualny stan sieci dla każdego węzła i przewodu, obliczając również na bieżąco wszystkie charakterystyczne parametry hydrauliczne (wizualizacja na mapie, profilach podłużnych aktualnego rozkładu ciśnienia i innych parametrów przepływu w sieci, w zależności od wyboru, uzyskiwanych na podstawie danych z punktów monitoringu dla każdego węzła oraz przewodu).

W przypadku wystąpienia awarii w sieci system będzie alarmował zdefiniowanych użytkowników o potencjalnych problemach mogących pojawić się w sieci w odniesieniu do najbliższych 24, 48 lub 64 godzin, w zależności od zdefiniowania przez administratora. Powiadomienia o zdarzeniach alarmowych będą wysyłane drogą mailową do zdefiniowanych użytkowników.

System modelowania online wodociągowy będzie zawierał system obliczania strat wody w poszczególnych strefach pomiarowych na podstawie 24-godzinnych ciągów pomiarowych. Obliczanie straty wody odbywa się zgodnie z metodyką IWA (International Water Association) i przedstawiane będzie w formie graficznej i tabelarycznej w interfejsie użytkownika. Wyliczone wartości, prezentowane zarówno dla całej sieci, jak i dla poszczególnych sektorów zasilania, mają obejmować bilans wodny, w tym takie parametry, jak: woda wtłoczona do sieci, autoryzowana konsumpcja, w tym sprzedaż i potrzeby własne, straty wody, w tym straty pozorne i straty rzeczywiste, woda przynosząca dochód, woda nieprzynosząca dochodu, minimalny napływ mocny, wskaźnik jednostkowy strat rzeczywistych RLB (*real loss basic*), współczynnik strat nieuniknionych UARL (*unavoidable annual real losses*), infrastrukturalny indeks wycieków (*infrastructure leakage index*). Prezentowane infor-

macje mają być obliczane w ujęciu dobowym, tygodniowym, miesięcznym i rocznym.

### Modele a skomplikowane hydrauliczne układy miejskie

Wdrażany w Wodociągach Miasta Krakowa system inteligentnego zarządzania siecią w postaci budowanych modeli hydraulicznych stanowi obecnie najnowocześniejszą platformę sterowania siecią w Polsce. Kluczem do sukcesu jest sztab specjalistów pracujących w Dziale Modelowania Systemów MPWiK SA w Krakowie (osiem osób oraz dwie obsługujące urządzenia pomiarowe). „Obecnie wszystkie koncepcje, warunki zasilania oraz odprowadzenia ścieków, wód opadowych dla inwestycji analizowane są przez nasz dział. Dla tak skomplikowanych hydraulicznych układów, z jakimi spotykamy się w Krakowie, często nie jest prawdą stwierdzenie, że 10 + 10 l/s da nam 20 l/s. W rzeczywistości przepływ odbywający się w warunkach podtopienia i przepływu wstecznego może spowodować, że wynikiem będzie np. 12 l/s ścieków. Nie da się dla tak zurbanizowanego obszaru jak Kraków w prosty sposób dokonywać obliczeń hydraulicznych, opierając się na starej metodyce, niewykorzystującej modeli hydraulicznych – podkreślił mgr inż. Marcin Glixelli, kierownik Działu Modelowania Systemów MPWiK SA w Krakowie. – Aby rzetelnie i prawidłowo ocenić pracę sieci, eliminując wszelkie błędy, potrzebne jest wykorzystanie dobrze skalibrowanych modeli szczegółowych, które obecnie opracowujemy. Kolejnym etapem jest budowa modeli online predykcyjnych, które będą wykorzystywane szczególnie w sytuacjach kryzysowych, jak np. ryzyko powodzi błyskawicznej, awarii sieci wodociągowej i tego konsekwencji, aby szybko ocenić, które rejon Krakowa mogą nie mieć dostaw wody itp. Generalnie dla tak szybkiej urbanizacji, jaką widzimy w Krakowie, nie możemy pozwolić sobie na błędy w zasilaniu w wodę oraz odprowadzaniu ścieków, stąd potrzeba wykorzystania modeli hydraulicznych – oczywiście skalibrowanych na poziomie co najmniej 90% z danymi z urządzeń pomiarowych, co zawsze podkreślam”.

Więcej na [www.wodociagi.krakow.pl](http://www.wodociagi.krakow.pl)





WODOCIĄGI  
Miasta Krakowa

Czy wiesz, że...

z roku na rok coraz więcej krakowian pije kranowiankę?

W KRAKOWIE  
PIJEMY  
KRANOWIANKĘ!



Teraz też w restauracji!

Dowiedz się więcej: [prostozkranu.krakow.pl](http://prostozkranu.krakow.pl)