

Modelowanie sieci a zmiany klimatu



tekst: **ANNA BIEDRZYCKA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne
zdjęcia: **WODOCIĄGI MIASTA KRAKOWA SA**

Wodociągi Miasta Krakowa SA dysponują jednymi z największych i najbardziej skomplikowanych w Europie modeli hydraulicznych sieci kanalizacyjnej i wodociągowej, ze 100-procentowym odzwierciedleniem topologii w GIS. Zbudowano też sieć deszczomierzy, które swoim zasięgiem pokryły całą zlewnię kanalizacyjną miasta. W ramach rozbudowanego systemu monitoringu warunków pogodowych dane z deszczomierzy są wykorzystywane do kalibracji i ciągłej weryfikacji poprawności funkcjonowania modelu hydraulicznego sieci kanalizacyjnej Krakowa oraz bieżącej oceny zagrożenia powodzią miejską.

Adaptacja do zmian klimatu jest długotrwałym i złożonym procesem. Działania adaptacyjne podejmowane przez przedsiębiorstwa wodociągowe muszą uwzględniać otoczenie prawne oraz wdrażane polityki lokalnej, aby na tej podstawie oceniać swój potencjał adaptacyjny, biorąc pod uwagę m.in. posiadany know-how i możliwości sfinansowania konkretnych projektów. Wodociągi Miasta Krakowa (WMK) SA realizują liczne i różnorodne projekty rozwoju infrastruktury wod.-kan. pod kątem adaptacji do zmian klimatu. Spółka w ostatnich 20 latach przeznaczyła na rozwój infrastruktury blisko 3 mld zł, a jej dalsza rozbudowa będzie ściśle skorelowana z wyzwaniem klimatycznymi. Modelowanie służy temu, aby w sposób odpowiedzialny zarządzać siecią i ją rozwijać w zmieniających się warunkach pogodowych.

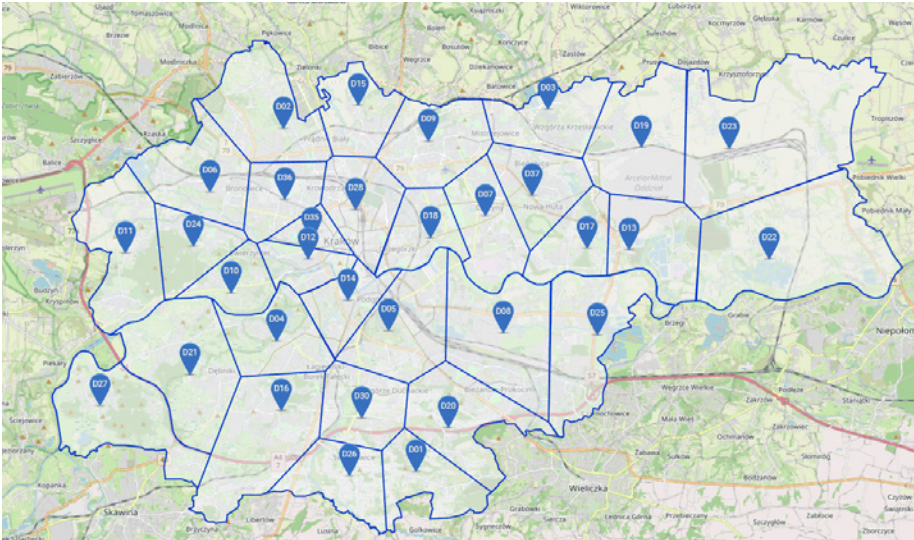
W opublikowanym w 2019 r. *Planie adaptacji miasta Krakowa do zmian klimatu do roku 2030*, który powstał we współpracy ze spółkami miejskimi, w tym WMK SA, wskazano główne zagrożenia wynikające ze zmian klimatu m.in. w zakresie gospodarki wodnej. Położenie miasta oraz cyrkulacja atmosfery sprawiają, że występują tutaj korzystne warunki opadowe, co przejawia się wyższymi sumami opadów. W Krakowie występują obfite opady kilkudniowe, charakterystyczne dla Karpat i ich przedpola, związane ze spiętrzaniem się wilgotnych mas powietrza napływających z sektora północnego, które są najczęściej przyczyną powodzi w dorzeczu górnej Wisły. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zagrożeń wywołanych ekstremalnymi zjawiskami meteorologicznymi, takimi jak natężone kilkudniowe opady deszczu o charakterze rozlewnym oraz występujące nagle krótkotrwałe deszcze ulewne i nawałne, np. 16 sierpnia 2015 r. w Krakowie wystąpił deszcz nawałny z opadem 74,4 mm, który zdarza się raz na 33 lata. Z roku na rok wzrasta liczba dni z burzą. W scenariuszach klimatycznych prognozuje się wzrost liczby dni z opadem >10 mm/d oraz 20 mm/d w roku.

Jest to kontynuacja trendu wzrostowego, który uwidocznił się już w latach 1981–2015.

Zagrożenie powodzią miejską, tzw. błyskawicznymi, na obszarze Krakowa jest duże. Silne opady deszczu występują coraz częściej i nierzadko wywołują lokalne powodzie i podtopienia, powodując straty materialne oraz utrudnienia w funkcjonowaniu miasta. Zagrożenia wynikające z występowania intensywnych opadów są dodatkowo potęgowane przez specyfikę obszaru miejskiego, cechującego się wysokim stopniem zagospodarowania i uszczelnienia powierzchni oraz ograniczoną wydolnością systemu kanalizacyjnego. Intensywne deszcze nawałne oraz wezbrania w ciekach powierzchniowych mogą prowadzić do przeciążenia niektórych odcinków kanalizacji oraz oczyszczalni ścieków, powodując wzrost kosztów oraz zmniejszenie efektywności oczyszczania ścieków. Wezbrania i powodzie doprowadzają do lokalnych uszkodzeń infrastruktury przeciwpowodziowej, a tym samym wzrostu poziomu zagrożenia także dla innych sektorów i obszarów miasta. Szczególnie jest to odczuwalne w zakresie transportu, kiedy konieczne są wyłączenia z ruchu zalanych tras komunikacyjnych. Np. w 2021 r. wystąpiły w Krakowie cztery ponadnormatywne zjawiska opadowe powodujące znaczące wylania, a jedno z nich miało miejsce 15 lipca na ul. Prądnickiej pod wiaduktem kolejowym. W czasie 94 min spadło 44 mm opadu – był to deszcz statystycznie zdarzający się raz na 15 lat.auta utknęły w wodzie pod zalanym wiaduktem. Po tym zdarzeniu WMK SA opracowały na bazie modelu hydraulicznego koncepcję odciążenia systemu w tym rejonie.

Zintegrowana sieć deszczomierzy i model opadowy

Kraków posiada największą w Polsce zintegrowaną sieć deszczomierzy w zlewni miejskiej. Zbudowana w 2020 r. sieć składa się obecnie z 34 deszczomierzy rozmieszczonych w obiektach



Rozmieszczenie sieci deszczomierzy zilustrowane na mapie Krakowa

należących do WMK SA, Politechniki Krakowskiej, Uniwersytetu Rolniczego oraz Urzędu Miasta Krakowa. Do pomiaru sumy i intensywności opadów atmosferycznych służą deszczomierze wagowe ze stałym zbiornikiem oraz korytkowe.

Podstawową funkcją sieci deszczomierzy jest zasilanie danymi modelu hydraulicznego systemu kanalizacyjnego w celu jego kalibracji, a także oceny możliwości przepustowych istniejących, przebudowywanych oraz nowo projektowanych kanałów i systemów magazynujących wody opadowe, takich jak zbiorniki retencyjne, dachy zielone itp. Sieć deszczomierzy służy również do kalibracji modeli 10 zlewni kanalizacji deszczowej, które to w ramach umowy in-house WMK SA opracowały na zlecenie jednostki miejskiej Klimat – Energia – Gospodarka Wodna (KEGW), pierwszej w Polsce wyspecjalizowanej jednostki samorządowej powołanej do adaptacji miasta do zmian klimatu (zajmuje się m.in. budową i utrzymaniem systemu odwodnienia miasta, ochroną przeciwpowodziową i inwestycjami w od-



Przykładowe zdjęcia ukazujące lokalizację deszczomierzy wagowych WMK SA

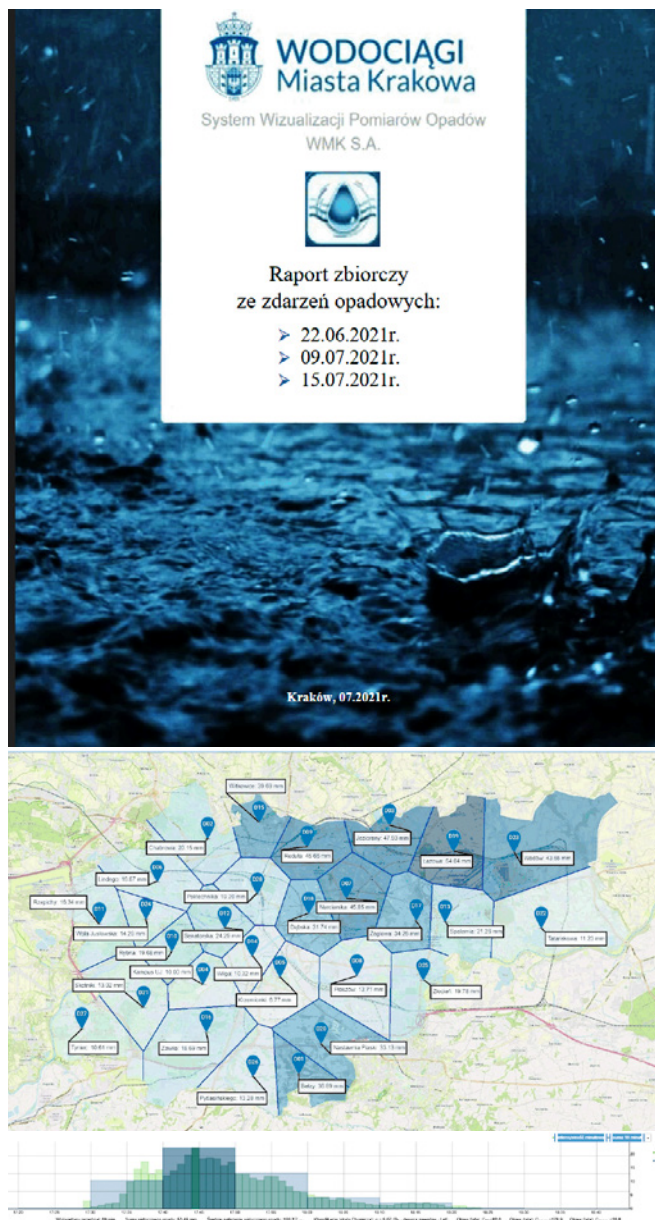
nawialne źródła energii), działającej od 1 stycznia 2020 r. Oprócz samych modeli hydraulicznych WMK SA opracowały dla tych zlewni całościowe koncepcje odciążenia i optymalizacji pracy sieci kanalizacji deszczowej z naciskiem na rozwiązania zielono-niebieskiej infrastruktury.

WMK SA rozpoczęły pomiary opadu w 2008 r., co miało istotny wpływ na możliwość stworzenia narzędzia w postaci modelu opadowego dla Krakowa. Model opadowy jest miarodajnym narzędziem do wymiarowania projektowanych obiektów infrastruktury odwodnieniowej na terenie miasta.

System deszczomierzy jest bardzo istotny dla określenia opadów ze względu na ich intensywność oraz skalę uznawaną przez ubezpieczycieli, tzw. skalę Chomicza. Możliwość oszacowania, jaki rodzaj deszczu wystąpił w danym rejonie miasta, daje podstawę do racjonalnej oceny zdolności przepustowych systemu odprowadzania wód opadowych (standardowo projektowane systemy liniowe na deszcz C = 5 lat, 15 min model krk. Hiet III = 19 mm opadu w ciągu 15 min) w zestawieniu z wystąpieniem konkretnego deszczu rzeczywistego. (Deszcz rzeczywisty może być też deszczem katastrofalnym, na który nie projektuje się systemów odwodnienia).

Na bazie stworzonego systemu po każdym ponadnormatywnym zdarzeniu opadowym powstaje szczegółowy raport służący do prawidłowej oceny przejścia komórki opadowej o konkretnej intensywności przez konkretny rejon miasta. Zróżnicowanie opadów podczas intensywnych deszczy ponadnormatywnych jest zazwyczaj bardzo duże, stąd centrum Krakowa może się borykać z innej wielkości przeciążeniami czy nawet zalaniem niż np. Nowa Huta.





Fragment jednego z raportów po przejściu intensywnego opadu 22 czerwca 2021 r.

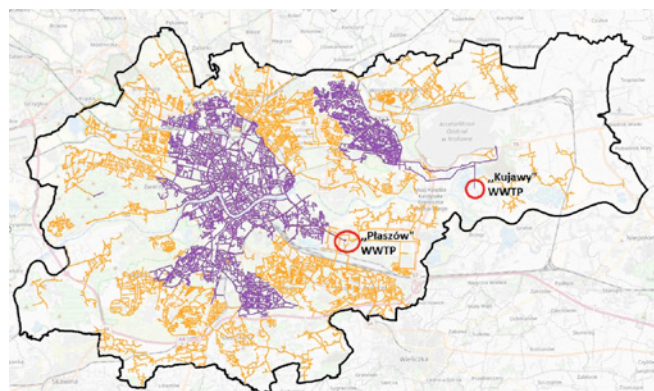
Sieć deszczomierzy wykorzystywana jest również przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB w celu kalibracji modeli prognostycznych pogody. Na bazie porozumienia pomiędzy WMK SA a IMGW-PIB dane z prognoz pogody IMGW trafiają do systemu WMK SA, a dane z deszczomierzy do systemu IMGW. Dla WMK SA mierzalne dane związane z rzeczywistymi krótkotrwałymi prognozami pogody są niezmiernie istotne w kontekście budowanego obecnie systemu PWD (Platforma Wspierania Decyzji). System będzie wykorzystywany do zarządzania siecią kanalizacyjną w czasie rzeczywistego modelowania wraz z predykcją umożliwiającą przewidzenie potencjalnych miejsc zagrożenia powodzią błyskawicznymi.

Modelowanie hydrauliczne sieci kanalizacyjnej

Rozbudowana sieć deszczomierzy jest jednym z elementów, które posłużyły do opracowania zintegrowanego modelu hydraulicznego (1D+2D) Krakowa w obrębie kanalizacji ogólnospławnej oraz wybranych odcinków kanalizacji deszczowej, wdrożonego przez WMK SA w 2021 r. po 32 mie-

siącach pracy. Szczegółowy model matematyczny, cyfrowy bliźniak sieci kanalizacyjnej Krakowa, został skalibrowany z korelacją minimum 80% dla badanych przepływów oraz 0,1 m dla badanych napełnień na bazie 262 punktów kalibracyjnych oraz 29 deszczomierzy.

Modelowanie hydrauliczne jest podstawą wiarygodnego określenia warunków przyłączenia do sieci kanalizacyjnej oraz projektowania nowych obiektów infrastruktury technicznej. Jest również pomocne w procesie modernizacji istniejących przelewów burzowych i projektowania nowych. Kraków ma blisko 40 przelewów burzowych rozmieszczonych wzdłuż pięciu rzek. Ze względu na uwarunkowania historyczne w centrum Krakowa funkcjonuje ogólnospławny system kanalizacyjny. Większa część systemu kanalizacyjnego powiązana jest z oczyszczalnią ścieków Płaszów, a pozostała – z oczyszczalnią Kujawy. Na obrzeżach Krakowa istnieje odrębny system kanalizacyjny. Łącznie to ponad 2010 km sieci kanalizacyjnej.



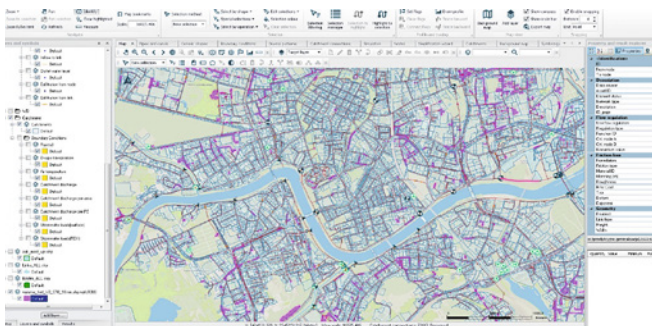
Zakres opracowanego modelu hydraulicznego obejmuje cały system kanalizacji WMK SA

Do sterowania tak dużym i złożonym systemem wiarygodnie można stosować jedynie modelowanie hydrauliczne. Stworzony system modelowania 1D+2D został oparty na systemie GIS prawie 1:1 i zintegrowany z bazami bilingowymi oraz SCADA. Do opracowania modelu wykorzystano ponad 250 pompowni z regułami sterowania i krzywymi wydajności pomp, ponad 89 tys. zlewni hydrologicznych, ponad 1100 specjalnie zaprojektowanych komór i zbiorników odwzorowanych na podstawie krzywych objętościowych, 163 obiekty przelewowo-upustowe z uwzględnieniem szczegółów konstrukcyjnych, ponad 60 tys. punktów bilingowych przypisanych do prawie 170 krzywych nierównomierności przepływu, ponad 71 tys. odcinków sieci o łącznej długości ponad 1800 km, dla których specjalnie zbudowano ponad 400 nietypowych kształtów odcinków kanalizacyjnych.

Podstawowa funkcjonalność modelu umożliwia ocenę działania systemu w przypadku możliwych zrzutów dla nowo powstających zabudów, określenie poziomu wody i prędkości ścieków na każdym odcinku modelu, badanie szybkości wykorzystania objętości retencji zbiorników, analizę reżimu pracy przepompowni, regulatorów przepływu, analizę wydajności i przepustowości istniejących sieci kanalizacyjnych, analizę wpływu nowych inwestycji na wydajność sieci kanalizacyjnych, testowanie nowych rozwiązań technicznych, specyfikację wymagań technicznych dla połączeń kanalizacyjnych dostosowanych do rzeczywistej pojemności oraz analizę zagrożenia powodziowego. Dane hydrauliczne z modelu zostały w pełni zintegro-

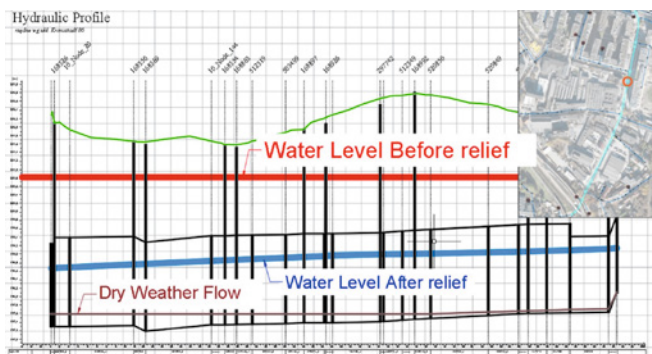
wane z system GIS, tak aby każdy pracownik WMK SA miał pełną wiedzę na temat działania systemu w rozpatrywanym rejonie. Ta funkcjonalność jest szczególnie przydatna pionom technicznym wydającym warunki przyłączenia oraz zakładowi sieci kanałowej zajmującemu się eksploatacją systemu. W wyniku wdrożenia modelu hydraulicznego możliwe było również uruchomienie programu CSO związanego z redukcją zrzutów podczas uruchomienia przelewów burzowych.

Szczegółowy model hydrauliczny sieci kanalizacyjnej składa się z wszystkich elementów koniecznych do oceny przepływów miarodajnych dla każdego odcinka sieci zarówno dla pogody bezdeszczowej, jak i deszczy rzeczywistych oraz miarodajnych syntetycznych. System zarządzania siecią może być wizualizowany na mapie podkładowej wraz z prezentacją kanałów, zlewni hydrologicznych oraz potencjalnych miejsc wylewów w czasie różnych stanów sieci, w tym deszczy katastrofalnych.



Przykład wizualizacji systemu zarządzania siecią kanalizacyjną WMK SA

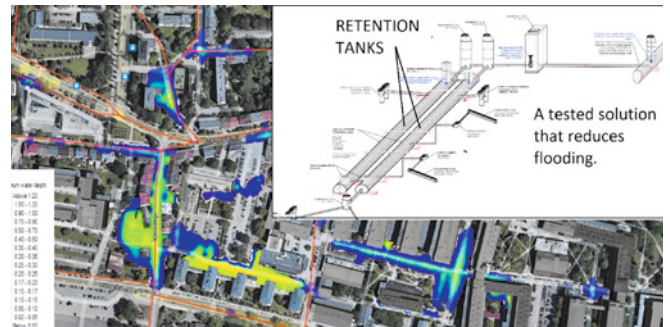
System umożliwia prezentację wypełnień sieci kanalizacyjnej z możliwością generowania profili podłużnych oraz oceną działania stanu istniejącego i po zastosowaniu elementów odciążających.



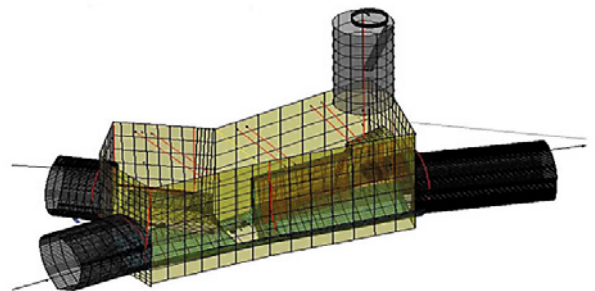
Wizualizacja wypełnień sieci kanalizacyjnej WMK SA

Wykorzystując model hydrauliczny, uzyskuje się miarodajną ocenę pracy nie tylko istniejącego systemu kanalizacyjnego, ale też wariantów związanych z optymalizacją pracy sieci przez budowę np. pompowni o odpowiedniej wydajności i zastawek hydraulicznych przekierowujących fale przepływu pomiędzy systemami pierścieniowymi kanalizacji ogólnospławnej. Dzięki szczegółowej znajomości pracy kolektorów spółka może wydawać warunki przyłączenia do sieci, redukując czynniki związane z podtopieniami przyłączy.

Obliczenia modelu hydrologicznego z wykorzystaniem opadów rzeczywistych i syntetycznych przyczyniają się do optymalizacji systemu kanalizacyjnego w Krakowie. Są to np. ruchome krawędzie przelewowe (podniesienie krawędzi powoduje



Przykład wygenerowanej mapy zalewowej wraz z ukazaniem elementów projektów weryfikowanych w jednym ze scenariuszy na modelu hydraulicznym



Pomiary geodezyjne obiektów infrastruktury, widok 3D



Pomiary napętnienia i prędkości przepływu ścieków

większe rozcieńczenie ścieków i mniejszy odpływ) oraz zastawki piętrzące na sieci kanalizacyjnej, sterujące retencją w czasie rzeczywistym.

Dalsza rozbudowa modelu

Model szczegółowy hydrauliczny sieci kanalizacyjnej jest podstawą tworzonego obecnie systemu modelowania w czasie rzeczywistym. Budowany system Real-Time Modeling został zintegrowany z danymi z radarów pogodowych, co umożliwi przewidywanie zdarzeń deszczowych i identyfikację obszarów zagrożonych oraz odcinków sieci narażonych na przeciążenie. WMK SA planują zakończyć budowę systemu pod koniec 2023 r.

Zbudowany i wdrożony zintegrowany model hydrauliczny sieci kanalizacji Krakowa jest przykładem tego, jak narzędzia cyfrowe mogą wspomagać funkcjonowanie miast zmuszonych do zwiększania efektywności swoich sieci kanalizacyjnych wskutek ekstremalnych zjawisk pogodowych. Optymalizacja działania kanalizacji oparta na modelowaniu hydraulicznym pomaga również minimalizować ryzyko zanieczyszczenia rzek ściekami, redukując częstotliwość zrzutów z przelewów burzowych.

www.wodociagi.krakow.pl



Czytaj więcej



WODOCIĄGI
Miasta Krakowa

Jesteśmy z Wami. Każdego dnia!



facebook.com/prostozkranu
facebook.com/Wodociagi.Miasta.Krakowa.Awarie



youtube.com/WodociagiMiastaKrakowa



instagram.com/wodociagi_miasta_krakowa/



linkedin.com/company/wodociagi-miasta-krakowa-s-a