

System CRIS jako narzędzie w zarządzaniu zlewnią

Słowo wstępu

W latach 2013-16 w Instytucie Ekologii Terenów Uprzemysłowionych (IETU) był realizowany projekt *Zintegrowana strategia zrównoważonego zarządzania wodami w zlewni* – CRIS*, finansowany z funduszy norweskich, mający na celu stworzenie demonstracyjnego Zintegrowanego Systemu Informacji o Zlewni, na przykładzie zlewni Małej Wisły. Współwykonawcami projektu były: Instytut Ochrony Środowiska Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ PIB) oraz Norweski Instytut Badań Wody (NIVA).

W wyniku realizacji projektu powstał system CRIS dostarczający narzędzia wspierające decydentów zajmujących się nie tylko gospodarką wodną, ale również planowaniem przestrzennym, rolnictwem czy ochroną środowiska na terenie zlewni. System stanowi propozycję rozwiązania umożliwiającego skuteczne wieloaspektowe zarządzanie zlewnią, a zadanie to jest obowiązkiem wynikającym z wdrażanej w Polsce Ramowej Dyrektywy Wodnej.

Demonstracyjny system został wdrożony na obszarze obejmującym zlewnię Małej Wisły od jej źródeł po punkt wodowskazowy w Jawiszowicach. Na obszarze tym położony jest zaporowy Zbiornik Goczałkowicki stanowiący podstawowy rezerwuuar wody dla konurbacji śląskiej oraz istotny obiekt hydrotechniczny chroniący przed zalaniem tereny leżące poniżej (m.in. Kraków).

Zdaniem zespołu badawczego system wspomagający zarządzanie zlewnią powinien nie tylko gromadzić i udostępniać dane pochodzące z obserwacji i pomiarów, lecz również pozwalać na przestrzenne odwzorowanie i wizualizację stanu podstawowych parametrów opisujących procesy zachodzące w środowisku,

kształtujących obieg wody i substancji chemicznych w zlewni.

Punkt meteo IMGW Ustroń Równica Wieś

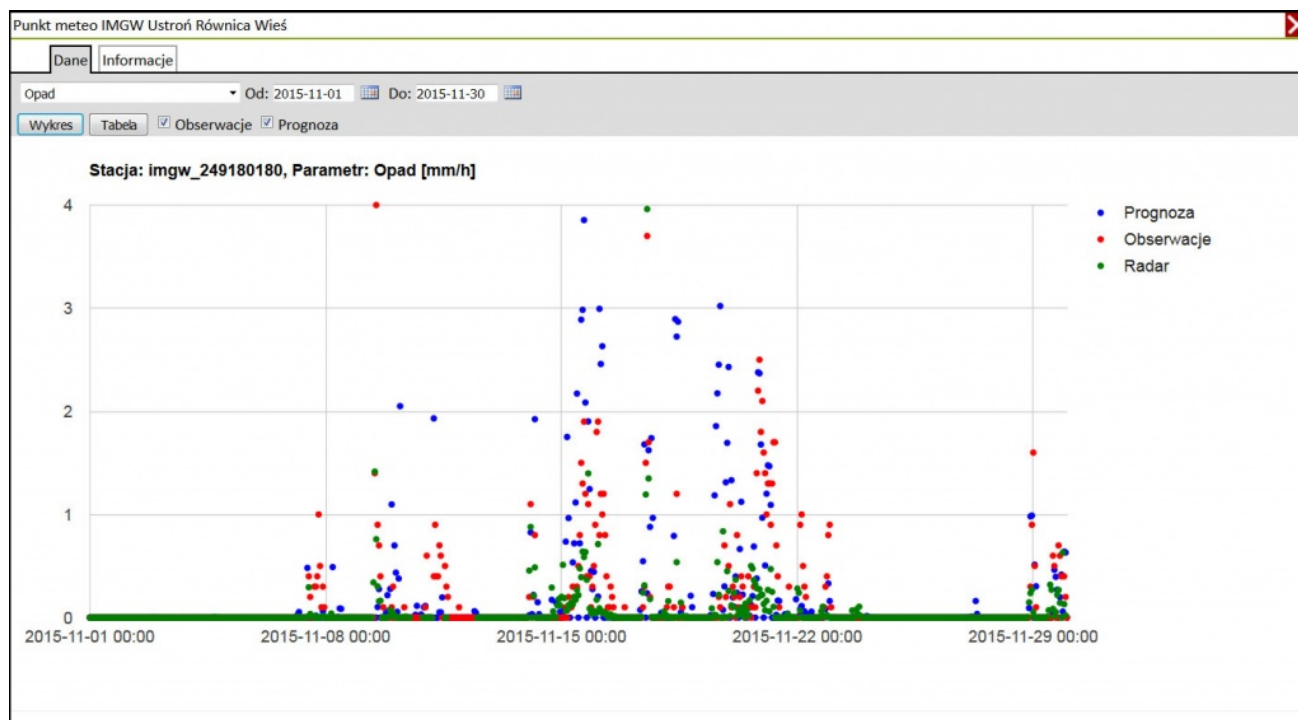
Dane Informacje

Opad Od: 2015-11-01 Do: 2015-11-30

Wykres Tabela ☒ Obserwacje ☒ Prognoza

Czas	Obserwacje [mm/h]	Prognoza [mm/h]	Radar [mm/h]	Obs.-Prog.	Błąd [%]
2015-11-20 18:00	0.10	0	0.36	0.10	100
2015-11-20 19:00	1.40	0.38	0.32	1.02	73
2015-11-20 20:00	2.20	2.38	0.28	0.18	8
2015-11-20 21:00	2.50	2.37	0.20	0.13	5
2015-11-20 22:00	1.80	1.68	0.28	0.12	7
2015-11-20 23:00	2.10	0.97	0.22	1.13	54
2015-11-21 00:00	1.60	0	0.22	1.60	100
2015-11-21 01:00	1.40	0.50	0.13	0.90	64
2015-11-21 02:00	1	1.20	0.07	0.20	20
2015-11-21 03:00	1.30	1.48	0.16	0.18	14
2015-11-21 04:00	1.30	1.47	0.27	0.17	13
2015-11-21 05:00	0.90	1.09	0.06	0.19	21
2015-11-21 06:00	1.30	0	0.47	1.30	100
2015-11-21 07:00	1.70	0	0.25	1.70	100
2015-11-21 08:00	1.70	0	0.10	1.70	100
2015-11-21 09:00	0.70	0.03	0	0.67	96
2015-11-21 10:00	0.40	0.17	0	0.23	59
2015-11-21 11:00	0.10	0.16	0	0.06	61
2015-11-21 12:00	0	0	0	0	
2015-11-21 13:00	0	0	0	0	
2015-11-21 14:00	0	0	0	0	
2015-11-21 15:00	0	0.03	0	0.03	
2015-11-21 16:00	0	0.02	0	0.02	
2015-11-21 17:00	0	0.04	0	0.04	
2015-11-21 18:00	0.30	0	0.03	0.30	100
2015-11-21 19:00	0	0	0	0	

Rys. 1. Zestawienie tabelaryczne danych o opadach (obserwacje, radar oraz prognoza WRF) dla posterunku IMGW Ustroń Równica Wieś.



Rys. 2. Wykres porównujący obserwacje, dane radarowe oraz prognozę WRF dla posterunku IMGW Ustroń Równica Wieś w

listopadzie 2015 roku.

Modele wykorzystane w systemie

Głównym komponentem systemu jest model **SWAT** (Soil Water Assessment Tool). Model ten bazując na charakterystyce gleb, formie pokrycia i użytkowania terenu, ukształtowaniu terenu oraz warunkach meteorologicznych opisuje najważniejsze procesy zachodzące w zlewni. Do procesów tych należą między innymi: przepływ wody korytami cieków, spływ powierzchniowy, infiltracja, parowanie, transpiracja, transport osadów, substancji pokarmowych i zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych i w glebie. Ze względu na ograniczenia modelu SWAT do opisu przepływu wód, transportu zawiesin i substancji pokarmowych w dużym zbiorniku wodnym, jakim jest Zbiornik Goczałkowicki, system CRIS wykorzystuje model GEMSS (Generalized Environmental Modelling System for Surface Waters). Model ten działa w oparciu o charakterystykę dopływów dostarczaną przez SWAT. Dodatkowe uzupełnienie modelu SWAT stanowi model HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers – River Analysis System) pozwalający na szacowanie poziomu wód w ciekach. Parametr ten jest bardzo istotny z punktu widzenia zarządzania kryzysowego w przypadku występowania sytuacji powodziowych, a nie jest wyznaczany przez SWAT.

Przepływ wód w zlewni to nie tylko spływ powierzchniowy, ale również przepływ wód podziemnych obejmujący co najmniej pierwszy poziom wodonośny. W Systemie CRIS wykorzystano model przepływu wód podziemnych **MODFLOW** (MODular three-dimensional finite-difference ground-water FLOW model) oraz model transportu zanieczyszczeń w wodach podziemnych MT3DMS (Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model).

W bilansowaniu wód w zlewni, jedną z najważniejszych informacji jest zmienność przestrzennego rozkładu opadów atmosferycznych w czasie. W Systemie CRIS założono, że dane na ten temat będą pochodziły z posterunków opadowych IMGW,

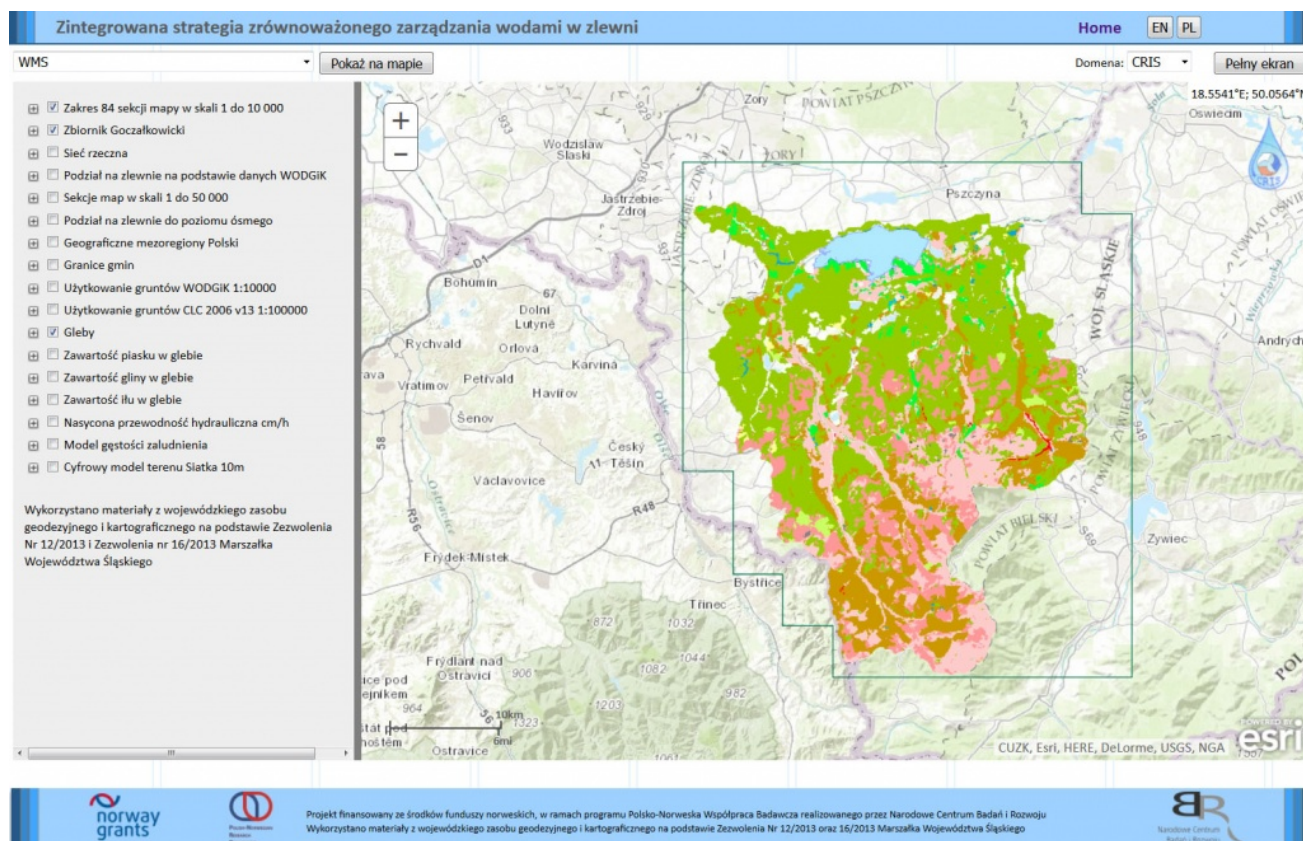
własnej stacji meteorologicznej oraz z radaru meteorologicznego IMGW w Ramży. Prognozy meteorologiczne opracowywane są za pomocą modelu meteorologicznego **WRF** (Weather Research & Forecasting). Pozwala on określić wielkość opadu, który w istotny sposób wpływa na depozycję azotu z powietrza. Depozycja wyznaczana jest w systemie w oparciu o model dyspersji zanieczyszczeń **CALPUFF**. Azot z powietrza wpływa na bilans substancji biogenych w wodach zlewni, choć w mniejszym stopniu niż ze źródeł rolniczych.

Dane zgromadzone na potrzeby systemu

Żaden model nie będzie poprawnie pracował i dostarczał wiarygodnych informacji bez odpowiednich danych. Podobnie jest w przypadku systemu CRIS. Dlatego pozyskanie danych, ich odpowiednia organizacja oraz zapewnienie komunikacji z poszczególnymi modelami stanowiły istotny element projektu. Podział zlewni na zlewnie cząstkowe przeprowadzono poprzez modyfikację Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP) w skali 1:50 000 opracowanej przez Zakład Hydrografii i Morfologii Koryt Rzecznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie, a udostępnionej przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej. Informacje na temat użytkowania ziemi pochodzą z Banku Danych Obiektów Topograficznych w skali 1:10 000 pozyskanego z Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Katowicach. Z tego samego źródła pochodzą wektorowe dane o rzeźbie terenu (NMT) w skali 1:10 000 cechujące się średnim błędem na poziomie od 0,8 m do 2,0 m.

Niestety w Polsce nie istnieje jedno źródło danych opisujących charakterystykę gleb dla całego kraju. Dlatego wykonawcy musieli zintegrować dane pochodzące z mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 opracowanej przez Instytut Upraw Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) mapę glebowo-rolniczą oraz z mapy leśnej uzyskanej z Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Katowicach (RDLP). Luki uzupełniono danymi pochodzącymi ze

Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:5 000 opracowaną przez Państwowy Instytut Geologiczny (Rys. 3).



Rys. 3. Charakterystyka gleb przygotowana dla analizowanego obszaru dostępna w usłudze WMS.

Charakterystyka jakości wody pochodzi z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Katowicach, a stan wody (poziom piętrzenia i przepływ) z punktów wodowskazowych IMGW PIB. Z IMGW pozyskano również dane pochodzące z posterunków opadowych a także, dzięki zawartej umowie, z radaru meteorologicznego w Ramży.

Zestaw danych wzbogacono o dane pochodzące od operatora zbiornika, którym jest Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. Dane te opisują charakterystykę fizyko-chemiczną na Wiśle w Strumieniu przed ujściem do Zbiornika Goczałkowickiego oraz opisują pracę zapory i poboru wody przez Zakład Uzdatniania Wody GPW w Goczałkowicach. Dodatkowo gromadzone są dane meteorologiczne pochodzące początkowo z firmy Ecoclimate, a obecnie ze stacji meteorologicznej IETU.

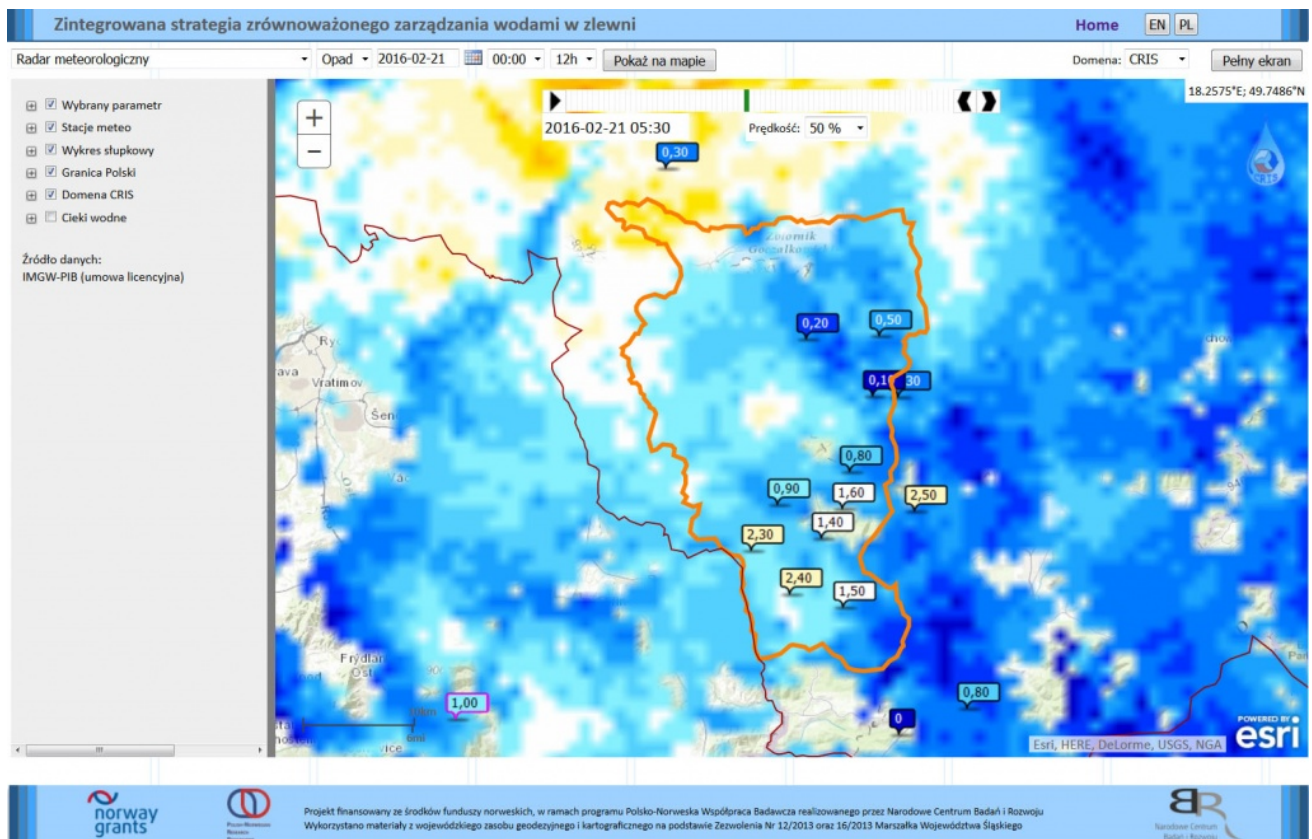
Wszystkie dane zarówno statyczne – opisujące zlewnię jak i dynamiczne – monitoringowe oraz symulacje modelowania – zgromadzono w relacyjnej bazie danych *SQL Server* zintegrowanej z *ArcGIS for Server*. Do zadań bazy oprócz gromadzenia danych należy obsługa modeli , automatyczny import danych ze źródeł zewnętrznych oraz zasilanie w dane dedykowanej aplikacji mapowej działającej w oknie przeglądarki internetowej. Można z niej skorzystać na stronie projektu www.cris.ietu.katowice.pl.

Usługi systemu CRIS

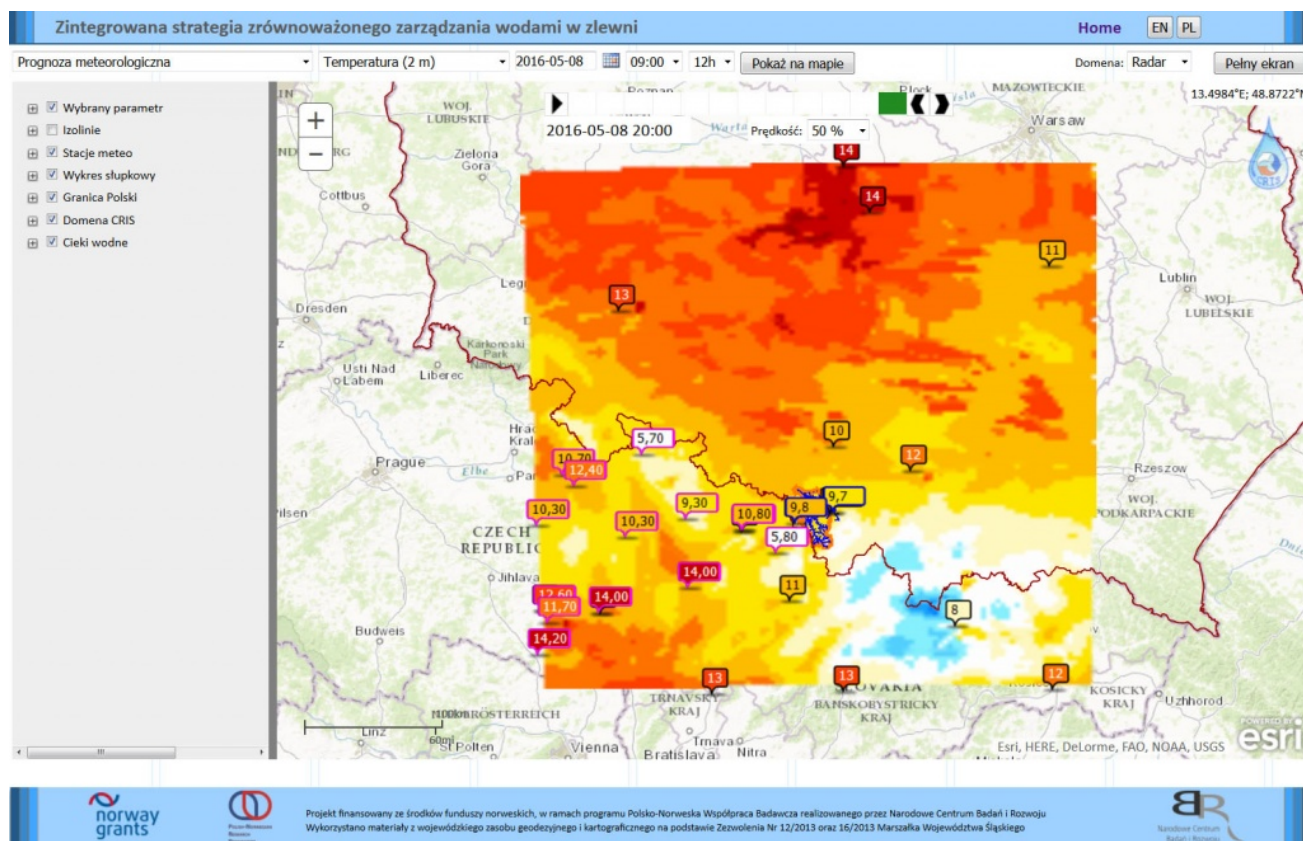
Aplikacja uruchamiana w przeglądarce internetowej zapewnia dostęp do szeregu usług stanowiących zestawienie różnych, dobranych przez twórców systemu, warstw informacyjnych. Obejmują one:

- opad atmosferyczny na podstawie analizy odbiciowości wyznaczanej przez radar meteorologiczny (Rys. 4);
- 48-godzinna prognoza meteorologiczna opracowana przy pomocy modelu WRF (Rys. 5);
- parametry meteorologiczne użyte do obliczania bilansu wodnego w systemie CRIS;
- dobowy bilans wodny i transport substancji w zlewniach cząstkowych wyznaczany przy pomocy modelu SWAT (Rys. 6);
- dobowy bilans wodny i transport substancji w ciekach wyznaczany przy pomocy modelu SWAT (Rys. 7);
- natężenie przepływu w ciekach wyznaczane przy pomocy modelu SWAT;
- stan wód w Wiśle w przekrojach wodowskazowych na podstawie modelu HEC-RAS;
- dobowy poziom wód podziemnych oraz stężenie azotu azotanowego w wodach podziemnych obliczone za pomocą modeli MODFLOW i MT3DMS;
- dobowa depozycja azotu z atmosfery w zlewniach cząstkowych na podstawie modelu CALPUFF;
- hydrodynamika, temperatura i jakość wody Zbiornika Goczałkowickiego wyznaczona za pomocą modelu GEMSS;

- zestaw warstw WMS (Rys. 3);
- obserwacje satelitarne dotyczące parametrów jakości wód powierzchniowych.

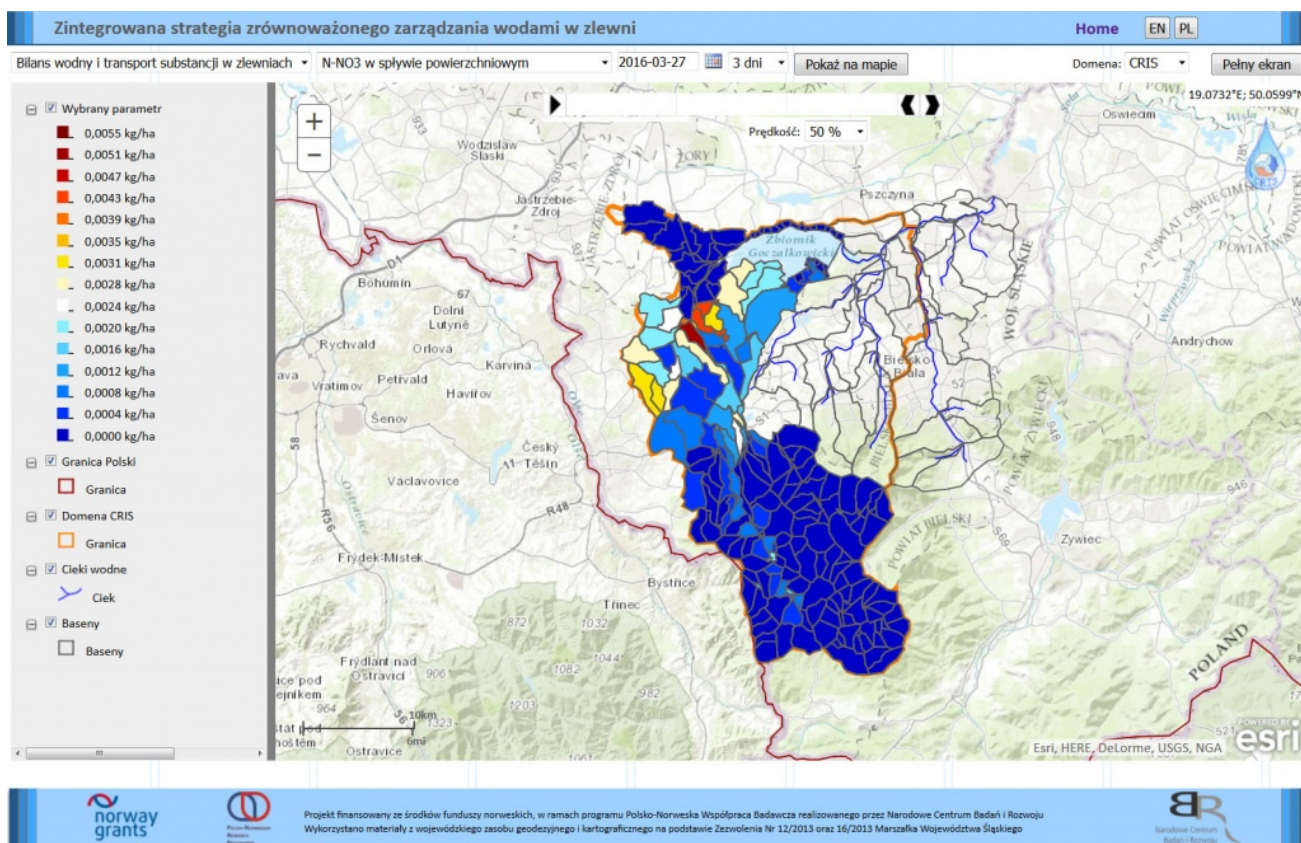


Rys. 4. Usługa obrazująca opad atmosferyczny w oparciu o dane pochodzące z radaru w Ramży.

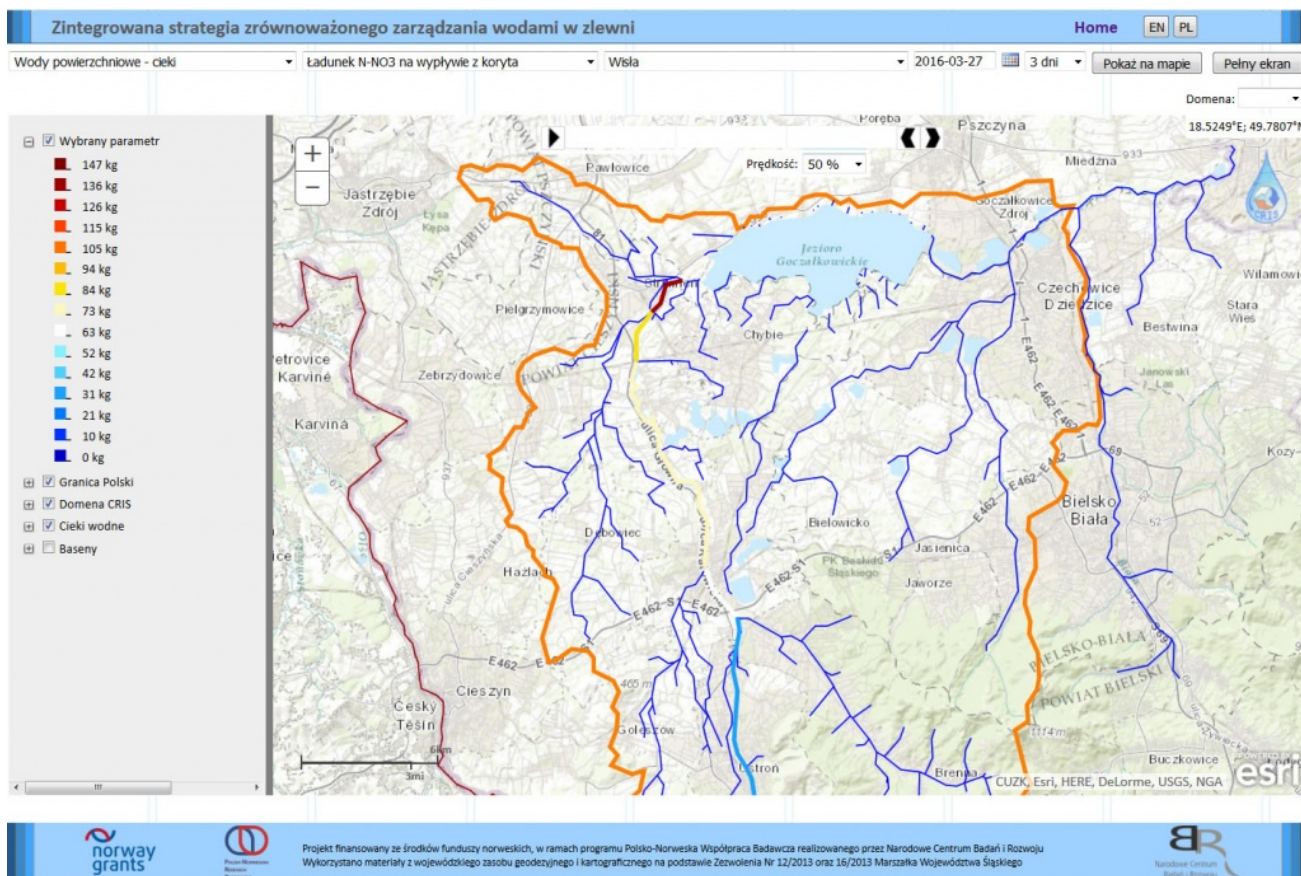


Rys. 5. Prognoza temperatury dla otoczenia domeny CRIS uzyskana z wykorzystaniem modelu WRF.

System CRIS udostępnia w czasie rzeczywistym dane pomiarowe oraz wyniki symulacji i prognoz o sytuacji meteorologicznej (wielkości opadów), depozycji azotu z atmosfery, jakości i bilansie wód w zlewni, poziomie zwierciadła wód podziemnych, o stanie zbiornika zaporowego, a także o natężeniu przepływu i poziomie wód w rzekach. Dane prezentowane są w postaci zestawu warstw informacji przestrzennej. Możliwy jest dostęp do danych dla dowolnej chwili czasowej począwszy od 1 stycznia 2015r. z rozdzielczością dobową, godzinową lub 10-minutową w zależności od źródła danych. System umożliwia również porównywanie danych modelowych z pomiarowymi, a także odtwarzanie animacji obrazujących zmienność stanu danego parametru. Całość rozwiązania zbudowana została z wykorzystaniem ArcGIS API for JavaScript i osadzona w przeglądarce, której interfejs przedstawiają rysunki 3 do 7.



Rys. 6. Wartości ładunku azotu azotanowego w spływie powierzchniowym uzyskane dla analizowanej zlewni za pomocą modelu SWAT.



Rys. 7. Ładunek azotu azotanowego w korycie Wisły uzyskany dla analizowanej zlewni za pomocą modelu SWAT.



* Projekt finansowany był ze środków funduszy norweskich, w ramach programu Polsko-Norweska Współpraca Badawcza realizowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, a zrealizowany został przez zespół naukowców z Polski i Norwegii. Kluczowe osoby realizujące projekt i ich funkcje: dr Czesław Kliś (IETU) - koordynacja projektu; dr Joachim Bronder (IETU) - opracowanie danych przestrzennych; Jacek Długosz i Piotr Cofałka (IETU) - gromadzenie, przetwarzanie i prezentacja danych; Rafał Ułańczyk (IOŚ PIB), dr John Rune Selvik (NIVA), dr Czesław Kliś (IETU), dr Katarzyna Samborska (IETU) – implementacja modeli numerycznych.