



Biuletyn nr 2/2015



**Analiza czynników wpływających na stan ekologiczny wód
Zbiornika Sulejowskiego w oparciu o ciągły monitoring i zintegrowany
model 3D zbiornika**

Projekt współfinansowany w ramach Mechanizmu EOG 2009-2014,
Program Operacyjny PO3: „Wzmocnienie monitoringu środowiska oraz działań kontrolnych”.



Politechnika Łódzka
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
90-924 Łódź, ul. Wólczańska 213, tel.: + 48 42 631-37-73,
+ 48 42 631-37-20, fax: +48 42 636-49-23,
e-mail: monsul@info.p.lodz.pl, www.monsul.wipos.p.lodz.pl

PARTNERZY

Norweski Instytut Jakości Wody (NIVA) z/s w Oslo www.niva.no
Wydział Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego www.geo.uni.lodz.pl

**Ponad 1,7 mln złotych
dofinansowania z funduszy**



Okres realizacji 03.2015 r. - 04.2016 r.





Projekt

MONSUL

1. Wstęp

To już półmetek naszego projektu. Z tej okazji publikujemy drugi numer biuletynu, w którym opisujemy pierwsze rezultaty z realizacji projektu MONSUL. Opowiemy między innymi o tym jak zsynchronizowaliśmy i efektywnie wykorzystaliśmy trzy platformy badawcze, które monitorują stan wód oraz parametry biologiczne i fizykochemiczne Zalewu Sulejowskiego. Chcemy także przedstawić w jaki sposób duża ilość szczegółowych danych zebranych w warunkach terenowych i w czasie rzeczywistym - służy nam do tworzenia dokładnych map zalewu. Pokażemy, jak wykorzystaliśmy w pracach projektowych zaawansowane narzędzia i modele cyfrowe (ArcGIS i GEMSS). Na koniec kilka słów o tym, jak przez miniony okres komunikowaliśmy się z zainteresowanymi organizacjami i środowiskami, organizując regionalne seminaria oraz prezentując rezultaty projektu MONSUL na Konferencji SDEWES 2015 w Dubrowniku.

Życzymy miłej lektury, zaś po więcej informacji zapraszamy na stronę projektu:
www.monsul.wipos.p.lodz.pl

Zespół realizujący projekt MONSUL

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Monitoring badawczy jakości wody w Zbiorniku Sulejowskim
3. Dane z pokładu wprost do cyfrowej mapy zalewu
4. Od modelu matematycznego do modelowej gospodarki wodnej
5. Prezentacja metodyki i zakresu badań - spotkanie w Swolszewicach
6. Rezultaty projektu MONSUL na Konferencji SDEWES 2015 w Dubrowniku

2. Monitoring badawczy jakości wody w Zbiorniku Sulejowskim

Wiosną 2015 r. rozpoczęto realizację jednego z najważniejszych celów projektu MONSUL - badania jakości wody w Zbiorniku Sulejowskim. Program tych badań monitoringowych jest realizowany w oparciu o trzy, wzajemnie powiązane platformy badawcze:

- system pomiarowy składający się z dwóch sond, zamontowanych na bojach zakotwiczonych w północnej i centralnej części zbiornika, mierzących (w sposób ciągły) wybrane parametry jakości wody,
- ruchomy (pływający) system pomiarowy, pracujący w oparciu o sondę EXO2, firmy YSI,
- pomiary laboratoryjne, polegające na analizie próbek wody pobranych z różnych punktów Zbiornika Sulejowskiego.

Pierwszy z wymienionych systemów pomiarowych składa się z dwóch sond typu EXO, zamontowanych na bojach zakotwiczonych w dwóch krytycznych punktach Zbiornika Sulejowskiego. Lokalizację tych boi ilustruje foto nr 1.



foto nr 1

Sondy zamontowane na bojach wykonują ciągły, automatyczny pomiar następujących parametrów badanej wody: temperatura, pH, stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie, konduktywność, stężenie chlorofilu, stężenie alg i stężenie jonu amonowego. Sondy są zanurzone na głębokość 1,5-2,5 m. pod powierzchnią wody. Boja nr 1, dostarczona przez WIPOŚ PŁ dodatkowo wyposażona jest w czujnik meteorologiczny mierzący temperaturę i wilgotność powietrza, prędkość i kierunek wiatru, ciśnienie atmosferyczne oraz nasłonecznienie (foto nr 2).

Sonda dostarczona przez Norweski Instytut Badań Wody (NIVA, Oslo) została umieszczona w pobliżu miejscowości Zarzecin, w centralnej części Zbiornika Sulejowskiego (foto nr 3).



foto nr 2



foto nr 3

Dane uzyskane z sond pomiarowych są przekazywane na odpowiednie serwery i publikowane na stronie internetowej projektu MONSUL (www.monsul.wipos.p.lodz.pl). Zapraszamy wszystkich chętnych i zainteresowanych do odwiedzenia naszej strony internetowej i śledzenia na bieżąco wyników pomiarów, które pozwalają ocenić wybrane parametry jakości wody w Zbiorniku Sulejowskim w czasie rzeczywistym.

Ruchomy system pomiarowy monitoringu składa się z sondy pomiarowej EXO2 i modułu GPS pozwalającego na określenie pozycji sondy w chwili pomiaru (foto nr 4). System ten jest zamontowany na łodzi motorowej, dzięki której można przepłynąć jezioro wg wyznaczonej trasy pomiarowej w czasie ok. 8 godzin i zmierzyć takie parametry jakości wody jak: temperatura wody, pH, stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie, konduktywność, stężenie chlorofilu, stężenie alg i jonu amonowego.

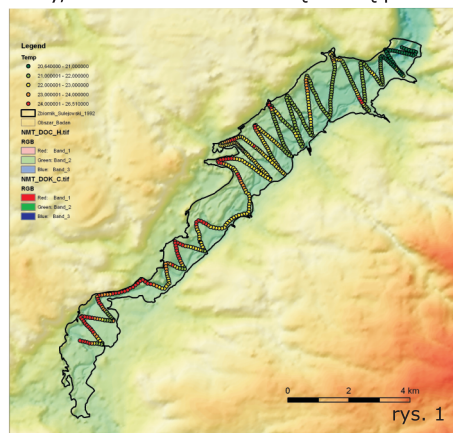


foto nr 4



foto nr 4

Sonda, holowana obok łodzi, jest zanurzona na głębokość ok. 1,5 m. pod powierzchnią wody, a łódź z zamontowaną sondą porusza się z prędkością ok. 6 – 7 km/h. Prędkość ta została tak dobrana, aby zminimalizować błędy wynikające z bezwładności czujników pomiarowych. Dane pomiarowe uzyskane z przepływu są gromadzone w pamięci podręcznej datalogger'a, skąd są przesyłane na komputer PC.



rys. 1

Stosując ten system pomiarowy uzyskuje się informacje o stanie jakości wody w dniu pomiarów, w 650 – 700 punktach zlokalizowanych na obszarze całego jeziora. Pomiary były wykonywane co 2 tygodnie, począwszy od maja i będą kontynuowane do końca października 2015 r. Przykładową trasę przepływu łodzi wraz z sondą i wyniki pomiarów temperatury wody w Zbiorniku Sulejowskim w dniu 3 sierpnia 2015 r. przedstawia rys. 1.



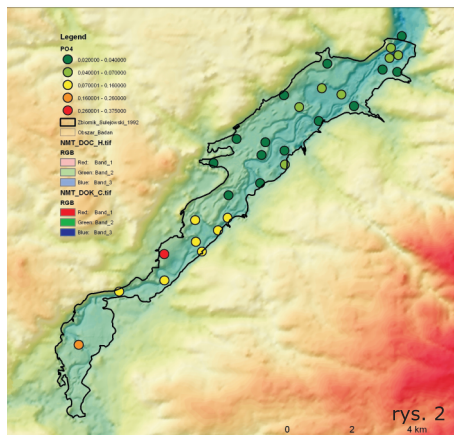
Trzeci z ww. systemów pomiarowych polega na analizie próbek wody pobranych z Zalewu Sulejowskiego. W trakcie przejazdu łodzią po zalewie pobieranych jest ok. 30 próbek wody z wybranych punktów na zalewie. Pobór próbek wody odbywał się co 2 tygodnie. W próbkach wody pobranych z zalewu oznaczano następujące parametry: Chemiczne Zapotrzebowanie Tlenu - ChZT (w zakresie stężeń 15 – 150 mg O_2/dm^3), Biologiczne Zapotrzebowanie Tlenu - BZT₅ (0,2 – 12 mg O_2/dm^3 , Ogólny Węgiel Organiczny OWO (2 – 65 mg C/ dm^3), azot azotanowy (0,01 – 0,5 mg N- NO_3/dm^3), fosforany (0,02 – 2,5 mg PO_4^3/dm^3).

Zastosowana w projekcie metodyka oznaczania ww. parametrów próbek wody jest zgodna ze standardami stosowanymi w badaniach monitoringowych jakości wód powierzchniowych.

Parametry jakości wody są mierzone za pomocą metod spektrofotometrycznych, przy użyciu testów dostarczonych przez firmę Hach-Lange. ChZT oznacza się metodą dwuchromianową, w obecności siarczanu srebra jako katalizatora. Oznaczenie to jest zgodne z normą ISO 6060-1989. Oznaczenie BZT₅ polega na oznaczeniu w badanej próbce stężenia rozpuszczonego tlenu w dniu pobrania próbki i po 5 dniach inkubowania próbki w stałej temp. 20°C. Powyższe oznaczenie BZT₅ jest zgodne z normą EN 1899-1. OWO w badanych próbkach oznacza się poprzez mineralizację związków organicznych w temp. 100°C przez 2 godz. W tych warunkach następuje utlenienie związków organicznych do CO_2 , którego ilość jest oznaczana fotometrycznie. Oznaczenie TOC jest zgodne z normą DIN 38409-H3. Azot azotanowy N- NO_3^- oznacza się za pomocą kwasu sulfanilowego i chromotropowego. Barwny produkt reakcji analitycznych oznacza się spektrofotometrycznie.

Z kolei fosforany PO_4^3- oznacza się wykorzystując reakcję tych jonów z molibdenianem potasowym w środowisku kwaśnym. Oznaczenie jest zgodne z normą PN-EN ISO 6878-2006.





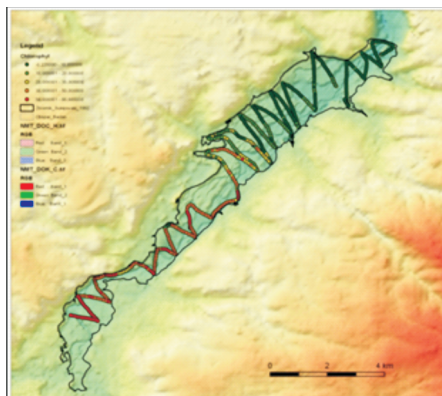
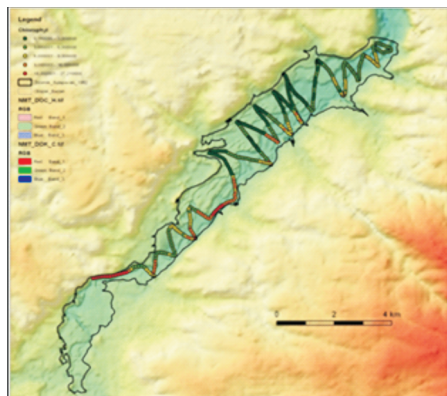
Każde z oznaczeń wykonywanych w ramach omawianych badań wykonuje się dwukrotnie, a końcowe wartości stężeń są wartością średnią, wyliczoną z dwóch równoległych pomiarów. W ramach przeprowadzonych badań, związanych z realizacją projektu, oznaczono stężenia OWO, N-NO_3^- , PO_4^{3-} , ChZT, BZT₅ w ponad 200 próbkach wody pobranych z Zalewu Sulejowskiego w okresie kwiecień – wrzesień 2015 r. Na rys. 2 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów stężenia jonów fosforanowych (w mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{dm}^3$) w dniu 10.06.2015 r., w różnych częściach Zalewu Sulejowskiego.

Podsumowując, należy podkreślić kompleksowość i szeroki zakres badań monitoringowych

realizowanych w ramach programu MONSUL. Rezultaty badań uzyskane w trakcie realizacji trzech, uzupełniających się programów monitoringu, pozwalają na kompleksową ocenę stanu ekologicznego wód zbiornika Sulejowskiego. Pozwalają także śledzić szybkość zmian tych parametrów w czasie i w przestrzeni. Uzyskane wyniki pomiarów monitoringowych posłużą także do opracowania i weryfikacji modelu matematycznego Zbiornika Sulejowskiego, dzięki któremu będzie można modelować jego stan ekologiczny.

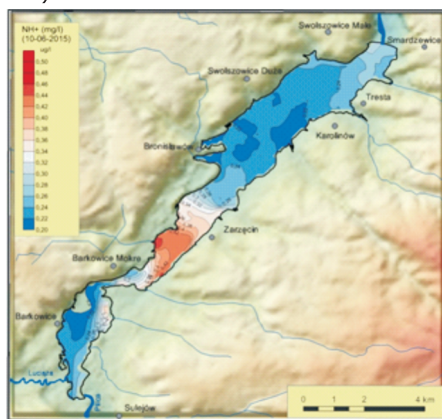
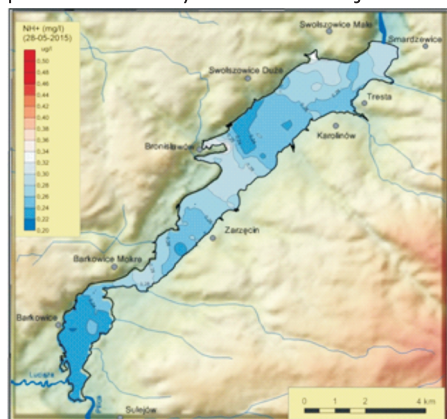
3. Dane z pokładu wprost do cyfrowej mapy zalewu

Rozwój geograficznych systemów informacji przestrzennej GIS spowodował, że tworzenie map ukazujących rozkład przestrzenny danego parametru jakościowego w środowisku geograficznym stał się prostszy, szybszy i łatwiejszy do interpretacji. Wykonywane w ten sposób mapy służą celom naukowym oraz popularno-naukowym i informacyjnym. W ramach projektu Monsul odbyło się 12 całoniedniowych rejsów łodzią motorową. W trakcie rejsu zanurzona w wodzie sonda zbierała dane parametry wody, dzięki zainstalowanemu GPSowi dane te przybierały charakter przestrzenny. Surowe dane były obrabiane i dostosowane do postaci baz danych systemu GIS. Po wczytaniu przez program ArcGIS firmy ESRI dane te nabrały charakteru przestrzennego i możliwa była prezentacja każdego pomiaru jako punktu pomiarowego umieszczonego w przestrzeni jeziora. Po wyświetleniu ich na tle przygotowanych wcześniej podkładów cyfrowych map Zalewu Sulejowskiego otrzymywaliśmy obraz wszystkich punktów pomiarowych. Przypisując każdemu z nich daną pomiarową otrzymaliśmy rozkład parametrów wody w śladzie płynięcia łódki (rys. 3). Z każdego przejazdu otrzymywaliśmy 6 map o charakterze punktowym co przy 12 przejazdach pozwoliło wykonać 72 mapy ukazujące rozkład przestrzenny danego parametru w dniu pomiaru.



Rys. 3 Przykładowa mapa pokazująca lokalizację każdego z pomiarów wykonanych w dniach 22.07.2015 i 2.09.2015 wraz z przypisanymi im wartościami Chlorofilu (ug/l).

Następnie w celu lepszej wizualizacji tych parametrów w jeziorze dokonaliśmy interpolacji wartości punktowych za pomocą oprogramowania Surfer oraz ArcGIS z rozszerzeniem Spatial Analyst. Dzięki tym zabiegom otrzymaliśmy mapy rozkładu poszczególnych parametrów wody w Zalewie Sulejowskim. (Rys. 4)



Rys. 4 Mapy rozkładu parametru NH_4^+ (mg/l) dniach 28.05 oraz 10.06

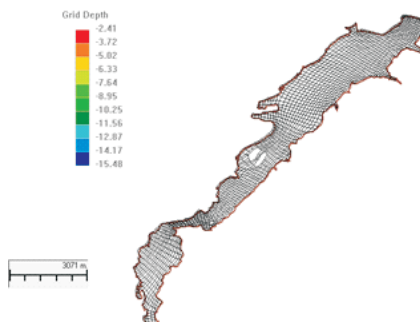
Przedstawienie rozmieszczenia przestrzennego parametrów wody w Zalewie Sulejowskim w poszczególnych dniach pomiarowych pozwoli na identyfikację miejsc dopływu oraz kumulacji związków mających wpływ na stan ekologiczny zbiornika. Ze względów interpretacyjnych podjęto decyzję o wykonaniu dodatkowo wszystkich map w skali ujednoliconej dla każdego pomiaru. Tak skonstruowane mapy pozwolą na prześledzenie zmian poszczególnych parametrów wody w całym okresie badawczym.

4. Od modelu matematycznego do modelowej gospodarki wodnej

Zastosowanie modelowania matematycznego do rozwiązywania problemów jakości wody stanowi potężne wsparcie w zarządzaniu zasobami wodnymi. Jako narzędzie prognostyczne modele matematyczne pozwalają na ocenę skutków zmian stanu ekologicznego badanego zbiornika wodnego. Jako narzędzie diagnostyczne, umożliwiają opis bardzo złożonych, rzeczywistych warunków w analizowanym ekosystemie.

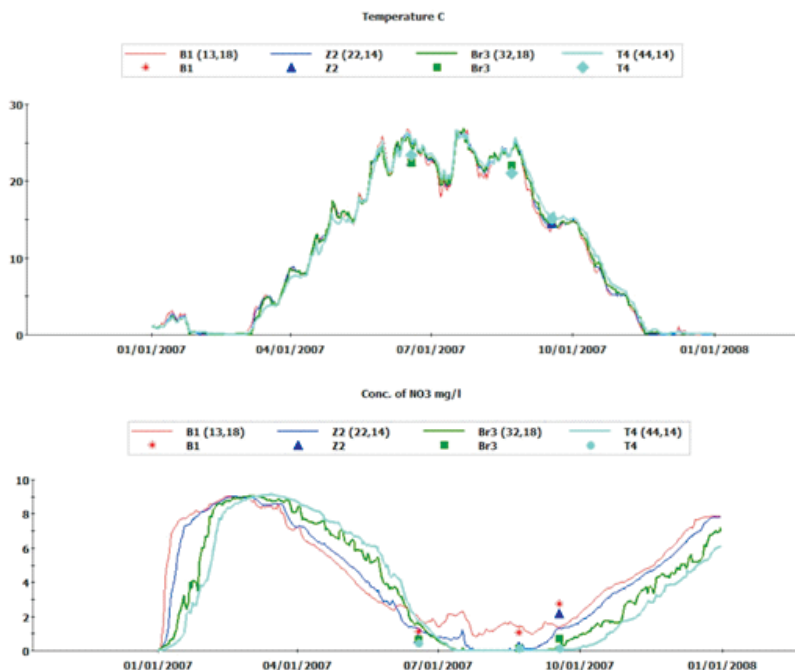
Wykorzystywany w projekcie MONSUL program GEMSS to zintegrowany model składający się z trójwymiarowego modułu hydrodynamicznego i modułu transportu zanieczyszczeń wbudowany w system informacji geograficznej i system danych środowiskowych. Model jest dostępny publicznie, i był używany do badań jakości wody na całym świecie (<http://www.erm-smg.com>). GEMSS powstał w połowie lat `80-tych jako platforma dostarczająca informacji o rozkładzie pól prędkości i rozkładzie stężeń związków biogennych. Rodzina modeli GEMSS obejmuje moduły: analizy termalnej wód, jakości wody, transportu osadów, śledzenia rozprzestrzeniania się cząstek, wycieku oleju, substancji chemicznych oraz toksyn. Jakość śródlądowych wód powierzchniowych i morskich może być dokładnie obliczona przez model tylko z kompleksowym 3-D modelem hydrodynamicznym i współpracującym z nim modelem transportu zanieczyszczeń.

Pierwszym krokiem do przeprowadzenia właściwych symulacji jakości wody było zbudowanie trójwymiarowej geometrii 17-kilometrowego Zalewu Sulejowskiego (rys. 5). Do tego celu wykorzystano moduł hydrodynamiczny modelu GEMSS – HDM, natomiast do analiz jakości wody zastosowano model WASP.



Rys. 5 Trójwymiarowa siatka obliczeniowa wygenerowana w programie GEMSS.

Kalibrację modelu GEMSS przeprowadzono na podstawie danych z 2007 roku. Wyniki potwierdzają ustalone założenia i dobrze odwzorowują stan rzeczywisty. Przykład kalibracji dla dwóch parametrów: temperatury wody oraz stężenia azotanów w wodach Zalewu Sulejowskiego przedstawia rysunek 6.



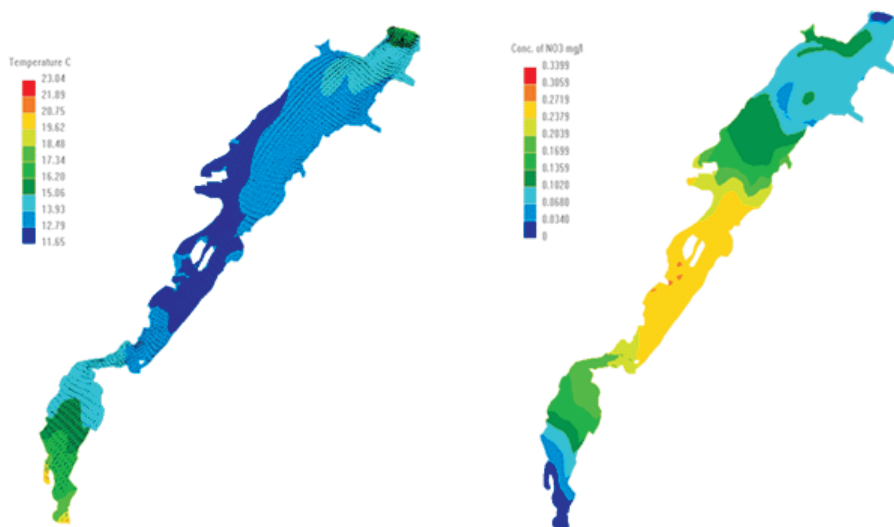
Rys. 6 Wyniki Kalibracji wykonanej dla danych z roku 2007.

Na podstawie wyników kalibracji przeprowadzono właściwe symulacje stanu ekologicznego wód Zalewu Sulejowskiego. Niezbędne dane wejściowe do modelu, determinujące przebieg eutrofizacji to: a) temperatura wody, prędkość i kierunek wiatru, temperatura punktu rosy), b) dane hydrauliczne (współczynnik Manninga), dane meteorologiczne, c) warunki początkowe i brzegowe, d) szeregi czasowe napływu parametrów jakościowych e) współczynniki reaeracji. Wszystkie dane zostały wprowadzone jako wartości dzienne.

W obecnym modelu założono, że zbiornik jest obciążony poprzez punktowe źródła zanieczyszczeń pochodzące głównie z komunalnych oczyszczalni ścieków zlokalizowanych w pobliżu Zbiornika Sulejowskiego. Zmienność napływających substancji odżywczych, wyrażona była w kg/dzień i obejmowała średnie wartości obciążeń ładunkiem biogennym w kolejnych miesiącach.

Rysunek 7 przedstawia wstępne wyniki symulacji przeprowadzone na danych z roku 2015. Rysunek 7 a) przedstawia rozkład temperatur w maju w zbiorniku w zakresie między 19°C w pobliżu wlotu do zbiornika (wpływ cieplejszej wody wchodzącej do zalewu wraz z dopływami) i 14°C w jeziornej (głębszej) części zalewu. Rysunek 7 b) przedstawia rozkład stężeń związków azotowych. Wyższe wartości (0,27 mg NO₃/dm³) obserwuje się w strefie

prześciowej (pomiędzy częścią rzeczną i jeziorną) w maju. Jest to przyczyną lokalizacji osiedli ludzkich w tej części jeziora. Ponadto, stężenia związków azotu są kilkakrotnie niższe w okresie wegetacji niż wczesną wiosną i późną jesienią. Może to być związane z mniejszym dopływem rozpuszczonych substancji ze zlewni, zwiększonym pobieraniem związków azotu przez rozwijający się fitoplankton lub zwiększoną intensyfikacją procesu denitryfikacji. Związki azotu występujące w zbiorniku są głównie pochodzenia allochtonicznego (wnoszone są z wodami rzek, zwłaszcza w okresie zwiększonego napływu).



Rys. 7 Rozkład a) temperatur i b) azotanów (NO_3) wzdłuż zbiornika, w maju 2015 r. Wyniki symulacji są komplementarne z pomiarami bezpośrednimi jakości wody i mogą być stosowane do wspomagania decyzji dotyczących prognoz jakości wody, zwłaszcza w odniesieniu do przebiegu eutrofizacji. Mogą także ułatwić podejmowanie decyzji dotyczących zmian w gospodarce wodnej zbiornika w zależności od zmieniającej się presji antropogenicznej.

5. Prezentacja metodyki i zakresu badań - spotkanie w Swolszewicach

W dniu 24 czerwca 2015 r., w hotelu „Kruk” w Swolszewicach Małych koło Tomaszowa Mazowieckiego zespół projektu Monsul omawiał zagadnienie związane z prezentacją metodyki i zakresu badań nad stanem wód Zalewu Sulejowskiego. Goszczący na seminarium przedstawiciele władz wszystkich gmin położonych nad brzegami zbiornika, przedstawiciele organizacji pozarządowych, administracji środowiskowej, Klubów Żeglarskich i Wioślarskich, Polskiego Związku Wędkarskiego, Zespołu Parków Krajobrazowych, oraz wszyscy zainteresowani mogli zapoznać się z pierwszymi wynikami badań i sposobem ich prezentacji.



Zespół w licznych prezentacjach opisywał wyzwania jakie wody zbiornika stawiają przed naukowcami. Opowiadano m.in. o dokładności pomiarów, sposobie ich gromadzenia i interpretowania, tworzonych za pomocą nowoczesnych narzędzi informatycznych - zestawieniach i mapach, ale także konieczności ulepszeń i modyfikacji systemów pomiarowych. Przedstawiono także dalsze plany dotyczące realizacji projektu i sposoby rozpowszechniania wyników badań.



Po spotkaniu na stronie projektu opublikowano materiały i prezentacje, a także udostępniono linki do stron: www.hydrowskaz.pl oraz www.aquamonitor.no/monsul, na których można szczegółowo i efektywnie śledzić stan wód zbiornika i jego dokładne parametry jakościowe.

6. Rezultaty projektu MONSUL na Konferencji SDEWES 2015 w Dubrowniku

W dniach 26.09.2015 – 2.10.2015 r. dr inż. Mirosław Imbierowicz zaprezentował rezultaty projektu MONSUL, na odbywającej się w Dubrowniku (Chorwacja) X Konferencji pn. „Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES 2015)”. W konferencji tej uczestniczyło ponad 500 delegatów z 50 krajów, którzy reprezentowali ośrodki naukowe zajmujące się szeroko rozumianą ochroną środowiska. Konferencje SDEWES, organizowane corocznie od ponad 10 lat mają charakter interdyscyplinarny, tzn. dotyczą bardzo szerokiego spektrum zagadnień, które są pozornie bardzo odległe

od siebie, ale kiedy traktować je kompleksowo, pozwalają dostrzec i znaleźć rozwiązania wielu palących problemów współczesnego świata, takich jak np. deficyt wody pitnej, niedostatek żywności, marnotrawstwo energii, globalne zmiany klimatyczne i in.

Na konferencji SDEWES 2015, w imieniu grupy współautorów i całego zespołu badawczego projektu MONSUL, dr inż. M. Imbierowicz zaprezentował referat pt. „Analysis of factors affecting the ecological status of the Sulejow Reservoir based on continuous monitoring and an integrated 3D model of the artificial lake”. W trakcie swojego wystąpienia przedstawił on główne cele projektu oraz sposoby i metody ich realizacji. Omówił także pierwsze rezultaty badań, czyli wyniki pomiarów stanu jakości wody uzyskane w ramach programu badań monitoringowych oraz rezultaty pierwszych symulacji komputerowych statusu ekologicznego Zbiornika Sulejowskiego.

W podsumowaniu wystąpienia i w trakcie dyskusji dr inż. M. Imbierowicz podkreślił, że ostateczne rezultaty projektu będą znane dopiero za jakiś czas, lecz już dzisiaj można stwierdzić, że opracowany w ramach projektu MONSUL model matematyczny Zalewu Sulejowskiego stanie się cennym narzędziem do dalszych prac badawczych oraz może zostać wykorzystany do efektywnego i zrównoważonego zarządzania zasobami wodnymi tego zbiornika.



