

Załącznik 2a: Autoreferat – dr inż. Marcin Kulawiak

1. Imię i Nazwisko.

Marcin Jerzy Kulawiak

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

2010 - **Doktor nauk technicznych (z wyróżnieniem)** w dyscyplinie: Informatyka. Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechnika Gdańska. Tytuł rozprawy doktorskiej: „Algorithms for processing and visualization of Critical Infrastructure security data as well as simulation and analysis of threats”.

2006 – **Magister Inżynier**, ukończone studia na kierunku: Informatyka, specjalność: Architektura Systemów Komputerowych, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechnika Gdańska

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.

Od 01.02.2011 – Adiunkt w Katedrze Systemów Geoinformatycznych, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej.

01.10.2007 – 01.02.2011 – Asystent w Katedrze Systemów Geoinformatycznych, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej.

01.05.2011 – 30.11.2013 - dodatkowe zatrudnienie w centrum badawczym firmy OPEGIEKA sp. z o.o. z siedzibą w Elblągu na stanowisku analityka systemów informatycznych.

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

Algorytmiczne i technologiczne innowacje w zastosowaniu sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy),

1. **Marcin Kulawiak**, Zbigniew Lubniewski, 2014. *SafeCity - A GIS-based tool profiled for supporting decision making in urban development and infrastructure protection*. Technological Forecasting and Social Change Volume 89, pp. 174–187. doi: 10.1016/j.techfore.2013.08.031 Impact Factor: **2.058**.

Czasopismo z pierwszego kwartyła listy klasyfikacyjnej Journal Citation Reports.

2. Marek Moszyński, **Marcin Kulawiak**, Andrzej Chybicki, Krzysztof Bruniecki, Tomasz Bieliński, Zbigniew Łubniewski, Andrzej Stepnowski, 2015. *Innovative Web-Based Geographic Information System for Municipal Areas and Coastal Zone Security and Threat Monitoring Using EO Satellite Data*. Marine Geodesy Volume 38, Issue 3, pp. 203 – 224. doi: 10.1080/01490419.2014.969459

Impact Factor: **0.979**.

3. Andrzej Chybicki, **Marcin Kulawiak**, Zbigniew Łubniewski, 2016. *Characterizing surface and air temperature in the Baltic Sea coastal area using remote sensing techniques and GIS*. Polish Maritime Research Volume 23, Issue 1 (89), pp. 3-11. doi: 10.1515/pomr-2016 - 0001

Impact Factor: **0.776**.

4. **Marcin Kulawiak**, 2016. *Operational algae bloom detection in the Baltic Sea using GIS and AVHRR data*. Baltica Volume 29, Issue 1, pp. 3-18. doi: 10.5200/baltica.2016.29.02

Impact Factor: **0.538**.

5. Agnieszka Dawidowicz, **Marcin Kulawiak**, 2017. *The potential of Web-GIS and geovisual analytics in the context of marine cadastre*. Survey Review , pp. 1-12.

doi:10.1080/00396265.2017.1328331

Impact Factor: **0.929**.

6. **Marcin Kulawiak**, Witold Wycinka, 2017. *Dynamic signal strength mapping and analysis by means of mobile Geographic Information System*. Metrology and Measurement Systems Volume 24, Issue 4, pp. 596-606. doi: 10.1515/mms-2017-0054

Impact Factor: **1.598**.

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Prezentowany powiązany tematycznie cykl publikacji naukowych pt. „Algorytmiczne i technologiczne innowacje w zastosowaniu sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej” obejmuje 6 artykułów w języku angielskim, opublikowanych w latach 2014-2017 w czasopismach indeksowanych w bazie Journal Citation Reports. Sumaryczny Impact Factor wchodzących w skład cyklu publikacji, zgodnie z rokiem opublikowania, wynosi 6.878. Prezentowane publikacje stanowią wynik interdyscyplinarnych badań nad zagadnieniami związanymi z konstrukcją, architekturą i zastosowaniem sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej dedykowanych do przetwarzania i analizy informacji geograficznych dotyczących zjawisk fizycznych w strefie przybrzeżnej, z uwzględnieniem zarówno środowiska miejskiego jak również obszarów morskich. Wynikiem prezentowanych prac są zarówno autorskie algorytmy przetwarzania i analizy danych geograficznych, jak również wynikające z implementacji algorytmów analitycznych innowacje architektoniczne oraz będące ich rezultatem nowatorskie zastosowania sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej do rozwiązywania konkretnych problemów.

Wprowadzenie

Systemy Informacji Przestrzennej (ang. Geographic Information Systems) pozwalają na tworzenie, edycję, analizę i wizualizację danych o charakterze geograficznym. Jakkolwiek ich podstawową funkcjonalnością jest tworzenie map, w ostatnim czasie coraz częściej wykorzystywane są do celów integracji i analizy danych pochodzących z rosnącej liczby sensorów badających zjawiska fizyczne i biologiczne w kontekście geograficznym (Longley et al., 2005). Jest to spowodowane między innymi dynamicznym wzrostem objętości dostępnych zbiorów danych geograficznych, wynikającym z rozwoju i popularyzacji technologii pozyskiwania tych danych. Systemy Informacji Przestrzennej występują w formie aplikacji typu Desktop jak również w wersji sieciowej oraz mobilnej. Każda z nich posiada swoje zalety, jednakże tylko aplikacje na komputery stacjonarne udostępniają pełną funkcjonalność analityczną. W powyższym kontekście sieciowe Systemy

Informacji Przestrzennej (ang. Web-based GIS lub Web-GIS) stosowane są głównie do celu wymiany i współdzielenia się różnymi rodzajami informacji geograficznej, np. danymi pozyskanymi ze zobrażeń satelitarnych lub lotniczych oraz sensorów naziemnych (jak np. radary burzowe) lub podwodnych (np. sonary oraz echosondy wielowiązkowe), pomiędzy grupami użytkowników. Potencjał technologii wizualizacji opartych na systemach sieciowych dostrzeżono już na początku wieku, kiedy ukazały się pierwsze artykuły opisujące zastosowanie sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej w modelowaniu środowiska i rozpowszechnianiu centralnie gromadzonych wektorowych danych geograficznych oraz poddanych georeferencji obrazów satelitarnych za pośrednictwem internetu (Su et al., 2000). Jednakże większość sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej była i jest wykorzystywana głównie do prezentacji danych statycznych, podczas gdy obszar dynamicznej i interaktywnej wizualizacji danych był w większości zaniebawiany (Kraak, 2004). Nowe metody przetwarzania danych, wykorzystujące między innymi modele matematyczne zjawisk fizycznych, wymagają interaktywnej prezentacji informacji, która do tej pory była uzyskiwana tylko w aplikacjach typu Desktop bądź programach wykonanych w technologiach opartych o wtyczki do przeglądarek internetowych (ActiveX, Adobe Flash czy Java Applet).

Rozwój sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej pozbawionych wymienionych wyżej ograniczeń był stosunkowo powolny. W 2003 roku Al-Sabhan ze współpracownikami (Al-Sabhan et al., 2003) przedstawili sieciowy model hydrologiczny umożliwiający zintegrowane przetwarzanie danych opadowych zebranych w czasie rzeczywistym z bezprzewodowej sieci monitorującej. W 2004 roku Sugumaran i in. (Sugumaran et al., 2004) zaprezentowali internetowy system wspomagania decyzji (DSS) służący do identyfikacji i priorytetyzacji ochrony lokalnego środowiska wodnego w oparciu o technologię ArcView Internet Map Server i prosty model. W tym samym roku Tsou (Tsou, 2004) zaprezentował możliwości jakie daje integracja sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej z siecią sensorów do celów zdalnego monitorowania i zarządzania środowiskiem naturalnym. W 2007 roku Rao i in. (Rao et al., 2007) wdrożyli system decyzyjny służący do zarządzania zasobami i oceny jakości środowiska naturalnego wykorzystując technologię Java Servlet i platformę ArcIMS®, zaś Kruger i in. (Kruger et al., 2007) zaprezentowali System Informacji Przestrzennej dedykowany do weryfikacji prognoz hydrologicznych zbudowany z użyciem technologii MapServer, PHP i JavaScript. W tym samym roku Tuama i Hamre (Tuama & Hamre, 2007) przedstawili system decyzyjny do monitorowania zanieczyszczeń morskich z wykorzystaniem otwartych technologii i standardów takich jak opracowane przez Open Geospatial Consortium protokoły Web Map Service (dedykowany do udostępniania danych rastrowych w sieci) i Web Feature Service (dedykowany do przesyłania danych wektorowych). Ta metoda konstrukcji Systemów Informacji Przestrzennej okazała się owocna i jest z powodzeniem stosowana do realizacji podobnych projektów (Hamre et al., 2009; Steiniger & Hunter, 2012; Agrawal & Gupta, 2014; Farkas, 2017).

Wspólną cechą wymienionych systemów jest ograniczona funkcjonalność, sprowadzająca się głównie do przeglądania zgromadzonych w systemie danych. Ponadto, większość z przedstawionych rozwiązań dostarcza jedynie narzędzia do prezentacji i (ewentualnie) przetwarzania danych, nie wspomagając wcale procesu ich analizy. Tymczasem, jak pokazują badania Andrienko i innych (Andrienko et al., 2007), Systemy Informacji Przestrzennej mogą być bardzo dobrym narzędziem współpracy w warunkach dużych ograniczeń czasowych, wymagających analitycznego rozumowania i wymiany informacji z różnymi odbiorcami w celu tworzenia, oceny i wyboru odpowiedniej strategii, planów, scenariuszy, projektów i rodzajów interwencji dla problemów posiadających czynnik przestrzenny lub geograficzny. Ta koncepcja, obejmująca zastosowanie metod Analityki Wizualizacji (Thomas & Cook, 2007) do celów wsparcia zdolności ludzkiego postrzegania i poznawania przez komputerowe interfejsy wizualne, zapewniające elastyczne połączenia do odpowiednich danych i ukształtowane w sposób mający wspierać analityczne rozumowanie, zyskała miano Analityki Geowizualizacji (ang. Geovisual Analytics). Analityka Geowizualizacji propaguje opracowywanie i stosowanie nowych metod

analizy i wizualizacji informacji przestrzennych, wykorzystujących techniki wizualnej reprezentacji i interakcji umożliwiającą użytkownikom jednoczesne przebadanie i zrozumienie większych ilości informacji. W praktyce cel ten osiąga się poprzez syntezę danych pochodzących z heterogenicznych źródeł do postaci jednolitej reprezentacji graficznej w ramach Systemu Informacji Przestrzennej. W kolejnych latach metody Analizy Geowizualizacji zostały zastosowane między innymi do celów identyfikacji przypadków interakcji pomiędzy różnymi kulturami na podstawie informacji z wykopalisk (Huisman et al., 2009), badania przepływu danych o lokalizacjach działalności grup przestępczych w sieciach społecznościowych (White & Roth, 2010), lokalizacji i analizie zagrożeń w sieciach komputerowych (Giacobe & Xu, 2011) czy badania tras obieranych przez kutry rybackie na morzu (Enguehard, et al., 2013). Wspólną cechą tych zastosowań było umieszczenie algorytmów analizy w kontekście aplikacji typu Desktop, najczęściej opartych o standardowy pakiet wizualizacyjny taki jak geoviz (<https://www.geovista.psu.edu/geoviztoolkit>). Jednocześnie pole opracowywania i stosowania algorytmów implementujących metody Analizy Geowizualizacji, w szczególności w ramach interaktywnych sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej, pozostaje w większości niezbadane.

Reasumując, proces analizy danych przestrzennych dokonywał się dotąd głównie w środowisku Desktopowym, zaś w celu udostępnienia wyników owych analiz innym użytkownikom należało je zapisać i przenieść do aplikacji sieciowej. Takie podejście nie tylko znacząco spowalnia proces współdzielenia się informacjami, ale przede wszystkim istotnie zawęża krąg osób zdolnych do wykonania danej analizy i w konsekwencji utrudnia powszechną interpretację jej wyników. W swojej interdyscyplinarnej pracy naukowej dr Kulawiak postanowił rozwiązać powyższe problemy poprzez stworzenie interaktywnych sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej udostępniających narzędzia i algorytmy analizy danych wspierające proces przetwarzania wyników badań przez użytkownika za pomocą metod Analizy Geowizualizacji.

Cele pracy

W powyższym kontekście, **głównym celem** przedstawionych w ramach jednotematycznego cyklu publikacji naukowych prac dr Kulawiaka było opracowanie nowych zastosowań sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej dla potrzeb badawczych i analitycznych w zagadnieniach operujących na informacji posiadającej kontekst geograficzny.

Jak wykazano powyżej, zastosowanie sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej do celów analitycznych wymaga modyfikacji ich architektury oraz opracowania nowych algorytmów przetwarzania danych geograficznych. W konsekwencji realizacja wyznaczonego celu wymagała zrealizowania następujących **celów pośrednich**:

1. Opracowanie nowych algorytmów analizy danych o charakterze geograficznym w sieciowych Systemach Informacji Przestrzennej.
2. Opracowanie nowych architektur analitycznych sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej.
3. Integracja nowych technologii i systemów komputerowych na potrzeby rozwoju sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej.

Poniżej omówiono wyniki prac habilitanta w zakresie poszczególnych wyżej wymienionych zagadnień.

Omówienie powiązanego tematycznie cyklu publikacji naukowych

Ideę o potrzebie zapewnienia interaktywności w sieciowych Systemach Informacji Przestrzennej dr Kulawiak sformułował jeszcze przed obroną doktoratu (Kulawiak et al., 2010), jednakże wówczas jej realizacja ograniczona była do zastosowania wykonań asynchronicznych w operacjach

renderowania mapy po stronie serwera i przesyłania wyników w odpowiedzi na parametryzowane zapytania tworzone po stronie klienta z wykorzystaniem technologii AJAX. Koncepcję tę dr Kulawiak rozwinął o funkcjonalność zdalnego uruchamiania symulacji zagrożeń w swojej pracy doktorskiej pt „Algorithms for processing and visualization of Critical Infrastructure security data as well as simulation and analysis of threats”. Po obronie doktoratu, uhonorowanego wyróżnieniem przez Radę Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, dr Kulawiak kontynuował te prace. Ich owocem była szeroko cytowana publikacja pt. „**SafeCity - A GIS-based tool profiled for supporting decision making in urban development and infrastructure protection**” (Kulawiak, Łubniewski, 2014) (23 cytowania według Google Scholar, w tym 14 w publikacjach indeksowanych w Web of Science), prezentująca koncepcję zastosowania sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej do celów analizy zagrożeń Infrastruktury Krytycznej przez służby cywilne na terenie Miasta Gdańska. Praca ta miała charakter przełomowy między innymi dlatego że stosowane dotychczas narzędzia analizy zagrożeń infrastruktury krytycznej nie analizowały w kompleksowy sposób konsekwencji wynikających z jej geograficznego położenia (Apostolakis et al., 2005; Abdalla et al., 2007; Min et al., 2007). Koncepcja integracji narzędzi analizy zagrożeń infrastruktury krytycznej (w postaci narzędzia CARVER2, wykorzystującego odwrotną analizę celów opracowaną przez armię Stanów Zjednoczonych) z modelami zdarzeń zagrażających takimi jak eksplozja materiałów wybuchowych czy wyciek substancji chemicznych została co prawda opublikowana wcześniej w pracy doktorskiej dr Kulawiaka, ale nigdy wcześniej nie przedstawiono tak kompleksowego jej zastosowania w praktyce. W publikacji tej zaprezentowana została nowatorska architektura sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej wykorzystująca dedykowany moduł Analiz Przestrzennych implementujący szereg nowych algorytmów analizy zagrożeń infrastruktury krytycznej. W ramach modułu zaimplementowany został między innymi autorski algorytm szacowania zagęszczenia infrastruktur o różnym poziomie zagrożenia oraz autorski algorytm znajdujący struktury miejskie znajdujące się w polu rażenia symulowanego zdarzenia zagrażającego. Ponadto w wersji opisanej w niniejszej pracy system umożliwia wybór pomiędzy raportowaniem stref zagrożonych wyciekami chemicznych substancji lotnych w formie oryginalnych wyników symulacji zagrożenia za pomocą modelu gaussowskiego, a przedstawieniem całego zagrożonego obszaru w formacie zgodnym z normą NATO ATP-45. Wzmiankowane algorytmy wykorzystują metody Analityki Geowizualizacji takie jak porządkowe sekwencjonowanie pseudokolorystyczne w celu prezentacji zestawu charakterystyk danego zbioru obiektów (np. liczba sąsiadujących struktur oraz poziom ich zagrożenia) w ramach pojedynczej mapy. Do nowych osiągnięć opisanych w tej pracy należy również zaliczyć zintegrowanie w systemie funkcjonalności interaktywnej analizy zagrożeń naturalnych za pośrednictwem modułu symulacji powodzi. Ponadto w artykule zaprezentowany został autorski system automatycznej analizy wyników symulacji zjawisk fizycznych, który został w praktyce wykorzystany w celu stworzenia graficznego przedstawienia następstw eksplozji materiałów wybuchowych w środowisku miejskim. Uzupełnia on zaprezentowaną wcześniej w pracy doktorskiej dr Kulawiaka koncepcję wizualizacji zasięgu zdarzenia zagrażającego o wizualny raport zawierający informację dotyczącą lokalizacji i funkcji zagrożonych struktur miejskich oraz oszacowanie liczby zagrożonych mieszkańców. W połączeniu z narzędziami analizy przestrzennego rozlokowania infrastruktur o różnym stopniu podatności na atak, przedstawiony system stanowił nową jakość w dziedzinie analizy zagrożeń infrastruktur miejskich.

W późniejszych pracach dr Kulawiak rozwinął koncepcję zastosowania sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej do analizy obszarów miejskich w kierunku automatycznego badania strefy przybrzeżnej. W artykule pt. „**Innovative Web-Based Geographic Information System for Municipal Areas and Coastal Zone Security and Threat Monitoring Using EO Satellite Data**” (Moszynski et al., 2015) przedstawione zostały wyniki wzbogacenia uprzednio zaprezentowanego zbioru narzędzi analitycznych o algorytmy przetwarzania danych pochodzących z satelitarnej obserwacji Ziemi. Ponownie zastosowany w przedstawionym artykule moduł Analiz

Przestrzennych został wzbogacony o możliwość przetwarzania wyników analizy zdjęć satelitarnych, dzięki czemu prezentowany system umożliwia wizualizację między innymi pożarów wykrytych metodą wyznaczenia różnicy temperatur (Pu et al. 2004) oraz określenia jakości powietrza przybliżonej za pomocą wzoru AQI (Siegenthaler & Baumgartner, 1996). Ponadto artykuł przedstawia wstępne wyniki przetwarzania danych pochodzących z sensorów satelitarnych w celu wykrywania zakwitów toksycznych alg na Morzu Bałtyckim metodą analizy różnicowej kanału widzialnego oraz bliskiej podczerwieni. Unikatowym aspektem prezentowanego systemu jest jego ścisła integracja z naziemną stacją satelitarną, dzięki czemu może on przetwarzać zdjęcia satelitarne Województwa Pomorskiego oraz Zatoki Gdańskiej bezpośrednio po ich przechwyceniu od przelatującego satelity. W konsekwencji aktualne wyniki analiz gotowe są już po kilku minutach od wykonania fotografii. W porównaniu do wcześniej opublikowanych prac zwiększony został zakres interakcji użytkownika z systemem. Poza możliwością analizy zagrożeń wybranych struktur oraz uruchamiania symulacji, system udostępnia również funkcje przeglądania archiwum danych (domyślnie interfejs użytkownika wyświetla jedynie wyniki analiz wykonane na najnowszych danych) oraz możliwość zdalnego zarządzania wszystkimi warstwami w bazie danych poprzez ich edycję bezpośrednio z poziomu interfejsu użytkownika (dostępne tylko dla autoryzowanych użytkowników). W konsekwencji wytworzony został innowacyjny sieciowy system analityczny, integrujący funkcje zdalnego przetwarzania zarówno danych rastrowych jak i wektorowych, oraz automatycznie udostępniający wyniki analiz pozostałym użytkownikom systemu.

Motyw zastosowania sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej do celu automatycznej analizy i prezentacji danych w kontekście geograficznym został rozwinięty w artykule pt. „**Characterizing surface and air temperature in the Baltic Sea coastal area using remote sensing techniques and GIS**” (Chybicki et al., 2016). W artykule tym zaprezentowany został system integrujący i przetwarzający informacje pozyskane z satelitarnych obserwacji ziemi oraz z modelu numerycznej symulacji pogody WRF (Weather Research and Forecast) do celów badania związków pomiędzy temperaturą powierzchni ziemi, temperaturą powietrza, temperaturą powierzchni morza oraz zagęszczeniem roślinności. Tezą prowadzonych badań było wykazanie możliwości weryfikacji wartości temperatury powierzchni ziemi uzyskanej ze zdjęć satelitarnych za pomocą informacji o temperaturze powietrza pochodzącej z modelu pogodowego. Podobnie jak w poprzednich publikacjach, prezentowany system przetwarza dane w ramach dedykowanego modułu Analiz Przestrzennych. Na potrzeby badań moduł ten został rozszerzony o autorski algorytm różnicowej analizy temperatur wykorzystujący porządkowe sekwencjonowanie pseudokolorystyczne. Dla każdego obrazu pozyskanego ze stacji satelitarnej stworzony system automatycznie generował mapę zagęszczenia roślinności na badanym obszarze oraz analizę różnicową temperatury powietrza uzyskanej z modelu WRF z temperaturą powierzchni ziemi wyprowadzoną z pomiarów satelitarnych. Jeżeli wartość temperatury powierzchni ziemi była tożsama z wartością temperatury powietrza dla obszarów gęsto zalesionych, dla celów poglądowych system generował na podstawie uzyskanych danych zintegrowaną mapę temperaturową dla lądu oraz morza. Uzyskane wyniki potwierdzają tezę iż temperatura powietrza oraz gruntu mają wartości w przybliżeniu równe dla obszarów charakteryzujących się gęstą roślinnością, co wykazuje przydatność zastosowania sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej do celów automatycznej integracji i analizy danych pochodzących z sensorów satelitarnych oraz modeli pogodowych.

Kolejny analityczny sieciowy System Informacji Przestrzennej działający w trybie operacyjnym zaprezentowany został w artykule pt. „**Operational algae bloom detection in the Baltic Sea using GIS and AVHRR data**” (Kulawiak, 2016). Artykuł ten prezentuje wyniki przetwarzania danych pochodzących z zobrażeń satelitarnych w celu detekcji zakwitów toksycznych alg na Morzu Bałtyckim. Toksyczne algi, w szczególności sinice, stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego. Z tego względu detekcja i monitoring ich obecności mają kluczowe znaczenie w procesie zarządzania ryzykiem i ochrony ludności w obszarach nadmorskich. Ponieważ kolonie alg

charakteryzują się dużą dynamiką zmienności gęstości i zasięgu, a jednocześnie Bałtyk jako akwen charakteryzuje się dużym i częstym zachmurzeniem, ich badanie za pomocą teledetekcji satelitarnej wymaga zastosowania czujników o odpowiednio wysokiej rozdzielczości czasowej. Najczęściej wykorzystywane do tego celu satelity, wyposażone w sensor MODIS, dostarczają średnio jeden obraz dziennie, podczas gdy największą liczbę zdjęć tego obszaru (około 2-3 dziennie) dostarczają satelity NOAA wyposażone w sensor AVHRR. Niestety, ze względu na słabe możliwości kalibracji i dużą wariancję pomierzonych wartości, nikomu dotąd nie udało się stworzyć ujednoliconego szeregu czasowego danych z tego sensora. W celu rozwiązania tego problemu dr Kulawiak opracował nowatorski algorytm wykorzystujący statystyczną analizę rozkładu znormalizowanej wartości różnicy pomiędzy poziomem promieniowania rejestrowanym przez dwa pierwsze kanały tego sensora. Ponieważ sinice charakteryzują się wysoką reflektancją w paśmie czerwonym i niską w bliskiej podczerwieni (Kutser 2009), piksel obrazu zawierającego znormalizowaną wartość różnicy pomiędzy promieniowaniem w paśmie bliskiej podczerwieni oraz w paśmie czerwonym reprezentuje skupiska sinic jeżeli jego wartość zawiera się w przedziale $(-1, \dots, x_{mode})$, gdzie:

$$x_{mode} = r_k + \left(\frac{f_n(k+1, X)}{f_n(k-1, X) + f_n(k+1, X)} \right) (r_{k+1} - r_k). \quad (1)$$

W powyższym wzorze $f_n(j, X) = \frac{1}{|X|} \sum_{x_i \in X} 1_{\{x_i \in (r_j, r_{j+1})\}}$ reprezentuje wartości pikseli obrazu z zakresu (r_j, r_{j+1}) , $f_n(k, X) = \max_j f_n(j, X)$, $j = 1, \dots, K$ reprezentuje przedział modalny przeprowadzonej analizy częstotliwościowej, X reprezentuje zbiór (x_1, \dots, x_n) , K oznacza liczbę analizowanych przedziałów, zaś r_k to dolna granica k -tego przedziału. Ponieważ powyższy algorytm zamiast konkretnych wartości reflektancji poszukuje specyficznych proporcji wartości sygnałów w sąsiadujących pasmach, pozwala on na wykrycie skupisk toksycznych alg nawet w obrazach pochodzących ze słabo skalibrowanych sensorów satelitarnych. Algorytm ten zaimplementowany został w operacyjnym sieciowym Systemie Informacji Przestrzennej w ramach systemowego modułu Analityki Geowizualizacji, łączącego w sobie funkcjonalność analitycznego przetwarzania danych z zaawansowanymi technikami wieloaspektowej reprezentacji informacji. System ten zastosowany został do automatycznej analizy zdjęć satelitarnych Bałtyku wykonanych w latach 2013-2014. Walidacja poprawności działania zaproponowanej metody wykonana została poprzez korelację wartości zwracanych przez algorytm z wartościami pomiarów fikocyjaniny (będącej barwnikiem charakterystycznym dla sinic) wykonanymi in-situ przez sieć sensorów FerryBox, jak również poprzez porównanie zasięgu wykrytych skupisk z wynikami przetwarzania obrazów z wysokorozdzielczych sensorów MODIS za pomocą powszechnie stosowanej metody analizy pasm 551 nm i 670 nm (Kahru et al., 2007). W porównaniu do poprzednio zaprezentowanych rozwiązań, możliwość interakcji użytkownika z systemem została rozwinięta poprzez udostępnienie funkcjonalności dynamicznej zmiany sposobu reprezentacji wyników analiz. W domyślnym trybie zasięg kolonii alg oznaczany jest kolorem zaś ich zagęszczenie reprezentowane jest intensywnością barwy. Tryb alternatywny stanowi reprezentację typu false-colour w której wariancja w akumulacji alg jest reprezentowana dedykowanym gradientem kolorystycznym, dopasowywanym indywidualnie do każdego zestawu danych. W konsekwencji stworzony system integrujący dane pozyskane bezpośrednio ze stacji satelitarnej z pomiarami in-situ i przetwarzający je z zastosowaniem innowacyjnego algorytmu analizy stanowi unikatowe zastosowanie sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej do celów detekcji i analizy zagrożeń ze strony zakwitów sinic na obszarze Morza Bałtyckiego.

Artykuł pt. „**The potential of Web-GIS and geovisual analytics in the context of marine cadastre**” (Dawidowicz & Kulawiak, 2017) stanowi rozwinięcie badań przeprowadzanych nad zastosowaniem sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej w kierunku ich wykorzystania do analizy zagrożeń przez służby cywilne na obszarach morskich. Przedstawiony w tej pracy system przeznaczony jest do analizy zagrożeń morskich, takich jak wypadki czy wycieki ropy, w kontekście obszarów administracyjnych reprezentowanych przez kataster morski. Kataster morski

stanowi mapę zawierającą informację o granicach działek i ich właścicielach lub zarządcach, będącą odpowiednikiem katastru lądowego dla obszarów morskich. Jednakże w przeciwieństwie do katastru lądowego pojedynczy obszar może mieć nawet trzech różnych administratorów, osobno dla powierzchni wody, toni morskiej i dna oraz dla zasobów naturalnych znajdujących się pod dnem. Jakkolwiek w Polsce w chwili obecnej wszystkie te powierzchnie znajdują się pod władzą pojedynczej instytucji zarządzającej konkretnym obszarem (którą jest Urząd Morski w Gdyni, Słupsku lub Szczecinie), trendy światowe nakazują tworzenie trójwymiarowych katastrów morskich. W tym kontekście w artykule zaproponowana została nowatorska konstrukcja morskiego katastru wielowarstwowego, opracowanego z wykorzystaniem otwartych standardów w celu łatwej integracji z danymi wytworzonymi przez inne państwa Unii Europejskiej. Kataster ten osadzony został w ramach dedykowanego sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej pozwalającego na integrację, zarządzanie, edycję, udostępnianie i analizę danych dotyczących środowiska morskiego. Poza nową strukturą bazy danych, dostosowaną do potrzeb zaproponowanego katastru morskiego, prezentowany system charakteryzuje się ważną innowacją architektoniczną. Mianowicie, moduł Analityki Geowizualizacji po raz pierwszy został zaimplementowany po stronie klienta, co stanowi znaczące osiągnięcie na polu konstrukcji analitycznych sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej, gdyż dotąd w literaturze przedmiotu zaawansowane metody analizy skutkujące produkcją nowych map implementowane i wykonywane były tylko i wyłącznie po stronie serwera. Takie rozwiązanie skutkuje znaczącą poprawą responsywności aplikacji i jednocześnie powoduje odciążenie części serwerowej, co ma szczególne znaczenie dla wydajności systemu przy wielu jednoczesnych użytkownikach. Ponadto moduł Analityki Geowizualizacji został rozbudowany o nowe algorytmy analiz przestrzennych pozwalające na analizę zagęszczenia zdarzeń zagrażających w kontekście poszczególnych działek katastru, jak również mapowanie stosunku liczby badanych zagrożeń w kontekście każdej działki. Omawiane badania, przeprowadzone z wykorzystaniem danych udostępnionych przez Komisję Helsińską, pokazują iż analiza zagrożeń przeprowadzona w kontekście poszczególnych obszarów administracyjnych generuje zauważalnie inne wyniki w porównaniu do analizy tych samych danych w kontekście całej Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej. Wykonane w ten sposób analizy wykazały między innymi iż obszar administrowany przez Urząd Morski w Gdyni wyróżnia się na tle pozostałych zarówno pod względem liczby wypadków jak i liczby wykrytych wycieków ropy, co najprawdopodobniej spowodowane jest największą liczbą szlaków morskich przechodzących przez ten obszar, jak również obecnością dużych portów. W konsekwencji integracja działających po stronie klienta algorytmów analitycznych z bazami danych katastru i zagrożeń morskich z wykorzystaniem otwartych standardów w kontekście ujednoliconego systemu stanowi ważny postęp na polu zarówno zastosowań jak i architektury sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej.

Artykuł pt. „**Dynamic signal strength mapping and analysis by means of mobile Geographic Information System**” (Kulawiak & Wycinka, 2017) stanowi rozwinięcie i swoiste zwieńczenie wszystkich przedstawionych uprzednio rozwiązań. Opisane we wcześniej wymienionych pracach nowatorskie algorytmy analityczne oraz innowacje architektoniczne miały na celu stworzenie nowego standardu aplikacyjnego sieciowych Systemach Informacji Przestrzennej. System w którym użytkownicy pracują na współtworzonym zbiorze danych i wyposażeni są w te same narzędzia analityczne stanowi bardzo elastyczne narzędzie współpracy, które równocześnie pozwala na prowadzenie całkowicie samodzielnych badań. Ograniczeniem poprzednio zaprezentowanych systemów była skomplikowana architektura, która z jednej strony wymagała uruchamiania ich na komputerach stacjonarnych lub laptopach, zaś z drugiej strony powodowała iż do korzystania z nich konieczne było połączenie z internetem. Zaprezentowane w opisywanej pracy połączenie innowacji architektonicznej z autorskimi algorytmami przetwarzania danych powoduje iż zaawansowana funkcjonalność analityczna sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej staje się dostępna na urządzeniu mobilnym typu Smartfon, zaś do korzystania z systemu nie jest wymagane stałe połączenie z internetem. Zaproponowana architektura została zaimplementowana w ramach

mobilnego Systemu Informacji Przestrzennej przeznaczonego do mapowania i analizy siły sygnału urządzeń typu Bluetooth Beacon w zastosowaniach wewnątrzbudynkowych. Stworzona aplikacja zawiera większość standardowych modułów znanych z poprzednio prezentowanych systemów, jednakże zarówno logika biznesowa jak i logika aplikacji zostały w pełni zrealizowane po stronie klienckiej, zaś serwerowa baza danych pełni jedynie funkcję archiwum zapasowego. W powyższym kontekście systemowy moduł Analityki Geowizualizacji został nie tylko ponownie zaimplementowany po stronie klienta, ale po raz pierwszy jest to klient mobilny będący urządzeniem o bardzo ograniczonej wydajności. Ponieważ zadaniem systemu było mapowanie i analiza sygnału emitowanego przez urządzenia typu Bluetooth beacon w czasie prowadzenia pomiarów, dr Kulawiak opracował zoptymalizowany algorytm interpolacji punktowych pomiarów do postaci mapy według wzoru:

$$f(x,y) = \sum_{i=1}^N w_i(x,y) f(x_i, y_i) \quad (2)$$

gdzie $N \in (1; 4)$ reprezentuje liczbę analizowanych sąsiadujących punktów pomiarowych, $f(x_i, y_i)$ reprezentuje wartość sygnału pomierzonego w punkcie i zaś $w_i(x,y)$ to waga i -tego sąsiadującego punktu pomiarowego, reprezentowana wzorem:

$$w_i(x,y) = e^{-\left(\left(\frac{x-x_i}{dx} \right)^2 + \left(\frac{y-y_i}{dy} \right)^2 \right)} \quad (3)$$

gdzie (x_i, y_i) oznacza lokalizację i -tego punktu pomiarowego zaś dx , dy stanowią odległości pomiędzy sąsiadującymi punktami pomiarowymi odpowiednio w osi x (długość) i y (szerokość geograficzna). Na testowanym urządzeniu (był nim Smartfon wyposażony w procesor Qualcomm Snapdragon 810 i 2 GB pamięci RAM) algorytm generował interpolację o rozdzielczości 1080x1100 pikseli w czasie zbliżonym do rzeczywistego (średnie opóźnienie w stosunku do wykonania pomiaru wynosiło 532 ms). Na szczególną uwagę zasługuje fakt iż stworzony system nie zawiera żadnych dedykowanych optymalizacji sprzętowych – zarówno moduł prezentacji danych jak i moduł Analityki Geowizualizacji zaimplementowane zostały w technologii javascript i bez żadnych modyfikacji działają również w zwykłych przeglądarkach internetowych. Interpolacja generowana przez moduł Analityki Geowizualizacji stosuje dynamiczne dopasowanie wykorzystywanej palety kolorów do zmieniającego się zakresu siły sygnału, w konsekwencji czego mapa zachowuje spójność pomimo stale ewoluującej treści. Przeprowadzone testy porównawcze stworzonego algorytmu interpolacji wykazały iż względna niepewność wyniku interpolacji w stosunku do rzeczywistych wartości pomiarów wynosi 35% dla proponowanej metody, podczas gdy popularne algorytmy interpolacji w postaci Krigingu i Inverse Distance Weighting (IDW) charakteryzują się wartościami odpowiednio 31% i 50% dla tych samych danych testowych. W rezultacie wykazano iż stworzony algorytm oferuje jakość i dokładność interpolacji na poziomie porównywalnym z najlepszymi metodami dostępnymi w aplikacjach Desktopowych. W konsekwencji zaprezentowany system stanowi unikatowy przykład implementacji pełnej funkcjonalności sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej, od gromadzenia danych, poprzez ich przetwarzanie aż po analizę, na urządzeniu mobilnym o ograniczonej wydajności (jakim jest Smartfon pracujący pod kontrolą systemu Android). W połączeniu z zastosowanymi zoptymalizowanymi autorskimi algorytmami analizy danych udało się uzyskać bezprecedensowy wzrost zarówno interaktywności jak i responsywności systemu (analiza danych wykonywana jest bezpośrednio w czasie ich zbierania, zaś jej wyniki uaktualniają się na bieżąco wraz z napływem nowych pomiarów). W rezultacie stworzony system stanowi wyjątkowe osiągnięcie na polu algorytmicznym jak również architektonicznym oraz aplikacyjnym.

Podsumowanie

Sieciowe Systemy Informacji Przestrzennej są bardzo wygodnym narzędziem do integracji, przetwarzania i współdzielenia informacji o charakterze geograficznym. Jednakże zastosowanie ich do nowych celów wymaga opracowania nowych algorytmów przetwarzania i analizy konkretnych typów danych, zaś implementacja tych algorytmów w sieciowych Systemach Informacji Przestrzennej z reguły wymaga opracowania nowych, specyficznych dla danych zastosowań architektur systemów informatycznych. W swoich interdyscyplinarnych badaniach nad zagadnieniami związanymi z projektowaniem, budową i zastosowaniem sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej dr Kulawiak prowadził prace na danych geograficznych dotyczących zarówno środowiska miejskiego, jak również strefy przybrzeżnej oraz obszarów morskich. Wynikiem opublikowanych przez dr Kulawiaka prac są zarówno autorskie algorytmy przetwarzania i analizy danych geograficznych, jak również wynikające z ich implementacji innowacje architektoniczne i integracyjne oraz będące ich rezultatem nowatorskie zastosowania sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej.

Omawiane rozwiązania mają szerokie zastosowanie praktyczne. Zaproponowane przez dr Kulawiaka algorytmy oraz aplikacje zostały poddane walidacji poprzez ich wykorzystanie do celów rozwiązania konkretnych problemów i porównanie otrzymanych wyników z rezultatami osiągniętymi innymi metodami. Natomiast zaproponowane rozwiązania architektoniczne podzielić można na dwie grupy. Do pierwszej z nich zaliczyć należy przedstawione w czterech pierwszych artykułach architektury charakteryzujące się tzw. „cienkim” klientem, dostosowane do przetwarzania danych po stronie serwera. Takie rozwiązania architektoniczne najlepiej nadają się do wykorzystania w ramach pojedynczej instytucji przechowującej dane w prywatnej chmurze obliczeniowej bądź na serwerach zewnętrznych. W takim przypadku architektury te charakteryzują się lepszym wykorzystaniem łącza danych (ze względu na ograniczoną liczbę przesyłanych informacji) oraz oszczędniejszym zużyciem energii elektrycznej (pod warunkiem iż klienci korzystają z terminali o małym poborze mocy) (Hirschfeld, 1996) (Agarwal & Nath, 2014) (Davis, E. 2007).

Do drugiej grupy zaliczyć można rozwiązania charakteryzujące się tzw. „grubym” klientem, czyli implementujące mechanizmy przetwarzania i analizy danych po stronie użytkownika. Do tej kategorii zaliczyć można system zaprezentowany w pracy pt. „The potential of Web-GIS and geovisual analytics in the context of marine cadastre”. Systemy o takiej architekturze lepiej sprawdzą się w przypadku instytucji zobligowanych do przechowywania danych na serwerach wewnętrznych, takich jak urzędy administracji państwowej czy szpitale, których pracownicy (będący również klientami systemu) korzystają ze zwykłych komputerów typu Desktop. Komputery takie nawet w stanie bezczynności potrafią zużywać 40-60% energii której potrzebują do wymagających obliczeń (Berl & De Meer, 2010) (Tiwari et al., 1998). W połączeniu z faktem iż zużycie energii rośnie liniowo wraz ze wzrostem liczby jednoczesnych użytkowników chmury obliczeniowej (Jung et al, 2010), zaś zapewnienie serwerom właściwego chłodzenia zwiększa zużycie energii o 25-45% (Shuja et al., 2012), implementacja przetwarzania danych po stronie klienckiej może skutkować bardziej optymalnym wykorzystaniem przez instytucję dostępnych jej zasobów. Architektura taka może mieć również zastosowanie w przypadku systemów w których klienci znajdują się poza instytucją udostępniającą dane geograficzne. Przykładem może tu być omawiany system umożliwiający analizę zagrożeń morskich w kontekście katastru morskiego. Ponieważ użytkownicy tego systemu w większości mają charakter klientów zewnętrznych, udostępnianie przez system funkcji przetwarzania danych po stronie serwerowej zwiększyłoby jedynie koszty utrzymania części serwerowej systemu, nie oferując w zamian żadnych korzyści jego operatorom. Przeniesienie kosztów operacji przetwarzania i analizy danych na klientów pozwoli w bardziej optymalny sposób wykorzystać dostępne zasoby po stronie serwerowej, np. w celu jednoczesnego obsłużenia większej liczby połączeń klienckich. Zagadnienia te zostały w szerszym kontekście przeanalizowane w artykule pt. „Integration and processing of publicly

available geographic data in Open Source Web-GIS”, zgłoszonego do publikacji w czasopiśmie Computers & Geosciences.

Podsumowując, do najważniejszych wyników prac dr Kulawiaka należy zaliczyć w szczególności:

Osiągnięcia algorytmiczne:

- Opracowanie algorytmu automatycznego wykrywania toksycznych alg na Morzu Bałtyckim w oparciu o zdjęcia satelitarne z sensora AVHRR.
- Opracowanie zoptymalizowanego do pracy na urządzeniach mobilnych algorytmu interpolacji wartości punktowych pomiarów do postaci wysokiej jakości mapy.
- Opracowanie algorytmu raportowania wyników symulacji zdarzenia zagrażającego umożliwiającego prezentację i analizę wyników wynikających z zastosowania oryginalnego modelu lub warstw tematycznych zgodnych z normą NATO ATP-45.
- Opracowanie algorytmu różnicowej analizy temperatur z wykorzystaniem porządkowego sekwencjonowania pseudokolorystycznego.
- Opracowanie algorytmów analiz przestrzennych pozwalających na analizę i mapowanie liczby oraz zagęszczenia zdarzeń zagrażających w kontekście katastrof morskiego.

Osiągnięcia architektoniczne:

- Opracowanie nowej architektury sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej udostępniającego funkcjonalność interaktywnej wieloaspektowej analizy danych geograficznych za pośrednictwem dedykowanego modułu Analityki Geowizualizacji.
- Opracowanie nowatorskiej architektury analitycznego sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej funkcjonującego w całości na urządzeniu mobilnym.
- Opracowanie nowej architektury sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej, wyposażonego w dedykowane moduły integracji oraz przestrzennej analizy strumieni danych z sensorów satelitarnych oraz z numerycznych prognoz pogodowych.
- Opracowanie nowatorskiej architektury sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej dedykowanego dla potrzeb integracji, zarządzania, edycji, udostępniania i analizy danych dotyczących środowiska morskiego w kontekście katastrof morskiego.
- Opracowanie nowej architektury sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej implementującego funkcje przetwarzania oraz analizy danych po stronie klienta.

Osiągnięcia aplikacyjne:

- Opracowanie i zastosowanie nowatorskiego sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej do celów analizy następstw zdarzeń zagrażających w obszarach miejskich.
- Opracowanie i zastosowanie nowatorskiego sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej do celu automatycznego przetwarzania i integracji danych z sensorów satelitarnych oraz modeli matematycznych zjawisk fizycznych.
- Opracowanie i innowacyjne zastosowanie sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej do celów analizy zagrożeń morskich w kontekście katastrof morskiego.
- Opracowanie i innowacyjne zastosowanie sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej do celu testowania i walidacji opracowanej metody detekcji skupisk sinic na morzu Bałtyckim.
- Opracowanie i innowacyjne zastosowanie sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej do celu mapowania siły sygnału Bluetooth na urządzeniu mobilnym w czasie rzeczywistym.

Osiągnięcia w dziedzinie integracji:

- Integracja heterogenicznych systemów analizy zagrożeń na terenach miejskich z systemami przetwarzania i analizy zdjęć satelitarnych.
- Integracja danych z systemu prognozowania pogody z informacjami pozyskanymi z analizy obrazowań satelitarnych w ramach zautomatyzowanego Systemu Informacji Przestrzennej.
- Integracja heterogenicznych systemów interaktywnej analizy zagrożeń terrorystycznych oraz naturalnych w ramach kompleksowego narzędzia analitycznego.

- Integracja rastrowych danych pochodzących ze zobrażeń satelitarnych z wektorowymi danymi pomiarowymi w celu walidacji zaproponowanego algorytmu wykrywania skupisk toksycznych alg na morzu Bałtyckim.

W powyższym kontekście interdyscyplinarne badania dr Kulawiaka nad zastosowaniem sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej do analizy danych geograficznych mają charakter nowatorski w ujęciu algorytmicznym, architektonicznym, integracyjnym oraz aplikacyjnym.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

W okresie od uzyskania stopnia naukowego doktora (2010 r.) do chwili obecnej habilitant brał udział w licznych innych pracach o charakterze badawczym bądź badawczo-rozwojowym. Wiele z nich realizowanych było i finansowanych w ramach międzynarodowych i krajowych projektów badawczych, jak zostało to wyszczególnione w „Wykazie dorobku” – załącznik 3. Poniżej zamieszczono krótki opis ważniejszych pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych habilitanta.

System wspomagający poruszanie się osób niewidomych w terenie miejskim - „Mówiące Mapy”. W ramach tego projektu badawczo-rozwojowego finansowanego przez NCBiR opracowany i zaimplementowany został dedykowany System Informacji Przestrzennej wspierający samodzielne poruszanie się i nawigację po terenie miejskim osób niewidomych. W systemie zaadaptowano i wykorzystano bazy danych przestrzennych miejskiej sieci tras dostępnych dla osób pieszych, co umożliwiło automatyczne znajdowanie optymalnej trasy z punktu początkowego do wybranego celu. Informacja na temat położenia i ruchu użytkownika uzyskiwana jest przy pomocy odbiornika DGPS. System wspiera niewidomego użytkownika poruszającego się wzdłuż znalezionej ścieżki, monitorując jego ruch i ostrzegając o niebezpieczeństwach, a także udzielając różnego rodzaju informacji o mijanych obiektach. Komunikacja z użytkownikiem realizowana jest poprzez odpowiednio oprogramowany, w sposób przystosowany dla osób niewidomych, ekran dotykowy oraz z użyciem komunikatów głosowych generowanych przez syntezytor mowy. W ramach aplikacji na urządzeniu mobilnym zaimplementowano również alternatywne interfejsy dla niewidomych użytkowników, np. rozpoznawanie mowy czy alfabet gestowy. W ramach prac nad projektem zrealizowano również portal społecznościowy zintegrowany z sieciowym Systemem Informacji Przestrzennej umożliwiającym zdalne wprowadzanie i modyfikację informacji geograficznej dotyczącej przebiegu tras pieszych oraz potencjalnych przeszkód napotykanych na tych trasach. Testy systemu przeprowadzone z udziałem osób niewidomych udowodniły dużą użyteczność stworzonego rozwiązania oraz potrzebę jego wdrożenia do praktycznego wykorzystywania przez społeczność osób niewidomych, z uwagi na wiele zalet w porównaniu z podobnymi systemami już istniejącymi na rynku. System ten otrzymał wiele międzynarodowych oraz krajowych nagród i wyróżnień, m.in. Złoty Medal na 62 Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Technik BRUSSELS INNOVA 2013 oraz Srebrny Medal na targach TECHNICON Innowacje 2013. Dr Kulawiak był projektantem i wykonawcą części rozwiązań zastosowanych w systemie, ze szczególnym uwzględnieniem narzędzi konstrukcji tras pieszych metodą tzw. crowd sourcingu.

Algorytm optymalizacji metod kompresji i archiwizacji danych o dnie morskim pozyskiwanych za pomocą sonaru wielowiązkowego. Zagadnienie optymalizacji procesu kompresji danych jest bardzo istotne w procesie pozyskiwania informacji o dnie i toni wodnej z uwagi na bardzo duże rozmiary danych rejestrowanych za pomocą sonaru wielowiązkowego, w szczególności gdy zapisywane są w całości sygnały obwiedni ech dla poszczególnych wiązek a nie tylko dane dotyczące batymetrii dna. W efekcie przeprowadzonych badań zaproponowano podejście oparte na kodowaniu Huffmana, zakładające istnienie dużych podobieństw charakterystyk statystycznych dla określonych grup bloków danych, co pozwoliło na przeprowadzanie analizy

tylko jednego bloku danych reprezentatywnego dla danej grupy w celu zbudowania drzewa Huffmana, i wykorzystanie tego samego drzewa także przy kompresji kolejnych bloków z grupy. Zastosowane podejście umożliwiło zwiększenie szybkości kompresji strumienia danych wyjściowych generowanych przez sonar podczas sondowań. Ponadto, do kompresji wybranych rodzajów danych z sonaru wielowiązkowego zastosowano także zaproponowane, dedykowane metody oparte na analizie głównych składowych i transformacjach falkowych, uzyskując lepszy stopień kompresji niż w przypadku standardowych, uniwersalnych metod. Uzyskane wyniki niniejszych prac pozwalają na istotną redukcję rozmiaru informacji pochodzących z systemów wielowiązkowych w porównaniu z przypadkiem stosowania standardowych narzędzi do kompresji danych. Ponadto, ze względu na zwiększenie szybkości realizacji kompresji, zaproponowane metody umożliwiają także m. in. podgląd wyników sondowania, z użyciem np. zdalnie sterowanych lub autonomicznych bezzałogowych pojazdów podwodnych w czasie rzeczywistym nawet przy wykorzystaniu łącz o niskiej przepustowości, także bezprzewodowych. Co więcej, opracowane metody archiwizacji umożliwiają podgląd zawartości pliku z danymi pomiarowymi bez konieczności dekompresji całego zbioru danych, co umożliwia między innymi bezpośrednią prezentację danych zgromadzonych w takich plikach w postaci animowanej tematycznej warstwy Systemu Informacji Przestrzennej. Jak wspomniano w „Wykazie dorobku”, szczegółowe wyniki prac zostały opublikowane w czasopiśmie Polish Maritime Research, indeksowanym w bazie Journal Citation Reports (Moszynski et al, 2013).

Przetwarzanie chmur punktów pochodzących z czujników typu LiDAR w kontekście trójwymiarowego sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej. Przetwarzanie dużych zbiorów danych w ramach sieciowych Systemów Informacji Przestrzennej stanowi duże wyzwanie. Jednym z głównych źródeł tego rodzaju zbiorów danych geograficznych są skanery LiDAR (Light Detection And Ranging), które wytwarzają trójwymiarowe dane o wysokiej rozdzielczości w dużej skali (zwykle kilkadziesiąt do kilkuset punktów pomiarowych na metr kwadratowy miasta), oferując jakość i opłacalność znacznie przewyższające tradycyjne techniki. W rezultacie liczba i gęstość zgromadzonych trójwymiarowych danych terenowych szybko rośnie, co z kolei zwiększa presję na rozwój nowych rozwiązań przeznaczonych do przetwarzania tych danych. W ramach przeprowadzonych badań opracowany został system przechowywania, przetwarzania i rozpowszechniania danych LiDAR w kontekście geograficznym. Stworzony system implementuje funkcjonalność zdalnego przetwarzania zawierających oryginalne dane ze skanerów plików LAS do formatu trójwymiarowych chmur punktów opisanych w języku XML, oraz realizuje operacje identyfikacji i rekonstrukcji trójwymiarowych budynków z wykorzystaniem autorskich algorytmów. Zrekonstruowane budynki zostają zapisane w otwartym formacie GLTF i razem z chmurami punktów opisanymi w XML są udostępniane zdalnym użytkownikom za pośrednictwem otwartego standardu 3D Tiles. Standard ten zakłada opisanie całej powierzchni ziemi za pomocą hierarchicznego systemu kafelków. Kafelki te mają bardzo elastyczną formę, dzięki czemu mogą zawierać zarówno trójwymiarowe obiekty, jak i chmury punktów oraz ich kombinacje. Stworzony system umożliwia zdalną prezentację tych danych w środowisku sieciowym za pomocą Cesium, otwartej biblioteki GIS do trójwymiarowej wizualizacji informacji geoprzestrzennych. System ten został przetestowany przy użyciu dużej liczby danych LiDAR zebranych na terenie i w okolicach Trójmiasta przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Wstępne wyniki badań, przedstawione na konferencji indeksowanej w Web of Science (Kulawiak, Kulawiak, 2016), wskazują że przyjęte rozwiązanie stanowi obiecującą metodę rozpowszechniania i wizualizacji danych LiDAR w środowisku sieciowym.

System mapowania zachorowań na bąblowicę na terenie Polski. System został stworzony przez zespół studencki pod kierunkiem dr Kulawiaka we współpracy z lekarzami Uniwersyteckiego Centrum Medycyny Morskiej i Tropikalnej w Gdyni. Stanowi on innowacyjne rozwiązanie problemu zarządzania i analizy danych chorobowych pacjentów kliniki pod kątem identyfikacji

trendów oraz cech wspólnych. Poprzez połączenie w jednym narzędziu kompleksowego modułu tworzenia, edycji i przeglądania historii choroby z modułem dynamicznego mapowania wybranych aspektów choroby w kontekście geograficznym, uzyskano zintegrowane rozwiązanie wspomagające pracę lekarzy. System został zaimplementowany w postaci usługi sieciowej (tzw. Web Service) w modelu SaaS (Software as a Service), co pozwala na zdalne i symultaniczne jego wykorzystanie przez wielu użytkowników. Dzięki implementacji narzędzi kontroli dostępu i kont użytkowników, baza danych może być współdzielona i obsługiwana wspólnie przez zespół lekarzy w którym każdy członek zespołu uzyskuje natychmiastowy zdalny dostęp do pełnego zestawu narzędzi pozwalających na tworzenie, utrzymanie, edycję i analizę danych chorobowych. Część bazodanowa systemu pozwala na przechowanie szczegółowych danych dotyczących pacjentów, z uwzględnieniem rodzaju choroby, historii leczenia, typu zmian chorobowych, danych osobowych oraz historii hospitalizacji. Pozwala to między innymi na tworzenie zestawień pacjentów pod względem wieku, stanu zaawansowania choroby, czasu hospitalizacji itp. Przy tworzeniu karty pacjenta w sposób automatyczny przypisywana jest do rekordu jego lokalizacja geograficzna, co pozwala na natychmiastowe nałożenie tych danych na mapę. Zintegrowany moduł sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej umożliwia przestrzenną wizualizację danych składowanych w systemie w postaci warstw tematycznych zawierających między innymi przestrzenne zagęszczenie pacjentów w różnych stadiach choroby, czy statystyczną analizę liczby przypadków chorobowych w granicach każdego miasta. Wymienione analizy generowane są przez systemowy moduł Analityki Geowizualizacji w celu wspierania procesów poznawczych analitycznego rozumowania i budowania wiedzy w oparciu o informacje geoprzestrzenne. W konsekwencji integracji przeznaczonego dla środowiska lekarskiego systemu bazodanowego z interaktywnym Systemem Informacji Przestrzennej pozwalającym na dynamiczne tworzenie map geograficznego rozprzestrzenienia chorób stworzono innowacyjne rozwiązanie w kompleksowy sposób wspierające lekarzy zarówno w codziennej pracy jak również w badaniach naukowych. Jak wspomniano w „Wykazie dorobku”, system został wdrożony w Uniwersyteckim Centrum Medycyny Morskiej i Tropikalnej w Gdyni.

Literatura:

Abdalla, R., Tao, C. V., Cheng, Q., Li, J. A network-centric modeling approach for infrastructure interdependency. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 73(6) (2007), pp. 681-690.

Agrawal, S. and Gupta, R.D., 2014. Development and comparison of open source based Web GIS Frameworks on WAMP and Apache Tomcat Web Servers. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(4), p.1.

Agarwal, S. and Nath A. 2014. Desktop Virtualization and Green Computing Solutions. *Proceedings of the Second International Conference on Soft Computing for Problem Solving (SocProS 2012)*, December 28-30, 2012. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 236. Springer, New Delhi

Al-Sabhan, W., Mulligan, M., Blackburn, G.A, 2003. A real-time hydrological model for flood prediction using GIS and the WWW. *Computer, Environment and Urban Systems* 27, 9-32.

Andrienko G., Andrienko N., Jankowski P., Keim D., Kraak M.J., MacEachren A., Wrobel S., 2007. “Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda,” *International Journal of Geographical Information Science* 21, pp. 839–857.

Apostolakis, G. E., Lemon, D. M. A screening methodology for the identification and ranking of infrastructure vulnerabilities due to terrorism. *Risk Analysis* 25(2) (2005), pp. 361-376.

- Berl, A. & De Meer, H. 2010. A virtualized energy-efficient office environment. In Proceedings of the 1st International Conference on Energy-Efficient Computing and Networking, April 2010 (pp. 11-20). ACM.
- Chybicki, A., Kulawiak, M., Łubniewski, Z., 2016. Characterizing surface and air temperature in the Baltic Sea coastal area using remote sensing techniques and GIS. *Polish Maritime Research*, 23(1), pp.3-11.
- Davis, E. 2007. Green Benefits Put Thin-Client Computing Back On The Desktop Hardware Agenda. *Energy*.
- Dawidowicz, A., Kulawiak, M., 2017. The potential of Web-GIS and geovisual analytics in the context of marine cadastre. *Survey Review*, pp.1-12.
- Enguehard, R.A., Hoerber, O., Devillers, R., 2013. Interactive exploration of movement data: A case study of geovisual analytics for fishing vessel analysis. *Information Visualization*, 12(1), pp.65-84.
- Farkas, G., 2017. Applicability of open-source web mapping libraries for building massive Web GIS clients. *Journal of Geographical Systems*, 3(19), pp.273-295.
- Giacobe, N.A. and Xu, S., 2011, October. Geovisual analytics for cyber security: Adopting the geoviz toolkit. In *Visual analytics science and technology (VAST)*, 2011 IEEE Conference on (pp. 315-316). IEEE.
- Hamre, T., Krasemann, H., Groom, S., Dunne, D., Breitbach, G., Hackett, B., Sørensen, K., Sandven, S. 2009. Interoperable web GIS services for marine pollution monitoring and forecasting. *Journal of Coastal Conservation* 13 (1), 1-13.
- Hirschfeld, R. 1996. Three-tier distribution architecture. *Pattern Languages of Programs (PloP)*, pp.1-4.
- Huisman, O., Santiago, I.F., Kraak, M.J., Retsios, B., 2009. Developing a geovisual analytics environment for investigating archaeological events: extending the space–time cube. *Cartography and geographic information science*, 36(3), pp.225-236.
- Jung, G., Hiltunen, M.A., Joshi, K.R., Schlichting, R.D. & Pu, C. 2010. Mistral: Dynamically managing power, performance, and adaptation cost in cloud infrastructures. *2010 IEEE 30th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)* (pp. 62-73), June 2010, IEEE.
- Kahru, M., Savchuk, O. P., Elmgren, R. 2007. Satellite measurements of cyanobacterial bloom frequency in the Baltic Sea: interannual and spatial variability. *Marine Ecology Progress Series* 343, 15–23.
- Kraak, M.-J., 2004. The role of the map in a Web-GIS environment. *Journal of Geographical Systems* 6, 83-93.
- Kruger, A., Khandelwal, S.G., Bradley, A., 2007. AHPSVER: A web-based system for hydrologic forecast verification. *Computers & Geosciences* 33, 739–748.

Kulawiak, M., Prospathopoulos, A., Perivoliotis, L., Kioroglou, S., Stepnowski, A., 2010. Interactive visualization of marine pollution monitoring and forecasting data via a Web-based GIS. *Computers & Geosciences*, 36(8), pp.1069-1080.

Kulawiak, M., Lubniewski, Z., 2014. SafeCity—A GIS-based tool profiled for supporting decision making in urban development and infrastructure protection. *Technological forecasting and social change*, 89, pp.174-187.

Kulawiak, M., Kulawiak, M. 2016. Application of Web-GIS for dissemination and 3D visualization of large-volume LIDAR data. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, The Rise of Big Spatial Data*, Springer, pp. 1-12, ISBN 978-3-319-45122-0.

Kulawiak, M., 2016. Operational algae bloom detection in the Baltic Sea using GIS and AVHRR data. *Baltica*, 29(1). pp. 3-11.

Kulawiak, M., Wycinka, W., 2017. Dynamic signal strength mapping and analysis by means of mobile Geographic Information System. *Metrology and Measurement Systems Volume 24(4)*, pp. 1-13.

Kutser, T., 2009. Passive optical remote sensing of cyanobacteria and other intense phytoplankton blooms in coastal and inland waters. *International Journal of Remote Sensing* 30(17), 4401-4425.

Longley, P. A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind D.W. 2005. *Geographic information systems and science*. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, England. ISBN 0-470-87000-1

Min, H. S. J., Beyeler, W., Brown, T., Son, Y. J., Jones, A. T. Toward modeling and simulation of critical national infrastructure interdependencies. *Iie Transactions* 39(1) (2007), pp. 57-71.

Moszynski, M., Chybicki, A., Kulawiak, M., Lubniewski, Z., 2013. A novel method for archiving multibeam sonar data with emphasis on efficient record size reduction and storage. *Polish Maritime Research*, 20(1), pp.77-86.

Moszynski, M., Kulawiak, M., Chybicki, A., Bruniecki, K., Bieliński, T., Łubniewski, Z., Stepnowski, A., 2015. Innovative web-based geographic information system for municipal areas and coastal zone security and threat monitoring using EO satellite data. *Marine Geodesy*, 38(3), pp.203-224.

Pu, R., Gong, P., Li, Z., Scarborough, J. 2004. A dynamic algorithm for wildfire mapping with NOAA/AVHRR data. *International Journal of Wildland Fire* 13(3): 275–285.

Rao, M., Fan, G., Thomas, J., Cherian, G., Chudiwale, V., Awawdeh, M., 2007. A web-based GIS Decision Support System for managing and planning USDA's Conservation Reserve Program (CRP). *Environmental Modelling & Software* 22, 1270-1280.

Shuja, J., Madani, S.A., Bilal, K., Hayat, K., Khan, S.U. & Sarwar, S. 2012. Energy-efficient data centers. *Computing*, 94(12), pp.973-994.

Siegenthaler, R., Baumgartner, M. F. 1996. Haze and mist phenomena in the Swiss lowlands – analyzed with spaceborne (NOAA-14 AVHRR) and airborne (imaging spectrometry) data. *Q9 570 Progress in Environmental Remote Sensing Research and Application*, E. Parlow, pp. 453–459.

Steiniger, S., Hunter, A.J., 2012. Free and open source GIS software for building a spatial data infrastructure. Geospatial free and open source software in the 21st century, pp.247-261.

Su, Y., Slottow, J., Mozes, A., 2000. Distributing proprietary geographic data on the World Wide Web - UCLA GIS Database and Map Server. Computers & Geosciences 26, 741-749.

Sugumaran, R., Meyer, J.C., Davis, J., 2004. A Web-based environmental decision support system (WEDSS) for environmental planning and watershed management. Journal of Geographical Systems 6, 307-322.

Thomas J., Cook K., 2005. Illuminating the Path: The Research and Development Agenda for Visual Analytics, National Visualization and Analytics Centre.

Tiwari, V., Singh, D., Rajgopal, S., Mehta, G., Patel, R. & Baez, F. 1998. Reducing power in high-performance microprocessors. In Proceedings of the 35th annual Design Automation Conference (pp. 732-737), May 1998, ACM.

Tsou, M.-H., 2004. Integrating Web-based GIS and image processing tools for environmental monitoring and natural resource management. Journal of Geographical Systems 6, 155-174.

Tuama, É.Ó., Hamre, T., 2007. Design and Implementation of a Distributed GIS Portal for Oil Spill and Harmful Algal Bloom Monitoring in the Marine Environment. Marine Geodesy 30, 145-168.

White, J.J., Roth, R.E., 2010, September. TwitterHitter: Geovisual analytics for harvesting insight from volunteered geographic information. In Proceedings of GIScience (Vol. 2010).

Marcin Kulowski