



Kierunek studiów: Geoinformacja

Nr albumu: 455820

Mateusz Rydzik

**Ocena wpływu tworzenia nowych lądów na jakość
wód przy wykorzystaniu danych teledetekcyjnych**

*Assessment of the impact of land reclamation on water
quality using remote sensing data*

Praca magisterska napisana
w Instytucie Geoekologii i Geoinformacji
pod kierunkiem
dr. hab. Jakuba Nowosada

Streszczenie

Abstrakt

Streszczenie powinno przedstawać skrótnie główny problem pracy i jego rozwiązanie. Możliwa struktura streszczenia to: (1) 1-3 zdania wstępne do problemu (czym się zajmujemy, dlaczego jest to ważne, jakie są problemy/luki do wypełnienia), (2) 1 zdanie opisujące cel pracy, (3) 1-3 zdania przedstawiające użyte materiały (dane) i metody (techniki, narzędzia), (4) 1-3 zdania obrazujące główne wyniki pracy, (5) 1-2 zdania podsumowujące; możliwe jest też określenie dalszych kroków/planów.

Słowa kluczowe: (4-6 słów / zwrotów opisujących treść pracy, które nie wystąpiły w tytule)

Abstract

The abstract must be consistent with the above text.

Keywords: (as stated before)

Spis treści

Streszczenie	3
1 Wprowadzenie	5
2 Przegląd literatury	9
3 Materiały	13
4 Obszary badań	15
4.1 Limon, Kostaryka	16
4.2 Szanghaj, Chiny	17
4.3 Dubaj, Zjednoczone Emiraty Arabskie	18
4.4 Lagos, Nigeria	19
4.5 Singapur	20
5 Metody	23
6 Wyniki	27
6.1 Limon, Kostaryka	27
6.2 Szanghaj, Chiny	31
7 Podsumowanie	35
Bibliografia	37
Załączniki do wyników prac	41
Dubaj, ZEA	41
Lagos, Nigeria	41
Limon, Kostaryka	41
Singapur	41
Szanghaj, Chiny	41
Bibliografia	43

Rozdział 1

Wprowadzenie

Wzrost liczby ludności jest zjawiskiem, które znaczco wpływa na wiele aspektów społeczno-gospodarczych. Wzrost populacji wymusza utworzenie nowych obszarów mieszkanych, zwiększenia produkcji żywności oraz pozostałych dóbr, usprawnienie infrastruktury transportowej i wszystkich innych elementów pośrednich. Każda z tych czynności oddziaływa w różnych stopniach na środowisko przyrodnicze. Jednym z elementów środowiska szczególnie narażonym na negatywne zjawiska związane ze wzrostem populacji jest środowisko wodne. Ponad połowa ludności na świecie zamieszkuje obszary przybrzeżne (Seto et al., 2011). Jednocześnie wykazywany jest trend migracji ludności do miast znajdujących się na wybrzeżu (Hugo, 2011), który może przyczynić się do zwiększenia udziału populacji zamieszkującej miasta nadmorskie w ogólnej sumie populacji na świecie (McGranahan et al., 2007). Oznacza to, że wszystkie czynności służące przygotowaniu miast do przyjęcia nowych mieszkańców będą wpływały również na zbiorniki wodne. Do metod dostosowywania miast do nowych mieszkańców można zaliczyć przekształcanie istniejących form wykorzystania terenu na obszary mieszkane lub usługowe. Może to w pewnym momencie spowodować brak dostępnych obszarów lądowych do osiedlenia w nadmorskich miastach. Jedną z alternatyw pozyskiwania nowych lądów może być proces tworzenia nowych lądów.

Jednym z krajów, zaliczanych do pionierów pozyskiwania nowych lądów, jest Holandia, na obszarze której już w 1533 roku przekształcono jezioro w nowe tereny do zagospodarowania (Ven, 1993). Operacja ta nie została jednak podyktowana zapotrzebowaniem na nowe tereny, a wymuszona przez ciągłe rozrastanie się jeziora i zalewanie pobliskich miejscowości. Proces ten polegał na wypompowaniu wody z jeziora do wybudowanej wokół niego sieci kanałów, i odprowadzenia jej do innego zbiornika, najczęściej jeziora Zuiderzee. Dna zbiorników, nazywanych polderami, wykorzystywane były przede wszystkim do rolnictwa. W celu konserwacji nowo pozyskanych terenów, ziemie podzielone zostały sieciami kanałów, ułatwiających odprowadzanie wody poza polder. Rowy te jednocześnie wykorzystano jako granice działek, dzieląc nowy ląd na siatkę parceli o charakterystycznych, regularnych krzyżtach (Hoeksema, 2007). Wraz z upływem lat, procesy tworzenia nowych lądów w Holandii były stale rozwijane. Punktem kulminacyjnym była seria konstrukcji nowych prowincji w XX wieku, których rezultatem było pozykanie dla Holandii lądów o łącznej powierzchni 1650 kilometrów kwadratowych. Stanowił to wzrost powierzchni kraju o 5% (Hoeksema, 2007).

Współczesne procesy tworzenia nowych lądów wprowadziły nowe metody konstrukcji terenów lądowych. Oprócz polderów, stosowane są techniki usypywania materiału na dnie zbiornika do momentu wydobycia się go ponad powierzchnię wody. Najczęściej stosowanym materiałem jest piasek, często mieszany z większymi skałami czy cementem (Martín-Antón et al., 2016). Piasek może być usypywany przy wybrzeżu, poszerzając go wgłąb morza. Innym rozwiązaniem jest usypywanie materiału z dala od lądu, tworząc sztuczne wyspy. W zależności od miejsca wykonywania tych procesów, służyły one różnym funkcjom. Do najczęstszych przyczyn konstrukcji nowych lądów zalicza się: rozbudowy portów i lotnisk, pozyskiwanie terenów rolniczych, tworzenie nowych stref mieszkalnych czy wojskowych (Martín-Antón et al., 2016). Procesy te są szczególnie widoczne w megamiasbach, czyli ogromnych miastach o populacji przekraczającej osiem milionów mieszkańców (Wenzel et al., 2007). Dla 16 wybranych megamiasów przez ostatnie 40 lat skonstruowano 1249 kilometrów kwadratowych nowych lądów (Sengupta et al., 2018). Aż 587 kilometrów kwadratowych z tych zmian miało miejsce w Szanghaju, które w tym okresie powiększyło swoją powierzchnię o 6,5% [Sengupta et al. (2018)]. Słuszne

jest przypuszczenie, że przy ciągłym wzroście populacji możliwe jest natężenie tworzenia nowych lądów. Wynika to z prognozowanego wzrostu liczby ludności, zamieszkującej wybrzeża. Procesy te mogą okazać się jedyną możliwą decyzją dla obszarów, które mają ograniczoną ilość dostępnych obszarów. Ograniczenie obszarów można rozumieć jako fizyczny brak terenów, albo jako restrykcje, nałożone w ramach programów ochrony środowiska. Powoduje to powstawanie wielu pytań odnośnie bezpieczeństwa tych procesów w kontekście ochrony środowiska. Współczesne metody tworzenia nowych lądów wymagają pozyskania dużej ilości piasku, najczęściej z dna zbiorników wodnych lub istniejących wysp. Konieczne jest ustalenie relacji między procesami tworzenia nowych lądów a zmianami jakości wód. Jest to szczególnie ważne w obliczu rosnącej liczby ludności i coraz większego zapotrzebowania na nowe obszary lądowe.

Jakość wód badana jest przeważnie na podstawie trzech grup parametrów: fizycznych, chemicznych i biologicznych. Do fizycznych parametrów przynależą takie własności jak temperatura, kolor, smak wody, czy występowanie zawiesiny. Chemiczne parametry badają występowanie metali ciężkich, substancji toksycznych lub sam odczyn wody. Do biologicznych parametrów zalicza się występowanie bakterii, alg, oraz wirusów (Summers, 2020). Podstawowym sposobem badania jakości wód jest wykonywanie pomiarów w terenie. Jest to jednak proces kosztowny oraz czasochłonny, wymagający ręcznego pobierania próbek na obszarze badań i ich transportu do laboratorium (Glasgow et al., 2004). Manualne pomiary coraz częściej są zastępowane przez mierniki, które automatycznie albo poprzez zdalne wywołanie dokonują pomiarów. Taka automatyzacja umożliwia przeprowadzanie ciągłego monitoringu stanu wód, bez konieczności fizycznego przebywania nad zbiornikiem (Glasgow et al., 2004). Dodatkowym źródłem cennych informacji o stanie jakości wód są zdjęcia satelitarne. Pozwalają one na ocenę wybranych parametrów, w szczególności fizycznych. Dużą zaletą zdjęć satelitarnych jest także ich rozdzielcość przestrzenna. Zdjęcie jest w stanie dostarczyć informacji dla większego obszaru badań niż pojedyncze pomiary punktowe.

Mając na uwadze potencjały wzrost zapotrzebowania na tereny w miastach nadmorskich, konieczne jest zbadanie wpływu konstrukcji nowych ziem na środowisko. Celem pracy było zbadanie potencjalnego wpływu tworzenia nowych lądów na zmiany jakości

ROZDZIAŁ 1. WPROWADZENIE

pobliskich wód. Wybranych zostało pięć obszarów badań, na terenie których dokonano konstrukcji nowych lądów w przeciągu ostatnich 30 lat. Stan wód był badany w trzech etapach: przed, w trakcie i po zakończeniu prac konstrukcyjnych. Jakości wód zostały porównane między obszarami badań, w celu wykrycia potencjalnych globalnych lub czasowych trendów. Do wykonania oceny jakości wód korzystano dane teledetekcyjne w postaci zdjęć satelitarnych.

Rozdział 2

Przegląd literatury

Zaletą danych teledetekcyjnych w ocenie jakości wód jest ich obszar, który obejmują ciągły obszar badań (Gholizadeh et al., 2016). Pozwala to na obserwacje przestrzennego rozkładu stanu wód, w przeciwieństwie do punktowych pomiarów w terenie, które dostarczają informacje jedynie o stanie konkretnego punktu w przestrzeni. Wykorzystanie zdjęć satelitarnych jako danych teledetekcyjnych ogranicza jednak ilość właściwości wody, jaką można ocenić. Pozwalają jedynie na badanie fizycznych właściwości wód, takich jak ich kolor czy mętność (Glasgow et al., 2004). Stacje pomiarowe w terenie pozwalają na pozyskanie większej ilości informacji, opisujących chemiczne i biologiczne właściwości wody (Summers, 2020). Znaczna ilość badań zbiorników wodnych, przy wykorzystaniu danych teledetekcyjnych, skupia się na ocenie występowania chlorofili A, ilości zawieszonego materiału i mętności wody (Gholizadeh et al., 2016). Badania odnośnie wpływu konstrukcji lądów na jakość wód są istotne przez stale rosnącą liczbę ludności, w szczególności w obszarach na wybrzeżach (McGranahan et al., 2007). Nowe lądy znajdują zastosowania w poszerzaniu granic przybrzeżnych miast, dostarczając tereny pod strefy mieszkalne i przemysłowe (Wang et al., 2014). Ocena wpływu konstrukcji nowych lądów na stan jakości wód jest tematem wielu badań, których wyniki wykorzystano w tej pracy.

Zespół (Zhang et al., 2017) prowadził badania na obszarze zatoki Jiaozhou w Chinach. Wybrzeże tej zatoki ulegało wielu przekształceniom, będących wynikiem wielu prac

konstrukcji nowych lądów. Część z nowych terenów wykorzystano do rozwoju przemysłu. Wraz ze wzrostem ilości procesów tworzenia nowych lądów, odnotowano wzrost ilości nieorganicznego azotu, rozpuszczonego w wodach zatoki Jiaozhou. W ramach tej pracy, zdecydowano się zbadać wpływ wybranych czynników do zmiany ilości nieorganicznego azotu w zatoce Jiaozhou, która mogła doprowadzić do zmian jakości wody. Do oceny jakości wód, zespół pozyskał dostępne zbiory danych opisujące właściwości wody, których zmiany w ilości występowania w wodzie mogą świadczyć o potencjalnym pogorszeniu lub polepszeniu jakości wód. Do zbioru danych, oprócz ilości azotu odprowadzanego przez rzeki do zbiornika, zaliczono również między innymi informacje o: występowaniu chlorofilu A, zasadowości i temperaturze wody, zasoleniu czy ilości rozpuszczonego tlenu. Zbiór danych opisywał od 1962 do 2012 roku. Dane następnie podzielono na dwie grupy: czynniki wpływu antropogenicznego (przedostawanie się azotu i innych związków do zbiorników wodnych bezpośrednio przez strefy przemysłowe, lub odprowadzone do rzek uchodzących w zatoce) oraz przyrodnicze czynniki strefy przybrzeżnej (ilość chlorofilu A, zawiesiny w wodzie, temperatura i zasolenie wody, oraz zjawiska przyrodnicze). W pracy wykorzystano metody statystyczne, między innymi regresję liniową, analizę czynników oraz numeryczne modele jakości wód, do zbadania wpływu poszczególnych elementów zbioru danych na zmiany ilości rozpuszczonego azotu w zatoce. Praca wskazała, że głównymi czynnikami pogorszenia jakości wód w zatoce Jiaozhou był wzrost ilości azotu odprowadzanego przez rzeki do zatoki, oraz jednoczesne zmniejszanie powierzchni zbiornika wodnego. Tworzenie nowych lądów w zatoce skutkowało przekształcaniem powierzchni zatoki Jiaozhou między innymi w obszary przemysłowe, które zwiększały ilość azotu w wodach zatoki. Autorzy wskazali na konieczność wprowadzenia programów uzdatniania wody z rzek czy przenoszenia stref przemysłowych zdala od wybrzeża w celu poprawienia jakości wód w zbiorniku.

Praca (Hao et al., 2021) skupia się na określeniu wpływu konstrukcji nowych terenów w mieście Ningbo na stan jakości wód w zatoce Hangzhou w Chinach. Do oceny jakości wód wybrano cztery metale ciężkie: miedź, ołów, cynk i kadm. Wzrost stężenia tych metali w wodzie został utożsamiony z pogorszeniem jakości wody. Dane pozyskano z próbek, pobranych w trzech okresach: przed rozpoczęciem prac (2007 rok), tuż po zakończeniu

prac (2016 rok) i dłuższy czas po zakończeniu prac (2018 rok). Próbkowanie natężenia metali ciężkich w trzech oddzielnych etapach pozwoliło na ocenę wpływu tworzenia nowych lądów na stan jakości wód, porównując ilość metali ciężkich po zakończeniu prac z ilością przed rozpoczęciem prac. Badania wskazały na najwyższe wartości trzech z czterech metali ciężkich w 2016 roku, czyli tuż po zakończeniu prac. Jedynym metalem ciężkim, którego ilość była większa przed rozpoczęciem prac niż tuż po zakończeniu prac był kadm. Największy wzrost tuż po zakończeniu prac w 2016 roku, w porównaniu do stanu przed rozpoczęciem prac w 2007 roku odnotowały miedź oraz cynk. Obserwując ilości metali ciężkich w 2018 roku, czyli dwa lata po zakończeniu prac, wartości zmalały do ilości przed rozpoczęciem prac. W przypadku ołówku, ilość metali wykryta w zbiorniku była mniejsza w 2018 roku niż w 2007 roku. Trend spadku ilości metalu po zakończeniu prac nie został odnotowany dla kadmu, który dwa lata po zakończeniu prac wzrósł. Wyniki badań wskazują na wpływ tworzenia nowych lądów na stan jakości wody. Tuż po zakończeniu prac, ilość metali ciężkich w wodach była większa niż przed rozpoczęciem prac. Wraz z upływem czasu po zakończeniu prac, natężenie metali w wodzie stopniowo malało.

Rozdział 3

Materiały

Do oceny jakości stanu wód, wykorzystano dane teledetekcyjne w postaci zdjęć satelitarnych. Tabela 3.1 zawiera informacje o wykorzystanych danych. Wszystkie obrazy pochodzą z programu Landsat Collection 2 poziomu drugiego, dla którego zdjęcia zostały poddane korekcji atmosferycznej. W zależności od lat prowadzonych badań, zdjęcia pochodzą z satelit Landsat 5, 7 lub 8. Obrazy pozyskano z katalogu Planetary Computer od Microsoft (Source et al., [2022](#)). Wszystkie zdjęcia mają rozdzielcość przestrzenną 30 metrów. Z pozyskanych zdjęć satelitarnych, do obliczenia wskaźników spektralnych, wykorzystano kanały widzialne (czerwony, zielony, niebieski) i bliskiej podczerwieni. Wykorzystany został również kanał oceny jakości poszczególnych pikseli do wyboru jedynie obszarów zaklasyfikowanych jako zbiorniki wodne bez pokrycia chmurami. Tabela zawiera również informacje o ilości dostępnych zdjęć dla obszarów badań, pozyskanych z Planetary Computer. W przypadku Dubaju, Lagosu oraz Szanghaju, obszary badań były wystarczająco duże, że ich obszar dla pojedynczych dni pokrywały dwa zdjęcia satelitarne. Spowodowało to wzrost ilości dostępnych obrazów dla tych obszarów. Dla Dubaju i Lagosu jednak dwa zdjęcia dla tych samych dni pokrywały się tak mocno, że dodatkowy obraz nie dostarczał nowych danych do obszaru badań. Ze wszystkich dostępnych zdjęć dla badanych obszarów wybrano jedynie te, dla których procentowy udział ilości pikseli bez wartości w całym obrazie nie przekroczył wartości progowej. Wartość progowa zmieniała się dla każdego z obszarów, w zależności od ilości obszarów

Tabela 3.1: Informacje o wykorzystanych danych oraz długości profilu. W tabeli podano lata, dla których pozyskano obrazy satelitarne. Zawarto także ilość dostępnych zdjęć, oraz ile z nich zostało wykorzystane w badaniach. Umieszczono również informacje o rodzaju satelity, które wykonały zdjęcia. W tabeli zawarto również długość profilu w metrach, wzduż którego próbkiowano wartości wskaźników spektralnych oraz głębokości zbiornika.

obszar badań	satelita	okres badań	dostępne zdjęcia	wybrane zdjęcia	długość profilu
Dubaj, ZEA	Landsat 7	2002 - 2012	410	45	22149 m
Lagos, Nigeria	Landsat 7 i 8	2007 - 2020	465	51	7654 m
Limon, Kostaryka	Landsat 8	2014 - 2020	316	27	6853 m
Singapur	Landsat 5 i 7	1993 - 2005	337	46	9479 m
Szanghaj, Chiny	Landsat 7	2000 - 2008	759	39	15134 m

lądowych znajdujących się w obszarze badań. Piksele klasyfikowane jako ląd były wykluczane z analizy, w wyniku czego przy dużym udziale lądu należało zwiększyć wartość progową braku wartości. Oprócz lądów, chmury również wpływały na brak wartości na obrazie satelitarnym. Przy dużym zachmurzeniu, ilość dostępnych pikseli dla zbiorników wodnych malała, co skutkowało zmniejszeniem przydatności takiego zdjęcia do badań.

Oprócz zdjęć satelitarnych, w pracy wykorzystano również dane o głębokości zbiorników wodnych ze zbioru GEBCO_2023 Grid (GEBCO Bathymetric Compilation Group 2023, 2023). Dane o batymetrii udostępnione są w formie rastrow o rozdzielcości 15 sekund kątowych. Każdy piksel rastra zawiera informacje o głębokości w metrach. Dane o batymetrii zostały wykorzystane do zbadania zmian wskaźników jakości wód wzduż profilów, biegących od nowych lądów wgłąb zbiorników wodnych. Pozwoliło to nie tylko na ocenę zmiany jakości wód wraz ze zwiększaniem odległości od lądu, ale również wraz ze zwiększaniem głębokości.

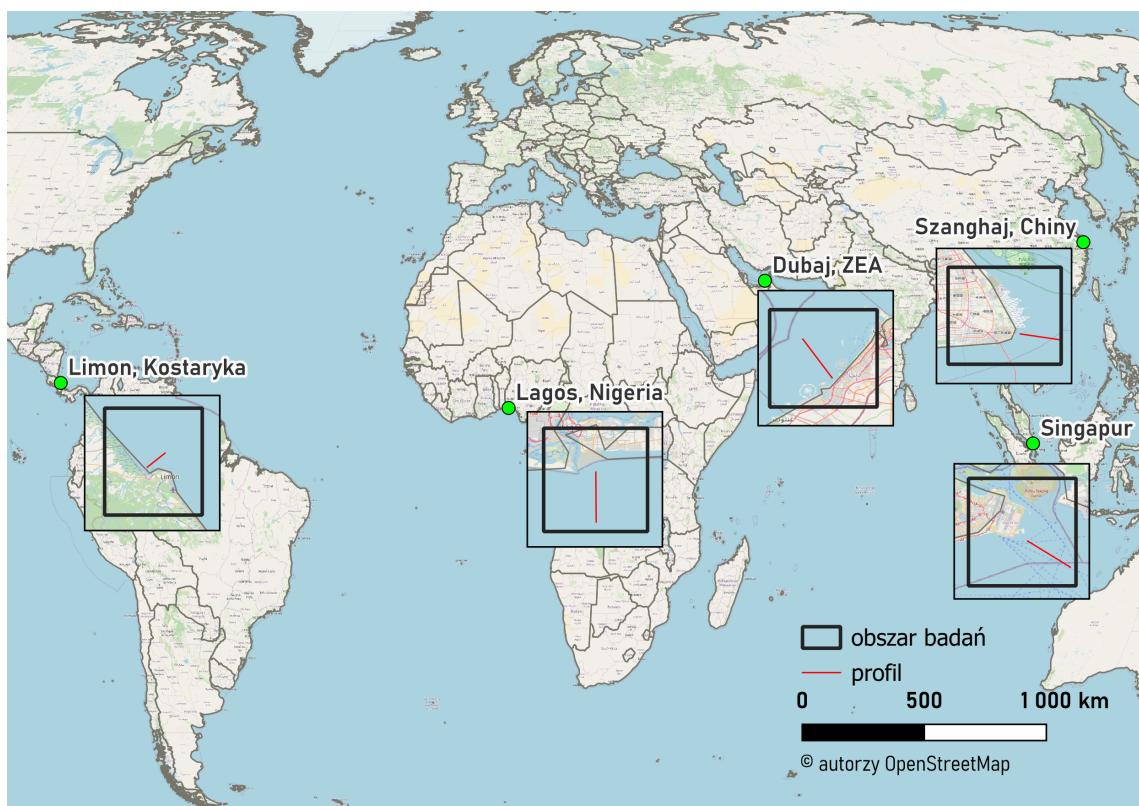
Rozdział 4

Obszary badań

Badania przeprowadzono na pięciu obszarach, położonych na trzech kontynentach Rycina 4.1. Tabela 4.1 zawiera podstawowe informacje dla każdego obszaru. Obszary obejmują projekty, które prowadzono na przestrzeni 23 lat. Najwcześniejszy projekt, w Singapurze, rozpoczęto w 1995 roku, gdzie najnowsze prace w Kostaryce i Nigerii zakończono w 2018 roku. Obszary badań różnią się także całkowitą pozyskaną powierzchnią lądową i jej wykorzystaniem. Najmniejszy teren pozyskano w Kostaryce i wykorzystano go do otworzenia terminalu kontenerowego. Projekt w Szanghaju cechował się największą pozyskaną powierzchnią lądową, którą użyto do otwarcia nowej dzielnicy miasta.

Tabela 4.1: Podstawowe informacje o obszarach badań, okresach prowadzenia prac oraz pozyskanych powierzchni i ich wykorzystaniu

obszar badań	początek prac	zakończenie prac	nowa powierzchnia	wykorzystanie
Dubaj, ZEA	2002	2010	20 km ²	turystyka
Lagos, Nigeria	2009	2018	9 km ²	obszar mieszkalno-usługowy
Limon, Kostaryka	2015	2018	0.4 km ²	terminal kontenerowy
Singapur	1995	2003	30 km ²	lotnisko
Szanghaj, Chiny	2003	2005	296 km ²	obszar mieszkalno-usługowy



Rycina 4.1: Położenie przestrzenne obszarów badań

4.1 Limon, Kostaryka

Limon jest drugim największym miastem Kostaryki, pełniącym jednocześnie rolę głównego portu morskiego kraju na Oceanie Atlantyckim. Kostaryka posiada mocną pozycję na rynku eksportowym, będąc liderem na świecie w ilości eksportowanych ananasów, oraz zajmując czwarte miejsce w ilości eksportowanych bananów ((Notteboom et al., 2022)). W celu rozwoju gospodarki kraju i umocnienia pozycji na rynku Ameryki Łacińskiej, w 2015 roku rozpoczęto pracę nad budową nowego terminalu kontenerowego. Terminal miał powstać na nowo utworzonej sztucznej wyspie obok miasta. Prace ukończono w 2019 roku, oddając do użytku terminal kontenerowy Moin o powierzchni 0.4 kilometra kwadratowego (Rycina 4.2). W przyszłości planowane są dalsze etapy rozbudowy terminalu, pozwalające na obsługę większych kontenerowców i większej ilości towarów. Wykorzystanie nowego terenu jest przemysłowe, służące jedynie obsłudze terminalu portowego. W ramach pracy, badania na obszarze Limon przeprowadzono w okresie od 2014 do 2020 roku.



Rycina 4.2: Terminal kontenerowy Moin, otwarty w 2019 roku. źródło: APM Terminals

4.2 Szanghaj, Chiny

Szanghaj jest miastem o stale rosnącej liczbie ludności. Od 1990 do 2000 roku, populacja Szanghaju wzrosła z 8,6 do 14,2 miliona osób ((DESA, n.d.)). W celu zapewnienia miejsca zamieszkania dla stale przybywającej ludności, rozpoczęto pracę nad rozbudową istniejących dzielnic Szanghaju. Jednym z takich projektów było stworzenie Nanhui New City, nowej dzielnicy Szanghaju w jej wschodniej części, nad zatoką Hangzhou. Założeniem dzielnicy było stworzenie ośrodka, które nie będzie jedynie częścią Szanghaju, a nowoczesnym miastem nadmorskim. ((Shi et al., 2016)). Prace nad konstrukcją Nanhui rozpoczęto w 2003, planując zakończenie w 2020 roku. Celem lokalnego rządu było stworzenie dzielnicy o powierzchni 296 kilometrów kwadratowych, którą po zakończeniu prac mogłoby zamieszkiwać 800 tysięcy osób (Rycina 4.3). Mimo iż prace w Nanhui New City trwały do 2020 roku, to nowy ląd został skonstruowany już w 2006 roku, a w 2010 roku dzielnice zamieszkiwało blisko 200 tysięcy osób ((Shi et al., 2016)). W ramach pracy, badania na obszarze Szanghaju przeprowadzono w zakresie czasowym od 2000 do 2009 roku.



Rycina 4.3: Nanhui New City od strony zatoki Hangzhou, rok 2018. źródło: MNXANL/Wikipedia

4.3 Dubaj, Zjednoczone Emiraty Arabskie

Na początku XX wieku rozpoczęto konstrukcję sztucznych wysp na wybrzeżu Dubaju. Wykinało to ze wzrostu gospodarczego miasta w tym okresie. (@[gibling2013construction]) Nowe wyspy miały pełnić funkcje turystyczne, będąc podłożem pod kompleksy hoteli, kurortów i wielu atrakcji. Do tych wysp zaliczyć można: Palm Jebel Ali, Palm Jumeirah, The World Islands (Rycina 4.4). Łączna powierzchnia wysp była bliska 20 kilometrów kwadratowych. Mimo iż większość wysp udało się ukończyć, ich dalszy rozwój został zahamowany w 2008 roku na skutek kryzysu ekonomicznego ((Gupta, 2015)). W ramach pracy, badania na obszarze Dubaju przeprowadzono w okresie od 2000 do 2012 roku.



Rycina 4.4: Hotel Atlantis, jeden z atrakcji Dubaju, znajduje się na wyspie Palm Jumeirah. źródło: [ckilger/flickr](#)

4.4 Lagos, Nigeria

Lagos zmagał się z problemem wypłukiwania wybrzeża i wdzierania się Zatoki Gwinejskiej wgłąb lądu. Rozwiązaniem problemu miał być projekt Eko Atlantic, rozpoczęty w 2009 roku. Polegał on na konstrukcji nowego lądu na wybrzeżu Lagosu. Pozwoliłoby to na odzyskanie 9 kilometrów kwadratowych utraconej ziemi przez Nigerię, oraz jednoczesną konstrukcję pasa umocnień ((Van Bentum et al., 2012)). Eko Atlantic pełniłoby rolę nowego miasta oraz centrum biznesowego, w którym mogłoby mieszkać 250 tysięcy mieszkańców ((Omotosho, 2013)). W ramach pracy, badania na obszarze Lagos przeprowadzono od 2007 do 2020 roku (Rycina 4.5).



Rycina 4.5: Eko Atlantic w 2020 roku na tle Lagosu. źródło: South Energyx Nigeria Limited (SENL)

4.5 Singapur

Lotnisko Changi w Singapurze zostało otwarte w 1981 i pozwalało na obsługę 12 milionów pasażerów rocznie ((Phang, 2003)). W 1993 roku rozpoczęto w Singapurze Changi East Reclamation Project. Projekt ten obejmował rozbudowę lotniska Changi w Singapurze o dodatkowe 30 kilometrów kwadratowych powierzchni (Rycina 4.6). Nowy ląd wykorzystano do rozbudowy infrastruktury lotniska, oraz do zbudowania nowych obiektów: baz powietrznych i morskich oraz muzeum marynarki ((Arulrajah et al., 2009)). W 2003 roku, w którym zakończono projekt, lotnisko Changi w Singapurze było w stanie obsłużyć rocznie 28 milionów pasażerów ((Phang, 2003)). W ramach pracy, badania na obszarze Singapuru przeprowadzono w okresie od 1991 do 2005 roku.



Rycina 4.6: Utworzony ląd w Singapurze, na którym znajdują się lotnisko Changi (lewo) i baza powietrzna Changi (prawo). źródło: Pulkitsangal/Wikipedia

Rozdział 5

Metody

Główną metodą wykorzystywania zdjęć satelitarnych w badaniu jakości wody jest wykorzystywanie informacji o ilości odbitego promieniowania od powierzchni wody (Gholizadeh et al., [2016](#)).

SABI (Alawadi, [2010](#))

Different sensors mounted on satellites and other platforms, such as aeroplanes, measure the amount of radiation at various wavelengths reflected from the water's surface. These reflections can be used directly or indirectly to detect different water quality indicators, such as total suspended solids (TSS), chlorophyll-a concentration, turbidity, salinity, total phosphorus (TP), Secchi disk depth (SDD), Temperature, pH, Dissolved Organic Carbon (DOC),etc

amount of radiation at various wavelengths reflected from the water's surface

The surface algal bloom index (SABI) is a four-band algorithm developed to map the spatial distribution of surface and near-surface algae in global oceans. It achieves this by using the red-edge effect as a tool to distinguish floating algae in a background of clear blue water and/or green planktonic water-mixed blooms. SABI's robustness is attributed to the following factors: (1) it is a ratio-based relationship applicable to spectral radiances (if measured at the same irradiance conditions) and reflectances, making it relatively insensitive to many of the uncertainties introduced by the bidirectional reflectance

distribution function (BRDF); (2) it is a four-band relationship, that will distribute the weight of each optical response proportionally; and (3) the inclusion of short wave bands (green and blue) in the denominator of the ratio making it: (a) highly suitable for relating near-surface bloom distributions to those occurring at the water surface; and (b) highly stable against sun glint as well as a number of optical scattering sources in the atmosphere, like molecules and certain particles. The SABI formulae used MODIS wavebands that belong to the 500 m spatial resolution group: B1 (R=645 nm) and B2 (NIR=869 nm) both aggregated from the 250 m resolution MODIS band group; and bands B3 (B=469 nm) and B4 (G=555 nm). Positive SABI values are a relative measure of the photosynthetic activity exhibited by the surface algae. Whereas negative values will point to the species' state of buoyancy in the water relative to their photosynthetic activity. This would, therefore, indicate either that the species are found deeper in the water column, leading to high water absorption in the NIR and preventing the red-edge effect from being detected, or the species are simply no longer photosynthetically active.

R: rsi do pobrania waterquality do obliczenia wskaźników (on ma formuły i metode do obliczania) ja dodalem metody dla landsata 5-7

Rozdział **Metody** zawiera opis użytych metod (np. statystycznych czy geostatystycznych) oraz technologii (np. pakiety R). Opis każdej z metod czy technologii powinien być zwarty i zawierać tylko najważniejsze informacje z punktu widzenia pracy dyplomowej.

Każda użyta metoda i technologia powinna być zacytowana. W przypadku pakietów R, wystarczy wypełnić poniższy blok kodu (zwróć uwagę, że ten blok kodu ma parametr echo: false; oznacza to, że będzie on niewidoczny w wynikowym pliku PDF)...

... a następnie zacytować pakiet używając znaku @, po którym podać nazwę pakietu rozpoczynającą się od prefiksu R-. Przykładowe cytowanie języka R bez nawiasu to R Core Team (2024), a pakietu **kableExtra** w nawiasie to (Zhu, 2024). Więcej przykładów cytowania można znaleźć na stronie https://rmarkdown.rstudio.com/authoring_bibliographies_and_citations.html#citations.

W przypadkach, gdy cytowanie istnieje, ale nie jest pakietem R to należy dodać je do pliku `thesis.bib` i użyć powyższej składni ze znakiem @. W ostateczności, gdy dana technologia nie posiada cytowania, należy podać jej adres internetowy.

Rozdział 6

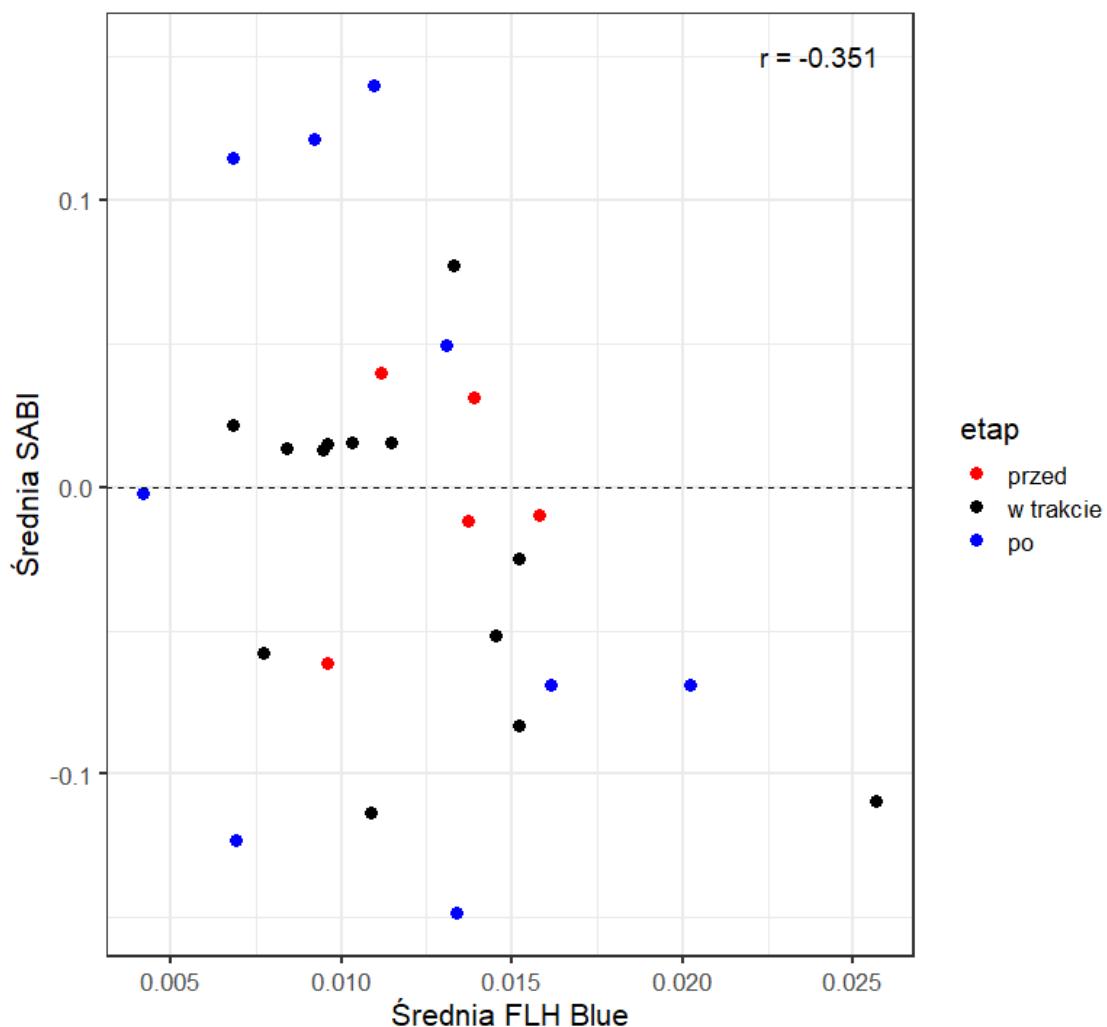
Wyniki

6.1 Limon, Kostaryka

Wraz z upływem czasu, na obszarze badań w Limon odnotowano wzrost ilości chlorofilu A (Tabela 6.1). Najmniej chlorofilu A wykryto podczas trwania prac konstrukcji nowego lądu. Największe odchylenie standardowe wykryto jednak przed rozpoczęciem prac. Oznacza to, że w trakcie tworzenia nowego lądu w Limon, ilość chlorofilu A była stale niska. Przed rozpoczęciem prac, chlorofilu A było więcej, jednak jego ilość była bardziej zróżnicowana. Wraz z zakończeniem prac, ilość chlorofilu A była największa, przy jednoczesnym najmniejszym zróżnicowaniu wartości. Wskaźnik SABI wykrył przesłanki występowania trendów w rozkładzie wartości chlorofilu A dla pojedynczych obrazów Dni z przeważającą ilością obserwacji o wysokich wartościach przypadają na okres połowy wiosny i lata. Oznacza to, że przeważnie od marca do września w Limon zaobserwowano większą ilość chlorofilu A. W trakcie konstrukcji nowego lądu odnotowano jednak anomalie. Na przełomie 2017 i 2018 wskaźnik SABI wskazywał na występowanie dużej ilości chlorofilu

Tabela 6.1: Statystyki wskaźnika SABI dla obrazów pochodzących z okresów przed, w trakcie i po wykonywaniu prac konstrukcji terminala kontenerowego w Limon

etap	średnia	medianą	odch. std.	1 kwartył	3 kwartył
przed	-0.002	0.002	0.071	-0.046	0.043
w trakcie	-0.021	-0.020	0.062	-0.062	0.018
po	0.001	0.000	0.057	-0.028	0.032



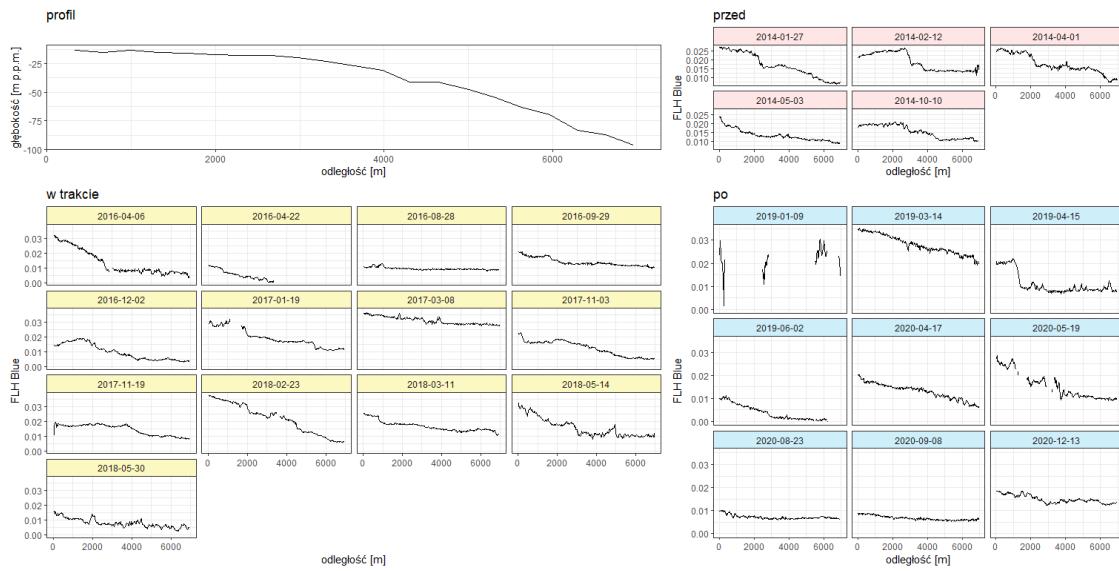
Rycina 6.1: Korelacja między średnimi wartościami wskaźników SABI i FLH Blue dla obszaru badań w Limon

A. Ilość ta była znacznie wyższa od pozostałych obserwacji na przełomie jesieni i zimy. Sama korelacja między wskaźnikami jest słaba (Rycina 6.1). Wskazuje na trend, gdzie przy wzroście wartości wskaźnika FLH Blue maleją wartości wskaźnika SABI.

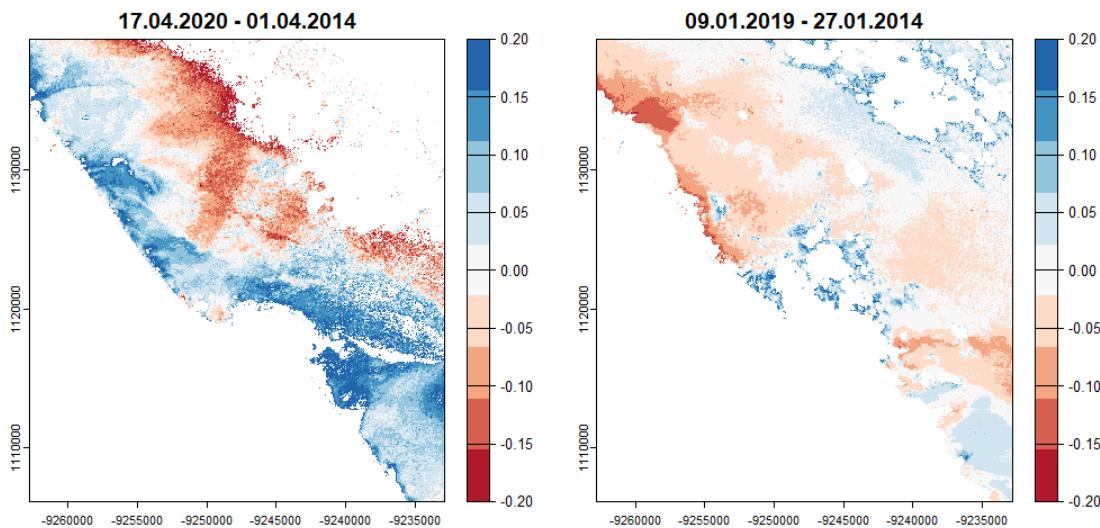
Wskaźnik FLH Blue wykrył zależność w zmianach ilości wykrytego chlorofilu A. Wraz ze wzrostem głębokości, ilość chlorofilu A malała (Rycina 6.2). Największe różnice zaobserwowano w trakcie konstrukcji terminalu.

Największy przyrost chlorofilu A wiosną wykryto przy lądzie (Rycina 6.3). Im dalej znajdowano się od wybrzeża, tym większy obserwowano spadek ilości chlorofilu po zakończeniu

ROZDZIAŁ 6. WYNIKI



Rycina 6.2: Przebieg zmian wartości wskaźnika FLH Blue wzdłuż profilu, biegającego w obszarze badań w Limon



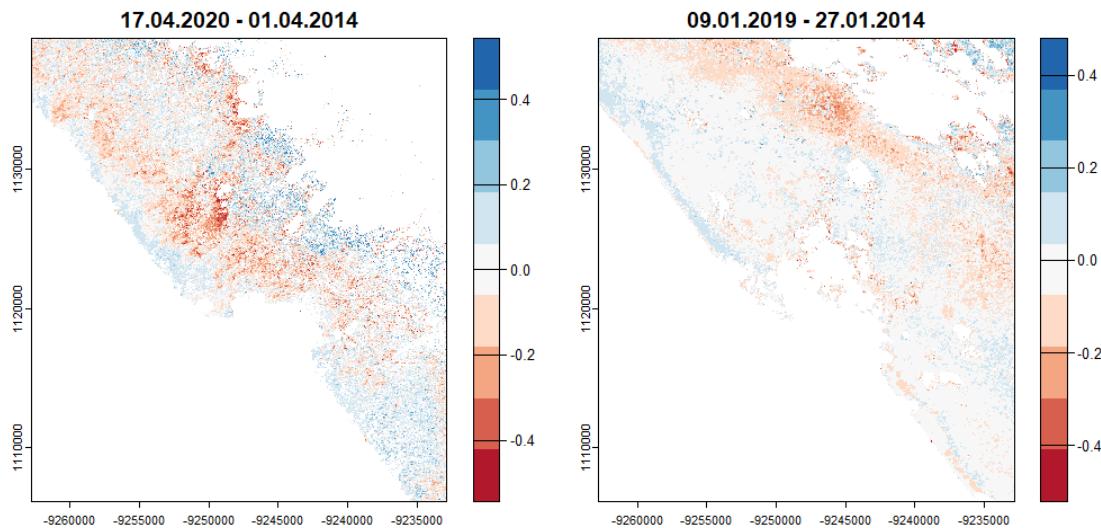
Rycina 6.3: Rozkład przestrzenny różnic wartości wskaźnika SABI przed rozpoczęciem i po zakończeniu prac na obszarze badań w Limon

prac, w porównaniu do stanu przed konstrukcją nowego lądu. Zależność ta była przeciwna zimą. Strefy przybrzeżne notowały utratę chlorofilu A, porównując ich ilość do stanu przed rozpoczęciem prac.

Obserwując zmiany w ilości zawiesiny, wartości wskaźnika Bow06 prognozują wzrost mętności wody (Tabela 6.2). Największe ilości zawiesiny odnotowano w trakcie prowadzenia prac. Na tym etapie odchylenie standardowe również było najniższe. Pokrywa się

Tabela 6.2: Statystyki wskaźnika Bow06 dla obrazów pochodzących z okresów przed, w trakcie i po wykonywaniu prac konstrukcji terminala kontenerowego w Limon

etap	średnia	mediana	odch. std.	1 kwartyl	3 kwartyl
przed	-0.134	-0.116	0.125	-0.217	-0.032
w trakcie	-0.103	-0.074	0.119	-0.169	-0.011
po	-0.120	-0.090	0.128	-0.201	-0.017



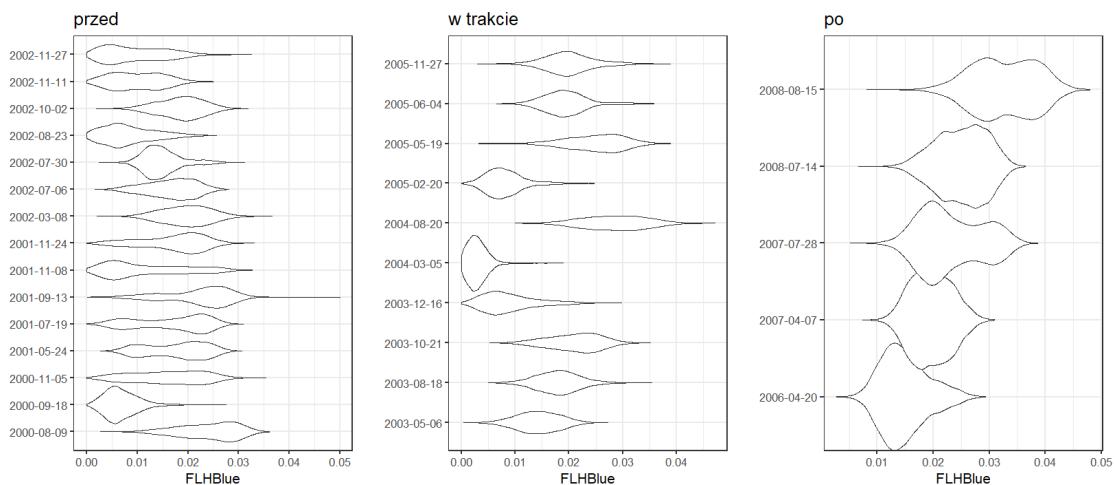
Rycina 6.4: Rozkład przestrzenny różnic wartości wskaźnika mętności Chip09 przed rozpoczęciem i po zakończeniu prac na obszarze badań w Limon

to ze zmianami wartości chlorofilu A, gdzie w etapie prowadzenia prac ilość chlorofilu była najmniejsza, przy jednoczesnym niskim zróżnicowaniu wartości. Jedyną zmianą w pomiarach zawiesiny jest najwyższe odchylenie standardowe po zakończeniu prac. Dla wskaźnika SABI natomiast, największe odchylenia miały miejsce przed rozpoczęciem prac. Oznacza to, że dla obszaru badań w Limon po zakończeniu prac zwiększyła się mętność wody, przy jednoczesnym zmniejszeniu jednorodności ilości zawiesiny.

Oba wskaźniki opisujące mętność wody wskazują na podobne zmiany w rozkładzie przestrzennym zmian wartości. W okresie wiosennym i letnim, największe spadki w ilości zawiesiny zaobserwowano przy wybrzeżu (Rycina 6.4). Zimą natomiast wykryto zależność, według której na obszarach położonych przy lądrze zanotowano wzrost mętności wody. Trend ten jest odwrotny do zmian ilości chlorofilu A, gdzie wiosną do największego wzrostu ich ilości doszło przy wybrzeżu.

Tabela 6.3: Statystyki wskaźnika FLH Blue dla obrazów pochodzących z okresów przed, w trakcie i po wykonywaniu prac konstrukcji Nanhui New City w Szanghaju.

etap	średnia	mediana	odch. std.	1 kwartył	3 kwartył
przed	0.015	0.016	0.006	0.011	0.020
w trakcie	0.018	0.018	0.004	0.015	0.021
po	0.023	0.023	0.005	0.019	0.027

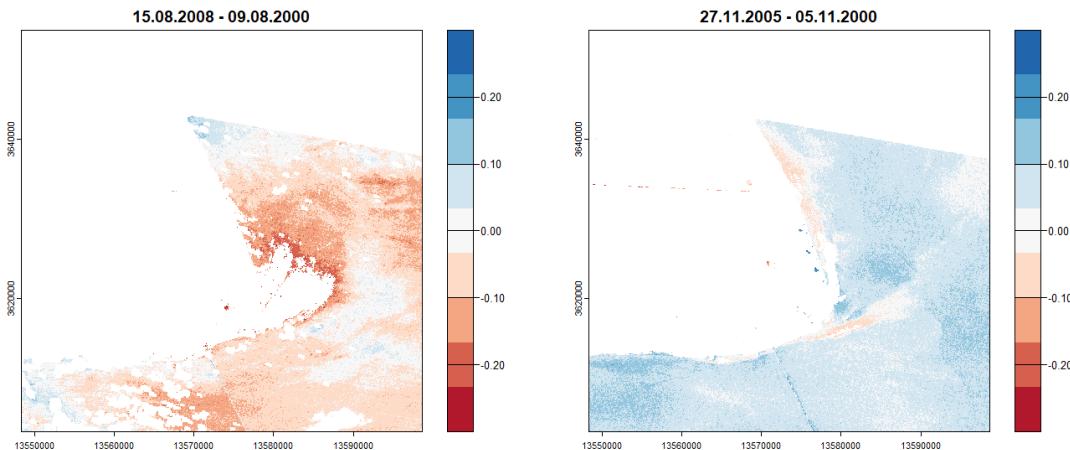


Rycina 6.5: Rozkład wartości wskaźnika FLH Blue dla poszczególnych etapów prac na obszarze Nanhui New City w Szanghaju

6.2 Szanghaj, Chiny

Wraz z postępem prac konstrukcji lądu pod Nanhui New City, odnotowano wzrost ilości chlorofilu A w zatoce Hangzhou (Tabela 6.3). Najniższe średnie wartości wskaźnika FLH Blue występowały przed rozpoczęciem prac, a najwyższe - po zakończeniu (Rycina 6.5). Odchylenie standardowe wartości również uległo zmianie. Przed rozpoczęciem prac, wartości chlorofilu A posiadały największy rozrzut spośród wszystkich etapów pracy. W trakcie konstrukcji lądu, wartości wskaźnika stały się bardziej stabilne, a następnie wzrosły wraz z zakończeniem prac. Odnośnie występowania chlorofiliu, wyższe wartości odchylenia standardowego mogą być naturalnym zjawiskiem. Wartości chlorofiliu są zależne od szeregu czynników i mogą różnić się w zależności od pory roku. Niskie wartości odchylenia standardowego podczas trwania prac mogą świadczyć o negatywnym wpływie konstrukcji lądów na zbiorniki wodne i zaburzeniu w występowaniu chlorofili A.

Wskaźnik SABI wskazał natomiast spadek ilości chlorofiliu wraz z upływem czasu. Najbardziej widoczne jest to późnym latem, gdzie na większości obszaru badań chlorofil A



Rycina 6.6: Rozkład przestrzenny różnic wartości wskaźnika SABI przed rozpoczęciem i po zakończeniu prac na obszarze badań w Nanhui New City w Szanghaju

Tabela 6.4: Statystyki wskaźnika Chip09 dla obrazów pochodzących z okresów przed, w trakcie i po wykonywaniu prac konstrukcji Nanhui New City w Szanghaju.

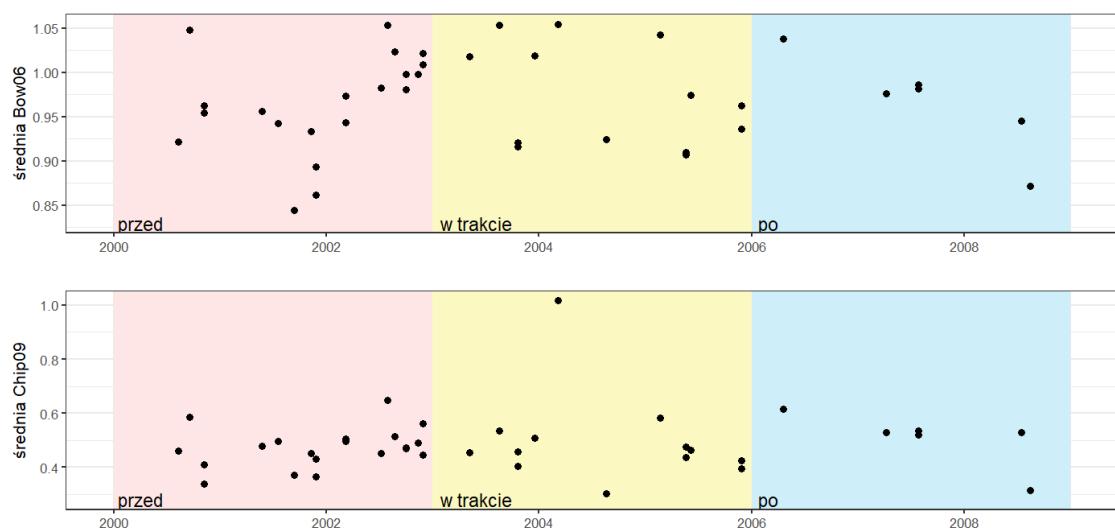
etap	średnia	mediana	odch. std.	1 kwartył	3 kwartył
przed	0.471	0.444	0.134	0.371	0.552
w trakcie	0.496	0.484	0.099	0.427	0.554
po	0.507	0.496	0.098	0.427	0.571

ubył po zakończeniu prac, w porównaniu do stanu przed ich rozpoczęciem (Rycina 6.6). Zależność ta jest natomiast odwrotna pod koniec jesieni. Całość obszaru badań wykazuje wzrost ilości chlorofilu A po zakończeniu prac. Jedyne występowania spadku chlorofilu zaobserwowano przy wybrzeżu nowego lądu.

Mętność wody na obszarze badań w zatoce Hangzhou wzrosła po zakończeniu prac (Tabela 6.4). Najniższe wartości zawiesiny w wodzie odnotowano przed rozpoczęciem prac, po czym stopniowo rosło w trakcie trwania konstrukcji. W przeciwieństwie do chlorofilu A, odchylenie standardowe również wzrosło po zakończeniu prac. Wzrost mętności oraz rozrzutu ilości zawiesiny może wynikać z długofalowych skutków konstrukcji lądów, albo ze zwiększonej ludzkiej aktywności, wynikającej z zamieszkania terenu nad zatoką przez dużą ilość nowych mieszkańców.

Zestawiając ze sobą wartości wskaźników Bow06 i Chip09 zauważać można różnice w wielkościach średnich (Rycina 6.7). Wartości wskaźnika Bow06 były dwukrotnie większe od wartości wskaźnika Chip09. Ponadto, wskaźnik Bow06 zaobserwował wzrost średnich

ROZDZIAŁ 6. WYNIKI



Rycina 6.7: Zmiany średnich wartości wskaźników Bow06 i Chip09 w czasie na obszarze Nanhui New City w Szanghaju

wartości zawiesiny już przed samym rozpoczęciem prac. Wartości wskaźnika Chip09 cechują się mniejszym rozrzutem. Większość obserwacji posiada wartość zbliżoną średniej, z wyjątkiem jednej obserwacji odstającej w trakcie prowadzenia prac.

Rozdział 7

Podsumowanie

Podsumowanie pracy jest w pewnym sensie znacznie rozbudowanym abstraktem. Należy wyliczyć i opisać osiągnięcia uzyskane w pracy dyplomowej. Tutaj jednak (w przeciwieństwie do np. rozdziału 1) należy przeходить od szczegółu do ogólnego - co zostało stworzone/określone, jak zostało to zrobione, jakie ma to konsekwencje, itd.

Ten rozdział powinien też zawierać opis kwestii, których nie udało się rozwiązać w pracy dyplomowej (i dlaczego się nie udało) oraz pomysły na przyszłe ulepszenie uzyskanych wyników lub dalsze badania.

Bibliografia

- Alawadi, F (2010). Detection of surface algal blooms using the newly developed algorithm surface algal bloom index (SABI). In: *Remote sensing of the ocean, sea ice, and large water regions 2010*. Vol. 7825. SPIE, pp.45–58.
- Arulrajah, A, MW Bo, J Chu, and H Nikraz (2009). Instrumentation at Changi land reclamation project, Singapore. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering* **162**(1), 33–40.
- DESA, U (n.d.). *United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division*. 2022. *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. Tech. rep. UN DESA/POP/2022/TR.
- GEBCO Bathymetric Compilation Group 2023 (2023). *The GEBCO_2023 Grid - a continuous terrain model of the global oceans and land*. en. https://www.bodc.ac.uk/data/published_data_library/catalogue/10.5285/f98b053b-0cbc-6c23-e053-6c86abc0af7b/.
- Gholizadeh, MH, AM Melesse, and L Reddi (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors* **16**(8), 1298.
- Glasgow, HB, JM Burkholder, RE Reed, AJ Lewitus, and JE Kleinman (2004). Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies. *Journal of experimental marine biology and ecology* **300**(1-2), 409–448.
- Gupta, P (2015). Futures, fakes and discourses of the gigantic and miniature in ‘The World’islands, Dubai. *Island Studies Journal* **10**(2), 181–196.

- Hao, Z and H Xu (2021). Effects of sea reclamation project on heavy metal concentrations in seawater-a case study in Qixingtu. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 647. 1. IOP Publishing, pp.012217.
- Hoeksema, RJ (2007). Three stages in the history of land reclamation in the Netherlands. *Irrigation and Drainage: The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage* **56**(S1), S113–S126.
- Hugo, G (2011). Future demographic change and its interactions with migration and climate change. *Global Environmental Change* **21**, S21–S33.
- Martín-Antón, M, V Negro, JM del Campo, JS López-Gutiérrez, and MD Esteban (2016). Review of coastal land reclamation situation in the world. *Journal of Coastal Research* (75), 667–671.
- McGranahan, G, D Balk, and B Anderson (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and urbanization* **19**(1), 17–37.
- Notteboom, T, A Pallis, and JP Rodrigue (2022). *Port economics, management and policy*. Routledge.
- Omotosho, J (2013). *New Cities and Real Estate Markets-A focus on the Eko Atlantic City Project*. Tech. rep. African Real Estate Society (AfRES).
- Phang, SY (2003). Strategic development of airport and rail infrastructure: the case of Singapore. *Transport Policy* **10**(1), 27–33.
- R Core Team (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Sengupta, D, R Chen, and ME Meadows (2018). Building beyond land: An overview of coastal land reclamation in 16 global megacities. *Applied geography* **90**, 229–238.
- Seto, KC, M Fragkias, B Güneralp, and MK Reilly (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PloS one* **6**(8), e23777.
- Shi, Y and Y Chen (2016). New city planning and construction in Shanghai: retrospective and prospective. *International Journal of Urban Sciences* **20**(1), 49–72.
- Source, MO, M McFarland, R Emanuele, D Morris, and T Augspurger (2022). *microsoft/PlanetaryComputer: October 2022*. Version 2022.10.28. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7261897>.

- Summers, JK (2020). *Water Quality: Science, Assessments and Policy*. BoD–Books on Demand.
- Van Bentum, K, C Hoyng, M van Ledden, AP Luijendijk, and M Stive (2012). The Lagos coast—Investigation of the long-term morphological impact of the Eko Atlantic City project. In: *NCK-Days 2012: Crossing borders in coastal research*. University of Twente.
- Ven, Gvd (1993). *Man-made lowlands: history of water management and land reclamation in the Netherlands*.
- Wang, W, H Liu, Y Li, and J Su (2014). Development and management of land reclamation in China. *Ocean & Coastal Management* **102**, 415–425.
- Wenzel, F, F Bendimerad, and R Sinha (2007). Megacities—megarisks. *Natural Hazards* **42**, 481–491.
- Zhang, P, Y Su, Sk Liang, Kq Li, Yb Li, and Xl Wang (2017). Assessment of long-term water quality variation affected by high-intensity land-based inputs and land reclamation in Jiaozhou Bay, China. *Ecological Indicators* **75**, 210–219.
- Zhu, H (2024). *kableExtra: Construct Complex Table with kable and Pipe Syntax*. R package version 1.4.0, <https://github.com/haozhu233/kableExtra>. <http://haozhu233.github.io/kableExtra/>.

Załączniki do wyników prac

Dubaj, ZEA

Lagos, Nigeria

Limon, Kostaryka

Singapur

Szanghaj, Chiny

Bibliografia

- Alawadi, F (2010). Detection of surface algal blooms using the newly developed algorithm surface algal bloom index (SABI). In: *Remote sensing of the ocean, sea ice, and large water regions 2010*. Vol. 7825. SPIE, pp.45–58.
- Arulrajah, A, MW Bo, J Chu, and H Nikraz (2009). Instrumentation at Changi land reclamation project, Singapore. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering* **162**(1), 33–40.
- DESA, U (n.d.). *United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division*. 2022. *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. Tech. rep. UN DESA/POP/2022/TR.
- GEBCO Bathymetric Compilation Group 2023 (2023). *The GEBCO_2023 Grid - a continuous terrain model of the global oceans and land*. en. https://www.bodc.ac.uk/data/published_data_library/catalogue/10.5285/f98b053b-0cbc-6c23-e053-6c86abc0af7b/.
- Gholizadeh, MH, AM Melesse, and L Reddi (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors* **16**(8), 1298.
- Glasgow, HB, JM Burkholder, RE Reed, AJ Lewitus, and JE Kleinman (2004). Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies. *Journal of experimental marine biology and ecology* **300**(1-2), 409–448.
- Gupta, P (2015). Futures, fakes and discourses of the gigantic and miniature in ‘The World’islands, Dubai. *Island Studies Journal* **10**(2), 181–196.

- Hao, Z and H Xu (2021). Effects of sea reclamation project on heavy metal concentrations in seawater-a case study in Qixingtu. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 647. 1. IOP Publishing, pp.012217.
- Hoeksema, RJ (2007). Three stages in the history of land reclamation in the Netherlands. *Irrigation and Drainage: The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage* **56**(S1), S113–S126.
- Hugo, G (2011). Future demographic change and its interactions with migration and climate change. *Global Environmental Change* **21**, S21–S33.
- Martín-Antón, M, V Negro, JM del Campo, JS López-Gutiérrez, and MD Esteban (2016). Review of coastal land reclamation situation in the world. *Journal of Coastal Research* (75), 667–671.
- McGranahan, G, D Balk, and B Anderson (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and urbanization* **19**(1), 17–37.
- Notteboom, T, A Pallis, and JP Rodrigue (2022). *Port economics, management and policy*. Routledge.
- Omotosho, J (2013). *New Cities and Real Estate Markets-A focus on the Eko Atlantic City Project*. Tech. rep. African Real Estate Society (AfRES).
- Phang, SY (2003). Strategic development of airport and rail infrastructure: the case of Singapore. *Transport Policy* **10**(1), 27–33.
- R Core Team (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Sengupta, D, R Chen, and ME Meadows (2018). Building beyond land: An overview of coastal land reclamation in 16 global megacities. *Applied geography* **90**, 229–238.
- Seto, KC, M Fragkias, B Güneralp, and MK Reilly (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PloS one* **6**(8), e23777.
- Shi, Y and Y Chen (2016). New city planning and construction in Shanghai: retrospective and prospective. *International Journal of Urban Sciences* **20**(1), 49–72.
- Source, MO, M McFarland, R Emanuele, D Morris, and T Augspurger (2022). *microsoft/PlanetaryComputer: October 2022*. Version 2022.10.28. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7261897>.

- Summers, JK (2020). *Water Quality: Science, Assessments and Policy*. BoD–Books on Demand.
- Van Bentum, K, C Hoyng, M van Ledden, AP Luijendijk, and M Stive (2012). The Lagos coast—Investigation of the long-term morphological impact of the Eko Atlantic City project. In: *NCK-Days 2012: Crossing borders in coastal research*. University of Twente.
- Ven, Gvd (1993). *Man-made lowlands: history of water management and land reclamation in the Netherlands*.
- Wang, W, H Liu, Y Li, and J Su (2014). Development and management of land reclamation in China. *Ocean & Coastal Management* **102**, 415–425.
- Wenzel, F, F Bendimerad, and R Sinha (2007). Megacities—megarisks. *Natural Hazards* **42**, 481–491.
- Zhang, P, Y Su, Sk Liang, Kq Li, Yb Li, and Xl Wang (2017). Assessment of long-term water quality variation affected by high-intensity land-based inputs and land reclamation in Jiaozhou Bay, China. *Ecological Indicators* **75**, 210–219.
- Zhu, H (2024). *kableExtra: Construct Complex Table with kable and Pipe Syntax*. R package version 1.4.0, <https://github.com/haozhu233/kableExtra>. <http://haozhu233.github.io/kableExtra/>.