



Liliia Yakovyshyna

Wydział Biologii i Biotechnologii,
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

ROLA TELEDETEKCJI W ZROZUMIENIU ZNACZENIA REALIZACJI PLANU EUROPEJSKIEGO ZIELONEGO ŁADU

Streszczenie (abstrakt): W tym badaniu skupiono się na wykorzystaniu technologii teledetekcji do kompleksowej analizy dynamicznych zmian środowiska w Lublinie. Badania obejmują ocenę jakości powietrza, dynamiki roślinności i ekspansji miasta w latach 2017-2023. Analiza jakości powietrza Lublina opiera się na zdjęciach satelitarnych z satelity Sentinel-5P z platformy „EO Browser”. Wyniki ujawniają nadmiar koncentracji NO₂, podkreślając potencjalne zagrożenia dla zdrowia ludzkiego. Zbadano dynamikę roślinności na terenie Lublina wykorzystując analizę NDVI na podstawie zdjęć satelitarnych Sentinel-2. Ocena obejmuje zastosowanie kombinacji pasm widmowych oraz programu QGIS do monitorowania spadku poziomu roślinności w Lublinie. Ekspansję miejską bada się za pomocą „Urban Classified Script” (satelita Sentinel-2). W badaniach zaobserwowano wzrost powierzchni zabudowanej Lublina. Integracja i rozwój technologii teledetekcyjnych okazuje się kluczowa dla monitorowania powierzchni Ziemi i wnosi znaczący wkład w badania naukowe, ochronę środowiska, zrozumienie globalnych zmian i osiągnięcie znaczenia Europejskiego Zielonego Ładu.

Słowa kluczowe: rola teledetekcji, Europejski Zielony Ład, implementacja Europejskiego Zielonego Ładu.

THE ROLE OF THE REMOTE SENSING IN UNDERSTANDING THE IMPORTANCE OF IMPLEMENTING THE EUROPEAN GREEN DEAL PLAN

Abstract: This study aims to analyze dynamic environmental changes in Lublin through the use of remote sensing technology. The research is focused on evaluating air quality, vegetation dynamics, and city expansion from 2017 to 2023. Satellite images taken from the Sentinel-5P satellite on the EO Browser platform were used to analyze Lublin's air quality. Excessive NO₂ concentrations have been found in the results, which indicate potential risks to human health. Sentinel-2 satellite images were used to analyze and examine the dynamics of vegetation in Lublin by using NDVI. To monitor the decline in vegetation levels in Lublin, spectral bands and the QGIS program are used in the assessment. Urban expansion is studied using the "Urban Classified Script" (Sentinel-2 satellite). An increase in the built-up area of Lublin was observed by the research. The development and integration of remote sensing technology is essential to monitoring Earth's surface and has a big impact on environmental protection, scientific research, understanding global change, and the applicability of the European Green Deal.

Keywords: remote sensing role, European Green Deal, implementation of the EGD

1. Znaczenie teledetekcji w realizacji Europejskiego Zielonego Ładu

Europejski Zielony Ład (znany również jako European Green Deal) to zestaw działań politycznych, które mają na celu skierowanie Unii Europejskiej na ścieżkę ekologicznej transformacji, a w ostatecznym rozrachunku – osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku. Jego misją jest również wspieranie przekształcenia UE w sprawiedliwą i dostatnią wspólnotę opartą na nowoczesnej i konkurencyjnej gospodarce. Naszym zdaniem, takie priorytety Europejskiego Zielonego Ładu, jak ochrona różnorodności biologicznej i ekosystemów, redukcja zanieczyszczeń powietrza, wody i gleby, są ściśle powiązane z możliwością zobaczenia przez każdego człowieka na własne oczy skutków i skali zanieczyszczeń, przekonania się o konieczności podjęcia zdecydowanych kroków w celu osiągnięcia planu Europejskiego Zielonego Ładu.¹

Temat został wybrany ze względu na konieczność popularyzacji wiedzy o teledetekcji i możliwości monitorowania środowiska, tak jak pozwala to na osiągnięcie celów Europejskiego Zielonego Ładu. Obserwacja Ziemi (Earth Observation, EO) to gromadzenie informacji o układach fizycznych, chemicznych i biologicznych planety Ziemia. EO odgrywa kluczową rolę w realizacji strategii Europejskiego Zielonego Ładu, ponieważ dostarcza niezbędnych danych do monitorowania, zarządzania i ochrony zasobów naturalnych oraz do podejmowania świadomych decyzji politycznych i gospodarczych. Teledetekcja odgrywa kluczową rolę w realizacji planów Europejskiego Zielonego Ładu (European Green Deal), który ma na celu uczynienie Europy pierwszym kontynentem neutralnym klimatycznie do 2050 roku. Jest ona stosowana do monitorowania środowiska, zrównoważenia rolnictwa, zwalczania zanieczyszczeń, zarządzania lasami, bioróżnorodnością itp. Obserwacja Ziemi dostarcza nieocenionych danych, które są fundamentem dla realizacji celów Europejskiego Zielonego Ładu. Pozwala na bieżące monitorowanie stanu środowiska, ocenę skuteczności polityk ekologicznych oraz podejmowanie świadomych decyzji w zakresie zarządzania zasobami naturalnymi. Dzięki teledetekcji możliwe jest skuteczne i efektywne działanie na rzecz ochrony klimatu, bioróżnorodności i zasobów naturalnych, co jest kluczowe dla osiągnięcia neutralności klimatycznej i zrównoważonego rozwoju Europy.

2. Funkcje teledetekcji i najnowocześniejsze narzędzia

W dzisiejszych czasach, w dobie powszechnego rozpowszechniania fałszywych informacji, istotna jest możliwość samodzielnego odbioru i weryfikacji danych, które może zapewnić teledetekcja Ziemi. Szereg platform internetowych, w szczególności „EO Browser” (jest to internetowe narzędzie typu open-source do przeglądania, wizualizacji i analizy zdjęć satelitarnych dostępnych na różnych platformach), umożliwia bezpłatny dostęp do danych z badań satelitarnych za pośrednictwem Internetu. Wiedząc, gdzie szukać i jak analizować zdjęcia satelitarne, można samodzielnie pozyskiwać i weryfikować informacje o środowisku. Przy pomocy zdjęć satelitarnych można porównywać otrzymane informacje, monitorować procesy i zjawiska w czasie i przestrzeni oraz krytycznie analizować dużą

¹ <https://www.ekologus.pl/europejski-zielony-lad-co-to-takiego/>, Europejski Zielony Ład – co to takiego?

liczbę danych z różnych czasów i tematów. Tak więc teraz, przy pomocy osiągnięć współczesnej nauki – przy wykorzystaniu teledetekcji Ziemi – każda osoba może zbadać aktualny stan środowiska, co pozwoli lepiej zrozumieć możliwe konsekwencje antropogenicznego wpływu na planetę i zwiększyć świadomość ekologiczną. Dlatego wierzymy, że monitoring środowiska za pomocą teledetekcji Ziemi, który obecnie aktywnie się rozwija, jest istotny w realizacji planu Europejskiego Zielonego Ładu.

Istnieje znaczny postęp w wykorzystywaniu zdjęć satelitarnych i kombinacji pasm widmowych ze względu na liczne możliwości. Przykładowo, łącząc pasma widmowe i analizując zdjęcia satelitarne, możemy obserwować zmiany na powierzchni Ziemi, monitorować aktualne katastrofy i analizować takie parametry, jak temperatura, zmiany ciśnienia, ilość opadów itp. Teledetekcja odgrywa kluczową rolę w różnych badaniach i eksploatacjach, a polega na interpretacji informacji o powierzchni Ziemi za pomocą satelitów. Daje nam to możliwość analizy prawie wszystkiego, co dzieje się na powierzchni Ziemi, co ostatecznie pozwala przewidywać zmiany, zapobiegać skutkom pewnych działań i rozumieć przyczyny zachodzących procesów.

3. Specyfika ekologiczna Lublina

Jedną ze ścieżek analizy środowiskowej jest ocena wskaźnika NDVI (Normalized Difference Vegetation Index jest powszechnie stosowaną miarą do kwantyfikacji zdrowia i gęstości roślinności przy użyciu danych z czujników), który zostanie wykorzystany w tym badaniu przy użyciu platformy EO Browser i oprogramowania QGIS (wieloplatformowe, wolne i otwarte oprogramowanie geoinformacyjne, które umożliwia zarządzanie danymi geograficznymi, tworzenie własnych danych, w tym zastosowanie współrzędnych GPS, wykonywanie analiz przestrzennych oraz tworzenie map). Wskaźnik ten ilościowo określa szatę roślinną badanego obszaru, pozwalając na ocenę ilości stref zielonych (np. w Lublinie, gdzie znajduje się wiele parków i terenów zielonych). Szczególnie w tym mieście istnieje wiele „zon” przeznaczonych do odpoczynku, w których znajduje się wiele roślin, pomników itp. Do najczęściej uczęszczanych parków należą Ogród Saski, Park Bronowice, Park Ludowy, Park Jana Pawła II. Istnieje wiele drzew i obiektów przyrodniczych, które są szczególne ze względu na swój wiek, rozmiar, kształt lub inne cechy są bardzo chronione. Dlatego też, ze względu na dużą liczbę stref zielonych, istnieje możliwość prowadzenia monitoringu dynamiki wegetacji w ciągu wielu lat. Dodatkowo skuteczną metodą analizy badanego obszaru jest badanie liczby budynków na danym obszarze lub monitorowanie rozwoju urbanistycznego miasta za pomocą zdjęć satelitarnych. Zostanie to osiągnięte przy użyciu platformy EO Browser, w szczególności z wykorzystaniem skryptu „Urban Classified Script” (skrypt używany do rozróżniania wody, obszarów zabudowanych, jałowych obszarów i obszarów wegetacyjnych; w skrypcie woda ma kolor niebieski, roślinność zielona, obszary zabudowane białe, jałowa gleba brązowa i wszystkie inne piksele ciemnozielone).

Tak jak możliwości analizy badanego obszaru jest wiele, to znaczącą możliwością jest monitorowanie zagrożeń dla zdrowia człowieka, takie jak: analiza różnego rodzaju zanie-

czyszczeń oraz ocena jakości powietrza czy wody na badanym obszarze. Badania będą również skupiać się na monitorowaniu jakości powietrza za pomocą zdjęć satelitarnych.

Kluczowymi źródłami naszych badań są „Fundamentals of Remote Sensing: History and Practice: Guidance Manual”², „Fundamentals of Remote Sensing Practice Book, Part I”³ oraz “Fundamentals of Remote Sensing, Part II”⁴ napisane przez Svitlana Babiichuk, Tetyana Kuchma, Yaroslava Yurkiv i Olha Tomchenko. Te podręczniki ćwiczeniowe obszernie omawiają skrypty badań ekologicznych, szczególnie takich z wykorzystaniem EO Browser i QGIS, zapewniając solidną podstawę naszej metodologii. Autorzy tych kluczowych podręczników przeprowadzili różnorodne badania oparte na obrazach satelitarnych i kombinacjach pasm spektralnych. Zwróciliśmy uwagę na ich badania oparte na monitorowaniu zanieczyszczenia powietrza, dynamice roślinności i ekspansji miejskiej, aby wykorzystać ich metody do eksploracji Lublina. Miasto było wybrane do badań ze względu na jego zróżnicowane środowisko, szybki rozwój urbanistyczny, zaburzenie powietrza i inne czynniki. Badanie środowiska za pomocą teledetekcji w Lublinie dostarcza cennych informacji nie tylko o kondycji ekosystemów samego miasta, ale także monitorowanie miasta Lublin jest przykładem, który pokazuje, że podobne badania mogą być stosowane w innych miastach i są bardzo istotne przy realizacji scenariusza Europejskiego Zielonego Ładu.

Podstawowe metody zastosowane w tych badaniach obejmują wykorzystanie technologii geoinformacyjnej i technik teledetekcji jako wysoce skutecznych narzędzi do badania krajobrazów miejskich (na przykładzie Lublina). Dekodowanie zdjęć satelitarnych Sentinel-2 ułatwia ocenę krajobrazów miejskich w Lublinie, umożliwiając identyfikację cech przestrzennych. Aby scharakteryzować współczesne krajobrazy miejskie, wykorzystano dane EO Browser i Sentinel-2. Różne skrypty i kombinacje kanałów, w tym skrypt „Green City”, zostały zastosowane, zapewniając wgląd w zielone przestrzenie miasta. Scenariusz „Green City”, biorąc pod uwagę znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji (NDVI) i długości fal w naturalnych kolorach, skutecznie odróżnia obszary zabudowane od obszarów wegetowanych. Do szczegółowej klasyfikacji krajobrazów miejskich zastosowano skrypt „Urban Classified” i dane Sentinel-2, automatyzując klasyfikację na podstawie obszarów zabudowanych, roślinności miejskiej, otwarte tereny i zbiorniki wodne. Zmiany wegetacyjne w Lublinie w latach 2017–2023 zostały przeanalizowane przy użyciu indeksu NDVI w programie QGIS. Nadmierne stężenia gazów cieplarnianych zidentyfikowano na podstawie danych z satelity Sentinel 5 i narzędzia do animacji. Zmiany rozkładu temperatury w Lublinie badano za pomocą satelitów Landsat i kanału termicznego. Kluczowe eta-

² *Fundamentals of Remote Sensing: History and Practice: Guidance Manual*. S.O. Dovgyi, V.I. Lialko, S.M. Babiichuk, T.L. Kuchma, O.V. Tomchenko, L.Ya. Iurkiv; translation from Ukrainian O. Savychenko, O. Oleshko. K.: Institute of Gifted Child of the NAPS of Ukraine 2019, 316 pages.

³ *Fundamentals of Remote Sensing: Practice Book*. Part 1. S.M. Babiichuk, L. Ya. Iurkiv, O.V. Tomchenko, T.L. Kuchma. Kyiv: The Junior Academy of Sciences of Ukraine, National Center 2022, 120 p.

⁴ *Fundamentals of Remote Sensing: Practice Book*. Part II. S.M. Babiichuk, T.L. Kuchma, L. Ya. Yurkiv, O.V. Tomchenko; edited by S.O. Dovgyi. Kyiv: National Center “Junior Academy of Sciences of Ukraine” 2022, 212 p.

py przetwarzania danych teledetekcji Ziemi obejmują wstępne i tematyczne przetwarzanie zdjęć satelitarnych, obejmujące metody takie jak kombinacja pasma, obrazy indeksu, analiza głównych składników, techniki podziału widmowego i klasyfikacje.

4. Monitorowanie Lublina i implementacja Europejskiego Zielonego Ładu

4.1. Monitoring dynamiki roślinności

Używając technologii satelitarnych, użytkownik może zaobserwować wylesiania, obecność lub brak zielonych stref albo w jakich częściach miasta stan zielonych obszarów pogorszył się, co może być związane ze zmianami klimatu, nieracjonalnym wykorzystaniem przyrodniczych bogactw i co może motywować do podjęcia pewnych działań.

W naszym badaniu do analizy zmian ilości zielonych „zon” badanego terytorium wykorzystano program QGIS do tworzenia obrazów NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) oraz platformę internetową EO Browser do uzyskania odpowiednich zdjęć satelitarnych Lublina. NDVI jest to wskaźnik pokazujący ilość roślinności na badanym obszarze. Można go używać jak gotowy skrypt w EO Browser lub, jak stosowano go w danych badaniach, przez następną kombinację pasm widmowych (gdzie B8 i B4 to promieni widmowe odpowiadające NIR (obszar widma bliskiej podczerwieni) i RED (widzialny obszar czerwony widma):

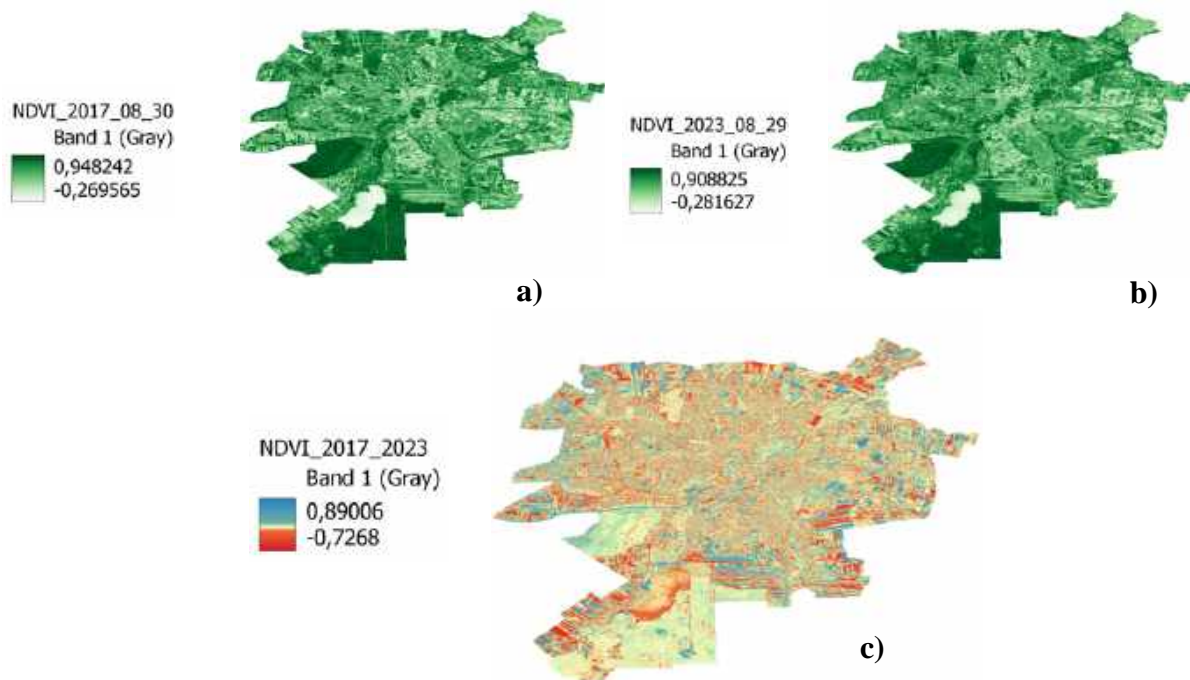
$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Rys. 1 Wzór wskaźnika NDVI: B8 to obszar widma bliskiej podczerwieni NIR; B4 to widzialny obszar czerwony widma RED

Ten index zależy od aktywności chlorofilu i pokazuje ilość czerwonych fal pochłanianych przez chlorofil (im więcej światła pochłania, tym lepszy jest NDVI). Skala NDVI waha się od -1 do 1⁵.

⁵ *Fundamentals of Remote Sensing: History and Practice: Guidance Manual*. S.O. Dovgyi, V.I. Lialko, S.M. Babiichuk, T.L. Kuchma, O.V. Tomchenko, L.Ya. Iurkiv; translation from Ukrainian O. Savychenko, O. Oleshko. K.: Institute of Gifted Child of the NAPS of Ukraine 2019, 316 pages.

Następne zdjęcia ilustrują zmianę indeksu roślinności w okresie 7 lat:



Rys. 2. Ocena zmiany stanu roślinności Lublina w końcu sierpnia za pomocą NDVI za lata 2017-2023: **a)** obraz wskaźnika NDVI na terenie miasta Lublin na dzień 30 sierpnia 2017 roku; **b)** obraz wskaźnika NDVI na terenie Lublina na dzień 29 sierpnia 2023 roku; **c)** Mapa różnic indeksu NDVI pomiędzy 2017 a 2023 rokiem.

Aby dokonać oceny roślinności, wyświetlonej na powyższych rysunkach, zastosowano następujące kroki:

- 1) znaleźliśmy odpowiednie zdjęcia satelitarne w „True color” (kompozyt „True Color” wykorzystuje pasy światła widzialnego czerwony, zielony i niebieski w odpowiednich kanałach koloru czerwonego, zielonego i niebieskiego, co daje produkt w kolorze naturalnym, jest to dobra reprezentacja Ziemi, tak jak ludzie postrzegaliby ją naturalnie) przy użyciu Sentinel-2 dla lat 2017 i 2023, używając platformy EO Browser;
- 2) dla każdego z obrazów pobraliśmy pasma widmowe B4 i B8;
- 3) utworzyliśmy warstwę NDVI w programie QGIS, korzystając ze wzorów podanych wcześniej dla każdego ze zdjęć satelitarnych odnoszących się odpowiednio do lat 2017 i 2023, korzystając z narzędzia „raster calculator” w program QGIS;
- 4) stworzyliśmy warstwę różnic pomiędzy indeksami lat.

Na rys. 2 c) obserwujemy obszar, który za pomocą segmentów różnych ciemności wskazuje różnicę pomiędzy ilością roślinności w roku 2017 a w roku 2023. Skala znajdująca się obok obrazu c) wskazuje, że w roku 2017 poziom roślinności był wyższy ($0,89006 > 0,7268$). Zatem w ciągu 7 lat roślinność zmniejszyła się o $0,16326$. Przyczyną zaniku roślinności na przestrzeni lat może być wylesianie na obrzeżach Lublina, rozwój miasta, tworzenie nowych terenów zabudowanych itp., które możemy zobaczyć również na zwykłych zdjęciach satelitarnych, porównując lata 2017 i 2023.

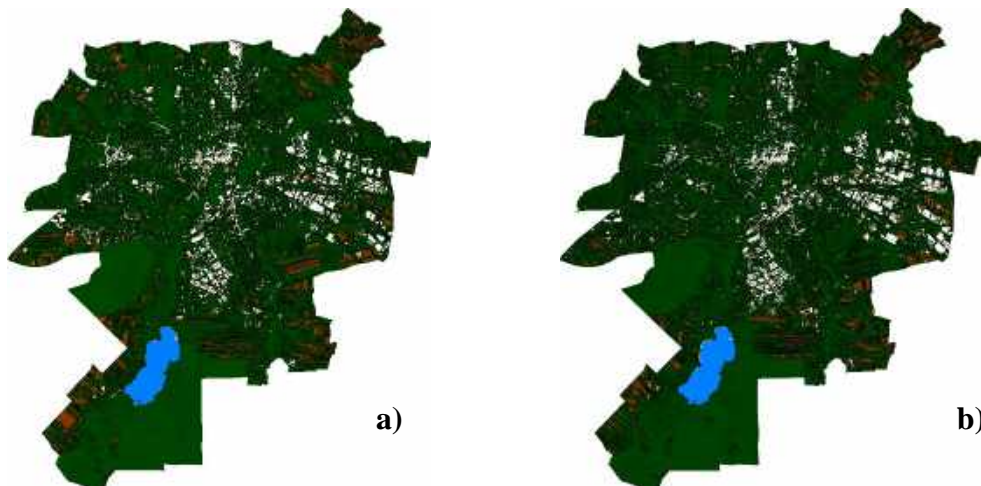
4.2. Monitoring rozbudowy miejskiej Lublina

Użycie narzędzia technologii satelitarnych pozwala użytkownikowi zaobserwować, jak zmienia się rozbudowa miasta i zobaczyć obciążenie antropogeniczne w czasie, a także zobaczyć, gdzie jest brak zielonych stref.

Ekspansja osiedli miejskich prowadzi do wzrostu obciążenia antropogenicznego otaczającego je środowiska przyrodniczego, co zwraca uwagę na problemy obszarów miejskich. Badanie rozwinięcia obiektów urbanistycznych za pomocą teledetekcji Ziemi pomaga zoptymalizować strukturę funkcjonalną miasta, skutecznie planować dalszy rozwój jego terytorium, rozwiązywać problemy związane z zapobieganiem sytuacjom awaryjnym i eliminować ich skutki.

W przedmiotowym badaniu, używając skryptu „Urban Classified” (za pomocą satelity „Sentinel-2”) na platformie EO Browser w dniach 30.08.2017 i 29.08.2023, udało się automatycznie sklasyfikować terytorium miasta na czterech podstawach: teren zabudowany (najistotniejszy w danym przypadku dla oceny rozbudowy miasta – białe segmenty), roślinność miejska, teren otwarty i zbiorniki wodne⁶.

Analiza obrazu wykazała gęstość zabudowy w kilku częściach miasta. Na otrzymanych zdjęciach obserwujemy zmianę współzależności między zabudowanymi obszarami a zielonymi obszarami. Niektóre części Lublina zostały obsadzone roślinnością, ale w każdym razie większość terytorium uzyskała więcej budynków.



Rys. 3. Ocena rozbudowy miasta w ciągu siedmiu lat: a) zdjęcie satelitarne za dzień 30.08.2017 (używając Sentinel-2, skrypt „Urban Classified Script”), b) zdjęcie satelitarne za dzień 29.08.2023 (używając Sentinel-2, skrypt „Urban Classified Script”).

Analizując otrzymane zdjęcia, obserwujemy wzrost ilości zabudowanych części badanego terytorium (ponieważ widzimy więcej białych segmentów), co jest powiązane z otrzymanymi rezultatami z poprzedniej części badania o dynamice roślinności Lublina.

⁶ *Fundamentals of Remote Sensing: Practice Book*. Part 1. S.M. Babiichuk, L. Ya. Iurkiv, O.V. Tomchenko, T.L. Kuchma. Kyiv: The Junior Academy of Sciences of Ukraine, National Center 2022, 120 p.

Czyli widzimy, że w ciągu siedmiu lat w mieście ubyło zielonych stref i pojawiło się więcej zabudowanych obszarów, co bezpośrednio wpływa na zmiany temperatury w tym okresie.

4.3. Monitoring zaburzenia powietrza

Obywatele mogą korzystać z bezpłatnych resursów internetowych w wolnym dostępie do bazy danych zdjęć satelitarnych i przekonać się o problemach obecności gazów cieplarnianych, zwłaszcza o problemie dużej koncentracji NO_2 , SO_2 , CO , CH_4 itp.⁷⁸

W analizowanym badaniu, w analizie jakości powietrza atmosferycznego nad Lublinem wykorzystano zdjęcia satelitarne wyznaczonego obszaru na platformie EO Browser. Do monitoringu wykorzystano zdjęcia uzyskane z satelity Sentinel-5p, pokazujące stężenia NO_2 w określonych dniach. Uzyskane zdjęcia wyraźnie ilustrują różny poziom stężenia gazu w latach 2020–2023, każdy reprezentowany przez odrębne kolory (im ciemniejszy jest kolor, tym wyższy jest poziom stężenia gazu). Proces obejmował następujące kroki:

- 1) Otwarcie platformy EO Browser;
- 2) Wybór typu satelity, wymaganego gazu i żądanego zakresu czasu;
- 3) Wybór odpowiednich obrazów do analizy;
- 4) Porównywanie wybranych obrazów w celu dostrzeżenia zmian w czasie.



Rys. 4. przykład wizualizacji koncentracji NO_2 w powietrzu na terytorium miasta Lublin o dniu 02.10.2023 na platformie internetowej EO Browser za pomocą satelity Sentinel-5P

Analizując zdjęcia satelitarne, ilustrujące stężenie dwutlenku azotu (NO_2) w Lublinie, stwierdzono przypadki przekroczeń dopuszczalnych poziomów w określonych terminach.

⁷ *Fundamentals of Remote Sensing: Practice Book*. Part 1. S.M. Babiichuk, L. Ya. Iurkiv, O.V. Tomchenko, T.L. Kuchma. Kyiv: The Junior Academy of Sciences of Ukraine, National Center 2022, 120 p.

⁸ Savenets, M., Oreshchenko, A., Nadtochii, L., *The system for near-real time air pollution monitoring over cities based on the Sentinel-5P satellite data*. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology" 2022, (57), PP. 195-205. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-15>.

Wykorzystując narzędzie platformy EO Browser, różne poziomy stężeń zostały zwizualizowane poprzez gradację kolorów, a ciemniejsze odcienie wskazują wartości przekraczające normę. Podwyższony poziom NO₂ nie tylko powoduje podrażnienie dróg oddechowych, ale także przyczynia się do wystąpienia różnych chorób. Dodatkowo NO₂ uznawany jest za gaz cieplarniany, który zaostrza zmiany klimatyczne. Badanie nadmiaru stężenia NO₂ w roku 2023 ujawnia godną podkreślenia prawidłowość. Co zaskakujące, w miesiącach letnich nie zaobserwowano nadmiaru. I odwrotnie, podwyższone stężenia NO₂, reprezentowane przez czerwone odcienie, występują głównie w miesiącach jesiennych – październiku i listopadzie. Za pomocą narzędzia platformy EO Browser otrzymano rezultat, stanowiący o tym, że w roku 2023 największy poziom koncentracji NO₂ został stwierdzony w dniu 18.10.2023 i stanowił 0,00000340687mol/m².

Warunki pogodowe, w szczególności opady i występowanie dni bezchmurnych, mają potencjalny wpływ na wizualizacje koncentracji gazów cieplarnianych. Warto zauważyć, że satelita Sentinel-5P rejestruje stężenia wyłącznie przy dobrej pogodzie. Zaobserwowaną prawidłowość można także przypisać okresom urlopowo-wakacyjnym.

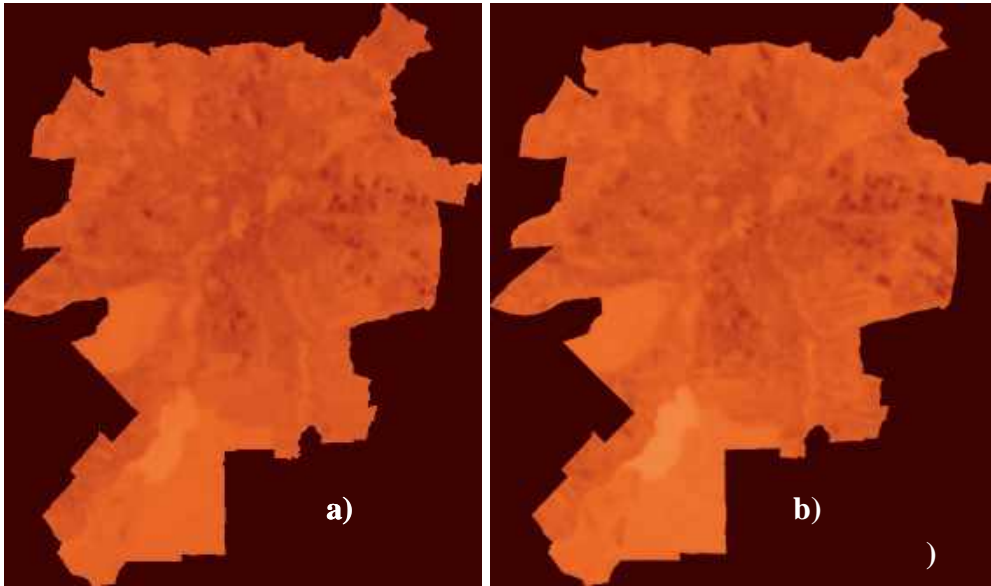
4.4. Monitoring zmian temperatury

Użytkownicy programów i platform technologii satelitarnych mogą porównać wartości temperatur z kilku lat. Za pomocą wizualizacji powierzchni Ziemi mogą zobaczyć które części terytorium nagrzewają się najbardziej (obszary z roślinnością i ze zbiornikami wodnymi notują niższą temperaturę, a zabudowane obszary i przemysłowe miejsca posiadają nieco wyższy poziom temperatury).

Do obserwacji zmian temperatury w latach 2017-2023 wykorzystano kanał termiczny „Thermal Channel” (wizualizacja termiczna oparta jest na paśmie 10; pasmo jest obszarem widma elektromagnetycznego; czujnik satelitarny może obrazować Ziemię w różnych pasmach), jest to przydatne w zapewnianiu temperatur powierzchni; jest zbierane w rozdzielczości 100 metrów) na platformie internetowej EO Browser, wykorzystując zdjęcia z satelity Landsat-8, wzbogacając naszą wiedzę na temat zmian środowiskowych w Lublinie na przestrzeni lat. Powierzchnie terenów zabudowanych nagrzewają się latem do najwyższych temperatur. W „Thermal Channel” są one oznaczone kolorem ciemniejszym⁹.

Obserwujemy, że wraz ze zmniejszeniem ilości zielonych stref i ze zwiększeniem obszarów zabudowanych terenów, wartości temperatury zwiększyły się, co negatywnie wpływa na ekosystemy Lublina. Ciemny kolor określa obszary, posiadające wysoki poziom temperatury.

⁹ *Remote Sensing: Analysis of Satellite Images in Geographic Information Systems: Guidance Manual.* S.O. Dovgyi, S.M. Babiichuk, T.L. Kuchma et al. Kyiv : National Center “Junior Academy of Sciences of Ukraine” 2022, 264 p.



Rys. 5. Wizualizacja zmiany temperatury wciąż siedmiu lat: a) zdjęcie satelitarne za 11.08.2017 (satelita Landsat-8, skrypt „Thermal Chanel”), b) zdjęcie satelitarne za 13.08.2023 (satelita Landsat-8, skrypt „Thermal Chanel”)

Rysunki podkreślają fakt, że ciemniejszych segmentów występuje więcej. Zabudowane obszary są zabarwione na ciemny kolor, co świadczy o tym, że te części posiadają wysoki poziom temperatury, z czego wynika wzrost temperatury w okresie kilku lat.

5. Podsumowanie

Rezultaty badań za pomocą narzędzia technologii satelitarnych umożliwiają głębokie rozumienie aspektów ekologicznych Lublina, są cennymi wskaźnikami dla decyzji o jakości powietrza i wody, różnorodności biologicznej itd. Obserwacja i badanie ekosystemów terytorium z użyciem technologii satelitarnych pozwalają na odkrycie pewnych problemów i zapobieganie negatywnych skutków. Korzystając z narzędzi teledetekcji Ziemi i metod przetwarzania obrazów satelitarnych, udowodniliśmy, że technologie te są potężnymi narzędziami do oceny aspektów ekologicznych obszarów zurbanizowanych. Technologie satelitarne mogą być aktualnie wykorzystywane w rolnictwie dla analizy siewu i jego osobliwości. Popularyzacja teledetekcji Ziemi za pomocą technologii satelitarnych zwiększa wiedzę o Europejskim Zielonym Ładzie oraz wiedzę o ekologicznym stanie środowiska.

Na opisanym przykładzie pokazano, że za pomocą technologii satelitarnych można przeprowadzić ocenę stanu środowiska, zidentyfikować problemy i zapobiec ich skutkom. W badaniu zidentyfikowano i skwantyfikowano ekspansję miejską Lublina za pomocą platformy EO Browser. Integracja kombinacji pasm widmowych i programu QGIS ułatwiła ocenę poziomu roślinności w Lublinie. Badanie ujawniło zauważalny spadek poziomu roślinności w okresie objętym badaniem, co przypisuje się zarówno ekspansji miast, jak i wylesianiu na obrzeżach miasta, analizując zdjęcia satelitarne, ponadto zmierzono stężenie

nie szkodliwego gazu NO₂ w powietrzu Lublina i zaobserwowano jego nadmiar, co może być przyczyną wzrosty temperatury.

Z prowadzonego monitoringu środowiska Lublina wynika, że na terenach o nadmiernej zabudowie zaleca się zwiększenie ilości terenów zielonych w celu obniżenia temperatury ogrzewania powierzchniowego oraz uregulowanie ruchu drogowego w mieście w celu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych.

Co więcej, w przyszłości chcielibyśmy rozszerzyć nasze badania. Chcielibyśmy dokonać ocen zmian stężeń metanu, działalności obywatelskiej w badaniach różnorodności biologicznej oraz zanieczyszczenia światłem. Przyszłe pomiary mogłyby dalej badać złożone interakcje między środowiskiem naturalnym a działalnością człowieka w Lublinie, prowadząc do lepszego ich zrozumienia i bardziej skutecznego zarządzania środowiskiem miejskim, co spowodowałoby zrozumienie znaczenia Europejskiego Zielonego Ładu i jego roli w ochronie naszego środowiska.

Bibliografia

1. Cord A.F., et al. *Priorities to advance monitoring of ecosystem services using earth observation*, Trends Ecol. Evol. 2017.
2. de Araujo C.C., Barbosa et al. *Remote sensing of ecosystem services: a systematic review*, Ecol. Indic. 2015.
3. Dovgyi, S.O., Babiichuk, S.M., Tomchenko, O.V., *Experience of using planet earth observation data in retraining courses for educators in the Junior Academy of Sciences of Ukraine. Information Technologies and Learning Tools* 2023, 95(3), 197-214. DOI:10.33407/itlt.v95i3.5191.
4. *Fundamentals of Remote Sensing: History and Practice: Guidance Manual*. S.O. Dovgyi, V.I. Lialko, S.M. Babiichuk, T.L. Kuchma, O.V. Tomchenko, L.Ya. Iurkiv; translation from Ukrainian O. Savychenko, O. Oleshko. K.: Institute of Gifted Child of the NAPS of Ukraine, 2019, 316 pages.
5. *Fundamentals of Remote Sensing: Practice Book. Part I*. S.M. Babiichuk, L. Ya. Iurkiv, O.V. Tomchenko, T.L. Kuchma. Kyiv: The Junior Academy of Sciences of Ukraine, National Center 2022, 120 p.
6. *Fundamentals of Remote Sensing: Practice Book. Part II*. S.M. Babiichuk, T.L. Kuchma, L. Ya. Iurkiv, O.V. Tomchenko; edited by S.O. Dovgyi. Kyiv: National Center "Junior Academy of Sciences of Ukraine" 2022, 212 p.
7. <https://www.ekologus.pl/europejski-zielony-lad-co-to-takiego/>, *Europejski Zielony Ład – co to takiego?*
8. *Remote Sensing: Analysis of Satellite Images in Geographic Information Systems: Guidance Manual*. S.O. Dovgyi, S.M. Babiichuk, T.L. Kuchma et al. Kyiv : NationalCenter "Junior Academy of Sciences of Ukraine" 2022, 264 p.
9. Savenets, M., Oreshchenko, A., Nadtochii, L., *The system for near-real time air pollution monitoring over cities based on the Sentinel-5P satellite data*. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology" 2022, (57), PP. 195-205. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-15>

Dane kontaktowe

Liliia Yakovyshyna, liliya.yakovyshyna8675@gmail.com