

# Projekt zaliczeniowy

## Raport końcowy

Zespół Projektowy nr 1  
**Adrian Rybaczuk 318483**  
**Bartek Cylwik 325457**

11 czerwca 2025

### Streszczenie

Niniejszy raport przedstawia podsumowanie projektu grupowego, systemu do równoległego przetwarzania obrazów satelitarnych Sentinel-2, umożliwiającego efektywną analizę zmian roślinności z wykorzystaniem wskaźników NDVI i NDMI oraz przyjaznego interfejsu graficznego.

## Spis treści

<b>1 Wprowadzenie</b>	<b>2</b>
<b>2 Kroki podjęte na początku pracy</b>	<b>3</b>
2.1 Research wskaźników NDVI i NDMI	3
2.2 RED, NIR, SWIR czyli B4, B8, B11	4
2.3 Przeskalowanie NIR do rozdzielczości SWIR	4
2.4 Następnym krokiem będzie uzyskanie dostępu do danych z Sentinel-2	5
<b>3 Przebieg procesu w aplikacji</b>	<b>5</b>
<b>4 Równoległe przetwarzanie</b>	<b>5</b>
4.1 Które obliczenia i dlaczego postanowiliśmy zrownoleglic / rozproszyc	5
4.2 Jak dokonaliśmy zrownoleglenia obliczeń	5
4.3 Jakie wyniki uzyskaliśmy	5
4.4 Kiedy przyspieszenie ma sens, a kiedy nie ma	5
4.5 Jakie wnioski można wyciągnąć z uzyskanych wyników	5
<b>5 Interpretacja i wnioski</b>	<b>5</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>5</b>

# 1 Wprowadzenie

Celem projektu była implementacja (wraz z GUI) systemu równoległego / rozproszonego mechanizmu wyliczania indeksów wilgotności (NDMI) i wegetacji (NDVI) roślin na zobrażowaniach satelitarnych Sentinel-2 do stwierdzenia występowania lub zaniku roślinności na wskazanym obszarze. Na podstawie tak zdefiniowanego zadania mogliśmy wyznaczyć poszczególne elementy projektu do realizacji:

- Uzyskanie wskaźników NDVI i NDMI
  - Research na temat wskaźników NDVI i NDMI
  - Pobranie niezbędnych wskaźników z zobrażenia satelitarnego Sentinel-2
  - Zapisanie danych pobranych z API jako "cache" w celu uniknięcia ponownego pobierania danych
  - Identyfikacja potencjalnych problemów związanych z przetwarzaniem danych
  - Przeprowadzenie obliczeń wskaźników
- Interfejs graficzny
  - Ekran uwierzytelniania z API Sentinel-Hub
  - Ekran pozwalający na wybór zakresu czasowego oraz obszaru analizy
  - Ekran z wynikami analizy w postaci mapy z zaznaczonymi obszarami roślinności
- Równoległe przetwarzanie
  - Wybranie obszarów programu wymagających przetworzenia równoległego / rozproszonego
  - Wybranie pomiędzy przetwarzaniem na CPU a GPU
  - Implementacja mechanizmu równoległego / rozproszonego przetwarzania
- Wybranie technologii do realizacji projektu

## 2 Kroki podjęte na początku pracy

### 2.1 Research wskaźników NDVI i NDMI

Aby uzyskać wskaźniki NDVI i NDMI, rozpoczęliśmy od analizy literatury i dokumentacji dotyczącej tych indeksów, przechodząc od ogólnych informacji do szczegółowych aspektów ich wyznaczania.

**NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index) [1] jest prostym wskaźnikiem ilościowym służącym do klasyfikacji wegetacji roślin. Jego wartość mieści się w przedziale od  $-1$  do  $1$ :

- Wartości ujemne (zblizone do 0) wskazują na obecność wody.
- Zakres  $-0.1$  do  $0.1$  odpowiada obszarom jałowym (skały, piasek, śnieg).
- Przedział  $0.2$  do  $0.4$  oznacza niską roślinność (zarośla, łąki).
- Wysokie wartości (bliskie 1) wskazują na bujną roślinność (np. lasy deszczowe).

Dzięki temu NDVI jest dobrym wskaźnikiem obecności i kondycji roślinności na danym obszarze.

Wskaźnik NDVI definiuje się wzorem:

$$\text{NDVI} = \text{Index}(\text{NIR}, \text{RED}) = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

W przypadku danych Sentinel-2, indeks ten wyznaczamy na podstawie kanałów B8 (NIR) i B4 (RED):

$$\text{NDVI} = \text{Index}(\text{B8}, \text{B4}) = \frac{\text{B8} - \text{B4}}{\text{B8} + \text{B4}}$$

**NDMI** (Normalized Difference Moisture Index) [2] jest znormalizowanym wskaźnikiem wilgotności który do wyznaczenia wilgotności wykorzystuje pasma NIR i SWIR.

- Wartości ujemne (zblizone do  $-1$ ) wskazują na bardzo suche obszary (brak roślinności, pustynia, obszary zabudowane)
- Wartości od  $-0.2$  do  $0.2$  wskazują na glebę wysychającą (rzadka trawa, trawy wysychające, krzewy w stanie stresu wodnego)
- Wartości poniżej  $0.2$  do  $0.4$  odpowiadają umiarkowanemu nawodnieniu (trawy, pastwiska)
- Wartości od  $0.4$  Wskazują na obszary o zdrowy stan nawodnienia (uprawy w pełni sezonu wegetacyjnego, lasy liściaste w strefie umiarkowanej)
- Wartości powyżej  $0.4$  wskazują na obszary o wysokiej wilgotności (las deszczowy, obszary podmokłe)

Wskaźnik NDMI definiujemy wzorem:

$$\text{NDMI} = \text{Index}(\text{NIR}, \text{SWIR}) = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}}$$

W przypadku danych Sentinel-2, indeks ten wyznaczamy na podstawie kanałów B8 (NIR) i B11 (SWIR):

$$\text{NDMI} = \text{Index}(\text{B8}, \text{B11}) = \frac{\text{B8} - \text{B11}}{\text{B8} + \text{B11}}$$

## 2.2 RED, NIR, SWIR czyli B4, B8, B11

**RED** to czerwony kanał światła, silnie odbijany przez martwe liście. Wykorzystuje się go do identyfikacji typów roślinności, gleb oraz obszarów zabudowanych. Charakteryzuje się ograniczoną penetracją w wodzie i słabym odbiciem od liści zawierających chlorofil (żywe liście).

W satelitach Sentinel-2 kanał RED odpowiada pasmu B4: [3]

- Rozdzielczość: 10 m/px
- Centralna długość fali: 665 nm
- Szerokość pasma: 30 nm

**NIR** (Near Infrared) to bliska podczerwień, która dobrze obrazuje linie brzegowe oraz zawartość biomasy.

W Sentinel-2 kanał NIR odpowiada pasmu B8: [4]

- Rozdzielczość: 10 m/px
- Centralna długość fali: 842 nm
- Szerokość pasma: 115 nm

**SWIR** (Short-Wave Infrared) jest to fala wysokowrażliwa na zawartość wody w obiektach. Dlatego jest dobrym wskaźnikiem wilgotności w

W Sentinel-2 kanał SWIR odpowiada pasmu B11: [5]

- Rozdzielczość: 20 m/px
- Centralna długość fali: 1610 nm
- Szerokość pasma: 130 nm

Istotną dla nas informacją na temat pasm dostarczanych przez Sentinel-2 jest rozdzielczość. Możemy zauważyć różnice w rozdzielczości między kanałami NIR i SWIR. W związku z tym musimy dokończyć przeskalowania jednej z tych rozdzielczości do rozdzielczości drugiej.

## 2.3 Przeskalowanie NIR do rozdzielczości SWIR

Ponieważ kanały NIR i SWIR w Sentinel-2 mają różne rozdzielczości przestrzenne, przed obliczeniem wskaźnika NDMI konieczne jest dopasowanie ich do wspólnej siatki. Aby uzyskać jak najlepszą jakość wynikowego wskaźnika, zdecydowaliśmy się przeskalować kanał NIR (B8, 10 m/px) do rozdzielczości kanału SWIR (B11, 20 m/px). Wybraliśmy NIR ponieważ przy jego downscalingu uzyskamy dokładniejsze wyniki. Do tego celu zastosowaliśmy metodę "area-based resampling" [6], która pozwala na bezpieczne zmniejszenie rozdzielczości obrazu przy zachowaniu reprezentatywności wartości pikseli.

Metoda ta polega na uśrednianiu wartości pikseli z obrazu o wyższej rozdzielczości, aby uzyskać odpowiadający im piksel w obrazie o niższej rozdzielczości. Matematycznie można to zapisać następująco:

$$D_{i,j} = \frac{1}{4} \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 I_{2i+m, 2j+n}$$

gdzie  $D_{i,j}$  oznacza piksel w obrazie o niższej rozdzielczości, a  $I_{2i+m, 2j+n}$  to odpowiadające mu piksele w obrazie o wyższej rozdzielczości.

## 2.4 Następnym krokiem będzie uzyskanie dostępu do danych z Sentinel-2

Do tego celu skorzystaliśmy z API Sentinel-Hub. [7] Udostępnia on dane z satelity poprzez API dopiero po uwierzytelnieniu. W tym celu musieliśmy przejść przez process opisany tutaj [8]. Po jego przejściu mamy dostęp do Client ID oraz Client Secret które wykorzystamy do połączenia się z API.

API posiada reate limiting które są w miarę restrykcyjne. [9] Z tego też powodu zamierzamy wykorzystać cache do przechowywania pobranych już danych. Z natury projektu i dania sobie możliwości testowania wyników zamierzamy przechowywać nieprzetworzone dane zamiast obliczonych już wyników. Pomoże nam to przeprowadzić testy i wprowadzić poprawki w przyszłości.

## 3 Przebieg procesu w aplikacji

## 4 Równoległe przetwarzanie

### 4.1 Które obliczenia i dlaczego postanowiliśmy zrownoleglic / rozproszyc

### 4.2 Jak dokonaliśmy zrownoleglenia obliczeń

### 4.3 Jakie wyniki uzyskaliśmy

### 4.4 Kiedy przyspieszenie ma sens, a kiedy nie ma

### 4.5 Jakie wnioski można wyciągnąć z uzyskanych wyników

## 5 Interpretacja i wnioski

## Bibliografia

- [1] Sentinel Hub. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndvi/> (term. wiz. 11.06.2024).
- [2] Sentinel Hub. *Normalized Difference Moisture Index (NDMI)*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndmi/> (term. wiz. 11.06.2024).
- [3] Sentinel Hub. *Sentinel-2 Band Documentation B4*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/#band-4> (term. wiz. 11.06.2024).
- [4] Sentinel Hub. *Sentinel-2 Band Documentation B8*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/#band-8> (term. wiz. 11.06.2024).
- [5] Sentinel Hub. *Sentinel-2 Band Documentation B11*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/#band-11> (term. wiz. 11.06.2024).

- [6] Rasterio. *Area-based resampling*. URL: <https://rasterio.readthedocs.io/en/stable/topics/resampling.html> (term. wiz. 11.06.2024).
- [7] Sentinel Hub. *Sentinel-2 API Documentation*. URL: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/sentinel-2-l2a/> (term. wiz. 11.06.2024).
- [8] Sentinel Hub. *Sentinel-2 API Documentation Authentication*. URL: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/api/overview/authentication/> (term. wiz. 11.06.2024).
- [9] Sentinel Hub. *Sentinel-2 API Documentation Rate Limiting*. URL: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/api/overview/rate-limiting/> (term. wiz. 11.06.2024).