



# **Ewapotranspiracja terenów bagiennych. Wybrane wyniki pomiarów z zastosowaniem metody kowariancyjnej i obserwacji satelitarnych (Sentinel 2)**

Mariusz Siedlecki, Włodzimierz Pawlak, Krzysztof Fortuniak  
Uniwersytet Łódzki, Zakład Meteorologii i Klimatologii

# Cele pracy



- Zastosowanie obserwacji satelitarnych (Sentinel 2) do wyznaczenia wartości wskaźnika LAI (Leaf Area Indeks) w obszarach bagiennych
- Porównanie wyników pomiarów parowania terenowego uzyskanego z pomiarów kowariancyjnych i z wynikami oceny ewapotranspiracji uzyskanymi z zastosowania metody Penmana-Monteitha
- Charakterystyka tzw. oporu powierzchniowego obszarów bagiennych na podstawie obserwacji satelitarnych

# Dane i metody badawcze

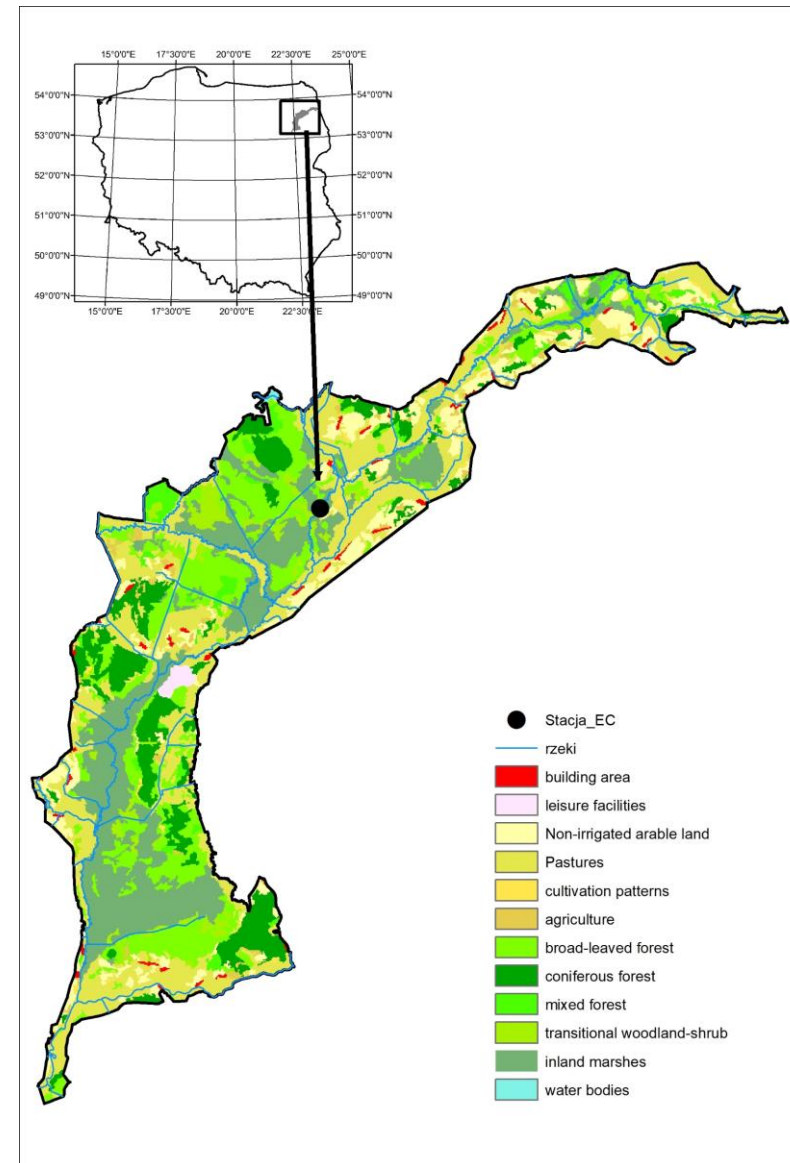
- Pomiar kowariancyjny na obszarze Biebrzańskiego Parku Narodowego
- Pomiar w okresie kwiecień – październik 2022
  - Metoda kowariancji wirów

Pionowy strumień pary wodnej E

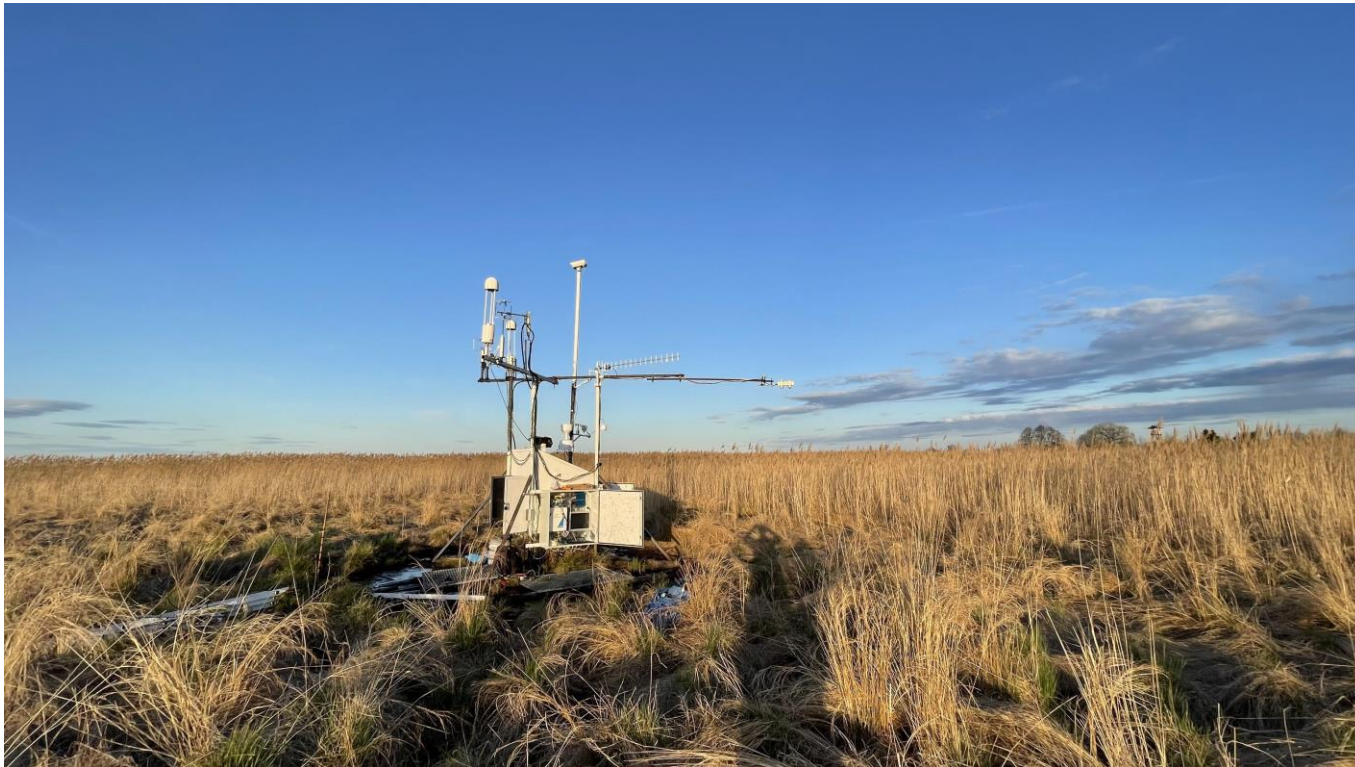
$$E = \rho \cdot \overline{w' \cdot q'}$$

gdzie:

- $q'$  fluktuacje wilgotności właściwej
- $w'$  fluktuacje pionowej składowej prędkości wiatru
- $\rho$  gęstość powietrza



# Dane i metody badawcze



- Pomiar fluktuacji z częstotliwością 10Hz
- Tradycyjne uśrednianie Reynoldsa dla przedziałów godzinnych

## Weryfikacja danych

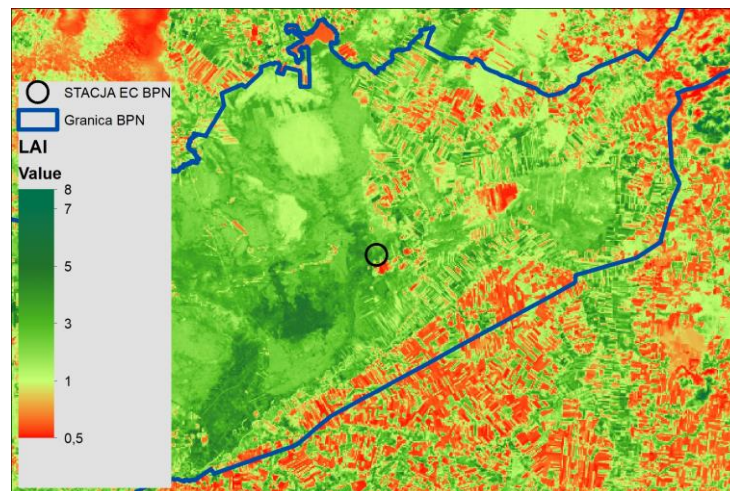
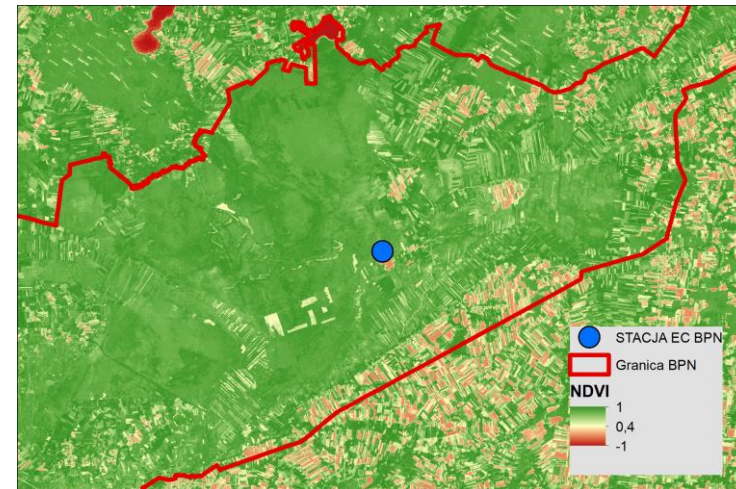
- *Eliminacja wartości błędnych*
- *Eliminacja sztucznych impulsów (spikes) powstałych z niestabilności urządzeń pomiarowych*
- *Weryfikacja stacjonarności szeregu*

## Korekcje strumieni

- *Poprawka strumienia pary wodnej związanej z niezerowaniem się wartości średniej pionowego ruchu powietrza na skutek fluktuacji gęstości wilgotności powietrza – tzw. poprawka WPL*
- *Korekcje związane ze stratami spektralnymi związanymi z oddaleniem czujników pomiarowych, częstotliwością pomiarów, długością ścieżki pomiarowej.*

# Dane i metody badawcze

- Pomiar satelitarne
  - Sentinel 2
  - Wskaźnik LAI
  - Pomiar w okresie 04-10.2021



# Dane i metody badawcze



## Metoda Penmana-Monteitha

$$E = \frac{s(Q^* + Q_g) + (C_a V)/r_a}{s + \gamma(1 + r_s/r_a)}$$

gdzie:

$s$  – nachylenie krzywej nasycenia parą wodną

$\gamma$  – stała psychrometryczna

$C_a$  - pojemność cieplna

$V$  – niedosyt wilgotności powietrza

$r_a$  – opór aerodynamiczny

$r_s$  – opór powierzchniowy

$Q_g$  – strumień ciepła w gruncie

$Q^*$  - bilans radiacyjny

Opór aerodynamiczny

$$r_a = \frac{R}{k^2 \cdot u} \cdot \left[ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_m\left(\frac{z}{L}\right) + \psi_m\left(\frac{z_{0m}}{L}\right) \right] \cdot \left[ \ln\left(\frac{z}{z_{0h}}\right) - \psi_h\left(\frac{z}{L}\right) + \psi_h\left(\frac{z_{0h}}{L}\right) \right]$$

gdzie:  $R$  – stała Prandtla

$k$  – stałą von Karmana

$u$  – prędkość [m s<sup>-1</sup>],

$z$  – poziom pomiaru prędkości wiatru,

$L$  – długość Monina-Obuchova

$z_0$  – parametr szorstkości powierzchni

Opór powierzchniowy

$$r_s = \frac{rl}{LAI}$$

Gdzie:

$rl$  – opór powierzchni roślin

$LAI$  – współczynnik ulistowienia



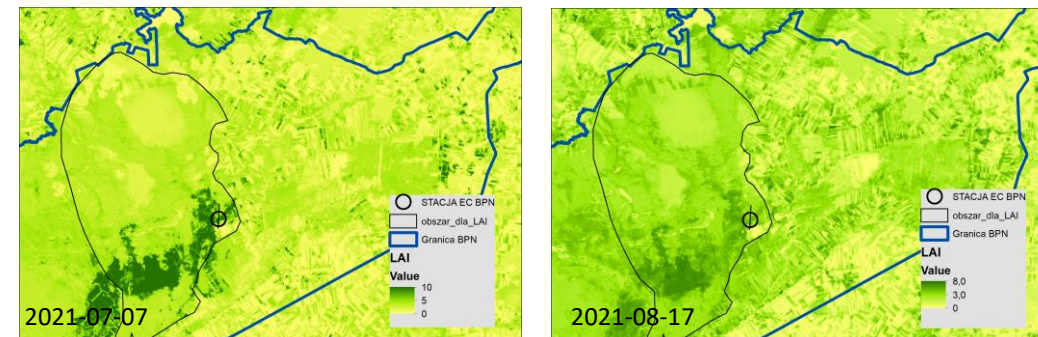
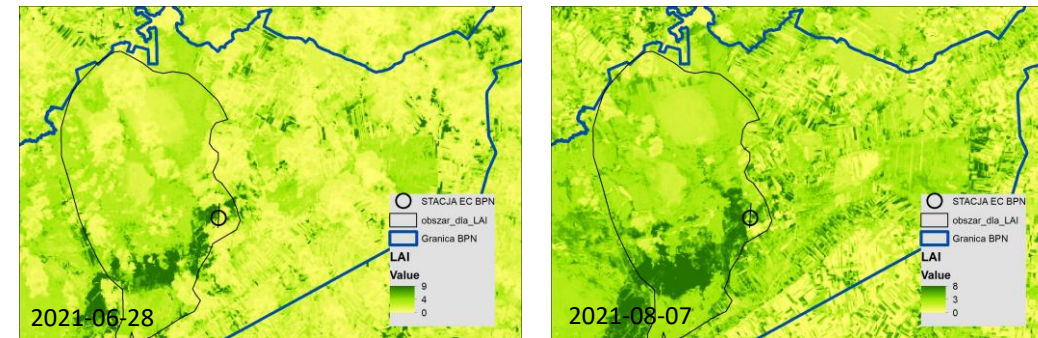
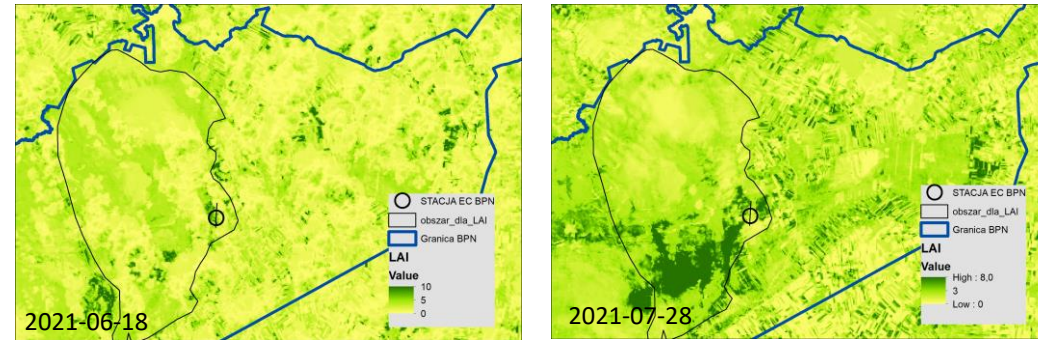
# Wyniki

Wartości wskaźnika LAI oszacowanych na podstawie pomiarów satelitarnych zastosowanych do obliczenia ewapotranspiracji metodą Penmana-Monteitha



miesiąc	LAI
kwiecień	1-1,2
maj	1,3-2,2
czerwiec	2,3-4,4
lipiec	4,5-8,2
sierpień	8,2-6,2
wrzesień	6,2-2,2
październik	2,2-1

## Przykład rozkładu przestrzennego wartości wskaźnika LAI w sąsiedztwie stacji pomiarowej



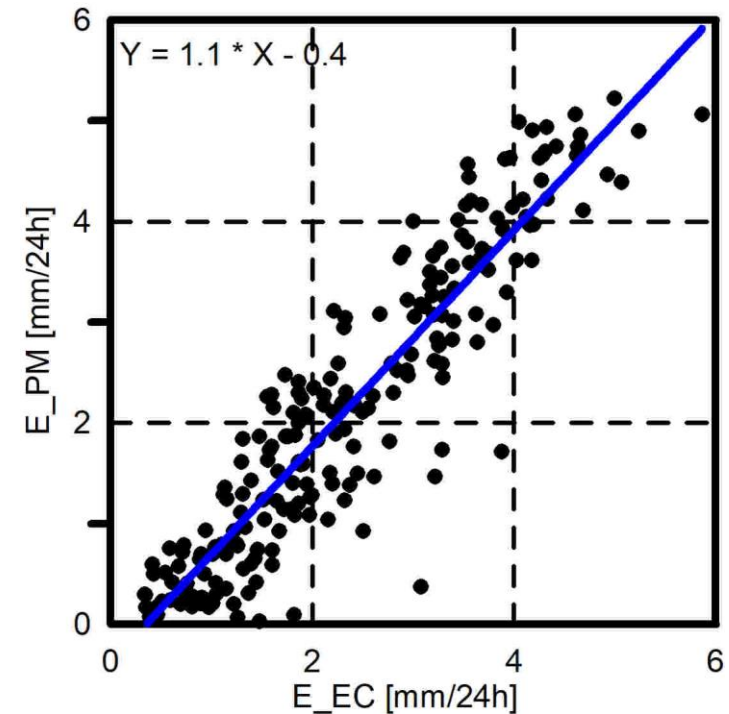
# Wyniki

Podstawowe statystyki ewapotranspiracji w obszarze bagiennym na podstawie pomiarów kowariancyjnych i metody Penmana-Monteitha

	APR		MAY		JUN		JUL		AUG		SEP		OCT	
	E_EC	E_PM	E_EC	E_PM	E_EC	E_PM	E_EC	E_PM	E_EC	E_PM	E_EC	E_PM	E_EC	E_PM
mean	1.6	1.3	2.6	2.3	4.0	4.0	3.7	3.9	2.3	2.0	1.6	1.2	0.8	0.3
std	0.5	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.6	0.8	0.4	0.3
min	0.6	0.2	1.1	0.4	2.3	1.7	1.6	1.8	0.9	0.4	0.5	0.0	0.3	0.0
max	2.8	2.5	3.8	3.7	5.9	5.2	5.2	5.1	3.4	3.5	3.1	2.4	1.9	0.8

Miesięczne wartości średniego błęd kwadratowego

MON	RMSE
APR	1.91
MAY	1.25
JUN	0.21
JUL	0.87
AUG	1.60
SEP	2.34
OCT	2.54



Porównanie dobowych wartości ewapotranspiracji obszarów bagiennych na podstawie pomiarów kowariancyjnych i metody Penmana-Monteitha





# Podsumowanie

- Wartości wskaźnika LAI uzyskane na podstawie pomiarów satelitarnych Sentinel 2 wykazują wyraźny cykl sezonowy
- Uzyskane wartości pozwalają na estymację ewapotranspiracji terenów bagiennych z zastosowaniem metody Penmana-Monteitha
- Porównanie ewapotranspiracji rzeczywistej (na podstawie pomiarów kowariancyjnych) z wynikami metody P-M pokazuje, że zastosowana metodyka umożliwia uzyskanie zadowalających wyników