

Detekcja i współwystępowanie zjawisk ekstremalnych na podstawie reanaliz C3S

Karol Przeździecki, Maria Kłeczek

Zakład Modelowania Atmosfery i Klimatu
Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy

„Krajowy Program Współpracy COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat”. Warszawa, 23.10.2025





Plan prezentacji

- Wprowadzenie
- Dane użyte do analiz
- Detekcja zjawisk ekstremalnych opadowych
- Detekcja zjawisk ekstremalnych temperaturowych
- Współwystępowanie zjawisk ekstremalnych
- Analiza współwystępowania zjawisk fal upałów oraz dni suchych
- Analiza współwystępowania zjawisk silnego wiatru i silnych opadów

Wprowadzenie



Ekstremalne zjawiska klimatyczne:

- Jedno z największych wyzwań związanych ze zmianami klimatu
- Średnie straty Polski na poziomie 6 mld zł rocznie (Klimada 2.0)
- Duży wpływ i skomplikowana detekcja oraz analiza



Dane użyte do analiz

Reanalizy Era 5. Dostępne w Climate Data Store.

- 2m temperature
- total precipitation

Reanalizy Era 5 Land. Dostępne w Climate Data Store.

- 2m temperature
- total precipitation
- 10m v and u component of wind



Detekcja zjawisk ekstremalnych opadowych

Statystyczna metoda detekcji opadów ekstremalnych:

Dane C3S wykorzystane do testów:

- ERA 5 – Total precipitation
- ERA 5 – Maximum total precipitation rate

Na podstawie sum kroczących zaproponowano następujące wskaźniki:

- Krótkie intensywne opady

$$P_{4h}^{max} = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 P_{max,t-i}$$

- Suma opadów całkowitych w okresach 24 h, 48 h, 168 h

Założenia metody:

- Rozszerzenie obszaru ekstremalnych opadów na sąsiednie tereny przy użyciu detekcji opartej na dwóch progach
- Połączenie trzech okien czasowych w celu oceny długotrwałości opadów

Proponowane typy zjawisk ekstremalnych:

- Ulewny deszcz

$$P_{4h}^{max} > T_{hr}$$

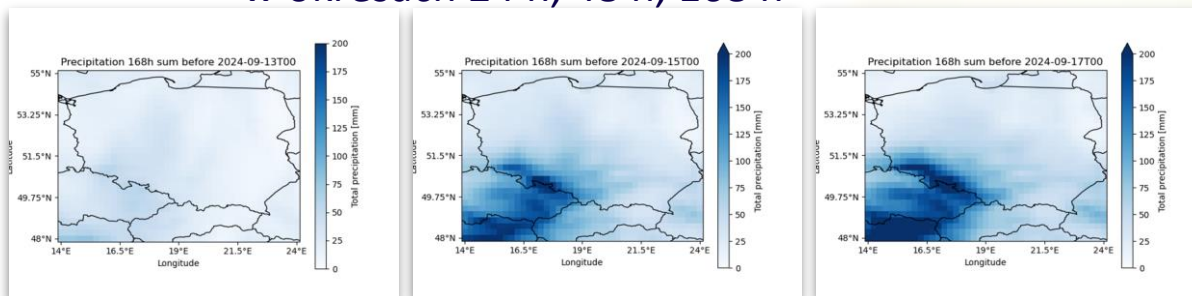
- Poziomy ryzyka powodzi

Ryz. umiarkowane $P_{24h} > T_{f1}$ or $P_{48h} > T_{f2}$

Ryz. wysokie $P_{24h} > T_{f3}$ or $P_{48h} > T_{f4}$ or $P_{168h} > T_{f5}$

gdzie $T_{hr}, T_{f1}, T_{f2}, T_{f3}, T_{f4}, T_{f5}$ są progami

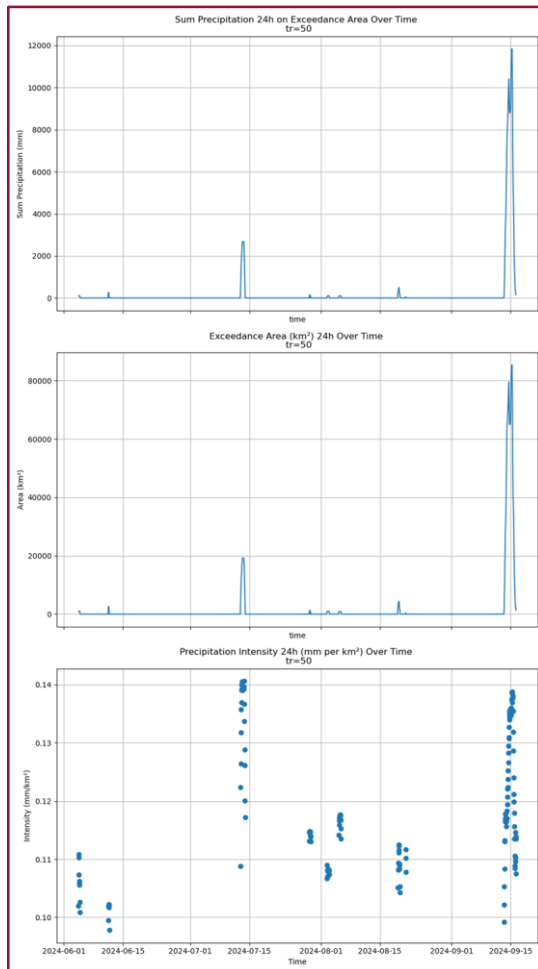
empirycznymi ustalonymi na podstawie analiz przeszłych zdarzeń powodziowych.



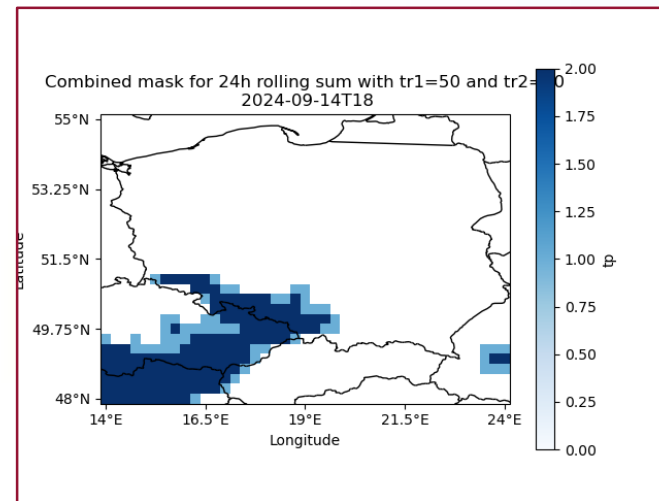
Detekcja zjawisk ekstremalnych opadowych



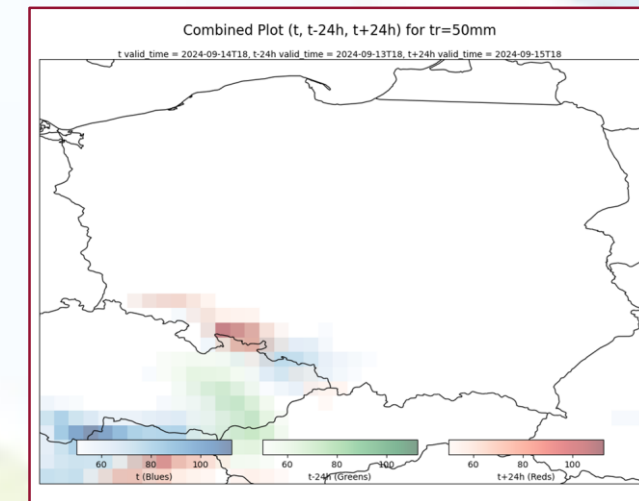
Przykładowe wizualizacje opadów podczas powodzi, które dotknęły Europę w okresie od 14 do 21 września 2024.



Wykres sumy opadów, intensywności oraz obszaru przekroczenia progu 50 mm opadu sumy kroczącej 24 h.



Rozszerzenie obszaru ekstremalnych opadów przy użyciu detekcji opartej na dwóch progach dla 14.09.2024, godz. 18:00, w oparciu o 24-godzinną sumę krocząca.



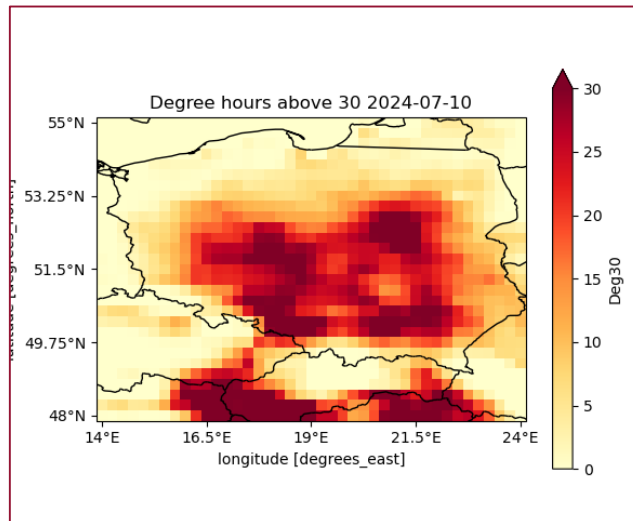
Wykres długości opadów z czasem centralnym $t = 14.09.2024$, godz. 18:00.

Detekcja zjawisk ekstremalnych – fale upałów

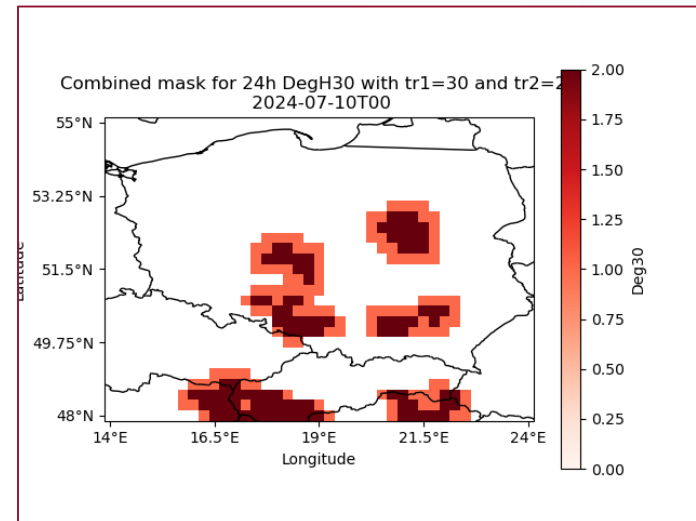


Analiza oparta na tzw. Degree Hours 30. Metoda oparta na przekroczeniu progu 30°C skumulowanych w ciągu doby tzw. stopniogodzin.

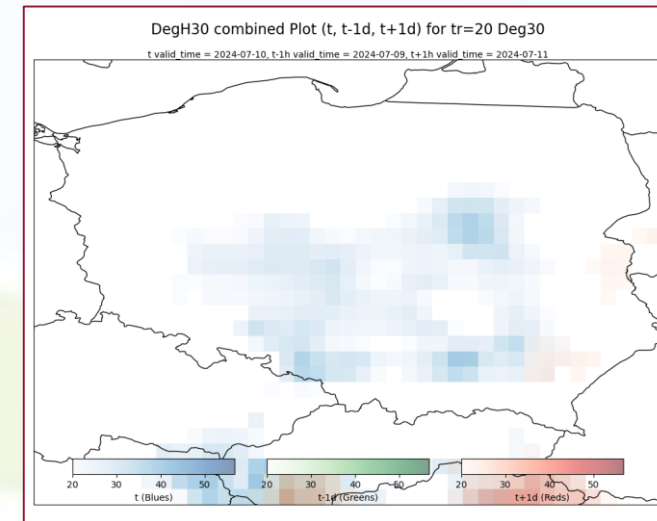
Przykładowe wizualizacje:



Stopniogodziny powyżej 30°C dla 10.07.2024.



łączona maska dwuprogowa stopniogodzin powyżej 30°C dla progów 30 i 20.



Wykres długości fali upałów z czasem centralnym $t = 10.07.2024$, godz. 18:00.

Detekcja zjawisk ekstremalnych – fale upałów



Drugie podejście przy użyciu **Excess Heat Indices** oraz **Excess Heat Factor** do klasyfikacji intensywności i długości fali upałów

Excess Heat Significance Index:

$$EHI_{sig} = T_{3D\ mean} - T_{95}$$

Anomalia temperatury w stosunku do wartości 95. percentyla z wielolecia

Excess Heat Acclimatization Index:

$$EHI_{accl} = T_{3D\ mean} - T_{30D\ mean}$$

Anomalia temperatury w stosunku do niedalekiej przeszłości

gdzie:

$T_{3D\ mean}$ –	średnia temp. z 3 ostatnich dni
$T_{30D\ mean}$ –	średnia temp. z 30 ostatnich dni
T_{95} –	percentyl 95. średniej dobowej temperatury (1995-2024)

Excess Heat Factor:

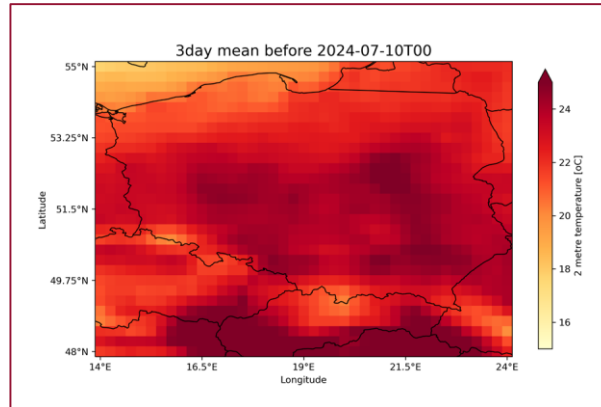
$$EHF = EHI_{sig} \times \max(1, EHI_{accl})$$

Okres trwania fali upałów określony przez dodatnie wartości EHI_{sig} .
Większe od 1 wartości EHI_{accl} zwiększają wartości EHF, wzmacniając jednocześnie intensywność.

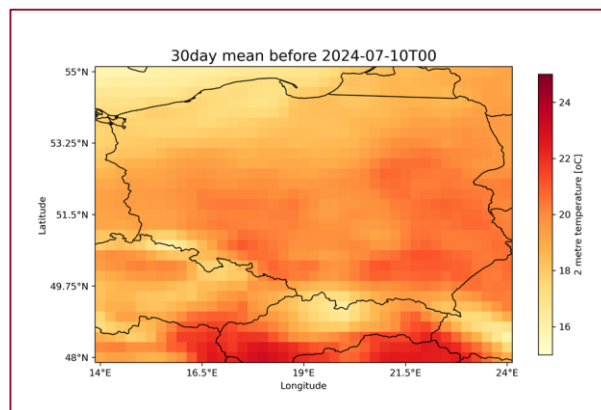
Detekcja zjawisk ekstremalnych – fale upałów



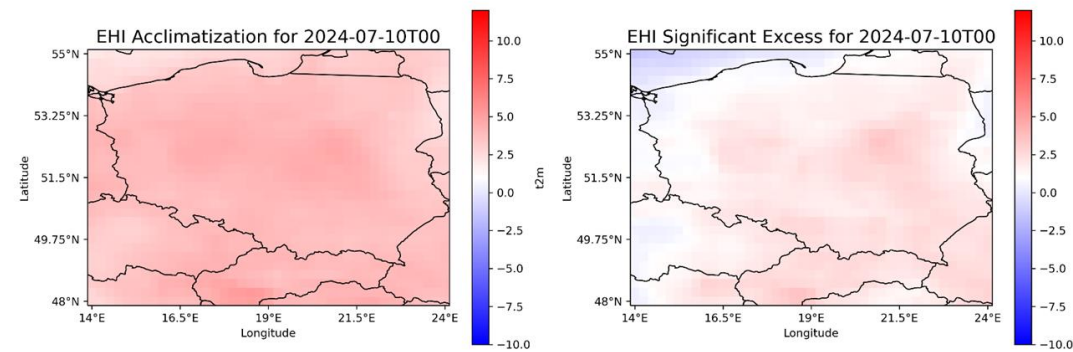
Wizualizacje indeksów Excess Heat Indices i Excess Heat Factor



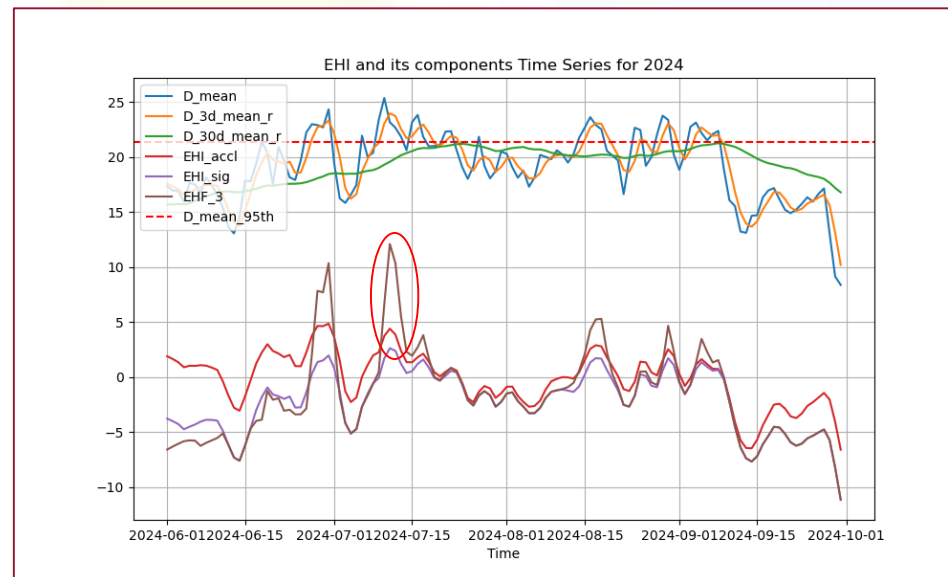
średnia temperatura z 3 ostatnich dni



średnia temperatura z 30 ostatnich dni



Wizualizacja EHI_{sig} i EHI_{accl} , $t = 10.07.2024$.

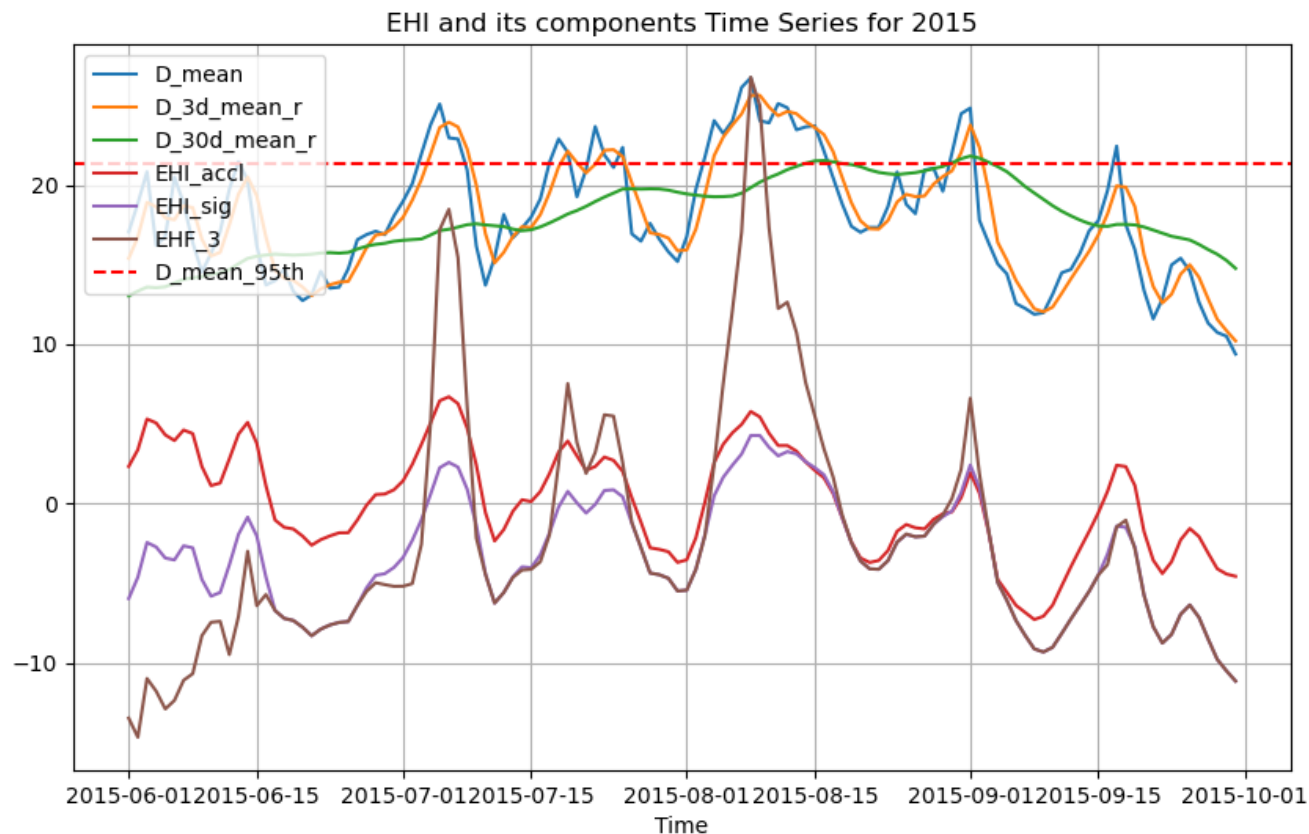


Wykres ilustrujący wskaźnik EHF. Czerwona elipsa wskazuje falę upałów około 10.07.2024.

Detekcja zjawisk ekstremalnych – fale upałów



Wizualizacja Excess Heat Indices i Excess Heat Factor w trakcie największej fali upałów w roku 2015.



Fala upałów trwała ponad 2 tygodnie, a wartość EHF osiągnęła maksymalnie około 25. Na wcześniej przedstawionym slajdzie wynosiła natomiast około 12.

Należy zauważyć, że w 2024 roku długość trwania przedstawionej fali upałów wynosiła około 10 dni (również według EHF), jednak jej intensywność była znacznie mniejsza.

Współwystępowanie zjawisk ekstremalnych



- Środowisko systemem złożonym
- Wpływ innych czynników na potencjalną szkodliwość danego zjawiska
- Szkodliwość zjawisk ekstremalnych występujących jednocześnie potencjalnie większa od sumy szkodliwości ich wystąpienia osobno (możliwe też inne współzależności)

Współwystępowanie zjawisk ekstremalnych – zakres analizy



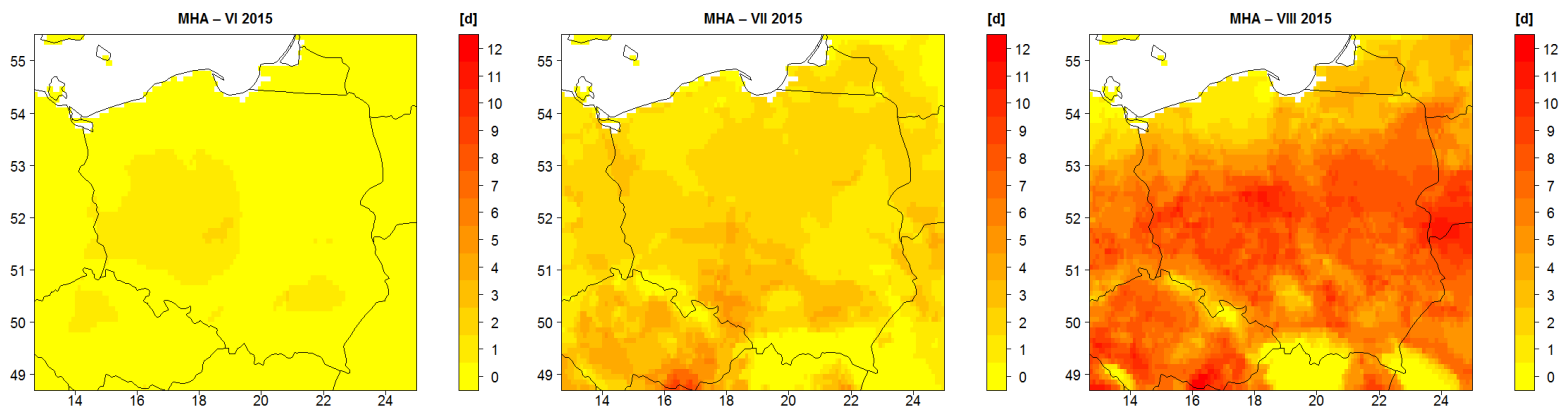
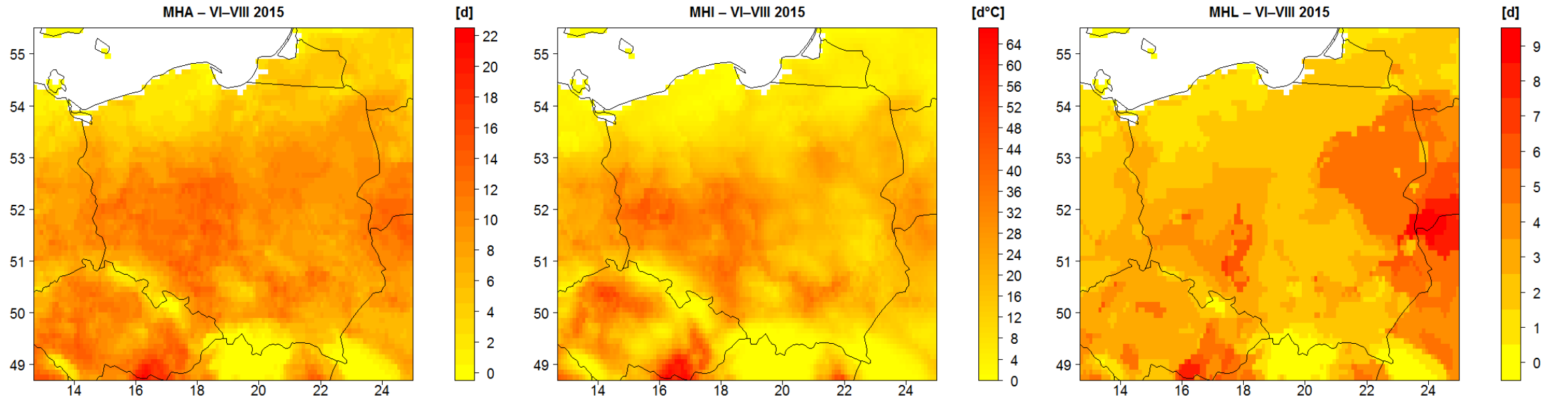
Współwystępujące zjawiska	Dni upalne ($\geq 30^{\circ}\text{C}$) i suche ($< 1 \text{ mm}$)	Dni z silnym wiatrem ($> 25 \text{ km/h}$) i wysokim opadem ($> 15 \text{ mm}$)
Źródło danych / rozdzielczość	EraLand / 10 km / 1 h (w planach CERRA / 5 km)	
Badane lata	2010-2024	
Podokresy	VI, VII, VIII, lato (JJA)	pory roku, cały rok
Badane indeksy	MHA, MHI, MHL	MHA, MHI

Współwystępowanie zjawisk ekstremalnych – definicje indeksów



- MHA (ang. *Multi-Hazard All*) – całkowita liczba dni ze współwystępowaniem badanych zjawisk
- MHI (ang. *Multi-Hazard Intensity*) – zintegrowany wskaźnik intensywności obu zjawisk; iloczyn wielkości przekroczenia wyznaczonych progów, sumowany dla wszystkich dni
- MHL (ang. *Multi-Hazard Length*) – najwyższa długość ciągłego okresu współwystępowania zjawisk (tylko dla dni upalnych i suchych)

Współwystępowanie zjawisk ekstremalnych – dni upalne i suche

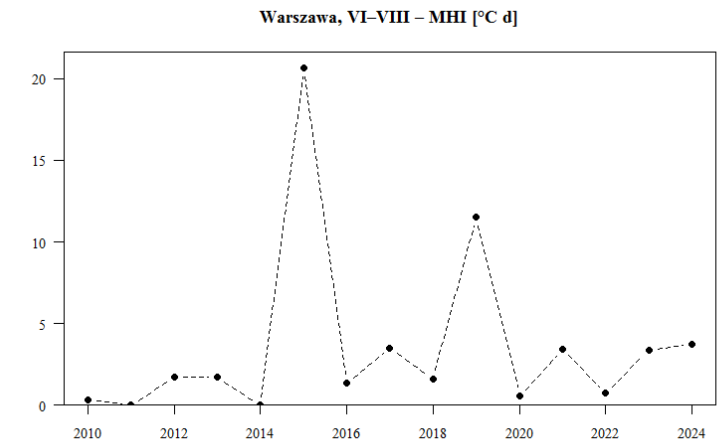
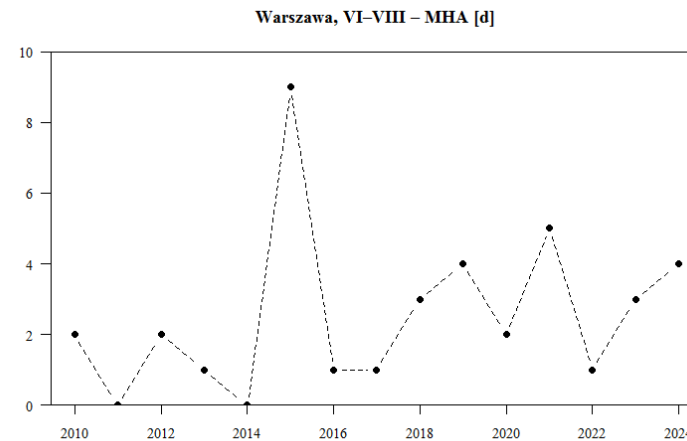
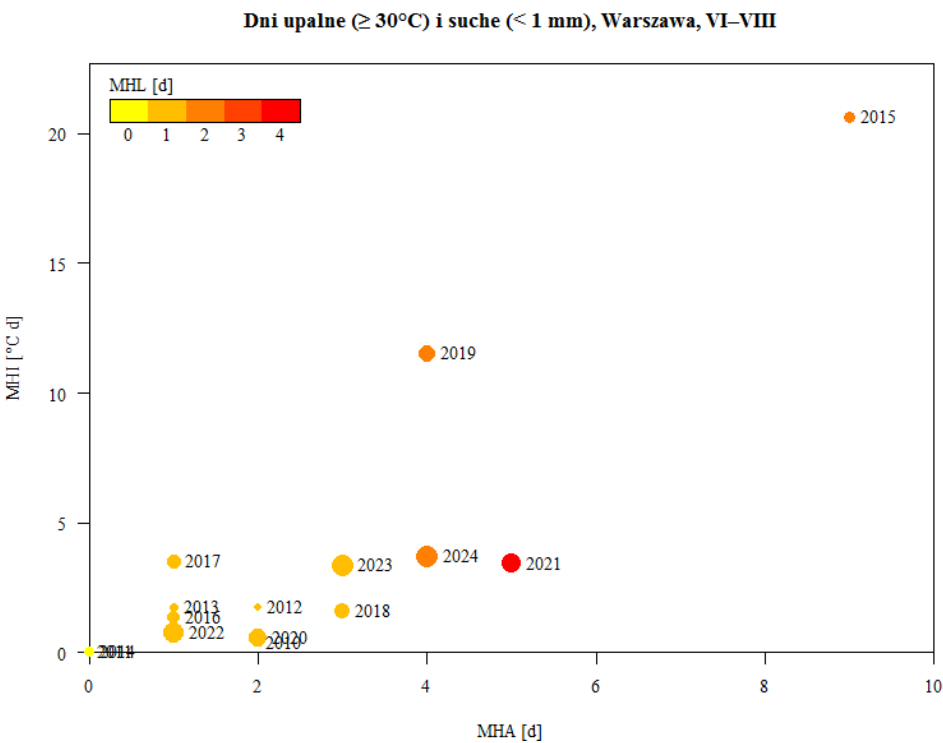


Rok 2015

Góra – MHA, MHI i MHL
dla całego kwartału letniego

Dół – MHA dla kolejnych
miesięcy letnich: czerwca,
lipca i sierpnia

Współwystępowanie zjawisk ekstremalnych – dni upalne i suche



Wykresy MHA i MHI (górze) oraz MHL (dół) w kolejnych latach dla całego kwartału letniego w lokalizacji Warszawy.

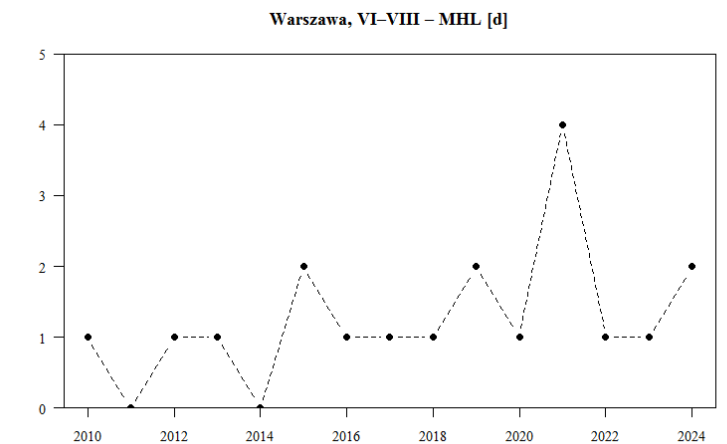
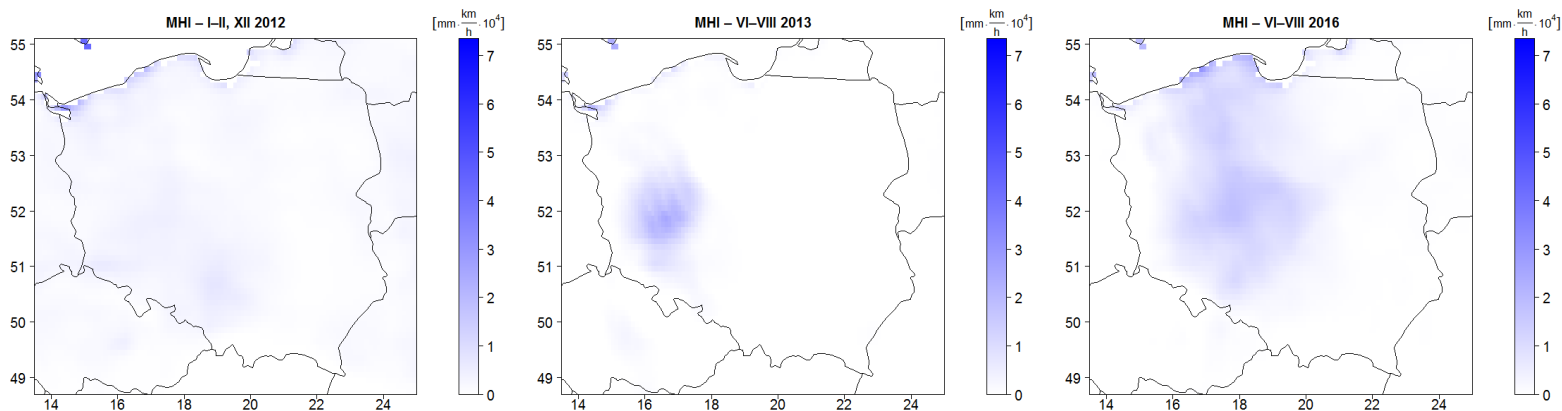
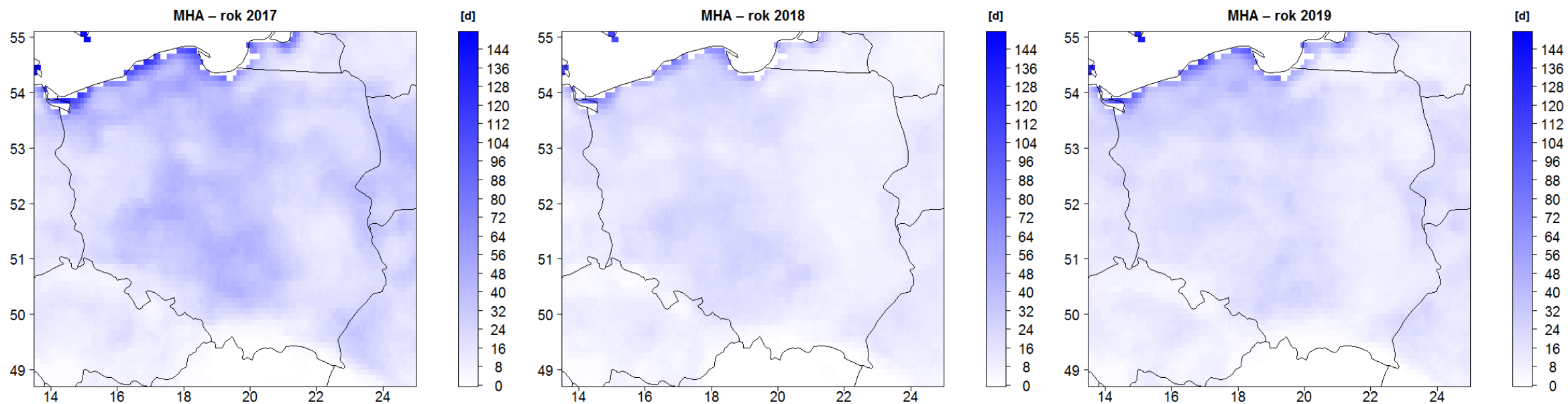


Diagram MHI (oś pionowa), MHA (oś pozioma) i MHL (kolor) w kolejnych latach dla całego kwartału letniego w lokalizacji Warszawy. Większe kropki odpowiadają późniejszym latom.

Współwystępowanie zjawisk ekstremalnych – dni z silnym wiatrem i wysokim opadem



Góra – MHA dla całego roku
w latach 2017-2019.

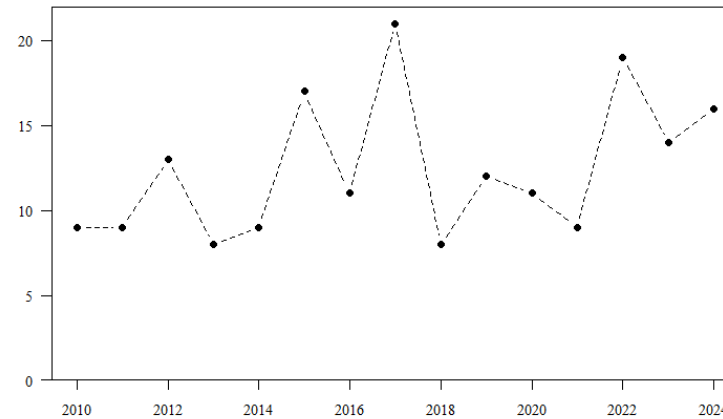
Dół – MHI:
w miesiącach zimowych 2012,
w miesiącach letnich 2013,
w miesiącach letnich 2016.

Współwystępowanie zjawisk ekstremalnych – dni z silnym wiatrem i wysokim opadem

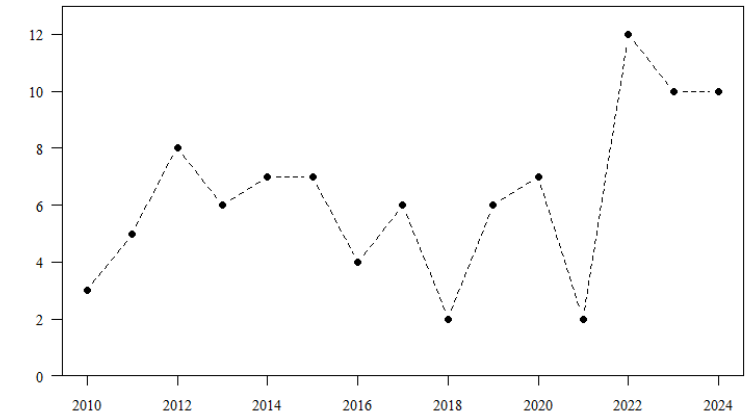


Wykresy MHA (góra) i MHI (dół)
w kolejnych latach dla całego
roku (po lewej) i dla miesięcy
zimowych (po prawej)
w lokalizacji Warszawy.

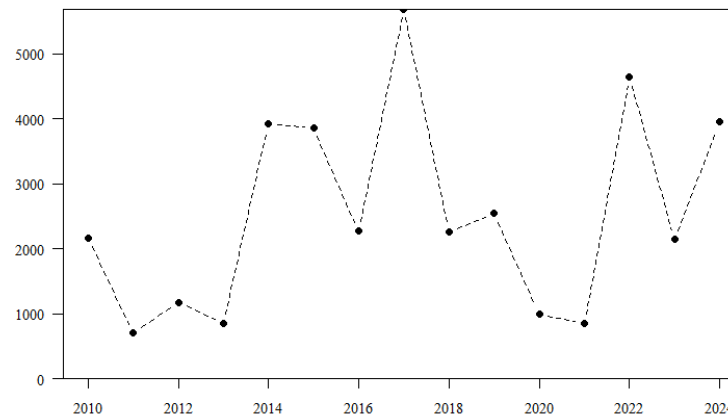
Warszawa, rok – MHA [d]



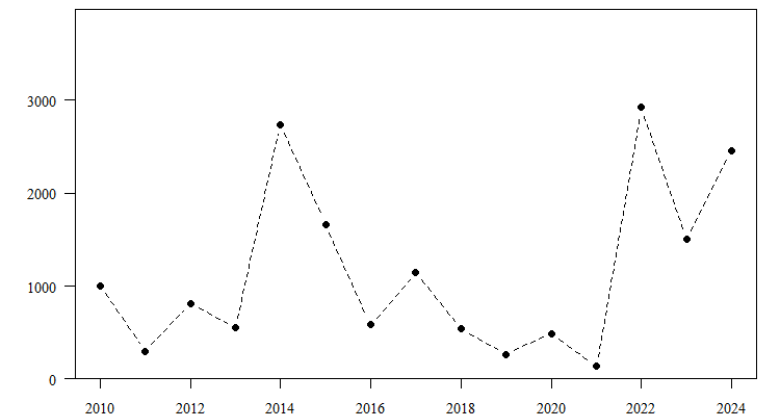
Warszawa, I-II, XII – MHA [d]



Warszawa, rok – MHI [mm km/h]



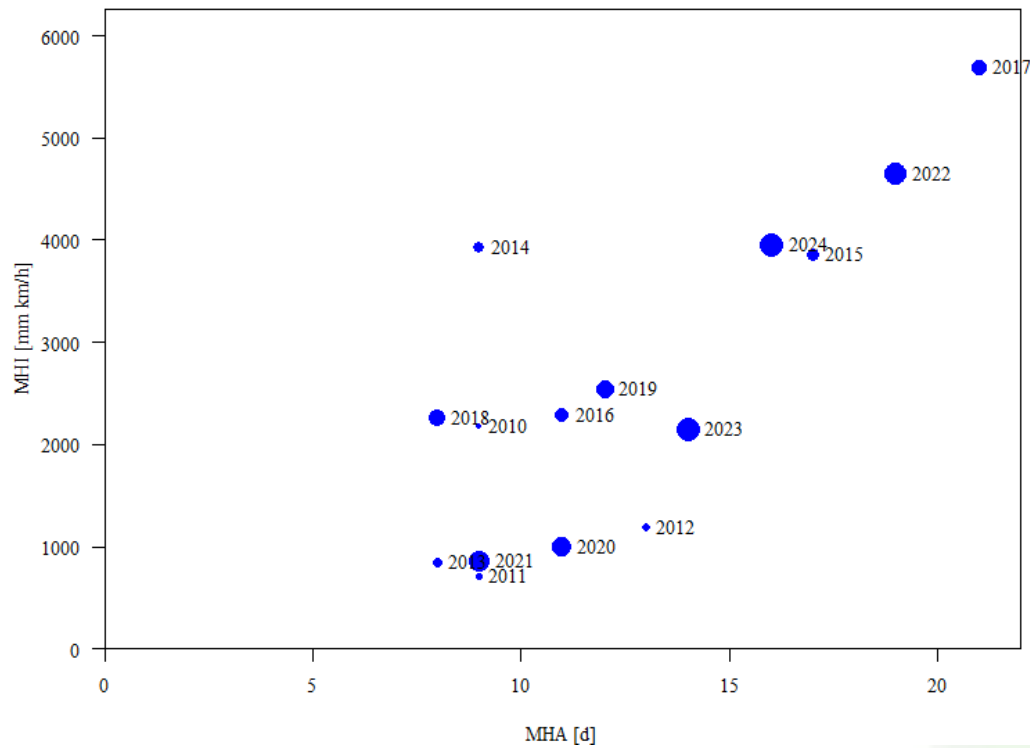
Warszawa, I-II, XII – MHI [mm km/h]



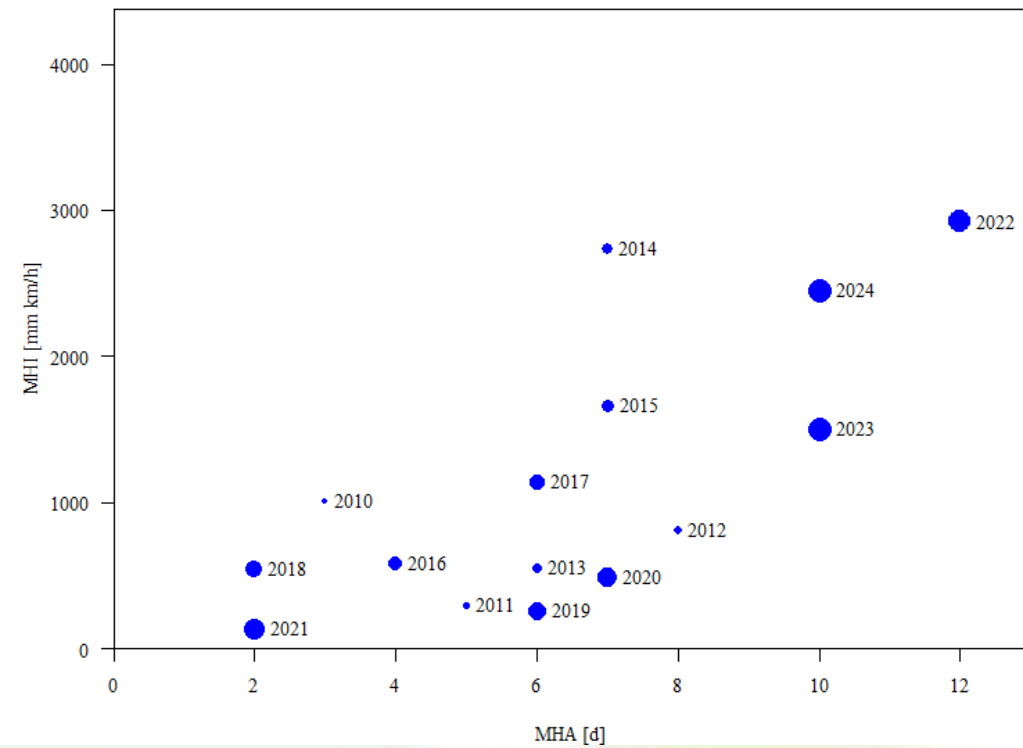


Współwystępowanie zjawisk ekstremalnych – dni z silnym wiatrem i wysokim opadem

Dni wietrzne (> 25 km/h) i deszczowe (> 15 mm), Warszawa, I–XII



Dni wietrzne (> 25 km/h) i deszczowe (> 15 mm), Warszawa, I–II, XII



Diagramy MHI (oś pionowa) i MHA (oś pozioma) w kolejnych latach dla całego roku (po lewej) i dla miesięcy zimowych (po prawej) w lokalizacji Warszawy. Większe kropki odpowiadają późniejszym latom.



IOŚ-PIB

Institute of Environmental Protection
National Research Institute

Dziękujemy za uwagę i zapraszamy
do współpracy.

karol.przedziecki@ios.edu.pl

maria.kleczek@ios.edu.pl

