

Wykorzystanie Modeli Pożarowych do Prognozy Jakości Powietrza

Warsztaty Modelowanie Pożarowe

Adam Kochański

Warszawa, 22-gi Czerwca 2023



Centrum
Modelowania
Meteorologicznego

Klasyczne podejście do szacowania intensywności emisji pożaru

Powierzchnia Pożaru

Przyszła intensywność pożaru i emisja dymu są obliczane na podstawie obserwacji satelitarnych

Wilgotność Paliwa

Przyszłe prognozy rozprzestrzenia pożaru opierają się na założeniu kontynuacji, która zakłada się, że jutrzejszy wzrost pożarów będzie taki sam jak dzisiejszy

Konsumpcja Paliwa

Emisje

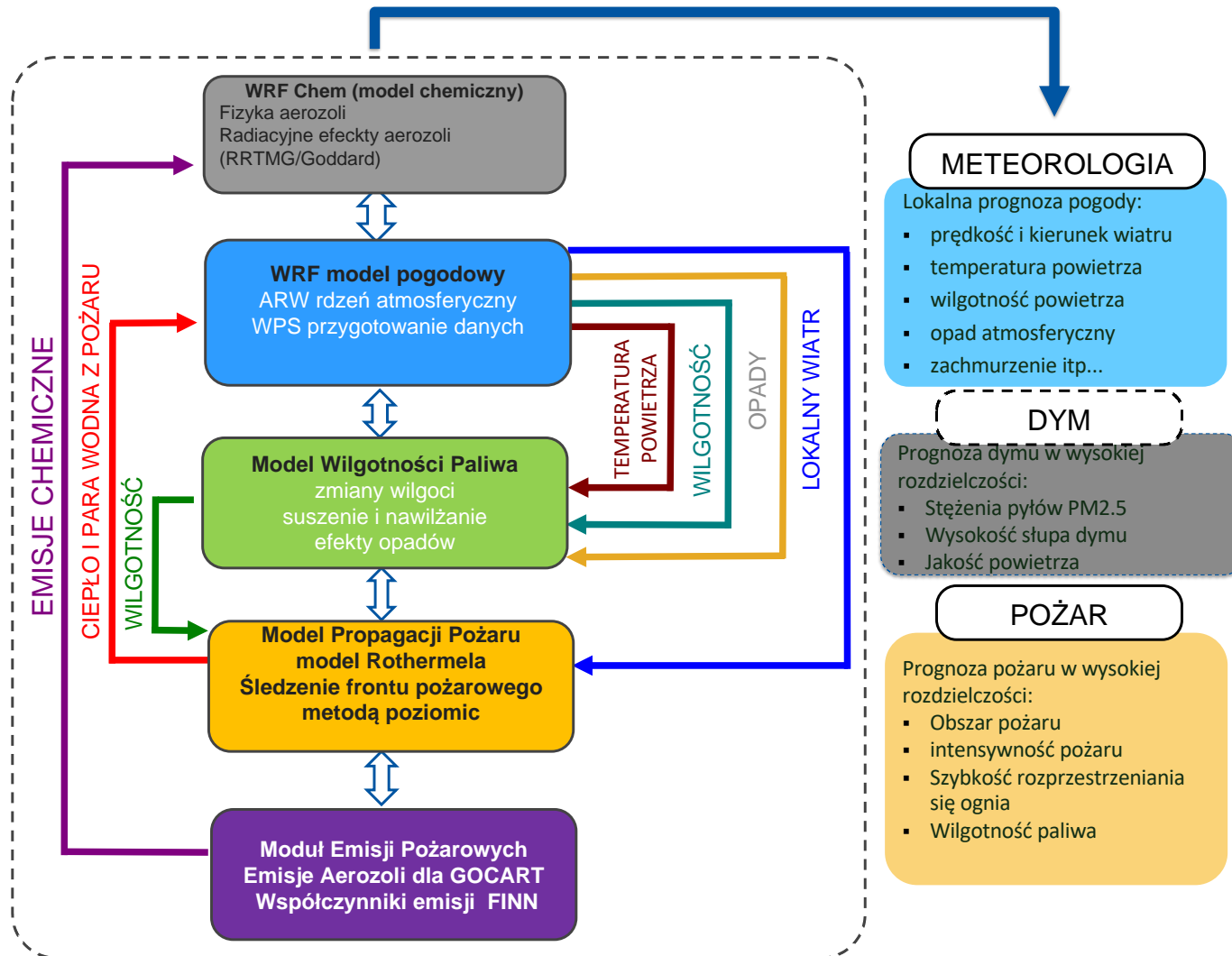
Obszar pożaru wykorzystywany w procesie prognozowania jest oddzielony od warunków pogodowych, więc wpływ zmienności pogody na zachowanie pożaru jest pomijany

Wznoszenie Dymu

Dyspersja

W związku z tym nie uwzględnia się zmieniającej się geometrii ognia jako źródła ciepła i emisji a zmiany w aktywności uchwycane są z dziennym opóźnieniem

Zintegrowane podejście do szacowania intensywności pożaru i emisji



- Progresa pożaru jest symulowana zgodnie z lokalną meteorologią
- Strumienie ciepła, wilgoci i emisji są obliczane na podstawie charakterystyki pożaru (geometrii i intensywności)
- Propagacja ognia jest śledzona na wyrafinowanej siatce ogniowej, zwykle o rozdzielczości 30 m, przy użyciu map paliwa o wysokiej rozdzielczości i topografii
- Dynamika dymu i rozproszenie są rozwiązywane na siatce modelu bez zewnętrznych parametryzacji
- Model wilgotności paliwa symuluje wahania wilgotności paliwa spowodowane zmieniającymi się warunkami pogodowymi

Case study: Pole Creek Fire, UT



Pożar w Pole Creek był pożarem spowodowanym przez pioruny w hrabstwach Juab, Sanpete i Utah w środkowym Utah w zachodnich Stanach Zjednoczonych.

Pożar był największym w Utah w 2018 roku. Pożar został po raz pierwszy zgłoszony w czwartek 6 września 2018 r. Połączył się z Bald Mountain Fire w poniedziałek 17 września 2018 roku.

Ostateczny rozmiar 48906 ha.

Case study: Pole Creek Fire, UT

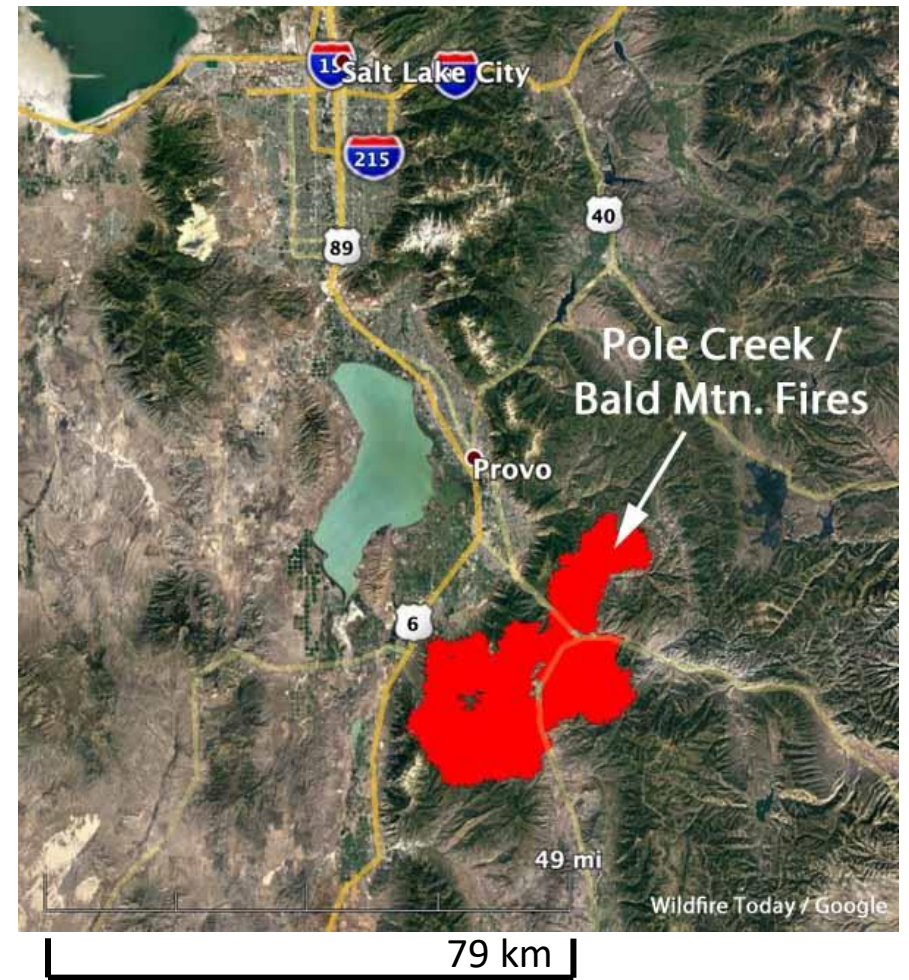


Pożar w Pole Creek był pożarem spowodowanym przez pioruny w hrabstwach Juab, Sanpete i Utah w środkowym Utah w zachodnich Stanach Zjednoczonych.

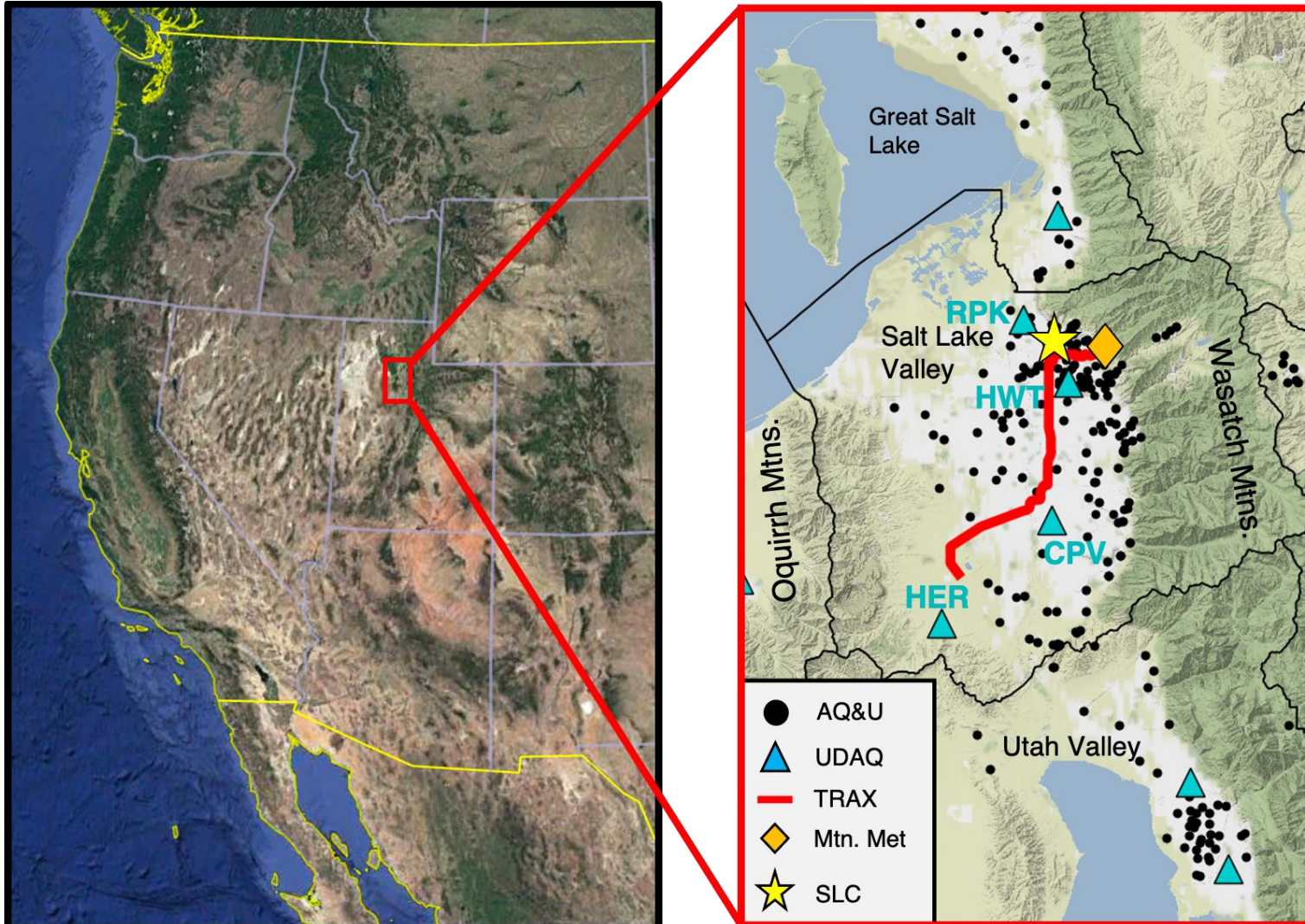
Pożar był największym w Utah w 2018 roku. Pożar został po raz pierwszy zgłoszony w czwartek 6 września 2018 r. Połączył się z Bald Mountain Fire w poniedziałek 17 września 2018 roku.

Ostateczny rozmiar 48906 ha.

Case study: Pole Creek Fire, UT



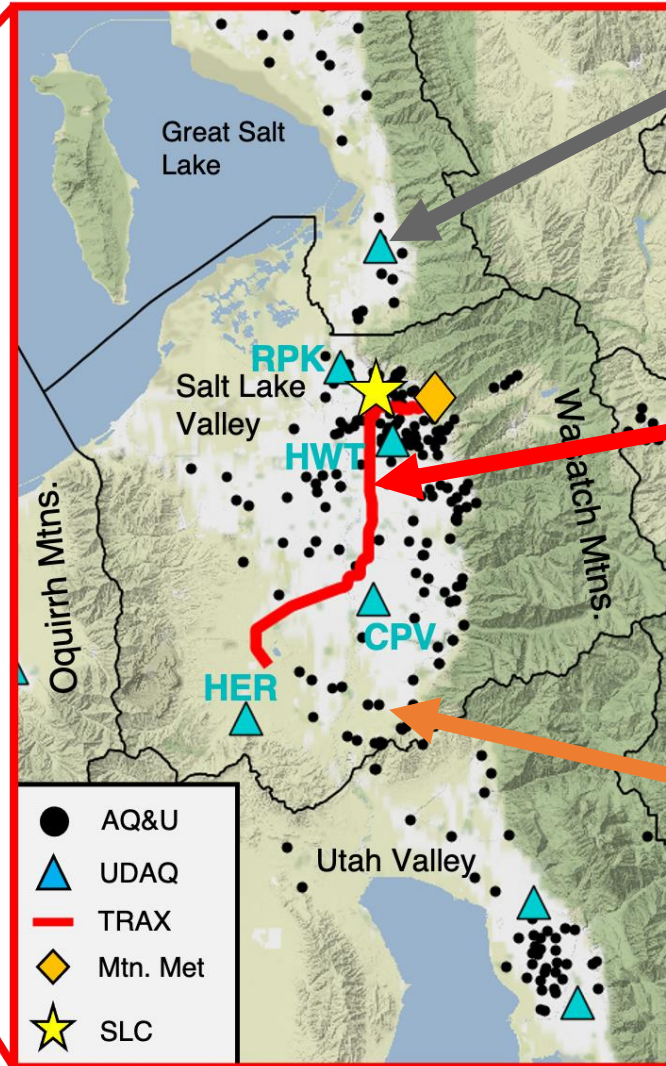
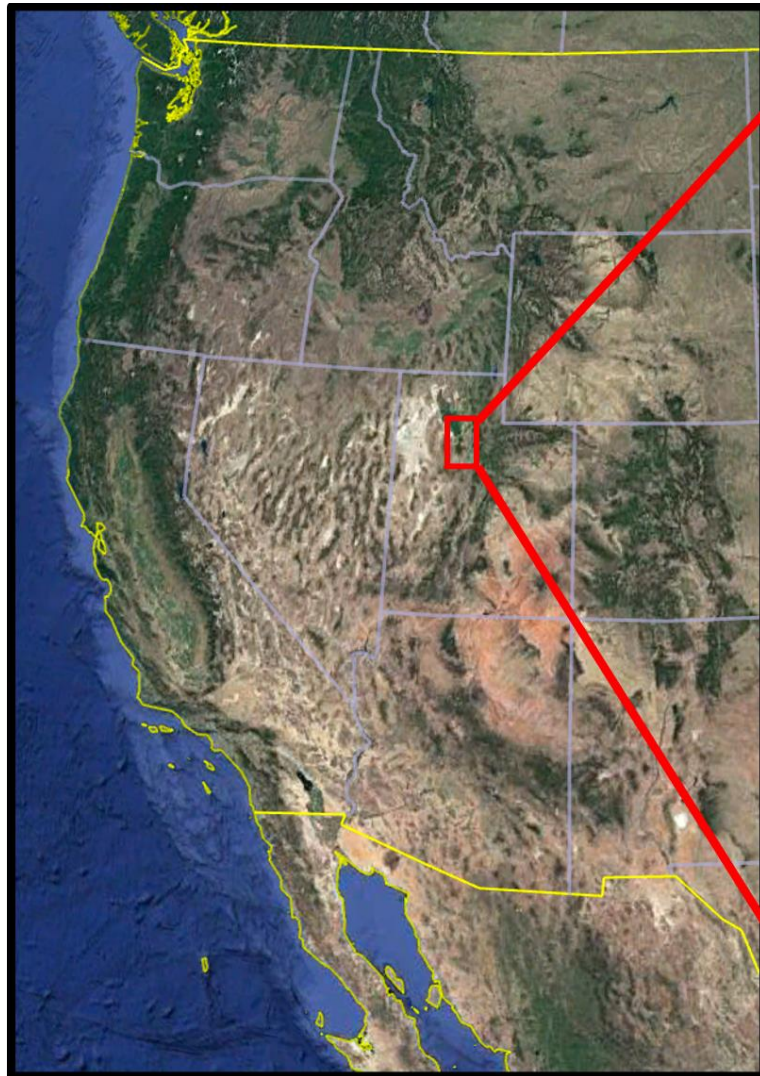
Test Case: Pole Creek Fire, UT



- Symulacje bez walidacji mają ograniczoną wartość naukową
- W naukowych aplikacjach poszukujemy incydentów gdzie mamy wystarczającą ilość danych do oceny działania modelu

Test Case: Pole Creek Fire, UT

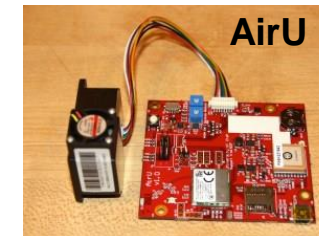
Dostępne obserwacje PM_{2.5}



UDAQ



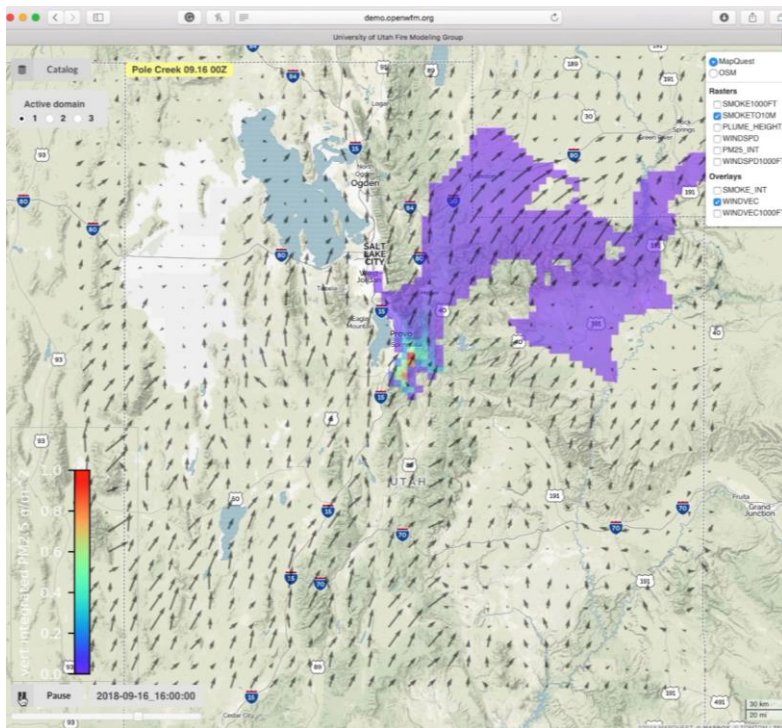
TRAX



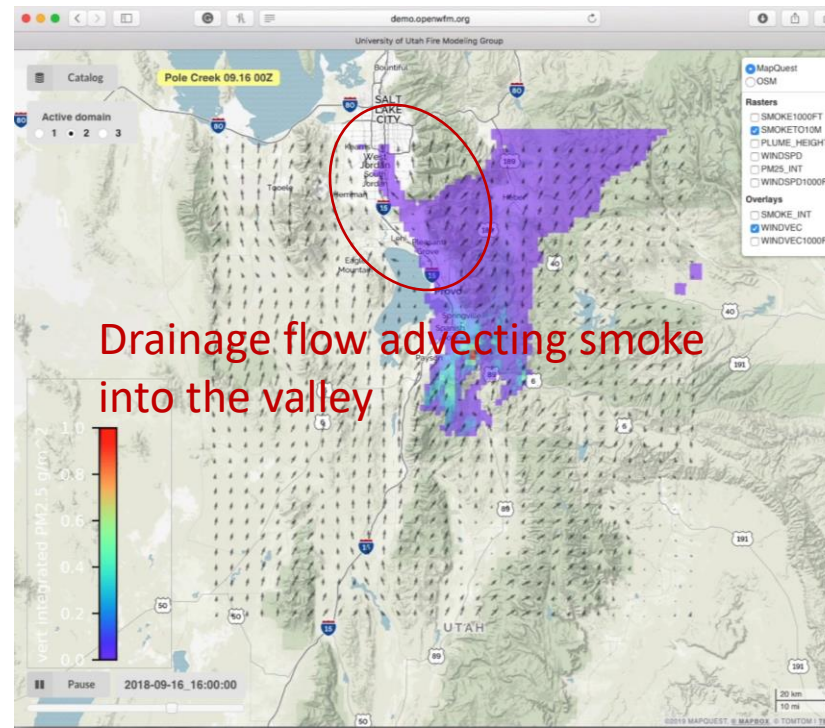
AQ instrument mounted on SLC's electrically powered light-rail train.
>See Mitchell et al. (2018)

Prognoza dla Pole Creek Fire 2018 zwizualizowana w portalu WRFX

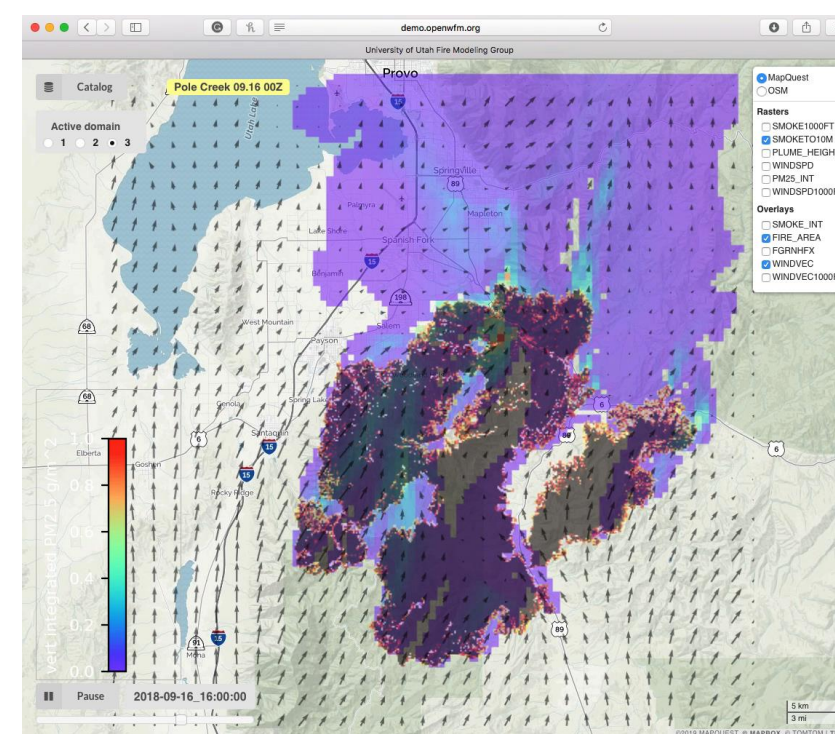
Sprężona prognoza pożarowo-atmosferyczna dla pożaru Pole Creek przy użyciu systemu predycyjnego WRFX opartego na WRF-SFIRE, z wykorzystaniem trzech zagnieżdżonych obszarów obliczeniowych (domen)



Wiatry o wysokości 10 m i 10 m dymu symulowane w domenie zewnętrznej (d03) o rozdzielczości 5km



Wiatry na wysokości 10 m dymu symulowane w domenie pośredniej (d02) o rozdzielczości 1,5 km

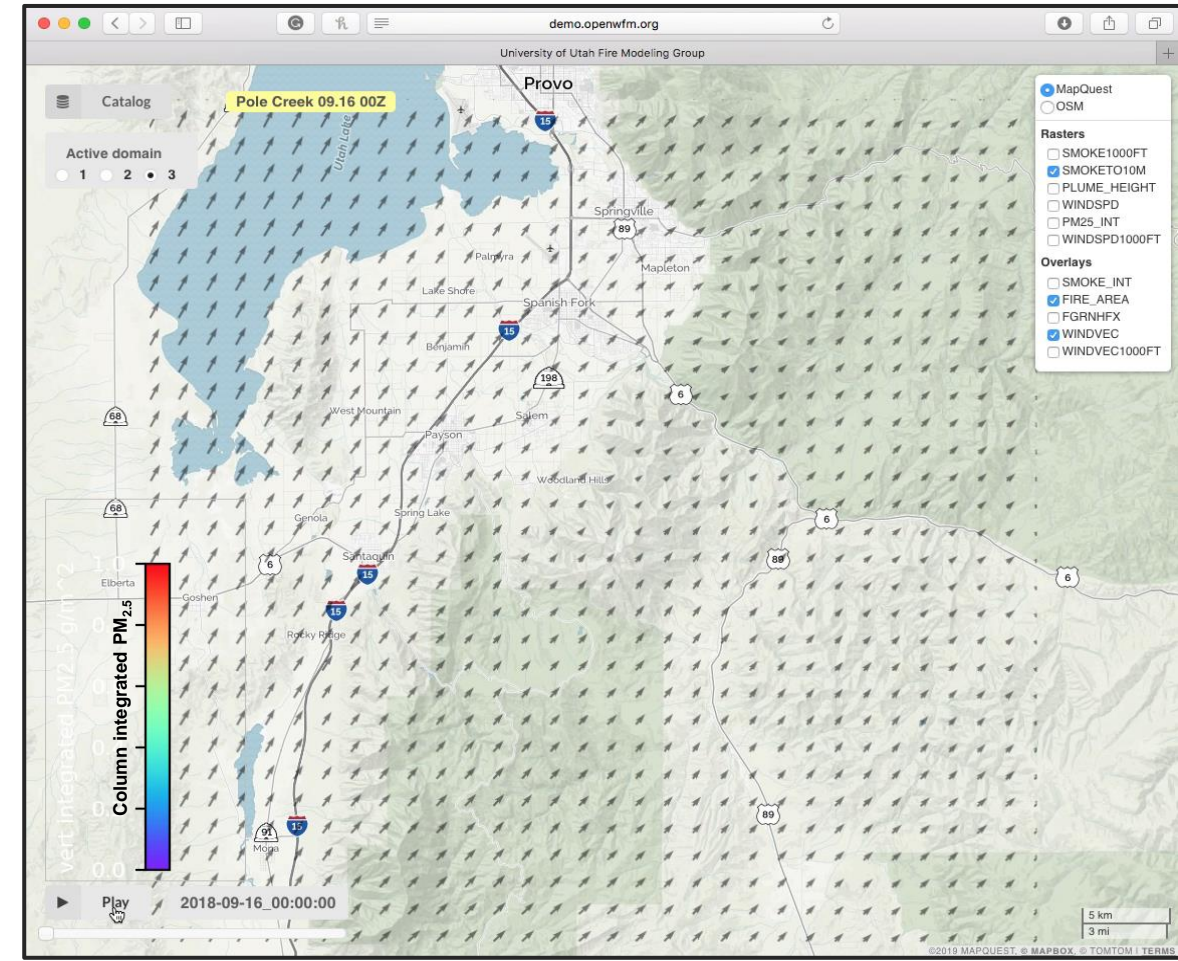
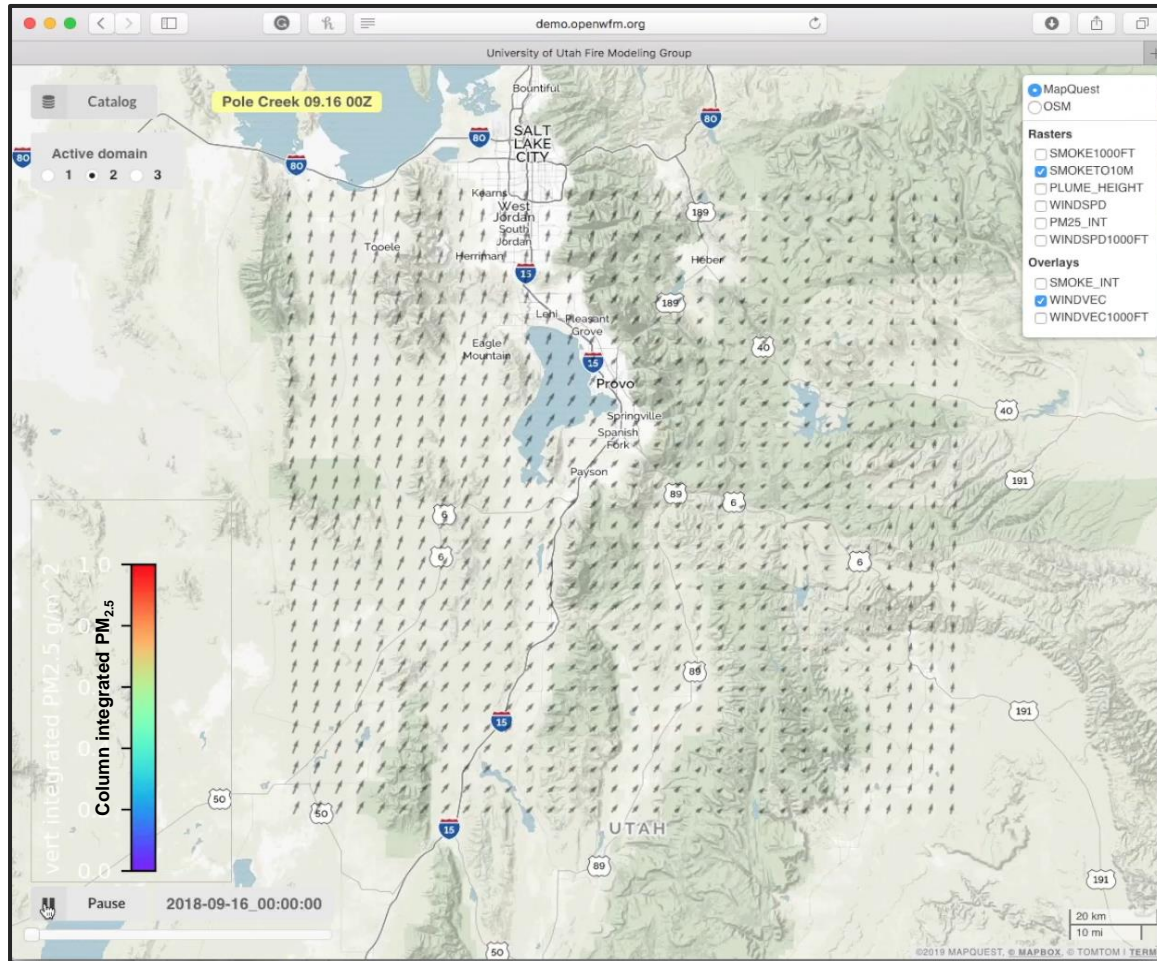


Progresja ognia, wiatr na 10 m i dym symulowane w najbardziej wewnętrznej domenie pożarowej w rozdzielczości 500 m

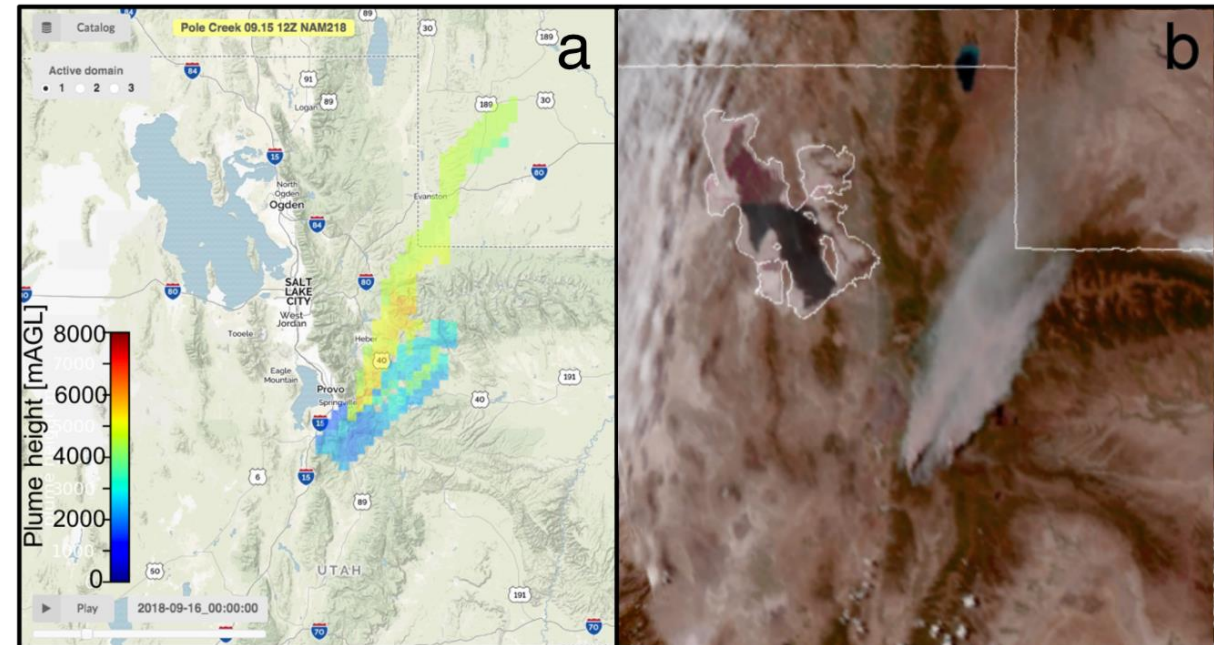
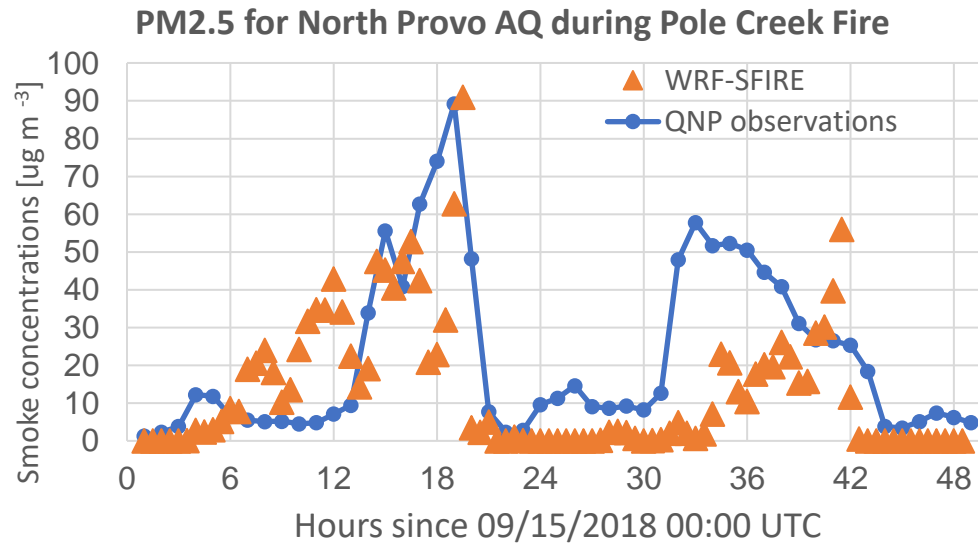
Prognoza dla Pole Creek Fire 2018 zwizualizowana w portalu WRFx

Obszar obliczeniowy #2, rozdzielczość 1.333-km

Obszar obliczeniowy #2, rozdzielczość 444-km



Wstępna analiza symulowanych stężeń dymu i dyspersji smug dymu

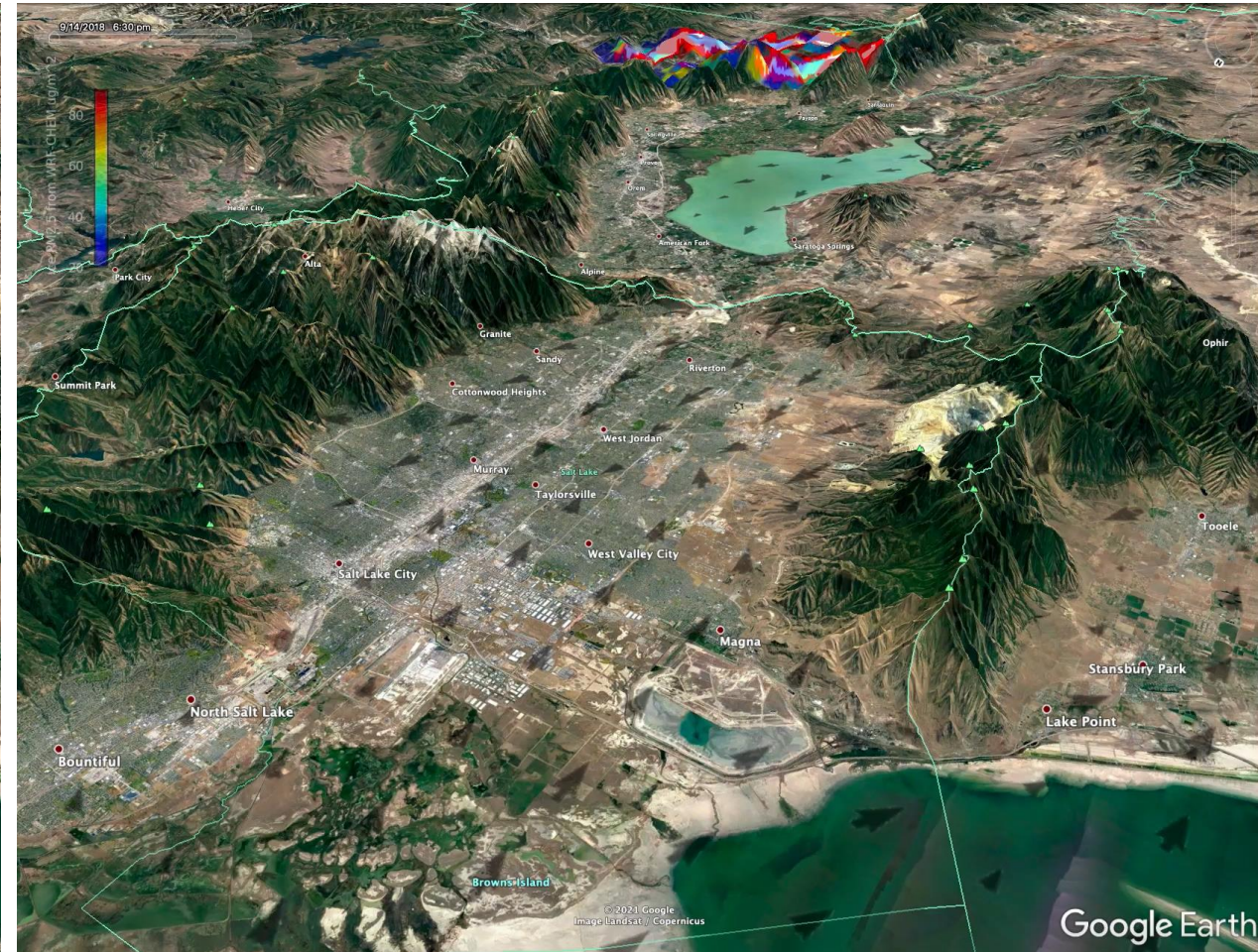
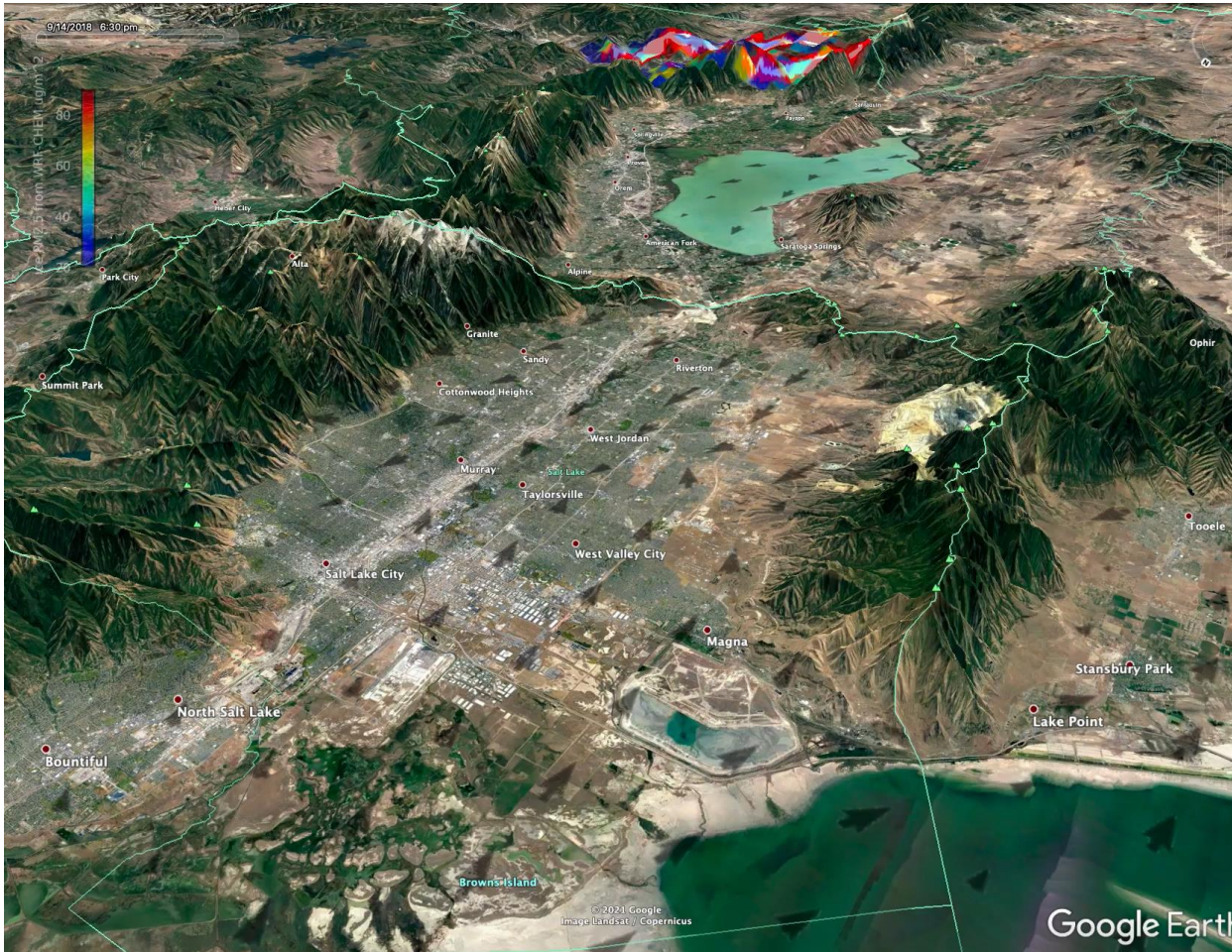


Prognoza dymu dla pożaru Pole Creek w dniu 16.09.2018

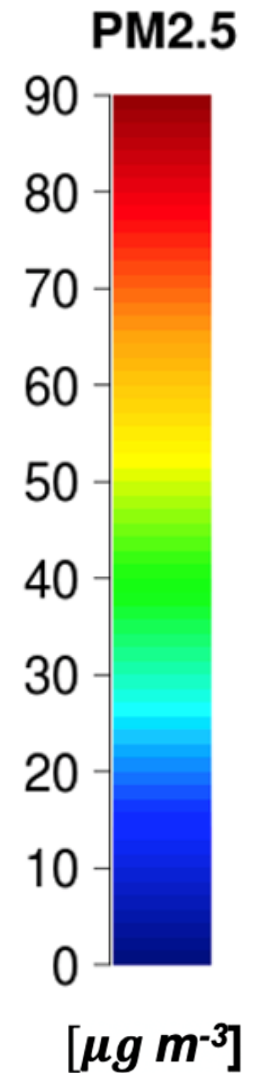
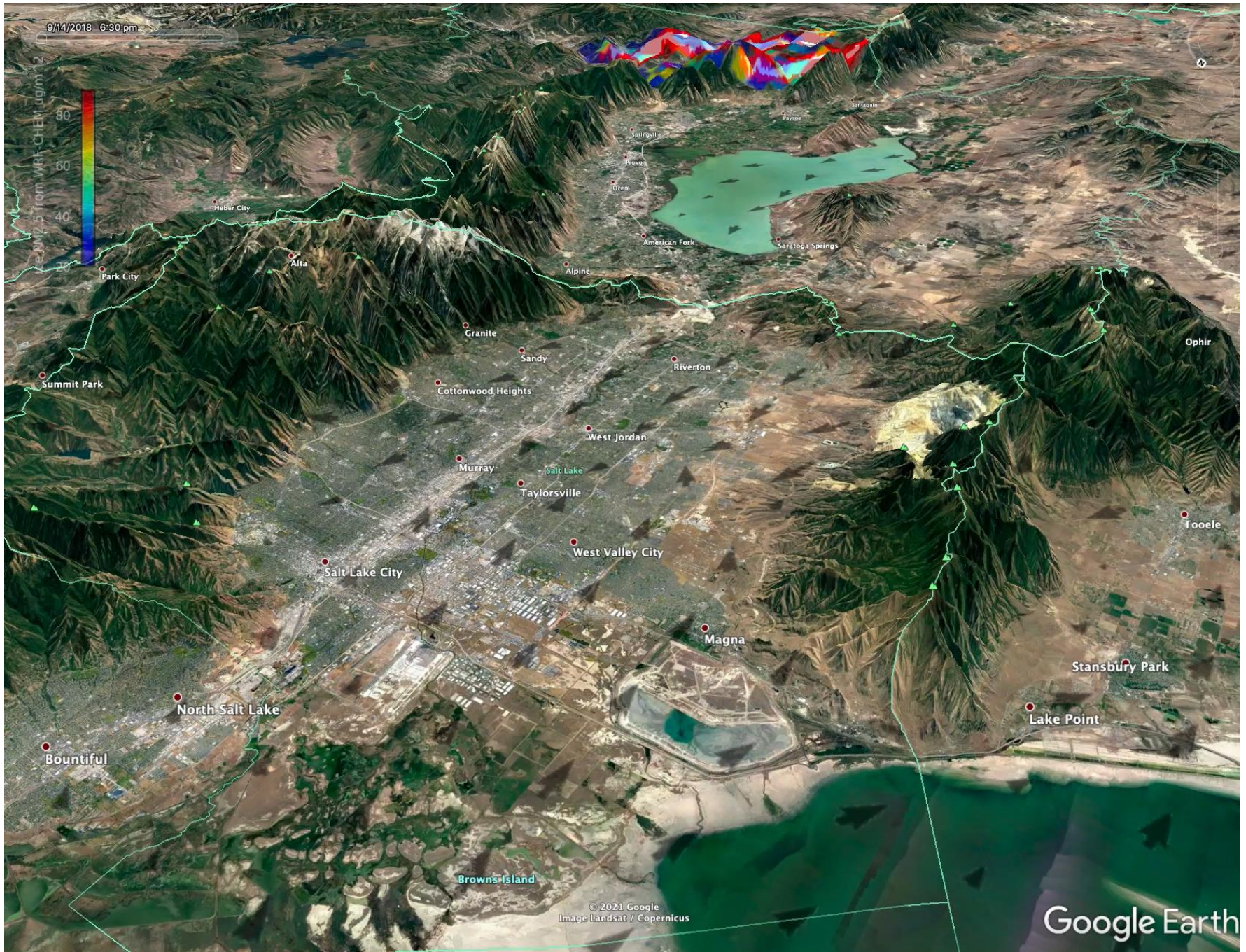
Zdjęcie satelitarne pożaru Pole Creek w dniu 16.09.2018

- Szeregi czasowe stężeń dymu (PM2.5) obserwowane w stacji jakości powietrza North Provo i symulowane przez model wskazują na bardzo dobrą zgodność co do wielkości epizodu dymu, szczególnie w ciągu pierwszych 24 godzin
- Pomimo dobrego czasu pierwszego epizodu szczyt wtórny jest lekko opóźniony

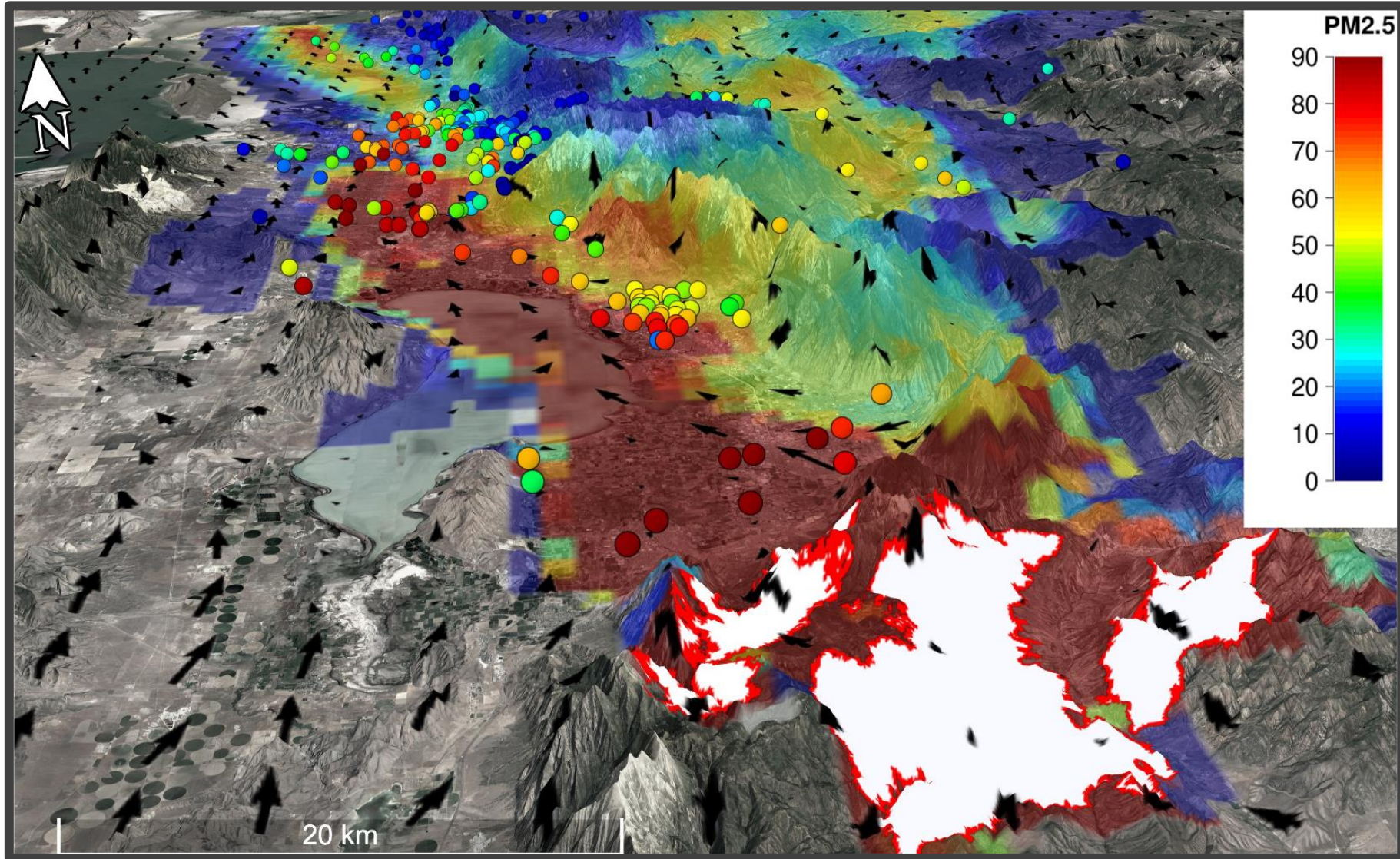
Prognoza dla Pole Creek Fire 2018 zwizualizowana w Google Earth



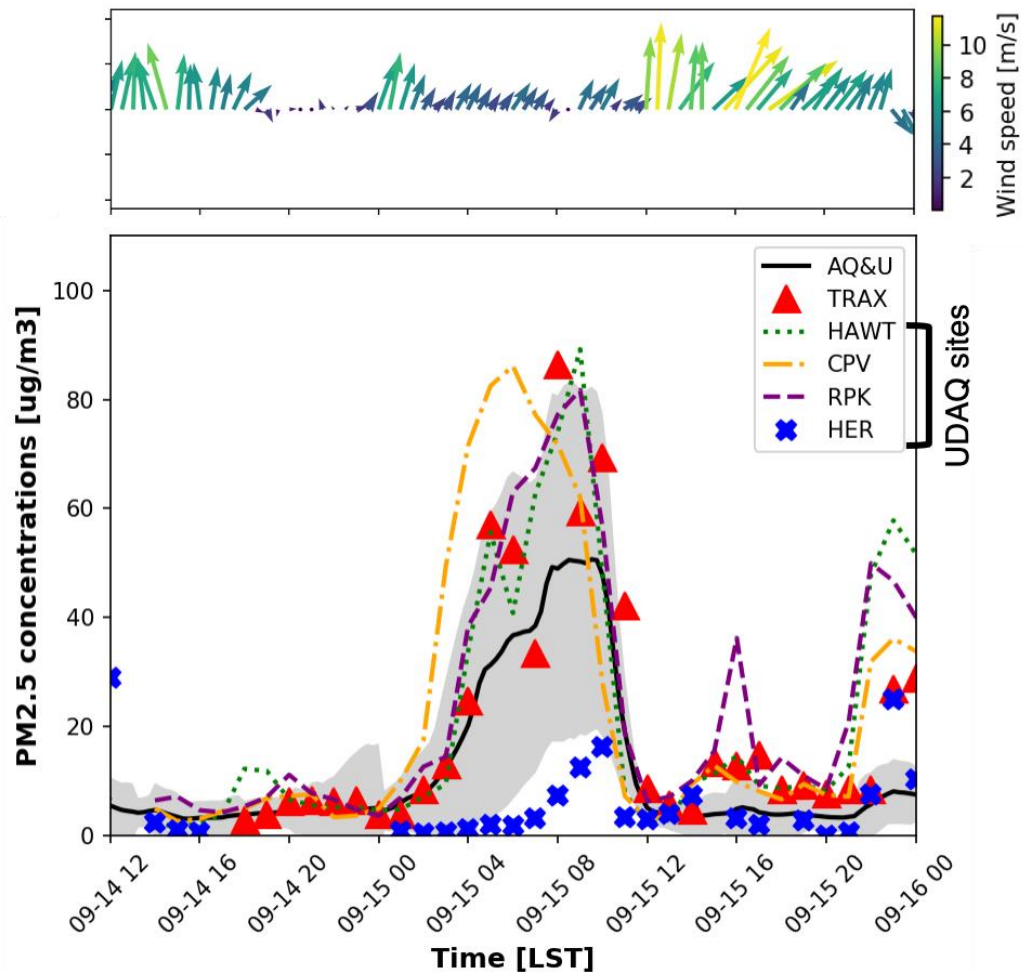
- Widoczny jest przepływ drenażowy wtłaczający dym z pożaru do doliny Salt Lake.



Smoke model case study: Pole Creek Fire, UT

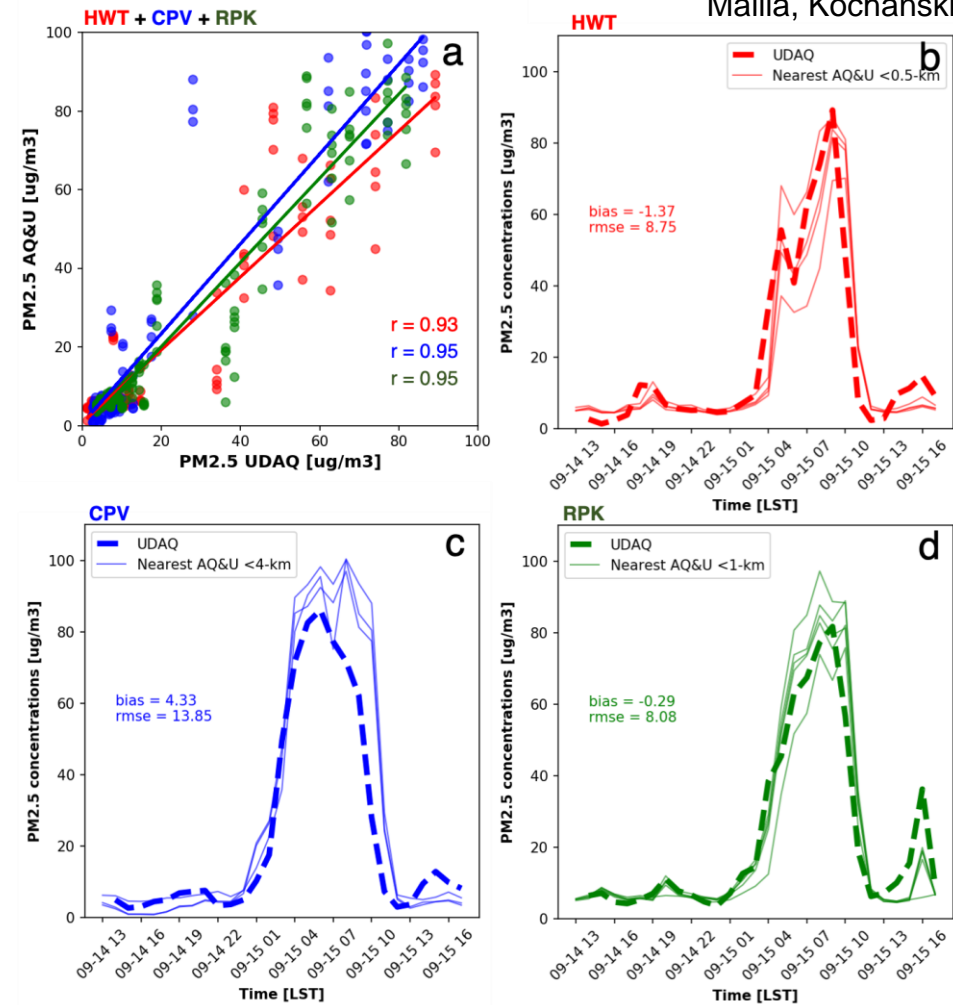


Test Case: Pole Creek Fire, UT



Porównanie kalibracji tanich czujników

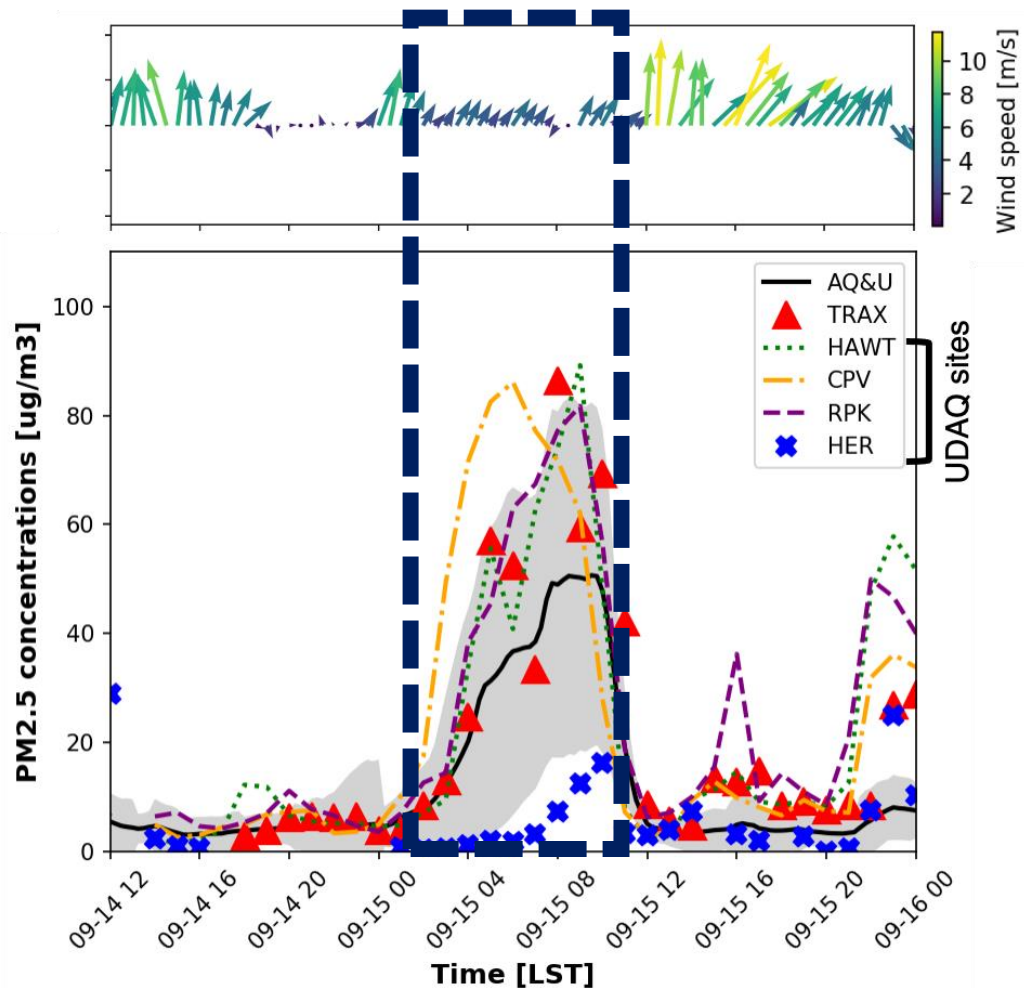
Mallia, Kochanski et al. 2020



➤ Do tej analizy wybraliśmy najbliższe tanie czujniki dla każdej stacji MES/FRM

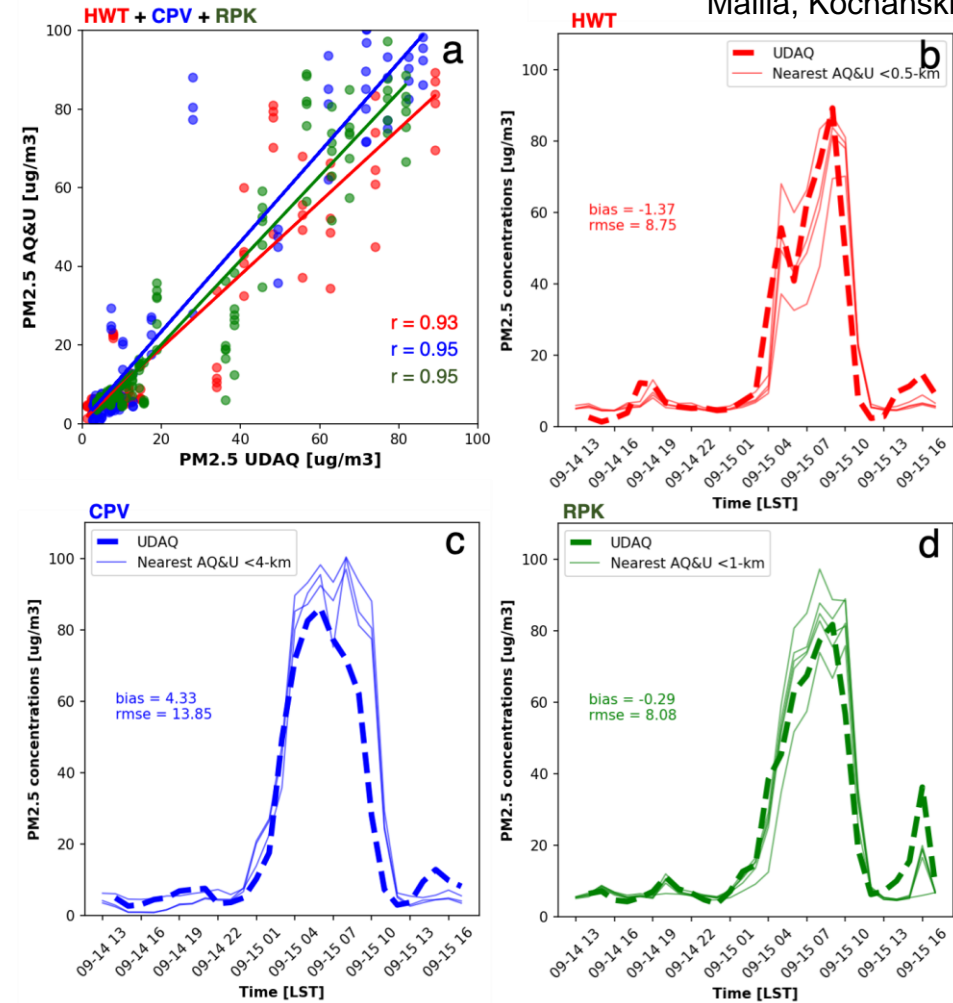
* Obserwacje z Doliny Salt Lake

Test Case: Pole Creek Fire, UT



Porównanie kalibracji tanich czujników

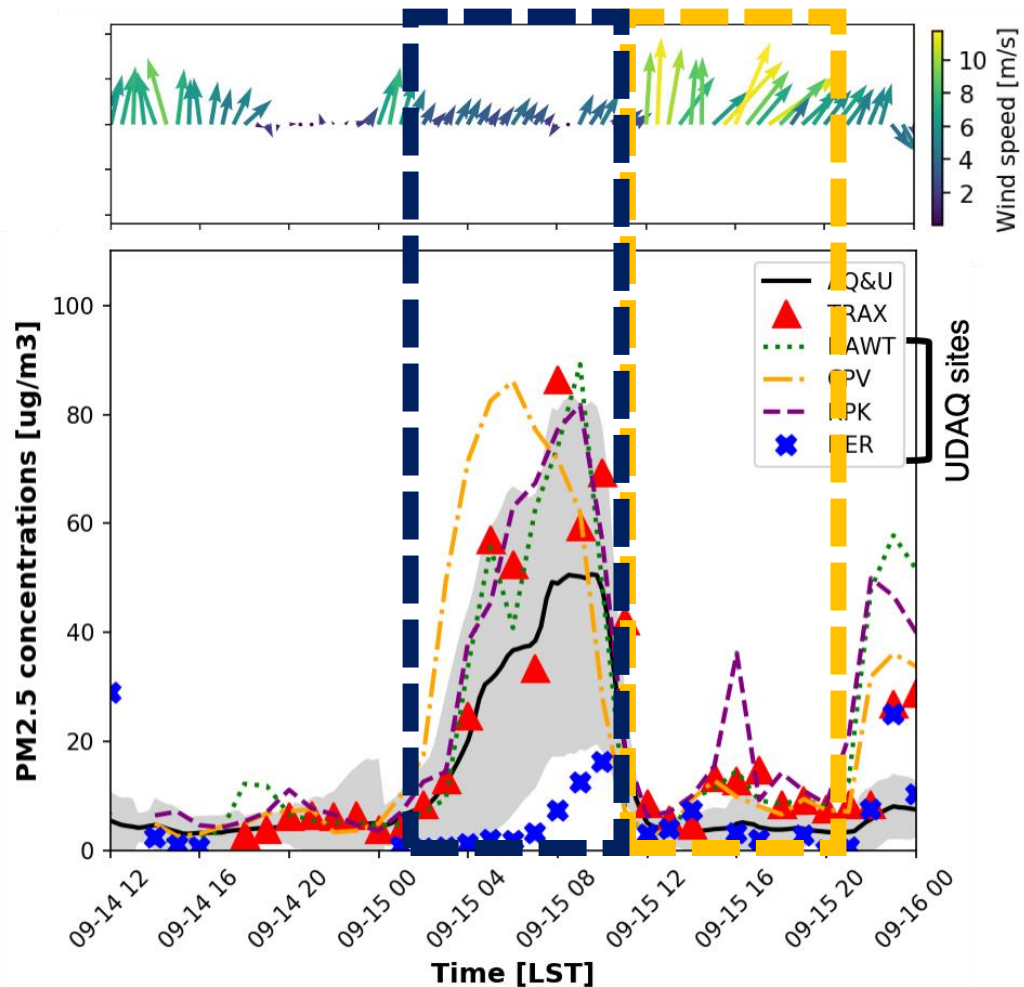
Mallia, Kochanski et al. 2020



➤ Do tej analizy wybraliśmy najbliższe tanie czujniki dla każdej stacji MES/FRM

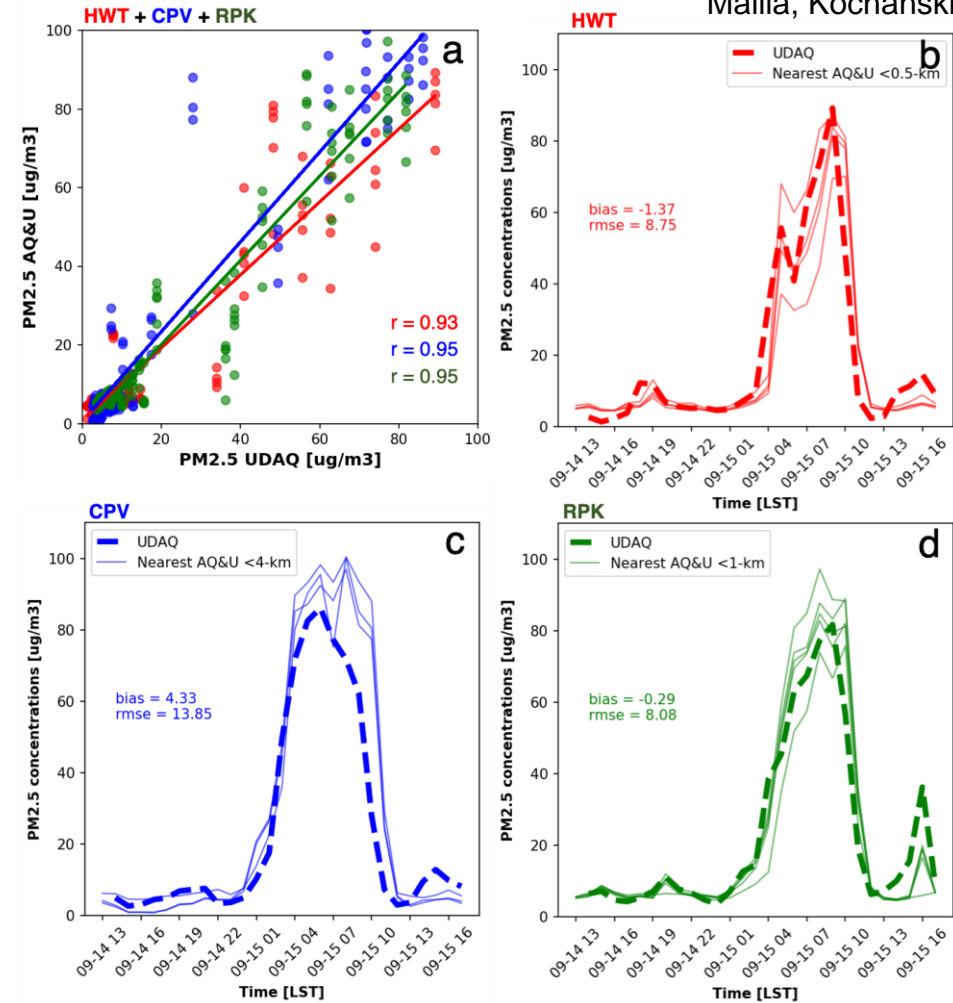
* Obserwacje z Doliny Salt Lake

Test Case: Pole Creek Fire, UT



Porównanie kalibracji tanich czujników

Mallia, Kochanski et al. 2020

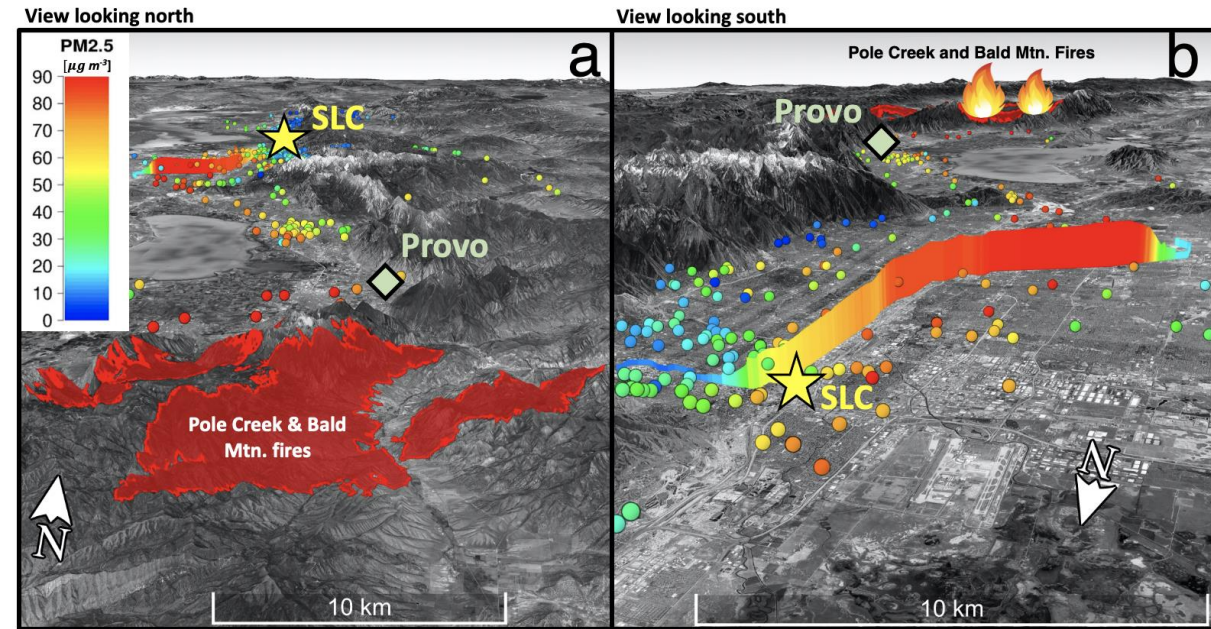


➤ Do tej analizy wybraliśmy najbliższe tanie czujniki dla każdej stacji MES/FRM

* Obserwacje z Doliny Salt Lake

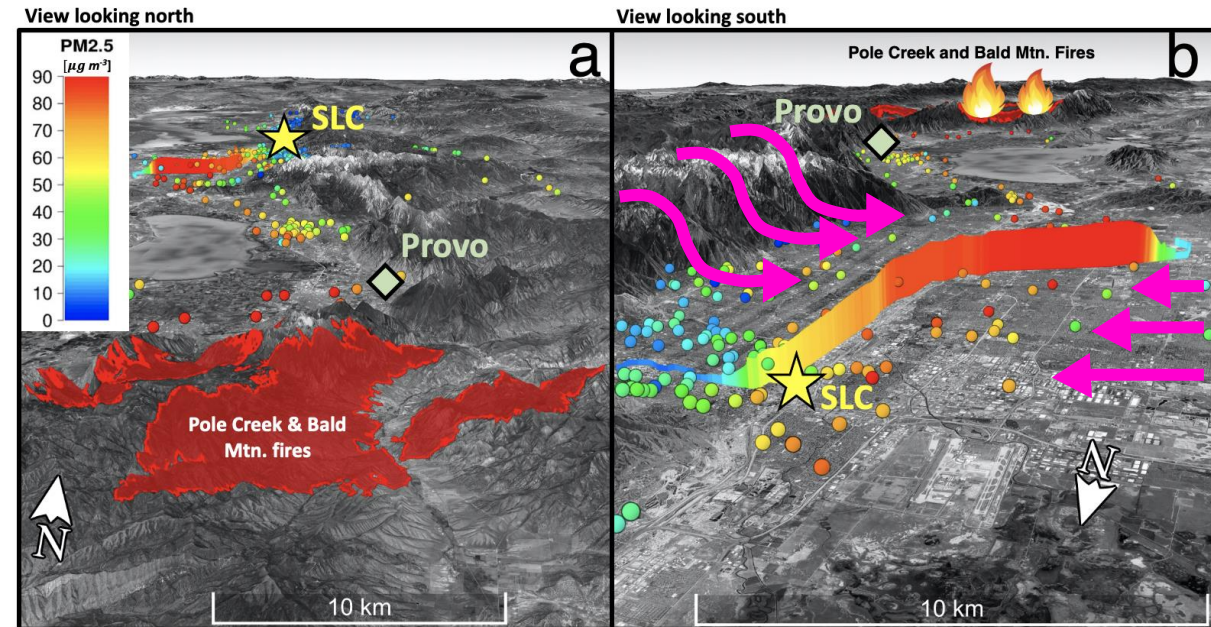
Test Case: Pole Creek Fire, UT

- Wyższe stężenia dymu zlokalizowane w środku doliny i niższe stężenia wzdłuż jej obrzeży



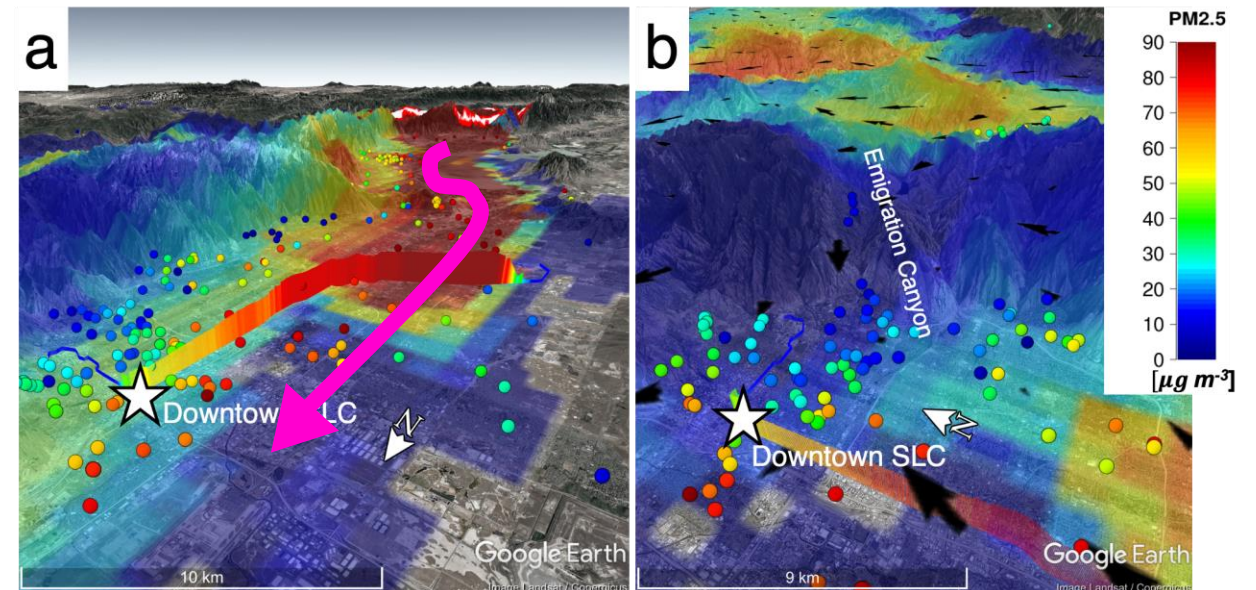
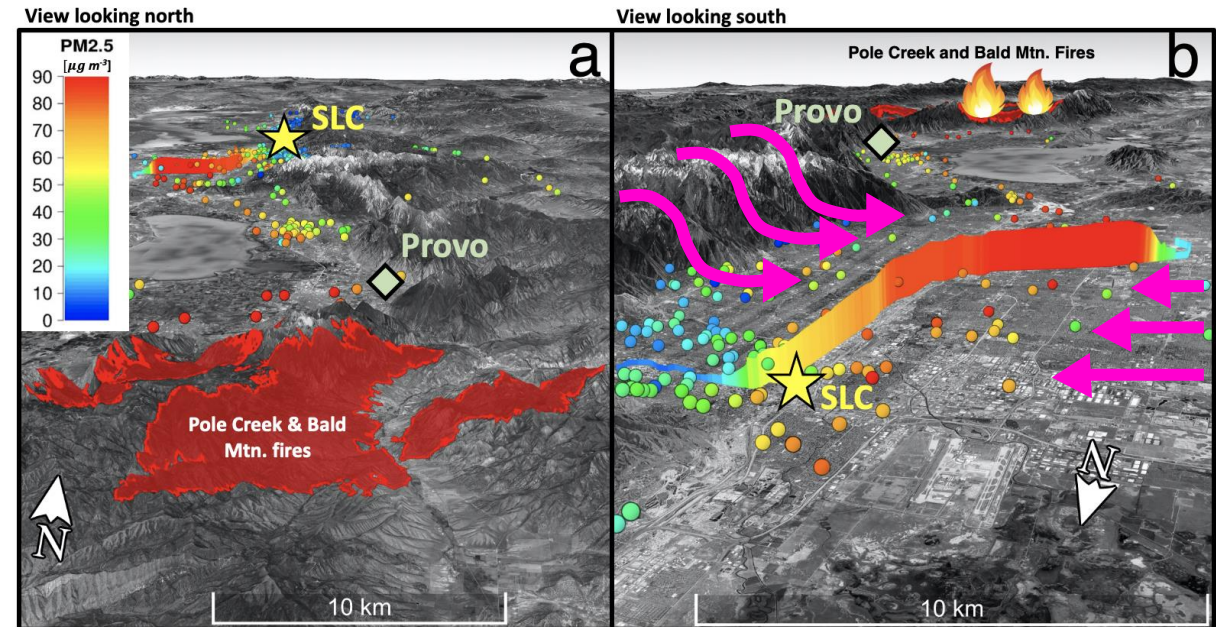
Test Case: Pole Creek Fire, UT

- Wyższe stężenia dymu zlokalizowane w środku doliny i niższe stężenia wzdłuż jej obrzeży
- Obserwujemy złożone wzajemne oddziaływanie między różnymi cyrkulacjami górsko-dolinowymi (nocą)



Test Case: Pole Creek Fire, UT

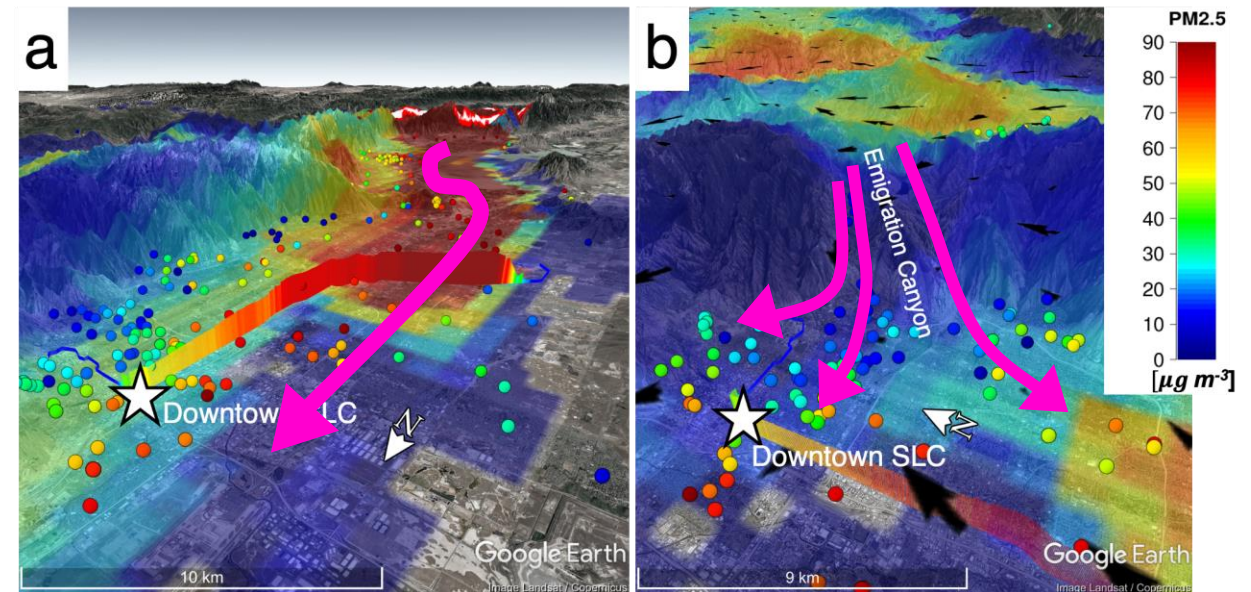
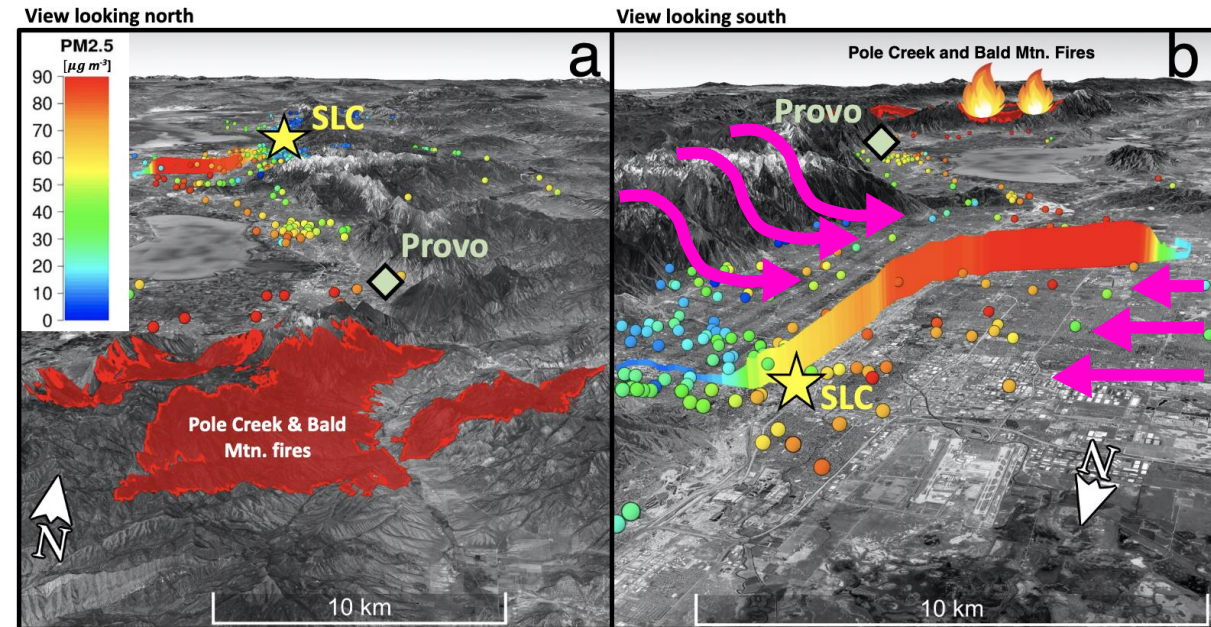
- Wyższe stężenia dymu zlokalizowane w środku doliny i niższe stężenia wzdłuż jej obrzeży
- Obserwujemy złożone wzajemne oddziaływanie między różnymi cyrkulacjami górsko-dolinowymi (nocą)



Pomiary AQ PM2.5 (koła wypełnione kolorem), modelowe stężenia PM2.5 (kontury wypełnione kolorem), modelowane wektory wiatru (czarne wektory) i mobilne pomiary PM (linie podwyższone)

Test Case: Pole Creek Fire, UT

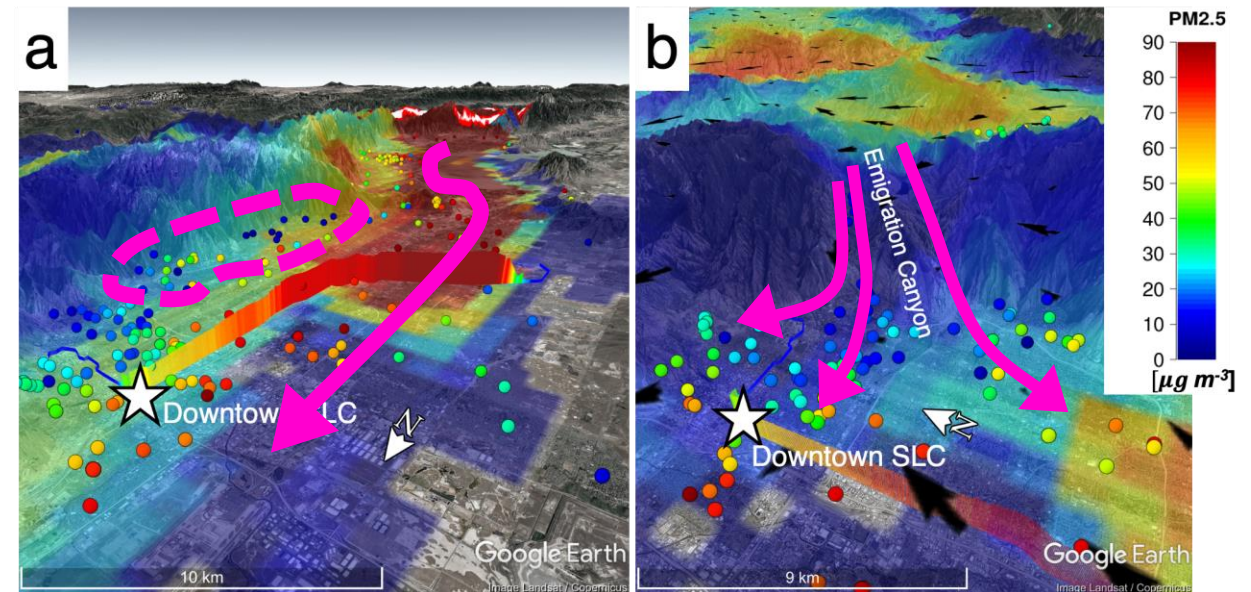
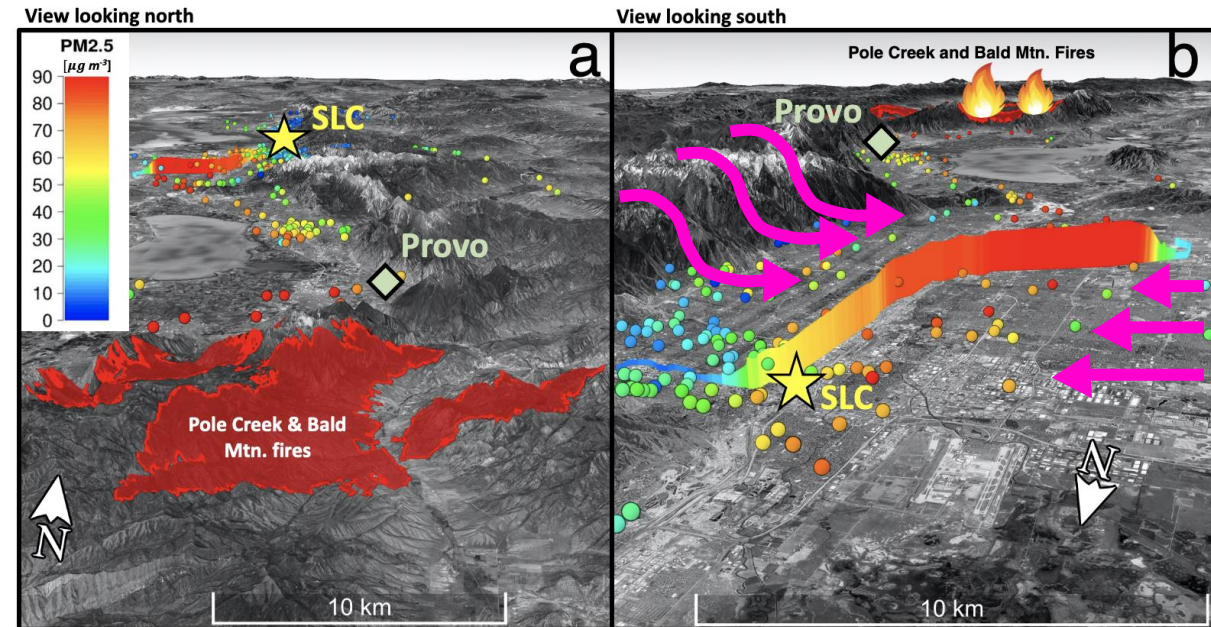
- Wyższe stężenia dymu zlokalizowane w środku doliny i niższe stężenia wzdłuż jej obrzeży
- Obserwujemy złożone wzajemne oddziaływanie między różnymi cyrkulacjami górsko-dolinowymi (nocą)
- Model umiejętnie symuluje gradienty na wschodnich i zachodnich krawędziach doliny



Pomiary AQ PM2.5 (koła wypełnione kolorem), modelowe stężenia PM2.5 (kontury wypełnione kolorem), modelowane wektory wiatru (czarne wektory) i mobilne pomiary PM (linie podwyższone)

Test Case: Pole Creek Fire, UT

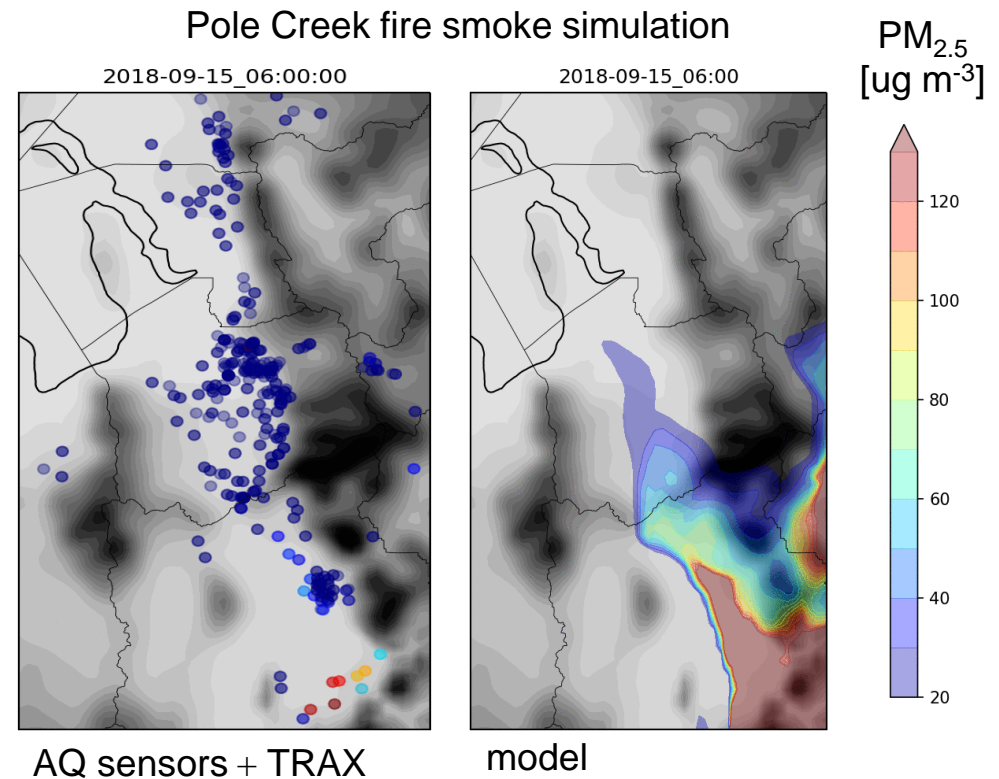
- Wyższe stężenia dymu zlokalizowane w środku doliny i niższe stężenia wzdłuż jej obrzeży
- Obserwujemy złożone wzajemne oddziaływanie między różnymi cyrkulacjami górsko-dolinowymi (nocą)
- Model umiejętnie symuluje gradienty na wschodnich i zachodnich krawędziach doliny
 - Drobne rozbieżności w pobliżu ujść węższych górskich kanionów



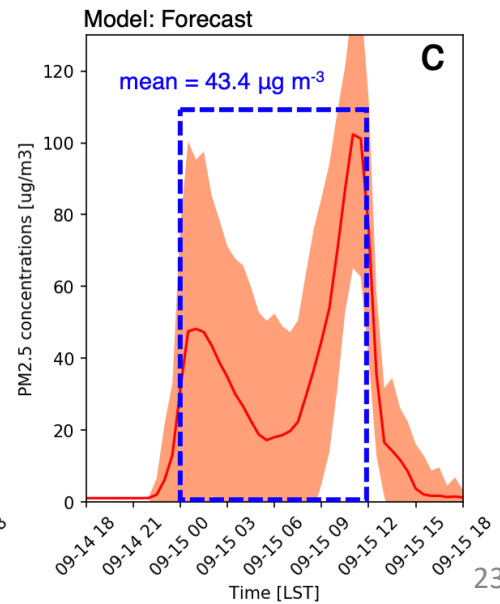
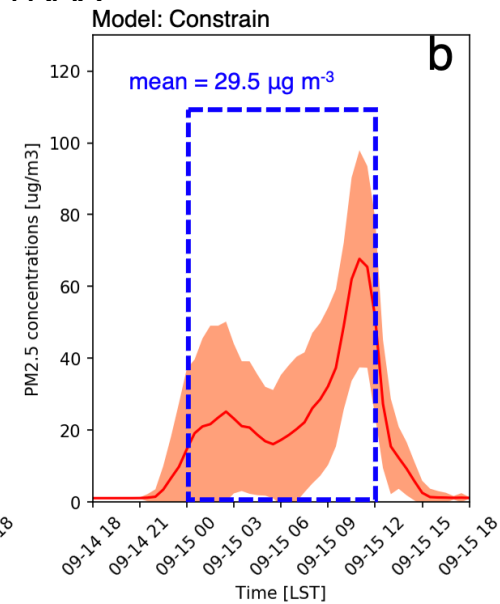
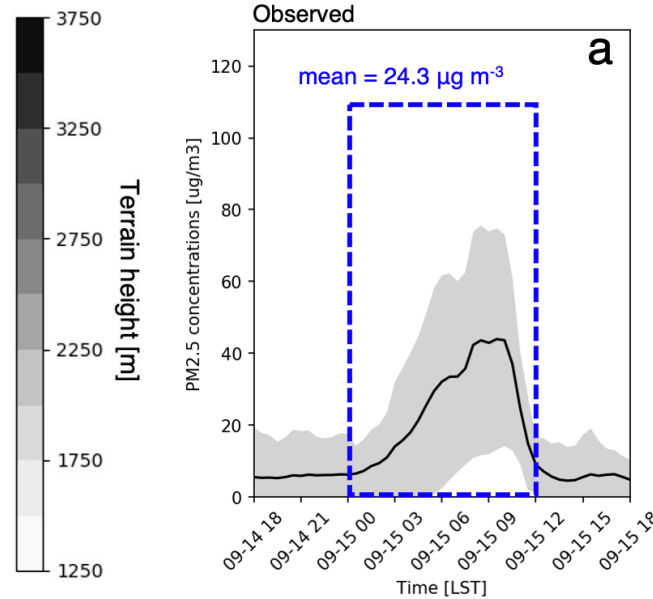
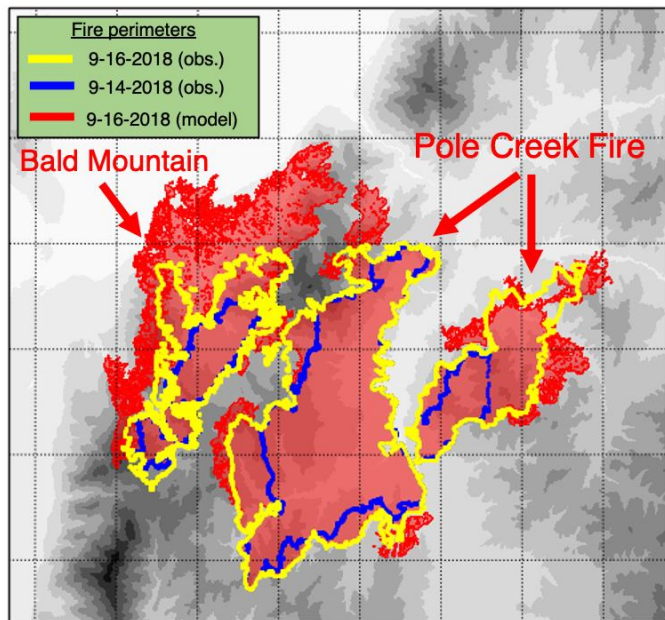
Pomiary AQ PM2.5 (koła wypełnione kolorem), modelowe stężenia PM2.5 (kontury wypełnione kolorem), modelowane wektory wiatru (czarne wektory) i mobilne pomiary PM (linie podwyższone)

Smoke model case study: Pole Creek Fire, UT

- While WRF-SFIRE simulations captured the timing and shape of the smoke plume, smoke concentrations were overestimated
- Some overprediction in the fire forecast simulation



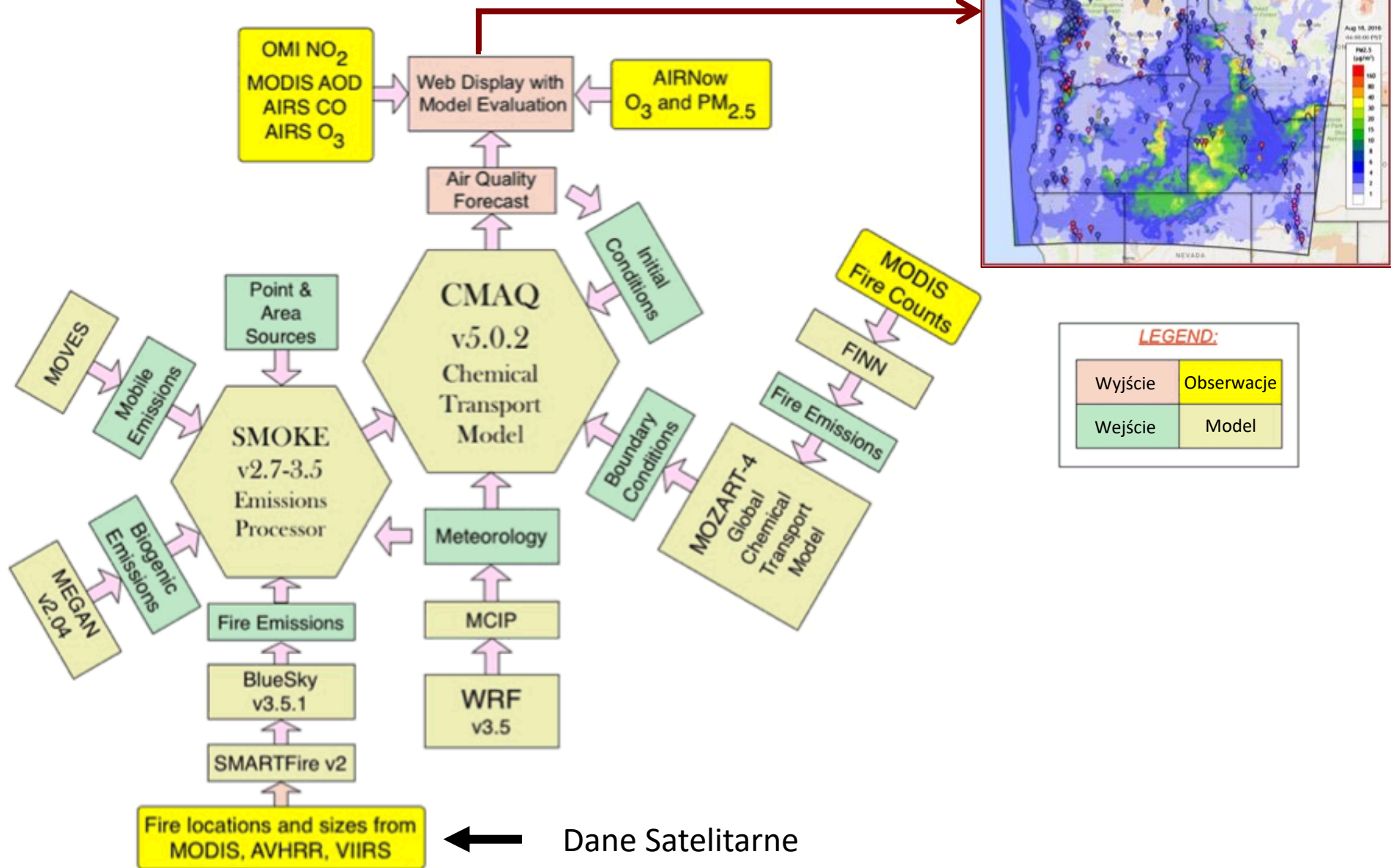
Fire growth forecast



Podsumujmy:

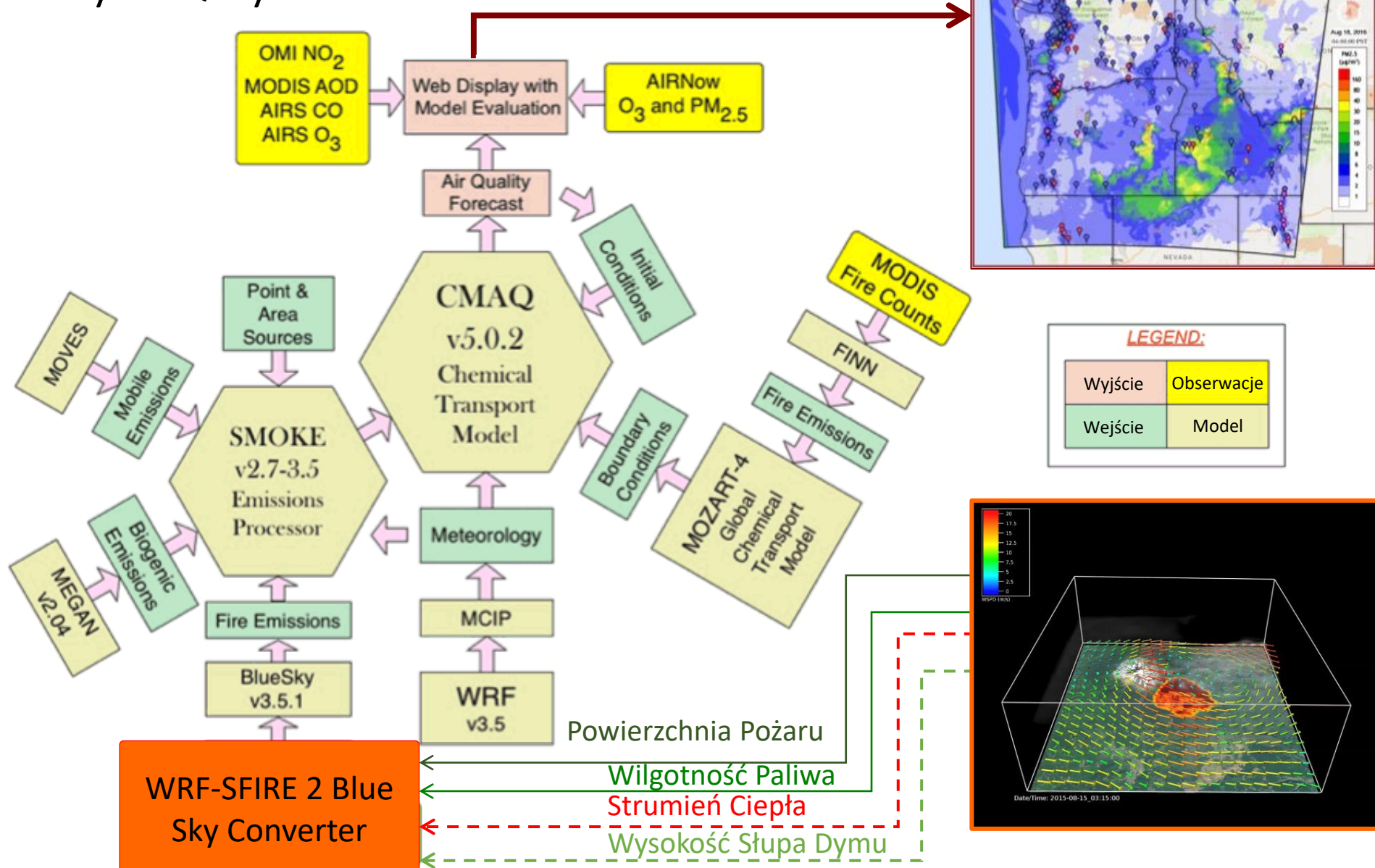
- Sprzężone symulacje pożarowo-atmosferyczne o wysokiej rozdzielczości okazują się przydatne w analizie i prognozowaniu epizodów niskiej jakości powietrza związanych z bezpośrednim wpływem lokalnych pożarów
- Jednym z ograniczeń prostego podejścia opartego na znaczniku jest fakt, że dym jest bierny chemicznie, a emisje antropogeniczne nie są uwzględniane
- Aby przezwyciężyć to ograniczenie, potrzebne jest inne podejście:
 - a) Podejście hybrydowe z zewnętrznym modelem transportu chemicznego
 - b) W pełni zintegrowane podejście z modelem chemicznym (WRF-SFIRE-CHEM)

Klasyczny AQ system AIRPACT

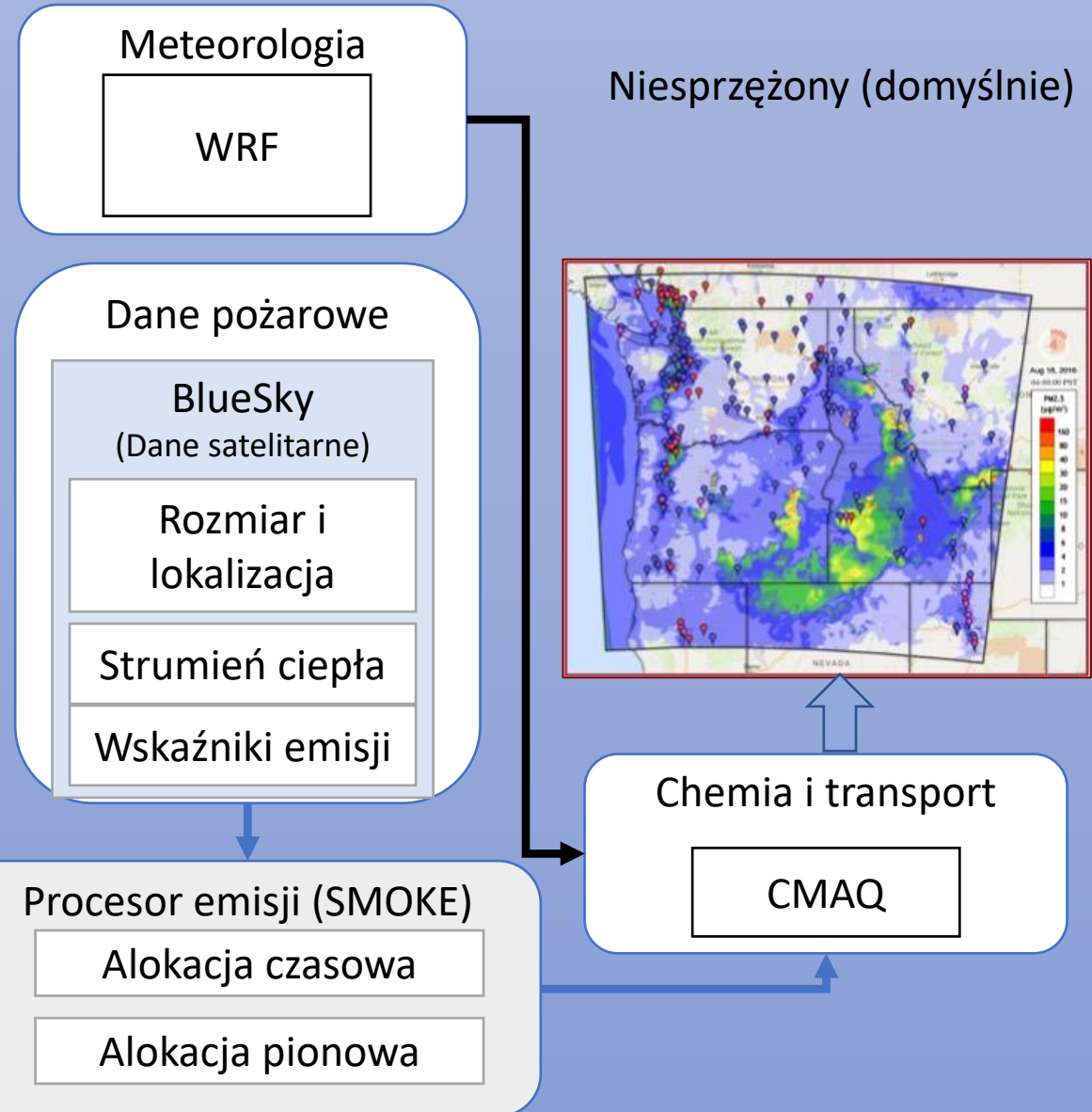


Dane Satelitarne

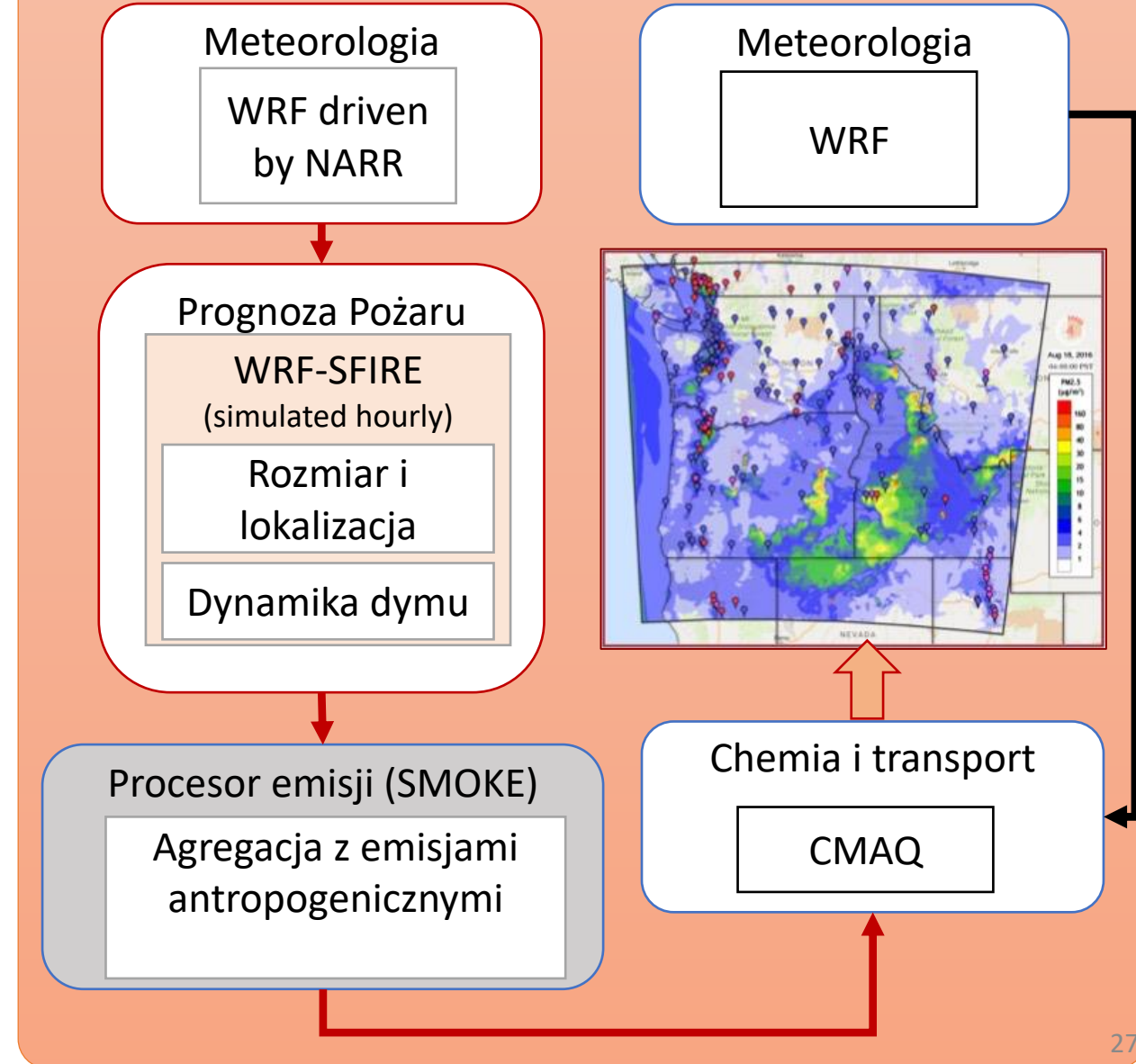
Hybrydowy AQ System z WRF-SFIRE



AIRPACT-5 air quality system

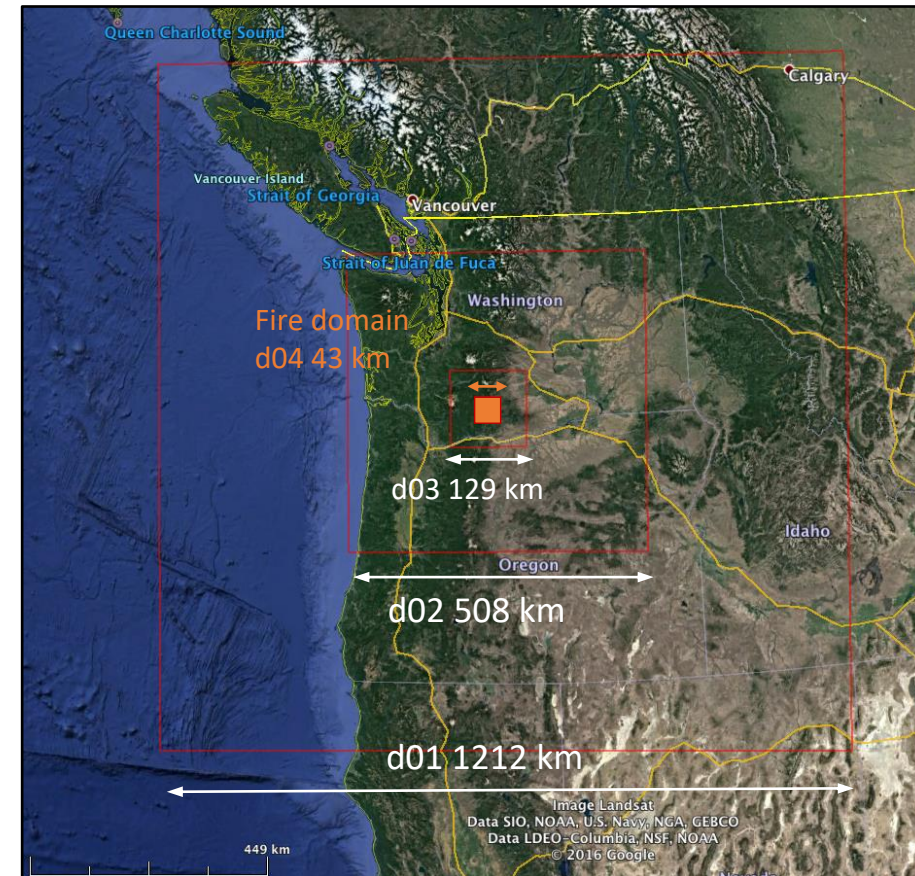


System hybrydowy a WRF-SFIRE



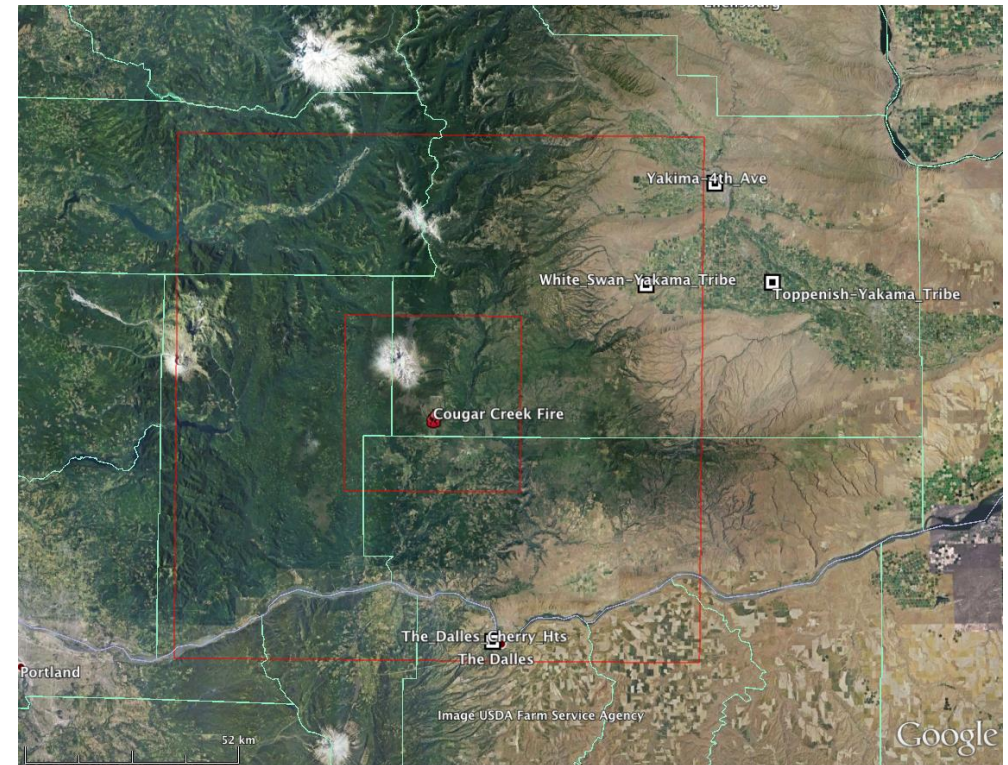
Test Case – Cougar Creek Fire WA 2015

- Stosunkowo odosobnione zdarzenie pożarowe rozpoczynające się 11 sierpnia 2015 r. (ograniczony wkład dymu z innych pożarów), wykrywanie wysokości dymu MISR (później w progresji pożaru), dobrze udokumentowany wzrost pożaru, obszar pożaru 53,534 akrów
- Konfiguracja domeny WRF-SFIRE: 4 zagnieżdżone domeny o rozdzielczości poziomej 12 km, 4 km, 1,33 km, 444 m w poziomie, 41 poziomów pionowych
- Siatka modelu pożarowego 22m, dane dotyczące paliwa i wysokości o rozdzielczość 30 m (LANDFIRE)
- Zapłon jednopunktowy
- Warunki początkowe i brzegowe z reanalizy NARR
- Sprzężona symulacja pożaru i atmosfery z dwukierunkowym sprzężeniem między pożarem a atmosferą i między domenami
- Rozpoczęcie symulacji 08.11.2015 00Z, zapłon pożaru 01Z
- Długość symulacji 132h



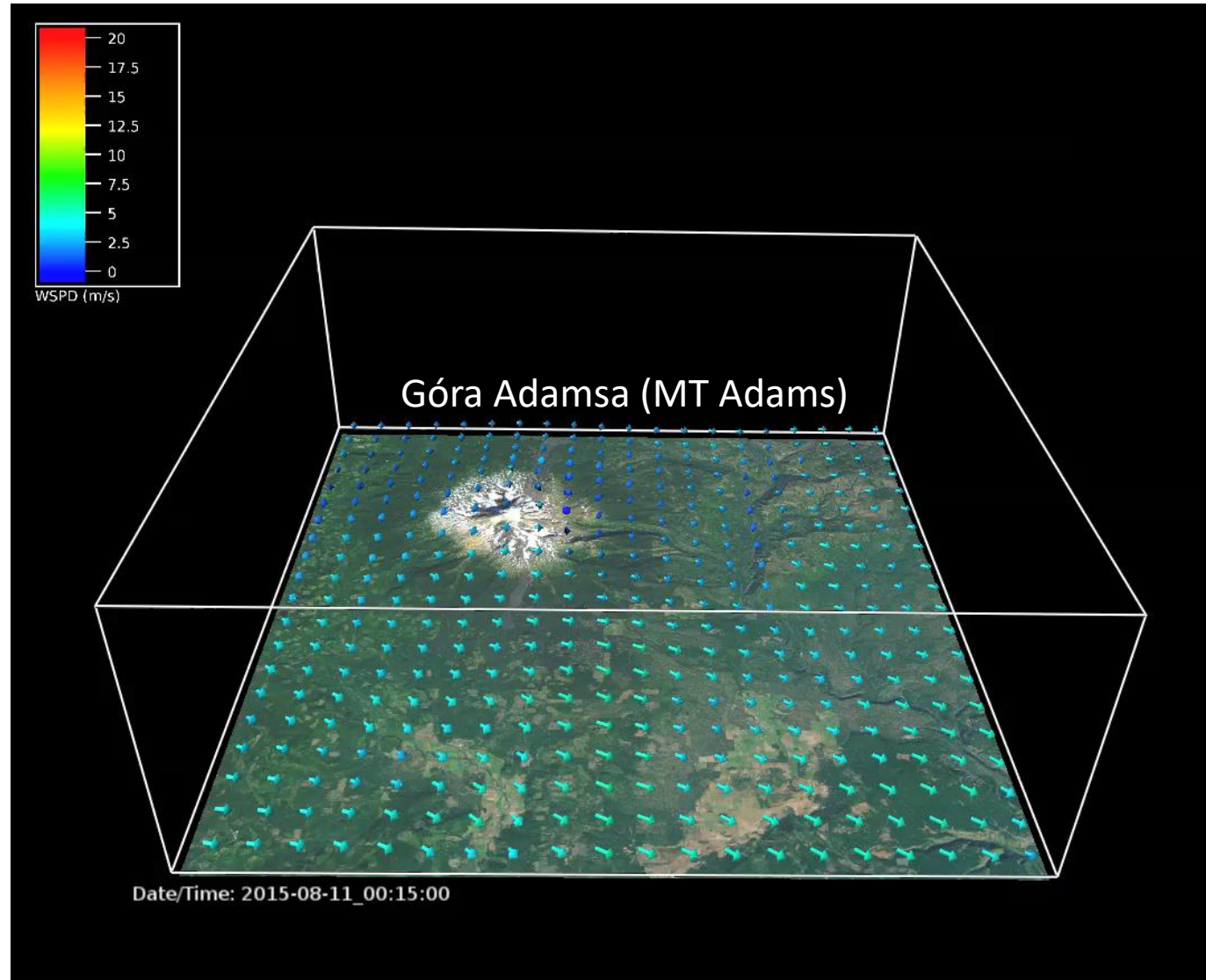
Test Case – Cougar Creek Fire WA 2015

- Stosunkowo odosobnione zdarzenie pożarowe rozpoczynające się 11 sierpnia 2015 r. (ograniczony wkład dymu z innych pożarów), wykrywanie wysokości dymu MISR (później w progresji pożaru), dobrze udokumentowany wzrost pożaru, obszar pożaru 53,534 akrów
- Konfiguracja domeny WRF-SFIRE: 4 zagnieżdżone domeny o rozdzielczości poziomej 12 km, 4 km, 1,33 km, 444 m w poziomie, 41 poziomów pionowych
- Siatka modelu pożarowego 22m, dane dotyczące paliwa i wysokości o rozdzielczość 30 m (LANDFIRE)
- Zapłon jednopunktowy
- Warunki początkowe i brzegowe z renalizacji NARR
- Sprzężona symulacja pożaru i atmosfery z dwukierunkowym sprzężeniem między pożarem a atmosferą i między domenami
- Rozpoczęcie symulacji 08.11.2015 00Z, zapłon pożaru 01Z
- Długość symulacji 132h

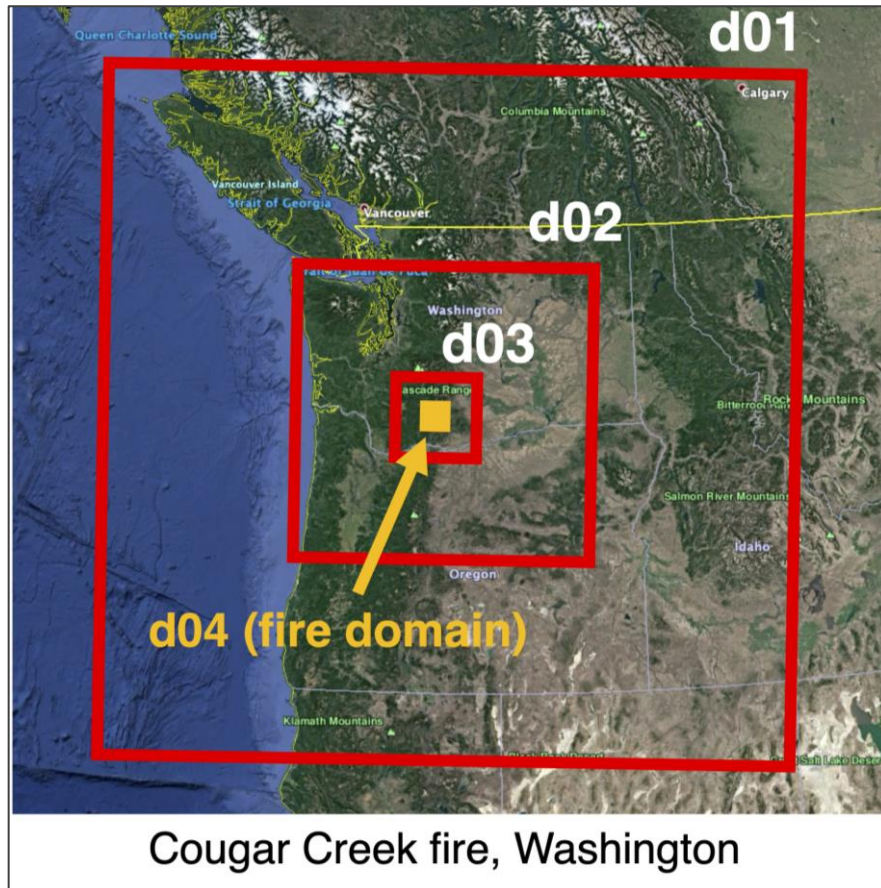


Test Case – Cougar Creek Fire WA 2015

- Symulowany postęp pożaru (domena pożarowa), wiatr na 10 m i dym

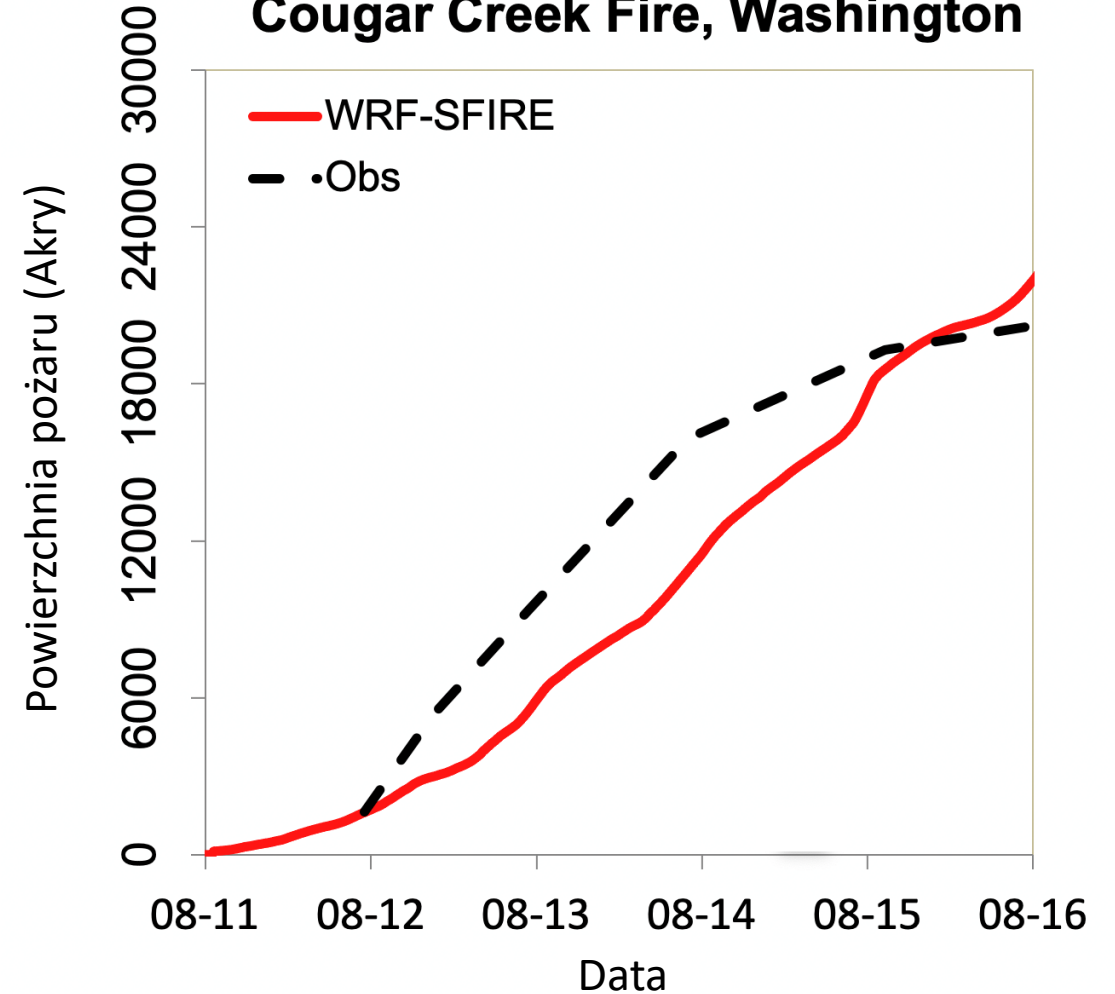


Konfiguracja domen obliczeniowych dla Cougar Creek Fire, WA



Wielkość końcowa ~21,400 ha

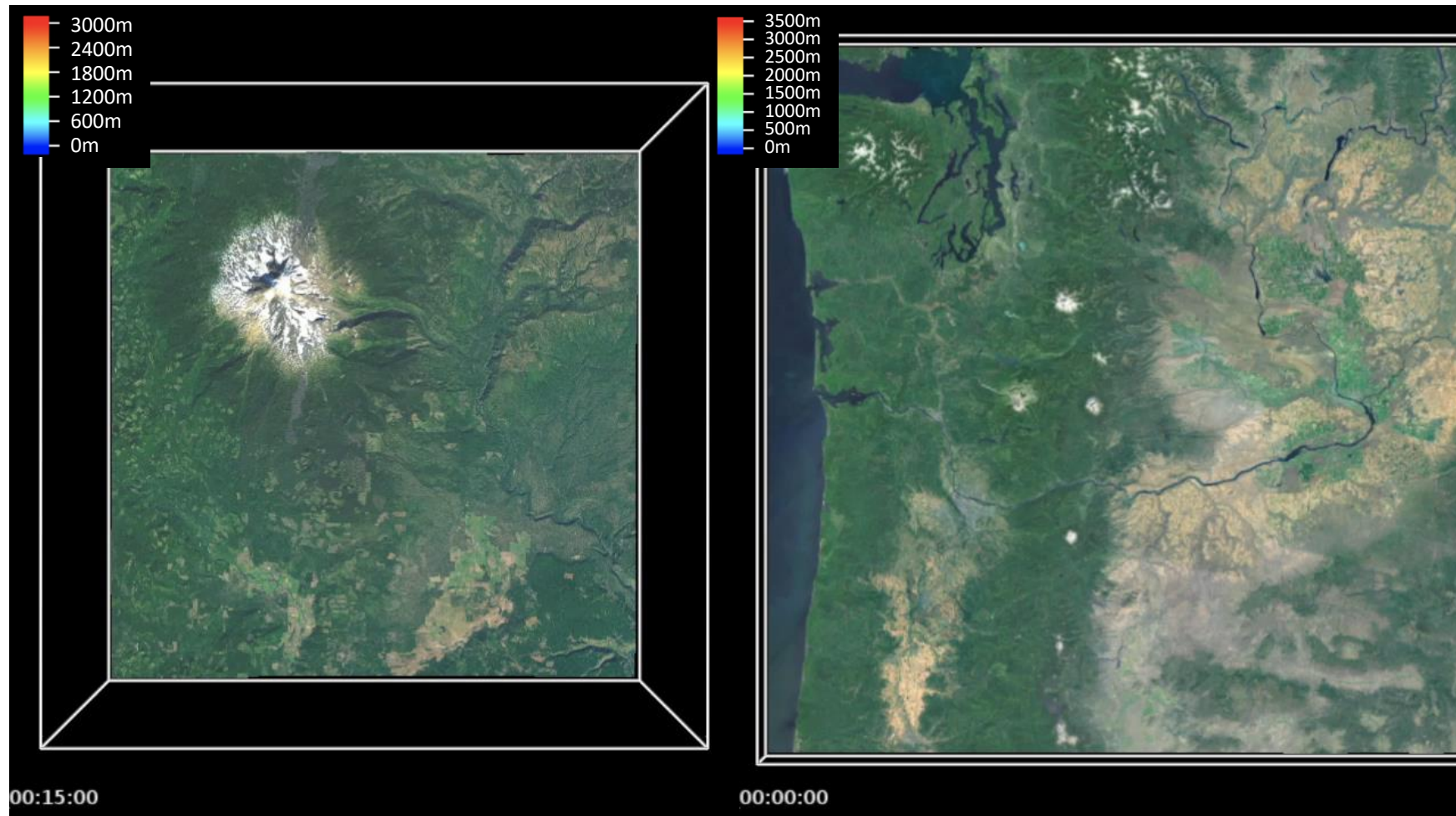
Przebieg czasowy wielkości pożaru Cougar Creek Fire, Washington



WRF-SFIRE Symulacja wysokości słupa dymu

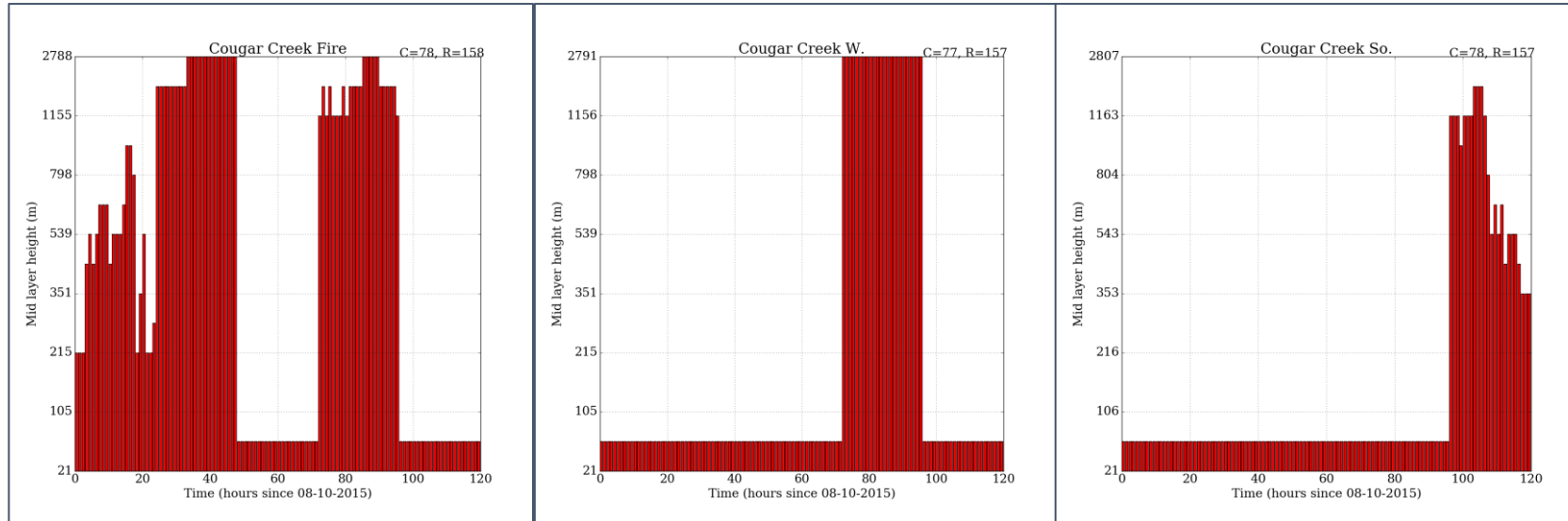
WRF-SFIRE symulowana wysokość dymu w:

D04 (siatka 444m – domena pożarowa) - do 3km D02 (4km – domena zewnętrzna) do 3,5km

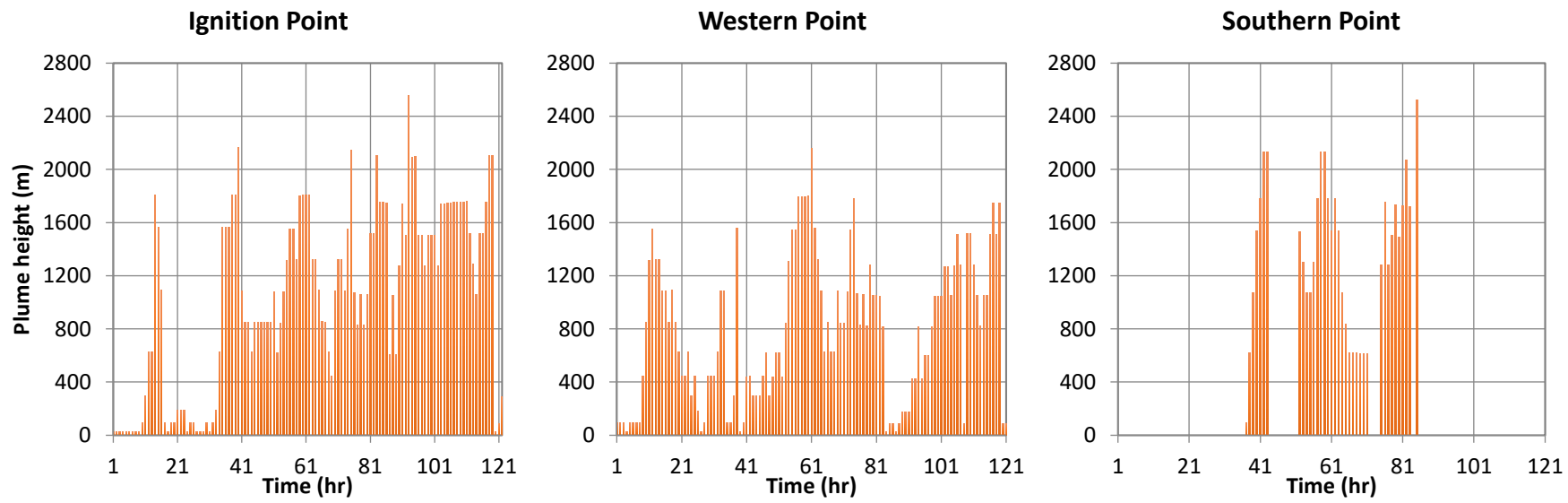


Wysokość Dymu AIRPACT-5 vs WRF-SFIRE

AIRPACT-5 – Sparametryzowana wysokość dymu ponad 2,8 km

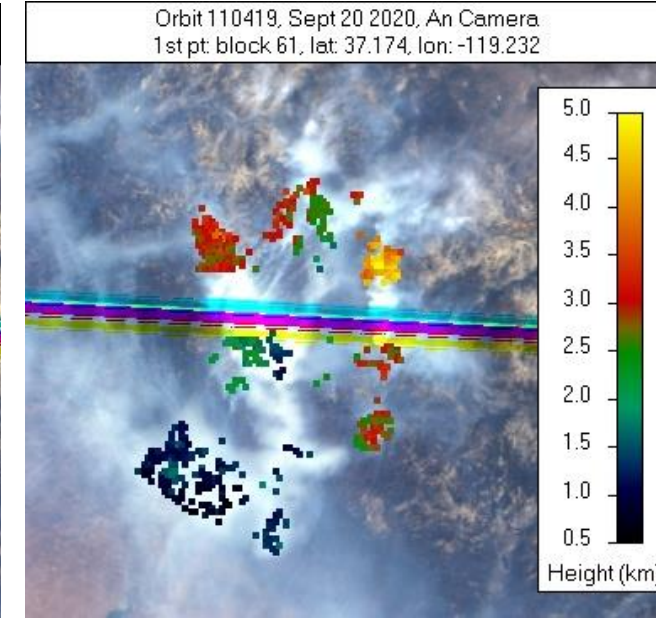
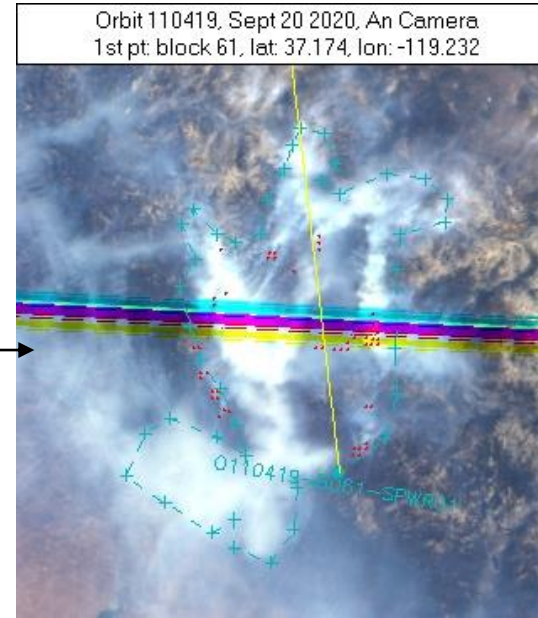
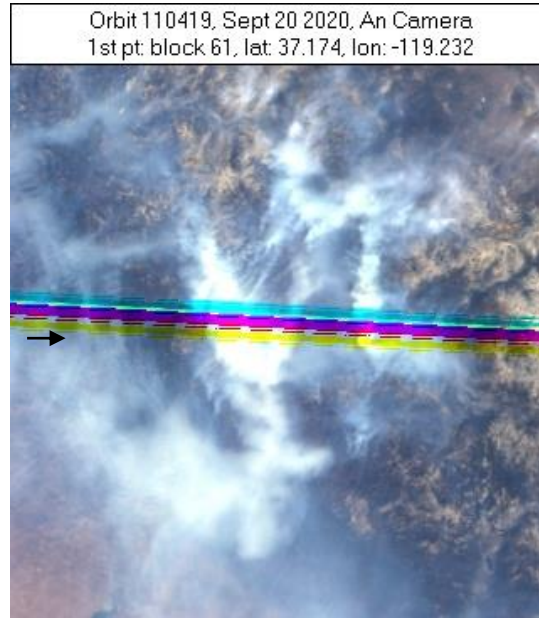
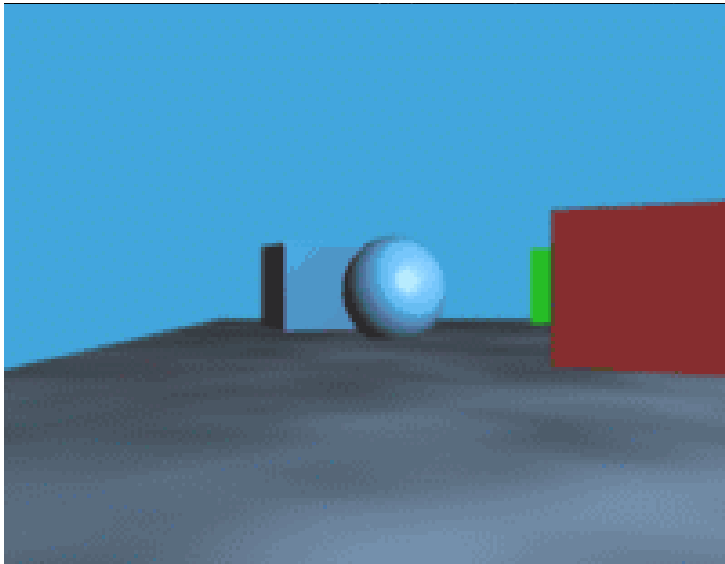


WRF-SFIRE symulowana wysokość dymu w (d04) około 2km – znacznie niższa



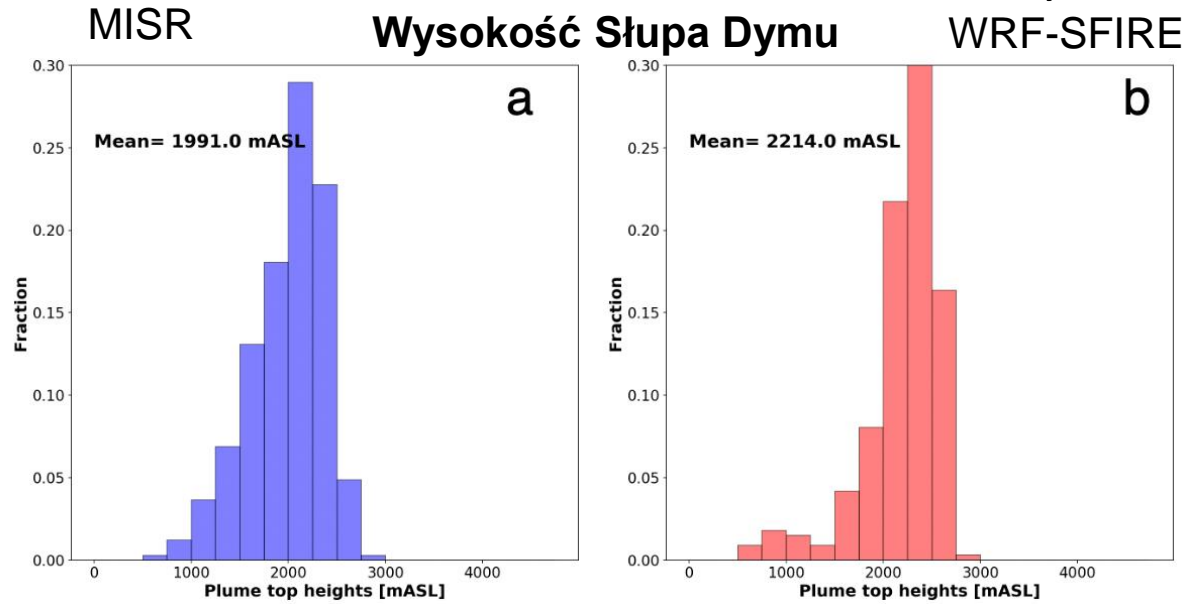
Obserwacje satelitarne wysokości dymu

MISR - Wielo-kątowy Spektrometr NASA



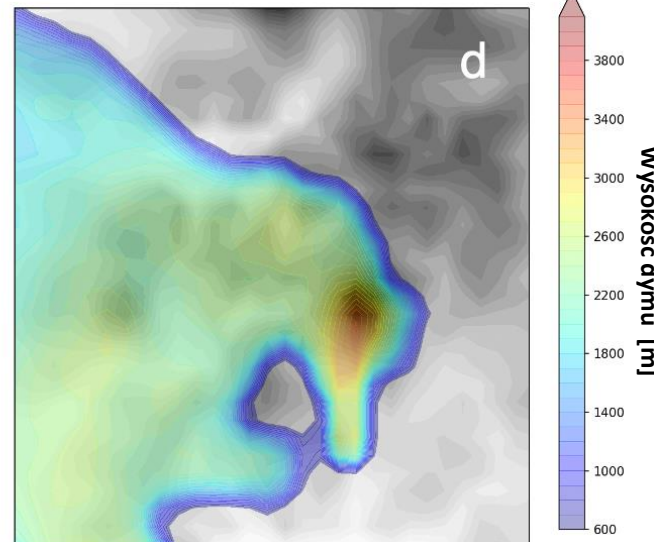
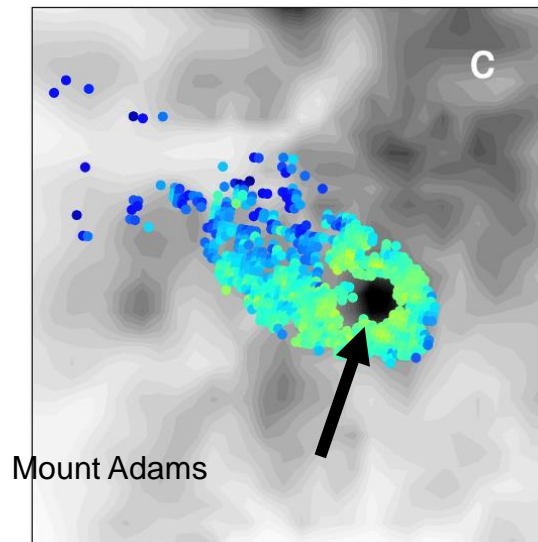
- Instrument MISR używa dziewięciu oddzielnych kamer cyfrowych, które zbierają dane w czterech różnych pasmach widmowych widma słonecznego. Jedna kamera skierowana jest w stronę nadiru, podczas gdy pozostałe zapewniają kąty widzenia do przodu i do tyłu ($26,1^\circ$, $45,6^\circ$, $60,0^\circ$ i $70,5^\circ$).
- Gdy instrument orbituje, każdy obszar powierzchni Ziemi jest kolejno fotografowany przez wszystkie dziewięć kamer w każdej z czterech długości fal (niebieska, zielona, czerwona i bliska podczerwień)
- Efekt paralaksy pozwala na obliczenie wysokości obserwowanych obiektów takich na przykład chmur lub dymu

Analiza satelitarna wysokości słupa dymu



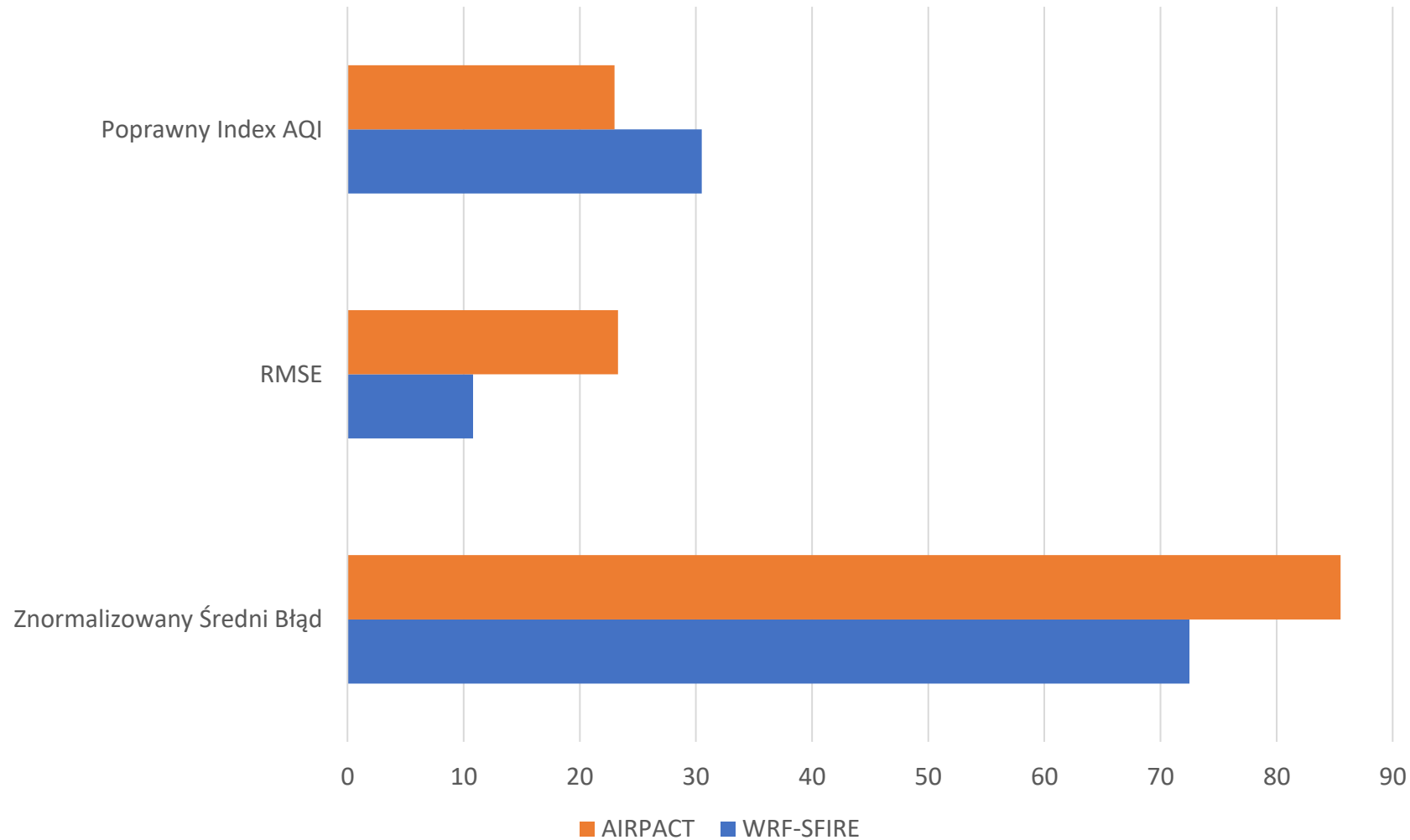
MISR średnia wysokość kolumny dymu: 1990 m n.p.m
 AIRPACT Sparametryzowana wysokość dymu : 2700 m n.p.m.
 WRF-SFIRE Obliczona wysokość dymu: 2214 m n.p.m

- Model sprzężony bardziej realistycznie określił geometrię dymu
- Lepsza geometria (wysokość) dymu zaowocowała dokładniejszymi szacowaniami stężeń powierzchniowych



Analiza stężeń dymu – WRF-SFIRE vs. klasyczny AIRPACT

Uśredniona Statystyka Stężeń PM2.5



Podsumowanie

- Modele sprzężone mogą być wykorzystane do symulacji i prognoz rozprzestrzeniania dymu
- Nawet w skomplikowanych sytuacjach model sprzężony potrafi uchwycić kluczowe procesy odpowiedzialne za rozprzestrzenianie dymu
- Możliwość dynamicznej symulacji pożaru wraz z konwekcyjnym wznoszeniem pozwala na realistyczne odwzorowanie dymu
- Możliwe jest też podejście hybrydowe integrujące podskalowy model sprzężony z modelem transportu chemicznego
- Największą zaletą podejścia hybrydowego jest lepsze przedstawienie pionowego rozkładu dymu w modelu sprzężonym w porównaniu z prostymi parametryzacjami off-line.