

Zdarzenie meteorologiczne: Intensywne opady oraz burze

Opracowanie przygotowali:

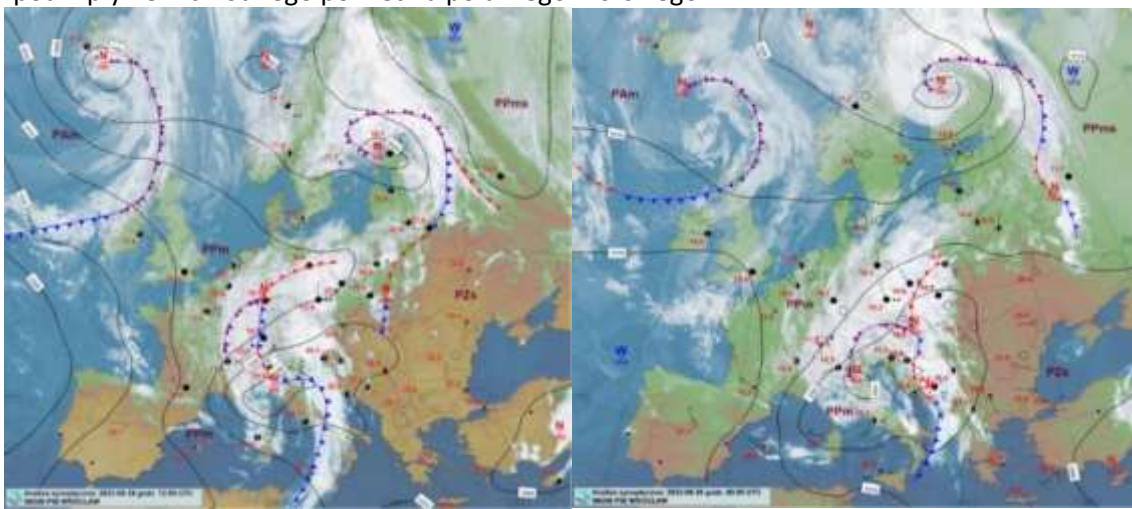
Kierownik zespołu: dr Grzegorz Duniec
mgr Mateusz Zamajtys
mgr Robert Pyrc
mgr Radosław Drożdź
mgr Małgorzata Bachmatiuk
dr Joanna Wiczorek

1. Opis sytuacji synoptycznej

Analiza sytuacji synoptycznej w dn. 29-30.08.2023 r.

Noc 28/29.08.2023

Istotnym czynnikiem odpowiedzialnym za rozwój zjawisk nawałnicowych w dn. 29-30.08.2023 było powstanie fali frontowej (a następnie płytkiego niżu wtórnego), która rozwinęła się na południe od granicy polsko-słowackiej w dn. 28.08.2023 r. W wyniku tego na południowym wschodzie Polski oddziaływał front ciepły, za którym napływało upalne powietrze zwrotnikowe. Pozostały obszar kraju był pod wpływem chłodnego powietrza polarnego morskiego.



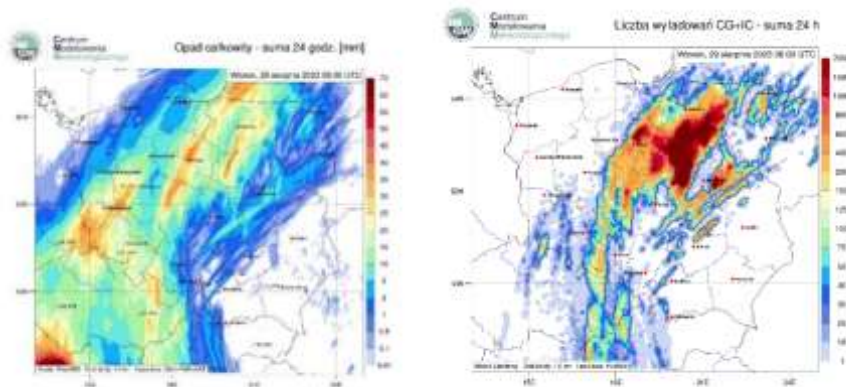
Rys. 1 Mapa synoptyczna Europy z dn. 28.08.2023 r. z godz. 12 UTC i z godz. 00.00 UTC dn. 29.08.2023 r.

W dniu 28.08, a w szczególności w nocy 28/29.08.2023 r. w tylnej części ciepłego frontu atmosferycznego, który sukcesywnie przemieszczał się w kierunku północnym i północno-zachodnim, uformowały się burze z intensywnymi opadami deszczu, wędrujące z Opolszczyzny i Dolnego Śląska przez Wielkopolskę i Kujawy na północ i północny wschód w kierunku Warmii i Mazur. Opady pochodzenia burzowego występujące nocą przeważnie przyniosły sumy w zakresie od 20 mm do 40 mm, punktowo do 60 mm. Od Mazowsza po Mazury notowano również silne porywy wiatru osiągające prędkość 60-80 km/h.

Najwyższe sumy opadów z posterunków meteorologicznych:

- warmińsko-mazurskie: Kuligi 59,5 mm, Mikołajki 36 mm, Świętajno 30,9 mm;
- kujawsko-pomorskie: Toruń 44,6 mm;
- mazowieckie: Mława 37,7 mm;
- wielkopolskie: Sępca 33,1 mm;

- dolnośląskie (Przedgórze Sudeckie): Sulików 51,6 mm, Szklarska Poręba 48,5 mm, Pobiedna 46 mm, Jakuszyce 44 mm, Jedlina-Zdrój 41,4 mm.

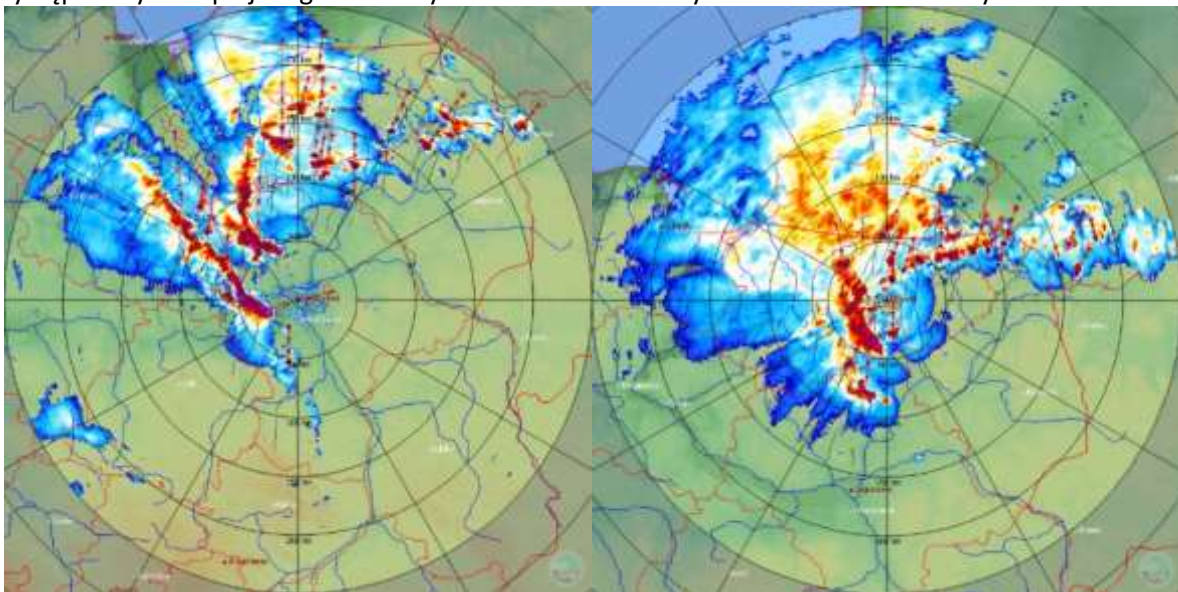


Rys. 2 Suma opadów oraz całkowita liczba wyładowań atmosferycznych za dobę od 28.08.2023 06 UTC do 29.08.2023 06 UTC.

Najsilniejsze porywy wiatru z posterunków meteorologicznych:

- mazowieckie: Mława 22 m/s, Płock 17,4 m/s;
- warmińsko-mazurskie: Mikołajki 20,9 m/s.

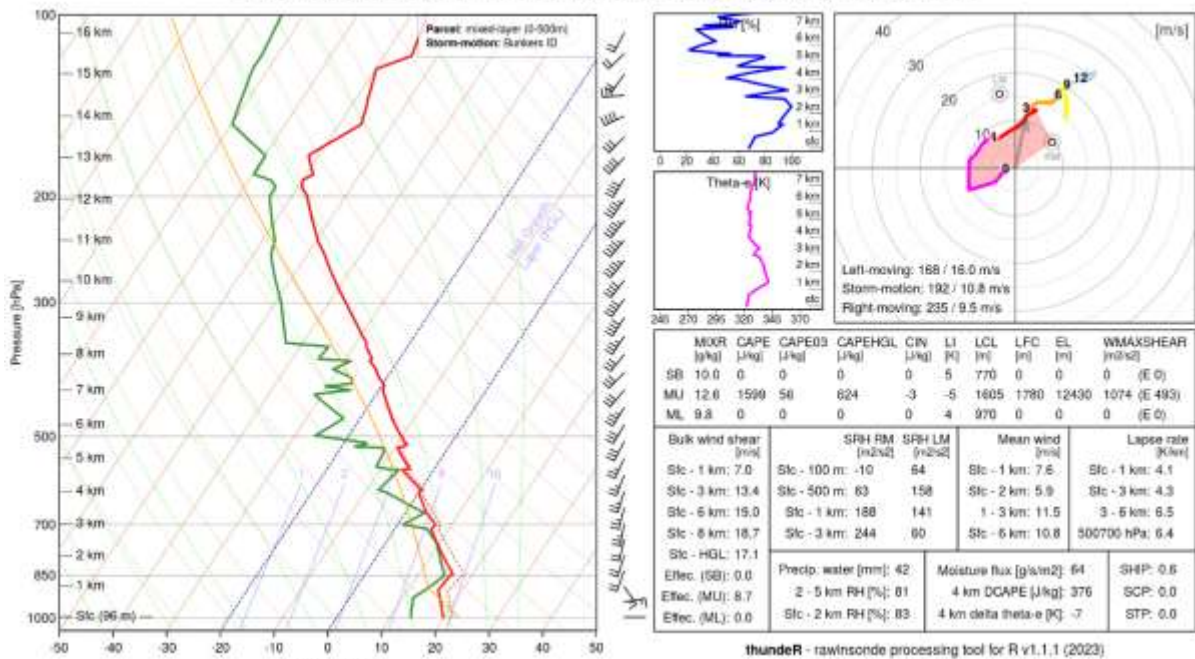
Za wyższe sumy opadów odpowiedzialne było przemieszczanie się struktur burzowych w postaci burz wielokomórkowych kilka razy nad danym obszarem. Silniejsze porywy wiatru występowały na lepiej zorganizowanych odcinkach burzowych o charakterze liniowym.



Rys. 3 Skany radarowe z dn. 29.08.2023 (od lewej) z godz. 03:35 UTC z Legionowa i 05:05 UTC z Uźrank (produkt CMAX + przewidywana trajektoria komórek burzowych na kolejne 30 minut)

Sondaż aerologiczny z Legionowa z godz. 00 UTC dn. 29.08.2023 stwarzał ryzyko rozwoju burz z tzw. konwekcji uniesionej (energia MUCAPE do około 1600 J/kg). Podwyższonej chwiejności atmosfery towarzyszył też wzmożony przepływ powietrza oraz jego ścinanie prędkościowe (warstwa 0-3 km: 13,4 m/s, warstwa 0-6 km: 19 m/s), jak i kierunkowe (SRH RM > 200 m²/s²). Ponadto zarejestrowano znaczną zawartość pary wodnej w słupie powietrza (TPW 42 mm).

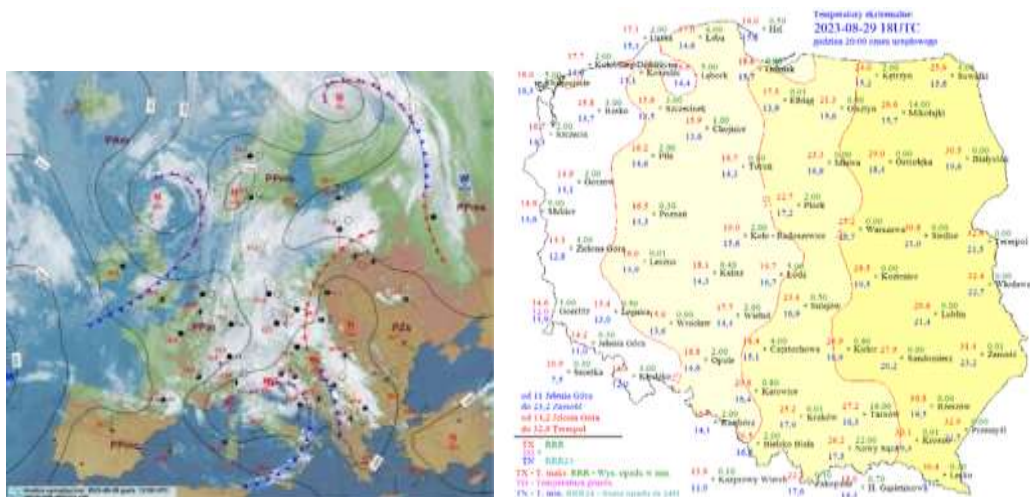
WMO ID: 12374 (20.97 E 52.40 N), 29 Aug 2023 (Tuesday) 0000 UTC



Rys. 4 Sondaż aerologiczny z Legionowa z godz. 00 UTC dn. 29.08.2023 (źródło obrazu: [thundeR - rawinsonde package browser](#))

Dzień 29.08.2023

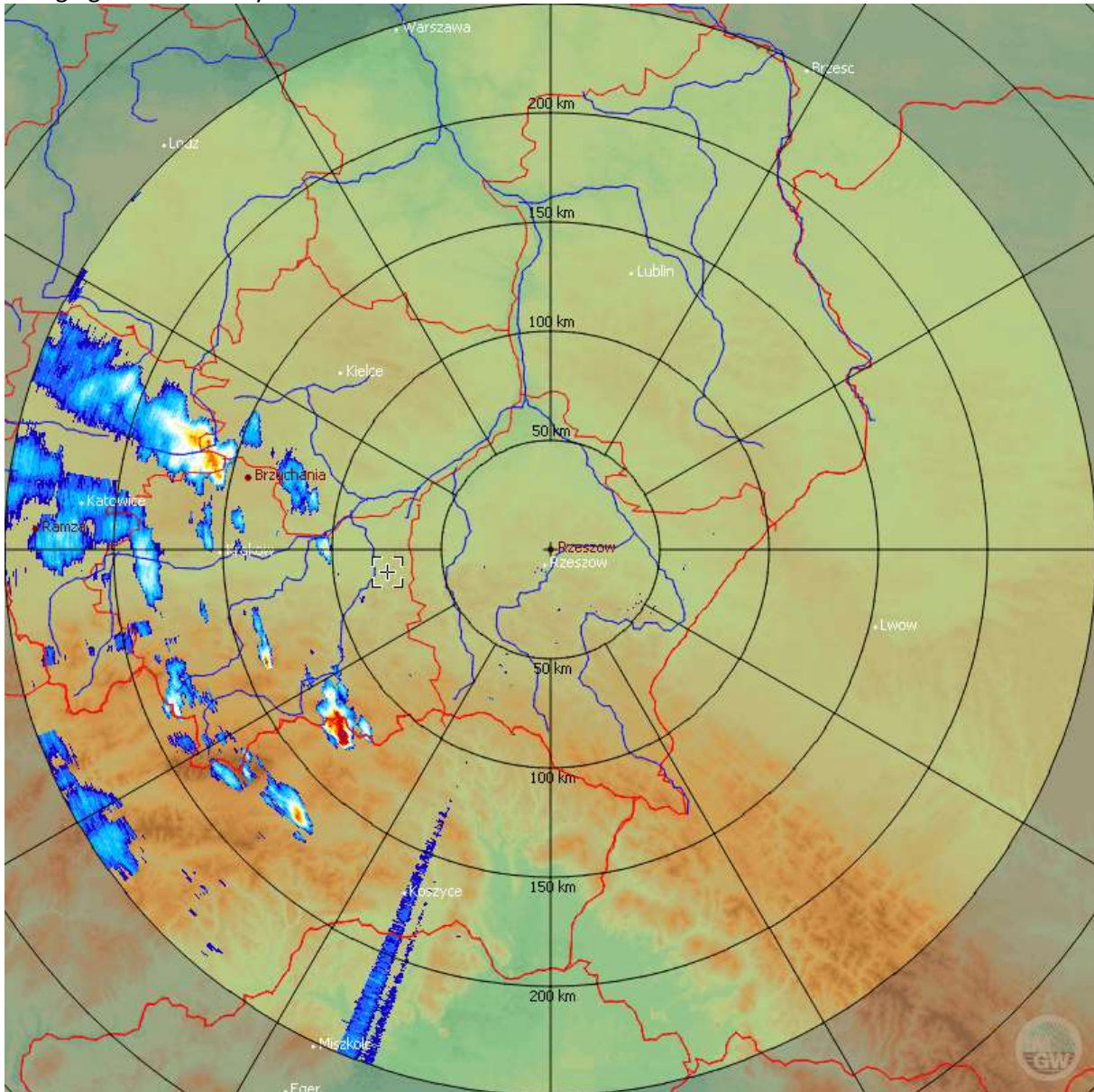
W ciągu dnia 29.08.2023 r. na zachodzie i w centrum kraju zaznaczała się rozległa strefa zachmurzenia warstwowego związana z frontem ciepłym i słabymi opadami deszczu o charakterze jednostajnym, na wschodzie zaś napływało gorące powietrze zwrotnikowe, któremu początkowo towarzyszyło małe zachmurzenie. Doprowadziło to do powstania bardzo dużego kontrastu termicznego na obszarze Polski. Na zachodzie temperatura maksymalna w dzień 29.08.2023 r. wyniosła jedynie 14-15°C (Zielona Góra, Gorzów, Słubice), podczas gdy na wschodzie osiągała on 32-33°C (Przemyśl, Terespol, Włodawa).



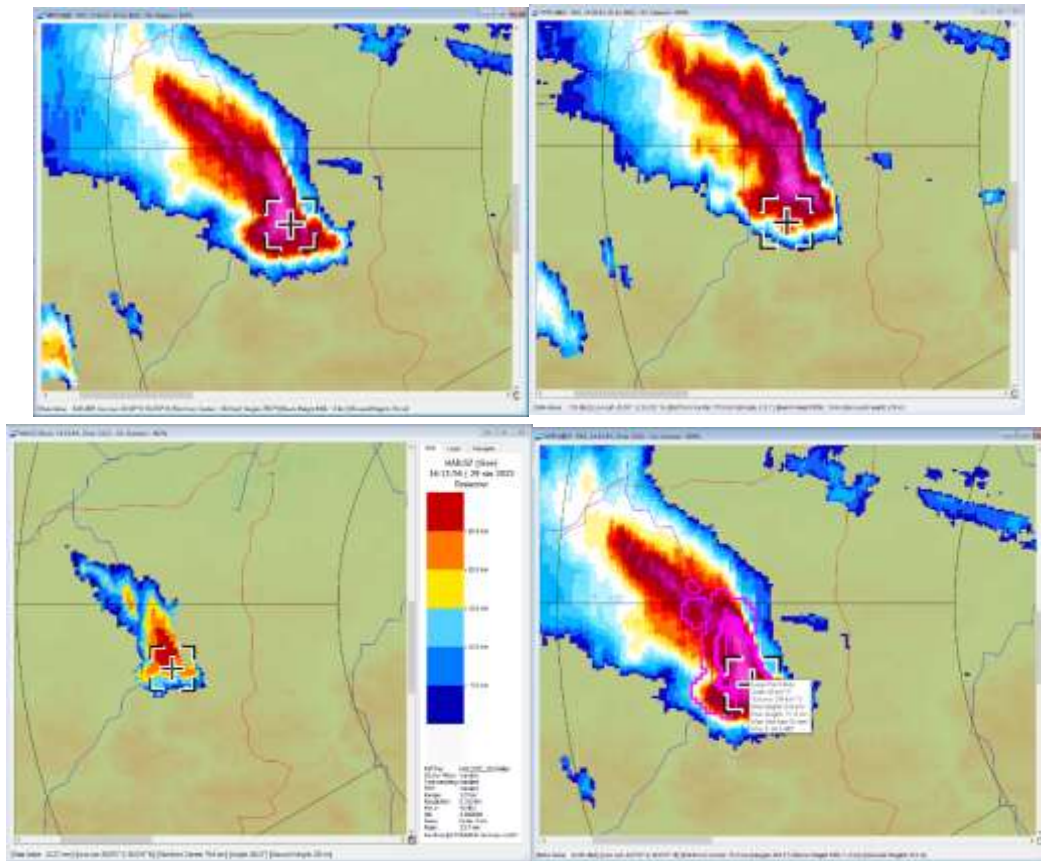
Rys. 5 Mapa synoptyczna Europy z dn. 29.08.2023 r. z godz. 12 UTC (od lewej) i temperatura maksymalna w Polsce z godz. 18.00 UTC w dniu 29.08.2023 r. liczona za ostatnie 12 h (w kolorze żółtym - izotermy).

Wyraźnie zaostrowany gradient temperatury na stosunkowo niedużym obszarze naszego kraju, bliskie sąsiedztwo falującego frontu atmosferycznego oraz dzienne ogrzanie zasobnej w wilgoć masy powietrza zwrotnikowego doprowadziło do stosunkowo szybkiej inicjacji nowych zjawisk burzowych w

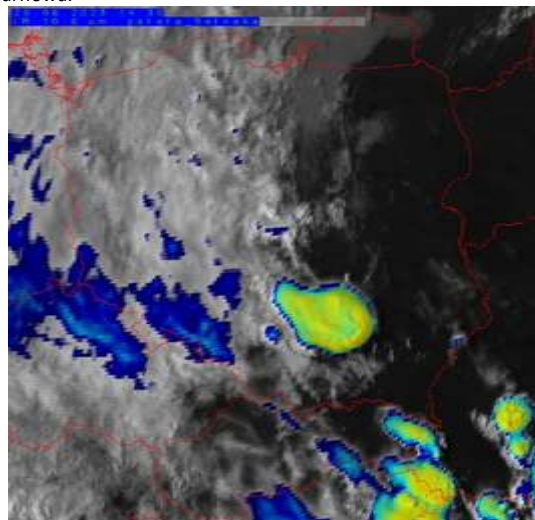
godzinach popołudniowych. Pierwsza aktywniejsza komórka burzowa uformowała się na południowych krańcach Małopolski w Kotlinie Sądeckiej (rejon Piwnicznej Zdroju – między wzniesieniami Beskidu Sądeckiego) około godziny 13:00 UTC. Szybko przybrała postać superkomórki burzowej, w której obrębie doszło do zjawiska „splitting supercells”, dzieląc ją na superkomórkę lewoskrętną i prawoskrętną. Lewoskrętna komórka kierując się na północny zachód dość szybko osłabła, zaś prawoskrętna wzmacniając się przeszła m.in. przez rejon Tarnowa, przynosząc intensywne gradobicie, po czym dalej skierowała się nad Ziemię Świętokrzyską i rejon Staszowa – za tą miejscowością wyraźnie tracąc na aktywności i stopniowo zanikając. Produkty radarowe wskazywały w rejonie Tarnowa wystąpienie gwałtownych zjawisk towarzyszących – przede wszystkim ze strony dużego gradu o średnicy 3-5 cm.



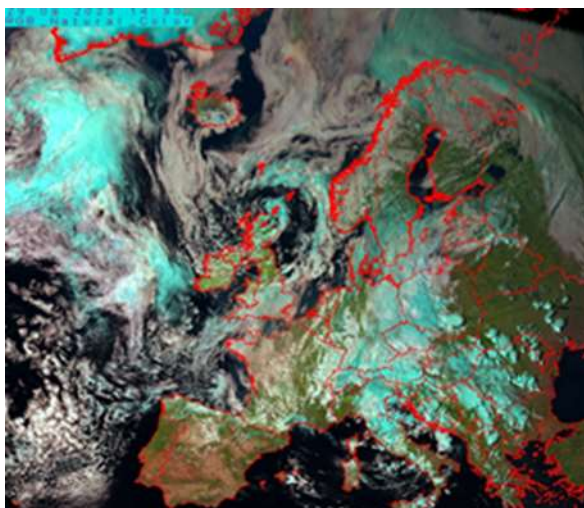
Rys. 6 Animacja rozwoju superkomórki burzowej, która przemieściła się nad rejonem Tarnowa (produkt CAPPI od godz. 12:30 UTC do godz. 15:00 UTC, radar z Rzeszowa – „krzyżyk” w prostokącie to lokalizacja Tarnowa)



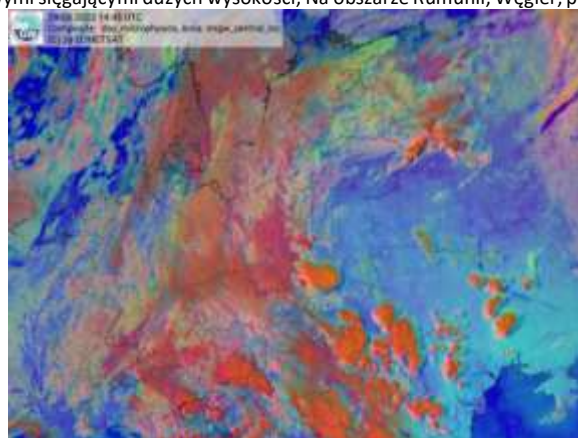
Rys. 7 Skany radarowe z Rzeszowa z godziny 14:13 UTC (lewa kolumna) i 14:18 UTC (prawa kolumna); górny wiersz produkt MPPI z elewacji 0,5°; w dolnym wierszu po lewej produkt HAILSZ sugerujący rozmiar gradzin, po prawej naniesiony produkt SWI na MPPI sugerujący wystąpienie dużego gradu w rejonie Tarnowa.



Rys. 8 Zdjęcie satelitarne w podczerwieni z godz. 14.30 UTC dn. 29.08.2023 r. i popołudniowe silnie wypiętrzone chmury konwekcyjne (żółte wierzchołki)



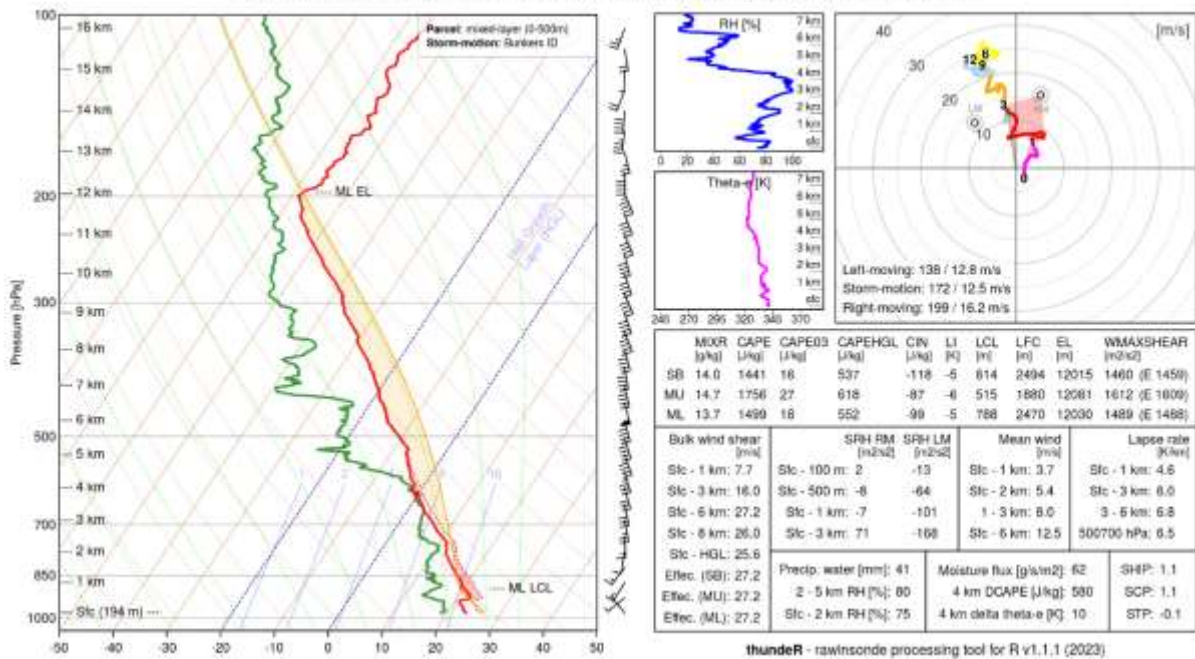
Rys. 9 Zdjęcie satelitarne Natural Color z dn. 29.08.2023 godz. 14.30 UTC; Polska wschodnia- bezchmurne niebo; Polska zachodnia zakryta grubymi optycznie chmurami lodowymi sięgającymi dużych wysokości; Na obszarze Rumunii, Węgier, pd. Ukrainy widać „wybuch” konwekcji



Rys. 10 Zdjęcie satelitarne „Dzienna mikrofizyka” (silnie wypiętrzone chmury burzowe- pomarańczowy; niebieskawy odcień na wschodzie Polski- duża zawartość wilgoci w powietrzu)

Sondaż aerologiczny z Tarnowa z godziny 12:00 UTC sygnalizował możliwość wystąpienia gwałtowniejszych zjawisk burzowych – podwyższona ilość energii dostępnej konwekcyjnie do około 1750 J/kg dla najbardziej niestabilnej cząstki, wilgotny profil troposfery, duża wodność atmosfery (wskaźnik TPW 41 mm), a także wyraźnie nasilone ścinanie wiatru m.in. w warstwach 0-3 km i 0-6 km, odpowiednio 16 m/s i 27,2 m/s. Zauważalne było także podwyższone ścinanie kierunkowe, faworyzujące rozwój superkomórek burzowych, choć z mezocyklonem wirującym zgodnie z ruchem wskazówek zegara (lewoskrętne). Nie bez znaczenia w kwestii rozwoju silniejszej burzy była także widoczna warstwa hamująca, po której „przebiegu” burza mogła rozbudowywać się bardzo dynamicznie.

WMO ID: 12575 (20.98 E 50.02 N), 29 Aug 2023 (Tuesday) 1200 UTC

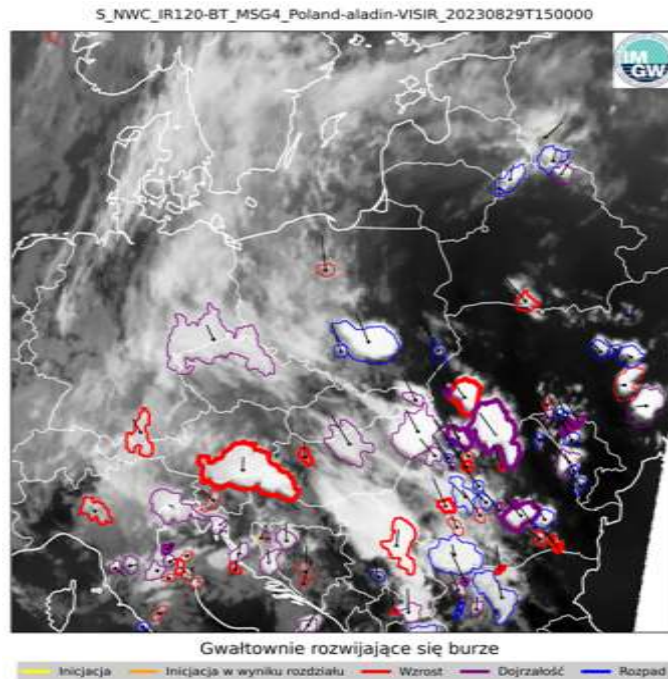


Rys. 11 Sondaż aerologiczny dla Tarnowa z godz. 12 UTC (źródło obrazu: [thundeR - rawinsonde package browser](https://thundeR-rawinsonde.org/))

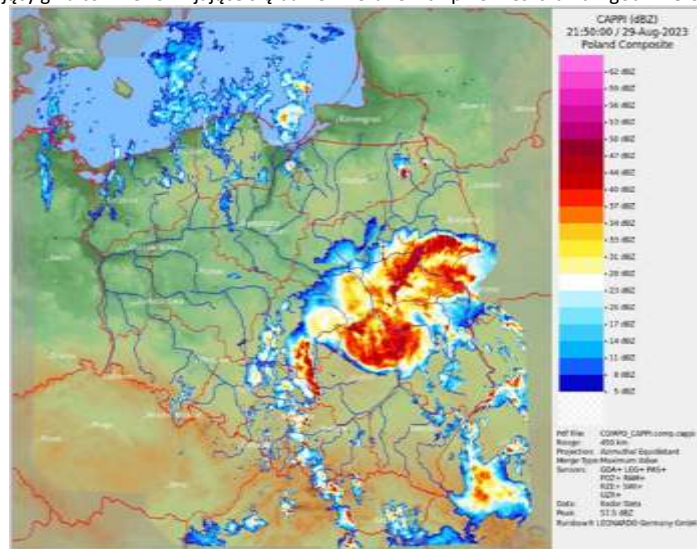
Noc 29/30.08

Największe zagrożenie i najsilniejsze zjawiska nawałnicowe tej doby, zwłaszcza pod względem powierzchni przez nie obejmowanej, związane były z wkraczającym z południa i południowego wschodu frontem chłodnym i linią zbieżności. Burze, które utworzyły się w Rumunii na wspomnianym froncie, przemieszczały się ku północy i północnemu zachodowi, przez Słowację i Ukrainę, docierając następnie do Polski. Ostatecznie połączyły się one w bardziej rozległy układ burzowy tworząc tzw. mezoskalowy układ konwekcyjny MCS, w obrębie, którego wbudowane były również superkomórki burzowe generujące silne porywy wiatru, intensywne opady deszczu i grad.

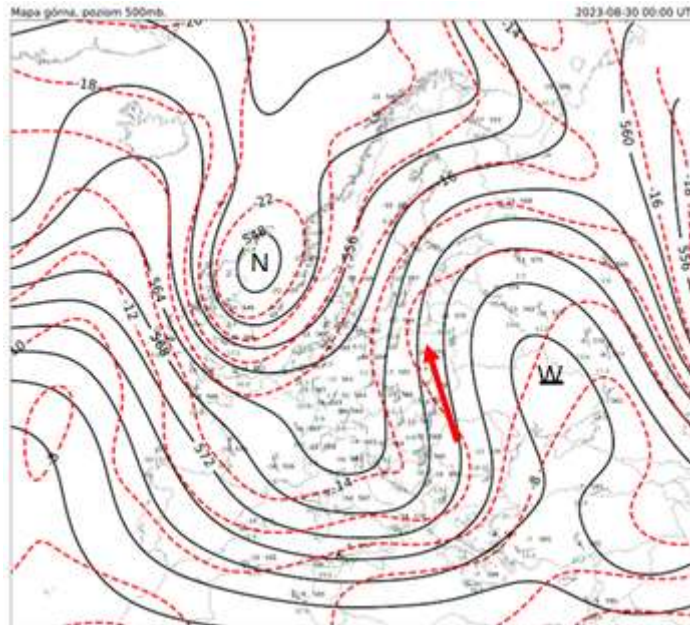
W czasie przemieszczania się układu burzowego sumy opadów osiągały przeważnie 10-20 mm, miejscami do około 30 mm. Od Podkarpacia, przez Lubelszczyznę, wschodnią część Mazowsza, Podlaskie oraz Mazury rejestrowano porywy wiatru rzędu 70-90 km/h. Układ burzowy charakteryzował się dużą aktywnością elektryczną. Początkowo, zwłaszcza na Podkarpaciu i Lubelszczyźnie, burzy towarzyszyły także opady gradu. Burza w około 5 godzin przemierzyła z południa na północ całą ścianę wschodnią naszego kraju, przyczyniając się do wielu szkód.



Rys. 12 Produkt przedstawiający gwałtownie rozwijające się burze i kierunek ich przemieszczania z godz. 15.00 UTC dn. 29.08.2023 r.



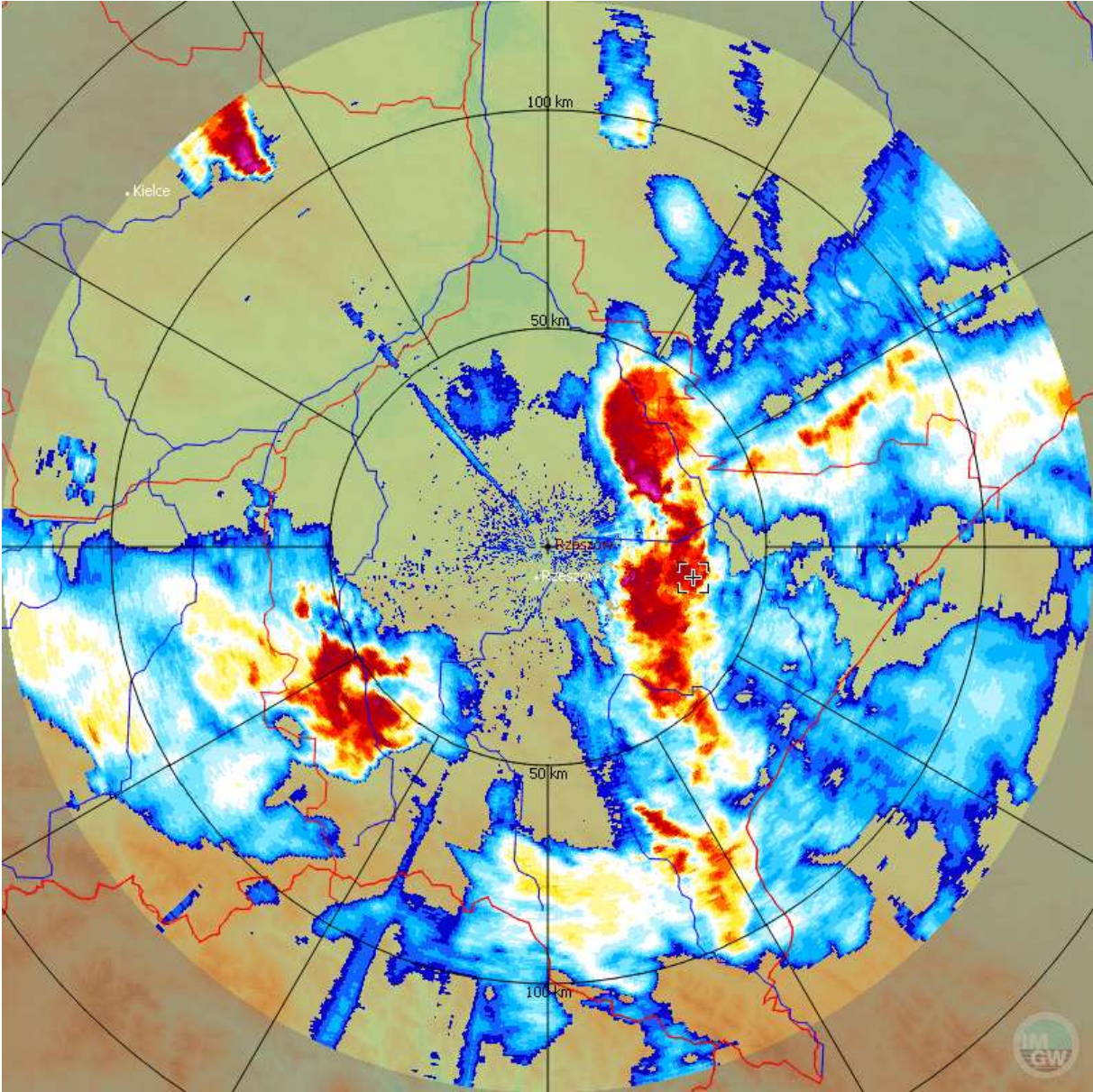
Rys. 13 Zdjęcie radarowe z godz. 21.50 UTC dn. 29.08.2023 r. przedstawiające rozległy układ konwekcyjny nad Świętokrzyskim, Mazowszem i liniowy układ nad Śląskiem, Małopolską oraz kolejne układy wkraczające z Słowacji i Ukrainy

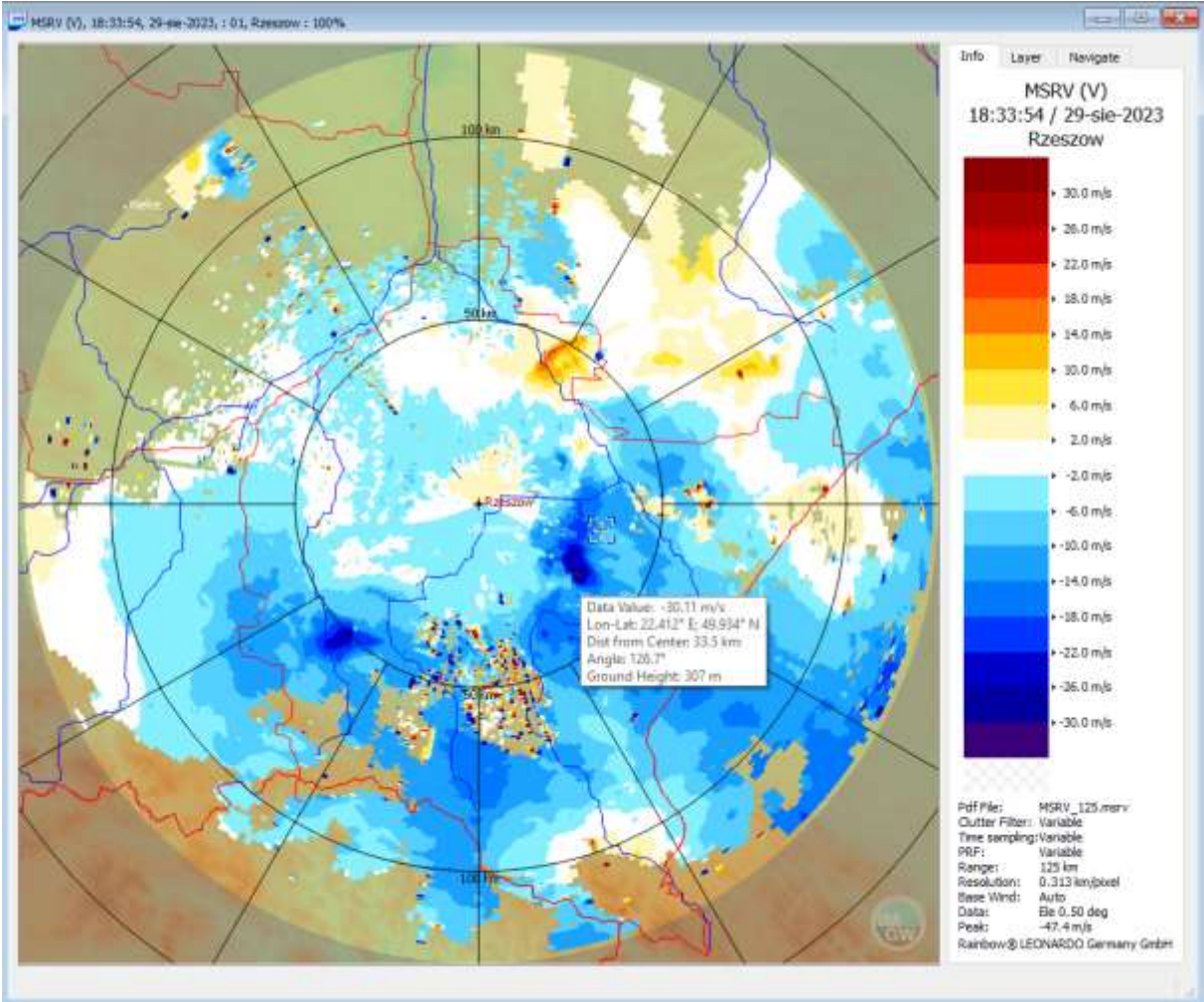


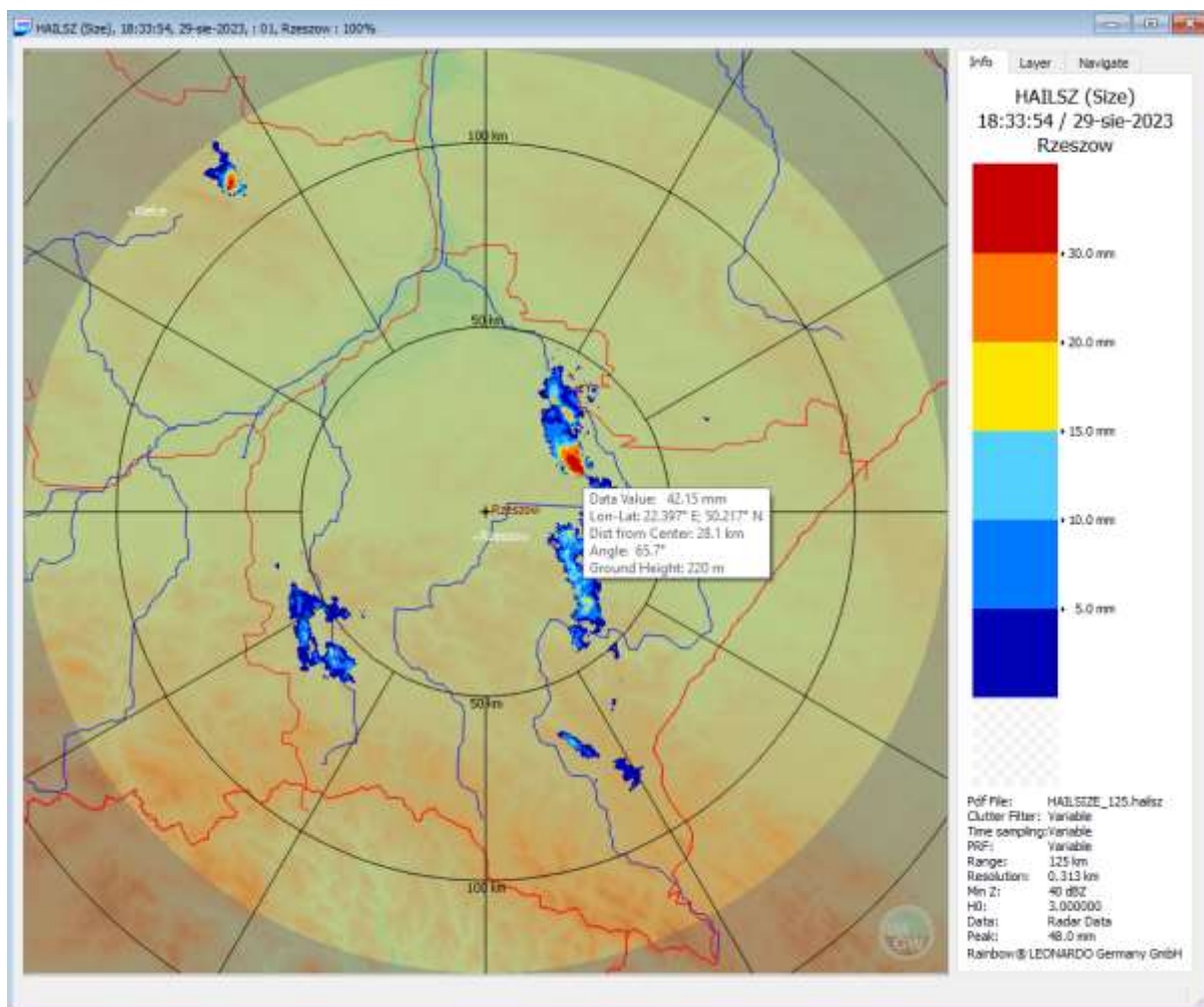
Rys. 14 Mapa górna z godz. 00 UTC z dn. 30.08.2023 r. (poziom 500 hPa- poziom sterujący odpowiadający za przepływ mas powietrza tu: zgodnie z przebiegiem rozbudowującego się klina wyżowego nad Morzem Czarnym, Ukrainą, Białorusią, front chłodny z burzami przemieszczał się ku północy i północnemu zachodowi) czarne-izohipsy, czerwone- izotermy; kierunek przepływu powietrza



Jedna z silniejszych burz przetoczyła się na Podkarpaciu w rejonie Przeworska około godziny 18 UTC. Najbliżej położona stacja meteorologiczna w Rzeszowie odnotowała porywy rzędu około 70 km/h (20,1 m/s). Na podstawie prędkości radialnych z radaru Rzeszowa można jednak domniemać, że lokalnie wiatr był silniejszy - nawet powyżej 100 km/h, najprawdopodobniej w postaci zjawiska „downburst”. Ponadto jeden z ośrodków burzowych mógł generować opady gradu o średnicy 3-4 cm.







Rys. 15 Skany radarowe z Rzeszowa z godz. 18:33 UTC – od góry po lewej zgodnie z ruchem wskazówek zegara – produkt MPPI z elewacji 0,5°, produkt MRSV z elewacji 0,5° i produkt HAILSZ.

Najwyższe sumy opadów z nocy (wybrany okres czasowy od 16 UTC do 04 UTC)

- podkarpackie: Lutowiska 111,6 mm, Leszczowate 37,8 mm, Kolbuszowa 33,1 mm, Wilcza Wola 26,9 mm, Majdan Królewski 24,3 mm, Wielkie Oczy 22,8 mm, Biecz-Grudna 22,4 mm, Mielec 22 mm, Jasło i Jarosław 20,1 mm;
- świętokrzyskie: Januszewice 22,2 mm, Bieliny Poduchowne 20,0 mm;
- łódzkie: Silniczka 28,2 mm;
- lubelskie: Nielisz 22,5 mm, Puławy 21,1 mm, Annopol 20,6 mm;
- podlaskie: Zaruzie 25,3 mm, Tyszki Wądołowo 21,5 mm.

Najsilniejsze porywy wiatru w okresie od 16 UTC do 04 UTC dnia następnego:

- Bezek 27,6 m/s (~ 100 km/h);
- Lublin-Radawiec i Olecko 25,7 m/s (~95 km/h);
- Wielkie Oczy 25,5 m/s (~95 km/h);
- Cicibór i Cieszanów 23,4 m/s (~85 km/h);
- Włodawa 21,9 m/s (~79 km/h).

Maksymalny opad za dobę hydrologiczną tj. od godz. 06 UTC dn. 29.08 do godz. 06UTC dn. 30.08.2023 r.

- 111,8 mm Lutowiska;
- 87,6 mm Kuligi;

- 38,4 mm Leszczowate;
- 35,2 mm Stuposiany;
- 34,2 mm Silniczka.

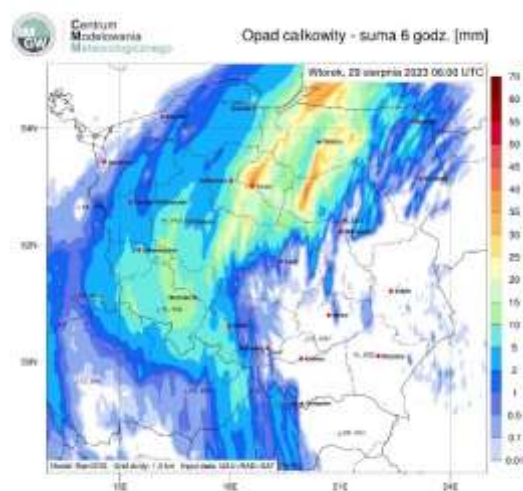
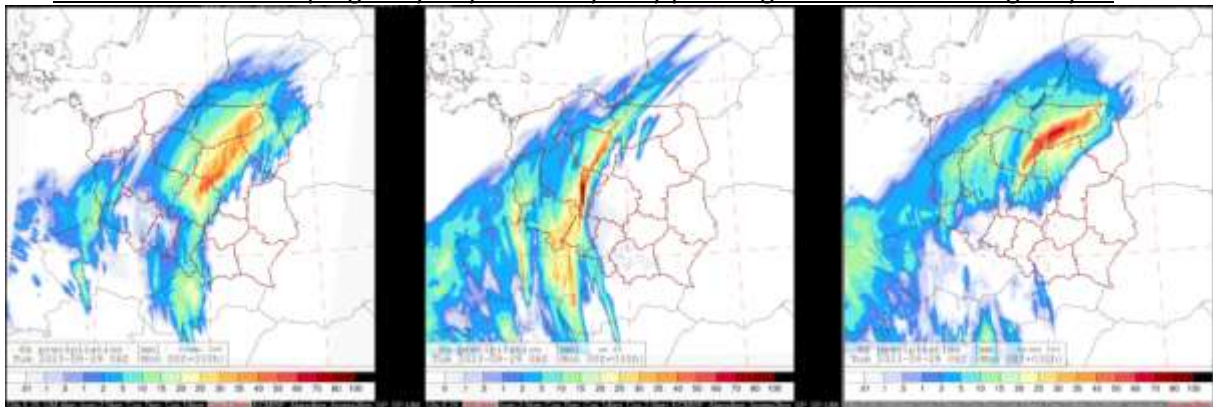
Maksymalny opad za dobę hydrologiczną tj. od godz. 06 UTC dn. 30.08 do godz. 06UTC dn. 31.08.2023 r.

- 72 mm Jaśliska;
- 60,1 mm Wiśloczek;
- 53,4 mm Tomaszów Lubelski;
- 51,9 mm Krynica;
- 50,1 mm Ptaszkowa;

Maksymalny godzinowy opad za dobę od godz. 00 UTC dn. 29.08.2023 r. do godz. 00 UTC dn. 30.08.2023 r

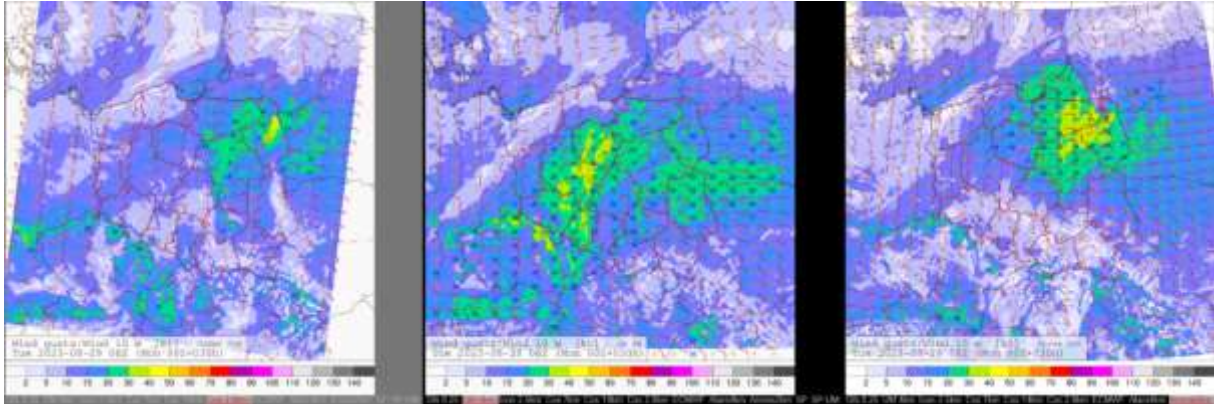
- 72,2 mm Lutowiska;
- 43,8 Kuligi (2 x ta sama wartość o godz. 19 UTC i o godz. 20 UTC);
- 32,9 mm Stuposiany;
- 30,9 mm Kolbuszowa;
- 29 mm Mikołajki.

2. Ocena materiałów prognostycznych i rzeczywisty przebieg zdarzeń meteorologicznych



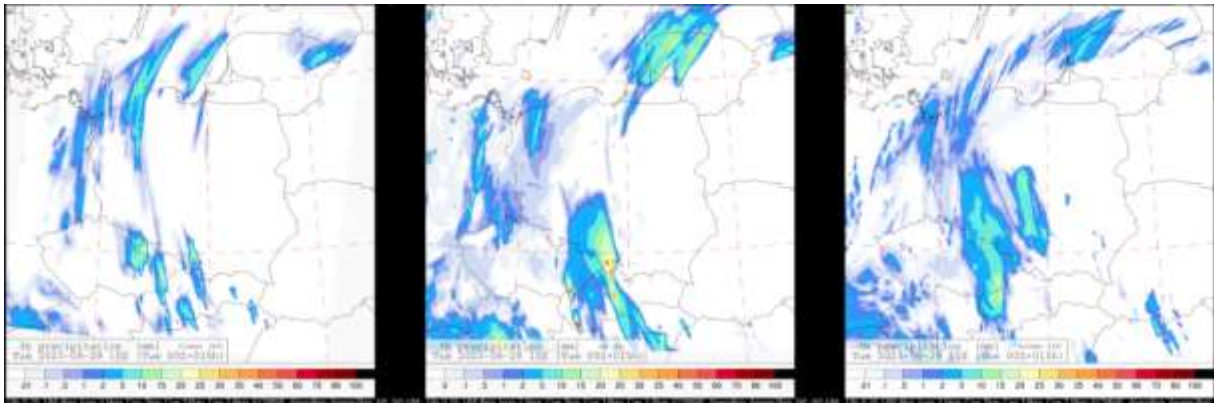
Rys. 16. Pole opadu całkowitego za 6 godzin.

Porównanie wyliczeń modeli prognostycznych względem 6-godzinnego okresu od godz. 00 UTC do godz. 06 UTC dn. 29.08 w trakcie przemieszczania się najlepiej rozbudowanych i silnych burz w rejonie frontu ciepłego (przebieg z godz. 00 UTC dn. 28.08). Wydaje się, iż najlepsze odwzorowanie pola opadów zasugerował model AROME. Dobrze poradził sobie również model COSMO 2k8, gorzej model UM 4.0 km.



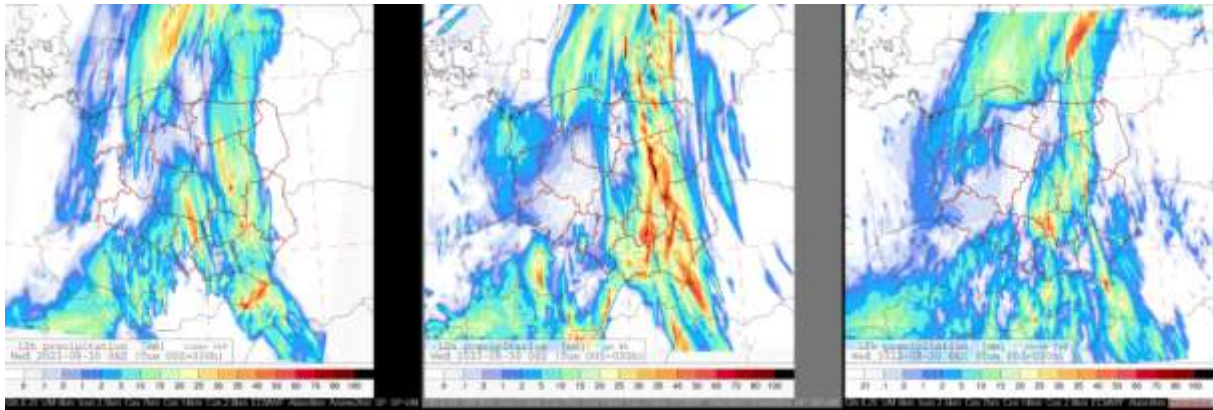
Rys. 17 Poryw wiatru, 29 VIII 2023 roku, godzina 06 UTC.

Porównanie modeli pod względem porywów wiatru na godzinę 06 UTC dn. 29.08 w trakcie przemieszczania się burz nad Mazowszem i Mazurami (przebieg z 28.08 z godz. 00 UTC). Jeśli chodzi o porywy wiatru to ponownie najbliższe rzeczywistych pomiarów był model AROME, który m.in. na Mazurach, a wcześniej także na Mazowszu wskazywał możliwość wystąpienia prędkości rzędu około 20 m/s. Lokalnie podwyższone wartości porywów liczył także COSMO 2.8, gorzej sytuację przewidywał model UM 4.0 km.

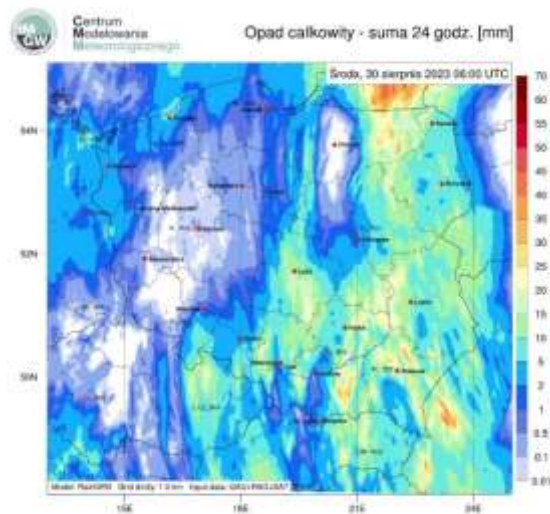


Rys. 18. Pole opadu, suma za 3 godziny, 30 VIII 2023 roku, godzina 15 UTC.

W dzień 29.08 rozwoju silnej superkomórki dającej intensywne gradobicie wydaje się, iż nie przewidywał żaden z analizowanych modeli – AROME, COSMO, UM – przynajmniej na podstawie pól opadów. AROME do godziny 15 UTC punktowo widział sygnały opadów konwekcyjnych w rejonie Podkarpacia, jednakże nie tak rozbudowanych jak miało to w rzeczywistości miejsce. Od Śląska po Ziemię Łódzką modele UM i AROME widziały z kolei dość dobrze rozwój opadów mniej aktywnych struktur burzowych.

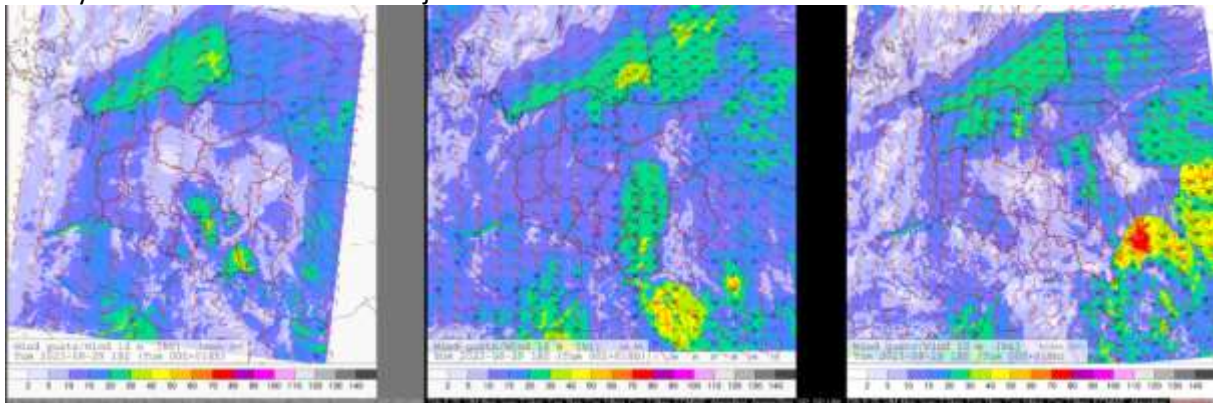


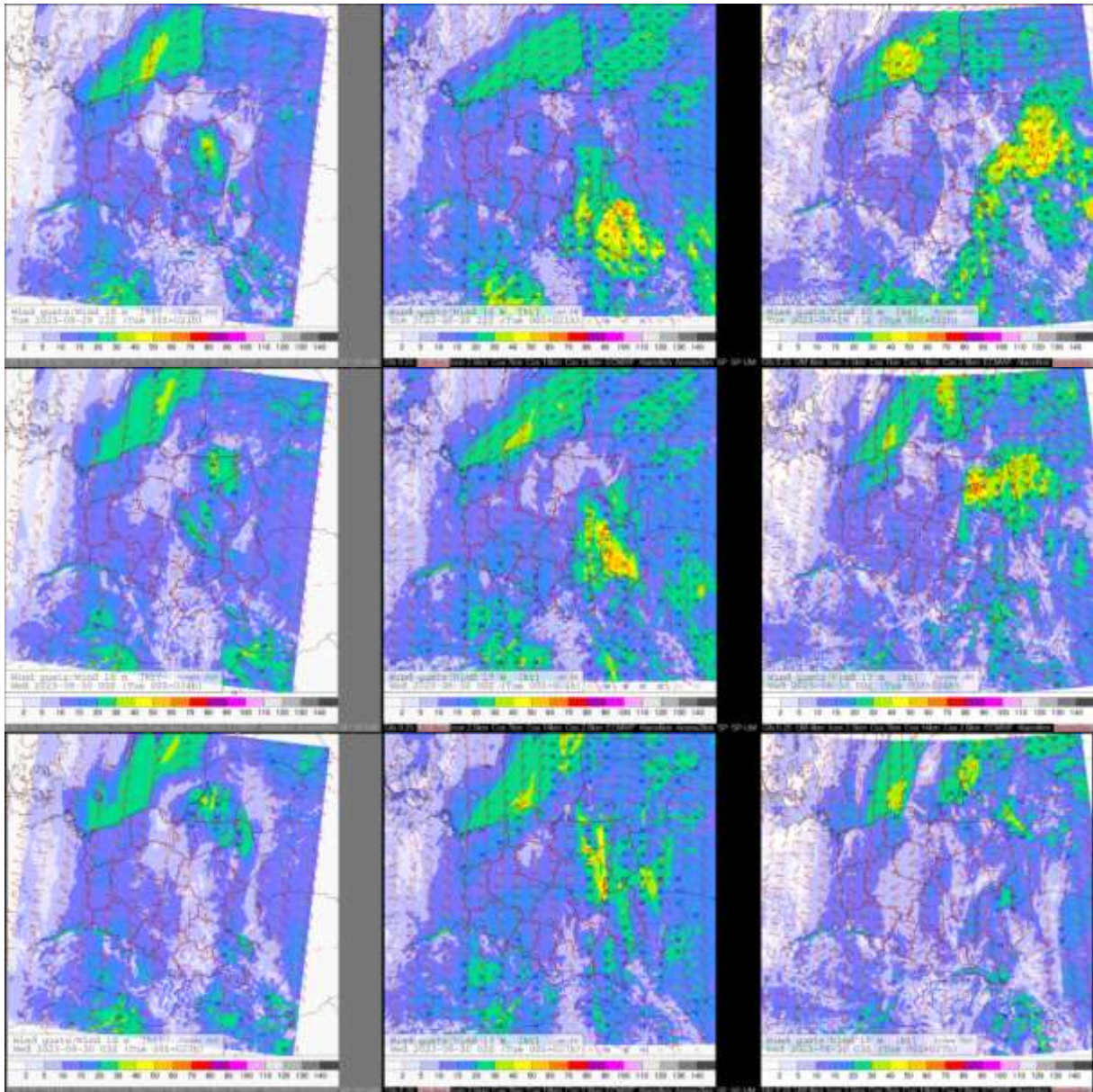
Rys. 19. Pole opadu, suma za 12 godzin, 30 VIII 2023 roku, godzina 06 UTC.



Rys. 20. Pole opadu całkowitego, suma za 24 godzin, 30 VIII 2023 roku, godzina 06 UTC.

Porównanie wyliczeń pól opadów modeli COSMO 2.8, UM 4.0, AROME 2.0 względem sum opadów z produktu GRS wskazuje, iż najlepiej z ich oszacowaniem poradziły sobie modele COSMO i AROME – przede wszystkim pod kątem ilości opadów, gdyż oba modele przesunęły strefę ich występowania bardziej z kierunku zachodniego, niż to miało miejsce w rzeczywistości. Model UM przeszacował sumy opadów – w rzeczywistości ze względu na stosunkowo szybkie przemieszczanie się układu burzowego nie były one tak wysokie jak przypuszczał. Podobnie jak modele COSMO i AROME – wskazywał na ich obecność bardziej w kierunku zachodnim.



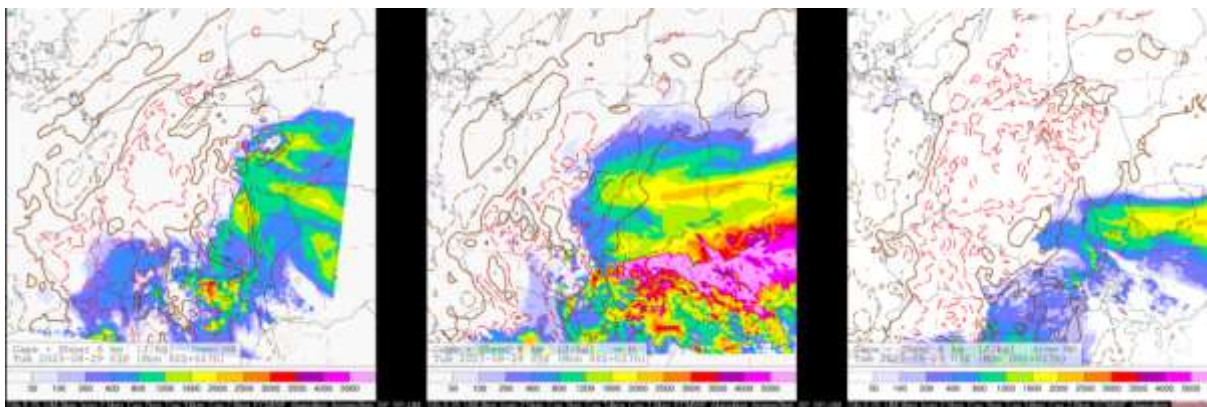


Rys. 21. Poryw wiatru.

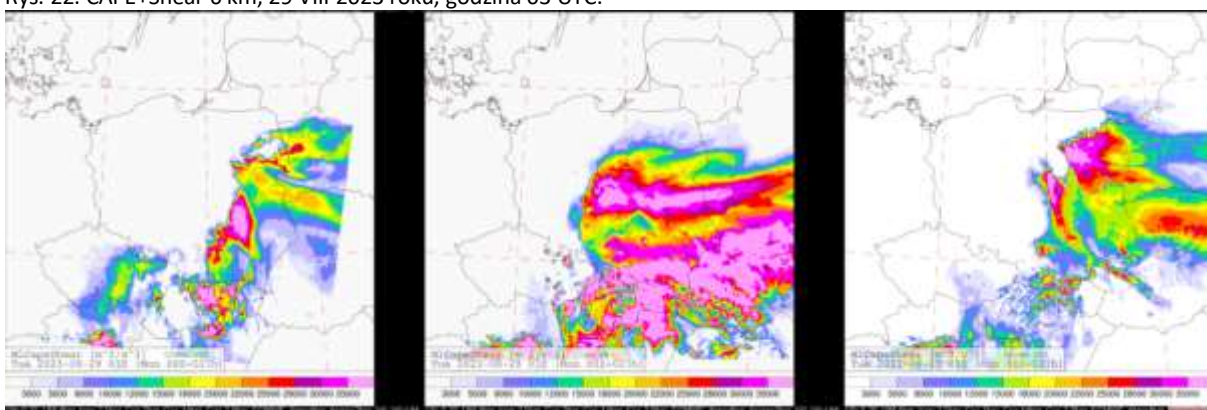
Przeglądając wyliczenia porywów wiatru najbliższej rzeczywistości był model AROME (przebieg modeli z 29.08. 00 UTC). Dość dobrze szacował on prędkość porywów, jak i czas oraz miejsce ich wystąpienia. Wyższe prędkości notował także model UM, ale czas ich wystąpienia był mniej spójny z rzeczywistością, z obszarem poradził sobie również nie najgorzej. Najmniej wiarygodny był model COSMO - miał on największy problem z oszacowaniem prędkości silnych porywów wiatru na czele przemieszczającego się układu burzowego.

3. Opis sytuacji na produktach modelowych

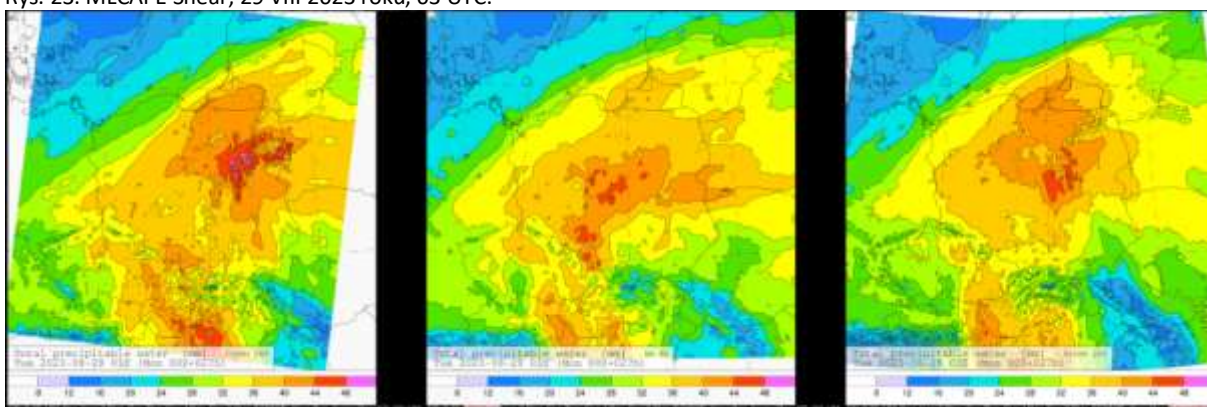
Noc 28/29.08.2023



Rys. 22. CAPE+Shear 6 km, 29 VIII 2023 roku, godzina 03 UTC.

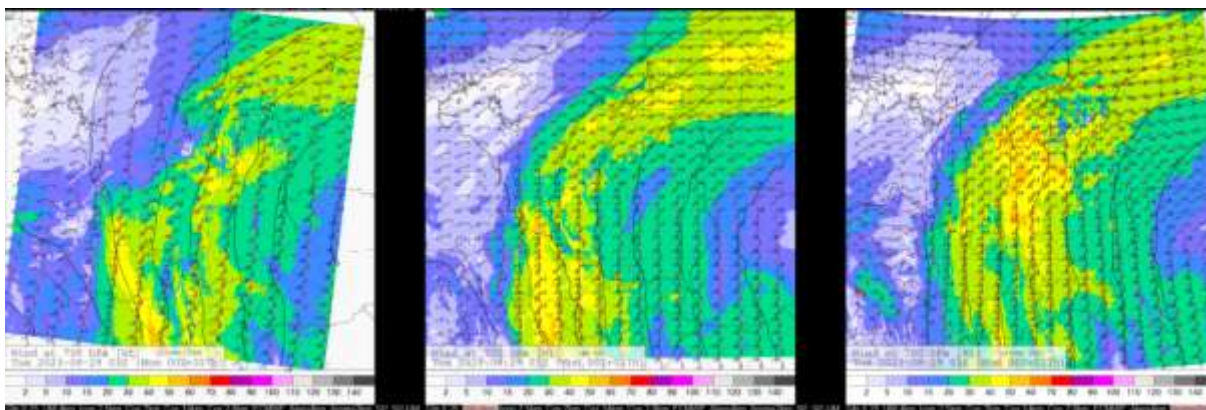


Rys. 23. MLCAPE Shear, 29 VIII 2023 roku, 03 UTC.



Rys. 24. Masa pary wodnej zawartej w całym stoku atmosfery o powierzchni podstawy równym metrowi kwadratowemu 29 VIII 2023 roku, 03 UTC.

Pod kątem rozwoju lepiej rozbudowanych formacji burzowych modele wskazywały na wystąpienie dość wyraźnie podwyższonej energii dostępnej konwekcyjnie w okolicach 1500 J/kg (najwięcej UM, nieco mniej COSMO i najmniej AROME). Sondaż aerologiczny z Legionowa z godz. 00 UTC dn. 29.08 potwierdził takie wartości energii. Jednocześnie spodziewane było ścinanie prędkościowe w warstwie 0-6 km na poziomie około 20 m/s, co również pokrywało się z pomiarami z sondażu aerologicznego. Przełożyło się to na prognozowane wysokie i bardzo wysokie wartości wskaźnika CapeShear, niemalże we wszystkich analizowanych modelach. W sygnalizowanej przez numeryczne prognozy strefie konwekcji w pobliżu ciepłego frontu atmosferycznego spodziewano się zalegania masy powietrza o bardzo dużej zawartości pary wodnej w słupie powietrza, charakteryzującej się wartościami wskaźnika TPW powyżej 40 mm – co również zostało potwierdzone przez sondaż w Legionowie.

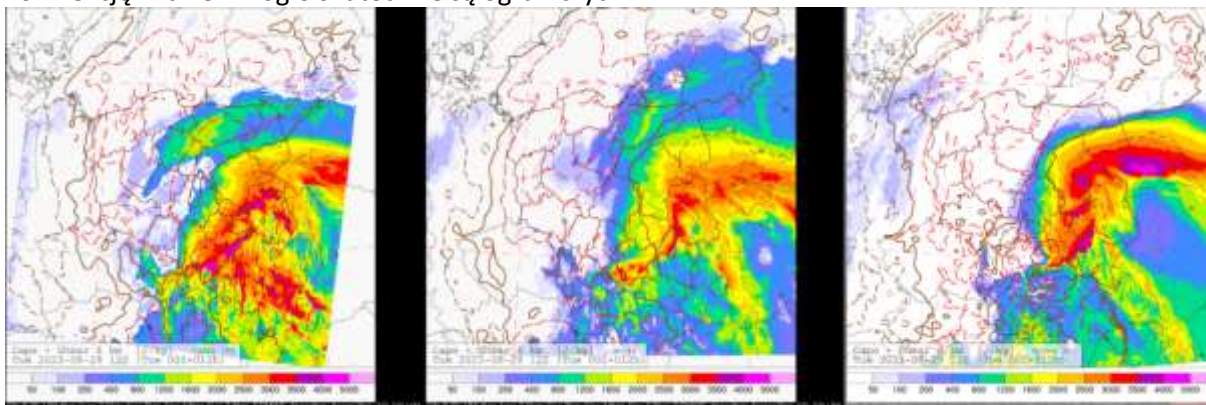


Rys. 25. Pole wiatru na wysokości 700 hPa.

Przeptyw powietrza równoległy do frontu ciepłego i ciągły dopływ świeżej wilgotnej i bardzo ciepłej masy powietrza z południa stwarzał ryzyko występowania wydajnych opadów pochodzenia burzowego i przechodzenia kilku ośrodków konwekcyjnych nad jednym obszarem (dobudowując się od południa) w rezultacie dając znaczne sumy opadów. Wyraźnie podwyższone wskaźniki opisujące środowisko kinematycznie dawały z kolei szansę na wystąpienie bardziej zorganizowanych struktur burzowych o potencjale wiatrowym.

Dzień 29.08.2023

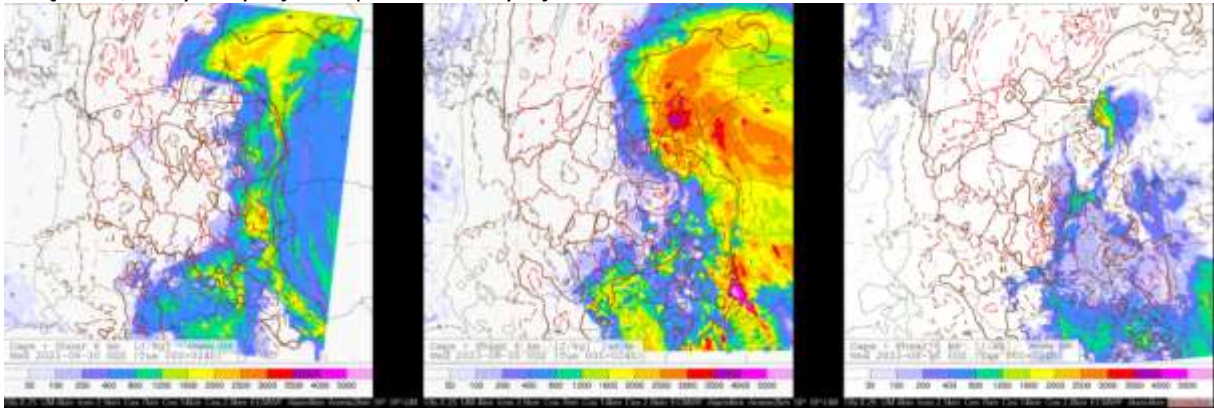
W dzień w napływającej za frontem ciepłym zwrotnikowej masie powietrza, modele prognozowały wzrost energii dostępnej konwekcyjnie nawet do wartości około 3000 J/kg i więcej. Sondaże aerologiczne z Legionowa i Tarnowa z godz. 12 UTC wskazywały na wartości w okolicach 1500-2000 J/kg, choć najwyższe wartości prognozowane były na nieco innym obszarze niż przytoczone lokalizacji. W ciągu dnia, zwłaszcza obszar od Małopolski, po Mazowsze, znajdował się w pasie pokrycia najwyższych wartości energii chwiejności oraz pionowego ścinania wiatru, m.in. w warstwie 0-6 km na poziomie 20-25 m/s. Wyniki pomiarów aerologicznych z Legionowa i Tarnowa wydawały się potwierdzać te prognozy, odpowiednio w tych lokalizacjach zmierzono 21,3 m/s oraz 27,2 m/s. Sondaże aerologiczne wskazywały także na istnienie warstw hamujących konwekcję, co modele też raczej to potwierdzały, m.in. przez brak spodziewanych w ciągu dnia znacznych opadów burzowych w omawianym pasie (obrazki załączane już wcześniej). Takie wyniki modeli numerycznych dawały sygnał do możliwości rozwoju bardziej rozproszonych, izolowanych burz, m.in. superkomórkowych, na lokalnych liniach zbieżności, ale nie było to nic pewnego. Brak istotnych procesów wspomagających konwekcję w dzień mogło skutecznie są ograniczyć.



Rys. 26. CAPE+Shear 6 km, 29 VIII 2023 roku, godzina 12 UTC.

W nocy wraz z wypieraniem bardzo ciepłej i wilgotnej masy powietrza modele wskazywały na przemieszczanie się najkorzystniejszego środowiska do rozwoju burz zorganizowanych burz w kierunku północnym, nadal przeliczając wysokie wartości energii dostępnej konwekcyjnie, czy ścinania wiatru.

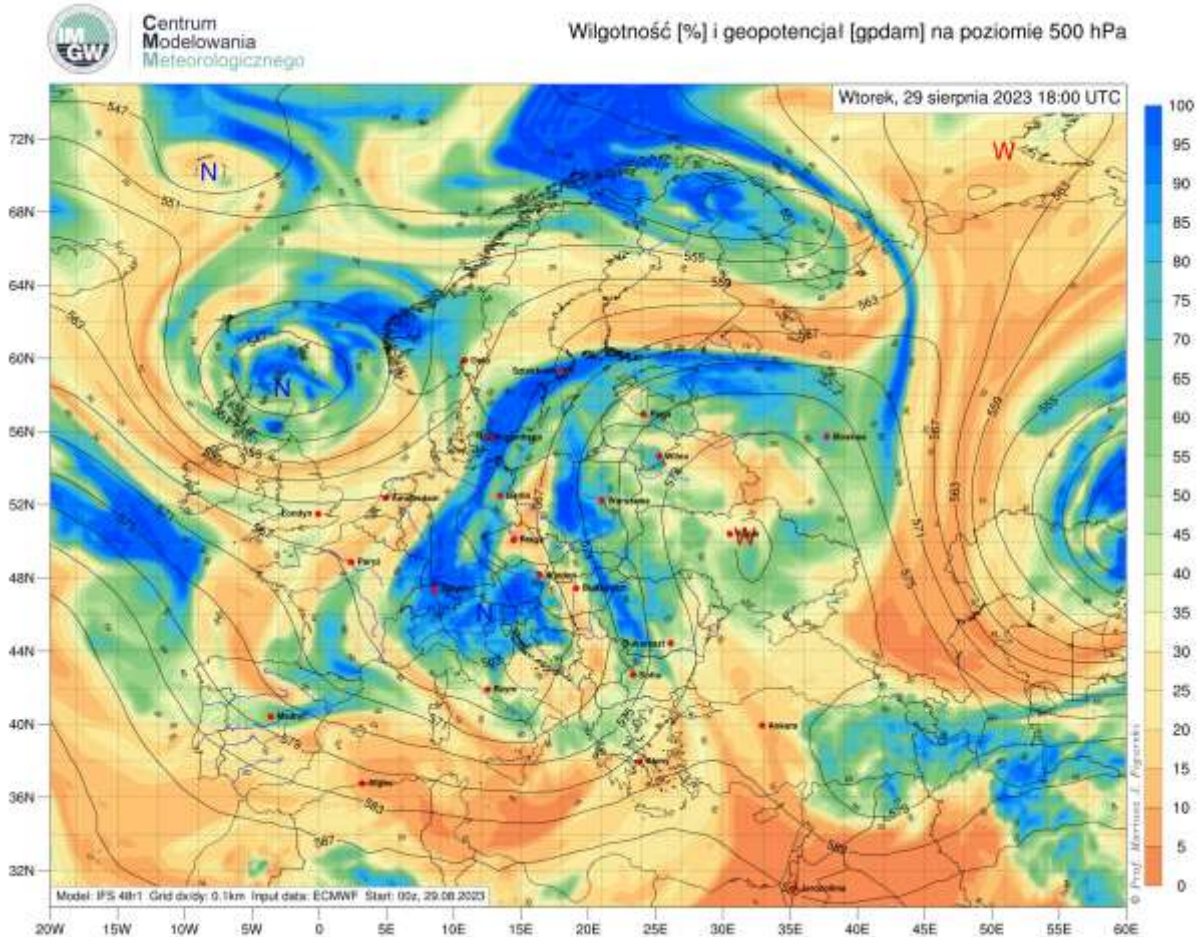
Jednocześnie zgodnie przewidywały one liczny rozwój zjawisk burzowych, jednak o nieco różnym natężeniu, o czym było już wspomniane wyżej.



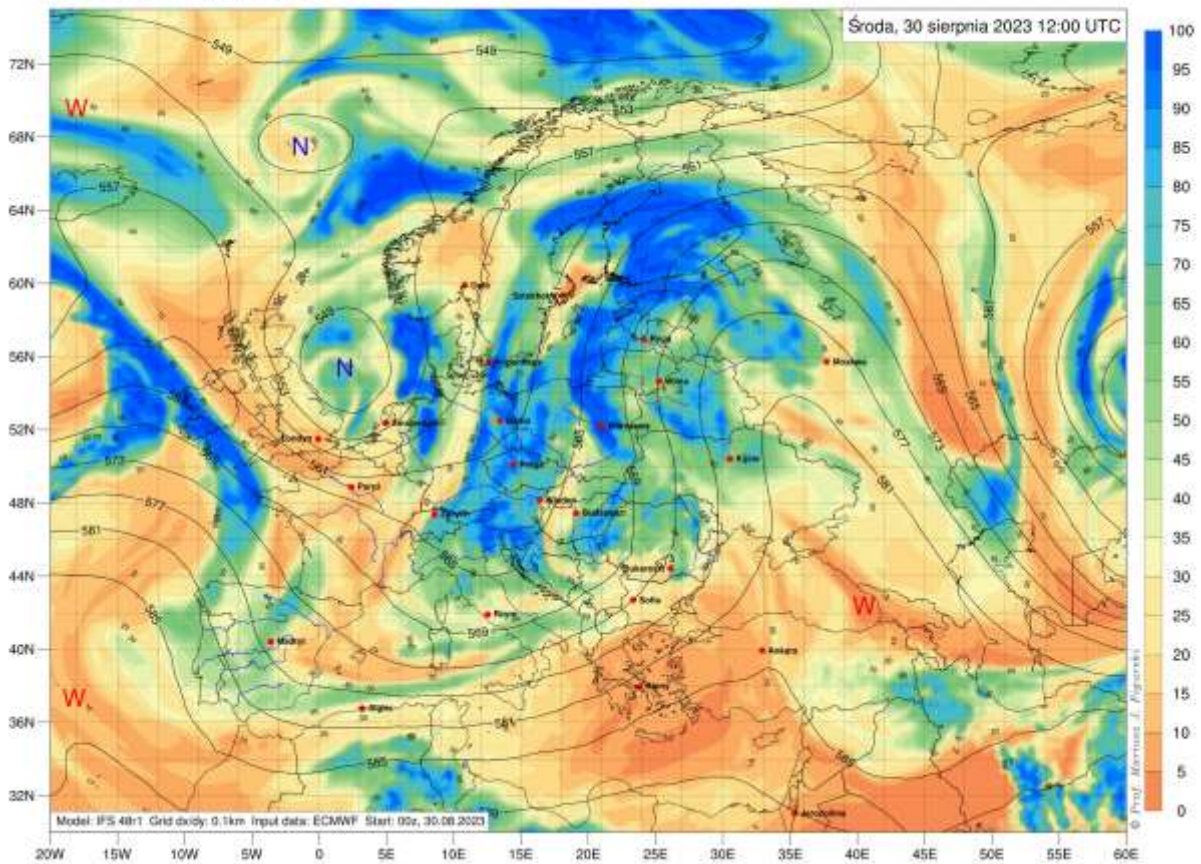
Rys. 27. CAPE+Shear 6 km, 30 VIII 2023 roku, godzina 00 UTC.

Analiza komparatystyczna prognoz numerycznych i stanu faktycznego

Pole termobaryczne oraz pole wilgotności

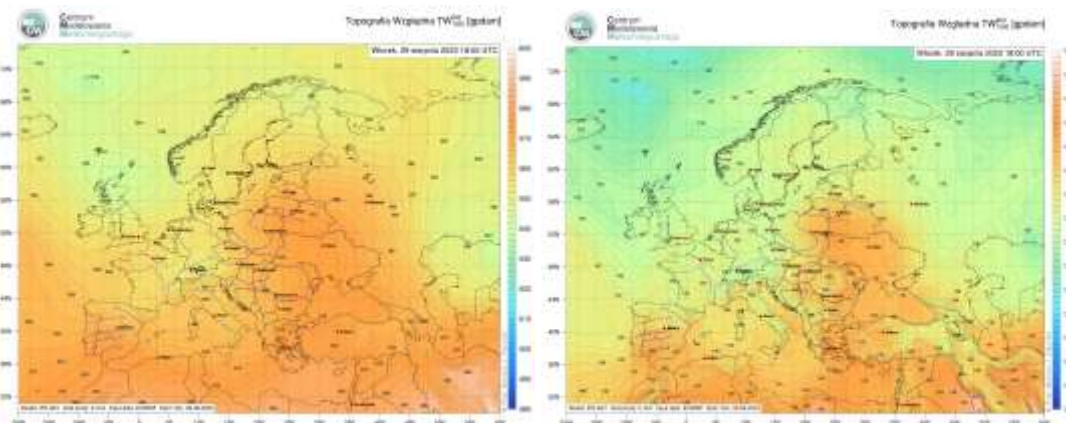


Rys. 28. Wilgotność i geopotencjał na wysokości 500 hPa, 29 VIII 2023 roku, 18 UTC.

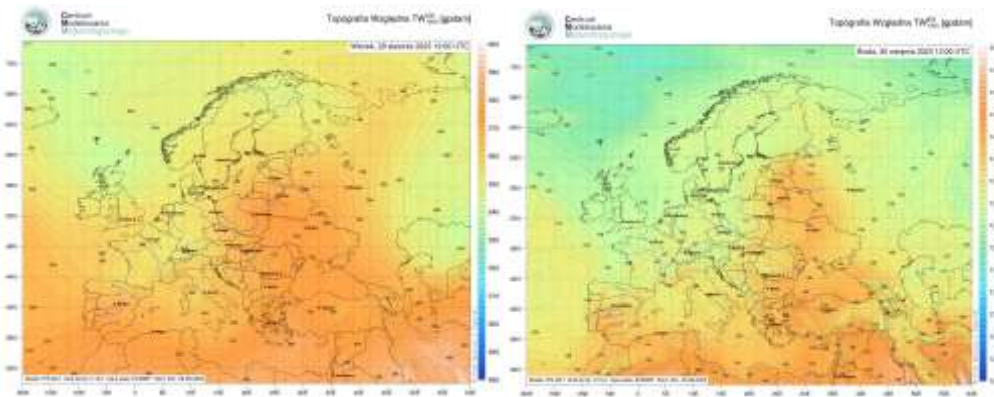


Rys. 29. Wilgotność i geopotencjał na wysokości 500 hPa, 30 VIII 2023 roku, 12 UTC.

We wtorek wieczorem 29 VIII 2023 roku, na wysokości 500 hPa, model IFS prognozował, że Polska będzie się znajdowała na skraju wyżu z ośrodkiem 583 gpdam nad centralną Ukrainą. Po zachodniej jego części do Polski miało napływać z południa powietrze dość wilgotne. Strefa dużej wilgoci przemieszczała się w kierunku północnym.

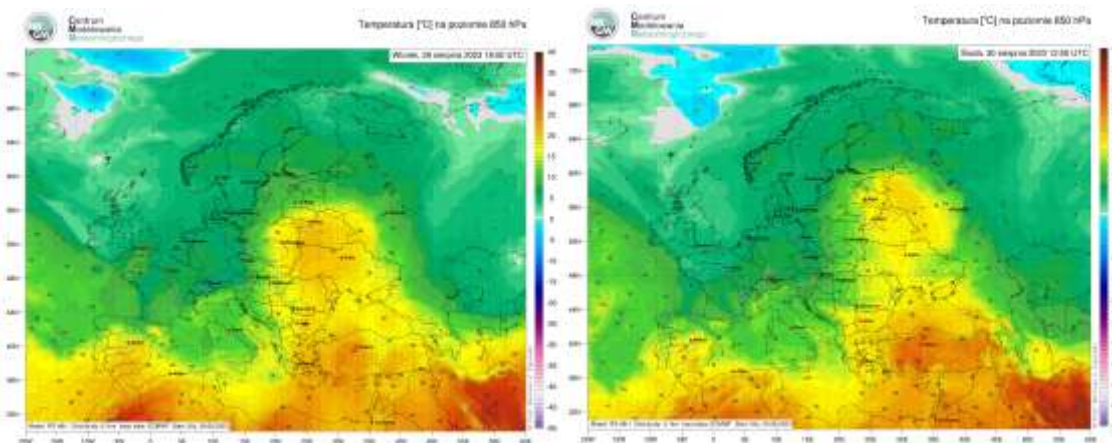


Rys. 30. Topografia względna TW, 29 VIII 2023 roku, godzina 18 UTC.



Rys. 31. Topografia względna TW, 30 VIII 2023 roku, godzina 12 UTC.

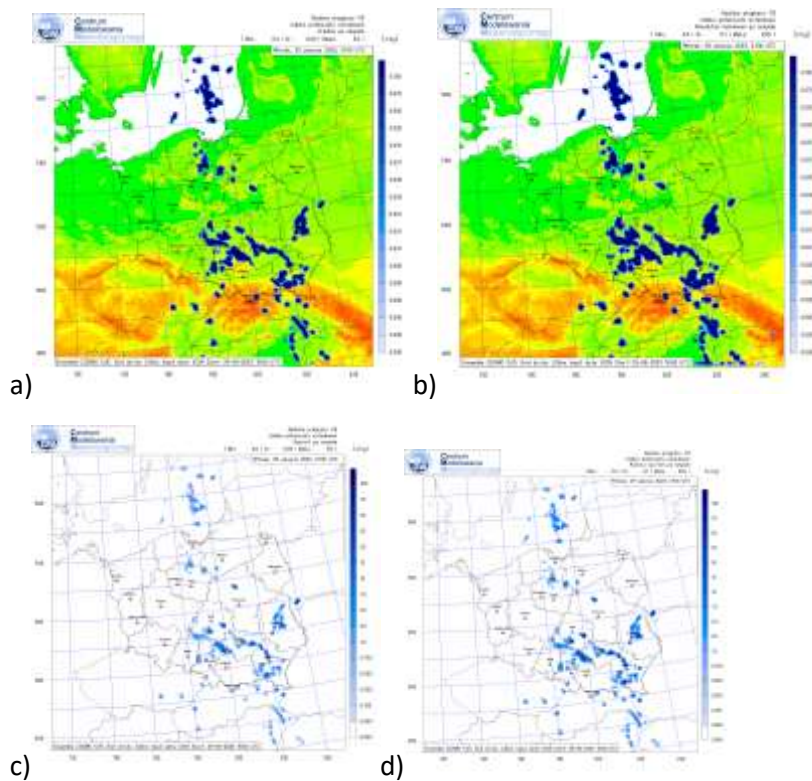
Z analizy prognozy numerycznej pola topografii względnej (TW_{1000}^{500} , TW_{1000}^{850}) wynikało, że Polska powinna znajdować się na skraju klina ciepła. Oś klina przebiegała nad Europą wschodnią. Nad wschodnią Polską zalegała masa powietrza o średniej temperaturze warstwy o grubości 500 hPa wynoszącej 13°C. Z analizy prognostycznych map TB500 wynikało, że do Polski napływało dość wilgotne powietrze zwrotnikowo morskie. W ciągu 18 godzin oś klina ciepła nie zmieniła zasadniczo swojego położenia i Polska w dalszym ciągu pozostawała w zasięgu klina ciepła. W ciągu dnia nad wschodnią Polską zalegała masa powietrza o średniej temperaturze warstwy o grubości 500 hPa wynoszącej 15°C. Klin ciepła jest jeszcze bardziej uwidoczniwy na mapach prognostycznych TW_{1000}^{850} .



Rys. 32. Pole temperatury na wysokości 850 hPa, 29 VIII 2023 roku, godzina 18 UTC oraz 30 VIII 2023 roku, godzina 12 UTC.

Z analizy prognostycznego pola temperatury na wysokości 850 hPa wynikało, że nad wschodnią Polską zalegać miały jeszcze dość ciepłe masy powietrza zwrotnikowego. Temperatura na wysokości 1,5 km wynosić miała 16-20°C. Na zachodzie kraju już tylko 8°C tworząc w ten sposób znaczny horyzontalny gradient temperatury powietrza na wysokości 1,5 km. Następnego dnia z numerycznych prognoz pola temperatury na wysokości 850 hPa wynikało, że gorące powietrze powinno zostać wyparte na wschód. Temperatura powietrza na wysokości 1,5 km wynosić powinna 14°C zaś na zachodzie kraju 7-8°C. Zatem horyzontalny gradient temperatury powinien się zmniejszyć.

Wartość indeksu potencjału wyładowań (przebieg modelu z godziny 18 UTC, 29 VIII 2023 roku).

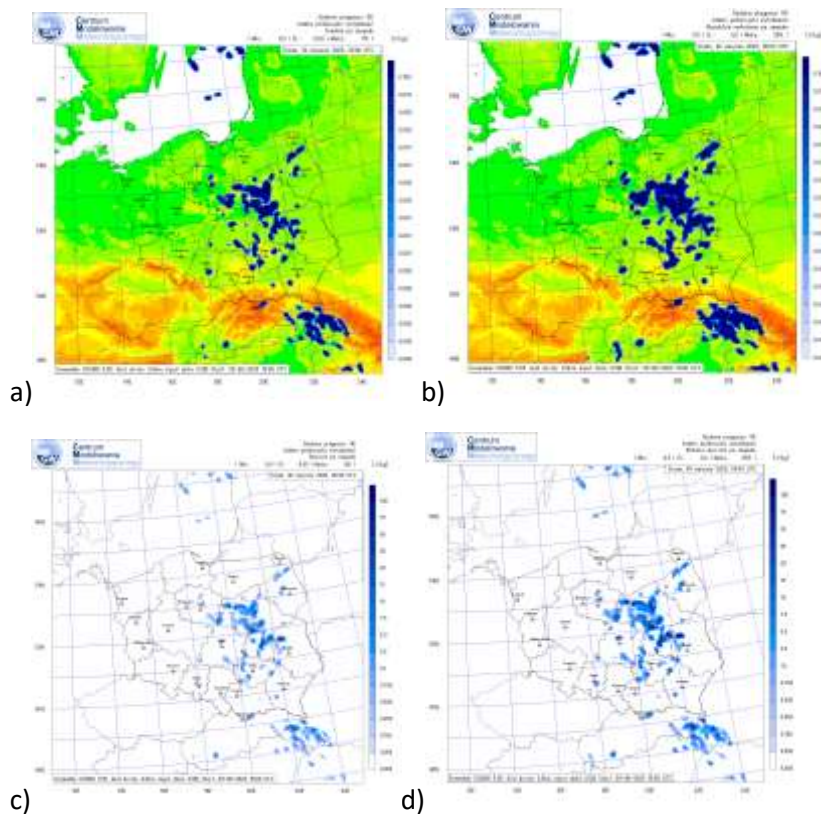


Rys. 33. Numeryczna prognoza indeksu potencjału wyładowań (IPW), 29 VIII 2023 roku, godzina 21 UTC: a) średnia po zespole, b) absolutne maksimum po zespole, c) rozrzut po zespole, d) różnica wartości maksymalnej i minimalnej po zespole.



Rys. 34. Rzeczywiste wyładowania zarejestrowane 29 VIII 2023 roku o godzinie a) 19 UTC, b) 20 UTC, c) 21 UTC.

Wartości indeksu potencjału wyładowań (IPW) wskazywały na występowanie wyładowań atmosferycznych w woj. pomorskim, kujawsko-pomorskim, w północnych rejonach woj. mazowieckiego, w woj. lubelskim, łódzkim, śląskim, opolskim, podkarpackim, oraz lokalnie w małopolskim. Wyładowania zarejestrowano w woj. lubelskim, świętokrzyskim, w NE rejonie woj. śląskiego, w zachodnim rejonie woj. małopolskiego, w północnych i lokalnie w centralnych rejonach woj. podkarpackiego. Pojedyncze wyładowania rejestrowano we wschodnim obszarze woj. łódzkiego oraz na pograniczu woj. podlaskiego i warmińsko-mazurskiego. O godzinie 19 UTC rejestrowano wyładowania w zachodnim rejonie woj. warmińsko-mazurskiego a o godzinie 20 UTC zarejestrowano także wyładowanie w woj. kujawsko-pomorskim. Obszar dużej częstotliwości wyładowań przemieszczała się z południa w kierunku północnym, po wschodnim obszarze kraju. Analiza komparatystyczna materiałów prognostycznych oraz rzeczywiście zarejestrowanych wyładowań wykazała jedynie częściową zgodność. Rozbieżności dotyczą zarówno obszaru oraz ilości wyładowań. Występują także rozbieżności dotyczące czasu wystąpienia wyładowań.

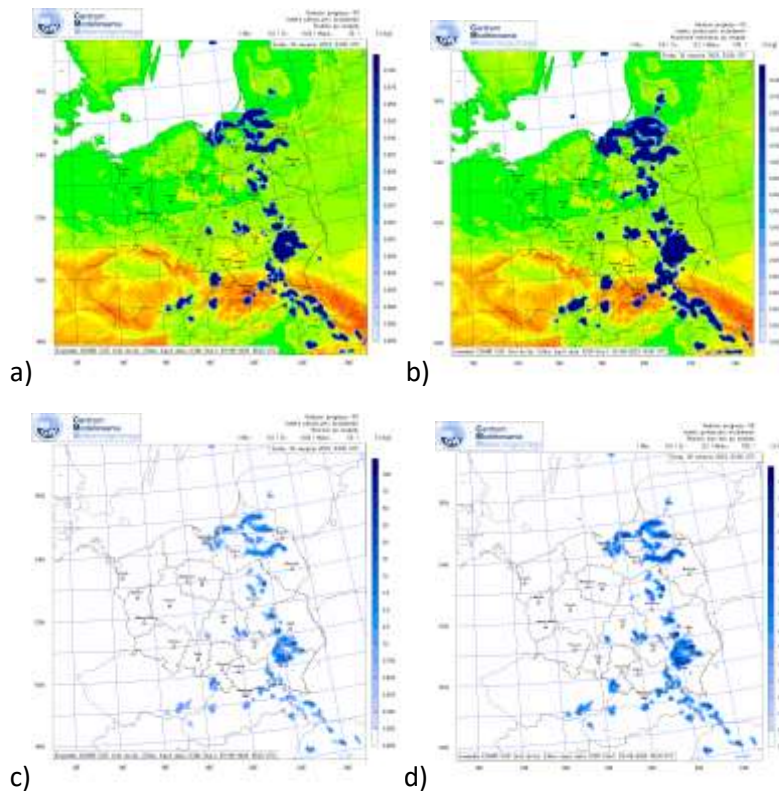


Rys. 35. Numeryczna prognoza indeksu potencjału wyładowań (IPW), 30 VIII 2023 roku, godzina 00 UTC: a) średnia po zespole, b) absolutne maksimum po zespole, c) rozrzut po zespole, d) różnica wartości maksymalnej i minimalnej po zespole.



Rys. 36. Rzeczywiste wyładowania zarejestrowane 29 VIII 2023 roku o godzinie a) 22, b) 23 oraz c) 30 VIII 2023 roku o godzinie 00 UTC.

Strefa wyładowań przemieszczała się w kierunku północnym i o godzinie 00 UTC, 30 VIII 2023 roku, rejestrowano wyładowania w woj. podlaskim, warmińsko-mazurskim, lokalnie w południowo wschodnim rejonie woj. łódzkiego oraz małopolskim (północne rejony), a także we wschodnich rejonach woj. lubelskiego. Intensywność wyładowań zmniejszała się. Analiza porównawcza wykazała częściową zgodność. Model prognozował wyładowania w woj. kujawsko-pomorskim czego nie stwierdzono w rzeczywistości w okresie obejmującym 3 godziny (21UTC-00UTC). We wcześniejszym okresie strefa aktywnych elektrycznie chmur Cb przemieszczała się nad woj. świętokrzyskim i łódzkim. Zatem prognoza wyładowań jest przesunięta w czasie względem rzeczywistych zdarzeń.

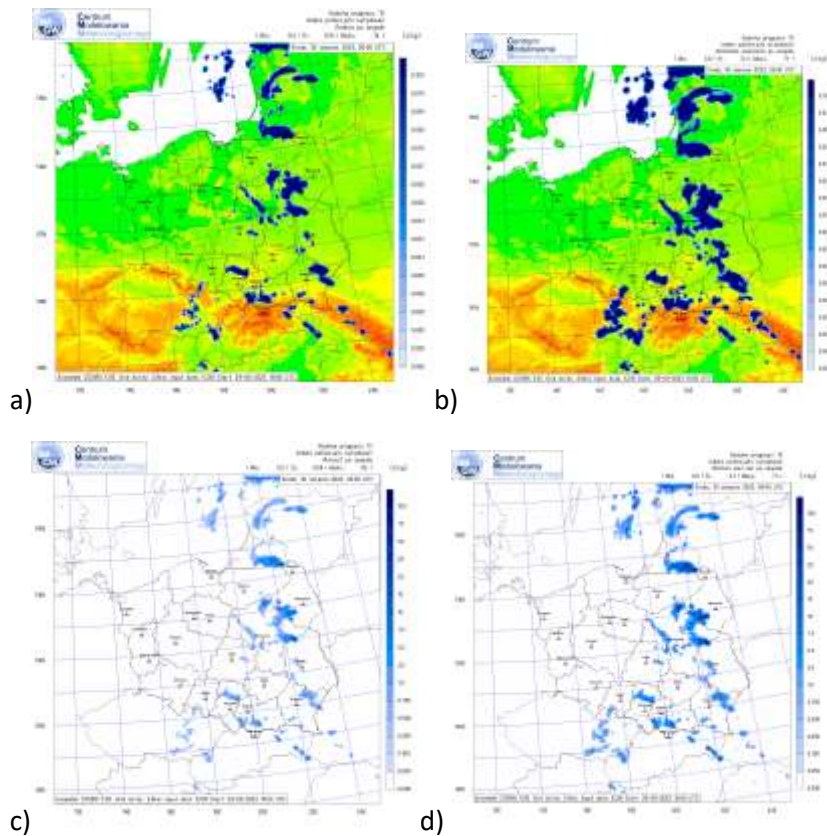


Rys. 37. Numeryczna prognoza indeksu potencjału wyładowań (IPW), 30 VIII 2023 roku, godzina 03 UTC: a) średnia po zespole, b) absolutne maksimum po zespole, c) rozrzut po zespole, d) różnica wartości maksymalnej i minimalnej po zespole.



Rys. 38. Rzeczywiste wyładowania zarejestrowane 30 VIII 2023 roku o godzinie a) 01 UTC, b) 02 UTC, c) 03 UTC.

Z analizy indeksu potencjału wyładowań wynika, że woj. łódzkim, podlaskim, podkarpackim, mazowieckim, warmińsko-mazurskim, we wschodnim rejonie woj. pomorskiego oraz na południu woj. śląskiego powinny występować wyładowania. W rzeczywistości aktywność elektryczna chmur Cb malała. Początkowo występowały wyładowania rejestrowano w woj. warmińsko-mazurskim, podlaskim oraz pojedyncze wyładowania w woj. lubelskim, podkarpackim i na granicy woj. świętokrzyskiego oraz małopolskiego oraz śląskiego. O godzinie 03 UTC zarejestrowano pojedyncze wyładowania w woj. warmińsko-mazurskim. Niezgodność prognozy numerycznej ze stanem faktycznym.

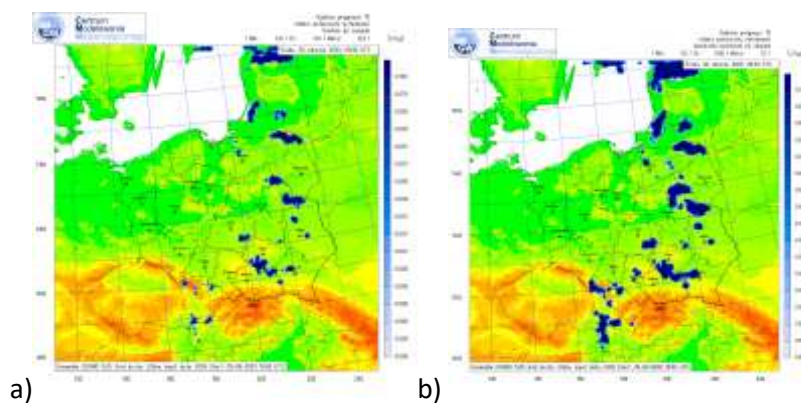


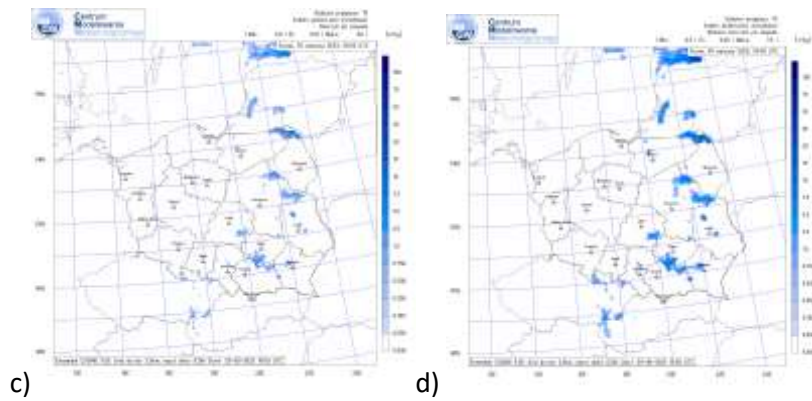
Rys. 39. Numeryczna prognoza indeksu potencjału wyładowań (IPW), 30 VIII 2023 roku, godzina 06 UTC: a) średnia po zespole, b) absolutne maksimum po zespole, c) rozrzut po zespole, d) różnica wartości maksymalnej i minimalnej po zespole.



Rys. 40. Rzeczywiste wyładowania zarejestrowane 30 VIII 2023 roku o godzinie a) 04 UTC, b) 05 UTC, c) 06 UTC.

Model prognozuje występowanie wyładowań, które w rzeczywistości nie zostały zarejestrowane. Jedynie o godzinie 06 UTC zarejestrowano wyładowania we wschodnim obszarze woj. świętokrzyskiego. Brak zgodności prognozy ze stanem faktycznym.



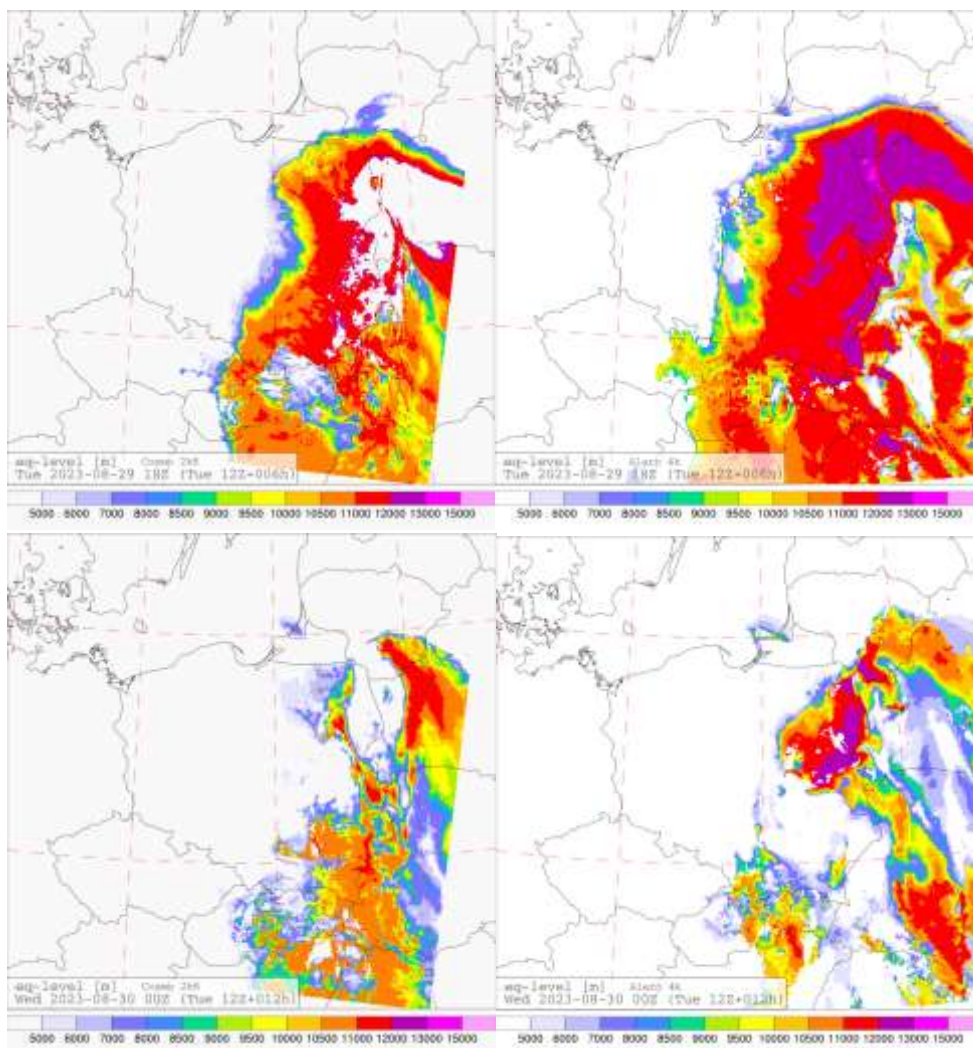


Rys. 41. Numeryczna prognoza indeksu potencjału wyładowań (IPW), 30 VIII 2023 roku, godzina 09 UTC: a) średnia po zespole, b) absolutne maksimum po zespole, c) rozrzut po zespole, d) różnica wartości maksymalnej i minimalnej po zespole.



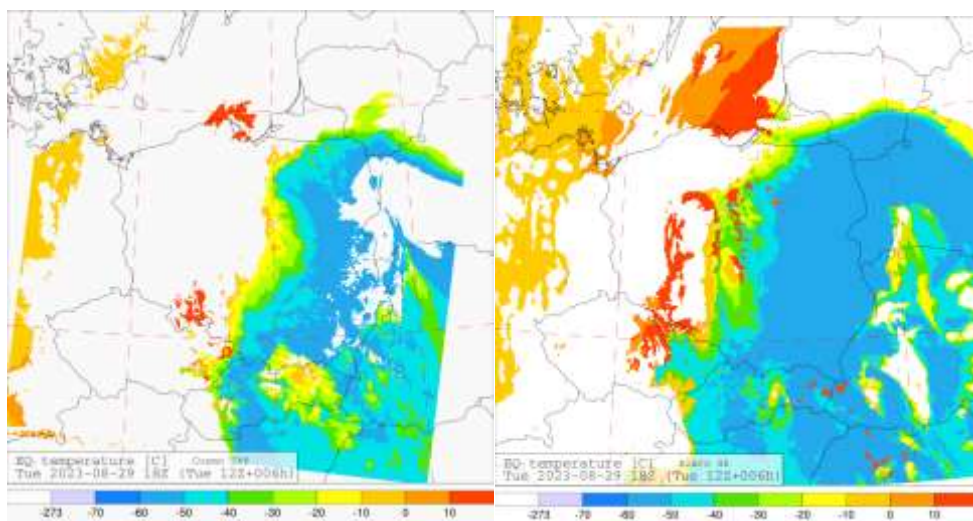
Rys. 42. Rzeczywiste wyładowania zarejestrowane 30 VIII 2023 roku o godzinie a) 07 UTC, b) 08 UTC, c) 09 UTC.

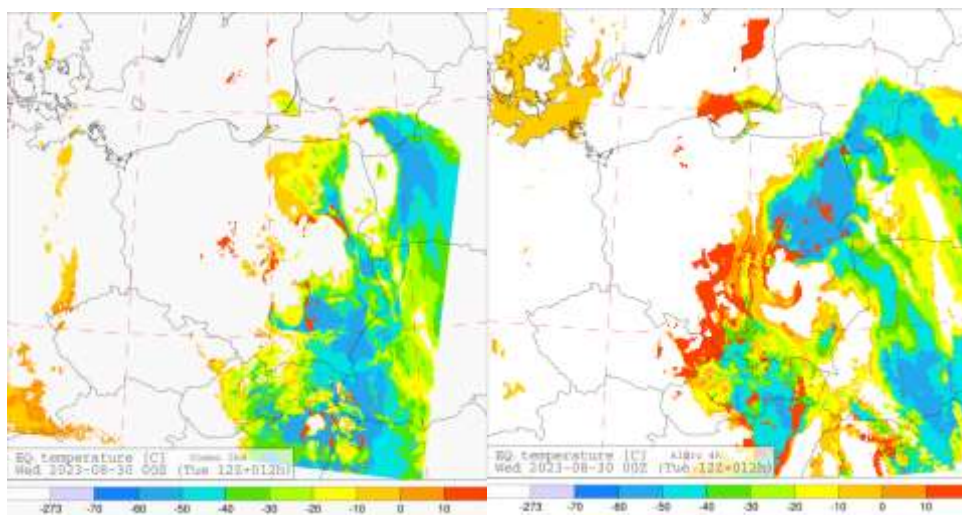
Model prognozował wyładowania atmosferyczne, które nie wystąpiły w rzeczywistości. Jedynie o godzinie 08 UTC w woj. podkarpackim zarejestrowano lokalnie wyładowania. Brak zgodności modelu ze stanem faktycznym.



Ryc. 43. Prognoza numeryczna poziomu equilibrium level.

Z numerycznych prognoz wynikało, że wysokość poziomu equilibrium level powinien wynosić od 7 do 11 km według modelu COSMO i od 7 do 12 km według modelu ALARO. Oznacza to, że wierzchołki chmur Cumulonimbus mogły osiągać wysokość 11-12 km.

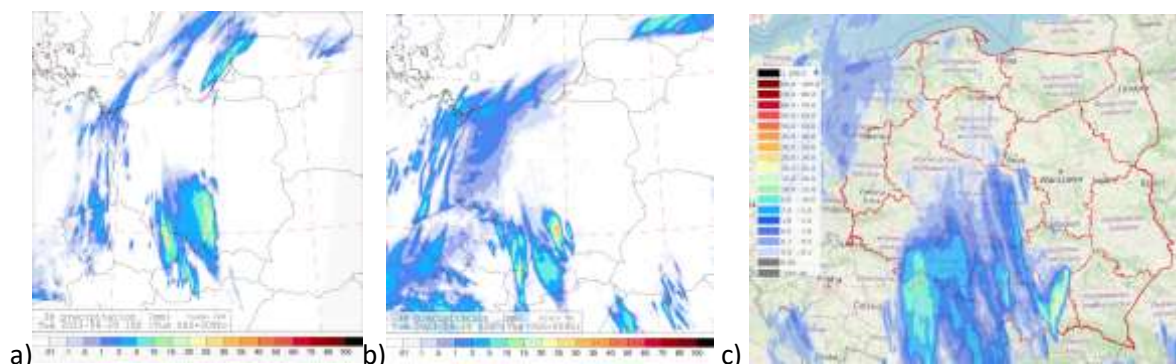




Rys. 44. Prognoza numeryczna temperatury na poziomie equilibrium level.

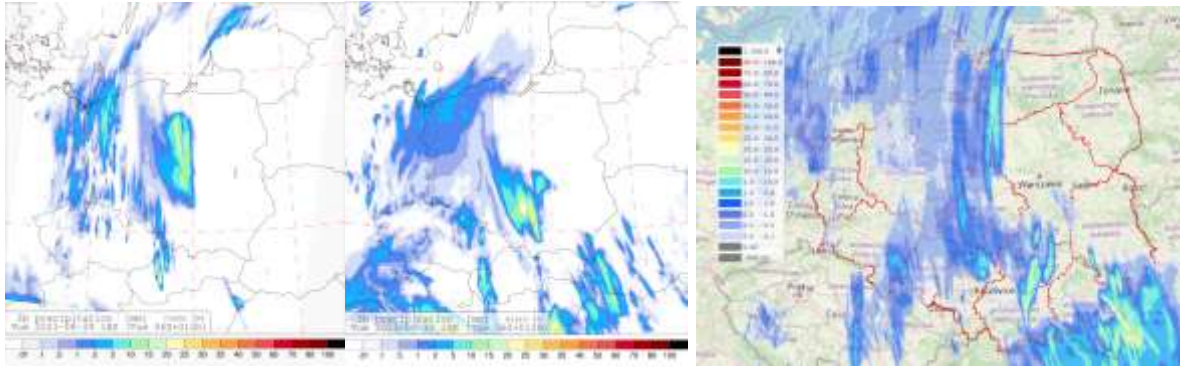
Wierzchołki chmur Cumulonimbus mogły znajdować się na wysokości izotermy -60°C . Oznaczało to, że występowały doskonałe warunki sprzyjające elektryzacji chmur i powstania pola elektrycznego wymaganego do inicjacji wyładowań iskrowych w chmurze. Jeżeli we wschodniej Polsce rozbudowywałyby się chmury Cumulonimbus to wówczas występowały warunki sprzyjające burzom.

Prognoza pola opadu z modelu COSMO i ALARO vs GRS (przebieg modelu z godziny 06 UTC, 29 VIII 2023 roku)



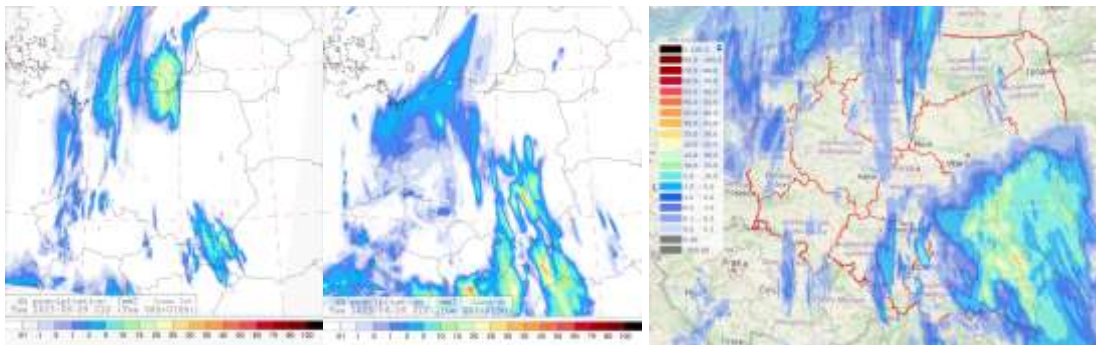
Rys. 45. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 29 VIII 2023 roku, godzina 15 UTC.

Pole opadu w południowej i centralnej części kraju lepiej odwzorowuje prognoza z modelu COSMO 2k8. Rozkład intensywności opadu jest rozbieżny. Opad w północno zachodniej części kraju lepiej zaprognozował model ALARO 4k0. Większa zgodność obszarowa, natomiast rozbieżność w zakresie intensywności.



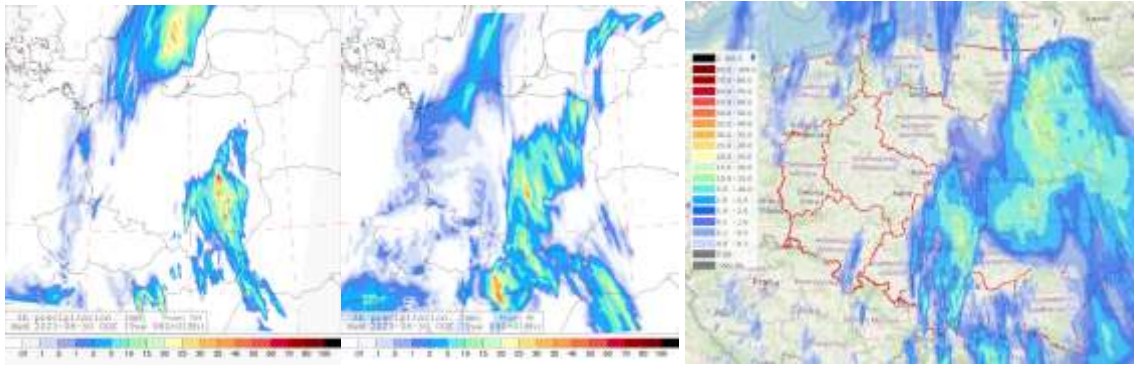
Rys. 46. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 29 VIII 2023 roku, godzina 18 UTC.

W południowo wschodniej części kraju model COSMO 2k8 nie prognozował żadnych opadów. Model ALARO 4k0 sygnalizował wystąpienie opadów deszczu w ww. rejonie, chociaż prognoza w pełni nie odwzorowuje rzeczywistego pola opadowego. Prognozowane pola opadu nie są zbieżne z rzeczywistością występującym polem opadu. Model ALARO prognozuje wystąpienie opadu praktycznie w całej zachodniej Polsce, co nie ma potwierdzenia z rzeczywistym polem opadu. Podobnie model COSMO, przy czym pole opadu jest bardziej rozproszone co również nie znajduje potwierdzenia w rzeczywistości. Model COSMO prognozował w Polsce centralnej obszar intensywnych opadów. Model ALARO również prognozuje strefa intensywnych opadów w rejonie woj. łódzkiego, świętokrzyskiego, śląskiego, opolskiego oraz małopolskiego. Rzeczywista strefa opadów również obejmuje ww. województwo zatem strefa ta częściowo pokrywa się z prognozowanym polem opadu w modelu ALARO oraz brak zgodności intensywności opadu.



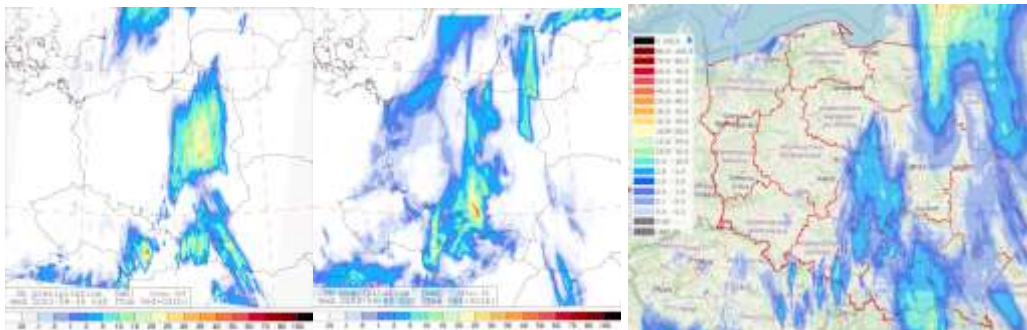
Rys. 47. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 29 VIII 2023 roku, godzina 21 UTC.

O godzinie 21 UTC strefa opadu deszczu występowała w woj. podkarpackim, świętokrzyskim, częściowo małopolskim, śląskim, na wschodzie woj. opolskiego, dolnośląskim, łódzkim, lubuskim, zachodniopomorskim, pomorskim, na zachodzie woj. warmińsko-mazurskiego, kujawsko-pomorskiego, lokalnie podlaskim i wielkopolskim. Oba modele jedynie częściowo poprawnie prognozowały pole opadu. Rozkład natężenia opadu nie jest zbieżny z rzeczywistym rozkładem natężenia opadu.



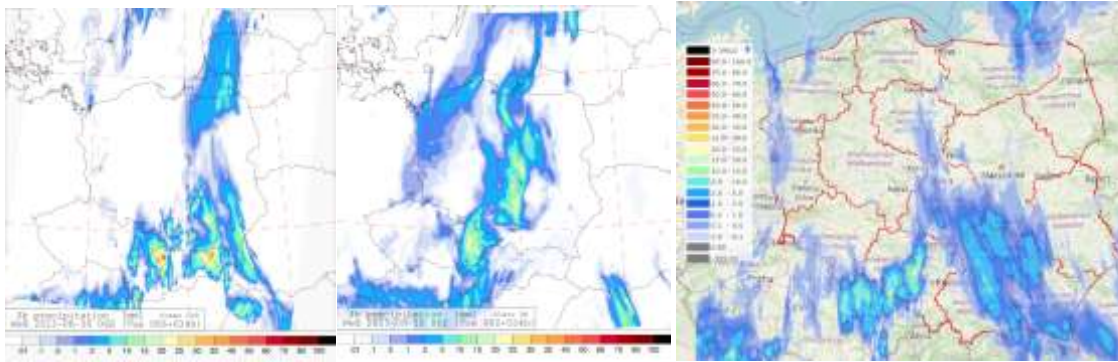
Rys. 48. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 30 VIII 2023 roku, godzina 00 UTC.

O godzinie 00 UTC strefa opadu deszczu występowała w woj. podkarpackim, świętokrzyskim, częściowo małopolskim, śląskim, na wschodzie woj. opolskiego, dolnośląskim, łódzkim, lubuskim (lokalnie przy granicy województwa), zachodniopomorskim, pomorskim, na zachodzie woj. warmińsko-mazurskiego, kujawsko-pomorskiego, lokalnie podlaskim i wielkopolskim. W centrum i we wschodniej i północno wschodniej części kraju występowały dość intensywne opady. Oba modele jedynie częściowo poprawnie prognozowały pole opadu. Rozkład natężenia opadu lokalnie jest zbliżony z rzeczywistym rozkładem natężenia opadu. Model COSMO w południowo wschodniej Polsce lokalnie prognozował opady w wysokości 40-80 mm za 3 godziny, takich opadów nie zanotowano. Model ALARO również, w woj. łódzkim, prognozował dość wysokie opady deszczu o intensywności 50-60 mm za 3 godziny. Numeryczne prognozy pola opadu obu modeli są częściowo zgodne co do strefy występowania opadów oraz częściowe podobieństwo co do intensywności opadu. Prognoza modelem COSMO jest mniej zgodna z rzeczywistością w porównaniu z modelem ALARO.



Rys. 49. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 30 VIII 2023 roku, godzina 03 UTC.

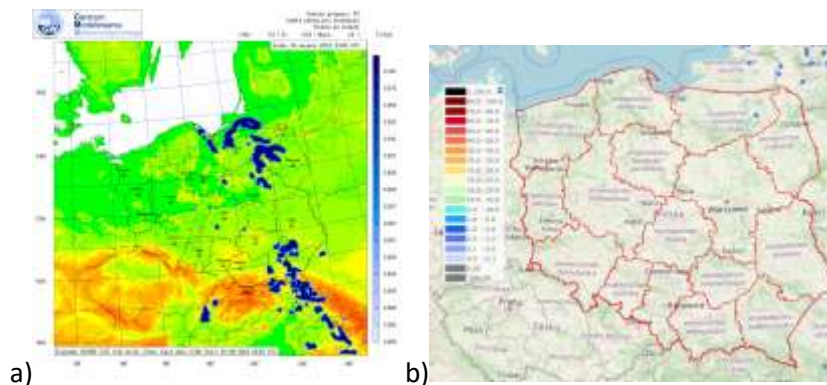
W zachodniej części kraju nie wystąpił opad deszczu. Jedynie w woj. zachodniopomorskim i lokalnie w woj. dolnośląskim występowały słabe symboliczne opady deszczu. Najlepiej strefę opadu w północno zachodniej i zachodniej części kraju zaprognozował model COSMO. W południowo wschodniej części kraju również model COSMO lepiej zaprognozował strefę opadu, ale brak zgodności w zakresie intensywności opadu. Częściowa zgodność prognozy (COSMO, ALADIN) pola opady z rzeczywistą strefą opadu w centralnych obszarach Polski oraz częściowa zgodność w zakresie intensywności opadu. W centralnej i południowej części woj. podlaskiego brak zgodności prognozy ze stanem faktycznym. We wschodniej części woj. warmińsko-mazurskiego częściowa zgodność prognozy z rzeczywistością. Opady w centralnej części woj. warmińsko-mazurskiego lepiej odwzorował model COSMO, zarówno w zakresie obszaru wystąpienia jak intensywności. W woj. mazowieckim model ALADIN częściowo lepiej odwzorował pole opadu. Model COSMO prognozował dość intensywne opady ww. województwie czego nie stwierdzono w rzeczywistości.



Rys. 50. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 30 VIII 2023 roku, godzina 06 UTC.

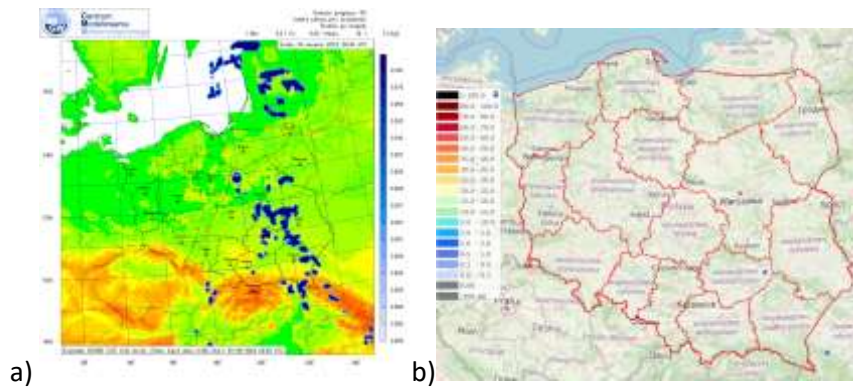
Częściowa zgodność prognozy strefy opadu z rzeczywistym polem opadu. Model ALARO prognozował rozległą strefę opadu w północno zachodniej Polsce. W rzeczywistości w woj. zachodniopomorskim wystąpiły lokalnie opady deszczu oraz wąska strefa opadu w woj. lubuskim. Występuje częściowa zgodność prognozy pola opadu (ALARO) ze stanem faktycznym. We wschodniej części woj. warmińsko-mazurskiego częściowa zgodność prognozy z modelem COSMO z rzeczywistością. Częściowa zgodność prognozy COSMO z rzeczywistym opadem w południowo wschodniej części kraju. Brak zgodności w zakresie intensywności opadu. Również występuje zgodność prognozowanego pola opadu w woj. kujawsko-pomorskiego (ALARO) przy braku zgodności intensywności.

Prognoza wyładowań na dzień 30 VIII 2023 roku (przebieg modelu z godziny 00 UTC)



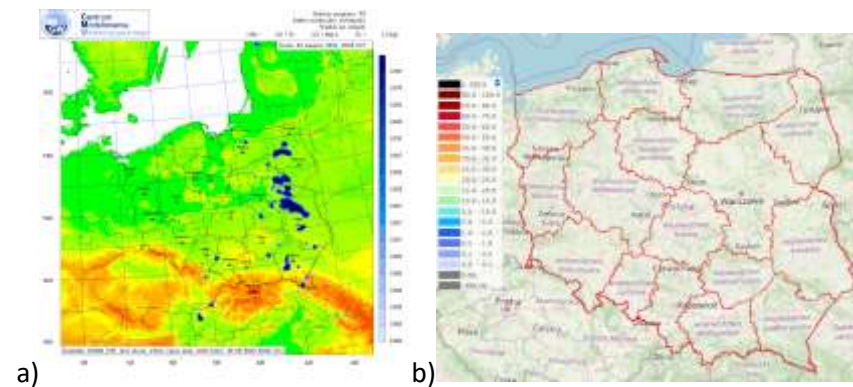
Rys. 51. Wyładowania atmosferyczne w dniu 30 VIII 2023 roku o godzinie 03 UTC. a) Numeryczna prognoza średniej po zespole indeksu potencjału wyładowań (IPW), b) zarejestrowane wyładowania.

Model COSMO 2k8e prognozował wyładowania atmosferyczne. W rzeczywistości nie były rejestrowane z wyłączeniem lokalnego incydentu w woj. warmińsko-mazurskiego. Numeryczna prognoza wyładowań błędna.



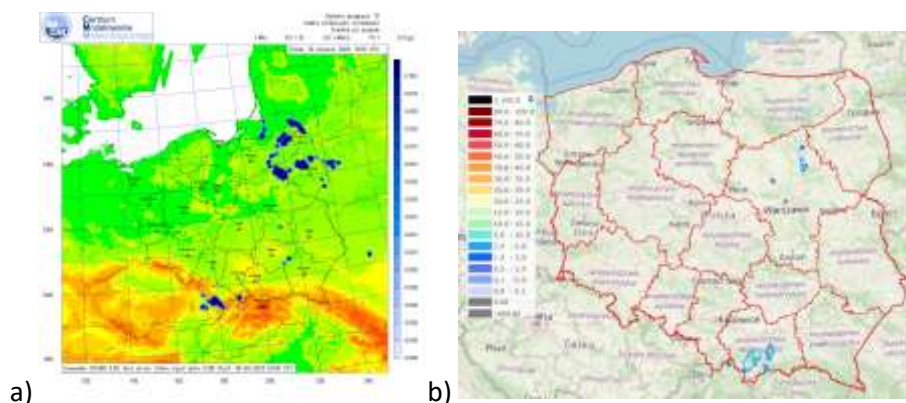
Rys. 52. Wyładowania atmosferyczne w dniu 30 VIII 2023 roku o godzinie 06 UTC. a) Numeryczna prognoza średniej po zespole indeksu potencjału wyładowań (IPW), b) zarejestrowane wyładowania.

Model COSMO 2k8e prognozował wyładowania atmosferyczne. W rzeczywistości nie były rejestrowane z wyłączeniem lokalnego incydentu w woj. świętokrzyskim. Numeryczna prognoza wyładowań błędna.



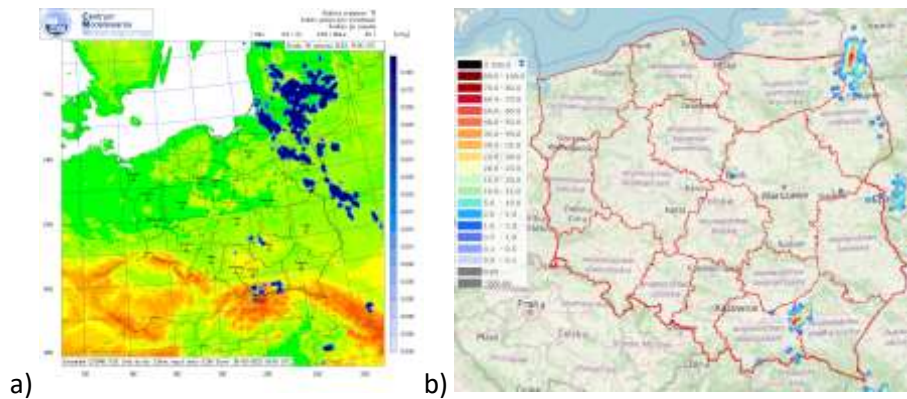
Rys. 53. Wyładowania atmosferyczne w dniu 30 VIII 2023 roku o godzinie 09 UTC. a) Numeryczna prognoza średniej po zespole indeksu potencjału wyładowań (IPW), b) zarejestrowane wyładowania.

Model COSMO 2k8e prognozował wyładowania atmosferyczne. W rzeczywistości nie były rejestrowane. Numeryczna prognoza wyładowań błędna.



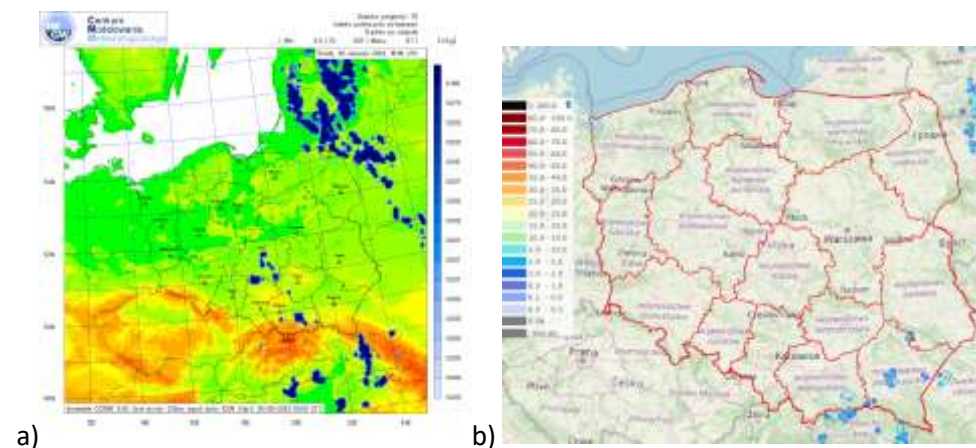
Rys. 54. Wyładowania atmosferyczne w dniu 30 VIII 2023 roku o godzinie 12 UTC. a) Numeryczna prognoza średniej po zespole indeksu potencjału wyładowań (IPW), b) zarejestrowane wyładowania.

Model COSMO 2k8e prognozował wyładowania atmosferyczne w woj. śląskim, świętokrzyskim, mazowieckim, podlaskim, warmińsko-mazurskim. W rzeczywistości zarejestrowano wyładowania w woj. małopolskim oraz mazowieckim. Z dużym przybliżeniem występowała zgodność obszaru wystąpienia wyładowań w północnym rejonie woj. mazowieckiego. Na pozostałym obszarze brak zgodności prognozy ze stanem faktycznym.



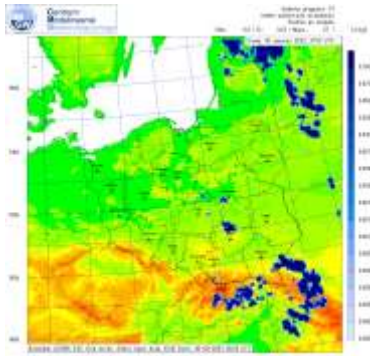
Rys. 55. Wyładowania atmosferyczne w dniu 30 VIII 2023 roku o godzinie 15 UTC. a) Numeryczna prognoza średniej po zespole indeksu potencjału wyładowań (IPW), b) zarejestrowane wyładowania.

W północnym rejonie woj. podlaskiego zgodność prognozy z modelem. Model COSMO 2k8e prognozował wyładowania atmosferyczne w woj. śląskim, świętokrzyskim, podlaskim, warmińsko-mazurskim. W rzeczywistości zarejestrowano wyładowania w woj. małopolskim, podkarpackim oraz mazowieckim. Z dużym przybliżeniem występowała zgodność obszaru wystąpienia wyładowań w północnym rejonie woj. podlaskiego. Na pozostałym obszarze brak zgodności prognozy ze stanem faktycznym.



Rys. 56. Wyładowania atmosferyczne w dniu 30 VIII 2023 roku o godzinie 18 UTC. a) Numeryczna prognoza średniej po zespole indeksu potencjału wyładowań (IPW), b) zarejestrowane wyładowania.

W woj. małopolskim występuje zgodność prognozy z rzeczywistymi wyładowaniami. Prognoza wyładowań atmosferycznych na pozostałym obszarze nie pokrywa się z rzeczywistymi wyładowaniami.



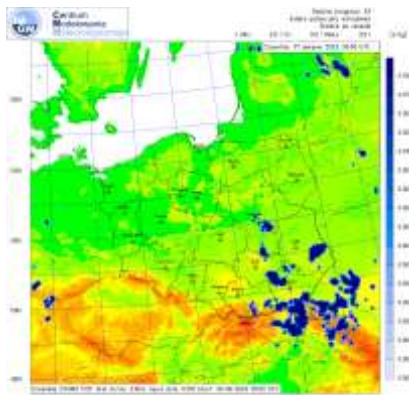
a)



b)

Rys. 57. Wyładowania atmosferyczne w dniu 30 VIII 2023 roku o godzinie 21 UTC. a) Numeryczna prognoza średniej po zespole indeksu potencjału wyładowań (IPW), b) zarejestrowane wyładowania.

Brak zgodności prognozy numerycznej IPW ze stanem faktycznym.



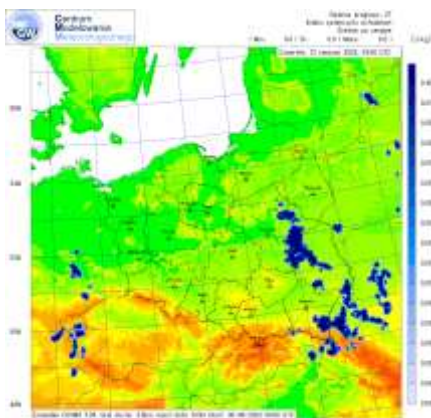
a)



b)

Rys. 58. Wyładowania atmosferyczne w dniu 31 VIII 2023 roku o godzinie 00 UTC. a) Numeryczna prognoza średniej po zespole indeksu potencjału wyładowań (IPW), b) zarejestrowane wyładowania.

Brak zgodności prognozy numerycznej IPW ze stanem faktycznym.



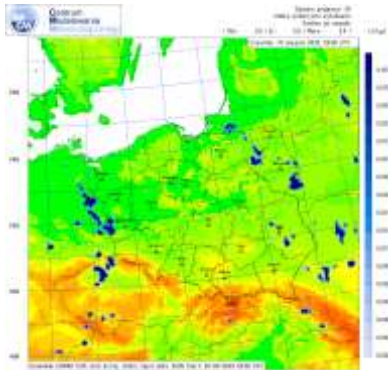
a)



b)

Rys. 59. Wyładowania atmosferyczne w dniu 31 VIII 2023 roku o godzinie 03 UTC. a) Numeryczna prognoza średniej po zespole indeksu potencjału wyładowań (IPW), b) zarejestrowane wyładowania.

Brak zgodności prognozy numerycznej IPW ze stanem faktycznym.



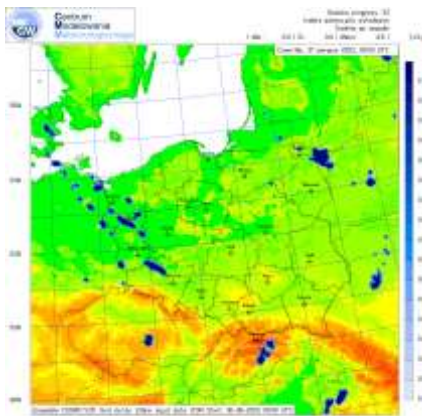
a)



b)

Rys. 60. Wyładowania atmosferyczne w dniu 31 VIII 2023 roku o godzinie 06 UTC. a) Numeryczna prognoza średniej po zespole indeksu potencjału wyładowań (IPW), b) zarejestrowane wyładowania.

Brak zgodności prognozy numerycznej IPW ze stanem faktycznym.



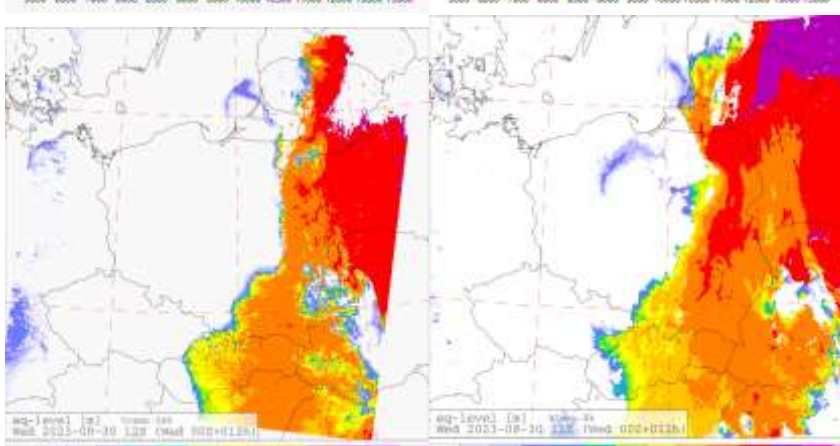
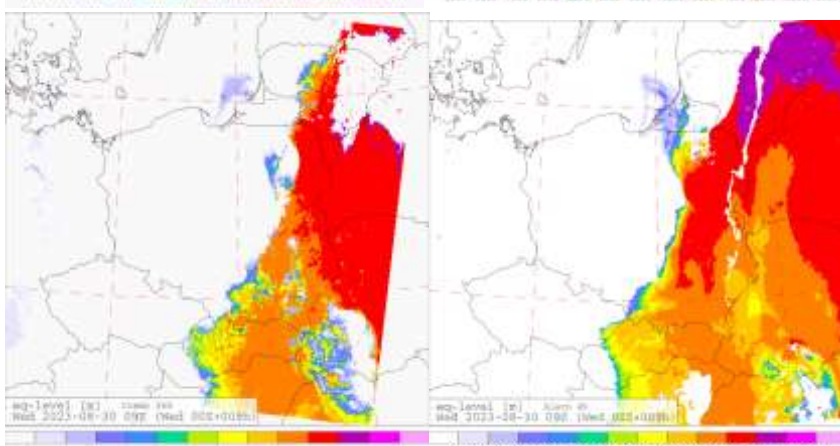
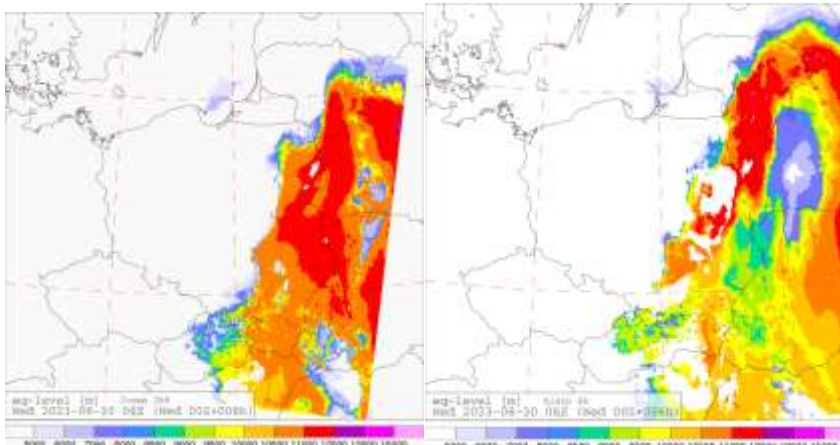
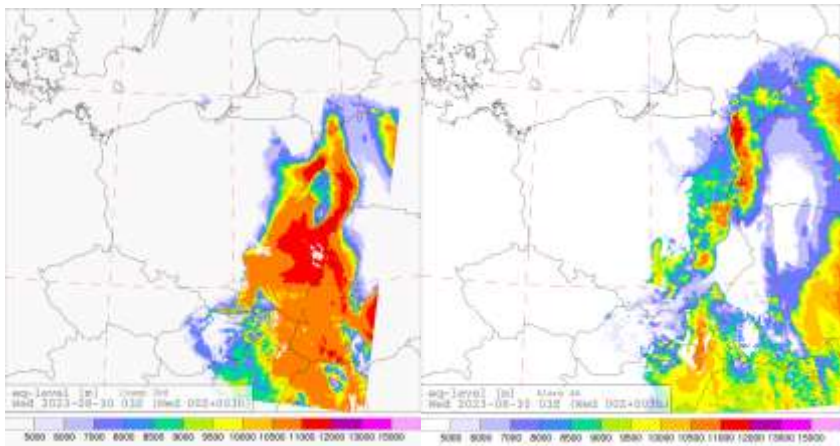
a)

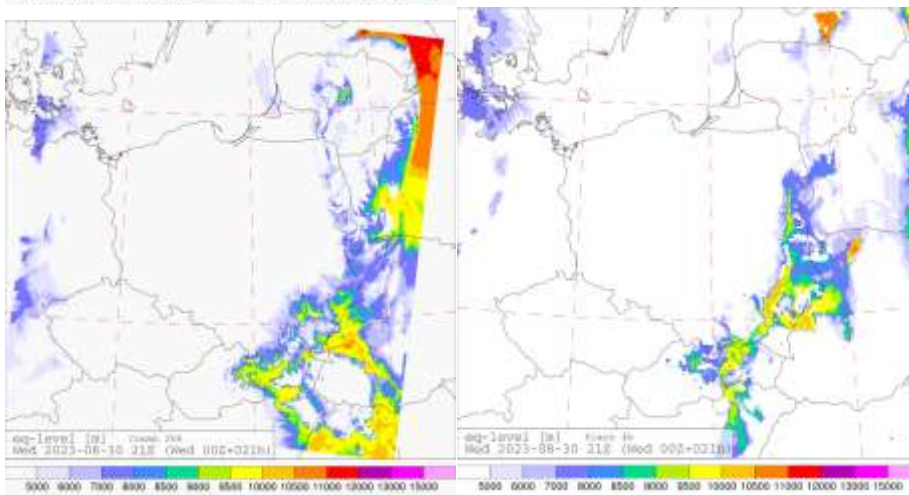
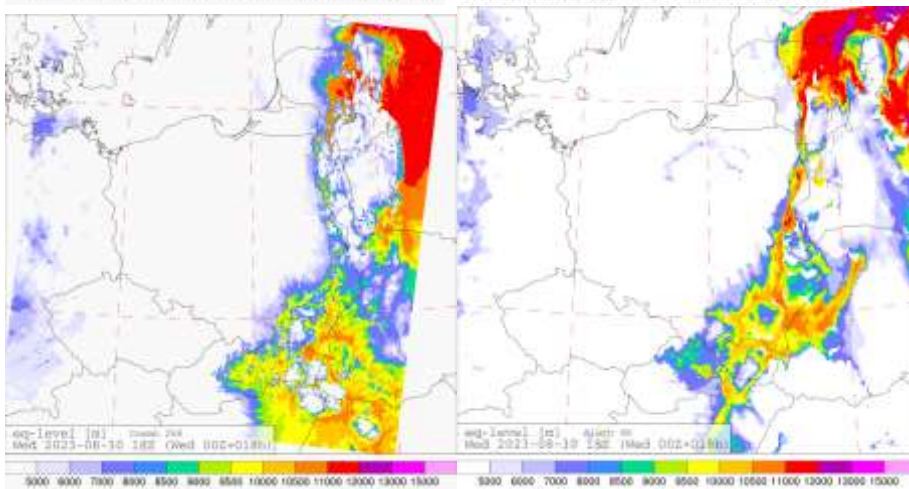
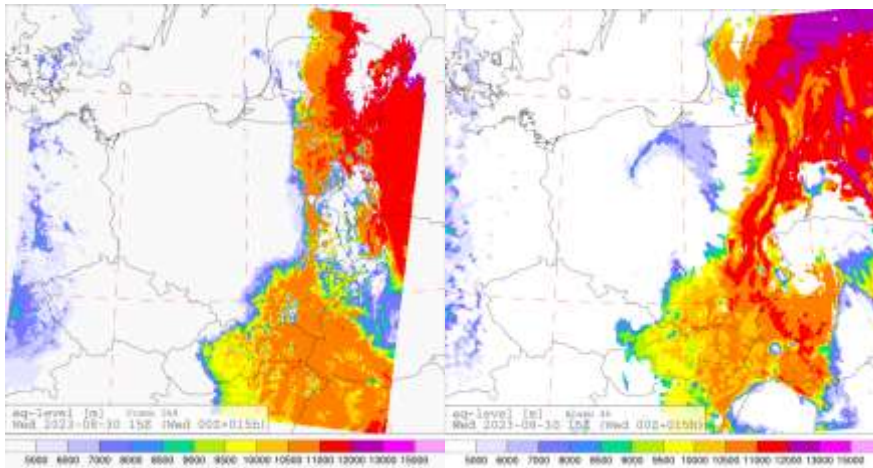


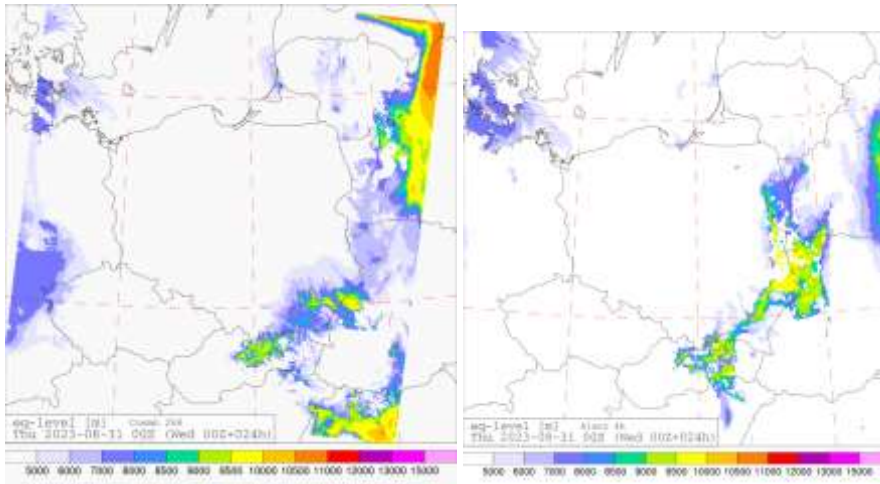
b)

Rys. 61. Wyładowania atmosferyczne w dniu 31 VIII 2023 roku o godzinie 09 UTC. a) Numeryczna prognoza średniej po zespole indeksu potencjału wyładowań (IPW), b) zarejestrowane wyładowania.

Brak zgodności prognozy numerycznej IPW ze stanem faktycznym.

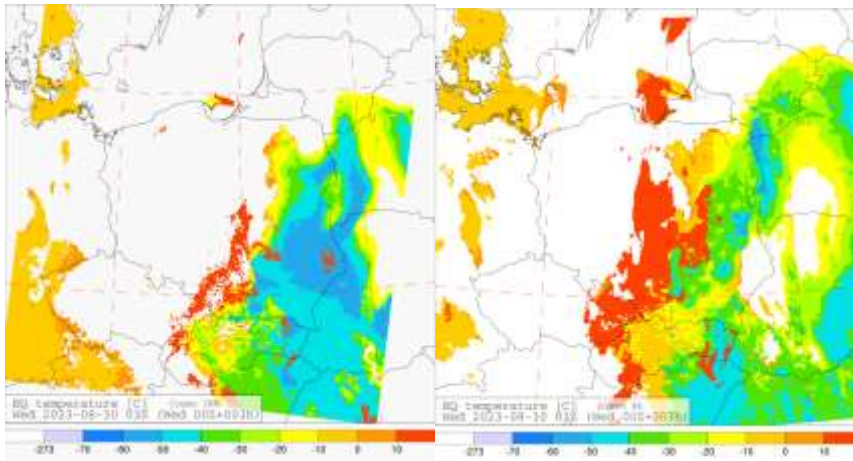


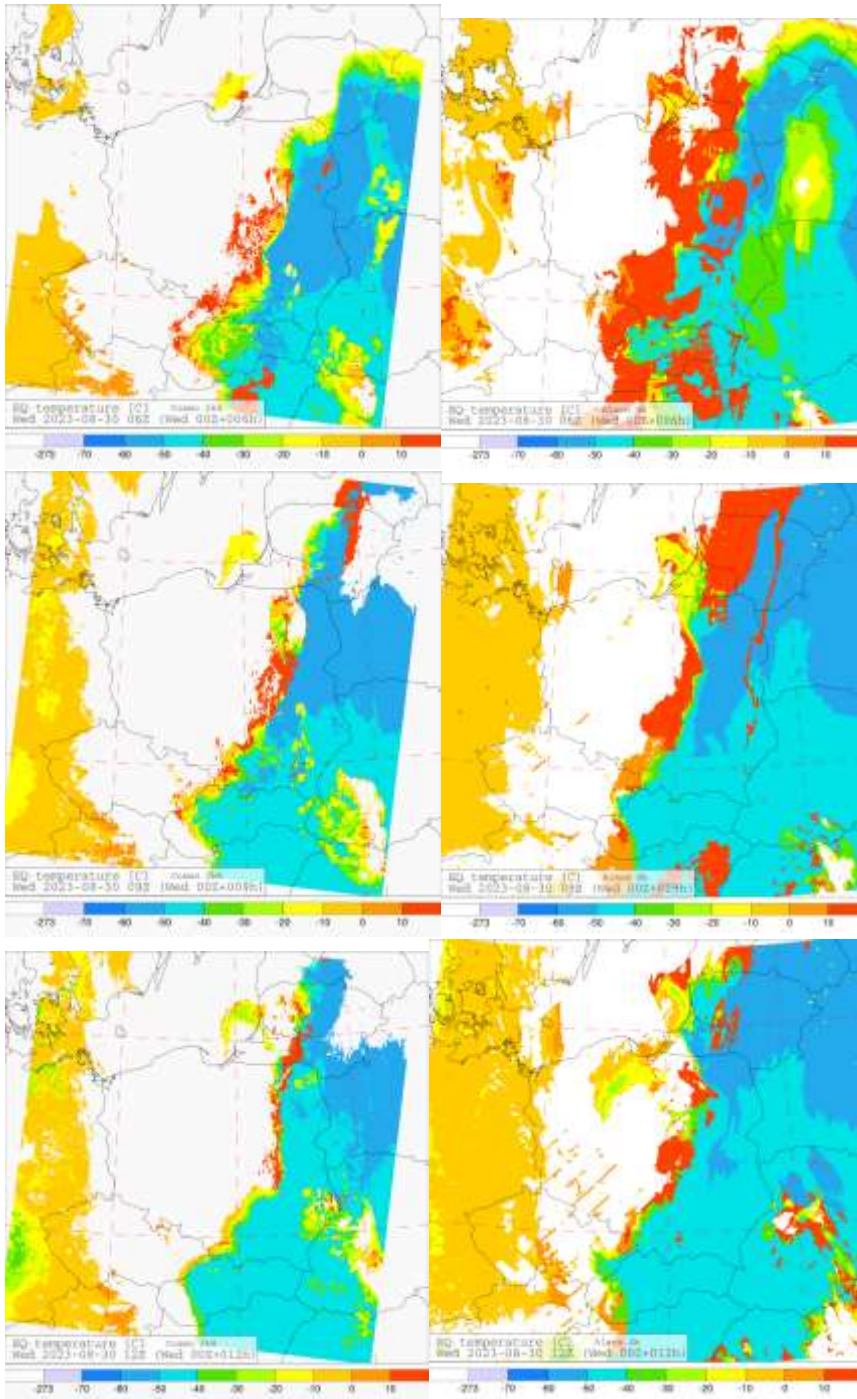


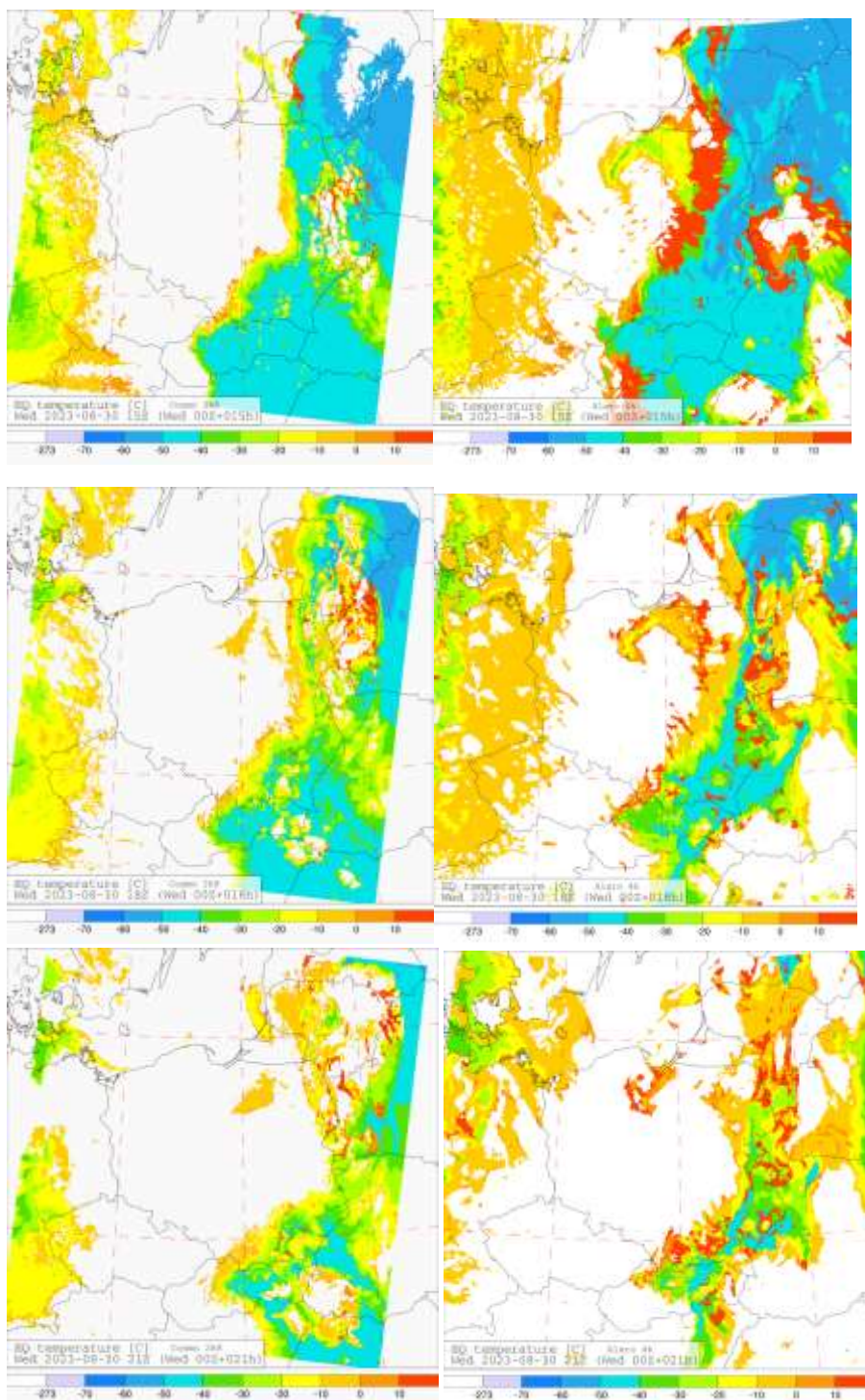


Ryc. 62. Prognoza numeryczna poziomu equilibrium level.

Z numerycznych prognoz wynikało, że wierzchołki chmur Cumulonimbus mogły osiągać wysokość 11 km w godzinach dopołudniowych. W nocy 30/31 VIII wierzchołki mogły osiągać wysokość 10 km.



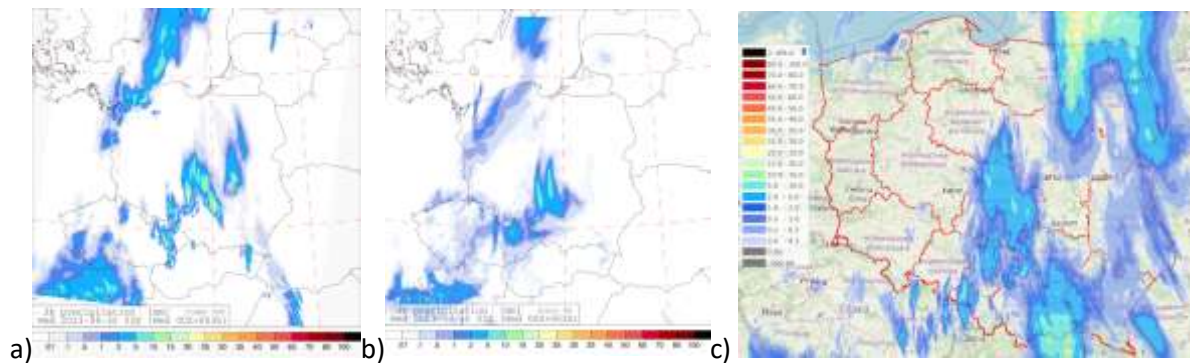




Rys. 63. Prognoza numeryczna temperatury na poziomie equilibrium level.

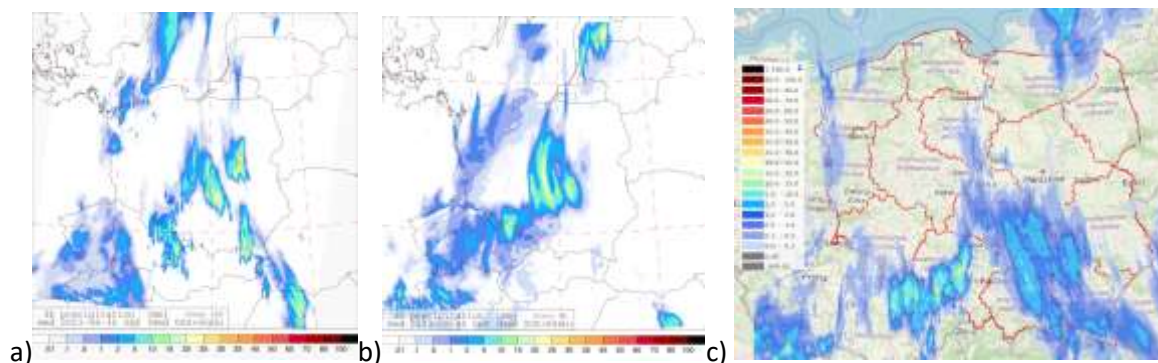
Wierzchołki chmur Cumulonimbus mogły znajdować się na wysokości izotermy -50°C / -60°C lub temperatura mogłaby być wyższa. Jeżeli we wschodniej Polsce rozbudowywałyby się chmury Cumulonimbus to wówczas występowałyby warunki sprzyjające elektryzacji chmur i powstania pola elektrycznego wymaganego do inicjacji wyładowań iskrowych w chmurze.

Prognoza pola opadu z modelu COSMO i ALARO (przebieg modelu z godziny 00 UTC, 30 VIII 2023 roku)



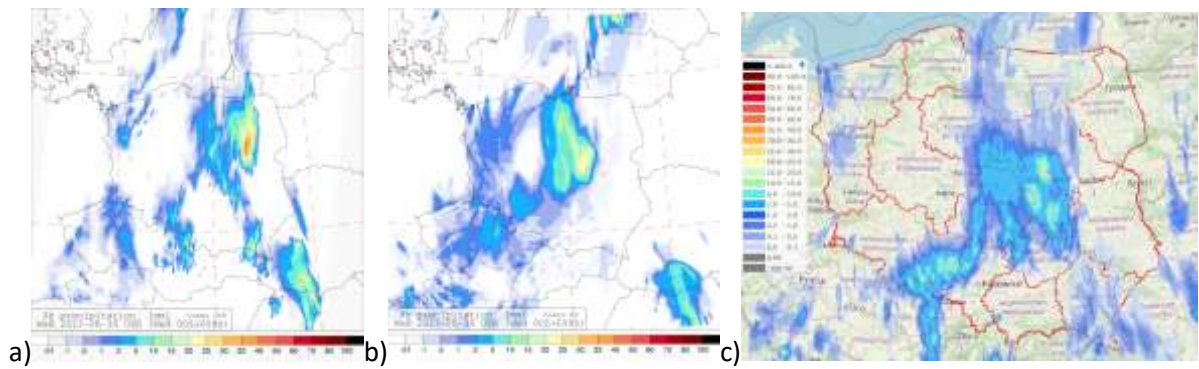
Rys. 64. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 30 VIII 2023 roku, godzina 03 UTC.

Brak zgodności numerycznej prognozy pola opadu ze stanem faktycznym. Modele numeryczne nie prognozowały opadów deszczu w północno wschodniej Polsce. Model COSMO prognozował słabe opady deszczu w południowo wschodniej części kraju, co lokalnie było zgodne z faktyczną sytuacją. Modele COSMO i ALADIN prognozowały opady w rejonach centralnych. Prognozowana strefa opadu częściowo pokrywa się z rzeczywistą strefą opadu. W woj. zachodniopomorskim występowały słabe opady deszczu. Modele COSMO oraz ALADIN prognozowały szerszą strefę opadu o większej intensywności niż w rzeczywistości. Modele również prognozowały opady w zachodniej części kraju, co nie miało miejsca w rzeczywistości.



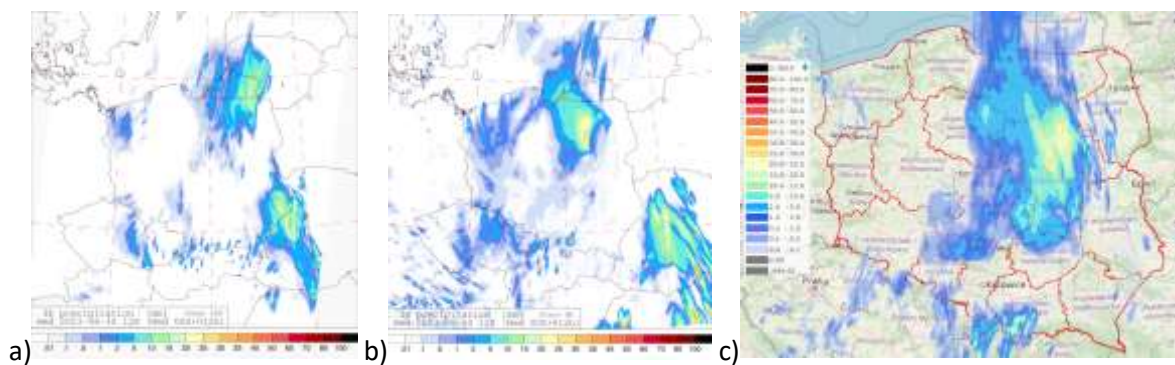
Rys. 65. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 30 VIII 2023 roku, godzina 06 UTC.

Częściowo zgodność prognostycznej i rzeczywistej strefy opadu. Brak zgodności prognozy intensywności opadu z rzeczywistą intensywnością opadu występującą w centralnych rejonach kraju. Zbliżona intensywność prognozowanego opadu z rzeczywistą intensywnością w rejonie woj. opolskiego.



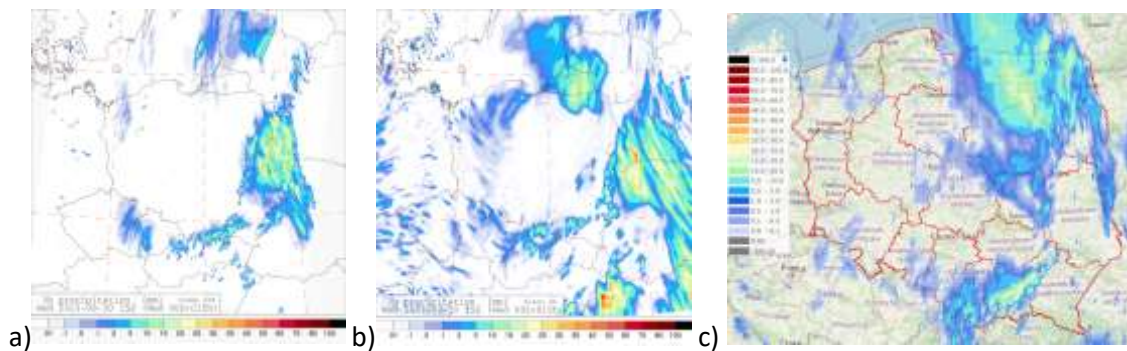
Rys. 66. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 30 VIII 2023 roku, godzina 09 UTC.

Częściowa zgodność numerycznej prognozy pól opadowych ze stanem faktycznym. Lokalna zgodność intensywności opadu.



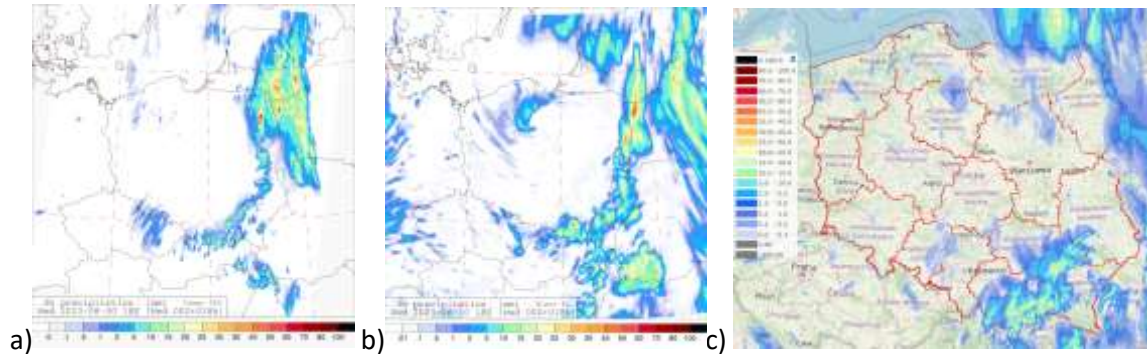
Rys. 67. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 30 VIII 2023 roku, godzina 12 UTC.

Częściowa zgodność numerycznej prognozy pól opadowych ze stanem faktycznym. Zgodność dotyczy obszaru woj. warmińsko-mazurskiego, małopolskiego, śląskiego, mazowieckiego, świętokrzyskiego, łódzkiego. Model ALARO prognozował rozległą strefę opadów w zachodniej Polsce. Model COSMO w północno zachodniej, czyli w woj. zachodniopomorskim. W rzeczywistości zarejestrowano słabe opady deszczu w woj. zachodniopomorskim i były to opady słabe. Lokalna zgodność intensywności opadu w rejonie woj. mazowieckiego, warmińsko-mazurskiego i lokalnie na południu kraju. Na pozostałym obszarze brak zgodności.



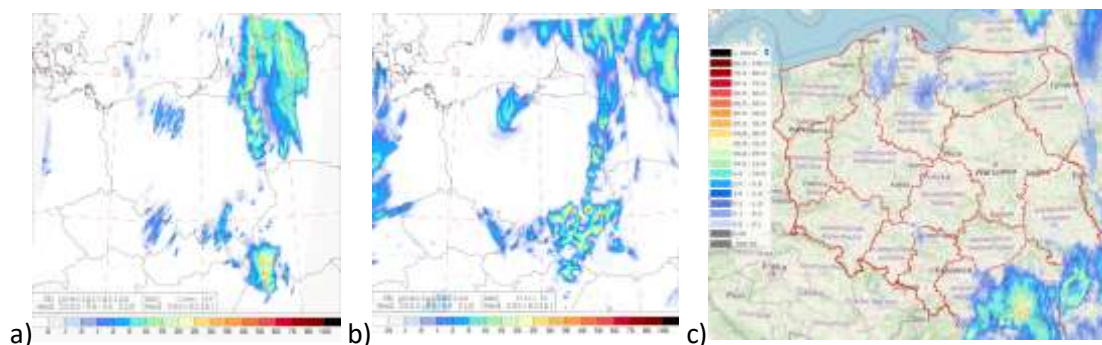
Rys. 68. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 30 VIII 2023 roku, godzina 15 UTC.

Częściowa zgodność numerycznej prognozy pól opadowych ze stanem faktycznym. W północno wschodniej Polsce występowały intensywne opady deszczu. Model ALADIN również prognozował strefę intensywnych opadów w północno wschodniej Polsce oraz w obwodzie królewieckim, jednak obszar był mniejszy. Model COSMO prognozował jedynie śladowe ilości opadu ww. obszarze. Lokalna zgodność intensywności opadu.



Rys. 69. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 30 VIII 2023 roku, godzina 18 UTC.

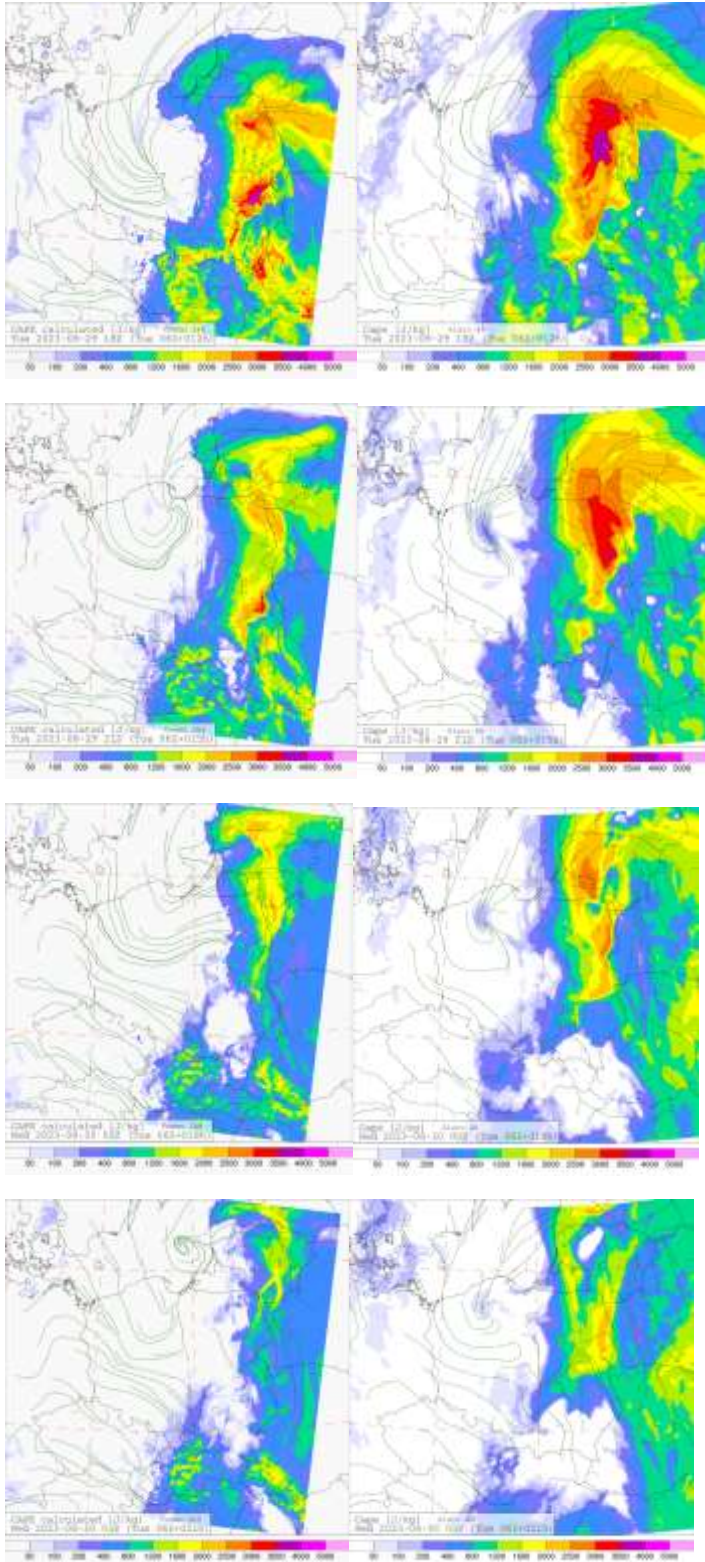
Modele numeryczne prognozowały opady we wschodniej, południowo wschodniej i wschodniej części kraju. Modele także prognozowały opad w północnej i północno zachodniej Polsce, przy czym model ALARO prognozował opad o większej intensywności. Model COSMO prognozował słaby opad deszczu w północno zachodniej Polsce. W rzeczywistości opady deszczu wystąpiły na krańcach woj. podlaskiego i w północnych rejonach woj. warmińsko-mazurskiego oraz słabe opady były rejestrowane w woj. mazowieckim, kujawsko-pomorskim, pomorskim oraz zachodniopomorskim. Prognozy numeryczne pozwoliły na określenie, w przybliżony sposób, obszaru wystąpienia opadu w południowo wschodniej części kraju. Należy zaznaczyć, że obie strefy, prognostyczna i rzeczywista, nie do końca się pokrywały. Podobnie stwierdzenie dotyczy intensywności opadu. Model COSMO pozwolił na zaprognozowanie w północno zachodniej części kraju słabych opadów deszczu. Z dużym przybliżeniem można stwierdzić zgodność prognozy z rzeczywistością. Model ALARO prognozował opady w woj. pomorskim oraz kujawsko-pomorskim. Rzeczywista strefa opadu występowała na ww. województwach, ale strefy te nie pokrywały się. Model ALARO również prognozował słabe symboliczne opady w zachodniej i centralnej Polsce. W rzeczywistości również występowały słabe opady w zachodniej, południowej i lokalnie w centralnej części kraju, ale brak pełnej zgodności w modelem.

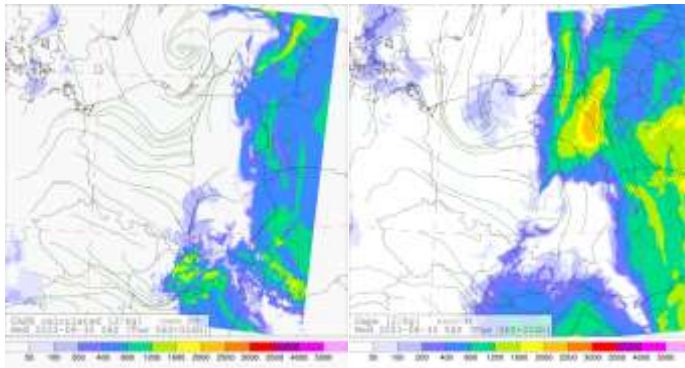


Rys. 70. Prognoza pola opadu z modelu a) COSMO 2k8, b) ALARO 4k0 oraz c) rzeczywiste pole opadu, 30 VIII 2023 roku, godzina 21 UTC.

Opady w południowo wschodniej części kraju najlepiej odwzorował model ALARO. Model ALARO ponadto prognozował opad deszczu w woj. pomorskim i kujawsko-pomorskim. W rzeczywistości

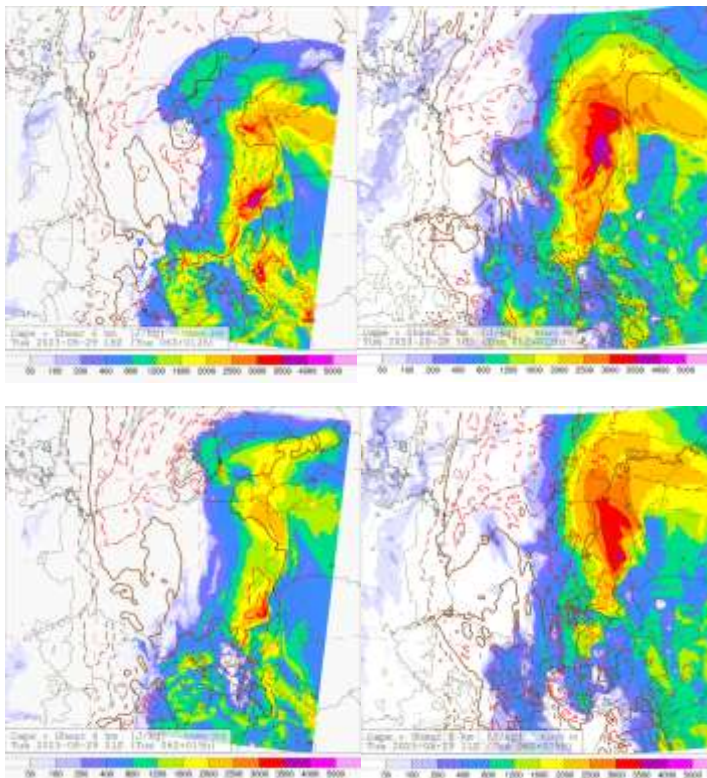
opady deszczu występowały w woj. pomorskim i kujawsko-pomorskim, przy czym strefa opadu podzielona była na dwa obszary oddzielone strefą bezopadową. Strefa bezopadowa pokryła się z prognozowaną strefą opadu przez model ALARO. Model COSMO prognozował również opady w północnej Polsce w woj. pomorskim i kujawsko-pomorskim. Oba modele prognozowały opady we wschodniej Polsce, które nie wystąpiły.

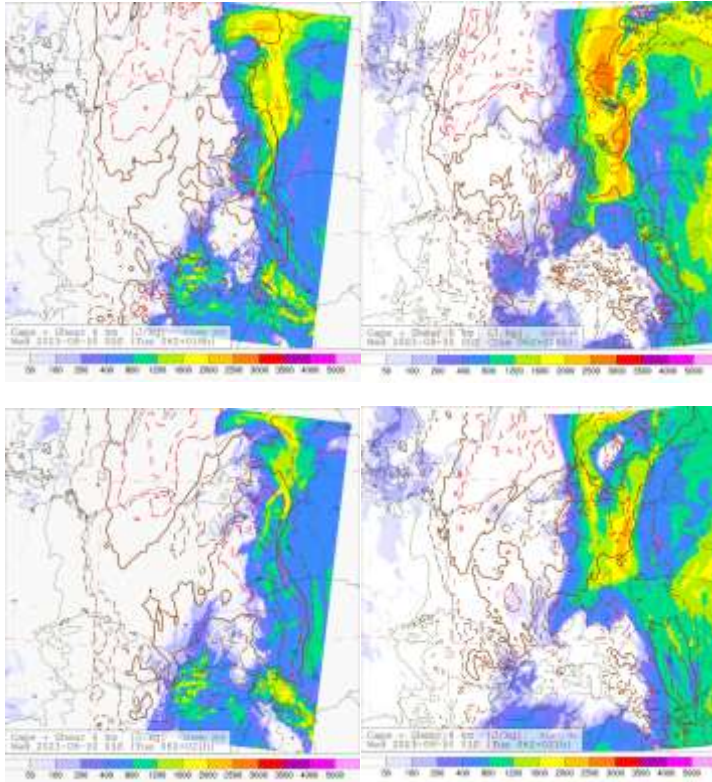




Rys. 71. Prognoza CAPE.

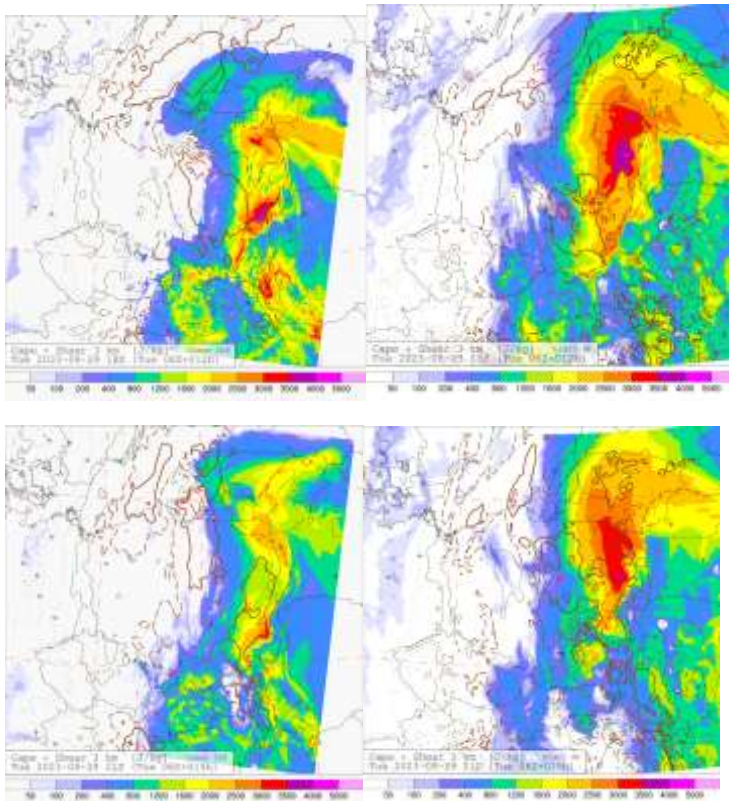
Prognozy numeryczne CAPE wskazują na duże wartości na wschodzie kraju. Model COSMO prognozował w woj. lubelskim CAPE na poziomie 2000-3000 J/kg. Rejon z wysokimi wartościami 3000 J/kg jest dość mały. W woj. podlaskim CAPE osiągnął wartość nieco niższą do 2000 J/kg. W każdym kolejnym kroku prognozy wartości CAPE były coraz niższe. O godzinie 06 UTC, 30 VIII 2023 roku, CAPE osiągnął wartość 800 J/kg w woj. podlaskim. Model ALARO o godzinie 18 UTC 29 VIII 2023 roku prognozował wartości 3000 J/kg. Lokalnie na południu woj. podlaskiego CAPE osiągał wartość 3500 J/kg. Podobnie jak w wypadku modelu COSMO w każdym kolejnym przebiegu modelu prognozowane wartości CAPE zmniejszały się, osiągając o godzinie 06 UTC 30 VIII 2023 roku wartość 2000 J/kg w woj. podlaskim. Duże wartości CAPE w godzinach wieczornych wskazywały na silną konwekcję. Nad ranem według modelu COSMO intensywność konwekcji powinna być słaba w woj. podlaskim oraz podkarpackim. Według modelu ALADIN nad ranem 30 VIII 2023 roku konwekcja powinna być silna w woj. podlaskim. Prognozowane wartości CAPE wskazują na wystąpienie we wschodniej części kraju umiarkowanej i silnej konwekcji.

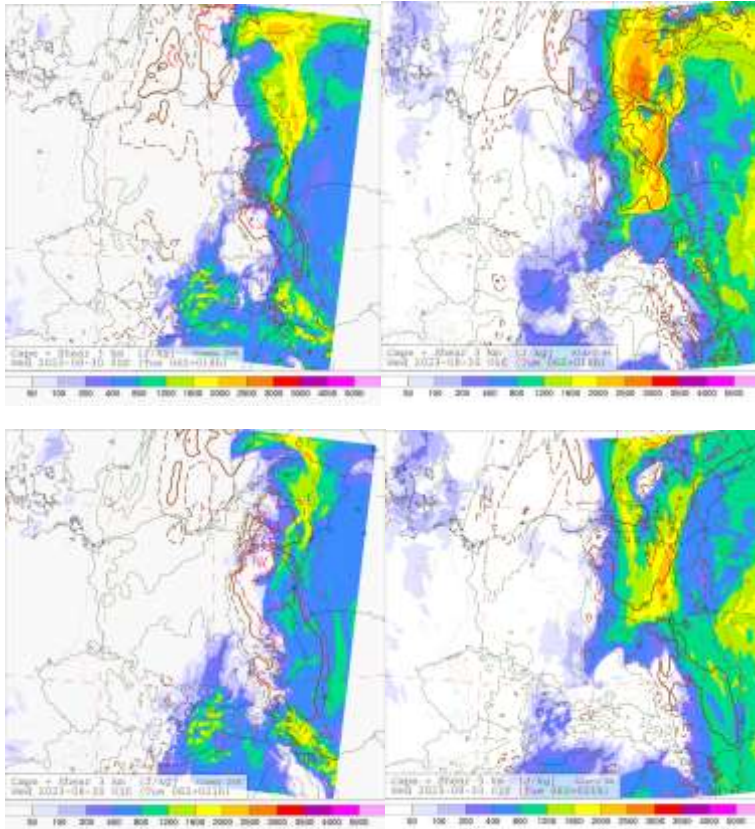




Rys. 72. Prognoza numeryczna CAPE+Shear 6km.

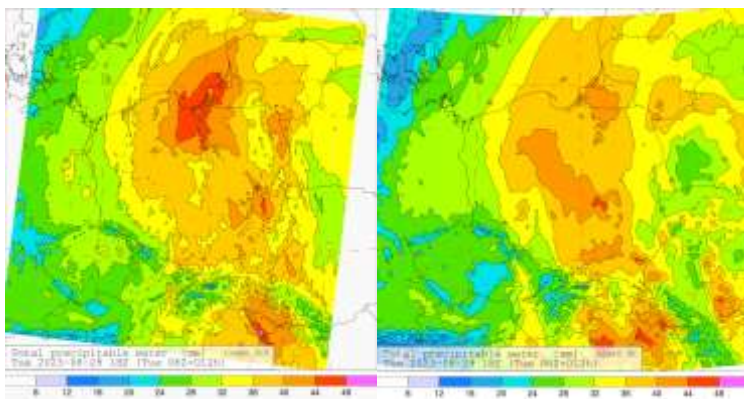
Modele numeryczne prognozowały na południu, w centrum, na wschodzie i na północy kraju ścienie wiatru od 15 m/s do 25 m/s. Model ALARO także prognozował ścienie wiatru 25 m/s w południowo zachodniej części kraju. Ścienie wiatru o tej wartości sugeruje wystąpienie umiarkowanych i silnych burz.

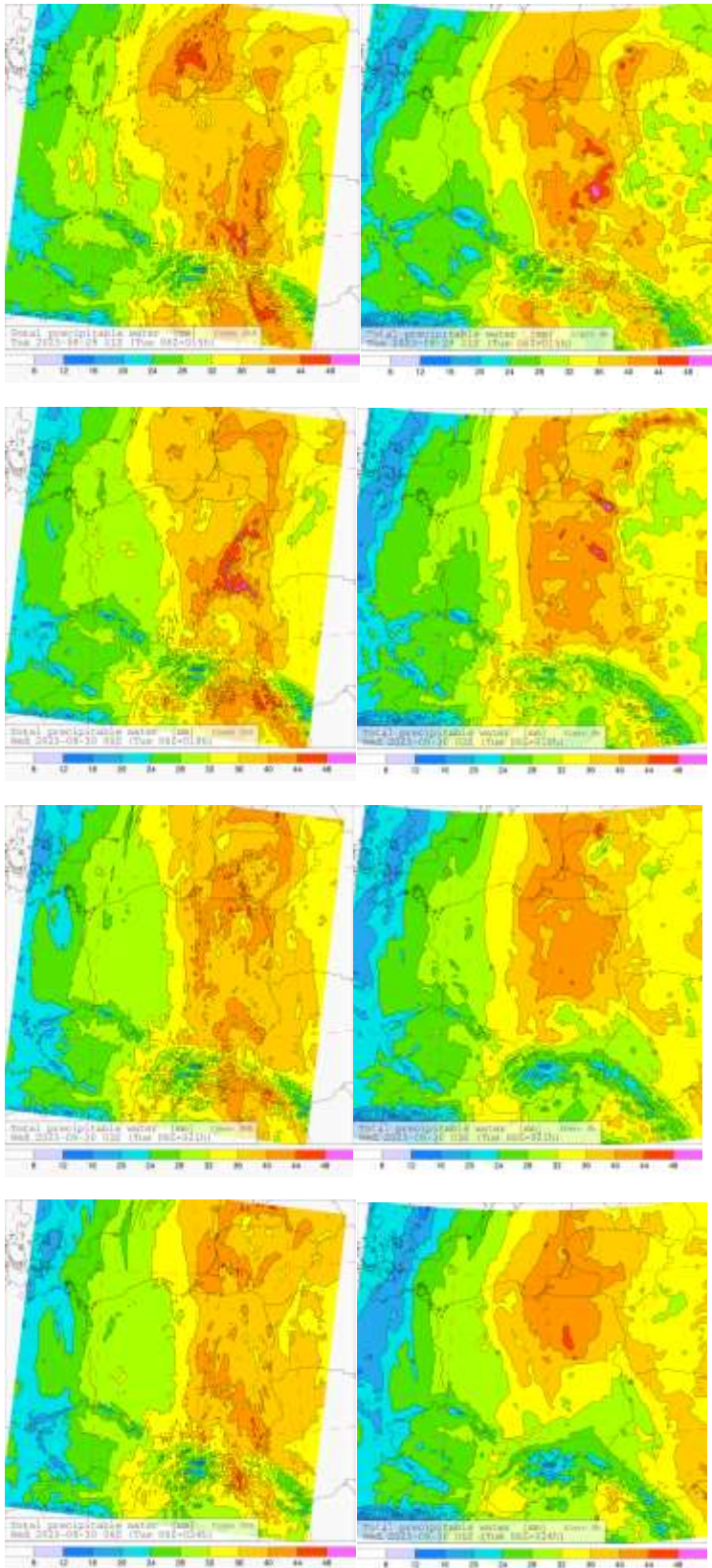




Rys. 73. Prognoza numeryczna CAPE+Shear 3km.

We wschodniej Polsce modele prognozowały ścięcie wiatru w warstwie 3 km do 15-25 m/s. Model ALADIN prognozował w dzielnicach centralnych także ścięcie wiatru do 25 m/s. Prognozowane wartości ścięcia wiatru również pozwalają wyciągnąć wnioski, że mogą wystąpić burze umiarkowane i silne.

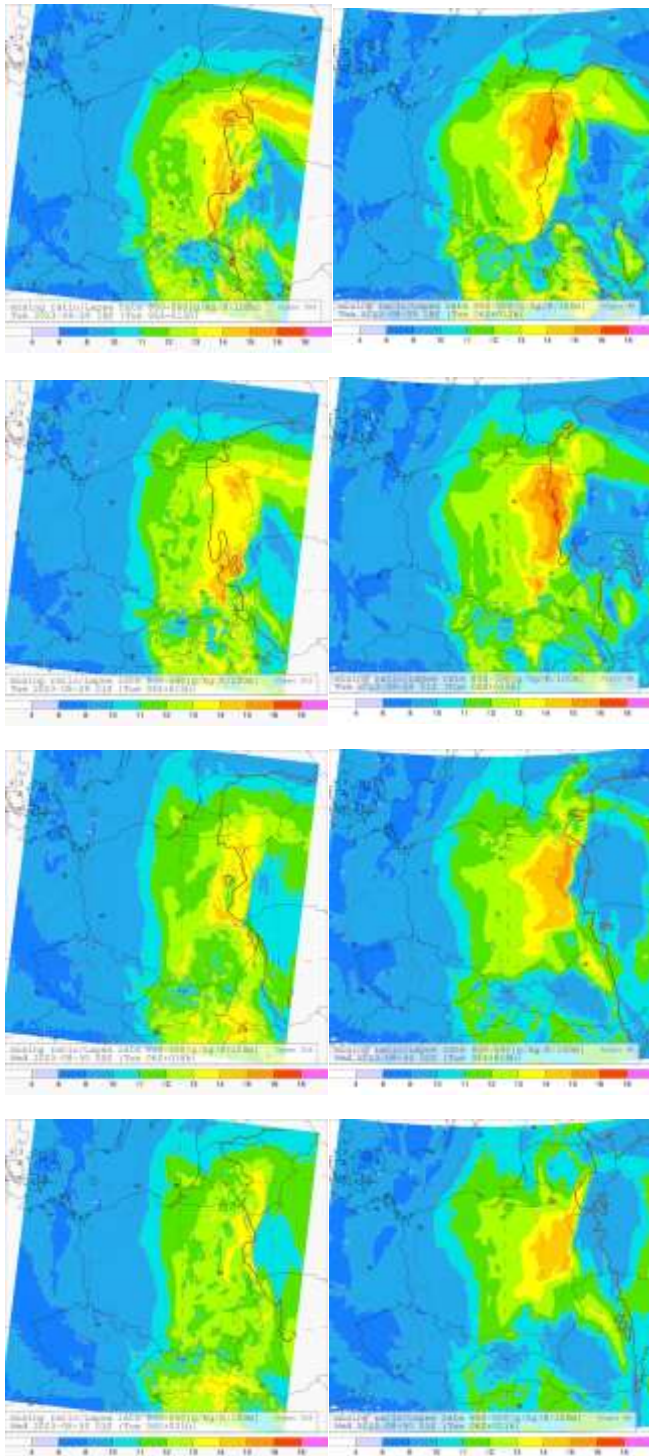


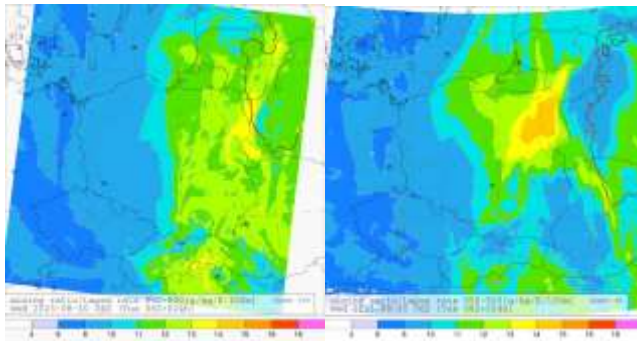


Rys. 74. Prognoza masy pary wodnej zawartej w całym słoju atmosfery o powierzchni podstawy równym metrowi kwadratowemu.

Model COSMO początkowo (29 VIII 2023, 18 UTC) prognozował dużą ilość pary wodnej zawartej w całym słoju atmosfery o powierzchni podstawy równym metrowi kwadratowemu w woj. pomorskim

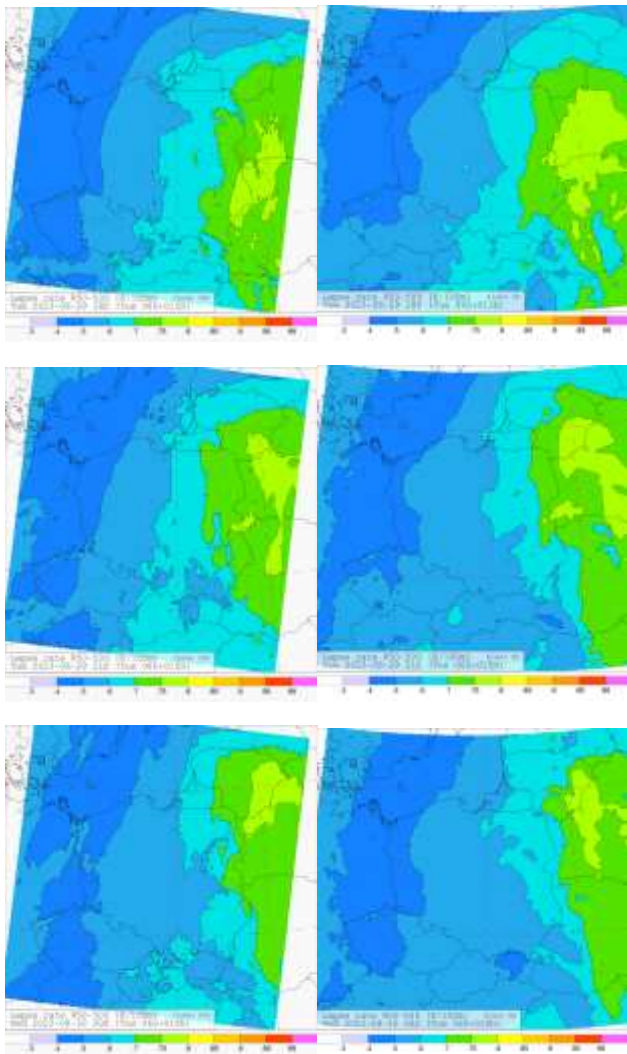
i warmińsko-mazurskim oraz lokalnie w woj. lubelskim (44-48 mm). O godzinie 21 UTC duża ilość pary wodnej model prognozował 48 mm. Prognozowana strefa dużej ilości pary wodnej przemieszczała się na północ we wschodniej części kraju. Model ALADIN również lokalnie prognozował dużą ilość pary wodnej. Wartości na poziomie 48 mm zlokalizowana była we wschodniej części kraju. Zawartość wody w pionowym słupie powietrza o wartości 40 mm zlokalizowana była na znacznym obszarze znajdującym się we wschodniej oraz częściowe w centralnej części kraju. Podobnie prognozował model COSMO. Z analizy prognostycznych wartości TPW wynikało, że we wschodniej części kraju od linii przebiegającej południkowo przez dzielnice centralne w kierunku wschodnim należało się spodziewać dużych wartości opadu deszczu.

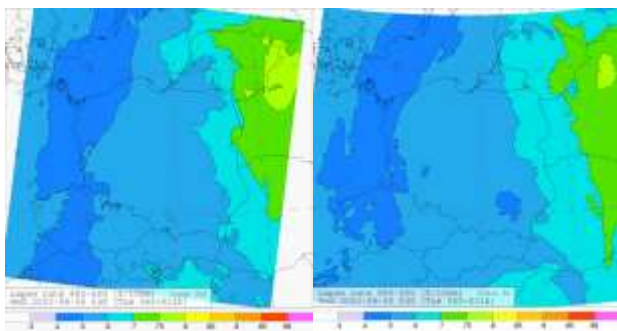




Rys. 75. Prognoza stosunku zmieszania w warstwie 850hPa-500 hPa.

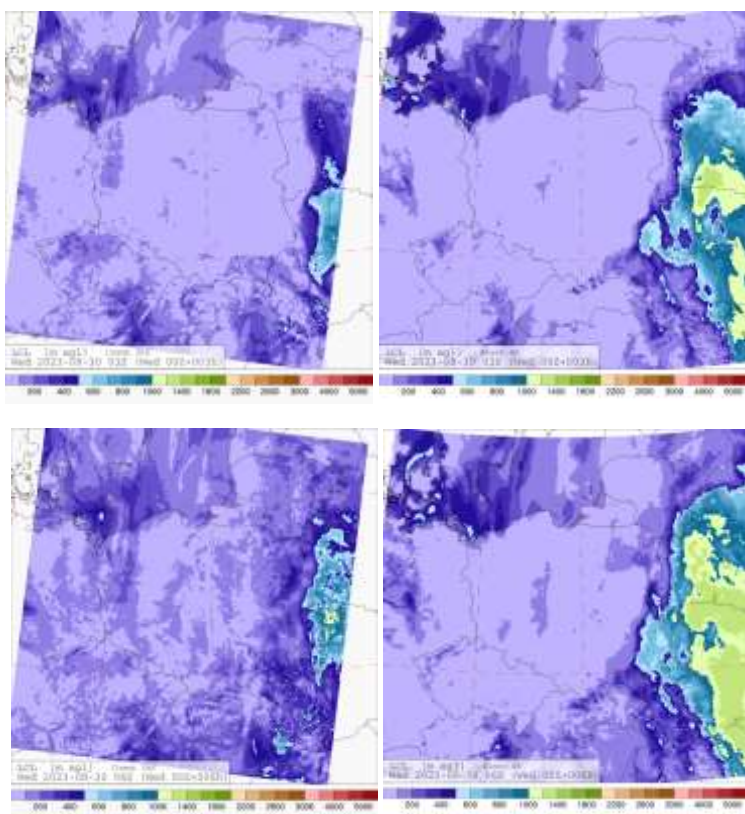
Modele numeryczne (COSMO, ALADIN) zgodnie prognozowały we wschodniej części kraju, stosunek zmieszania na poziomie 13-16 g/kg, przy czym model ALADIN prognozował wyższe wartości. Co wskazywało na dużą wilgotność powietrza.





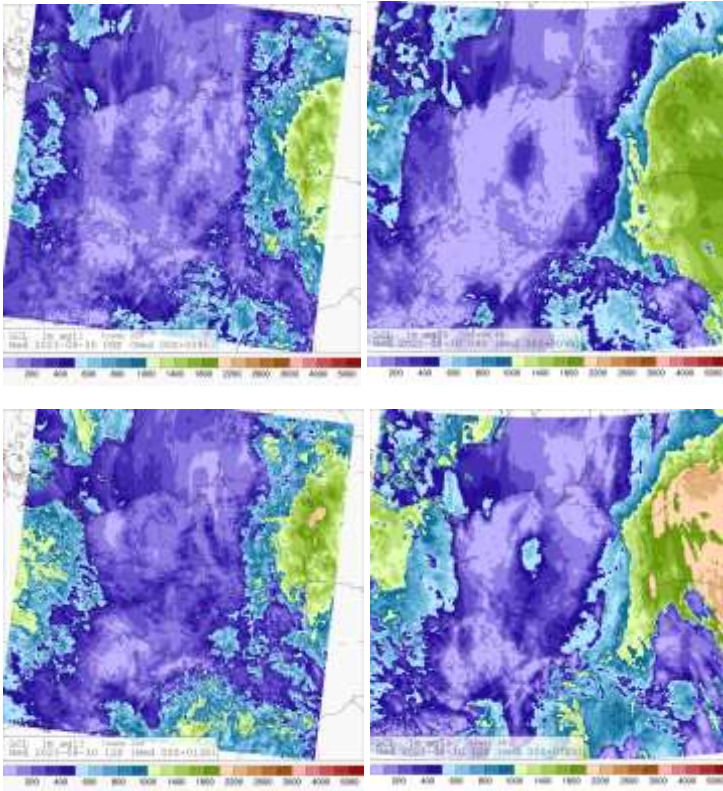
Rys. 76. Prognoza gradient temperatury w warstwie 850-500 hPa.

Modele zgodnie w warstwie 850 hPa-500 hPa prognozowały wyższe wartości gradientu temperatury na wschodzie kraju poziomie 0,7-0,75 K/100 metrów. Nad ranem 30 VIII prognoza pionowego gradientu temperatury obniżyła się do 0,5-0,6 K/100 metrów. Prognozowane wartości gradientu wskazywały na równowagę wilgotno-chwiejną.



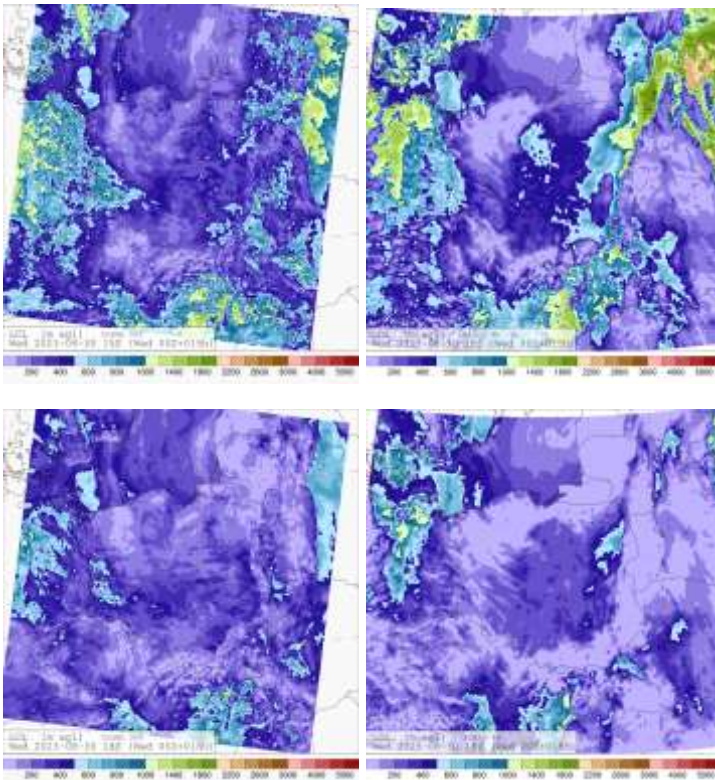
Rys. 77. Prognoza poziomu LCL, 30 VIII 2023 roku, godzina 03 UTC i 06 UTC.

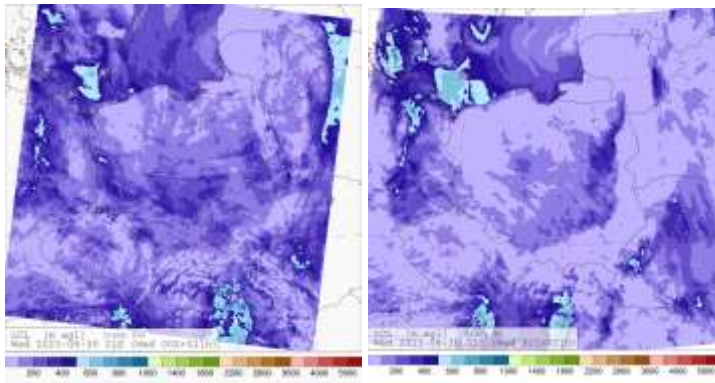
Nad ranem wysokość LCL była prognozowana poniżej 200 metrów przez model COSMO do 600 metrów przez model ALADIN w wschodniej części kraju. Z prognoz numerycznych wynikało, że na całym obszarze Polski zawartość pary wodnej w warstwie granicznej atmosfery jest wysoka. Jedynie model ALADIN prognozował w woj. lubelskim wyższe wartości LCL co wskazywało na mniejszą zawartość pary wodnej w warstwie granicznej pary wodnej.



Rys. 78. Prognoza poziomu LCL, 30 VIII 2023 roku, godzina 09 UTC i 12 UTC.

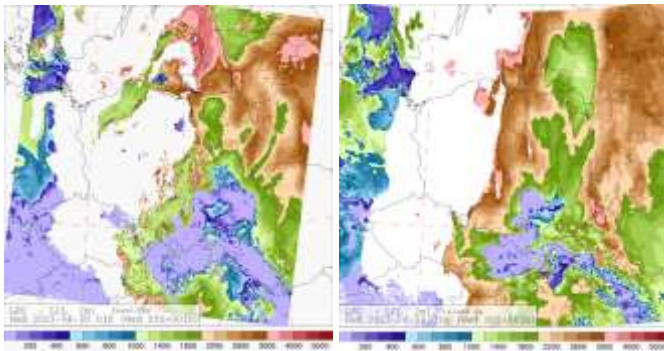
Do godzin dopołudniowych wysokość LCL się zwiększała we wschodniej części kraju. Na pozostałym obszarze modele prognozowały LCL na wysokości 400-500 metrów i niżej. Z prognozy numerycznej wysokości poziomu LCL wynikało, że w pasie wschodnim zawartość pary wodnej w warstwie granicznej była mniejsza. Na pozostałym obszarze była wysoka.





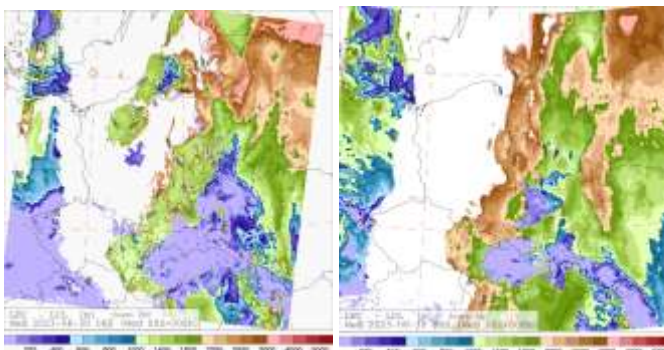
Rys. 79. Prognoza poziomu LCL, 30 VIII 2023 roku, godzina 15 UTC, 18 UTC, 21 UTC.

W godzinach popołudniowych prognozowana wysokość poziomu LCL obniżała się i w godzinach wieczornych zalegała poniżej 200 metrów. Niskie wysokości LCL związane były z dużą zawartością pary wodnej w warstwie granicznej atmosfery.



Rys. 80. Prognoza różnicy poziomów LFC i LCL, 30 VIII 2023 roku, godzina 03 UTC.

W drugiej części nocy 30 VIII prognozowana różnica między wysokością LCL oraz LFC wynosiła od 500 metrów do 200 metrów i mniej w południowo wschodniej części kraju (COSMO) oraz na południu kraju (ALADIN). We wschodniej części kraju rozciągał się pas większej różnicy w wysokości LFC i LCL wynoszącej 1400-1800 metrów, który otoczony był strefą, gdzie prognozowana różnica w wysokości była jeszcze większa i wynosiła powyżej 2000 metrów. Ze względu na prognozowaną małą różnicę LFC i LCL na południu i południowym wschodzie Polski należałoby się spodziewać głębokiej konwekcji oraz groźnej pogody.



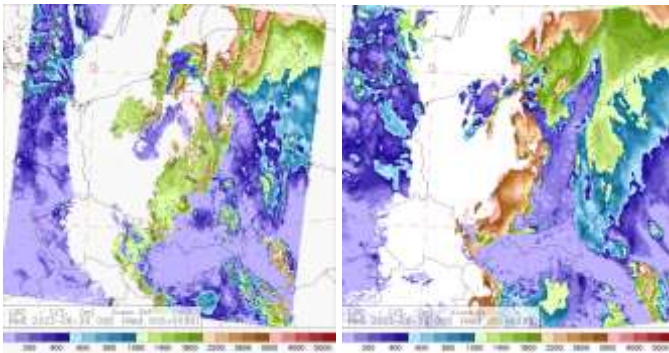
Rys. 81. Prognoza różnicy poziomów LFC i LCL, 30 VIII 2023 roku, godzina 06 UTC.

Według modelu COSMO o godzinie 06 UTC strefa małej różnicy w wysokości LFC i LCL rozprzestrzeniła się na północ kraju (we wschodnim pasie kraju). Według prognoz modelem ALADIN ta strefa małej różnicy była bardziej rozproszona i znajdowała się na południu i południowym wschodzie kraju.

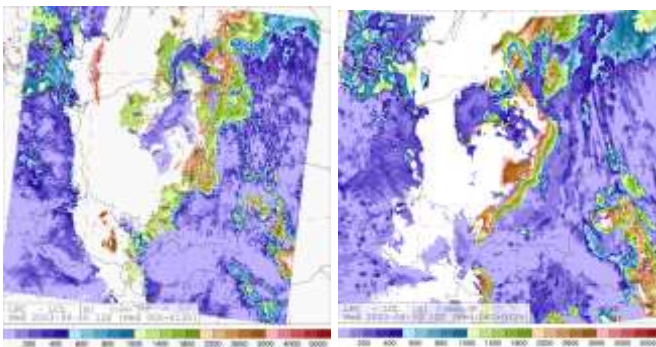


Rys. 82. Synop, 30 VIII 2023 roku, godzina 06 UTC.

Na południu, w centrum i południowym wschodzie obserwowane były chmury Cumulonimbus oraz lokalnie intensywne opady deszczu.

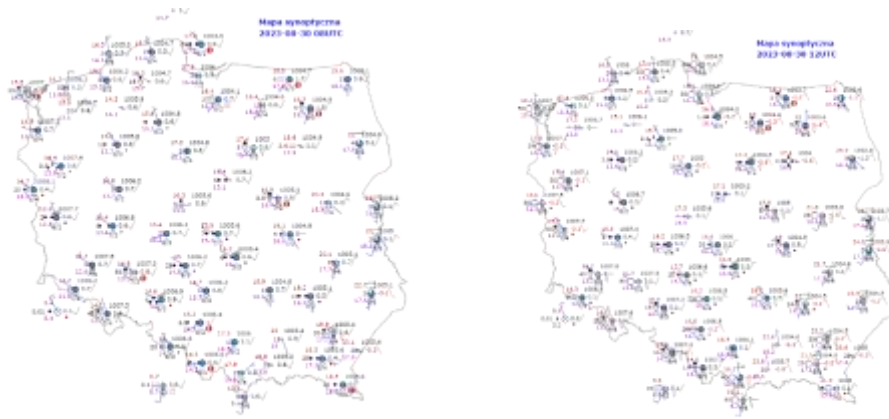


Rys. 83. Prognoza różnicy poziomów LFC i LCL, 30 VIII 2023 roku, godzina 09 UTC.



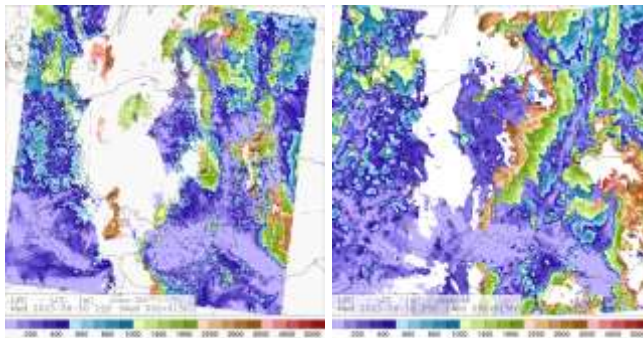
Rys. 84. Prognoza różnicy poziomów LFC i LCL, 30 VIII 2023 roku, godzina 12 UTC.

Do godzin dopołudniowych niewielka różnica między poziomem LFC i LCL zalegała we wschodniej i południowo wschodniej części kraju i częściowo na północy Polski. Niewielka różnica między poziomami LFC oraz LCL wskazywała z dużym prawdopodobieństwem na wystąpienie głębokiej konwekcji i groźnej pogody.

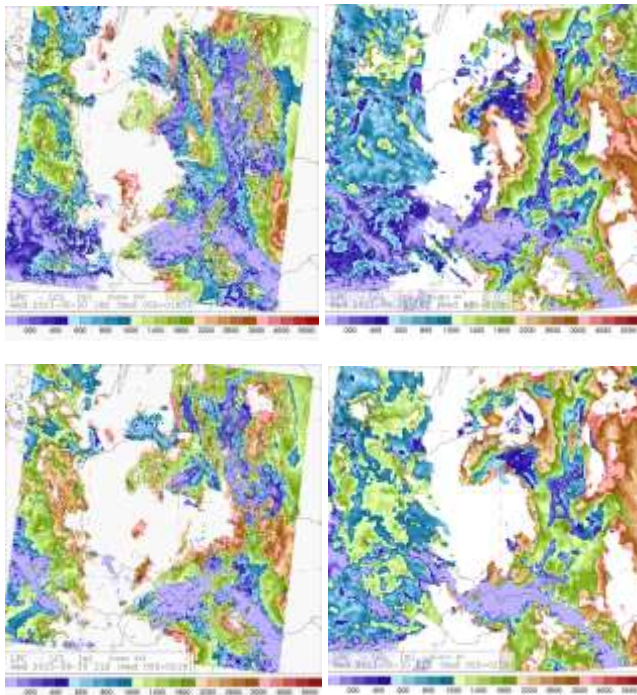


Rys. 85. Synop, 30 VIII 2023 roku, godzina 08 UTC, 12 UTC.

We wschodniej części kraju oraz w woj. mazowieckim były obserwowane chmury Cumulonimbus capillatus oraz Cumulonimbus calvus. Występowały intensywne opady deszczu.

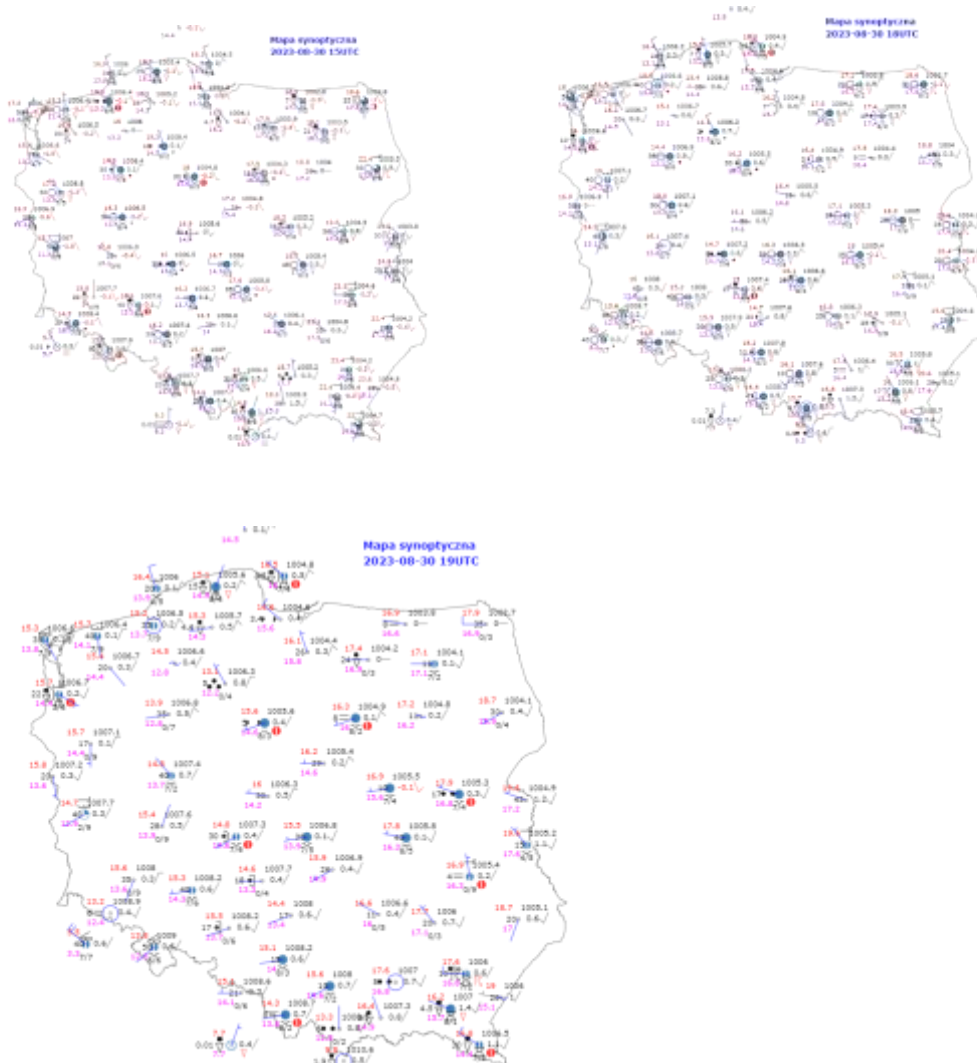


Rys. 86. Prognoza różnicy poziomów LFC i LCL, 30 VIII 2023 roku, godzina 15 UTC.



Rys. 87. Prognoza różnicy poziomów LFC i LCL, 30 VIII 2023 roku, godzina 18UTC, 21 UTC.

Według numerycznych prognoz COSMO i ALADIN w godzinach popołudniowych i wieczornych obszar z małą różnicą w wysokości LFC i LCL powinien zmniejszyć się. Najmniejsze wartości według prognoz numerycznych powinny wystąpić na południu i południowym wschodzie kraju (poniżej 200 metrów) i lokalnie na wschodzie i północnym wschodzie kraju 400-600 metrów (ALADIN) oraz poniżej 200 metrów na południu i południowym wschodzie oraz lokalnie na wschodzie kraju.



Rys. 88. Synop, 30 VIII 2023 roku, godzina 15 UTC, 18 UTC, 19 UTC.

We wspomnianych wyżej obszarach występowały chmury Cumulonimbus capillatus/calvus. Notowane były intensywne opady przelotne oraz burze.

4. Dokumentacja zjawiska i doniesienia medialne

<https://www.pap.pl/aktualnosci/powalone-drzewa-i-podtopienia-burze-szaleja-na-warmii-i-mazurach>

<https://www.pap.pl/aktualnosci/strazacy-ewakuowali-oboz-harcerski-kolo-skepego-powodem-nocna-burza>

29.08.2023

1. Publikacja 15:09. Widok na komórkę burzową obok Nowego Sącza.

<https://twitter.com/SkywarnPoland/status/1696510510055731292>



2. Publikacja 15:28. Gradziny, Nowy Sącz.

<https://twitter.com/SkywarnPoland/status/1696515250743582884>



3. Publikacja 15:39. Gradziny, Siedlce koło Nowego Sącza (woj. małopolskie).

<https://twitter.com/SkywarnPoland/status/1696518034037551146>



4. Publikacja 16:18. Gradziny, Luśtawice (woj. małopolskie).

<https://twitter.com/SkywarnPoland/status/1696527843164103108>



5. Publikacja 16:38. Gradziny, Tarnów.

<https://twitter.com/SkywarnPoland/status/1696532696217137469>

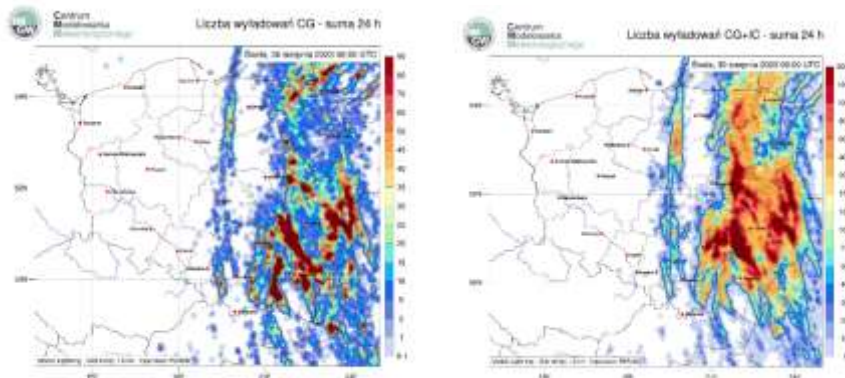


6. Publikacja 16:46. Gradziny, Lichwin (woj. małopolskie).

<https://twitter.com/SkywarnPoland/status/1696534793033560199>



7. Podsumowanie liczby wyładowań suma 24 godz. do godziny 8:00.

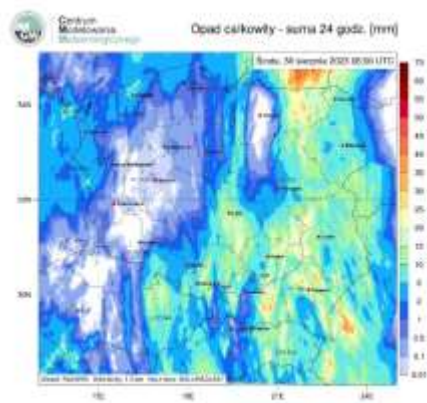


8. Podsumowanie dnia. Maksymalne porywy wiatru zanotowane na stacjach meteorologicznych IMGW-PIB:

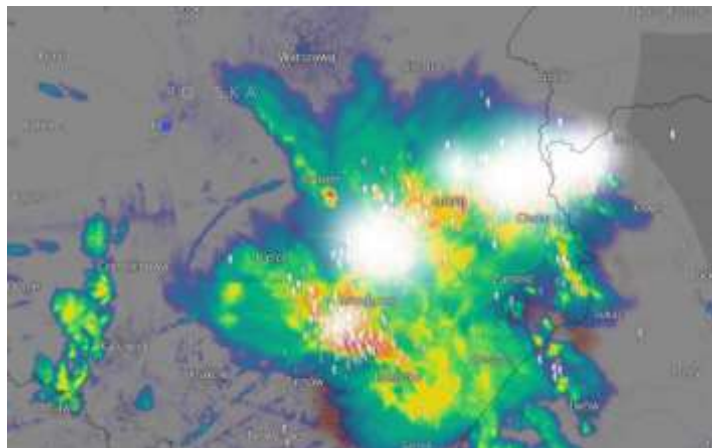
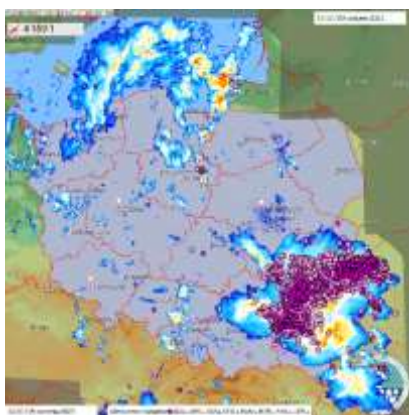
- 79,2 km/h - Kasprowy Wierch, Włodawa;
- 72,0 km/h - Rzeszów-Jasionka, Zamość;
- 61,2 km/h - Suwałki, Siedlce;
- 57,6 km/h - Mikołajki, Sandomierz;
- 54,0 km/h - Koło-Radoszewice, Tarnów, Białystok, Terespol, Lublin-Radawiec.

9. Podsumowanie dnia. Opad całkowity - suma z 24 godz. do godziny 8:00 (system RainGRS). Maksymalny opad (pierwsze 4 pozycje):

- 45 mm woj. małopolskie - Ujanowice (dane z systemu RainGRS);
- 39 mm woj. małopolskie - Blechnarka (dane ze stacji meteorologicznej);
- 39 mm woj. podkarpackie - Leszczowate (dane ze stacji meteorologicznej);
- 34 mm woj. łódzkie - Silniczka (dane ze stacji meteorologicznej).



10. Najintensywniejsza liczba wyładowań.



Źródło: www.windy.com

11. Nagranie z Dąbrowy Tarnowskiej https://www.youtube.com/shorts/Jk5bJ0b82_4

12. Publikacja 16:25. Gradziny, Pleśna (woj. małopolskie).
https://twitter.com/SOB_pl/status/1696529567933239588



13. Publikacja 16:38. Tarnów.

<https://twitter.com/MeteoprognzaPL/status/1696532738097172889>



14. <https://next.gazeta.pl/next/7,172392,30132497,silne-burze-z-gradem-przetaczaja-sie-przez-malopolske-temperatura.html#s=BoxOplmg5>

15. <https://twitter.com/SkywarnPoland/status/1696553319605453200>

16.

https://m.facebook.com/story.php?story_fbid=pfbid02Cojq1Z1LhqpUkiaY7exznXuhpEYZKkUMY7ZGJ7cbbcXqCPuhdiwQ9QoRk7WWDsSsQI&id=100088424207117

17.

https://twitter.com/SOB_pl/status/1696620167155810792?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etw_eetembed%7Ctwterm%5E1696620167155810792%7Ctwgr%5E3b4dc0b4c03270567879b35e2e4022e908224f54%7Ctwcon%5Es1_c10&ref_url=https%3A%2F%2Fobserwatorzy.info%2F

18. <https://limanowa.in/aktualnosci/nawalnica-zniszczyla-sady-straty-sa-ogromne-rolnicy-zrozpaczeni/67585>

19. https://twitter.com/SOB_pl/status/1696601779859824762?s=20