

Analiza sytuacji synoptycznej 01-03.12.2023

Intensywne opady śniegu

Opracowanie przygotowali:

Kierownik zespołu: dr Grzegorz Duniec

mgr Karolina Kierklo

mgr Gabriel Stachura

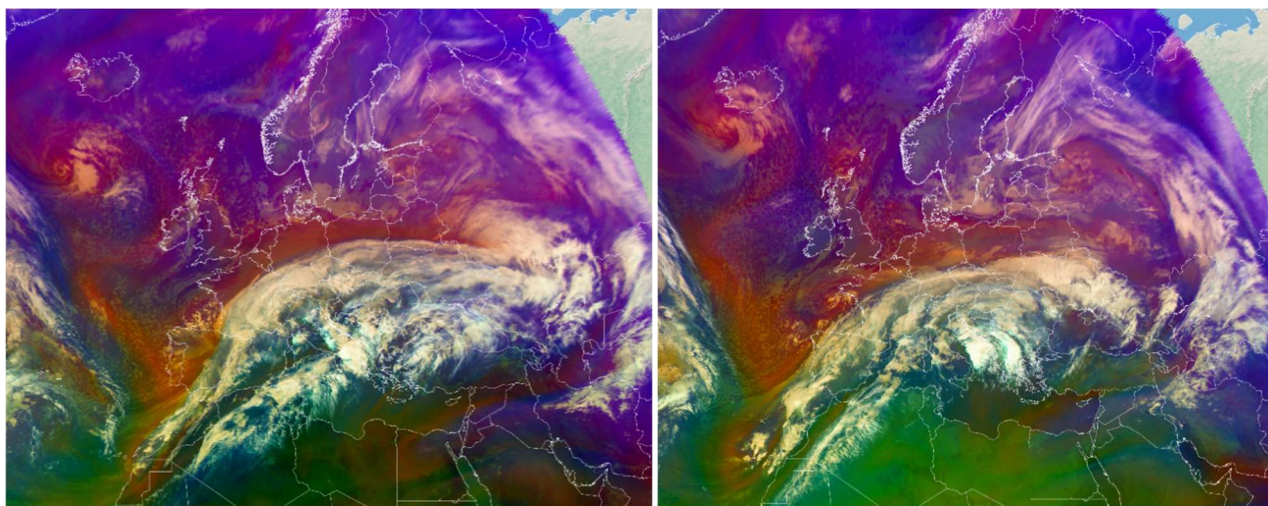
mgr Mateusz Zamajtys

mgr Robert Pyrc

1. Opis sytuacji synoptycznej

01.12.2023

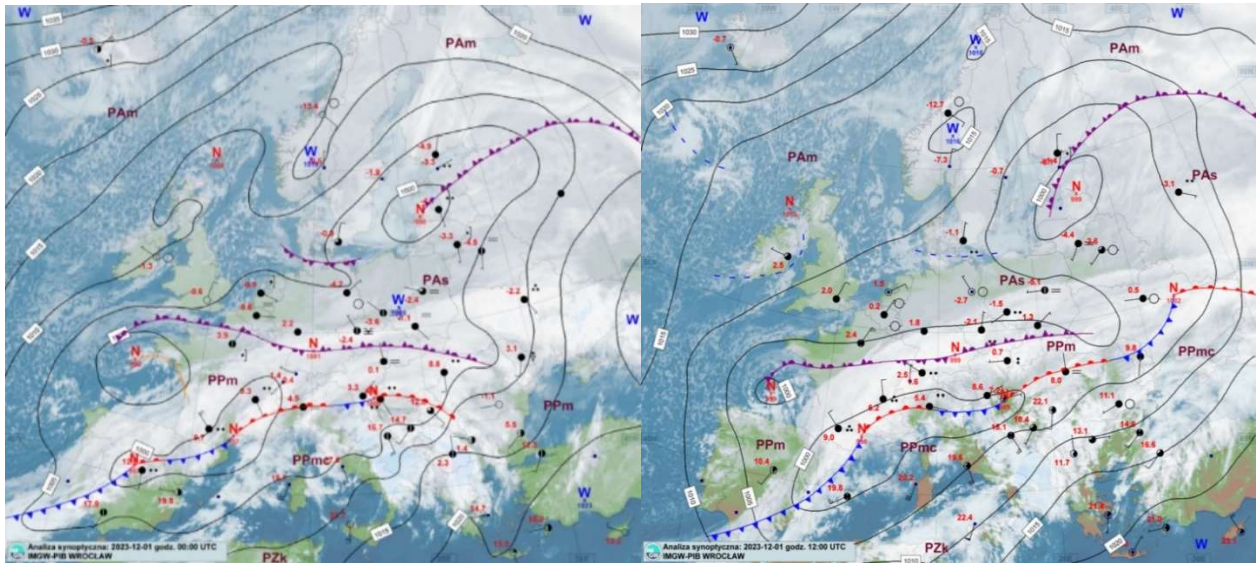
Przeważająca część Europy znajdowała się w obszarze obniżonego ciśnienia, rozciągającym się od Półwyspu Iberyjskiego, przez rejon Alp i północnych Włoch, aż po kraje bałtyckie i Rosję. Utworzyły się w nim liczne ośrodki niżowe. Główny pofalowany, niemal quasi stacjonarny i ułożony równoleżnikowo chłodny front atmosferyczny przebiegał nad południową Europą. Po jego północnej stronie zalegało zimne i stosunkowo suche powietrze pochodzenia arktycznego, zaś po południowej, zdecydowanie cieplejsze i wilgotniejsze polarne morskie. Obszary podwyższonego ciśnienia z centrami nad Skandynawią i północnym Uralem ograniczały możliwość przemieszczania się układu niskiego ciśnienia w kierunku północnym. Pod koniec dnia widoczne było uformowanie się wyraźniejszego zafalowania na froncie w rejonie Półwyspu Iberyjskiego, które dynamicznie zaczęło przemieszczać się w kierunku północno-wschodnim/wschodnim w rejon Mórz Balearskiego i Liguryjskiego oraz Zatoki Genueńskiej.



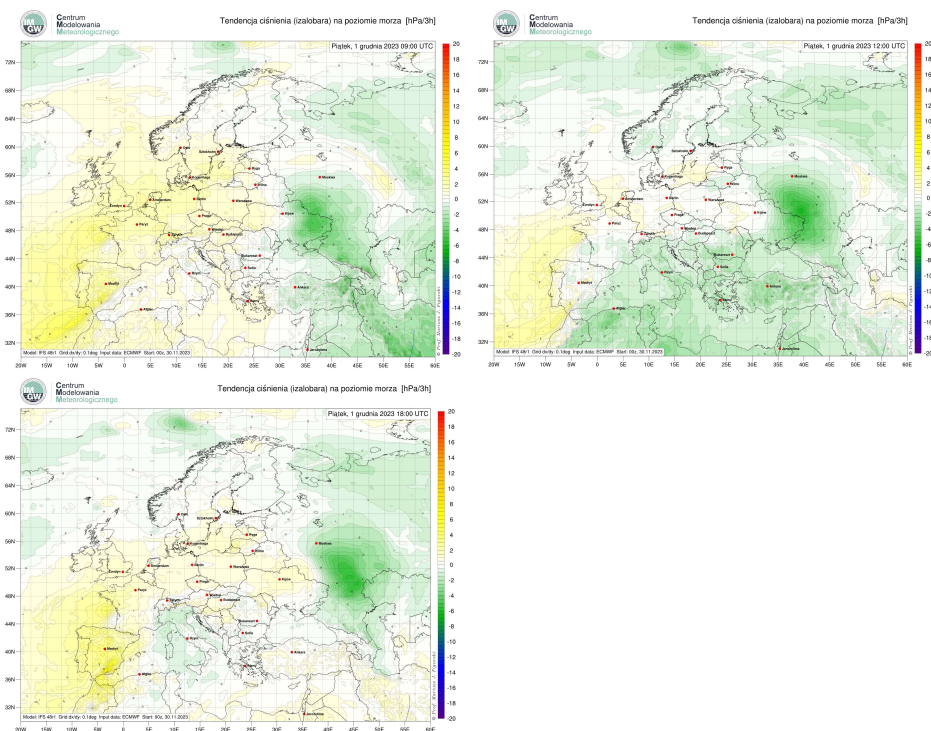
Rys. 1 Obrazy satelitarne – produkt Airmass – z dn. 01.12.2023 z godz. 00 UTC i 12 UTC (<https://view.eumetsat.int/>).

Pierwszego grudnia nad Polską nie identyfikowano żadnego frontu atmosferycznego. Nad zachodnią i południową częścią kraju zaznaczał się słaby klin wyżu znad Skandynawii, który z upływem dnia obejmował

coraz większy obszar Polski. Jedynie północne i północno-wschodnie rejony kraju pozostawały w zasięgu ośrodka niżowego ulokowanego nad krajami bałtyckimi.

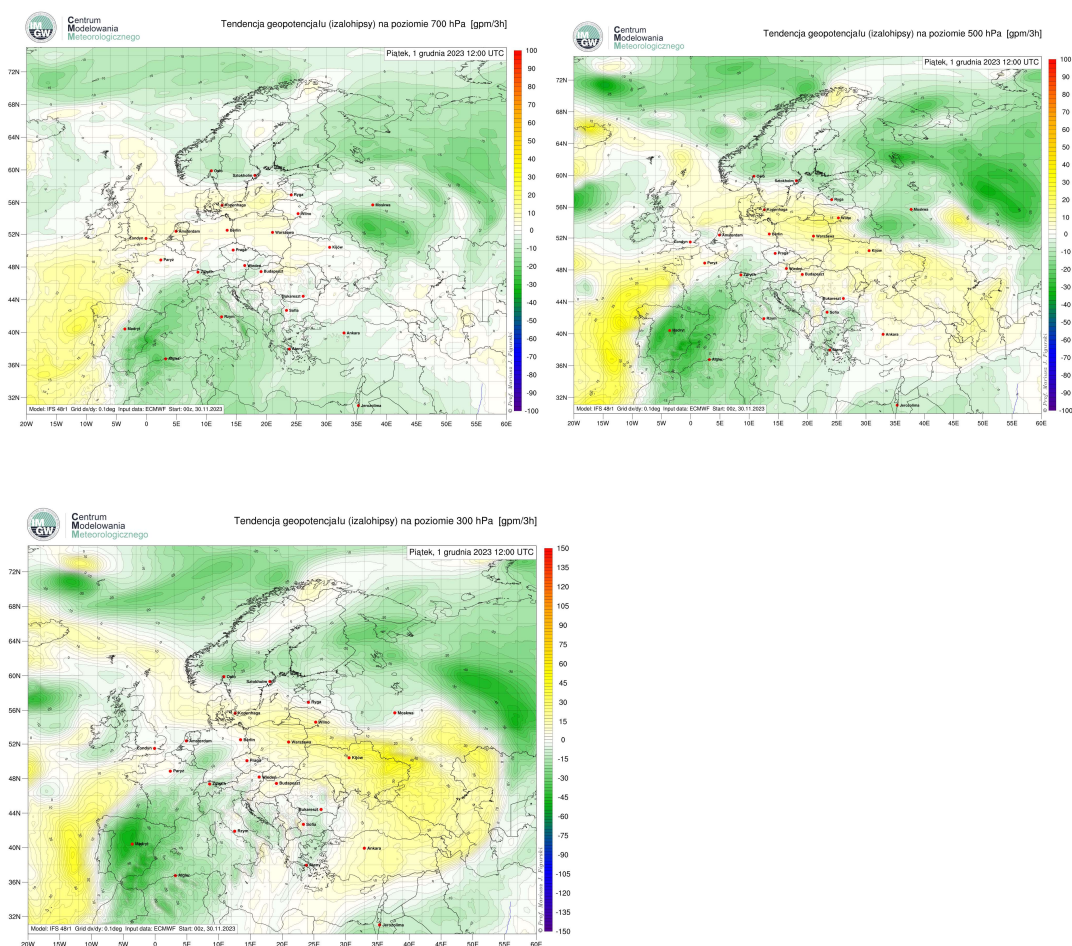


Rys. 2 Mapy synoptyczne Europy z dn. 01.12.2023 z godz. 00 UTC i 12 UTC (<https://meteo.imgw.pl/>).



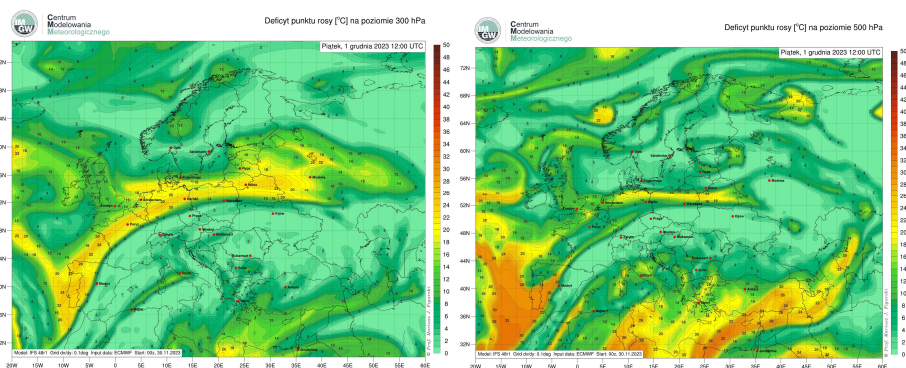
Rys. 3. Prognoza numeryczna tendencji ciśnienia w dniu 01.12.2023 roku.

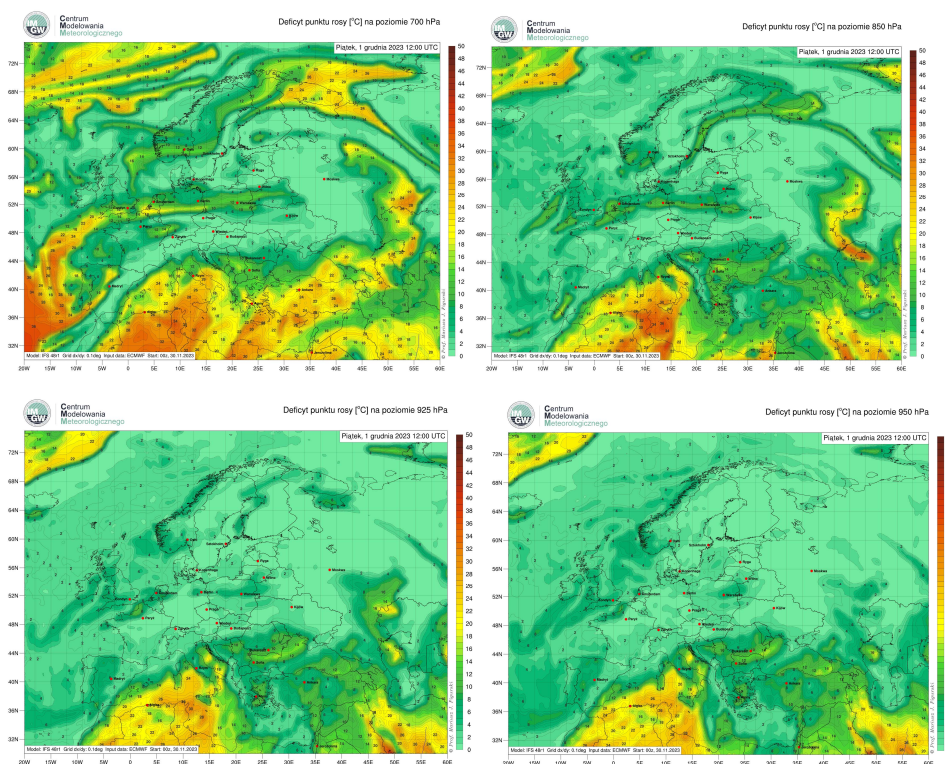
Z symulacji numerycznych tendencji barycznych wynikało, że w ciągu całego dnia (1 XII 2023 roku) prognozowana tendencja baryczna powinna być dodatnia, z wyłączeniem prognozy z godziny 12 UTC, gdzie na krańcach północno-wschodniej Polski zaznaczyć się miała ujemna tendencja baryczna, zaś na południowym zachodzie tendencja dodatnia, na pozostałym obszarze nie prognozowane były jakiegokolwiek zmiany ciśnienia.



Rys. 4. Prognoza numeryczna tendencji geopotencjału na poziomach 700 hPa, 500 hPa, 300 hPa, na godz. 12 UTC, 01.12.2023.

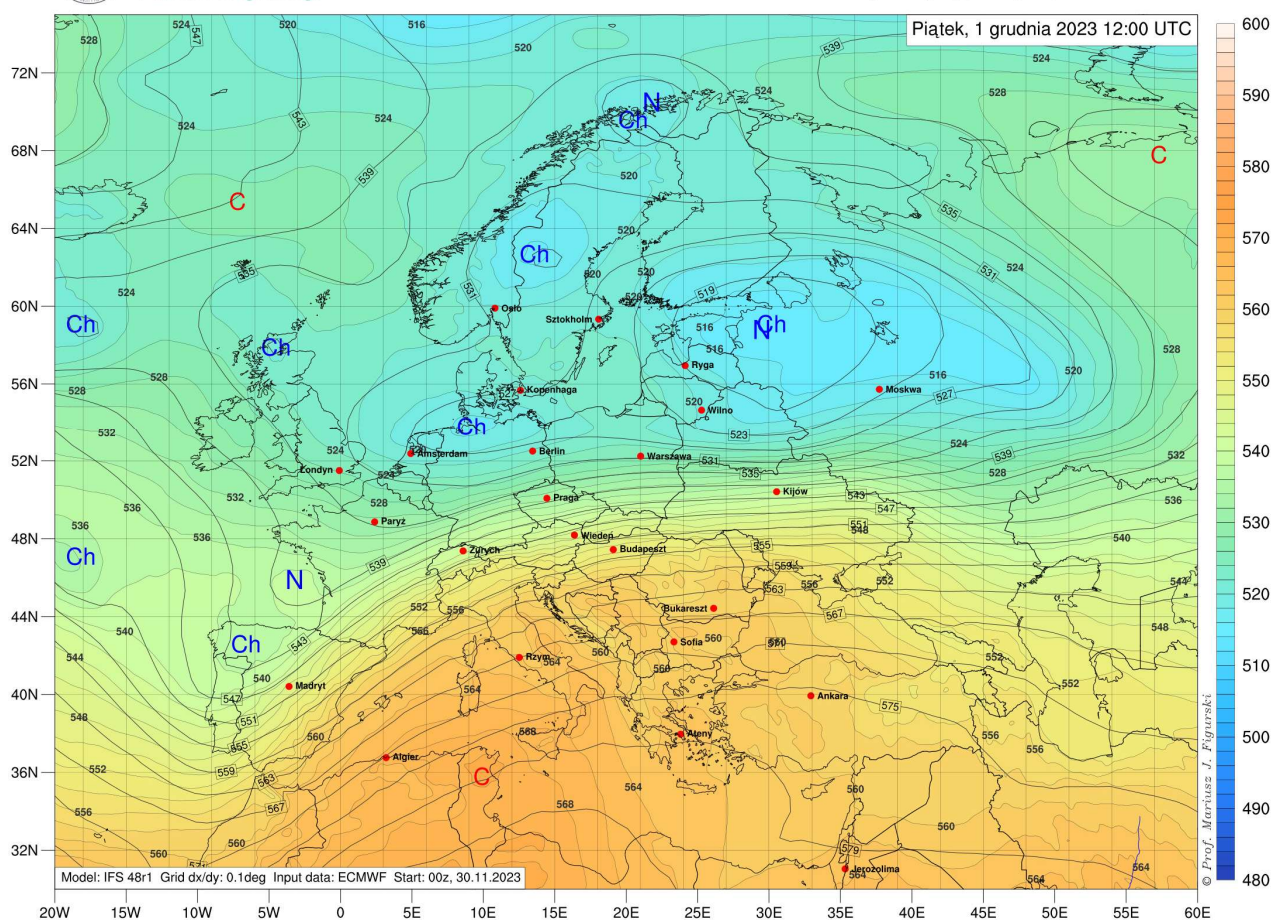
Na wyższych poziomach izobarycznych również prognozowana była dodatnia tendencję geopotencjału, przy czym im wyżej tym wzrosty geopotencjału miały być większe.





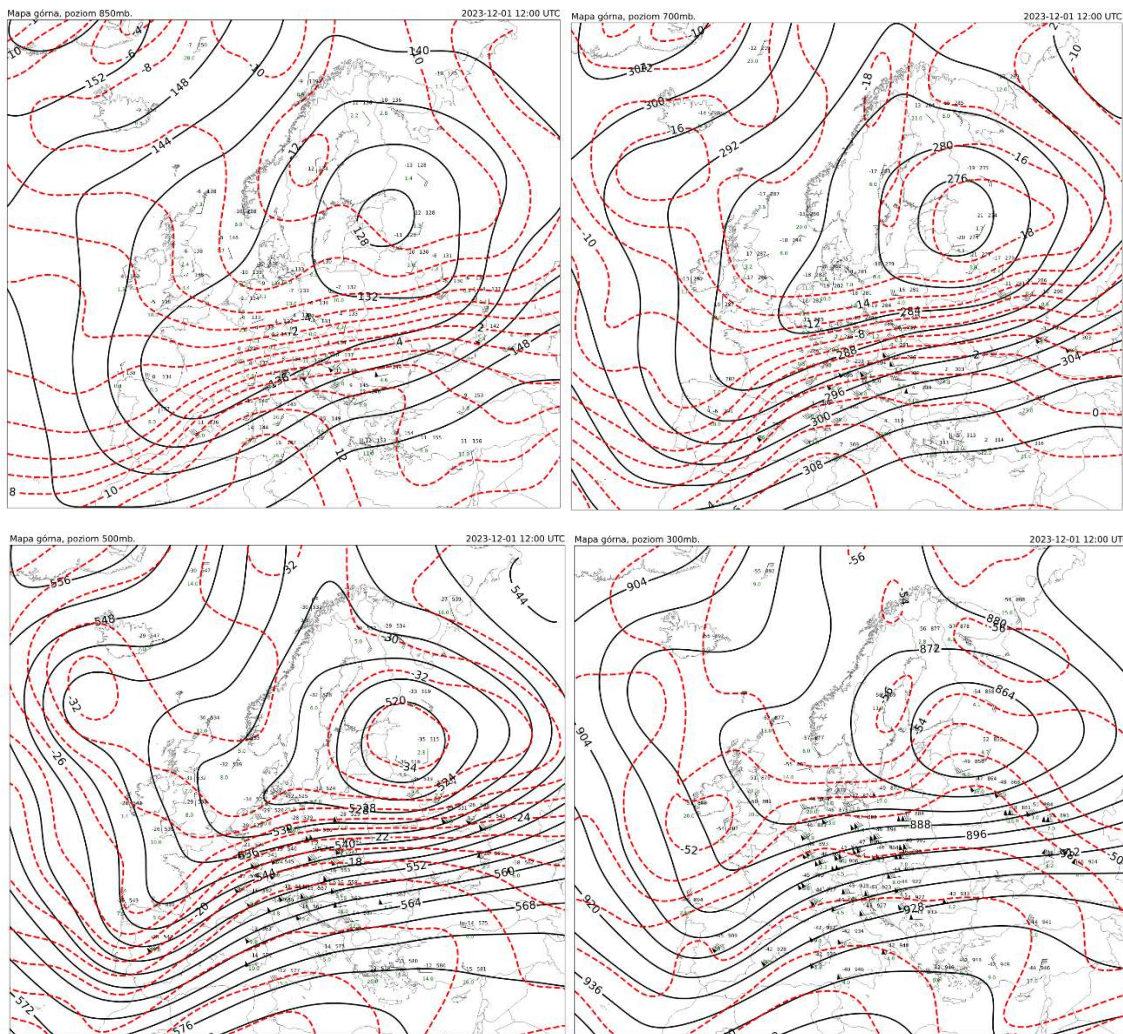
Rys. 5. Prognoza numeryczna deficytu punktu rosy, na poziomach 950 hPa, 925 hPa, 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa, 300 hPa, na godz. 12 UTC, 01.12.2023.

Symulacje deficytu punktu rosy sugerowały zwiększoną ilość pary wodnej w dolnej troposferze. Na wyższych poziomach, początkowo na poziomie 850 hPa w wąskim pasie, a później i wyżej w północnym obszarze kraju masa powietrza powinna być bardziej sucha. Na wysokości 9 km prognozowana wartość deficytu punktu rosy wynosiła powyżej 20 st. C na północy kraju.



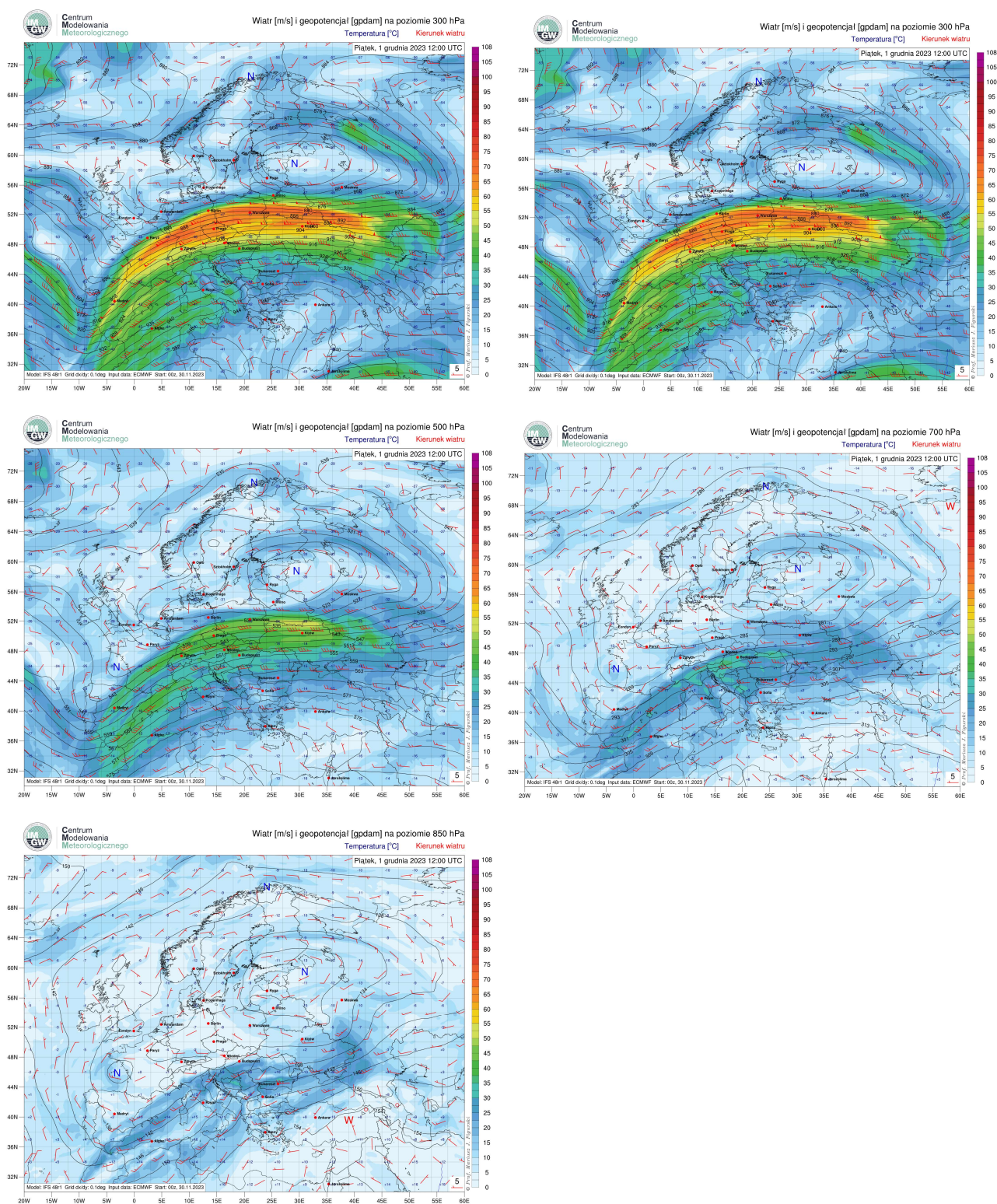
Rys. 6. Prognoza numeryczna geopotencjału względnego TW_{1000}^{500} na godz. 12 UTC, 01.12.2023.

Z analizy prognozy pola geopotencjału względnego TW_{1000}^{500} wynikało, że północna Polska powinna znajdować się w obszarze nieco cieplejszego powietrza otoczonego dwiema zatokami chłodu. Jeden z ośrodków chłodu miał zalegać nad zachodnią Rosją, przy granicy z Estonią. Ośrodek chłodu pokrywał się z centrum niżu na wysokości 500 hPa. Drugi ośrodek chłodu zalegał nad północnymi Niemcami, a trzeci nad Płw. Skandynawskim. W kierunku południowym prognozowany był wzrost średniej temperatury warstwy o grubości 500 hPa. Nad południową Polską prognozowany był klin ciepła. Z prognostycznej mapy TW wynikało pokrywanie się izohips bezwzględnych i względnych. Jak wynikało z symulacji numerycznych w Polsce południowej występować powinien zwiększony gradient temperatury (zwiększony gradient geopotencjału względnego) oraz geopotencjału bezwzględnego. A więc nad Polską północną powinna zalegać dość sucha masa powietrza pochodzenia arktycznego, a na południu cieplejsze pochodzenia polarno-morskiego.



Rys. 7. Analiza topografii barycznej bezwzględnej TB850, TB700, TB500 oraz TB300, na godzinę 12 UTC, 1 XII 2023 roku.

Analiza rzeczywistej mapy topografii barycznej bezwzględnej TB500 potwierdziła trafność prognozy numerycznej. Rzeczywiście w zachodniej Rosji przy granicy z Estonią znajdował się niż, która był wysokim układem barycznym. Ośrodek chłodu pokrywał się z centrum wiru cyklonicznego na poziomie 700 hPa oraz 500 hPa. Niż był w stadium wypełniania się, chłodna masa powietrza wypełniała środkową i centralną część cyklonu. Górny i dolny ośrodek cykloniczny pokrywał się ośrodkiem chłodu w środkowej troposferze. Z rzeczywistych pomiarów wynikało, że izotermy i izohipsy są w przybliżeniu równoległe. Na poziomie 500 hPa, na południu kraju kąt adwekcji był ujemny, co wskazywało na adwekcję ciepła, a dokładniej cieplejszego i wilgotniejszego powietrza. Na północy kraju występował dodatni kąt adwekcji wskazujący na adwekcję chłodniejszego i suchszego powietrza. Ponadto zwiększony gradient pola geopotencjału na południu i w centrum kraju sugerował, że należy się spodziewać zwiększonej prędkości przepływu mas powietrza w środkowej troposferze.

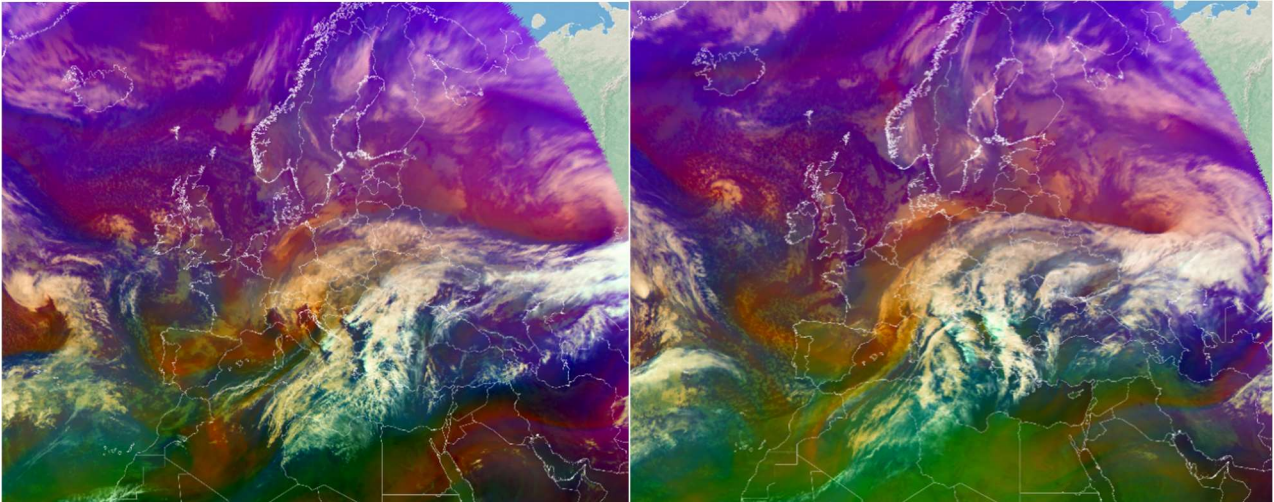


Rys. 8. Prognoza numeryczna pola wiatru na poziomie 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa, 300 hPa, na godzinę 12 UTC, 1 grudnia 2023 roku.

Symulacje numeryczne odwzorowały powyższe wnioski i na poziomie 500 hPa oraz 300 hPa prognozowana była nad południową i centralną Polską strefa zwiększonej prędkości wiatru. Na niższych poziomach wiatr był słaby, a strefa zwiększonej prędkości przesunięta była na południe Europy. Z powyższych analiz widoczna jest pełna zgodność pomiędzy analizą synoptyczną i numeryczną sytuacji synoptycznej.

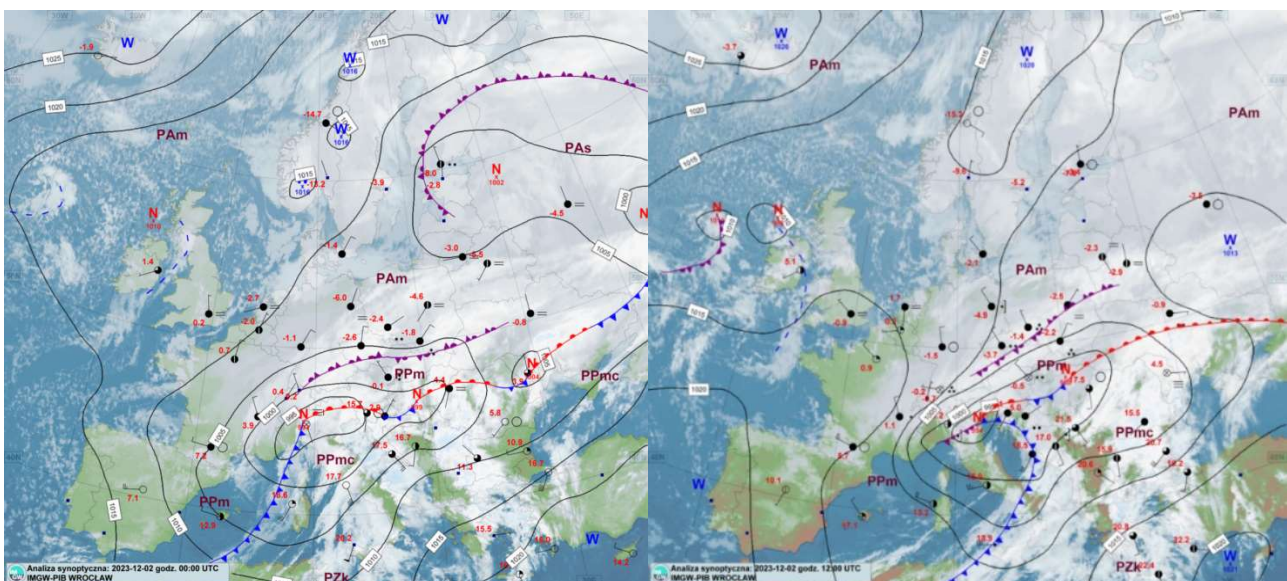
02.12.2023

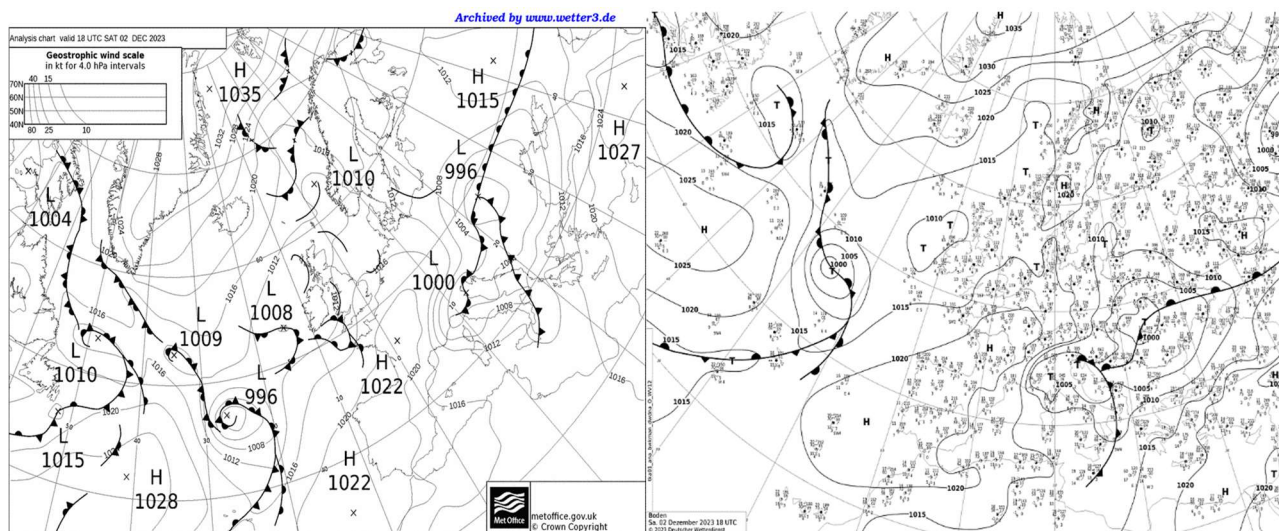
W kolejnej dobie ośrodki niżowe nad południową Europą, a w szczególności przemieszczający się torem Zatoka Genuńska – północne Włochy – Zatoka Wenecka, a w drugiej połowie dnia od Węgier ku Ukrainie, pogłębiały się, a zjawiska w obrębie stref frontowych ulegały intensyfikacji. Dobrze wykształcony i rozległy system niżowy dynamicznie zaczął przesuwać się w kierunku północno-wschodnim.



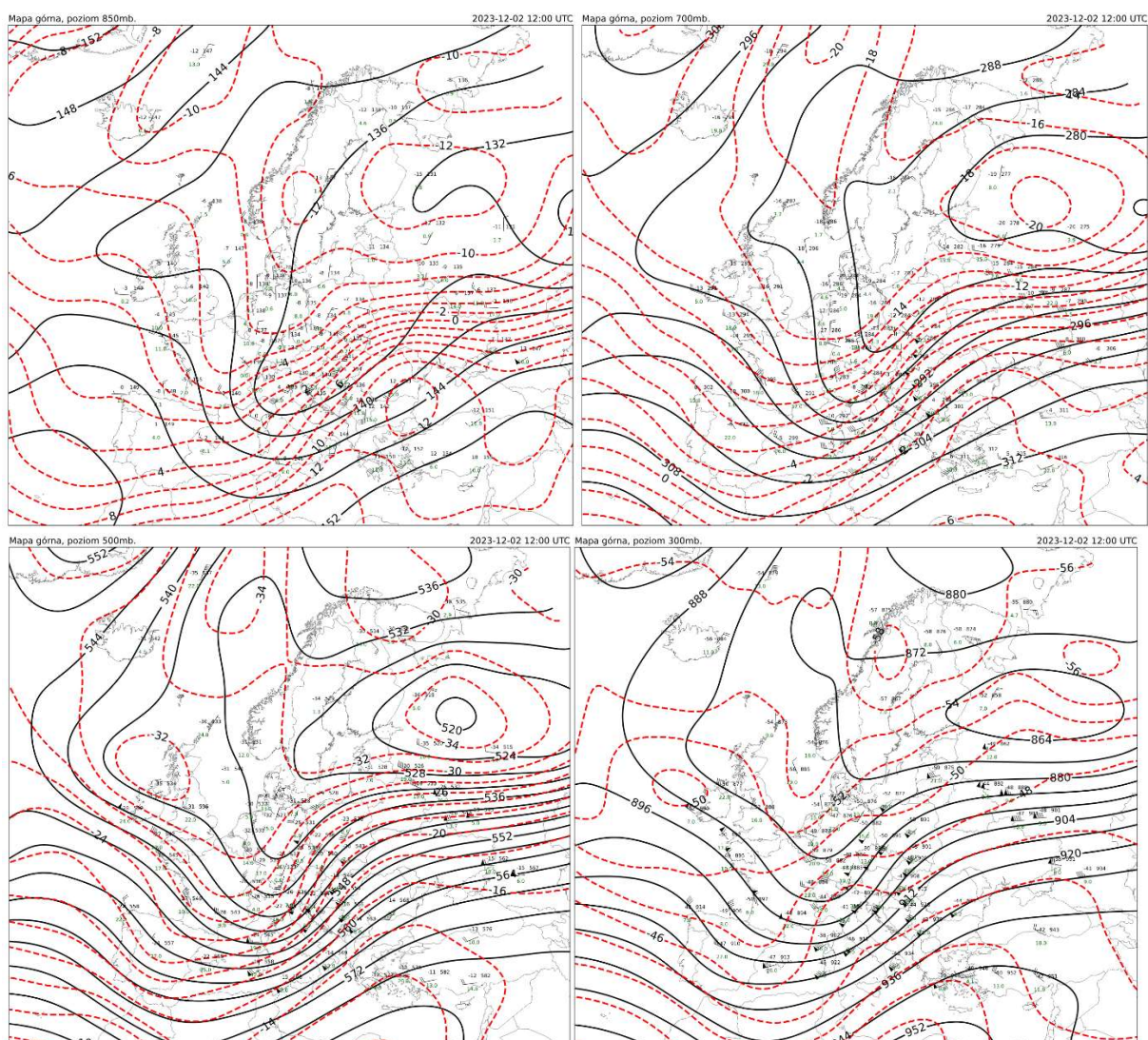
Rys. 9. Obrazy satelitarne – produkt Airmass – z dn. 02.12.2023 z godz. 00 UTC i 12 UTC (<https://view.eumetsat.int/>).

Do wieczora swoim oddziaływaniem objął niemal całą Polskę. Początkowo był słabiej wyrażony, wędrujący z południa na północ front okluzji ciepłej, a następnie o południowo-wschodnie krańce otarł się główny układ frontów atmosferycznych ciepły-chłodny (najlepiej obrazują to analizy synoptyczne z godz. 18 UTC niemieckiej służby meteorologicznej DWD oraz brytyjskiej Met Office).



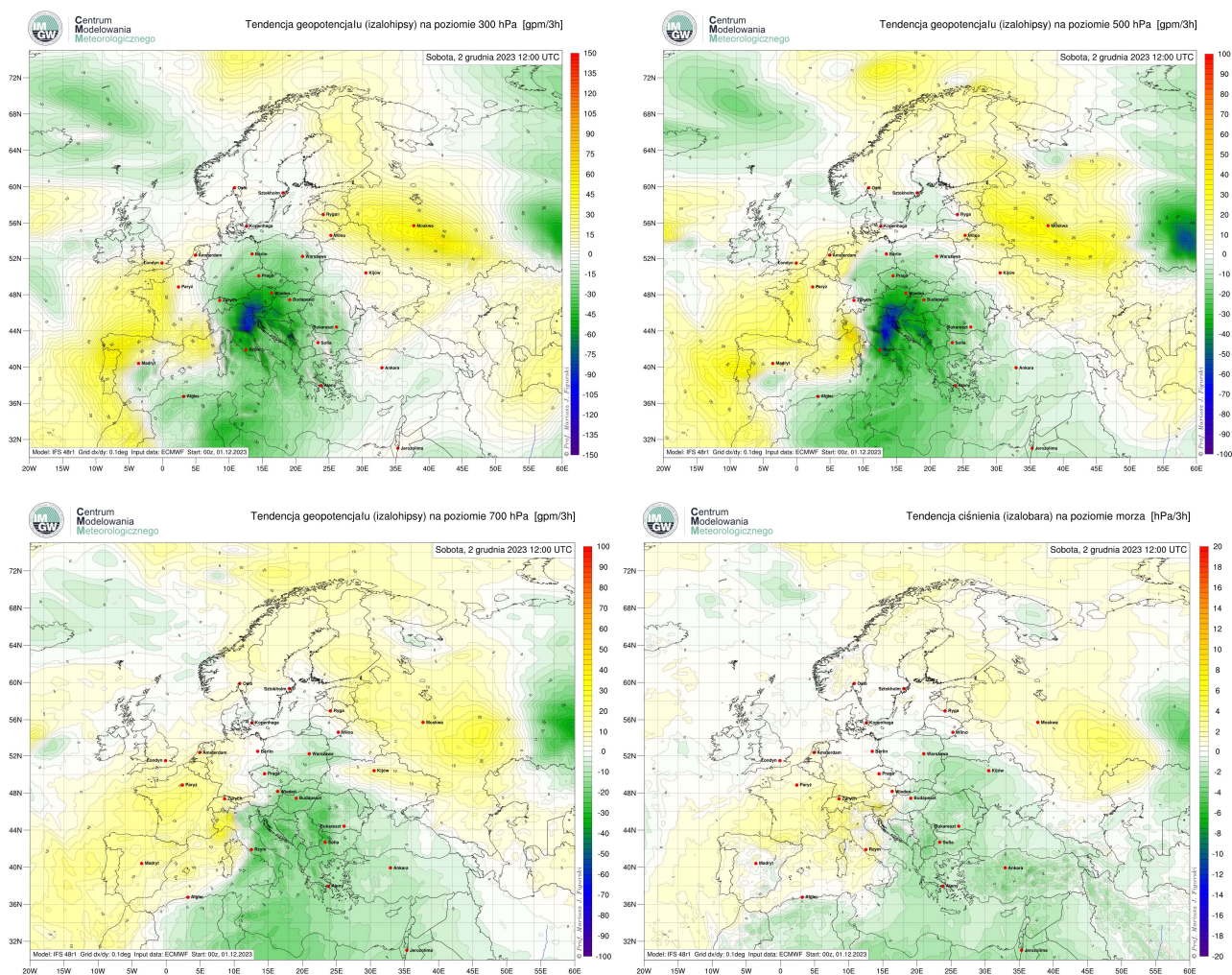


Rys. 10. Mapy synoptyczne Europy z dn. 02.12.2023 z godz. 00 UTC i 12 UTC (<https://meteo.imgw.pl/>) oraz 18 UTC (<https://wetter3.de/>).



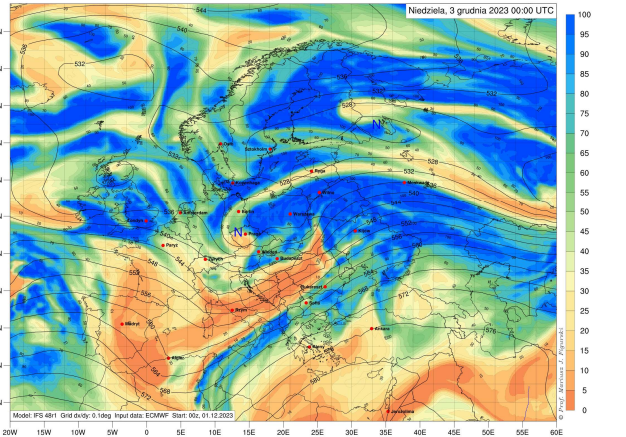
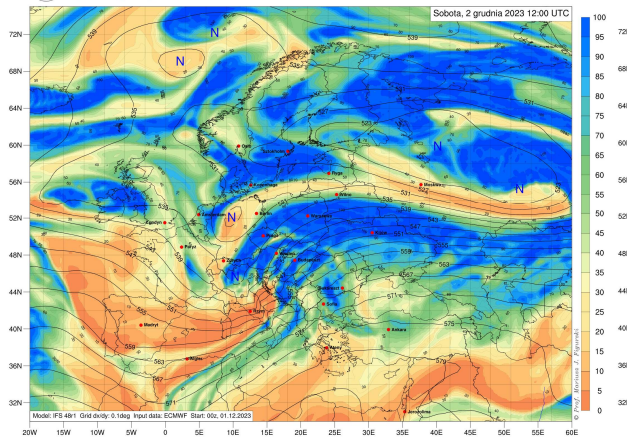
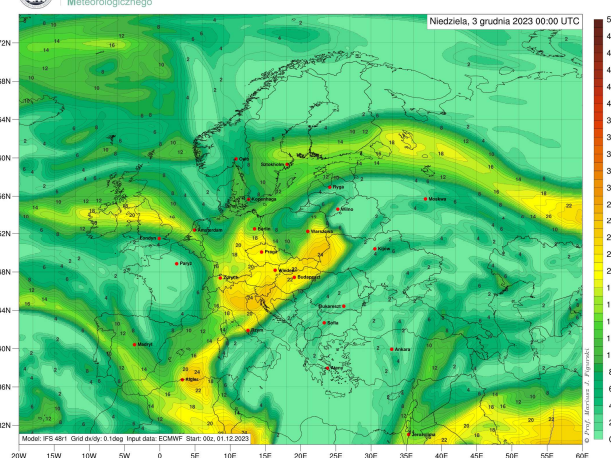
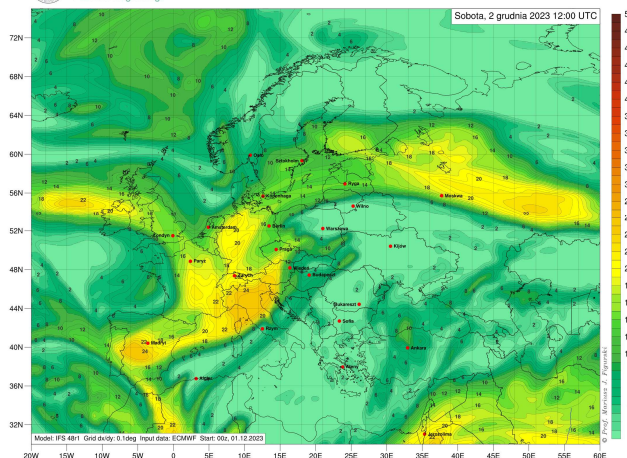
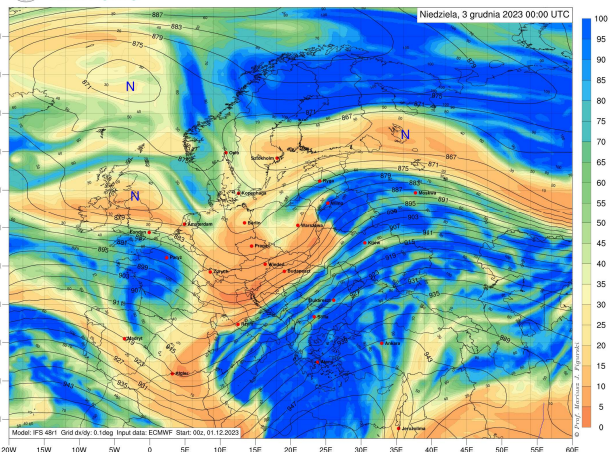
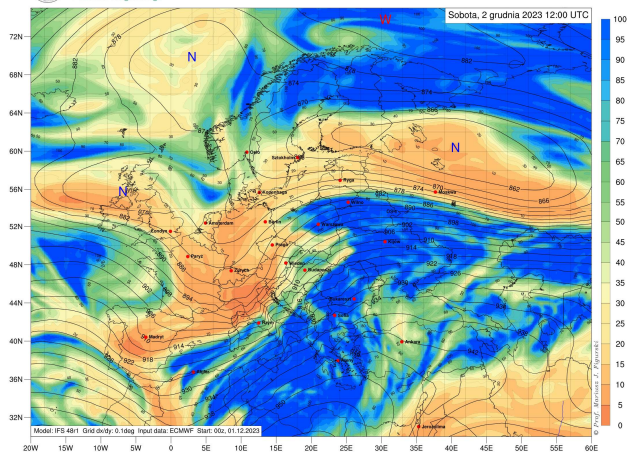
Rys. 11. Pole termobaryczne na wysokości TB850, TB700, TB500, TB300, w dniu 2 grudnia 2023 roku, o godzinie 12 UTC.

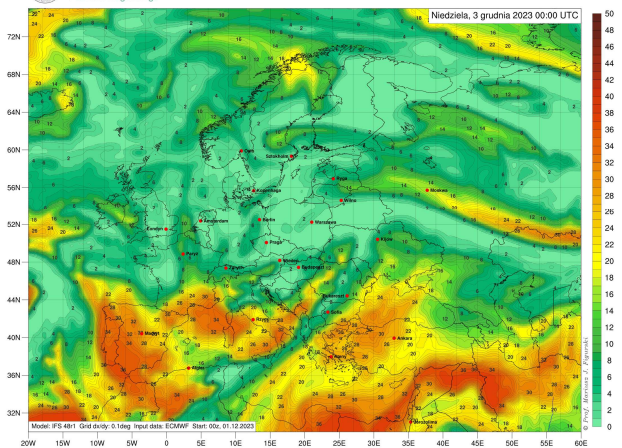
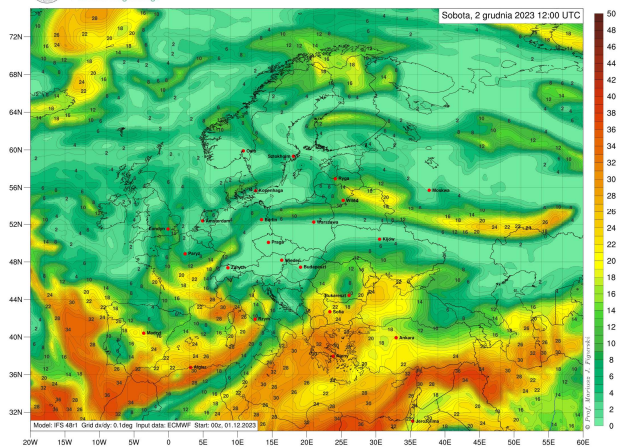
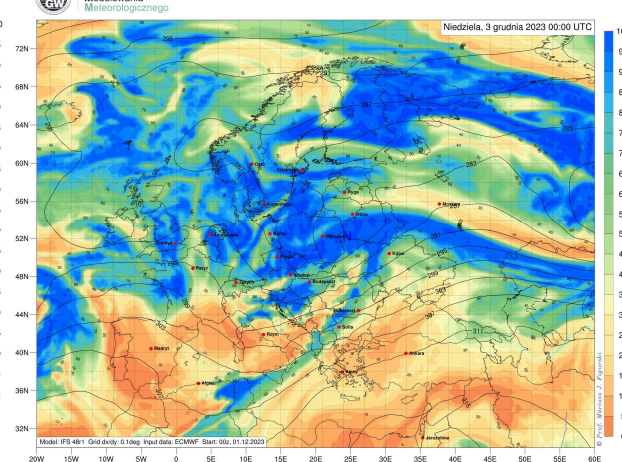
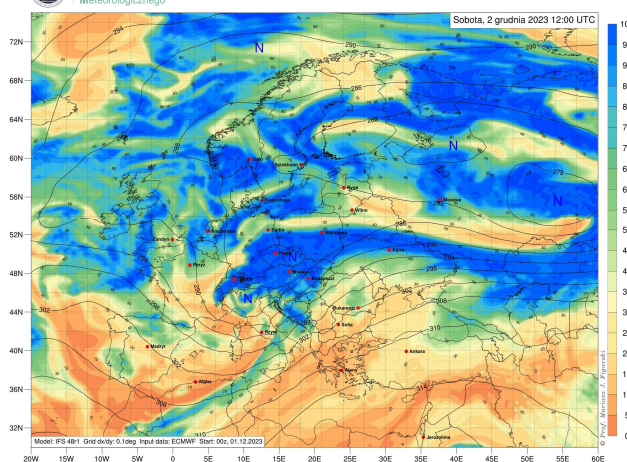
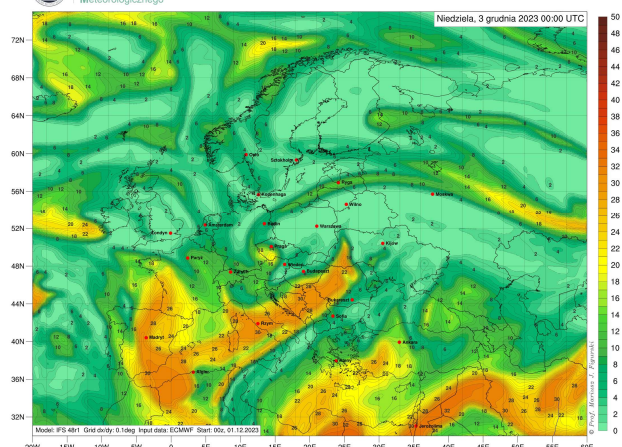
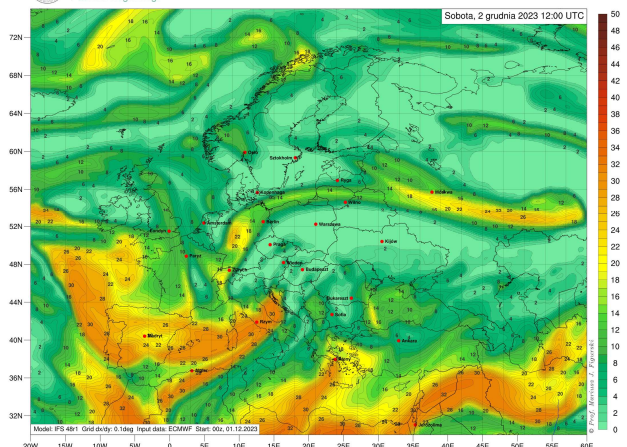
Ośrodki cykloniczne znad Europy południowej były niskimi układami barycznymi. O godzinie 12 UTC (2 XII 2023 roku) na poziomach 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa oraz 300 hPa nie było wyodrębnionej zamkniętej cyrkulacji cyklonicznej, izohipsy były gięte na kształt zatoki. Na poziomach 850 hPa, 700 hPa oraz 500 hPa nad Polską występowało duże zagęszczenie izoterm giętych na kształt zatoki. Na poziomie 500 hPa nad południową Polskę występował dodatni kąt adwekcji, co wskazywało na adwekcję chłodu. Na północy kraju występował ujemny kąt adwekcji co sugerowało adwekcję ciepła. Na południowym zachodzie Polski również występował dodatni kąt adwekcji, czyli adwekcja chłodu. Na poziomie 700 hPa nad Polskę występował ujemny kąt adwekcji, czyli następowała adwekcja ciepła.

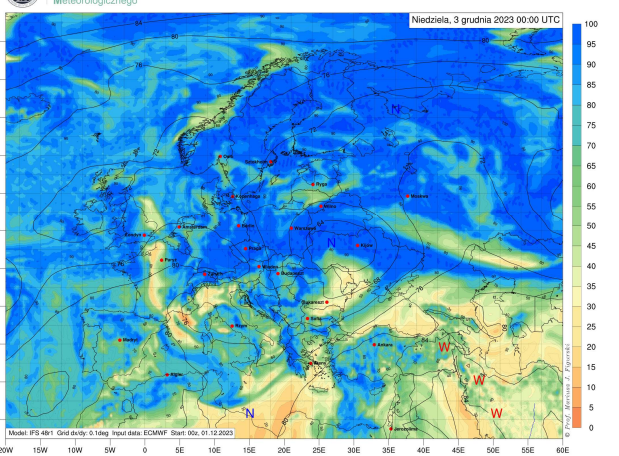
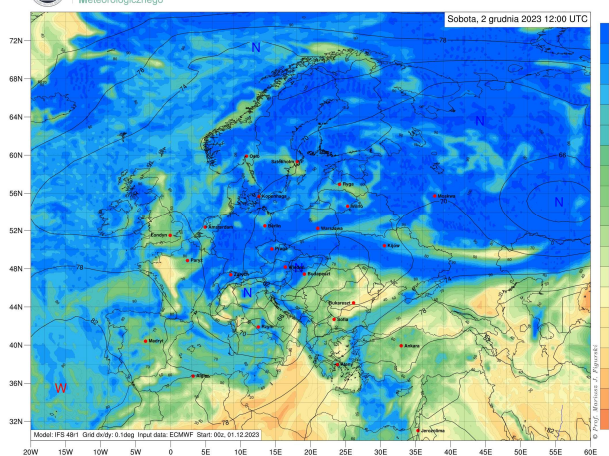
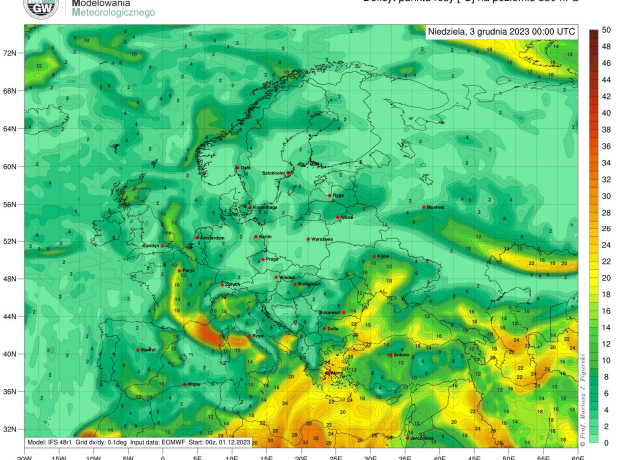
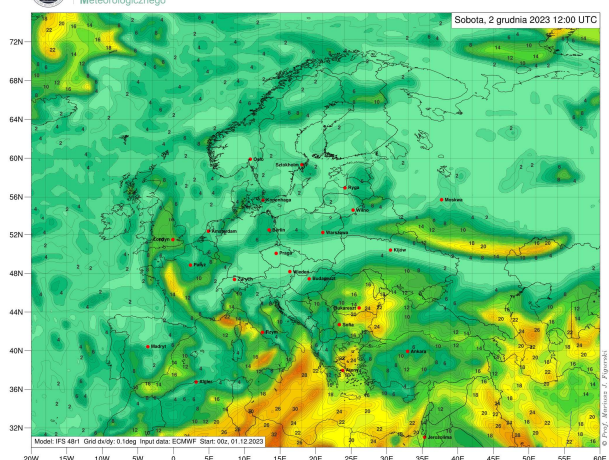
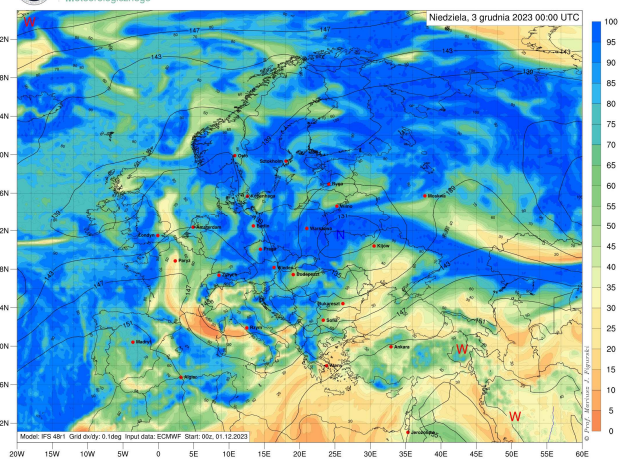
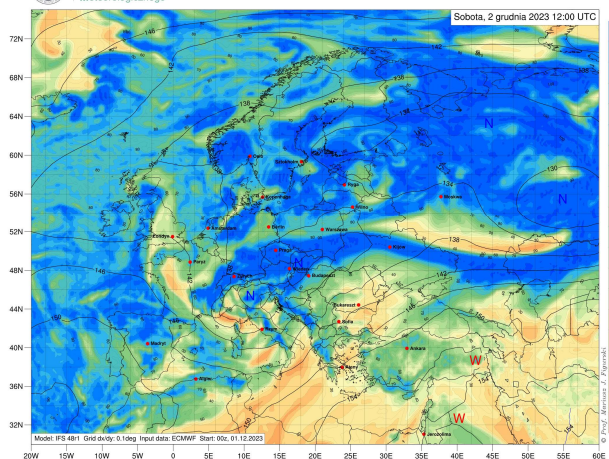


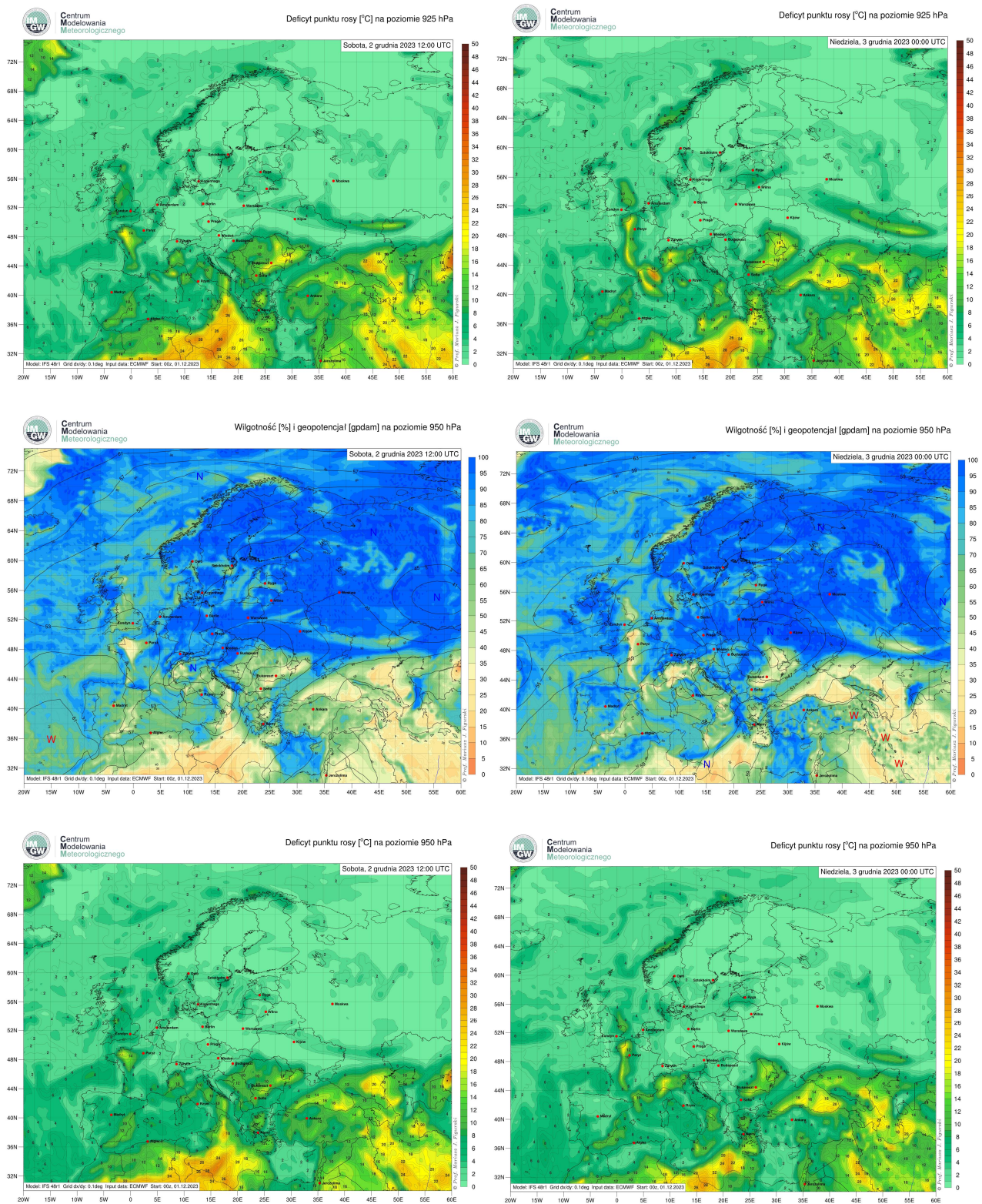
Rys. 12. Prognoza tendencji ciśnienia i geopotencjału, na godzinę 12 UTC, 02 grudnia 2023 roku.

Z prognostycznych symulacji numerycznych tendencji ciśnienia wynikało, że we wschodniej Polsce powinny być obserwowane spadki ciśnienia, największe w woj. lubelskim. Na wyższych poziomach strefa spadków przesunąć się miała na zachód, w kierunku chłodniejszych mas powietrza. Największy spadek geopotencjału był spodziewany na poziomie 300 hPa.





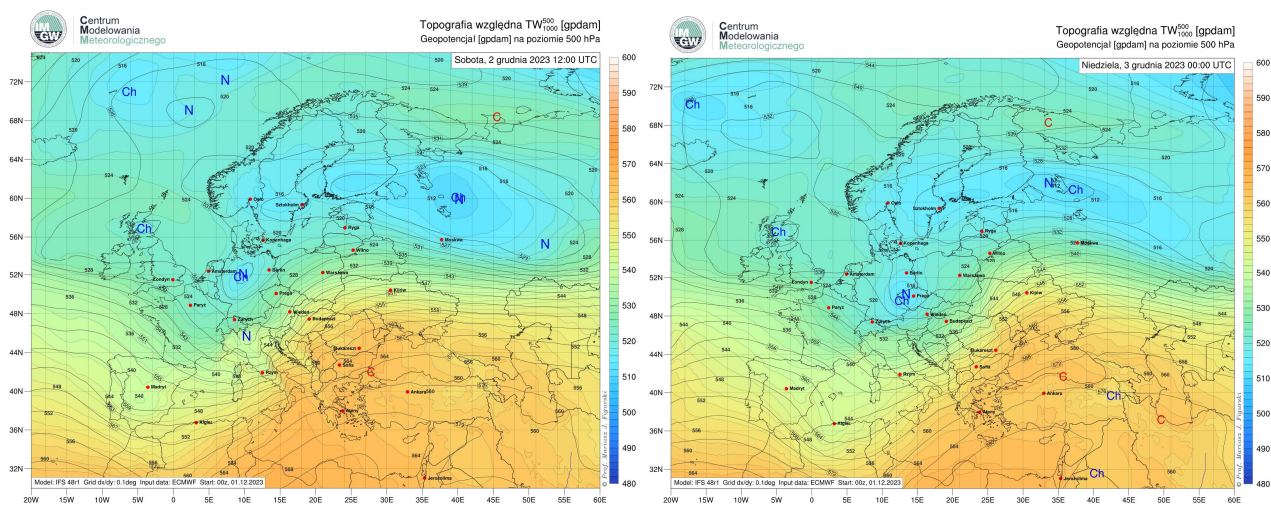




Rys. 13. Symulacja pola wilgotności i deficytu punktu rosy na poziomach TB850, TB700, TB500, TB300 na godzinę 12 UTC, 2 XII 2023 roku oraz na godzinę 00 UTC, 3 XII 2023 roku.

Prognozy numeryczne sugerowały, że w górnej troposferze, początkowo miał występować mały deficyt punktu rosy z wyjątkiem obszaru zachodniej, północno zachodniej, południowo zachodniej i południowej Polski. W nocy z 2 na 3 grudnia 2023 roku powinno być już sucho (duży deficyt punktu rosy) z wyjątkiem obszarów północnych. Z symulacji numerycznych wynikało, że w dolnej troposferze zawarta będzie

znaczna ilość pary wodnej (950 hPa, 925 hPa, 850 hPa). W środkowej troposferze zwiększona zawartość pary wodnej prognozowana była w południowej i centralnej części kraju. Na północy powietrze powinno być suche. Powyższe prognozy były zgodne z analizą rzeczywistej sytuacji synoptycznej.



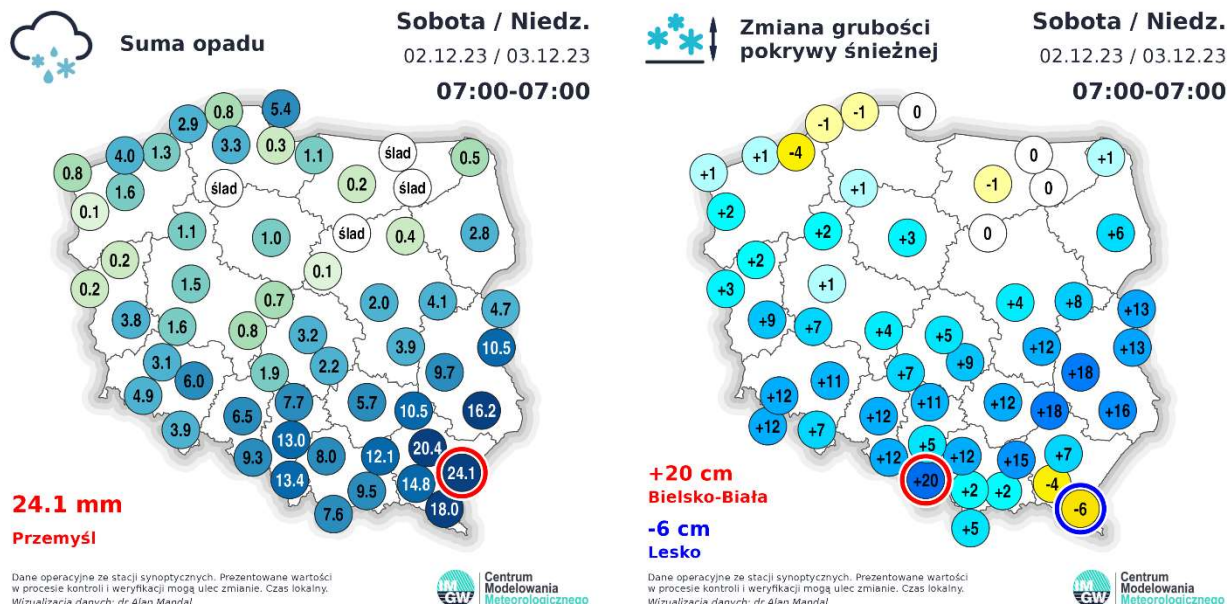
Rys. 14. Prognoza geopotencjału względnego TW_{1000}^{500} na godz. 12 UTC, 02.12.2023 oraz na godz. 00 UTC, 03.12.2023 roku.

Z symulacji numerycznych geopotencjału względnego wynikało, że południowo wschodnia Polska nadal miała pozostać na skraju klina ciepła. Powietrze powinno być wilgotne, pochodzenia polarno-morskiego. Północno zachodnia część kraju miała pozostać na skraju zatoki chłodu, którego centrum miało znajdować się nad Niemcami i przemieszczać się na południe. Nad północną, północno zachodnią oraz centralną częścią kraju powinno zalegać powietrze arktyczne, które w wyższych partiach troposfery na północy kraju powinno być suchsze. Na pozostałym obszarze powietrze powinno charakteryzować się większą zawartością pary wodnej. Na południu Polski prognozowany był ujemny kąt adwekcji wskazujący na adwekcję ciepła, zaś w północno zachodniej części kraju prognozowany był dodatni kąt adwekcji co sugerowało na adwekcję chłodu. Z analizy prognostycznych symulacji numerycznych wynikało, że na południu i południowym wschodzie, występować będzie obszar zagęszczonych izohips względnych, które miały być przesunięte w kierunku chłodniejszej masy powietrza, co powodowało, że klin położony był nad strefą środkową ośrodka przyziemnego i zatoką położoną w tylnej jego części.

Najsilniejszy wpływ układu niskiego ciśnienia zaznaczył się w godzinach popołudniowych, wieczornych oraz nocą z 2 na 3 grudnia w południowej, południowo-wschodniej i częściowo centralnej Polsce. Napływające cieplejsze powietrze o dużym zasobie wilgoci zaczerpniętym z rejonu basenu Morza Śródziemnego, skutkowało występowaniem znacznych opadów, w chłodnym sektorze układu niżowego w postaci śniegu, zaś w przejściowo ciepłym wycinku przemieszczającym się nad południowo-wschodnimi krańcami, także deszczu, w tym marznącego, powodującego gołoledź. Nasilił się też wiatr wynikający z gradientu ciśnienia i niżej położonego prądu strumieniowego.

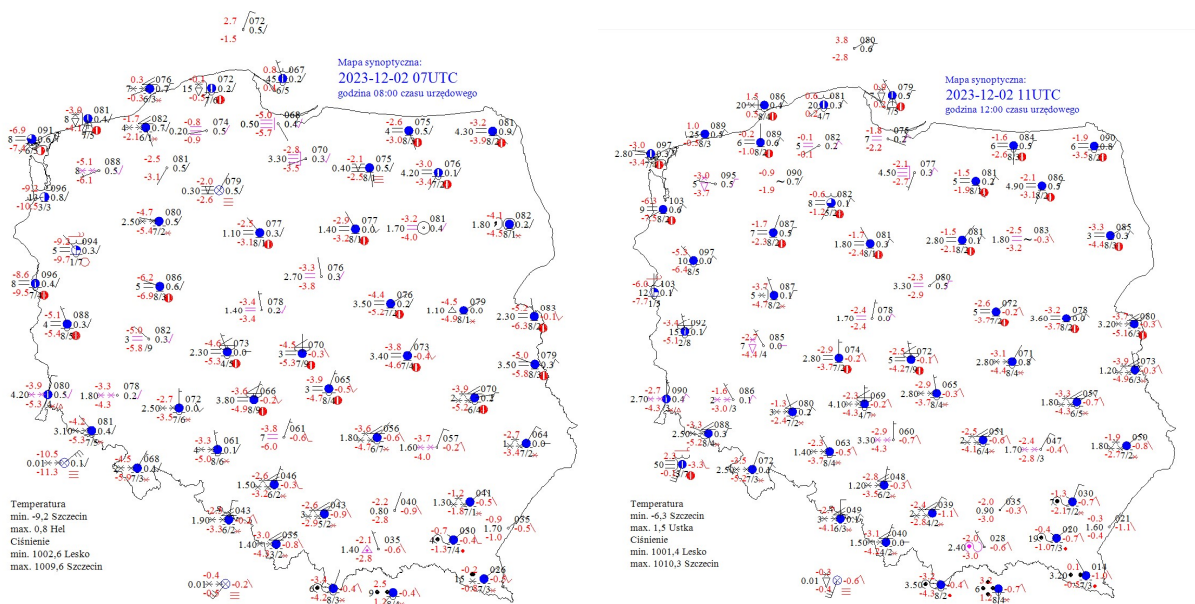
Dobowa suma opadów tj. od godz. 06 UTC dn. 02.12.2023 do godz. 06 UTC dn. 03.12.2023 na południowym wschodzie Polski wyniosła przeważnie od 15 mm do 25 mm. W strefie oddziaływania systemu

niżowego, w jego chłodnym sektorze, odnotowano przyrosty pokrywy śnieżnej o 10-15 cm, miejscami w pasie od Śląska, po Lubelszczyznę o 20-25 cm (Międzygórze +25 cm, Brenna +23 cm, Jarnołtówek i Łądek Zdrój +22 cm, Trzemeśnia i Lublin-Radawiec +21 cm). Intensywne opady śniegu spowodowały znaczne pogorszenie warunków komunikacyjnych na obszarze południowej i południowo-wschodniej Polski.



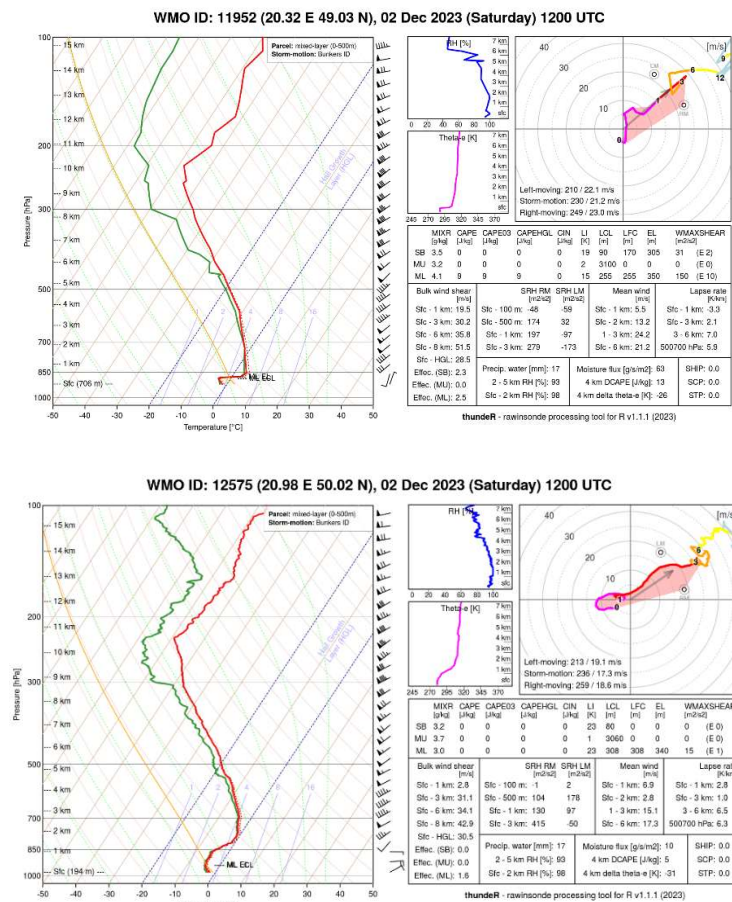
Rys. 15. Mapy wysokości sum opadów i zmiany grubości pokrywy śnieżnej za dobę od godz. 06 UTC dn. 02.12.2023 do godz. 06 UTC dn. 03.12.2023 (<https://cmm.imgw.pl/>).

Innym, istotnie niebezpiecznym zjawiskiem było występowanie opadów marzących, powodujących gołoledź, które przejściowo wystąpiły w ciepłym wycinku niżu na południu Małopolski i na Podkarpaciu. Opady pojawiały się w godzinach 06 UTC – 18 UTC. Opady marzące były odnotowane m.in. na takich stacjach synoptycznych jak Rzeszów, Krosno, Lesko, czy Zakopane. Miejscami utrzymywały się nawet przez 6–8 godzin, przyczyniając się do dość wyraźnego przyrostu warstwy gołoledzi.



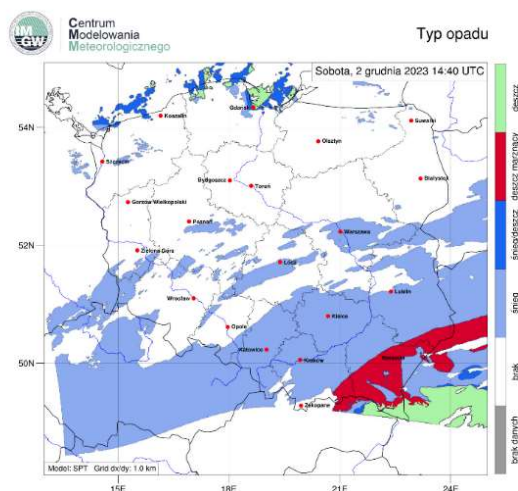
Rys. 16 Mapy SYN z godz. 07 UTC i 12 UTC dn. 02.12.2023 (dane operacyjne IMGW).

Sondaże aerologiczne z Tarnowa i Popradu z godz. 12 UTC dn. 02.12.2023 wskazywały na charakterystyczny, inwersyjny rozkład stratyfikacji, w przypadku Popradu jednoznacznie sugerujący występowanie opadów marznięcych.



Rys. 17. Sondaże aerologiczne dla Popradu i Tarnowa z godz. 12 UTC dn. 02.12.2023 (http://rawinsonde.com/thunder_app/).

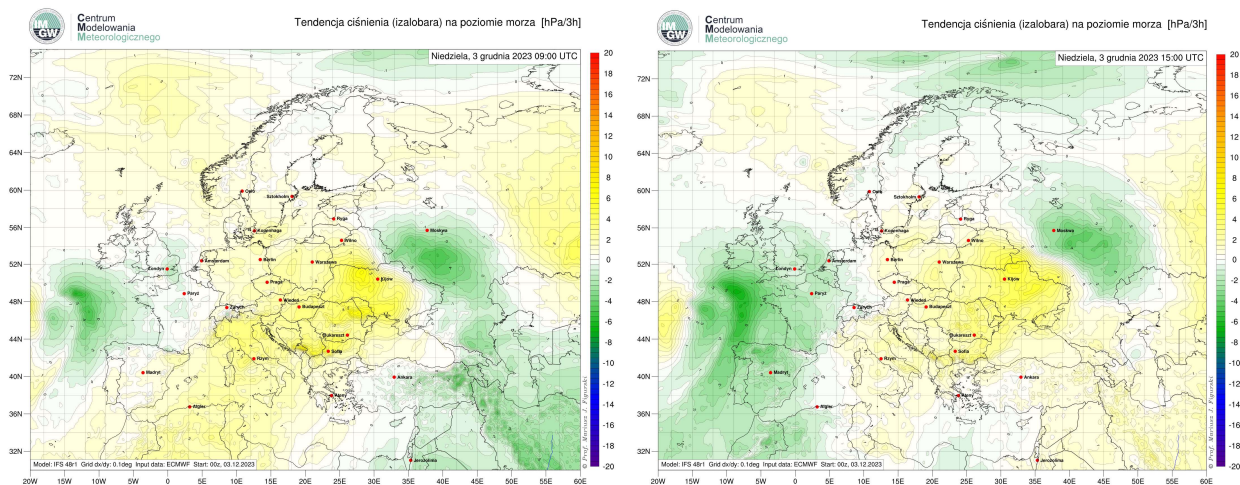
Opady marznięce, powodujące gołoledź na bieżąco były zobrazowane przez różne produkty prognozowania nowcastingowego, jak i produkty radarowe.



Rys.18. Produkt nowcastingowy STP z godz. 14:40 UTC dn. 02.12.2023 (<https://cmm.imgw.pl/>).

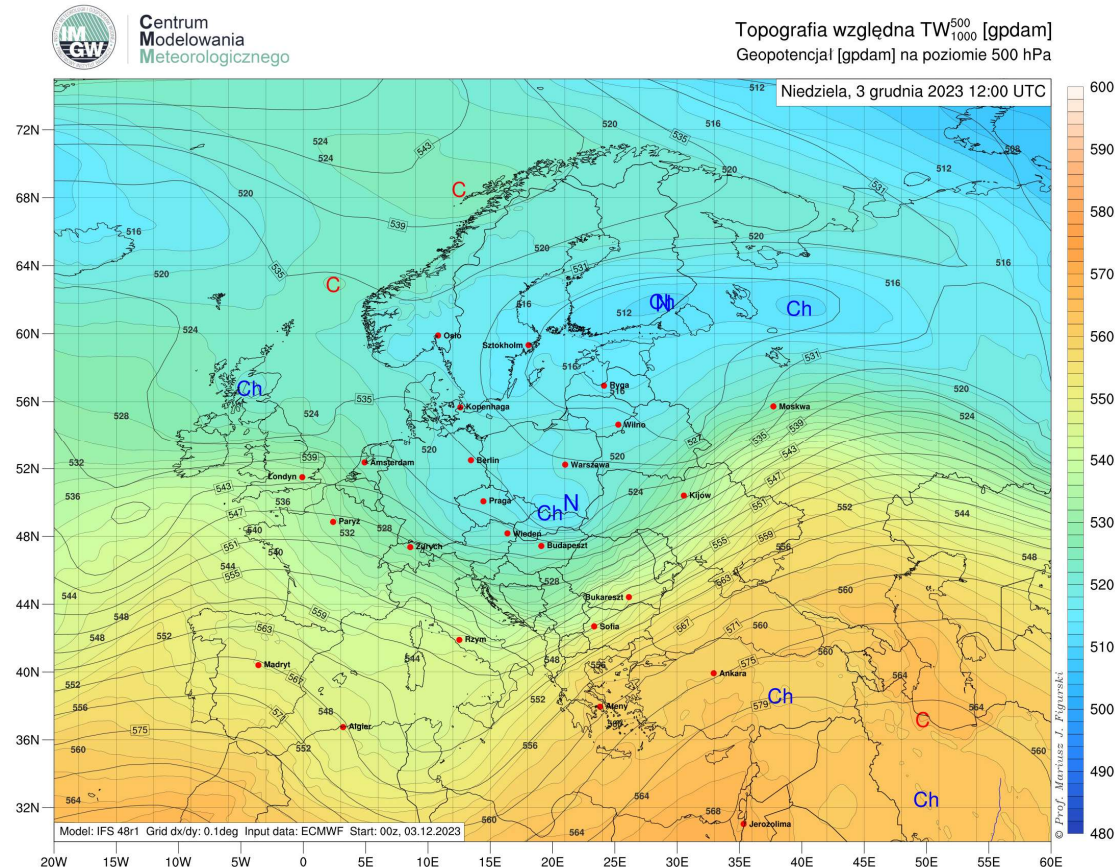
03.12.2023

Sytuacja nad Europą zaczęła się stabilizować. Od północnych krańców Skandynawii, aż po zachodnią Europę, łącznie z Półwyspem Iberyjskim rozbudowywał się i umacniał układ wysokiego ciśnienia kilkoma centrami w jego obrębie. Również nad Polską sytuacja uległa stabilizacji.



Rys. 19. Progностyczna tendencja baryczna na godzinę 12 UTC, 3 grudnia 2023 roku.

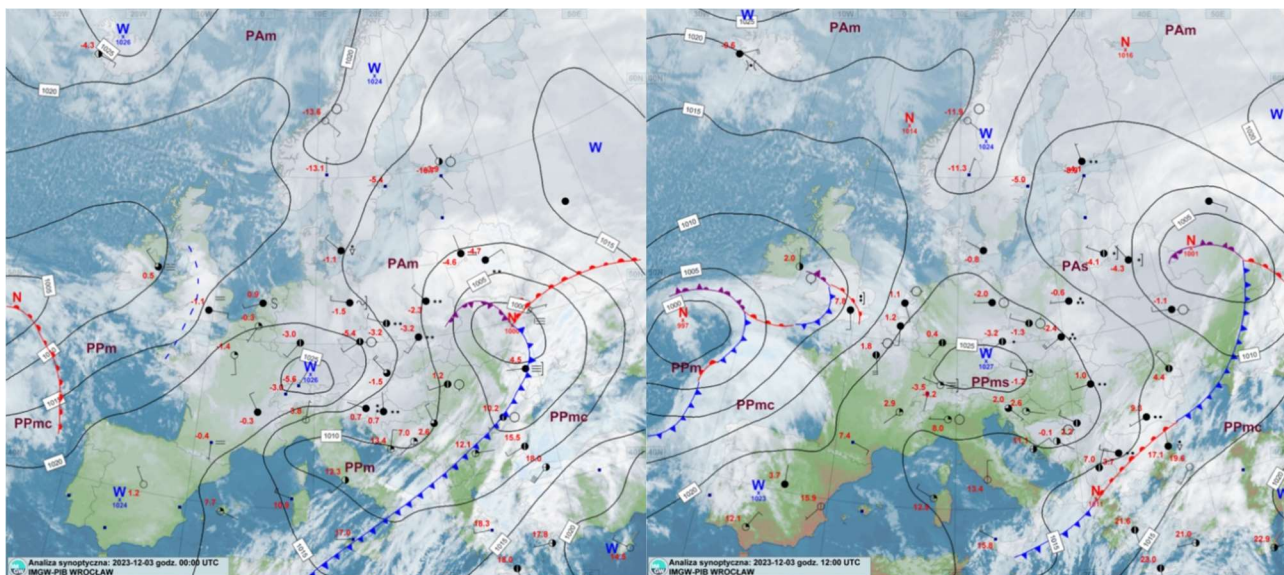
W rejonie Ukrainy prognozowana była dodatnia tendencja baryczna, co wskazuje, że niż znad Ukrainy zacznie się wypełniać i dalej przesuwać się będzie w kierunku zachodniej Rosji. Proces okludowania niżu miał postępować w dalszym ciągu.



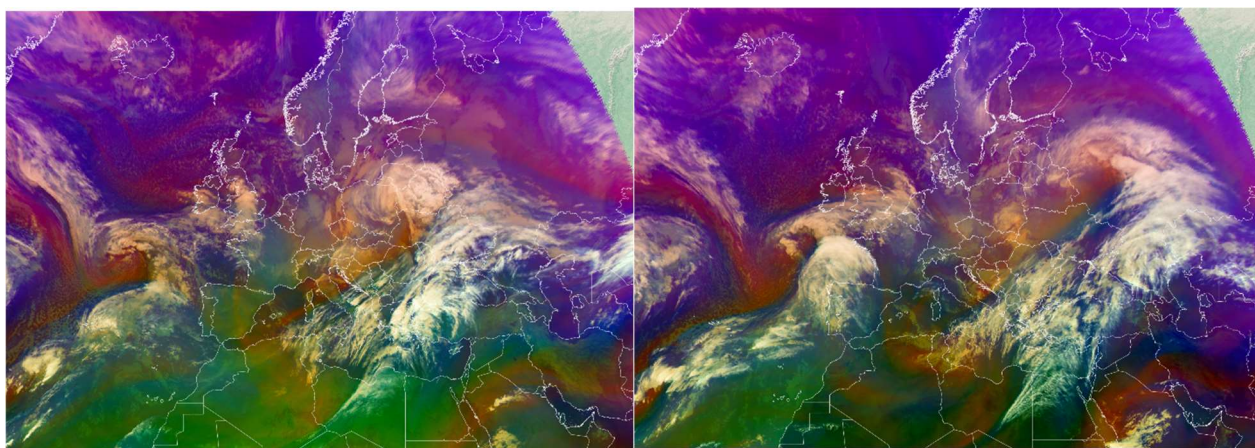
Rys. 20. Prognoza geopotencjału względnego TW_{1000}^{500} na godz. 12 UTC, 02.12.2023.

Z prognostycznych map topografii barycznej względnej TW_{1000}^{500} wynikało, że Polska dostanie się pod wpływ zatoki chłodu. Klin ciepła przesunął się nad Rosję. Napływ powietrza pochodzenia arktycznego był spowodowany układem niżowym na wschodzie i wyżowym na zachodzie co spowodowało, że w tylnej części niżu z północy ponownie zaczęło napływać mroźne powietrze pochodzenia arktycznego.

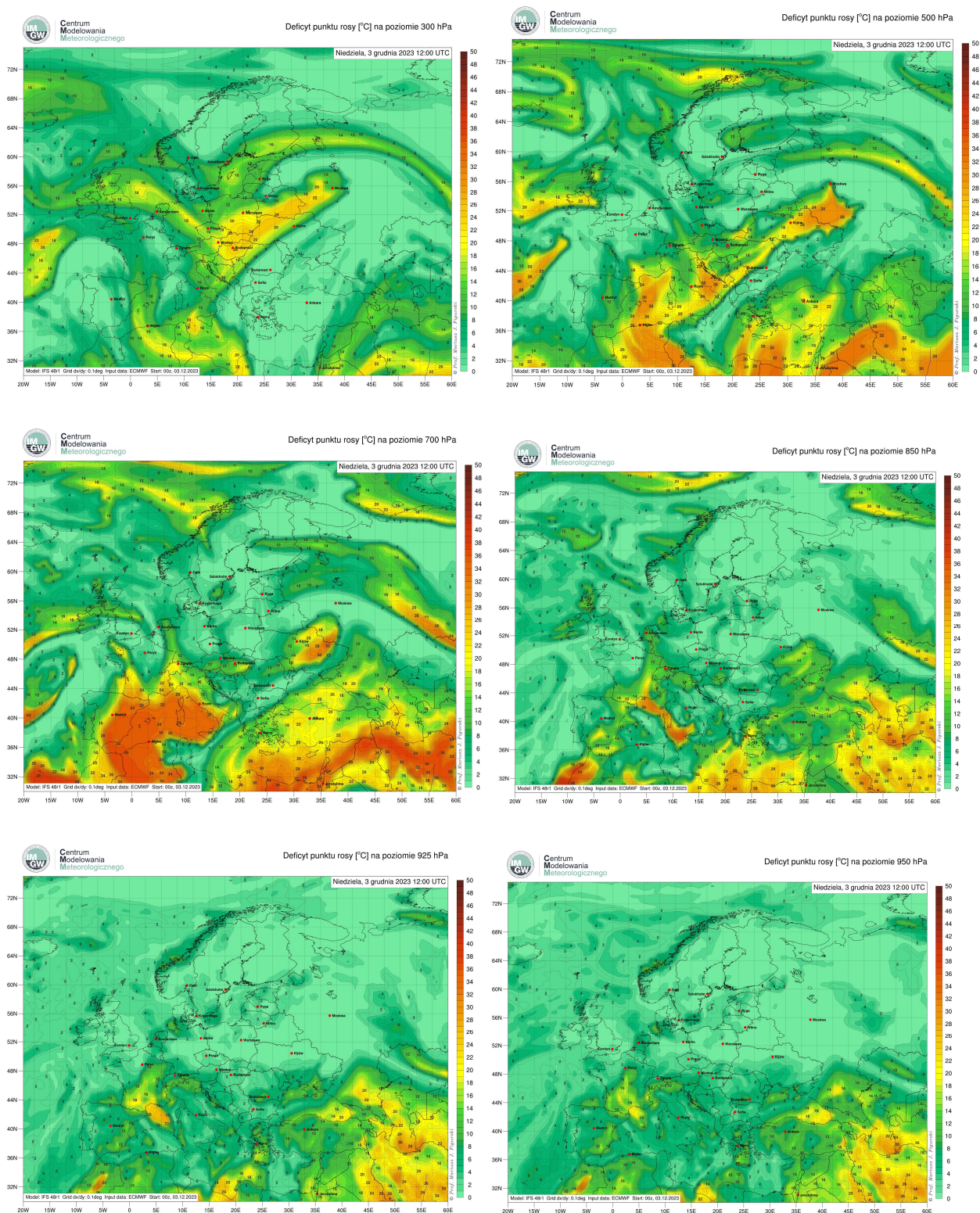
Do końca dnia już prawie cała Polska, z wyjątkiem krańców północno-wschodnich, znajdowała się w obszarze wysokiego ciśnienia.



Rys. 21. Mapy synoptyczne Europy z dn. 03.12.2023 z godz. 00 UTC i 12 UTC (<https://meteo.imgw.pl/>).



Rys. 21. Obrazy satelitarne – produkt Airmass – z dn. 03.12.2023 z godz. 00 UTC i 12 UTC (<https://view.eumetsat.int/>).



Rys. 22. Prognoza deficytu punktu rosy na godzinę 12 UTC, 3 grudnia 2023 roku.

Z symulacji deficytu punktu rosy wynikało, że napływające powietrze do Polski będzie zawierało znaczną ilość pary wody w dolnej troposferze. W górnej troposferze powietrze powinno być suche. Na wysokości 500 hPa na północy kraju oraz w południowo wschodniej części kraju powietrze powinno zawierać mniejszą ilość pary wodnej. Na pozostałym obszarze zawartość pary wodnej była znaczna.

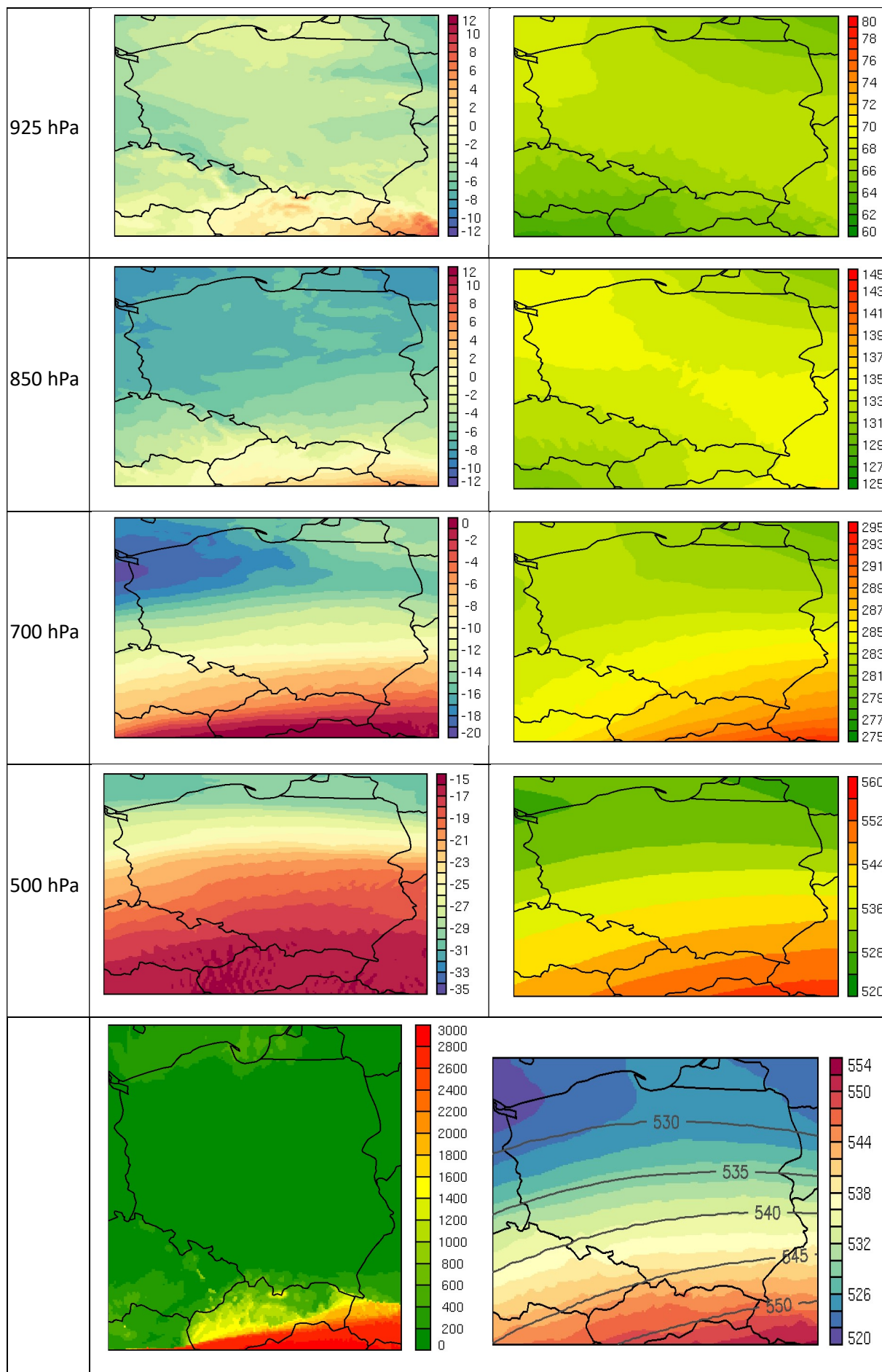
2. Intensywne opady śniegu w prognozie numerycznej CMM-ALADIN.

Pierwszego grudnia o godz. 12:00 zostały wydane ostrzeżenia 3. stopnia przed intensywnymi opadami śniegu dla 8 powiatów południowej części województwa małopolskiego. Ostrzeżenie dotyczyło okresu od godziny 18:00, 1 grudnia 2023 do godziny 03:00, 3 grudnia 2023 roku (tj. 33h prognozy). Prognozowany przyrost pokrywy śnieżnej wynosił od 40 do 55 cm, natomiast wysoko w Tatrach do 65 cm. Celem analizy jest weryfikacja przebiegu zjawisk zawartych w ostrzeżeniu poprzez zestawienie zarówno z prognozą numeryczną jak i z informacjami ze stacji meteorologicznych jak również analiza zjawisk pogodowych w skali całego kraju.

Analizie poddano prognozę numeryczną modelu ALARO o rozdzielczości 4 km i długości prognozy 72h. Z uwagi na długość ostrzeżenia, żadna prognoza modelu AROME nie objęła całego okresu ostrzeżenia. Ze względu na 3-godzinny interwał, w jakim przechowywane są archiwalne prognozy, przedział czasowy analizowanych prognoz różni się o jedną godzinę względem okresu ostrzeżenia. Z uwagi na to, że ostrzeżenie zostało wydane 1 grudnia o godz. 12:00, założono, że synoptyk dysponował wówczas prognozą z godz. 00UTC. W pierwszej części analizy przeanalizowano mapy górna a także mapy skumulowanej sumy opadów oraz opadów deszczu i śniegu w skali całego kraju. W drugiej części analizy, skupiono się na Małopolsce i dla czterech wybranych stacji z obszaru obowiązywania ostrzeżeń 3-stopnia przed intensywnymi opadami śniegu zestawiono prognozowane i obserwowane trzygodzinne sumy opadów oraz prognozowaną temperaturę 850 hPa. Są to stacje: Zakopane, Nowy Targ Kowaniec, Nowy Sącz i Maków Podhalański. W końcowej części analizy przedstawioną czasową ewolucję prognozy całkowitej sumy opadów dla kolejnych przebiegów modelu (6, 12 i 18 UTC).

Analiza prognozy numerycznej dla całego kraju

Przestrzenny rozkład temperatury powietrza oraz geopotencjału na powierzchniach izobarycznych: 925, 850, 700 i 500 hPa dla wybranych godzin został przedstawiony w tab. 1-5. Na prognostycznych mapach z 1 grudnia 2023 roku z godz. 21 UTC widać, że w przypowierzchniowych warstwach atmosfery do Polski zbliżał się od południa układ niskiego ciśnienia, który był niskim układem barycznym, a na wyższych poziomach (700 i 500 hPa), w przedniej części zaburzenia cyklonicznego, zalegał słaby nierozwinięty klin wysokiego ciśnienia (Tab. 1). Na wyższych poziomach wyraźna była także adwekcja cieplejszego powietrza, która nie była jeszcze zaznaczona tak bardzo na poziomach niższych. Na poziomie 700 hPa widoczny był największy horyzontalny gradient temperatury (rzędu 20°C), natomiast największy horyzontalny gradient geopotencjału zaznaczony był na poziomie 500 hPa. Izoterma 0°C sięgała powierzchni terenu w całym kraju z wyjątkiem wybrzeża Bałtyku oraz Beskidów, widoczne było także podwyższenie jej wysokości dla Tatr i Bieszczad (ok. 1500 m n.p.m.).

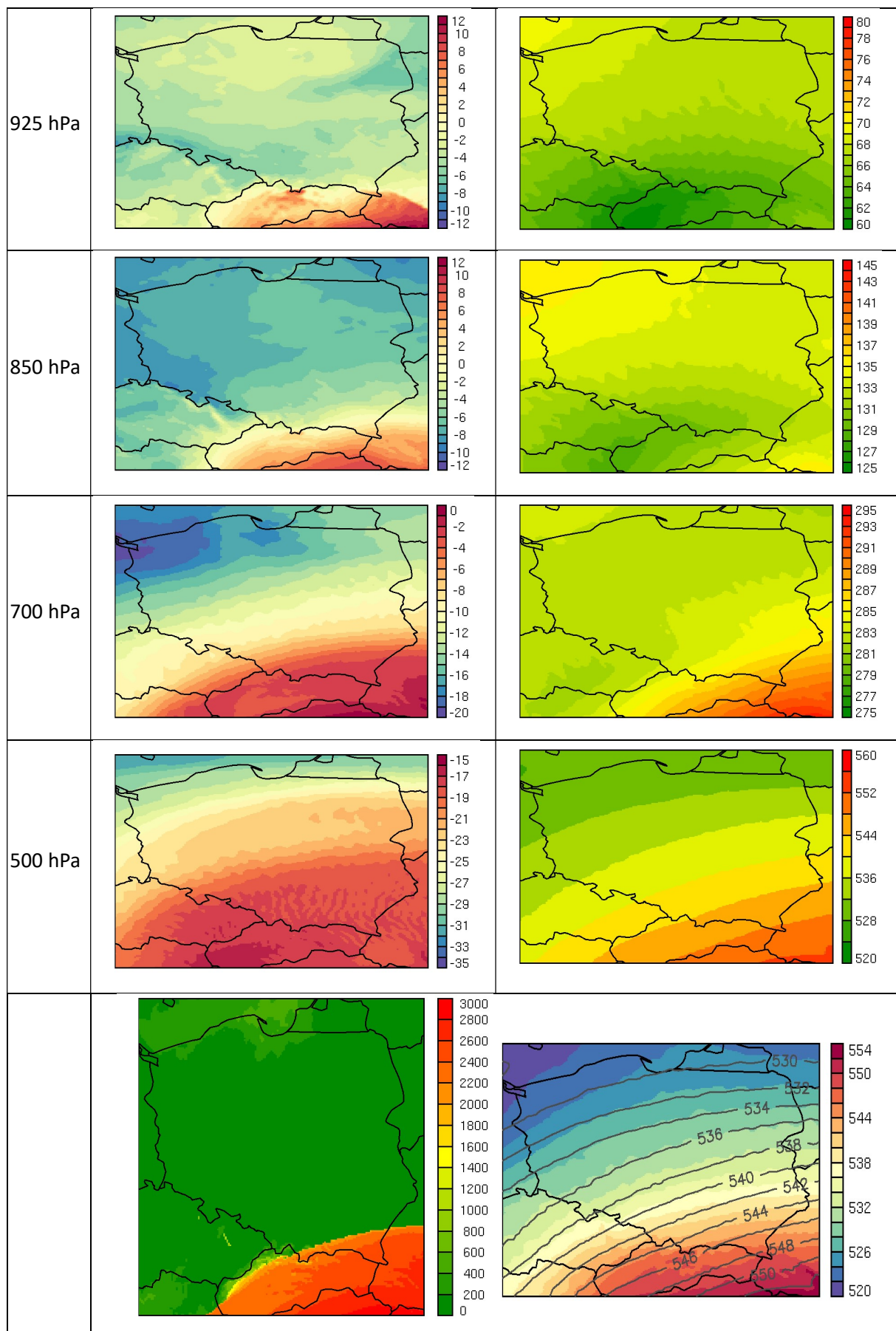


Tab. 1. Przestrzenny rozkład temperatury powietrza oraz wysokości geopotencjału [gp dam] na wysokości powierzchni izobarycznej 925, 850, 700 i 500 hPa, wysokość izotermy zero [m n.p.m.] oraz topografii barycznej względnej TW_{1000}^{500} [gp dam] 1 grudnia o 21 UTC.

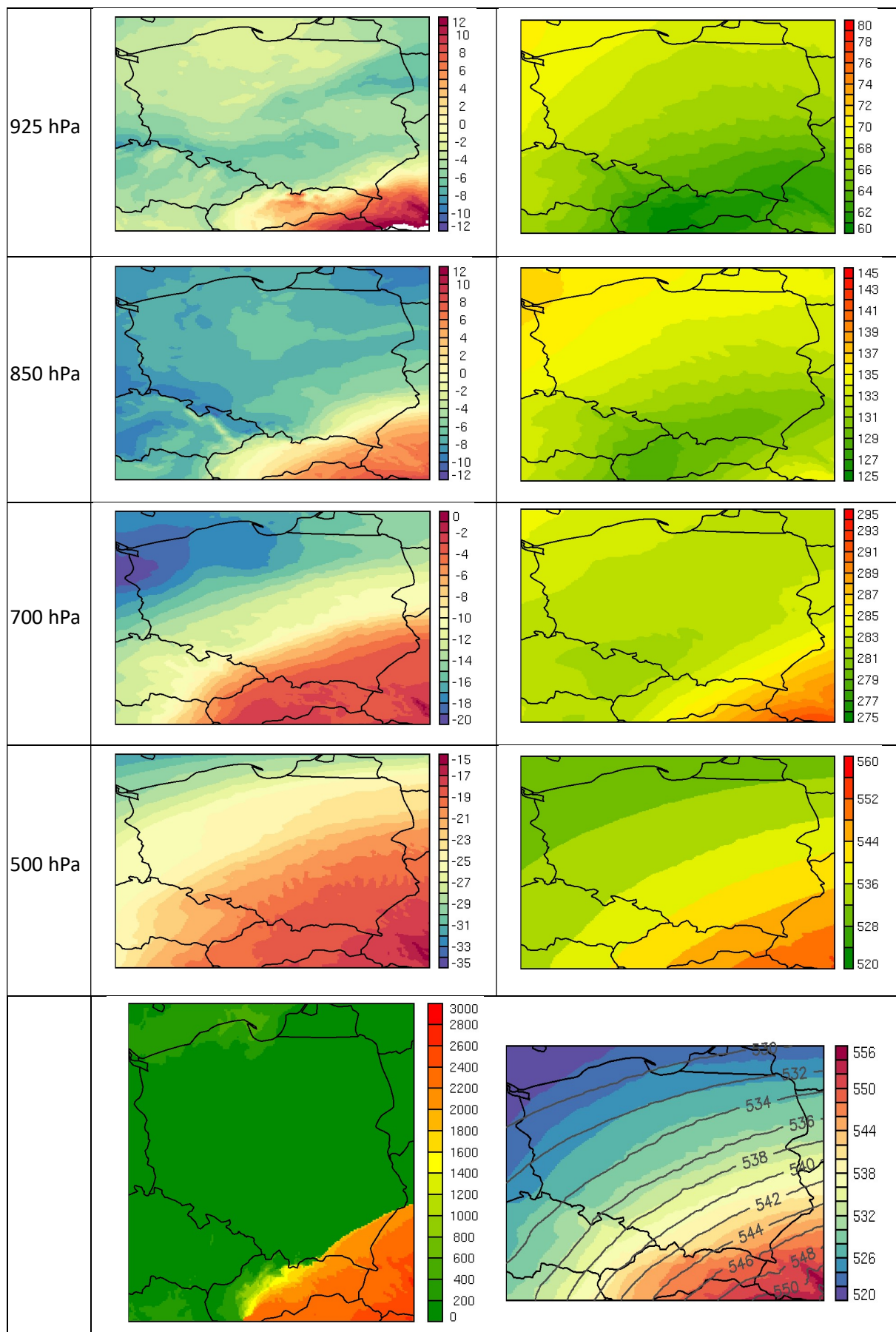
Po upływie 9 godzin (2 grudnia 6:00 UTC), w polu geopotencjału na wysokościach 925 i 850 hPa uwidoczniła się zamknięta cyrkulacja cykloniczna (zamknięte izohipsy) wskazująca na obecność niżu z ośrodkiem na pograniczu Czech, Austrii i Słowacji (Tab. 2). Na wyższych poziomach izohipsy szybko się prostowały i nie było widocznej zamkniętej cyrkulacji cyklonicznej. Wskazywało to na adwekcję ciepłego powietrza w tych warstwach, co dobrze widać na mapie topografii barycznej względnej TW_{1000}^{500} oraz temperatury na wys. 700 i 500 hPa. Temperatura powietrza na wys. 700 hPa na południe od linii Nowy Targ – Przemyśl była niewiele niższa od 0°C. Analogiczny przebieg miała linia gwałtownie wzrastającej wysokości izotermy 0°C, na południe od której poziom zamarzania wzrastała do ok. 2000 m n.p.m. W niższych warstwach troposfery (925 hPa), temperatura pozostawała ujemna, z wyjątkiem pasma Tatr i Bieszczadów.

Po upływie 6 godzin (2 grudnia 12 UTC) na dolnych mapach izobarycznych widać było zbliżający się do południowych granic naszego kraju (Tab. 3) układ niskiego ciśnienia. Wycinek ciepłego powietrza zwiększył swój północny zasięg na obszarze Polski południowo-wschodniej, natomiast wycofywał się z Małopolski. Gwałtowny wzrost wysokości izotermy 0°C przebiegał na linii Krynica-Zdrój – Rzeszów – Tomaszów Lubelski. Na południe od tej granicy poziom zamarzania zaczynał się dopiero od wysokości 1500 – 2000 m. n.p.m. Jest to maksymalny zasięg na północ tak wysokiego położenia izotermy 0°C podczas tego zdarzenia pogodowego. W części Podkarpacia nadal panowały warunki inwersyjne, sprzyjające opadom marznącym (temperatura na wys. 925 hPa była ujemna, natomiast na wys. 850 hPa dodatnia). Wieczorem (2 grudnia 18:00 UTC) centrum wiru cyklonicznego, widoczne na poziomie 925 i 850 hPa, przemieszczało się nad Podkarpacie (Tab. 4). Na podstawie mapy wysokości izotermy 0°C widoczny był wycinek ciepłego powietrza znajdujący się już w większości poza terytorium naszego kraju, choć na poziomach 700 i 500 hPa adwekcja ciepła była bardziej rozległa. Dodatnia temperatura na wysokości 850 hPa obejmowała obszar Polski od Bieszczadów, wzdłuż granicy polsko-ukraińskiej do okolic Hrubieszowa, niżej temperatura powietrza była nadal ujemna.

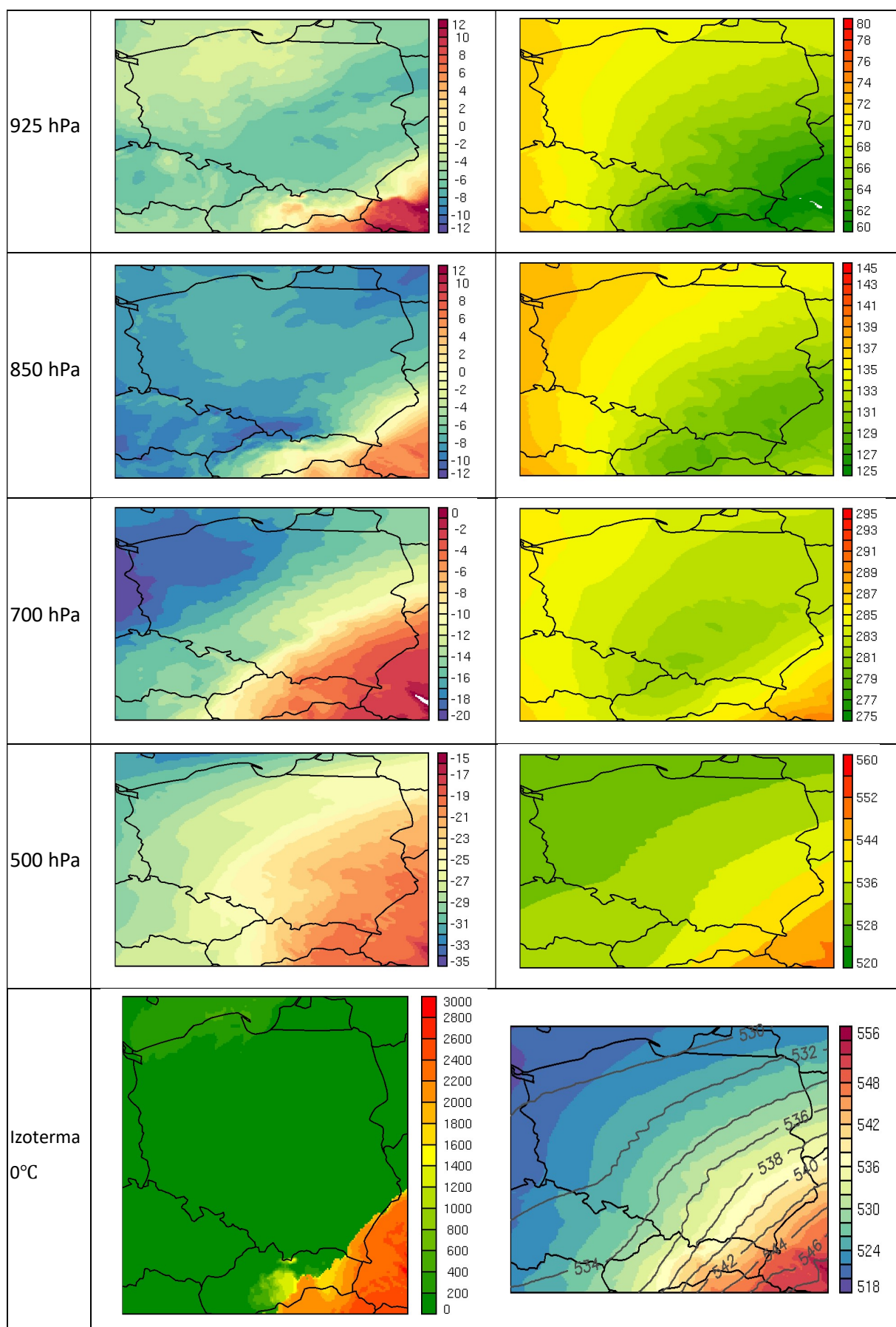
W końcowym etapie analizy (3 grudnia 00:00 UTC), ośrodek niskiego ciśnienia (widoczny teraz nawet na poziomie 700 hPa, na wschodniej granicy kraju) odsunął się na wschód poza granice naszego kraju a od zachodu Polska zaczęła dostawać się pod wpływ podwyższonego ciśnienia (Tab. 5). Na wyższych poziomach izohipsy były gięte na kształt zatoki i był obszar słabogradientowy, co widać na poziomie 500 hPa. Temperatura powietrza na obszarze Polski była ujemna na wszystkich rozważanych poziomach izobarycznych. Największy horyzontalny gradient temperatury widoczny był na poziomie 700 hPa, gdzie na mapach topografii barycznej względnej TW_{1000}^{700} na wschodzie widoczne były jeszcze ślady adwekcji ciepła, a jednocześnie od zachodu obserwowana była adwekcja chłodu. Izoterma 0°C sięga powierzchni gruntu w całym kraju, z wyjątkiem wybrzeża Bałtyku.



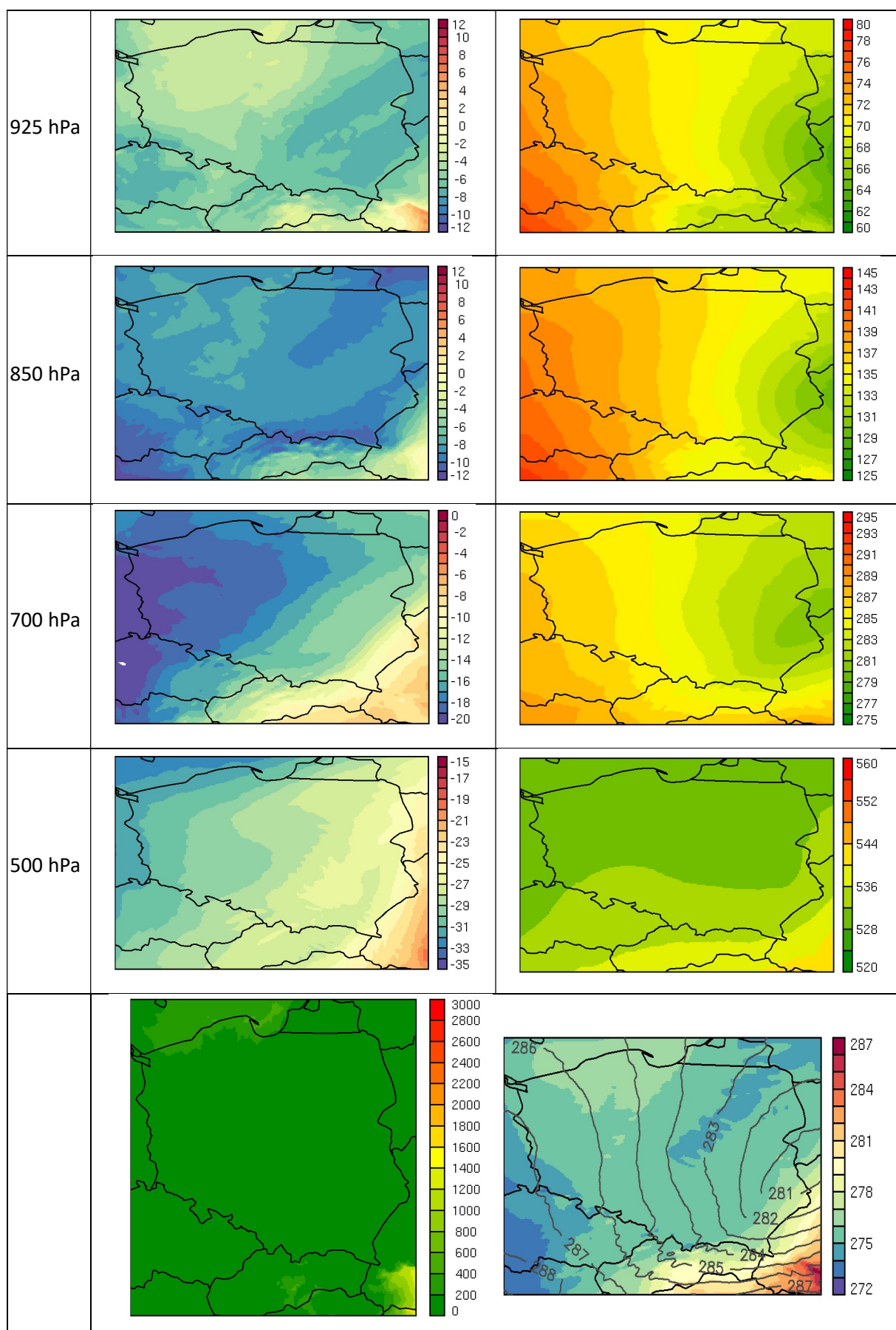
Tab. 2. Przestrzenny rozkład temperatury powietrza oraz wysokości geopotencjału [gpdam] na wysokości powierzchni izobarycznej 925, 850, 700 i 500 hPa, wysokość izotermy zero [m n.p.m.] oraz topografii barycznej względnej TW_{1000}^{500} [gp dam] 2 grudnia o 6 UTC.



Tab. 3. Przestrzenny rozkład temperatury powietrza oraz wysokości geopotencjału [gpdam] na wysokości powierzchni izobarycznej 925, 850, 700 i 500 hPa, wysokości izotermi zero (m n.p.m.) oraz topografii barycznej względnej TW_{1000}^{700} [gp dam] 2 grudnia o 12 UTC.

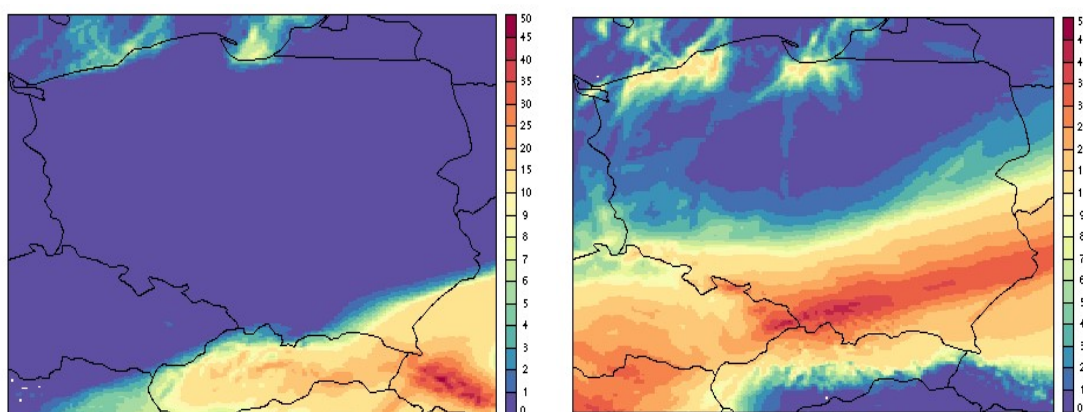


Tab. 4. Przestrzenny rozkład temperatury powietrza oraz wysokości geopotencjału [gpdam] na wysokości powierzchni izobarycznej 925, 850, 700 i 500 hPa, wysokości izotermy zero [m n.p.m.] oraz topografii barycznej względnej TW_{1000}^{500} [gp dam] 2 grudnia o 18 UTC.



Tab. 5. Przestrzenny rozkład temperatury powietrza oraz wysokości geopotencjału [gpdam] na wysokości powierzchni izobarycznej 925, 850, 700 i 500 hPa, wysokości izotermy zero (m n.p.m.) oraz topografii barycznej względnej TW_{1000}^{700} [gp dam] 3 grudnia o 00 UTC.

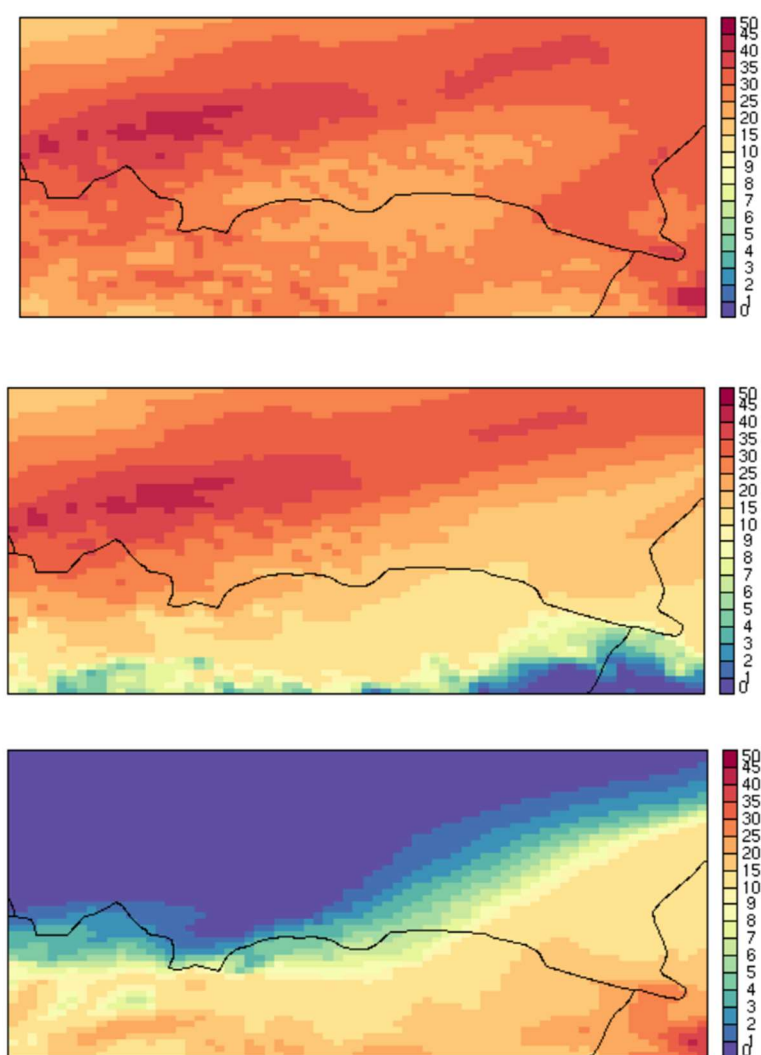
Sporządzono także mapy pola sumy opadów deszczu oraz śniegu skumulowane względem okresu obowiązywania ostrzeżeń (rys. 23). Z symulacji wynikało, że główną prognozowaną fazą opadu, dla większości obszaru Polski, miał być śnieg. Największe ilości białego puchu miały wystąpić w pasie od Beskidu Śląskiego przez Beskid Mały, Pogórze Wiśnickie, Płaskowyż Kolbuszowski aż po okolice Tomaszowa Lubelskiego. Prognozowane sumy sięgały niemal 50 mm (Beskid Śląski i Mały). Obszar wystąpienia deszczu prognozowany był przede wszystkim w południowych krańcach kraju, przy czym w województwie śląskim i małopolskim strefa opadów miała być niejako przyblokowana od południa na grzbietach Beskidów i dopiero na wschód od Beskidu Sądeckiego sięgnąć bardziej w głąb naszego kraju, sięgając aż po okolice Tomaszowa Lubelskiego. Na Podkarpaciu prognozowana suma opadów deszczu przekraczać miała 10 mm (w samych Bieszczadach przekracza 15 mm) i była ona porównywalna z ilością prognozowanego śniegu dla tego obszaru. Poza południem Polski, opady w postaci ciekłej i stałej prognozowane były dla wybrzeża Bałtyku (do ok. 15 mm śniegu i 10 mm deszczu).



Rys. 23. Suma opadu deszczu (lewy) i suma opadu śniegu (prawy) w okresie od 1 grudnia 18:00 UTC do 3 grudnia 3:00 UTC w przebiegu r00. Skala wyrażona jest w mm.

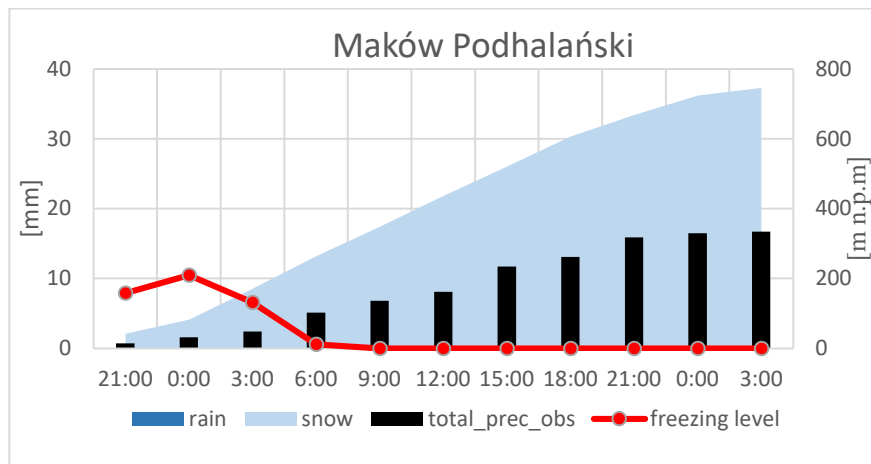
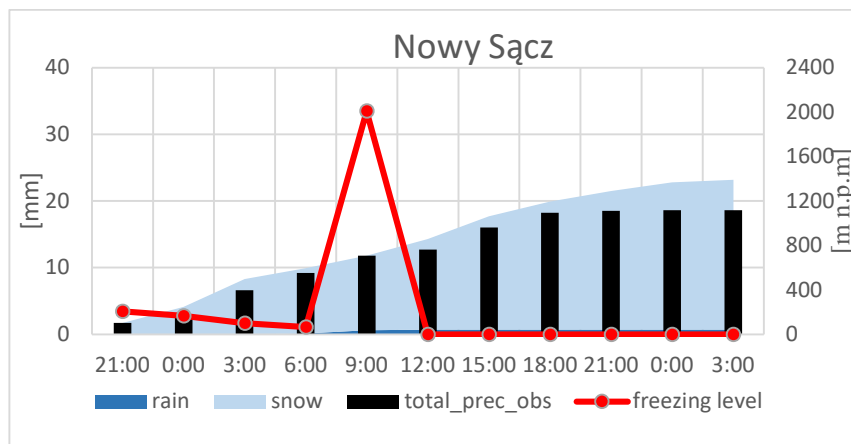
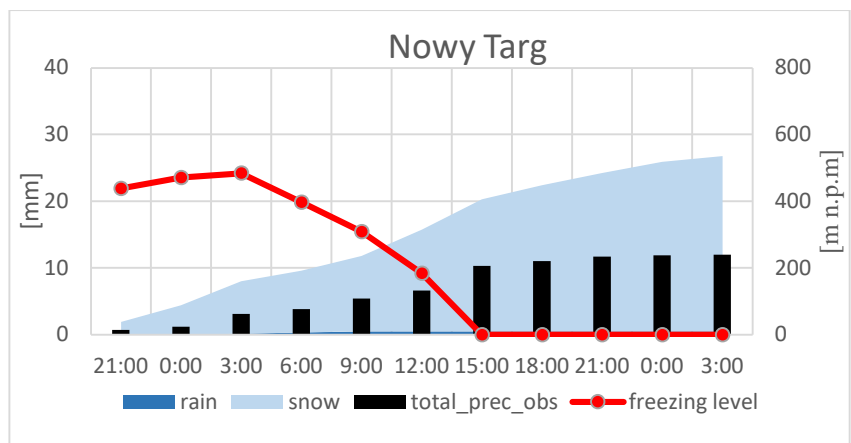
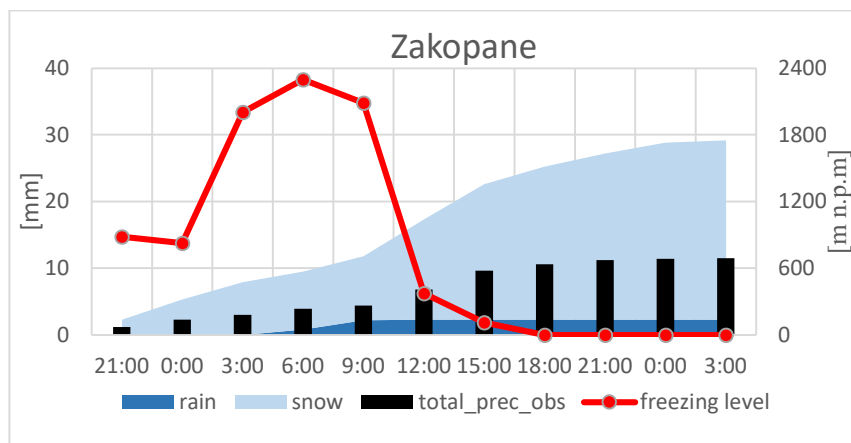
Dla Małopolski

Prognoza modelu ALARO z godz. 00UTC przewidywała skumulowane sumy opadów na poziomie od 15 mm w środkowej części Beskidów (Pieniny, Beskid Sądecki i częściowo Beskid Niski) do prawie 50 mm w Beskidzie Małym i Makowskim (rys. 24). Na przeważającym obszarze na sumę tę składałyby się wyłącznie opady śniegu. Obszar o największej intensywności przypadałby na pas od Beskidu Śląskiego poprzez Beskid Makowski aż po Płaskowyż Kolbuszowski na Podkarpaciu (sumy 35-50 mm). Opady deszczu rzędu kilku mm prognozowane były we wszystkich pasmach Beskidu wzdłuż granicy polsko-słowackiej, przy czym jedynie w Beskidzie Niskim oraz Bieszczadach sumy tych opadów przekraczać miały 10 mm.



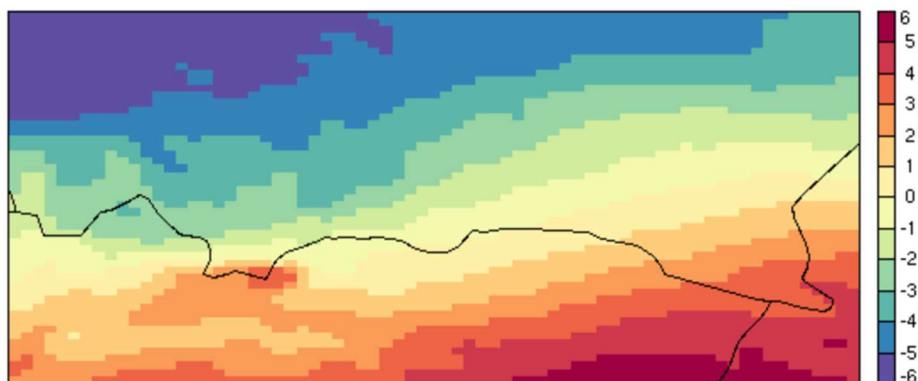
Rys. 24. Całkowita suma opadu (u góry), suma opadu śniegu (w środku) i suma opadu deszczu (na dole) w okresie od 1 grudnia 18:00 UTC do 3 grudnia 3:00 UTC w przebiegu r00. Skala wyrażona jest w mm.

Czasowy rozkład 3-godzinnych sum opadów, a także wysokości izotermy 0°C dla czterech wybranych lokalizacji przedstawiony został na rys. 25. Skumulowana suma opadów śniegu wahała się w granicach od 23,2 mm w Nowym Sączu do ponad 37 mm w Makowie Podhalańskim. Najwyższa suma opadu deszczu prognozowana była dla stacji Zakopane i było to 2,3 mm w godzinach 6-12 UTC (w sobotę 2 grudnia 2023 roku). W przypadku pozostałych stacji suma opadu deszczu nie przekraczała 1 mm (Nowy Targ 0,5 mm, Nowy Sącz 0,7 mm, Maków Podhalański 0,2 mm). Na podstawie informacji o pogodzie bieżącej i ubiegłej ze stacji Zakopane oraz Nowy Sącz można stwierdzić, że rzeczywiście takie zjawiska tam wystąpiły. Dla wszystkich stacji widoczne było istotne przeszacowanie całkowitej sumy opadu. Przeszacowanie to najmniej widoczne było dla stacji Nowy Sącz, natomiast dla pozostałych stacji było ono ponad dwukrotne. Warto zwrócić uwagę także na wysokie położenie izotermy 0°C w przypadku stacji Zakopane. Oscylowała ona początkowo w granicach 800 m n.p.m., osiągając maksymalną wartość w sobotę 2 grudnia o godz. 6:00 UTC, niemal 2300 m n.p.m. Pomimo tego, dominującym opadem według prognoz modelu miał być opad śniegu.



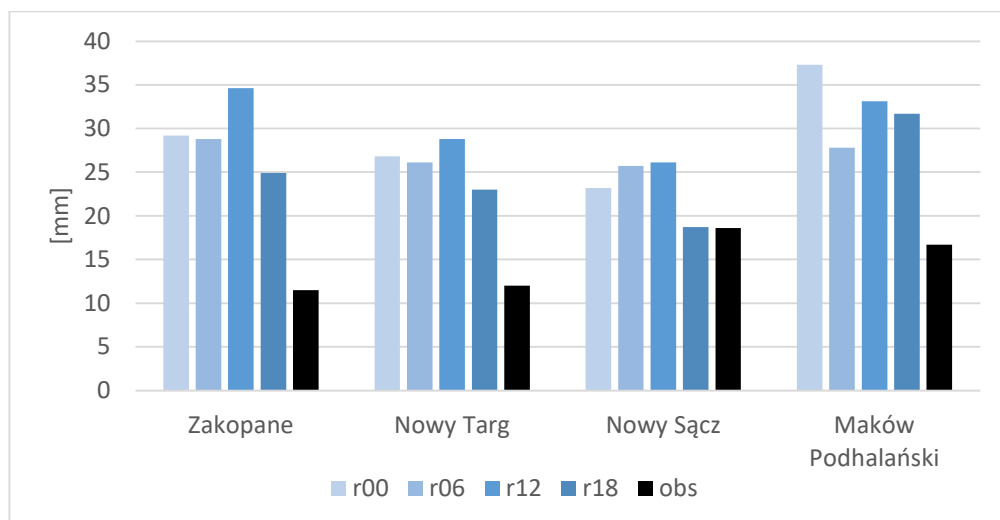
Rys. 25. Skumulowane trzygodzinne sumy opadu i obserwowana suma opadu (lewa oś) oraz wysokość izotermy 0°C (prawa oś) dla poszczególnych stacji.

Obszarowe zróżnicowanie temperatury powietrza na wys. 850 hPa w momencie maksymalnej wartości tego parametru dla Zakopanego przedstawia rys. 26. Przebieg izotermy 0°C był w przybliżeniu liniowy – rozciąga się ona od Zakopanego przez Nowy Sącz do okolic Przemyśla. Zwraca uwagę *wyspa ciepła*, jaką stanowi blok Tatr – w ich wschodniej części temperatura miałaby sięgnąć +3°C na wys. 850 hPa.



Rys. 26. Temperatura powietrza na wysokości 850 hPa w sobotę 2 grudnia o godz. 06:00 UTC.

W ostatniej części analizy przedstawiono czasową ewolucję całkowitej sumy opadów w poszczególnych przebiegach modelu ALARO z dnia 1 grudnia (rys. 27). O ile kolejna prognoza nie odbiegała zbyt od tej z godziny 00 UTC (z wyjątkiem znacznie obniżonej sumy opadów dla Makowa Podhalańskiego), o tyle prognoza z 12 UTC podwyższyła nieco sumy opadów. Według niej, ponad 30 mm opadów miałyby spaść nie tylko w Makowie Podhalańskim, ale i w Zakopanem. W kolejnej odśrodku prognozy (zainicjowana o godz. 18 UTC, tzn. godzinę po momencie rozpoczęcia obowiązywania ostrzeżenia) wyraźnie widać zmniejszenie prognozowanej sumy opadów i dotyczy to każdej rozważanej stacji. Prognoza ta była najbardziej zbliżona do sum zaobserwowanych (poza Makowem Podhalańskim).



Rys. 27. Ewolucja prognozowanej całkowitej sumy opadu dla różnych przebiegów modelu w dniu 1 grudnia 2023. Oznaczenie r00 oznacza prognozę zainicjowaną o godz. 00 UTC.

Wnioski

Przy założeniu, że 1 mm opadu to 1 cm przyrostu pokrywy śnieżnej, prognozowane sumy opadów w powiecie tatrzańskim, nowotarskim i nowosądeckim były w większości mniejsze niż te wymagające ostrzeżenia 3. stopnia. Na podstawie wysokich wartości temperatury na wysokości 850 hPa dla Tatr można także przypuszczać, że część opadu wystąpiła tam w formie ciekłej i w rezultacie przyrosty pokrywy śnieżnej nie przekraczały 40 cm. Z perspektywy prognozy zasadne wydają się być ostrzeżenia 3. stopnia dla powiatu suskiego i myślenickiego, ponieważ tam intensywność opadów była największa i przekraczała 35 mm. Model ALARO wszędzie przeszacował całkowitą sumę opadów, miejscami ponad dwukrotnie. Prognoza z godz. 18 UTC była najbardziej zbliżona do wartości obserwowanych, jednakże była ona dostępna do synoptyka już w momencie obowiązywania ostrzeżenia (w nocy z 1 na 2 grudnia).

3. Skutki intensywnych opadów śniegu

W okresie od 1 do 3 grudnia 2023 r. większa część obszaru Europy doświadczyła gwałtownych opadów śniegu. W wielu krajach spowodowały one paraliż komunikacyjny oraz przerwy w dostawie prądu.

Już w okresie poprzedzającym, to jest w trzeciej dekadzie listopada, znaczne problemy wynikające z intensywnych opadów śniegu wystąpiły w Mołdawii, Bułgarii i Ukrainie. Bardzo duże utrudnienia wystąpiły na znacznym obszarze Niemiec, Austrii i Szwajcarii.

W związku z wcześniej wydanymi precyzyjnymi ostrzeżeniami Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowego Instytutu Badawczego, znaczna część służb była przygotowana na reagowanie związane z zaistniałą sytuacją pogodową.

Specyficzna sytuacja synoptyczna i pogodowa spowodowała wystąpienie znacznego zróżnicowania występujących skutków i zagrożeń, ściśle zależnych od lokalizacji.

Przez obszar naszego kraju z południowego zachodu w kierunku północno wschodnim przemieszczały się śnieżycy, które skutkowały przede wszystkim gwałtownym pogorszeniem się warunków na drogach, zwłaszcza drogach lokalnych.

W Polsce południowej w wyniku intensywnych opadów śniegu, trudne warunki panowały na drogach w rejonie beskidzkim. Utrudnienia występowały na drogach Beskidu Śląskiego, Wyspowego (rejon Limanowej), Beskidu Sądeckiego i Beskidu Niskiego, a także Pogórza Rzeszowskiego, Roztocza oraz fragmentów Wyżyny Lubelskiej. Obok opadów śniegu utrudnienia na drogach zwiększały również występujące lokalnie opady mroźne.

Obok utrudnień występujących na drogach, do uszkodzeń doszło również w energetycznej strukturze przesyłowej. Znaczące przerwy w dostawie energii elektrycznej występowały w okolicach Przemyśla oraz w rejonie bieszczadzkim w rejonie Dwernika i doliny Sanu.

W Małopolsce bez prądu okresowo pozostawało do około 2,5 tys klientów. Na obszarze działania Tauron Dystrybucja w sobotę i w niedzielę okresowo bez dostępu do mediów pozostawało kilkanaście tysięcy klientów z maksimum przypadającym na niedzielne popołudnie (3 grudnia).

Poważne utrudnienia zwłaszcza w sobotę 2 grudnia wystąpiły również w transporcie kolejowym, skutkując kilkudziesięciominutowymi opóźnieniami w kursowaniu pociągów również na głównych trasach. Jak doniosła Polska Agencja Prasowa¹ w trakcie prac związanych z odśnieżaniem linii kolejowej w Jaszczowie (woj. Lubelskie) doszło do tragicznego wypadku, w trakcie którego zginął jeden z pracowników kolei.

W wyniku intensywnych opadów śniegu opóźnione i wstrzymane były loty na lotniskach w Katowicach – Pyrzowicach oraz na krakowskich Balicach

W niedzielę 3 grudnia Straż Pożarna interweniowała blisko 619 razy z czego w Małopolsce 193 razy, Podkarpaciu 150 razy oraz na Lubelszczyźnie 154 razy.

Według Wojewódzkiego Centrum Zarządzania Kryzysowego w Katowicach (WCZK) tylko 4 grudnia, Straż Pożarna na terenie woj. śląskiego interweniowała 69 razy. Trzydzieści dziewięć interwencji związanych było z usuwaniem sopli i nawisów śnieżnych, 30 kolejnych z usuwaniem drzew i konarów drzew.

Komenda Wojewódzka Państwowej Straży Pożarnej w Rzeszowie podała, że od soboty do poniedziałku 4 grudnia odnotowała 286 wyjazdów podkarpackich strażaków do usuwania skutków opadów śniegu. Główne działania to usuwanie połamanych konarów i drzew leżących na jezdniach, chodnikach i liniach energetycznych.

Utrudnienia występowały również na obszarze województwa świętokrzyskiego.

Na podstawie danych Policji² w okresie od 2 do 4 grudnia doszło w Polsce do 89 wypadków drogowych, mogących mieć związek z sytuacją na drogach, w których śmierć poniosło 7 osób, a 96 zostało rannych.

Obecnie wiadomo w oparciu o doniesienia medialne o jednej katastrofie budowlanej, jaka miała miejsce w Spytkowicach w woj. małopolskim, gdzie doszło do zawalenia się dachu hali magazynowej.

¹ <https://www.pap.pl/aktualnosci/tragedia-na-torach-w-jaszczowie-nie-zyje-pracownik-kolei>

² <https://policja.pl/pol/form/1,dok.html>