

SYNOPTYCZNE UWARUNKOWANIA BURZ W PAŹDZIERNIKU 2020 ROKU W POLSCE

DANIEL WARDOWSKI

Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. B. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

Abstract: *Synoptic conditioning of thunderstorms in October 2020 in Poland.* The aim of this study is to characterize the occurrence of severe thunderstorms and determine their synoptic conditioning in October 2020 in Poland. In the study, into account were taken three days, i.e. 4, 5 and 10 October, which showed the most intense storm activity. The study considers the number and area of lightning discharges over Poland, the synoptic conditions prevailing in Europe, as well as basic thermodynamic and kinematic indices. The storms in October 2020 were exceptional in comparison to the previous years. They were associated with the migration of cool atmospheric fronts across Poland and the exchange of old polar-marine air masses with polar-marine air masses, which generated the specific thermodynamics and, specifically, the kinetic conditions for the development of thunderstorm cells.

Keywords: thunderstorm, October, lightning, synoptic conditions, Poland

WSTĘP

Burza jest zjawiskiem atmosferycznym z grupy elektrometeorów, składającym się z jednego lub kilku wyładowań atmosferycznych w postaci błyskawic oraz grzmotów (Niedźwiedź 2003). Od wielu lat w licznych pracach rozpatrywano występowanie burz w Polsce, jak chociażby w publikacjach z lat 40. i 60. XX w. (Wiszniewski 1949; Stopa 1962). Temat ten był kontynuowany także w kolejnych latach między innymi przez: Bielec-Bąkowską (2002), Kolendowicza (1996), Grabowską (2008) oraz Taszarka i in. (2015). Badania prowadzono nie tylko w skali całego kraju, ale również w skali regionalnej i przykładem takich badań może być analiza zjawisk burzowych w północno-zachodniej Polsce (Kirschenstein 2016). Podobne badania przeprowadzono także na wybranych stacjach, wśród których można wymienić: Kalisz (Jasik, Szyga-Pluta 2016), Poznań (Kolendowicz 2007) oraz Bieliny (Pietras, Pyrc 2018).

Za sezon burzowy w Polsce przyjmuje się czas od kwietnia do września, lecz w żaden sposób nie wyklucza to występowania burz w innych miesiącach. Burze w umiarkowanych szerokościach geograficznych mogą występować przez cały rok. Miesiącami kulminacyjnymi są odpowiednio: lipiec, czerwiec i sierpień. Charakterystyczną cechą dla rozkładu burz w Polsce jest wzrost ich

częstości z północnego zachodu na południowy wschód. Najrzadziej zjawiska burzowe występują na wybrzeżu – średnio poniżej 20 dni w ciągu roku. W rejonie środkowej Polski średnio burze występują około 25 dni, w pasie wyżyn 26-30 dni, natomiast najwięcej w regionach górskich – nawet powyżej 30 dni (Grabowska 2014; Taszarek i in. 2015). Najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą jest wtedy, gdy Polska znajduje się pod wpływem cyrkulacji cyklonalnej: północno-wschodniej i wschodniej (typ E_0), południowo-wschodniej (typ F) oraz północno-zachodniej (typ CB). Wówczas wzrost częstości występowania dni z burzą wiąże się z przemieszczaniem frontu chłodnego oraz zokludowanego o charakterze chłodnym (Grabowska 2014).

Jedna z najsilniejszych burz w ostatnich latach wystąpiła 11 sierpnia 2017 roku. Mezokalowy układ konwekcyjny o szerokości 200–300 km, w postaci wygiętego łuku widocznego na obrazowaniach radarowych, przemieszczał się w pasie od linii Zielona Góra – Opawa aż po Pomorze. Na obszarze Kujaw układ przybrał gwałtownie na sile i zaczął generować dużą prędkość wiatru dochodzącą nawet do 160 km/h (Marcinowicz 2019). W pozostałych miejscach na obszarze oddziaływania burzy wiatr był również bardzo silny. Na stacji meteorologicznej Elbląg-Milejewo (IMGW-PIB) zanotowano poryw wiatru o prędkości 151,3 km/h, duży poryw wystąpił też w Chrząstkowie (129,6 km/h), Gnieźnie (125 km/h), Lęborku (112 km/h), Chojnicach (111,7 km/h) oraz Grudziądzu (103 km/h) (Marcinowicz 2019). Jak wskazują Taszarek i in. (2019), była to jedna z najpotężniejszych burz w historii Polski i spowodowała olbrzymie straty zarówno społeczne, jak i materialne. Zginęło wówczas 6 osób, a 58 zostało rannych. Zniszczeniu lub uszkodzeniu uległo około 79 700 ha lasu.

Celem pracy była charakterystyka występowania burz w październiku 2020 r. oraz określenie ich synoptycznych uwarunkowań. Na szczególną uwagę zasługują trzy dni, tj. 4, 5 oraz 10 października. Powyższe przypadki zostały wybrane ze względu na intensywność oraz rzadkość zaistniałej sytuacji. Dotychczas sytuacja ta nie została poddana szerszej analizie zarówno pod względem przestrzennym, jak i przyczynowym.

DANE I METODY BADAŃ

W pierwszym etapie do opracowania charakterystyki występowania silnych burz dla 4, 5 oraz 10 października 2020 r. wykorzystano mapy ze strony internetowej www.blitzortung.org (dostęp 5.05.2021), prezentujące przebieg godzinowy, obszar oraz liczbę doziemnych wyładowań atmosferycznych, zarówno dodatnich, jak i ujemnych, na obszarze wschodniej Europy oraz Polski.

Następnie do scharakteryzowania synoptycznych uwarunkowań występowania burz, dla określonych dni, posłużono się mapami synoptycznymi ze strony Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego

(IMGW-PIB) oraz mapami geopotencjału 500 hPa ze strony internetowej: www.wetter3.de (dostęp 5.05.2021).

Trzecim krokiem było określenie warunków termodynamicznych, do których wykorzystano mapy przedstawiające rozkład parametrów: Convective Available Potential Energy (CAPE), Lifted Index (LI) oraz Convective Inhibition (CIN) na obszarze Europy. Mapy pobrano ze strony www.wetter3.de (dostęp 5.05.2021).

Indeks CAPE (Convective Available Potential Energy) jest jednym z podstawowych wskaźników niestabilności atmosfery (tab. 1). Określa miarę wartości energii potencjalnej dostępnej dla procesu konwekcji. Parametr jest wprost proporcjonalny do maksymalnej prędkości potencjalnej prądu wstępującego. Znacząco wpływa na rozwój oraz organizację burz w większe struktury (<https://lowcyburz.pl/slownik-skywarn-polska/>, dostęp 5.05.2021).

Tabela 1. Klasyfikacja stopnia chwiejności atmosfery ze względu na wskaźnik CAPE
Table 1. Classification of the degree of instability of the atmosphere in terms of CAPE

Wartość CAPE	Chwiejność atmosfery
300–1000 J/kg	Słaba
1000–2500 J/kg	Średnia
2500–3000 J/kg	Silna
> 3000 J/kg	Bardzo silna

Źródło: Orlikowski (2016).

Kolejnym znaczącym wskaźnikiem warunków termodynamicznych jest indeks LI (Lifted Index). Określa różnicę między temperaturą powietrza na danym poziomie troposfery a temperaturą uniesionej z powierzchni Ziemi lub dolnej troposfery do tego samego poziomu masy powietrza (<https://lowcyburz.pl/slownik-skywarn-polska/>, dostęp 5.05.2021). Ujemne wartości LI świadczą o niestabilności atmosfery. Podobnie jak w przypadku CAPE, również w indeksie LI występuje podział na cztery podstawowe zakresy (tab. 2).

Tabela 2. Klasyfikacja stopnia niestabilności atmosfery ze względu na wskaźnik LI
Table 2. Classification of atmospheric instability in terms of LI

Wartość LI	Niestabilność atmosfery
> 0K	Atmosfera stabilna
0K > LI > -3K	Mała
-3K > LI > -5K	Średnia
LI < -5K	Duża

Źródło: Celiński-Mysław i Palarz (2017).

Wskaźnik CIN (Convective Inhibition) to kolejny parametr, który odgrywa zasadniczą rolę w inicjacji oraz rozwoju komórek burzowych. Określa wartość energii hamującej konwekcję (tab. 3), która odzwierciedla wielkość inwersji

hamującej konwekcję i przyjmuje wartości ujemne (<https://lowcyburz.pl/slownik-skywarn-polska/>, dostęp 5.05.2021).

Tabela 3. Klasyfikacja stopnia energii hamującej rozwój konwekcji – CIN

Table 3. Classification of the convection-inhibiting energy degree – CIN

Wartość CIN	Poziom inwersji
0 – -50 J/kg	Słaba
-51 – -199 J/kg	Średnia
< -200 J/kg	Silna

Źródło: Celiński-Mysław i Palarz (2017).

Kolejnym etapem było prześledzenie sytuacji w pionowym profilu atmosfery dla wybranego miejsca w Polsce. W tym celu wykorzystane zostały sondáže aerologiczne ze strony internetowej (www.rawinsonde.com, dostęp 5.05.2021). W niniejszej pracy użyto następujących wskaźników: Equilibrium Level (EL) oraz Lifting Condensation Level (LCL). Poziom równowagi (EL) przedstawiany na sondażach aerologicznych oznacza wysokość, powyżej której cząstka staje się chłodniejsza od otoczenia. Natomiast poziom kondensacji wymuszonej (LCL) to wysokość, na jaką trzeba wznieść porcję powietrza do osiągnięcia stanu nasycenia (Szewczak 2014).

Następnie przeanalizowano liczbę godzin z burzą dla wybranych stacji meteorologicznych (Białystok, Kielce, Lublin, Łódź, Mława, Warszawa) w okresie 1991–2020 oraz skumulowaną liczbę godzin z burzą dla tego samego czasu. Kolejnym krokiem było przedstawienie liczby wyładowań doziemnych z dnia 5 października 2020 r. w porównaniu do całego miesiąca w latach 2001–2020. W tym celu wykorzystano rycinę pobraną ze strony IMGW-PIB (dostęp 5.05.2021).

Dostosowanie map oraz wykresów zostało wykonane za pomocą oprogramowania QGIS 3.16 oraz GIMP 2.10.24.

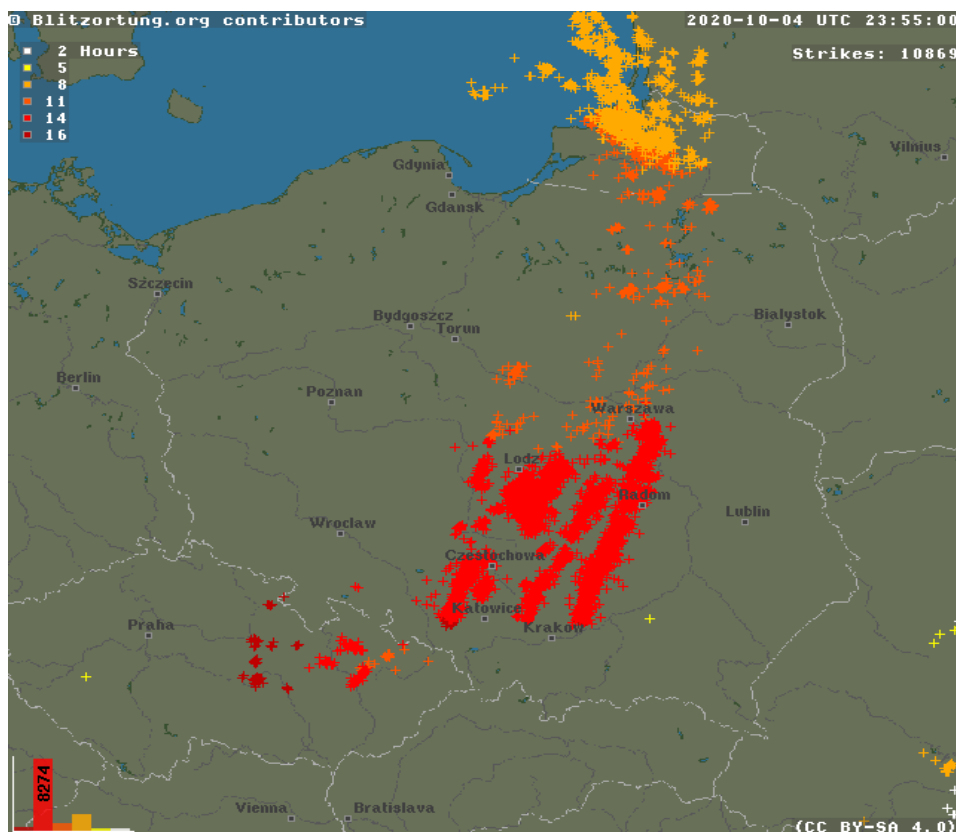
WYNIKI

Charakterystyka występowania burz w październiku 2020 roku

W październiku 2020 r. wystąpiła wyjątkowa silna aktywność burzowa. Tak intensywne zjawiska burzowe są bardzo rzadkie o tej porze roku. Na szczególną uwagę zasługiwały trzy dni, tj. 4, 5 oraz 10 października.

Burze z 4 października 2020 r. wystąpiły głównie we wschodniej części Polski oraz Czech. Początkowo, pojawiły się one na terenie wschodnich Czech, a następnie w południowej Polsce i zaczęły kierować się na północny wschód, z cze-

go najwyższa ich aktywność elektryczna wystąpiła na obszarze między Łodzią, Warszawą a Krakowem. Około godziny 16:00 UTC (ryc. 1) burze występowały już tylko na obszarze Litwy oraz Rosji. Dzień ten charakteryzował się wysoką aktywnością burzową zwłaszcza w regionach wschodniej Europy. Do godziny 23:55 UTC zarejestrowano aż 10 869 wyładowań atmosferycznych na obszarze środkowo-wschodniej Europy (ryc. 1).



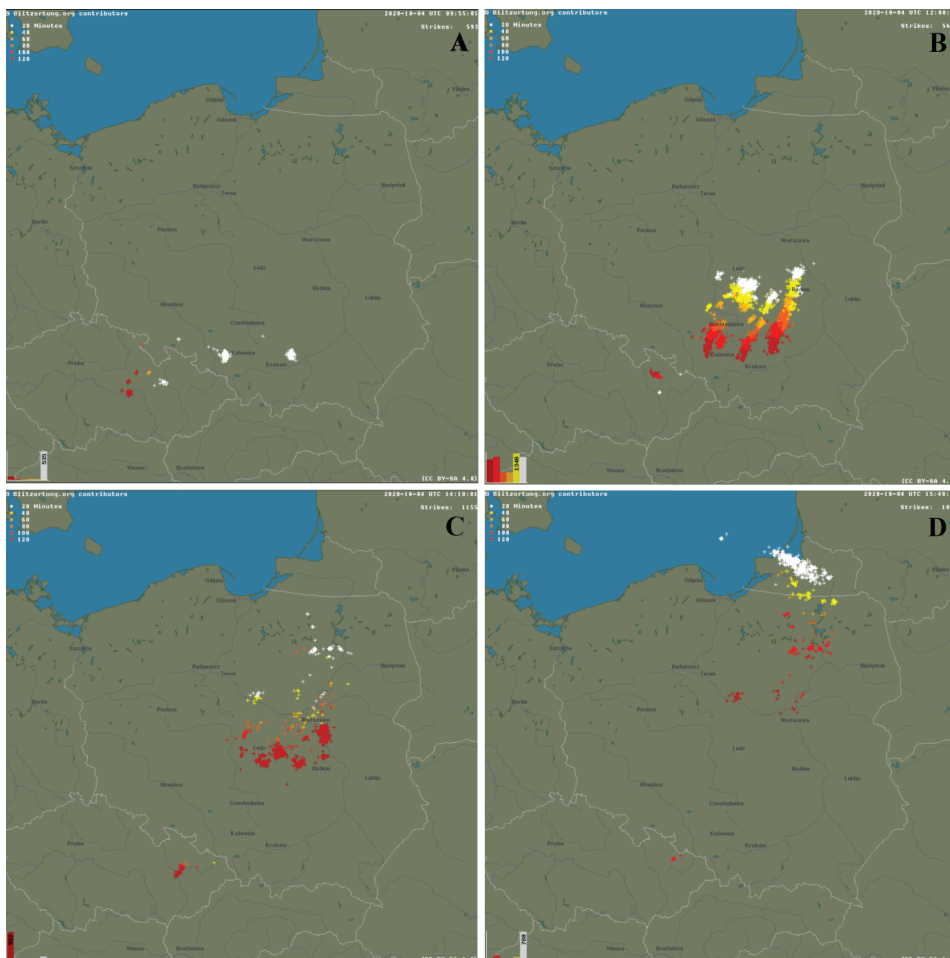
Ryc. 1. Rozkład przestrzenny i czasowy wyładowań atmosferycznych nad środkowo-wschodnią Europą (4 października 2020)

Źródło: <https://www.blitzortung.org/>.

Fig. 1. Spatial and temporal distribution of lightning over central and eastern Europe (4 October 2020)

Pierwsze komórki burzowe nad Polską 4 października 2020 r. zaczęły pojawiać się w południowej części kraju, w województwie małopolskim oraz śląskim (ryc. 2A). Pierwsze wyładowanie atmosferyczne na obrazie radarowym wystąpiło o godzinie 9:45 UTC na południowy zachód od Katowic. Kilkanaście minut później kolejne wyładowania wytworzyły się na północ od Krakowa oraz na obszarze

między Krakowem a Częstochową. Burze te przemieszczały się na północny wschód w stronę Radomia i Łodzi. O godzinie 11:10 UTC kolejne dwie komórki burzowe pojawiły się pomiędzy Częstochową a Łodzią (ryc. 2B). Burze po godzinie 12:35 UTC znacząco zaczęły tracić na aktywności. Wyładowania atmosferyczne nadal były wykrywane na obszarze województwa mazowieckiego oraz warmińsko-mazurskiego, lecz burze te nie były zorganizowane tak jak w województwach śląskim, małopolskim i łódzkim (ryc. 2C). Aktywność burzowa zdecydowanie wzrosła po godzinie 15:00 UTC na obszarze Rosji, ze względu na poprawę warunków panujących w troposferze, które sprzyjały rozwojowi konwekcji (ryc. 2D).

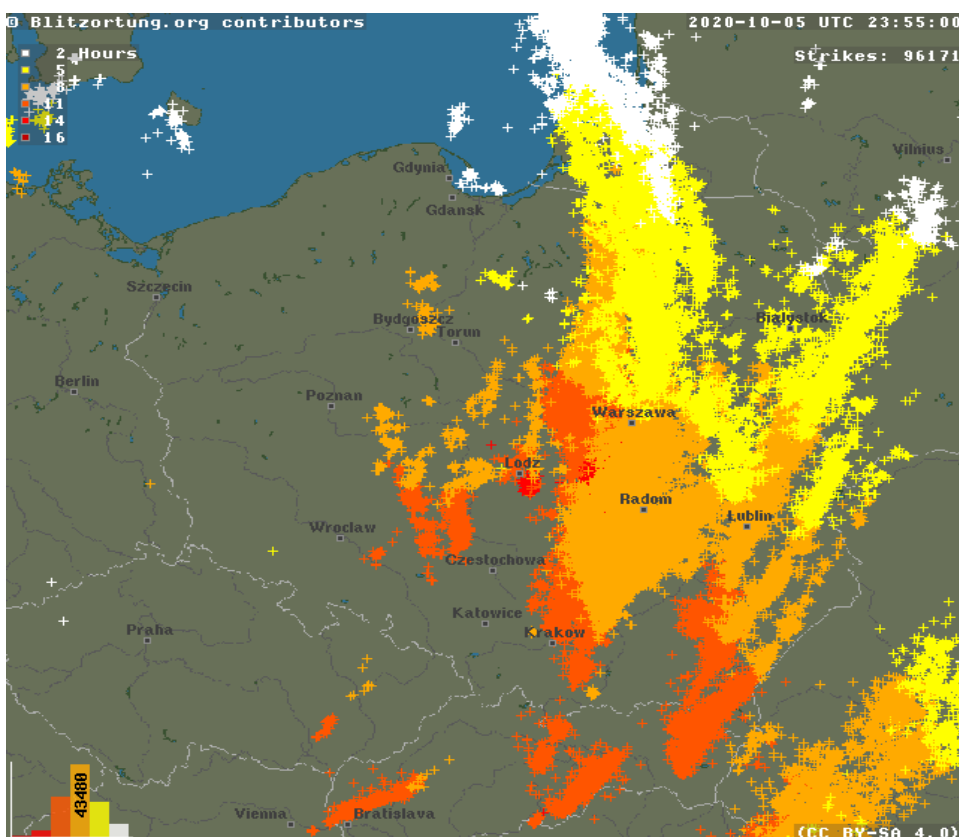


Ryc. 2. Obrazy z detektora wyładowań z dnia 4 października 2020 roku: godz. 9:55 (A), 12:00 (B), 14:10 (C) i 15:40 (D) UTC.

Źródło: <https://www.blitzortung.org/>.

Fig. 2. Discharge detector images of 4 October 2020: 9:55 AM (A), 12:00 PM (B), 2:00 PM (C) and 3:40 PM (D) UTC

Charakterystycznym dniem, ze względu na wyjątkowo silną aktywność elektryczną burz w środkowo-wschodniej Europie, jak na tę porę roku, był 5 października 2020 roku. Pierwsze burze pojawiły się na Słowacji, w Czechach oraz na terenie południowej Polski i przemieszczały się w kierunku północnym i północno-wschodnim. Obszar przemieszczania się burz był bardzo podobny do tego z 4 października 2020 roku. Ponownie najwyższą aktywność burzową odnotowano w południowo-wschodniej Polsce. Główna burza kierowała się przez województwo warmińsko-mazurskie i dalej przez Rosję (Obwód Kaliningradzki) w kierunku Morza Bałtyckiego (ryc. 3). Trajektoria burz na obszarze północno-wschodniej Polski i Obwodu Kaliningradzkiego była niemal identyczna z tą z 4 października. Tego dnia zarejestrowano 96 171 doziemnych wyładowań atmosferycznych (ryc. 3), z czego ponad 34 000 przypadło na obszar Polski, co stanowi wartość, która nie wystąpiła od początku działania systemu PERUN (od 2002 r.) w październiku

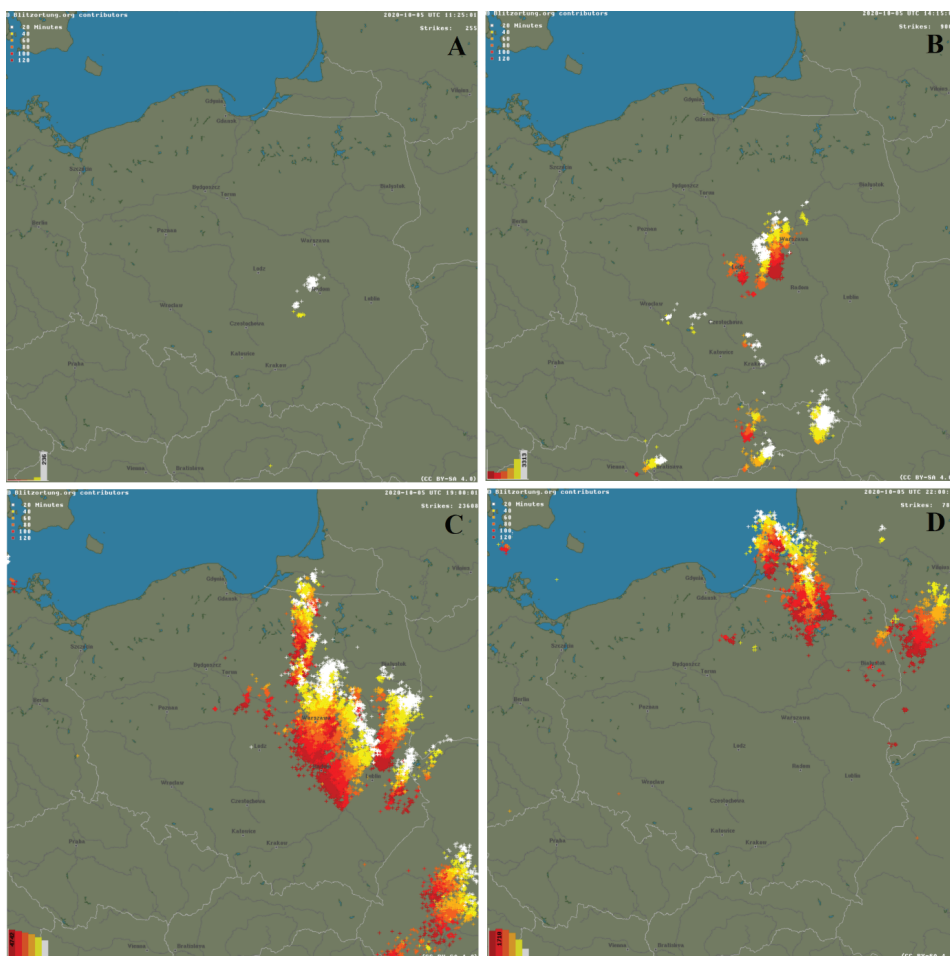


Ryc. 3. Rozkład przestrzenny i czasowy wyładowań atmosferycznych nad środkowo-wschodnią Europą (5 października 2020). Źródło: <https://www.blitzortung.org/>.

Fig. 3. Spatial and temporal distribution of lightning over central and eastern Europe (5 October 2020)

(BIURO PRASOWE IMGW-PIB 2021). Znaczna liczba doziemnych wyładowań atmosferycznych przekładała się również na wysoką liczbę wyładowań w ciągu 10 minut na 100 km². Maksymalne wartości osiągały nawet 180 wyładowań w ciągu 10 minut na 100 km² w środkowej Polsce (<https://www.imgw.pl/wydarzenia/podsumowanie-wyjatkowo-silnych-burz-z-5-10-2020-r.>, dostęp 6.05.2021).

Inicjacja konwekcji 5 października 2020 r. rozpoczęła się przed południem (o godzinie 11:05 UTC) na obszarze województwa świętokrzyskiego (ryc. 4A). O godzinie 11:20 UTC nowa komórka burzowa utworzyła się na północny zachód od Radomia. Chmury burzowe kierowały się na północ, a w kolejnych godzinach

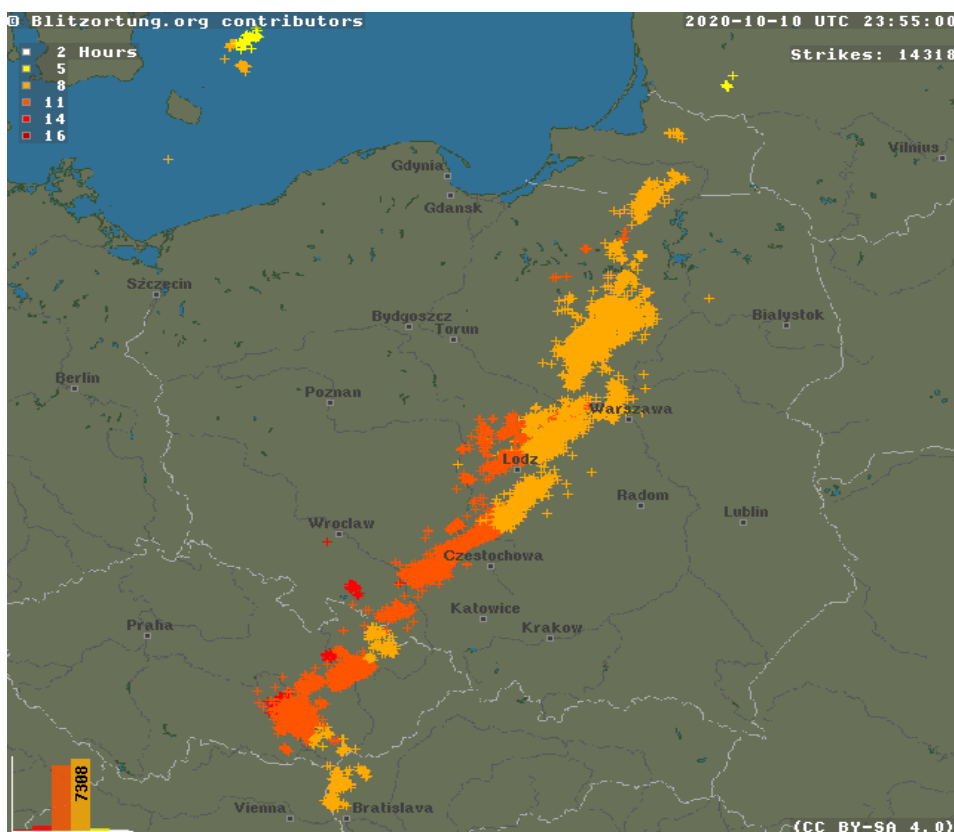


Ryc. 4. Obrazy z detektora wyładowań z dnia 5 października 2020 r.: godz. 11:25 (A), 14:15 (B), 19:00 (C) i 22:00 (D) UTC.

Źródło: <https://www.blitzortung.org/>.

Fig. 4. Discharge detector images of 5 October 2020: 11:25 AM (A), 2:15 PM (B), 7:00 PM (C) and 10:00 PM (D) UTC

nowe zaczęły tworzyć się ponownie w okolicach Radomia, lecz nie łączyły się w większe struktury i szybko zanikały. Czas trwania burzy nie przekraczał wówczas 30 minut. Sytuacja diametralnie zmieniła się po godzinie 14:00 UTC. Ze względu na poprawę warunków termodynamicznych panujących w troposferze, doszło do rozwoju wielu nowych komórek burzowych w województwach południowych oraz w województwie mazowieckim, na zachód od Warszawy. Burze zaczęły łączyć się w struktury wielokomórkowe, przybierając na sile, i kierowały się na północny wschód. Na szczególną uwagę zasługuje burza położona na północny wschód od Kielc, która zaczęła przybierać postać liniową (ryc. 4B). Po godzinie 18:00 UTC burze zaczęły tracić na sile, lecz dalej przemieszczały się w kierunku północno-wschodnim przez obszar województwa podlaskiego i dalej w kierunku Białorusi i Litwy. Wyjątkowo korzystne warunki do rozwoju burz panowały jeszcze na obszarze województwa warmińsko-mazurskiego. W woje-

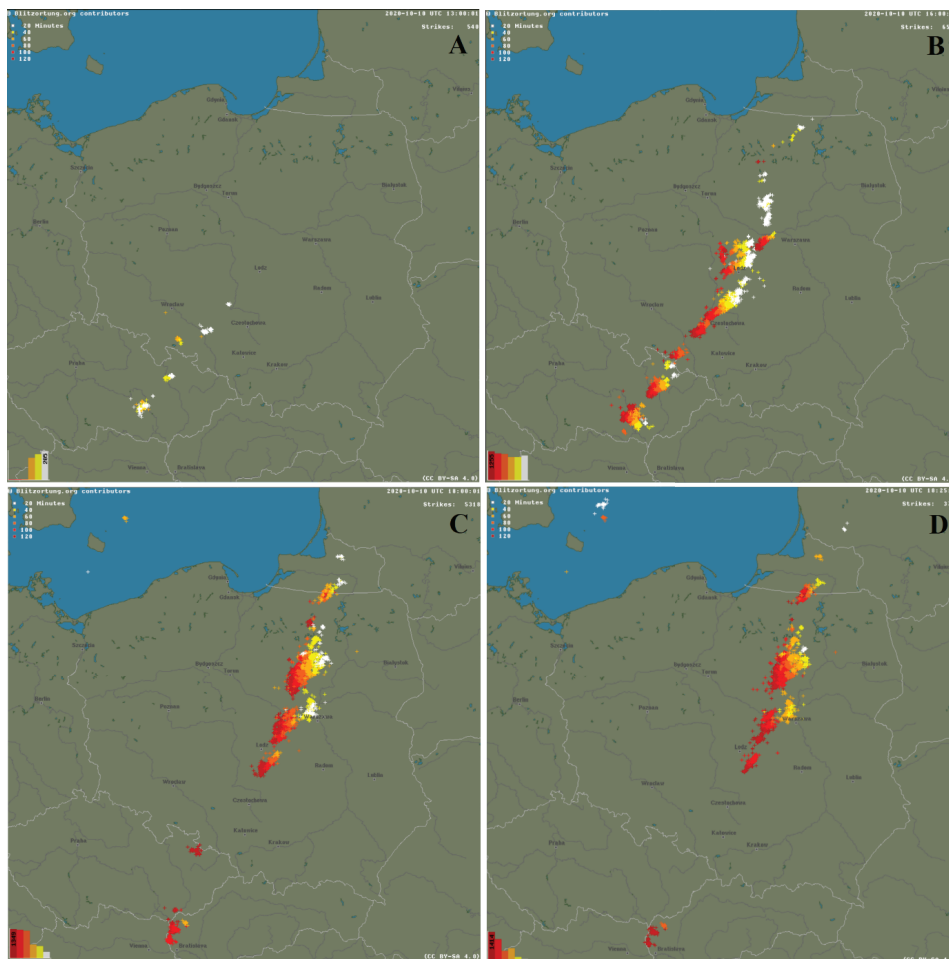


Ryc. 5. Rozkład przestrzenny i czasowy wyładowań atmosferycznych nad środkowo-wschodnią Europą (10 października 2020).

Źródło: <https://www.blitzortung.org/>.

Fig. 5. Spatial and temporal distribution of lightning over central and eastern Europe (10 October 2020)

wództwie tym obszar oddziaływania burz ograniczył się do zachodniej części regionu z wyjątkiem pojedynczej komórki burzowej występującej na zachód od Ławy (ryc. 4D). Chmury burzowe kierowały się na północ w kierunku Rosji i dalej w stronę Morza Bałtyckiego. O godzinie 22:05 UTC odnotowano wyładowania atmosferyczne na Zatoce Gdańskiej. W kulminacyjnej fazie odnotowywano ponad 6000 wyładowań w ciągu 20 minut (<https://www.blitzortung.org/>, dostęp 6.05.2021). Ostateczny zanik burz miał miejsce nad Morzem Bałtyckim kilkadziesiąt minut po północy.

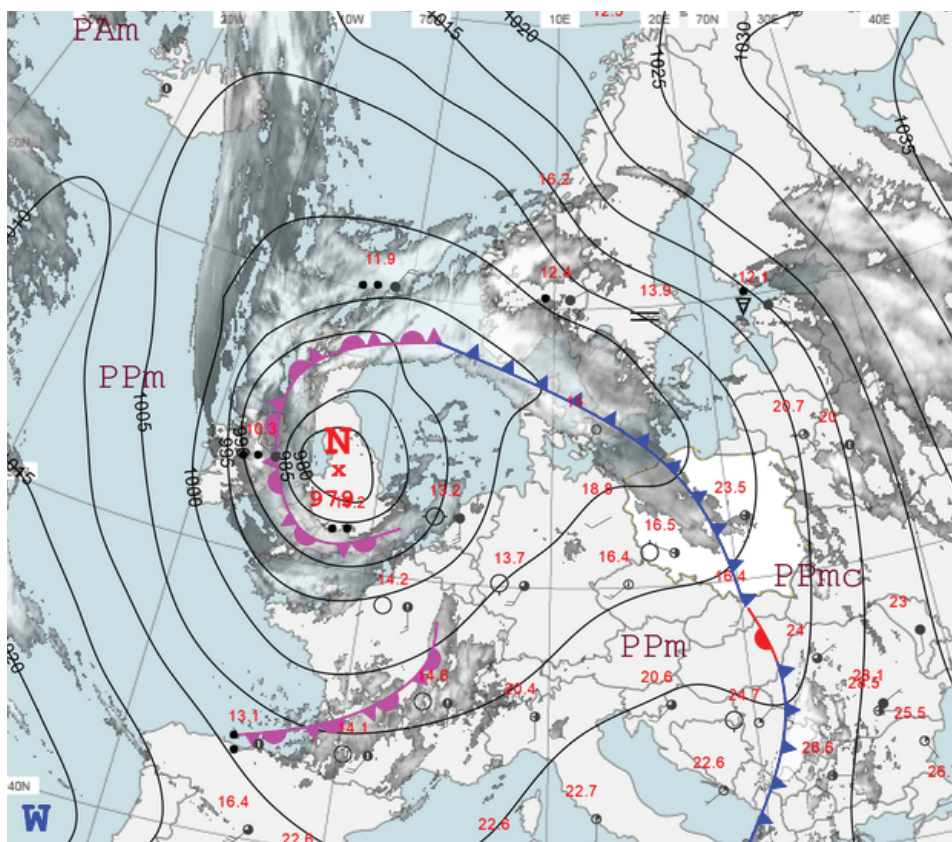


Ryc. 6. Obrazy z detektora wyładowań z dnia 10 października 2020 r.: godz. 13:00 (A), 16:00 (B), 18:00 (C) i 18:25 (D) UTC
 Źródło: <https://www.blitzortung.org/>.

Fig. 6. Discharge detector images of 10 October 2020: 1:00 PM (A), 4:00 PM (B), 6:00 PM (C) and 6:25 PM (D) UTC

W zachodniej części Słowacji, we wschodnich Czechach oraz w Polsce (na obszarze województwa opolskiego, śląskiego, łódzkiego, mazowieckiego oraz warmińsko-mazurskiego) 10 października ponownie doszło do rozwoju wyjątkowo aktywnych, jak na tę porę roku, elektrycznych burz (ryc. 5). Podobnie jak to było we wcześniej omówionych dniach, burze zaczęły tworzyć się w państwach sąsiadujących z Polską od południa i kierowały się w stronę północno-wschodnią. Tego dnia gwałtowność zjawisk nie była już tak duża jak 5 października 2020 roku. Zarejestrowano 14 318 wyładowań doziemnych (<https://www.blitzortung.org/>, dostęp 6.05.2021).

Pierwsza inicjacja komórek burzowych 10 października 2020 r. pojawiła się około godziny 12:30 UTC. Pojedyncze burze zaczęły rozwijać się na pograniczu województw dolnośląskiego, opolskiego i łódzkiego (ryc. 6A). W kolejnych godzinach burze zaczęły się pojawiać również na zachód i północny wschód od



Ryc. 7. Mapa synoptyczna: 4.10.2020 r., godz. 12:00 UTC

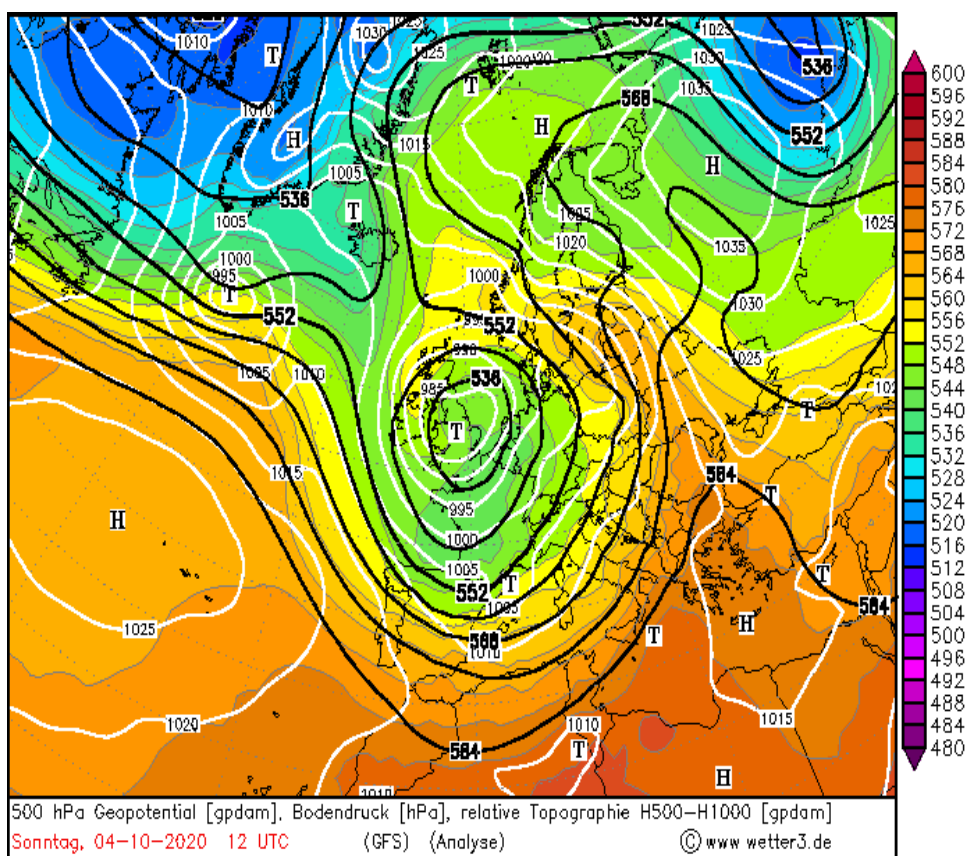
Źródło: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

Fig. 7. Synoptic map: 4.10.2020, 12:00 PM UTC

Łodzi, a także wystąpiła pierwsza burza w województwie warmińsko-mazurskim na południe od Ostródy. Chmury burzowe kierowały się na północny wschód (ryc. 6B). Po godzinie 16:00 UTC rozwój nowych komórek burzowych nastąpił kilkadziesiąt kilometrów na zachód od Warszawy (ryc. 6C). Około godziny 18:00 UTC warunki do rozwoju konwekcji zdecydowanie się pogorszyły i burze bardzo szybko zaczęły zanikać. Po godzinie 18:25 UTC nie odnotowano żadnych nowych wyładowań atmosferycznych (ryc. 6D).

Synoptyczne uwarunkowania występowania burz

Nad Europą 4 października 2020 r. dominowały dwa układy baryczne (ryc. 7). Przeważający obszar kontynentu znajdował się w zasięgu układu niskiego ci-

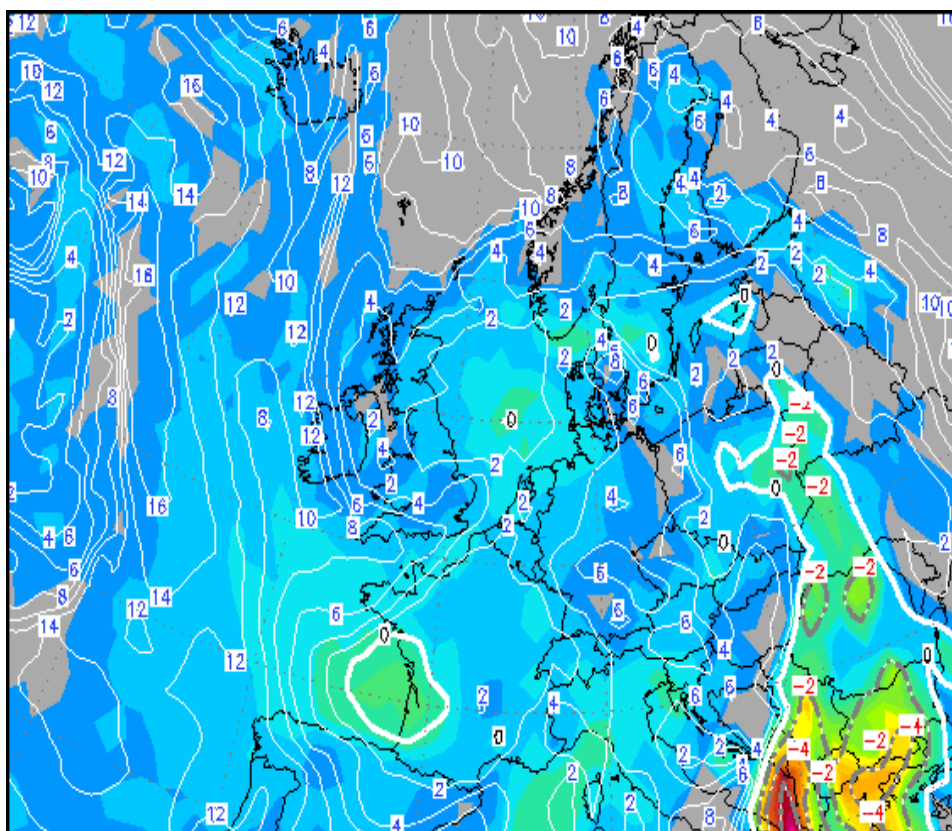


Ryc. 8. Mapa topografii barycznej 500 hPa (czarne linie): 4.10.2020 r., godz. 12:00 UTC
 Źródło: <http://www1.wetter3.de/>.

Fig. 8. 500 hPa geopotential height (black lines): 4.10.2020, 12:00 PM UTC

śnienia z centrum (979 hPa) nad Wyspami Brytyjskimi. Fronty atmosferyczne, związane z tym niżem, przebiegały przez południe Skandynawii, Polskę, Bałkany aż po Morze Śródziemne. Z kolei nad wschodnią Europą ulokował się układ wysokiego ciśnienia z ciśnieniem w centrum wynoszącym 1041 hPa. Na obecność chłodnych mas powietrza nad znacznym obszarem zachodniej Europy wskazywała niższa wysokość położenia powierzchni izobarycznej 500 hPa w tym regionie (ryc. 8).

Tego dnia Polska znajdowała się w zasięgu oddziaływania zatoki niskiego ciśnienia, związanej z niżem, którego centrum znajdowało się nad obszarem Wysp Brytyjskich. Decydujące znaczenie dla rozwoju burz nad Polską miał chłodny front atmosferyczny, który o godzinie 12:00 UTC przebiegał przez obszar środkowej Polski (ryc. 7). Front atmosferyczny rozdzielał dwie różne masy powietrza. Za frontem napływało powietrze polarne morskie (PPm), natomiast przed frontem zalegało powietrze polarne morskie ciepłe (PPmc) (ryc. 7).

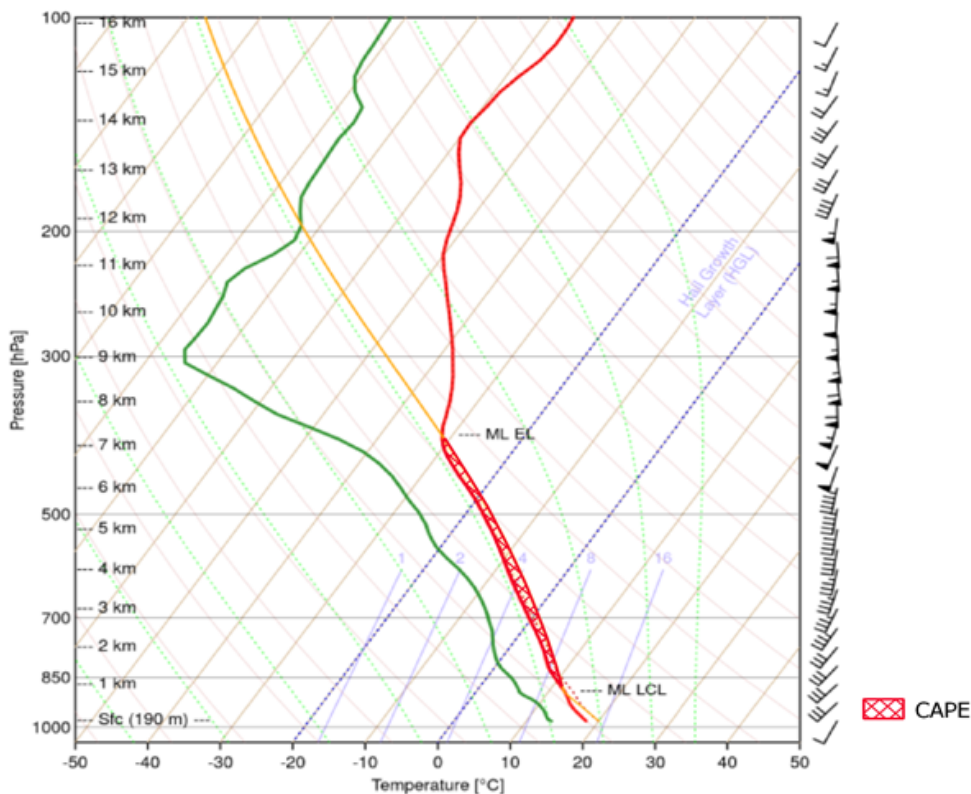


Ryc. 9. Indeks CAPE i LI: 4.10.2020 r., godz. 12:00 UTC

Źródło: <http://www1.wetter3.de/>.

Fig. 9. CAPE and LI index: 4.10.2020, 12:00 PM UTC

ERA5 | lat 51.50 | lon 20.50 | date 2020-10-04 1200 UTC

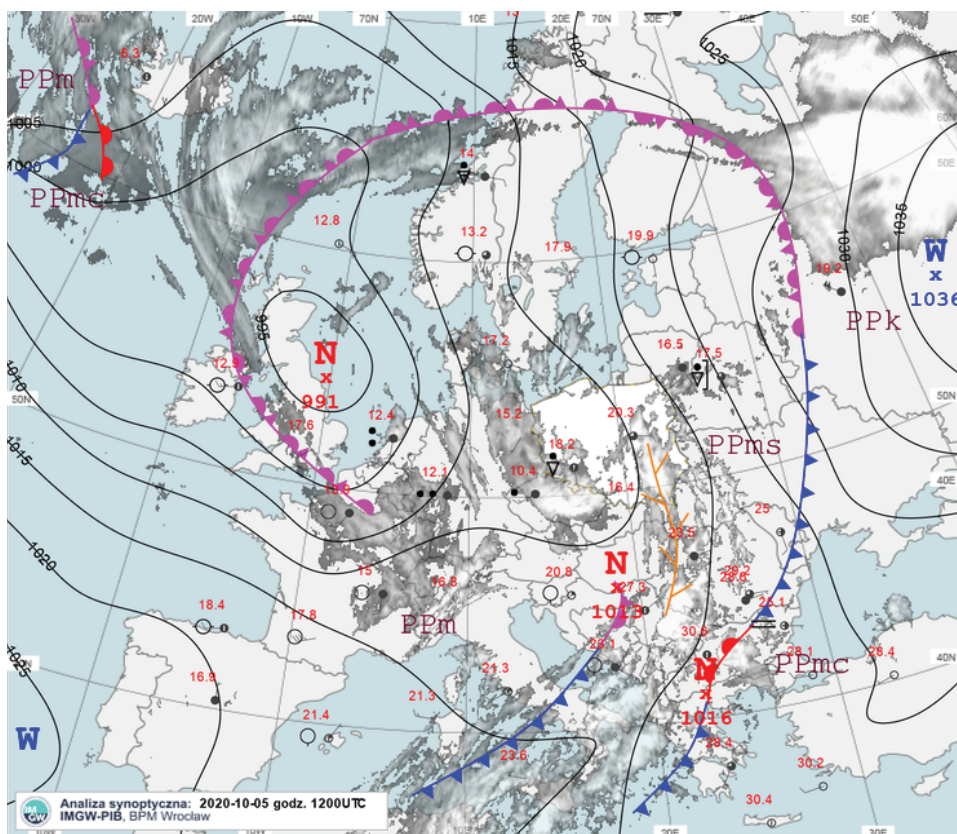


Ryc. 10. Sondaż aerologiczny dla punktu o współrzędnych 51°50'N oraz 20°50'E – 4.10.2020 r., godz. 12:00 UTC
 Źródło: <http://rawinsonde.com/>.

Fig. 10. Atmospheric Sounding for the point with coordinates 51°50'N and 20°50'E – 4.10.2020, 12:00 PM UTC

Niemal w całej Polsce, z wyjątkiem regionów zachodnich, 4 października występowała niska chwiejność termodynamiczna – maksymalnie do około 200–400 J/kg (ryc. 9). W klasyfikacji stopnia niestabilności atmosfery były to warunki określane jako słaba konwekcja. Najniższe wartości LI w Polsce notowano na wschodzie kraju (–2K), co świadczyło o małej niestabilności atmosfery (ryc. 9). W centrum i na zachodzie Polski indeks oscylował w granicach 0K.

Sondaż aerologiczny, dla punktu o współrzędnych 51°50'N oraz 20°50'E, z 4 października 2020 r. dla godziny 12:00 UTC wykazuje, że podstawa rozwoju chmur była na wysokości około 900 m (ML LCL), natomiast wysokość, na której występuje granica równowagi, wynosi około 7200 m (ML EL). Na radiosondażu zaznaczono obszar występowania energii potencjalnej dostępnej konwekcyjnie (CAPE), której zakres wysokościowy zawiera się w przedziale od około 1 do po-



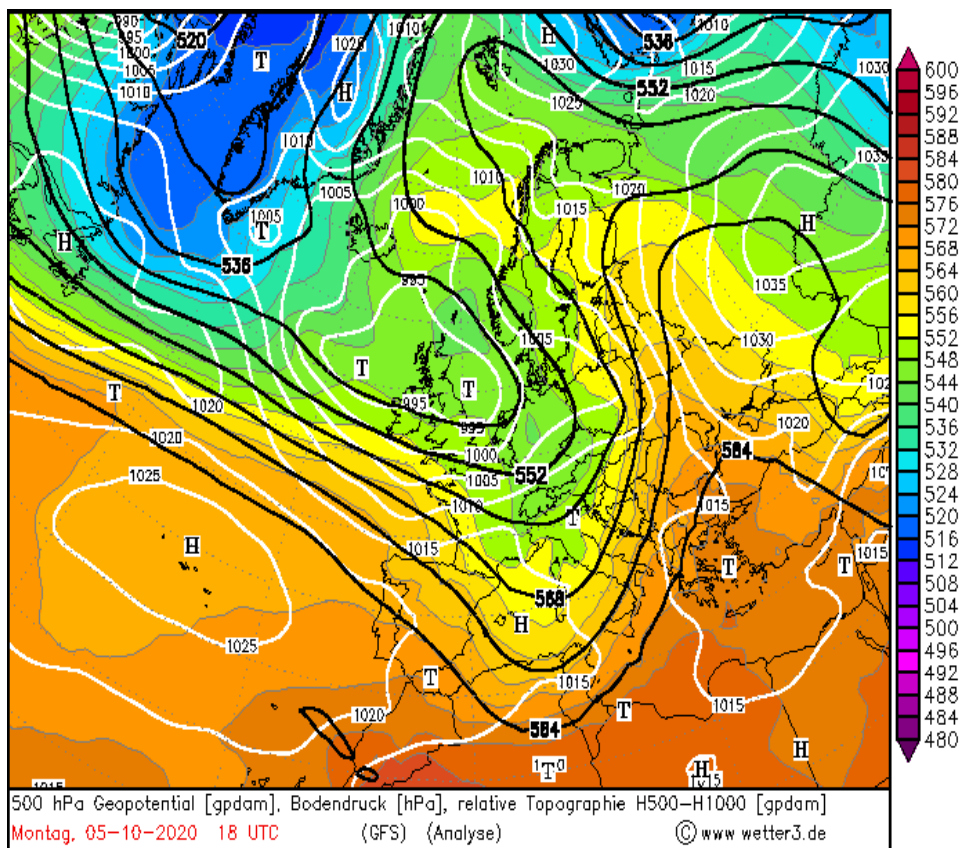
Ryc. 11. Mapa synoptyczna: 05.10.2020 r., godz. 12:00 UTC
 Źródło: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy/.

Fig. 11. Synoptic map: 05.10.2020, 12:00 PM UTC

nad 7 km (ryc. 10). Najniższe wartości prędkości wiatru występowały w warstwie przyziemnej atmosfery i wynosiły 5 m/s. Następnie wraz z wysokością prędkość wiatru wzrastała. Najwyższa prędkość wiatru występowała w środkowej i górnej troposferze i wynosi 27,5 m/s.

Europa 5 października 2020 r. zdominowana była przez układ niskiego ciśnienia z centrum na wschód od Wysp Brytyjskich (991 hPa). Obszar północnej Europy znajdował się pod oddziaływaniem zokludowanego frontu atmosferycznego. Na wschodzie kontynentu zaznaczył się układ wysokiego ciśnienia (ryc. 11). Podobnie jak poprzedniego dnia, powierzchnia izobaryczna 500 hPa znajdowała się niżej nad północną, środkową i częściowo zachodnią Europą (ryc. 12).

Tego dnia Polska była pod wpływem zatoki niskiego ciśnienia związanej z niżem znad Wysp Brytyjskich. Na południowym wschodzie Polski zaznaczyła się dolnotroposferyczna linia zbieżności wiatru. Powyższa sytuacja baryczna

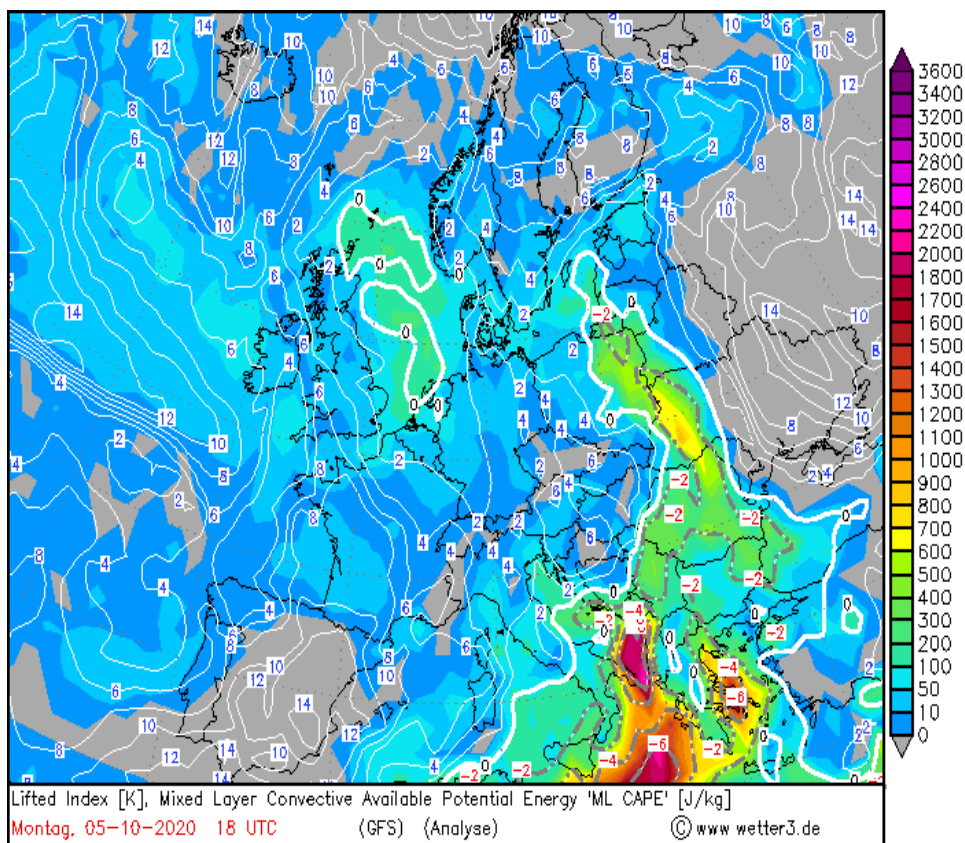


Ryc. 12. Mapa topografii barycznej 500 hPa (czarne linie): 5.10.2020 r., godz. 18:00 UTC
 Źródło: <http://www1.wetter3.de/>.

Fig. 12. 500 hPa geopotential height (black lines): 5.10.2020, 6:00 PM UTC

napędzała adwekcję powietrza polarnego morskiego (PPm) z południowego zachodu. Znaczna część południowo-zachodnich i wschodnich regionów kraju była objęta strefą zachmurzenia.

Dogodne warunki do rozwoju burz wystąpiły około godziny 18:00 UTC. Na zachodzie oraz południu Polski indeks CAPE był najniższy i wyniósł 100–200 J/kg. Najlepsze warunki panowały na wschodzie kraju (ryc. 13), gdzie chwiejność termodynamiczna dochodziła do 1000 J/kg. Według klasyfikacji stopnia chwiejności atmosfery, nad tym obszarem wystąpiła słaba/średnia chwiejność atmosfery. W przypadku Lifted Index sytuacja wygląda bardzo podobnie. Obszary znajdujące się po zachodniej stronie Wisły charakteryzowały się względnie stabilną atmosferą (LI wynoszące około 0K), natomiast po wschodniej występowała mała/średnia niestabilność atmosfery wynosząca –2/–4K (ryc. 13).

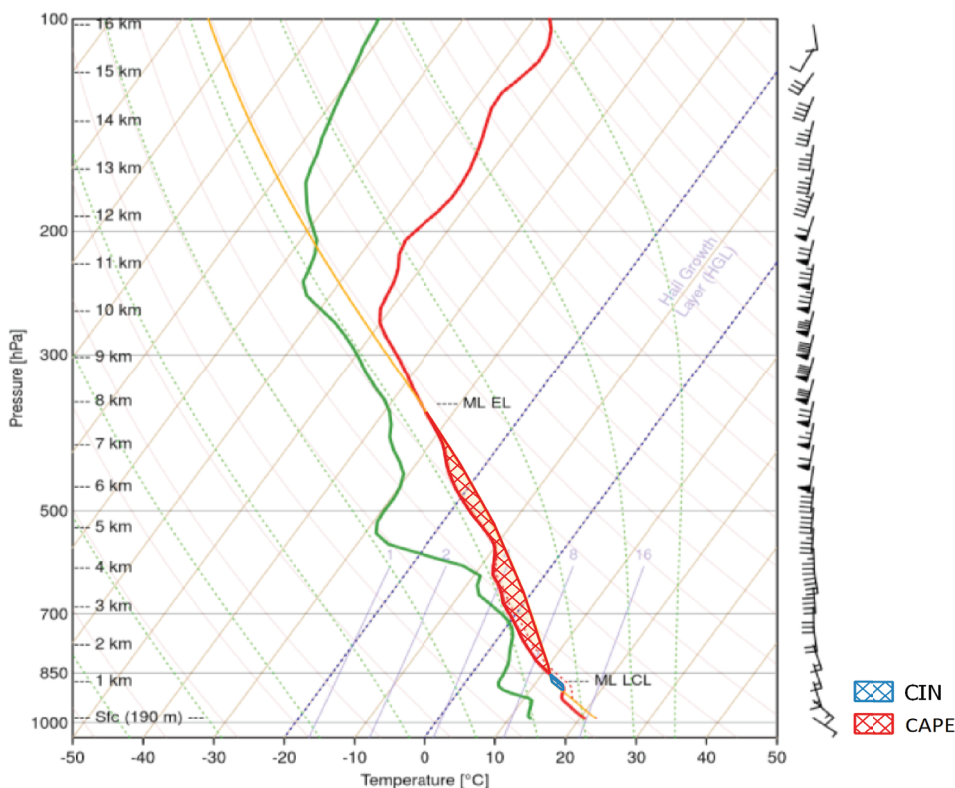


Ryc. 13. Indeks CAPE i LI: 5.10.2020 r., godz. 18:00 UTC
 Źródło: <http://www1.wetter3.de/>.

Fig. 13. CAPE and LI index: 5.10.2020, 6:00 PM UTC

Sondaż aerologiczny, dla punktu o współrzędnych $51^{\circ}50'N$ oraz $20^{\circ}50'E$, z 5 października 2020 r. z godziny 12:00 UTC wykazuje, że podstawa rozwoju chmur była na wysokości około 1000 m, natomiast wysokość, na której występował poziom równowagi, wynosił około 8000 m. Energia termodynamiczna dostępna konwekcyjnie (CAPE) pojawiła się na wysokości od około 1,2 do około 8 km (ryc. 14). Na wysokości około 500 m widoczna jest inwersja temperatury powietrza, co zwykle skutkuje spadkiem wilgotności względnej. Inwersja powoduje blokowanie pionowego przemieszczania się powietrza. W rezultacie w dolnej warstwie troposfery na wysokości około 1 km uwidacznia się energia hamująca konwekcję – CIN, lecz jej wartość była na tyle niska (-30 J/kg), że nie wpływała znacząco na rozwój burz. Najniższa prędkość wiatru występowała w przyziemnej warstwie atmosfery i wynosiła od 2,5 do 7,5 m/s. Wraz z wysokością prędkość

ERA5 | lat 51.50 | lon 20.50 | date 2020-10-05 1200 UTC



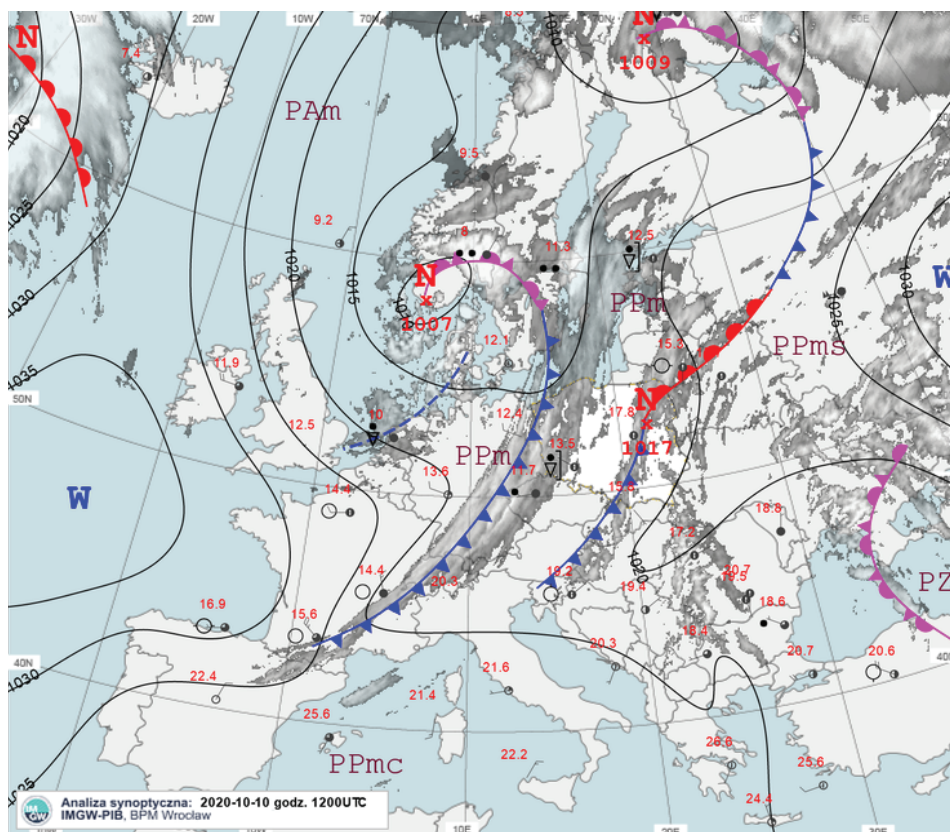
Ryc. 14. Sondaż aerologiczny dla punktu o współrzędnych 51°50'N oraz 20°50'E – 5.10.2020 r., godz. 12:00 UTC

Źródło: <http://rawinsonde.com/>

Fig. 14. Atmospheric Sounding for the point with coordinates 51°50'N and 20°50'E – 5.10.2020, 12:00 PM UTC

wiatru wzrastała, z czego najwyższe prędkości osiągnęła w górnej troposferze. Prędkość wiatru na wysokości około 9 km wynosiła 45 m/s.

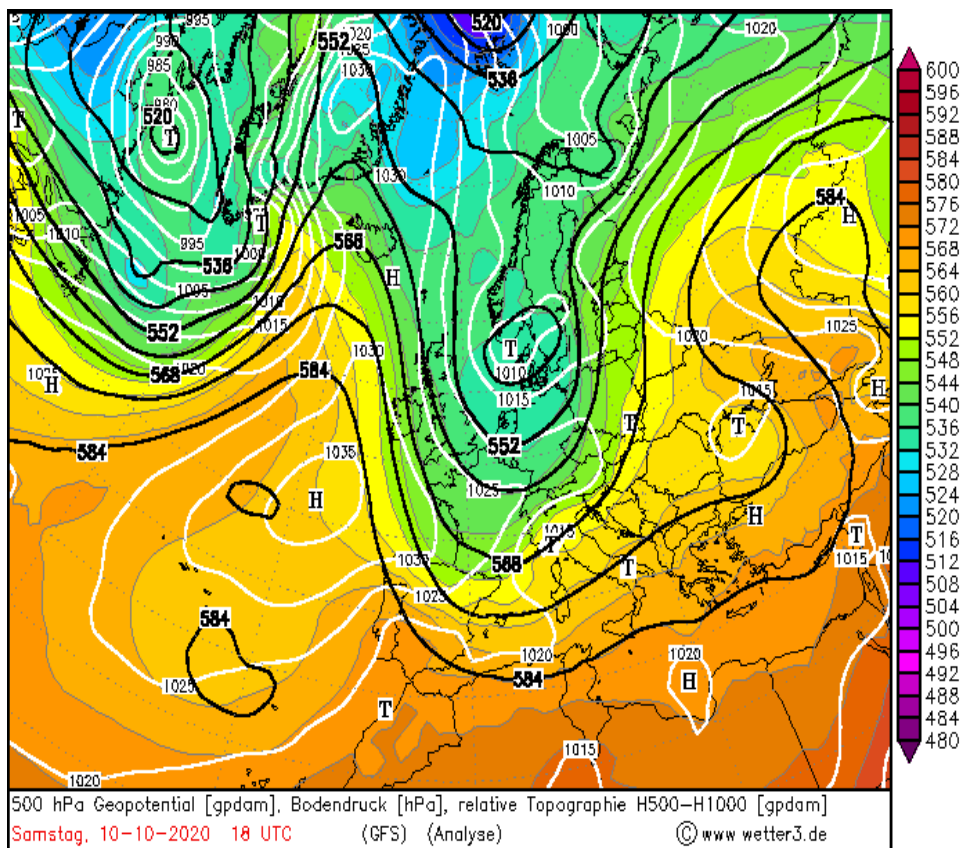
Sytuacja baryczna nad Europą 10 października 2020 r. była zróżnicowana. Znaczna część kontynentu pozostawała w zasięgu układów niskiego ciśnienia znad północnej Europy i związanymi z nimi frontami atmosferycznymi. Na zachodzie oraz wschodzie Europy stacjonowały wyży. Na przeważającym obszarze zalegała masa powietrza polarnego morskiego (PPm). Od północy, przez Morze Norweskie i Wyspy Brytyjskie, następowała adwekcja powietrza arktycznego (PA) (ryc. 15). Na obecność chłodnych mas powietrza nad większością środkowej Europy wskazywała niska wysokość powierzchni izobarycznej 500 hPa w tym regionie (ryc. 18).



Ryc. 15. Mapa synoptyczna: 5.10.2020 r., godz. 12:00 UTC
 Źródło: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy
 Fig. 15. Synoptic map: 5.10.2020, 12:00 PM UTC

Polska znajdowała się w zasięgu zatoki niskiego ciśnienia związanej z niżem znad Skandynawii. Nad wschodnią Polską wykształcił się lokalny niż z frontami atmosferycznymi. Południowo-wschodnia część kraju pozostawała w ciepłym wycinku niżu. Od zachodu wkraczał front chłodny, a za nim następowała adwekcja powietrza polarnego morskiego (PPm) Przeważający obszar zachodnich regionów kraju znajdował się w zasięgu strefy zachmurzenia związanej z frontem chłodnym (ryc. 16).

Z wyjątkiem południowego wschodu kraju chwiejność termodynamiczna wynosiła około 100–500 J/kg, z czego najwyższe wartości przypadają na środkową Polskę (ryc. 17). W przypadku LI najniższe wartości występowały w środkowej Polsce (–1K), natomiast na pozostałym obszarze były one powyżej 0K. Oznacza to, że warunki termodynamiczne można zaklasyfikować jako słabe.



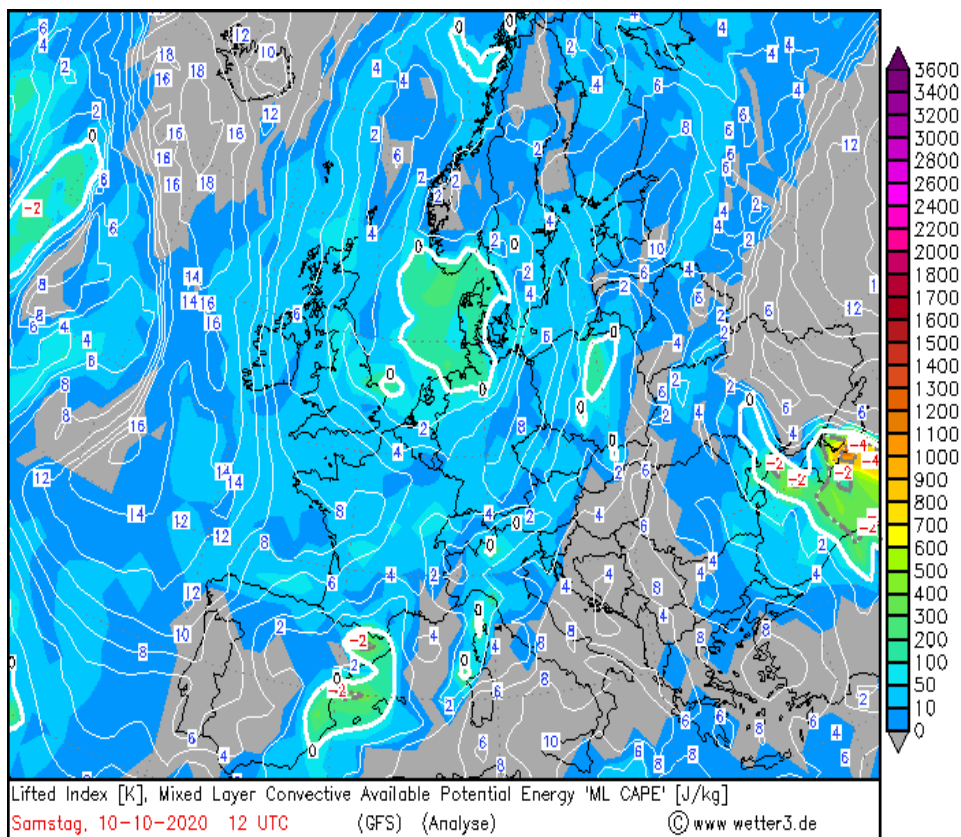
Ryc. 16. Mapa topografii barycznej 500 hPa (czarne linie): 10.10.2020 r., godz. 18:00 UTC

Źródło: <http://www1.wetter3.de/>.

Fig. 16. 500 hPa geopotential height (black lines): 10.10.2020, 6:00 PM UTC

Sondaż aerologiczny dla punktu o współrzędnych $51^{\circ}50'N$ oraz $20^{\circ}50'E$ 10 października 2020 r. dla godziny 15:00 UTC wykazuje, że podstawa rozwoju chmur była na wysokości około 900 m, natomiast wysokość, na której występował poziom równowagi, wynosił około 5300 m. Na wykresie widoczny jest obszar o niewielkiej chwiejności termodynamicznej (154 J/kg) (ryc. 18). Na wysokości około 1 km zaobserwować można niewielki wzrost temperatury powietrza. Prędkość wiatru najniższe wartości osiągała w przyziemnej warstwie troposfery ($2,5 \text{ m/s}$). Wraz ze wzrostem wysokości powiększała się prędkość wiatru, dochodząc nawet do 20 m/s w górnej troposferze.

W Polsce 4 października 2020 r. wartości wskaźników termodynamicznych, tj. CAPE oraz LI, były niskie, dodatkowo wskaźnik CIN też był niski (tab. 4). Do kraju napływała chłodna masa powietrza polarnego morskowego, a obecność



Ryc. 17. Indeks CAPE i LI: 10.10.2020 r., godz. 12:00 UTC

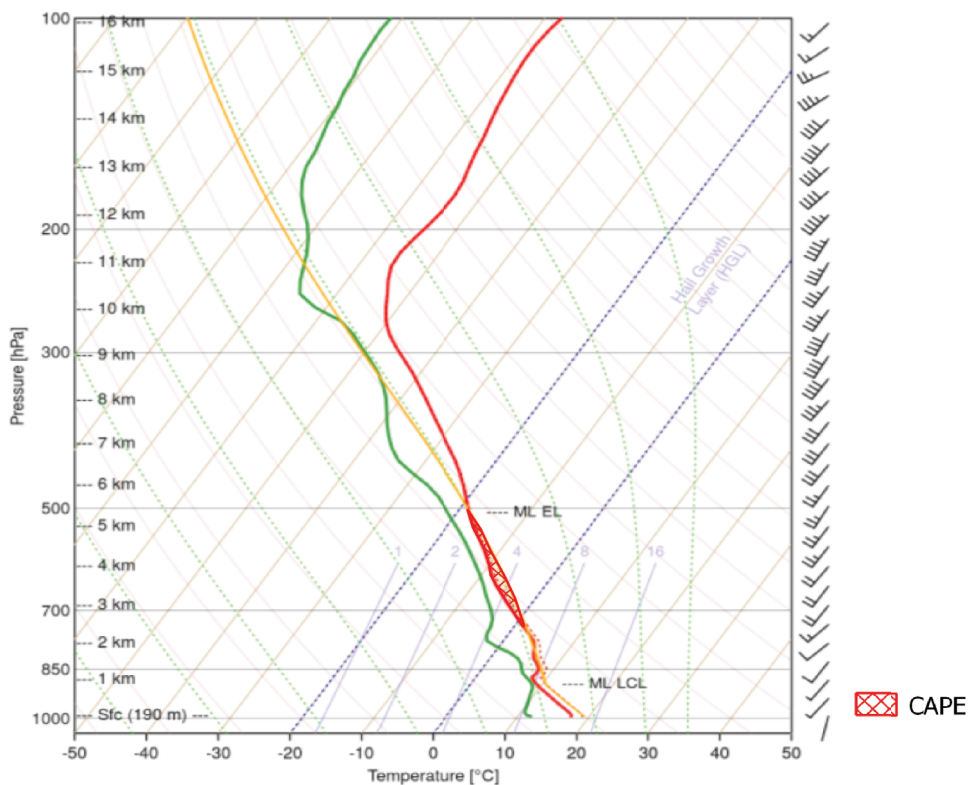
Źródło: <http://www1.wetter3.de/>.

Fig. 17. CAPE and LI index: 10.10.2020, 12:00 PM UTC

dużych uskoków wiatru (20–25 m/s) skutkowałą dobrą organizacją burz mimo niskiej wartości CAPE. Takie warunki środowiska atmosferycznego najczęstsze są w chłodniejszych miesiącach, kiedy atmosfera jest pozbawiona ciepła i wilgoci, ale występują wysokie wartości uskoku wiatru. Dzieje się tak dlatego, że prąd strumieniowy – prąd szybko poruszającego się powietrza w średnich i górnych warstwach atmosfery – w chłodniejszych miesiącach nurkuje na południe, zwiększając siłę uskoków wiatru (<https://www.washingtonpost.com/>, dostęp 15.05.2021).

Warunki termodynamiczne 5 października 2020 r. w Polsce charakteryzowały się małą/umiarkowaną chwiejnością atmosfery. Wartości CIN były niskie, wskutek czego rozwój burz nie był ograniczany w znacznym stopniu. Dodatkowo występowały dobre warunki kinematyczne, które sprzyjały rozwojowi oraz formowaniu się burz w struktury wielokomórkowe (tab. 4).

ERA5 | lat 51.50 | lon 20.50 | date 2020-10-10 1500 UTC



Ryc. 18. Sondaż aerologiczny dla punktu o współrzędnych 51°50'N oraz 20°50'E – 10.10.2020 r., godz. 15:00 UTC

Źródło: <http://rawinsonde.com/>.

Fig. 18. Atmospheric sounding for the point with coordinates 51°50'N and 20°50'E – 10.10.2020, 3:00 PM UTC

Tabela 4. Rozkład wskaźników konwekcyjnych dla wybranych dni października 2020 roku
Table 4. Distribution of convective parameters for selected days in October 2020

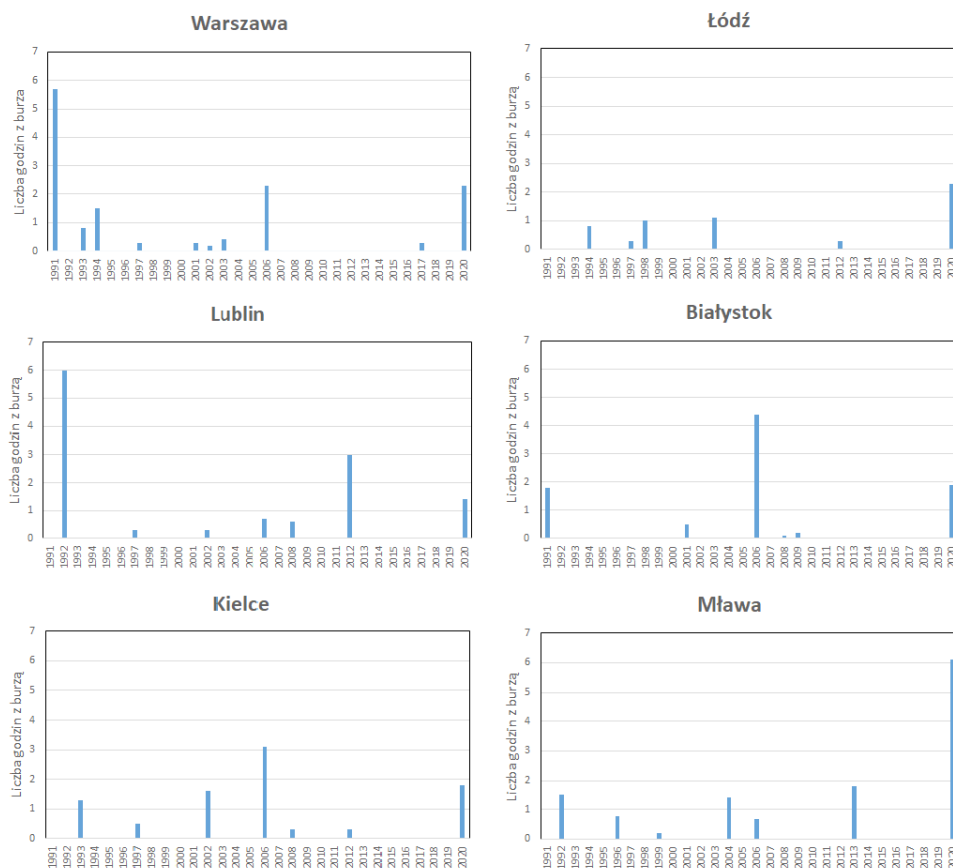
Wskaźnik	04.10.2020	05.10.2020	10.10.2020
CAPE	200–400 J/kg	200–1000 J/kg	100–500 J/kg
LI	0 – -2K	0 – -4K	0 – -1K
CIN	0 – -20 J/kg	0 – -30 J/kg	0 J/kg

W ostatnim dniu niniejszej analizy (10 października 2020 r.) wartości wskaźników termodynamicznych były niskie w przeciwieństwie do wskaźników kinematycznych, które były na średnim/wysokim poziomie. Energia hamująca konwekcję nie występowała.

Cechą wspólną dla tych trzech dni było występowanie dobrych warunków kinematycznych w atmosferze oraz praktycznie nieznaczące wartości energii hamującej rozwój konwekcji. Pomimo słabych warunków termodynamicznych panujących w troposferze, możliwy był rozwój burz do dobrze zorganizowanych postaci wielokomórkowych.

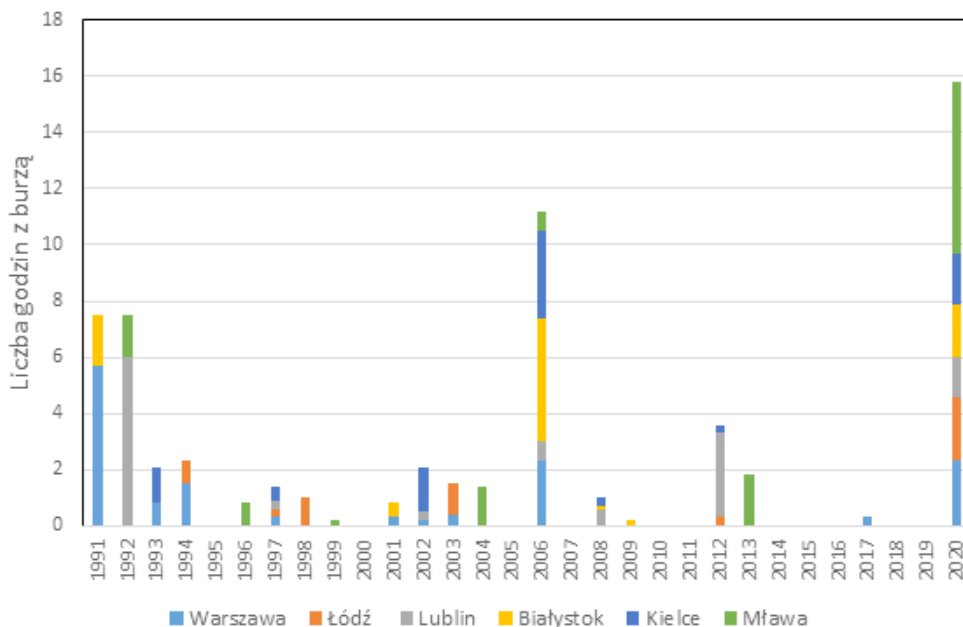
Charakterystyka trwania oraz intensywności burz w Polsce w październiku w okresie 1991–2020

W Polsce okres największej aktywności burzowej trwa zwykle od maja do sierpnia (około 80% wszystkich przypadków) (Bielec-Bąkowska 2013). Październik w Polsce jest miesiącem, który nie jest zaliczany do okresu burzowego.



Ryc. 19. Liczba godzin z burzą w październiku na wybranych stacjach meteorologicznych w Polsce w okresie 1991–2020

Fig. 19. Number of hours with thunderstorms in October at selected meteorological stations in Poland in 1991–2020



Ryc. 20. Skumulowana liczba godzin z burzą na wybranych stacjach meteorologicznych w październiku w latach 1991–2020

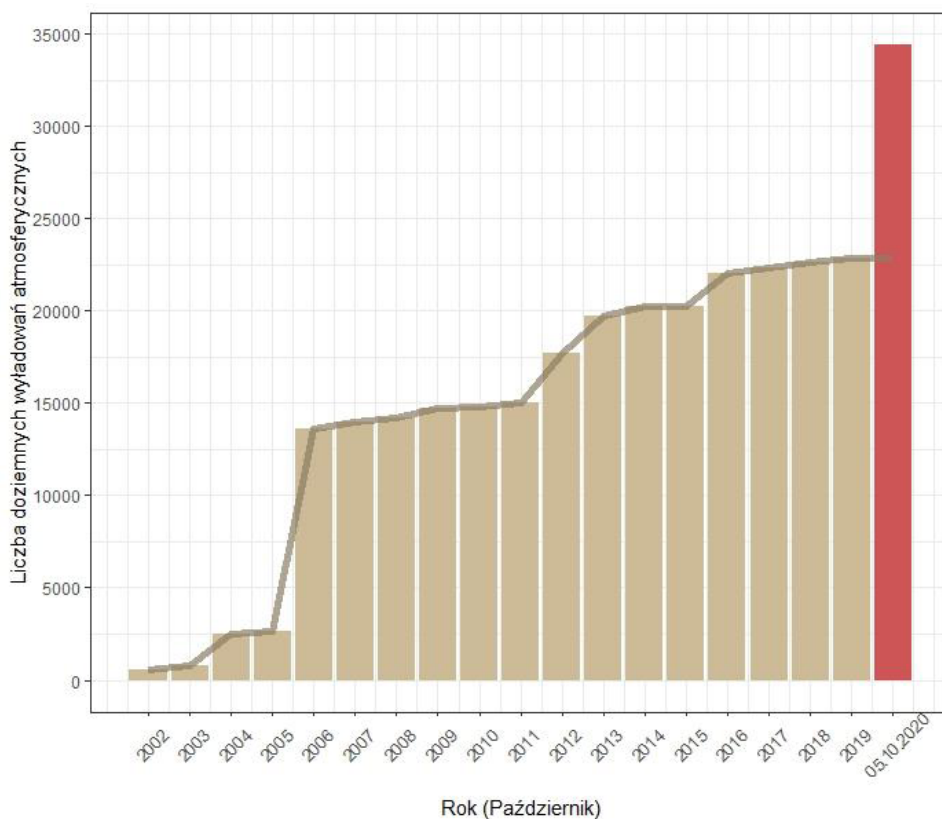
Fig. 20. Accumulated number of hours with thunderstorms at selected meteorological stations in October 1991–2020

Pomimo to występują lata, w których aktywność burzowa znacznie przewyższa średnią miesięczną.

W analizowanym okresie na wybranych stacjach najwyższą średnią liczbę godzin z burzą zanotowano w Warszawie (0,47 godz.), niewiele mniej w Mławie (0,42 godz.) oraz w Lublinie (0,41 godz.) (ryc. 19). Miasta te leżą we wschodniej Polsce, co świadczy o zdecydowanie wyższej aktywności burzowej w tej części kraju. Obszar Łodzi jest miejscem, w którym burze występowały najrzadziej spośród wszystkich stacji poddanych analizie w omawianym okresie.

W przypadku sumy godzin z burzą, najwyższe wartości odnotowano w Mławie w 2020 r. – 6,1 godz., nieco mniej w Lublinie (6 godz. w 1992 r.) oraz w Warszawie (5,7 godz. w 1991 r.) (ryc. 19). Analizując badany okres dla wybranych stacji, nie można określić tendencji występowania burz ze względu na niewielką liczbę przypadków.

W przypadku skumulowanej liczby godzin z burzą na analizowanych stacjach dla poszczególnych lat szczególną uwagę zwraca rok 2006 oraz 2020. W tych latach występowała wyjątkowo silna aktywność burzowa w rozpatrywanym okresie. Również w latach 1991 i 1992 była ona wysoka. Przeciwnieństwem jest okres



Ryc. 21. Liczba doziemnych wyładowań atmosferycznych w październiku w Polsce, w latach 2002–2020

Źródło: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy.

Fig. 21. Number of cloud to ground lightning (CG) in Poland in 2002–2020

2014–2019, wówczas burze na rozpatrywanych stacjach nie występowały lub ich liczba była znikoma (ryc. 20).

Dniem, w którym aktywność burzowa nad Polską określono jako wyjątkowo wysoką, był 5 października 2020 roku. Porównując liczbę doziemnych wyładowań atmosferycznych tego dnia do średniej liczby wyładowań w październiku w okresie 2002–2020, można stwierdzić, że była ona ekstremalnie wysoka – wyniosła około 35 000 (ryc. 21). Liczba ta jest nieporównywalnie wyższa niż suma wyładowań dla całego miesiąca w poprzednich latach. Suma wszystkich doziemnych wyładowań atmosferycznych występujących w październiku od 2002 do 2019 jest mniejsza o niemal 10 000 od dobowej sumy za dzień 5 października 2020 roku (BIURO PRASOWE IMGW-PIB 2021).

PODSUMOWANIE I DYSKUSJA

W pracy przeprowadzono charakterystykę przestrzenną występowania burz w październiku 2020 r. oraz przeanalizowano ich synoptyczne uwarunkowania. Burze, które przeszły nad obszarem Polski 4, 5 oraz 10 października 2020 r., wyróżniały się pod względem intensywności na tle ostatnich lat. Polska 4 października znajdowała się pod oddziaływaniem zatoki niskiego ciśnienia, a przez kraj z północy na południe przebiegał chłodny front atmosferyczny. Tego dnia warunki termodynamiczne były słabe, natomiast parametry kinematyczne podwyższone. Burze swoim zasięgiem objęły wschodnią część kraju. Kolejnego dnia obszar Polski znalazł się ponownie pod wpływem zatoki niskiego ciśnienia związanej z niżem znad Wysp Brytyjskich. Warunki termodynamiczne zaklasyfikowano jako umiarkowane, natomiast kinematyczne były sprzyjające formowaniu się gwałtownych burz. Wyjątkowo silne elektrycznie burze przeszły przez środkowe oraz wschodnie regiony kraju. Zarejestrowano blisko 35 000 doziemnych wyładowań atmosferycznych. Kolejnym dniem o znacznej aktywności burzowej był 10 października. Obszar Polski znajdował się w zasięgu zatoki niskiego ciśnienia związanej z niżem znad Skandynawii, natomiast nad wschodnią częścią kraju przebiegał niewielki ośrodek niżowy. Komórki burzowe zaczęły tworzyć się w drugiej części dnia przy niskich wartościach wskaźników termodynamicznych, lecz parametry kinematyczne przyjmowały umiarkowane i wysokie wartości. Ponownie obszar występowania burz ograniczył się do środkowej i wschodniej Polski. Cechą wspólną dla omawianych dni były wysokie wartości wskaźników kinematycznych, które sprzyjają rozwojowi burz. Aktywność burzowa w przypadku omawianych dni skupiła się wyłącznie na obszarze środkowej i wschodniej Polski. Bielec-Bąkowska (2013), analizując występowanie burz w Polsce w latach 1949–2006, wskazała, że obszary północno-zachodnie i północne kraju charakteryzowały się największą liczbą dni z burzą w sezonie chłodnym, do którego zalicza się październik. Uzyskane w niniejszej pracy wyniki są zgodne z wcześniejszymi badaniami Taszarka i in. (2015), w których wykazano, że ogólna liczba wyładowań doziemnych we wschodniej części kraju jest zdecydowanie wyższa niż na pozostałym obszarze. Ponadto w opracowaniu Sulika (2021) udowodniono, że najbardziej aktywne elektrycznie burze przemieszczały się w kierunku północnym lub północno-wschodnim oraz że najczęściej tworzą się przy niskim CAPE z umiarkowanym uskokiem wiatru. Przedstawione argumenty zgodnie pokrywają się z charakterystyką przemieszczania się burz oraz ich wysoką elektrycznością w październiku 2020 roku.

Na podstawie przeprowadzonych analiz wynika, że częstość tworzenia się burz w październiku jest wyjątkowo niska. Notowano lata, w których nie występuje żadna aktywność burzowa. Ze względu na niewielką liczbę przypadków nie można określić tendencji występowania burz w tym miesiącu. Na obszarze Polski

wyraźnie zarysowuje się duże zróżnicowanie regionalne, zarówno w ich przebiegu rocznym, jak i wieloletnim, a kierunki i tempo zmian zależą od analizowanego wielolecia (Bielec-Bąkowska 2013).

Podsumowując, można stwierdzić, że burze w październiku 2020 r. były wyjątkowe w porównaniu do poprzednich lat. Według Sulika (2021), burze aktywne elektrycznie zapoczątkowane są aktywnością frontów atmosferycznych. Tworzą się najczęściej na chłodnym froncie atmosferycznym. Wcześniejsze badania dla Polski wykazały, że najkorzystniejsze okoliczności do powstawania burz występują w warunkach cyklonu północno-zachodniego i antycyklonu północno-wschodniego (Bielec 1998; 2000; Kolendowicz 2006). Rozwój burz w październiku 2020 r. związany był z wędrówką chłodnych frontów atmosferycznych przez Polskę oraz wymianą mas powietrza polarnego morskiego starego na świeżą masę powietrza polarnego morskiego, co generowało odpowiednie warunki termodynamiczne, a w szczególności kinematyczne. Być może wzrost temperatury powietrza na świecie przyczyni się do powstawania coraz silniejszych systemów burzowych także w Europie, w tym w Polsce (Taszarek i in. 2021).

LITERATURA

- Bielec Z., 1998: *Długookresowa zmienność częstotliwości burz w Szczecinie, Łodzi, Krakowie i Kasprowym Wierchu w okresie 1954–1993*. Uniwersytet Łódzki.
- Bielec Z., 2000: *Przebieg dobowy i charakterystyka synoptyczna burz w Krakowie w latach 1896–1995*. Uniwersytet Jagielloński, Kraków.
- Bielec-Bąkowska Z., 2002: *Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce (1949–1998)*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Bielec-Bąkowska Z., 2013: *Burze i grady w Polsce*. Prace Geograficzne, 132, 99–132.
- Celiński-Mysław D., Palarz A., 2017: *Ekstremalne wartości wskaźników chwiejności atmosfery w Polsce i ich związek z mechanizmami ograniczającymi rozwój konwekcji*. Prace Geograficzne, 148, 11–32.
- Grabowska K., 2008: *Storms in Europe (1994–2005) – their relationship with continentality of climate*. *Miscellanea Geographic*, 13, 67–75.
- Grabowska K., 2014: *Ciągi dni burzowych w Polsce i ich zależność od typów cyrkulacji atmosferycznej i warunków synoptycznych*. Prace i Studia Geograficzne, 56, 97–118.
- Jasik D., Szyga-Pluta K., 2016: *Charakterystyka występowania burz w Kaliszu*. *Badania Fizjograficzne*, 66, 35–45.
- Kirschenstein M., 2016: *Zjawiska burzowe w północno-zachodniej Polsce*. Wydawnictwo БрГТУ, 78–86.
- Kolendowicz L., 1996: *Burze na obszarze Polski Północno-Zachodniej w świetle częstości występowania różnych typów cyrkulacji atmosfery*. Zeszyty Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN 39, Warszawa.
- Kolendowicz L., 2006: *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie dni z burzą na obszarze Polski północno-zachodniej*. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*. Seria A: Geografia Fizyczna, 57, 83–93.
- Kolendowicz L., 2007: *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie dni z burzą w Poznaniu w latach 1951–2000*. *Badania Fizjograficzne*, 58, 79–87.

- Marcinowicz R., 2019: *Burza stulecia – nawałnica z sierpnia 2017 roku minuta po minucie*, <https://obserwatorzy.info/burza-stulecia-nawalnica-z-sierpnia-2017-roku-minuta-po-minucie/> [dostęp: 08.05.2021].
- Niedźwiedz T., 2003: *Słownik meteorologiczny*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Orlikowski J., 2016: *Indeksy konwekcji*. <https://docplayer.pl/6587051-Indeksy-konwekcji-300-bardzo-slabo-konwekcja-ale-np-ubieglej-zimy-wystapila-burza-przy-wskazniku-cape-100.html> [dostęp: 12.05.2021].
- Ostrowski K., Surowiecki A., Trębicki K., 2010: *Przewodnik do prognozowania burz z użyciem map wskaźników konwekcyjnych*. Stowarzyszenie Skywarn Polska, Warszawa.
- Pietras B., Pyrc R., 2018: *Geneza ekstremalnego opadu burzowego i powodzi błyskawicznej w Bielinach w dniu 26 maja 2018 roku*. Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie, 7, 24–37.
- Stopa M., 1962: *Burze w Polsce*. Prace Geograficzne IG PAN, 34, 109–185.
- Sulik S., 2021: *Formation factors of the most electrically active thunderstorm days over Poland (2002–2020)*. Weather and Climate Extremes, 34, 100–386.
- Szewczak P., 2014: *Meteorologia dla pilota samolotowego*. Wydawnictwo AVIA-TEST, Poznań.
- Taszarek i in., 2021: *Comparison of Convective Parameters Derived from ERA5 and MER-RA-2 with Rawinsonde Data over Europe and North America*, 34 (8), 3211–3237.
- Taszarek M., Czarnecki B., Kozioł A., 2015: *A Cloud-to-Ground Lightning Climatology for Poland*. Monthly Weather Review, 143 (11), 4285–4304.
- Taszarek M., Pilgaj N., Orlikowski J., Surowiecki A., Walczakiewicz S., Pilorz W., Piasecki K., Pajurek Ł., Półrolniczak M., 2019: *Derecho Evolving from a Mesocyclone – A Study of 11 August 2017 Severe Weather Outbreak in Poland: Event Analysis and High-Resolution Simulation*. Monthly Weather Review, 147 (6), 2283–2306.
- Wiszniewski W., 1949: *O burzach w Polsce*. Gazeta Obserwatora, Warszawa.

Źródła internetowe

- BIURO PRASOWE IMGW-PIB, <https://www.imgw.pl/instytut/media>
- Blitzortung.org, <https://www.blitzortung.org/>
- Estofex, <https://www.estofex.org/>
- IMGW-PIB, <https://www.imgw.pl/>
- SKYWARN 2021, Polscy Łowcy Burz – Skywarn Polska, <https://lowcyburz.pl/>
- thundeR rawinsonde package, <http://www.rawinsonde.com/>
- Washingtonpost, <https://www.washingtonpost.com/>
- Wetter3.de, <http://www1.wetter3.de/>