

PRZESTRZENNA I CZASOWA ZMIENNOŚĆ RODZAJÓW CHMUR NAD POLSKĄ W LATACH 1996–2020

ZOFIA GRAJEK*, WIKTORIA DYSZY**

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

*ORCID: 0000-0002-9452-3341, **ORCID: 0000-0003-0594-1515

Abstract: *Spatial and temporal variability of cloud types over Poland in 1996–2020.* The subject of the study is a comprehensive qualitative and quantitative analysis of the type of cloud cover over Poland in 1996–2020. The analysis was based on the characteristics of particular types of clouds at three levels, based on hourly measurement data from 36 meteorological stations (IMWM-NRI). The variability of the share of cloud types was analysed on three levels in the multi-annual, annual and daily course. Maps of spatial distribution for selected clouds were plotted. In the study of the multi-year period, clouds of the low-level were observed most frequently, and the most numerous cloud type was *Stratocumulus*. *Alto cumulus* clouds were found to have the highest frequency on the mid-level, while *Cirrus* clouds of various species were found on the high-level. On the low-level, the highest increase in the share in the analysed multi-year period was recorded for *Stratocumulus* clouds, and the highest decrease for moderately and strongly uplifted *Cumulus* clouds. On the mid-level, the largest increase in the share was observed for *Alto cumulus* clouds, and the largest decrease for *Nimbostratus* clouds. Among the clouds of the high-level, the greatest increase in the proportion of *Cirrostratus* clouds not stretching the sky was observed, while the greatest decrease in the share was for the *Cirrus uncinus* clouds. The annual and daily courses on all the levels showed cyclic occurrence, meaning that the different types of clouds have characteristic periods when they are observed more or less frequently, both on an annual and daily basis.

Keywords: cloud genera, cloud species, cloud varieties, levels of clouds, Poland

WSTĘP

Zachmurzenie stanowi jeden z głównych elementów wpływających na kształtowanie klimatu. Chmury silnie wpływają na przepływ przez atmosferę promieniowania słonecznego, które ogrzewa Ziemię. Brak chmur w nocy powoduje, że emisja promieniowania podczerwonego uchodzi w przestrzeń kosmiczną. Według Międzynarodowego Atlasu Chmur (World Meteorological Organization 1975), istnieje dziesięć podstawowych rodzajów chmur. Ich występowanie uzależnione jest od sprzyjających kondensacji pary wodnej procesów, związanych z konwekcją i frontami atmosferycznymi (Kożuchowski 2011). Do określenia różnic w budowie chmur danego rodzaju stosuje się podział na gatunki i odmiany chmur. Ze względu na wysokość występowania poszczególnych rodzajów chmur wyróżniono trzy piętra: niskie, średnie i wysokie. Chmury konwekcyjne o pionowej rozbudowie mogą zajmować dwa lub trzy piętra.

Tematykę dotyczącą wielkości zachmurzenia w Polsce podjęto w wielu pracach. Opracowań o rodzaju zachmurzenia jest znacznie mniej, w szczególności

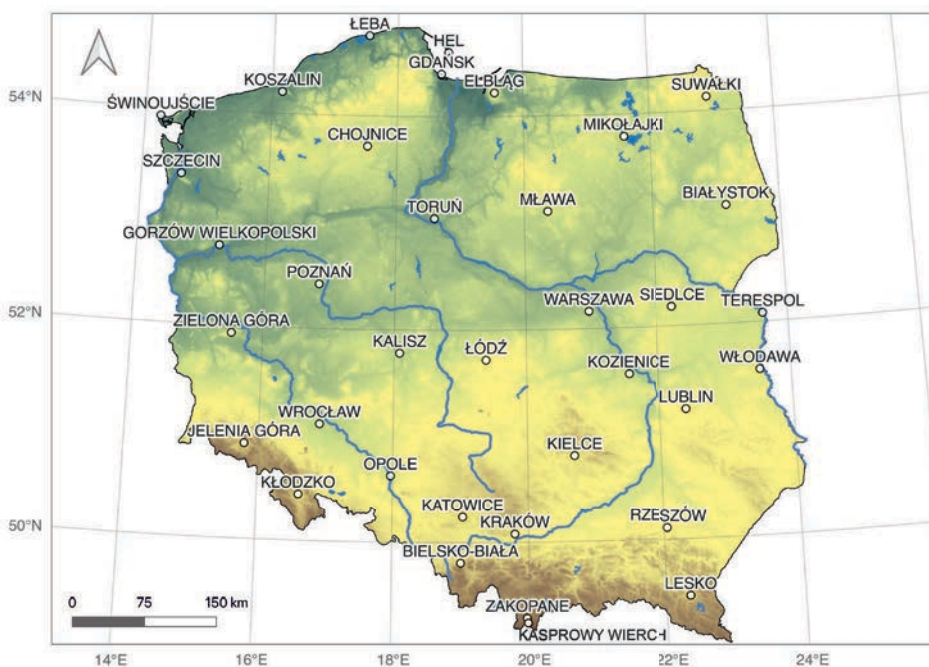
dotyczących ich rozkładu przestrzennego. Procesy powstawania zachmurzenia, budowa i rodzaje chmur są powszechnie znane i wyjaśniane w podręcznikach i opracowaniach z zakresu meteorologii (Kaczorowska 1977; Woś 1999; 2002; Kożuchowski 2012; Lenart 2015; Matuszko i Soroka 2017; Perkins 2019). Jedną z pierwszych prac, która opisuje częstość występowania rodzajów chmur w Polsce było szczegółowe opracowanie Warakomskiego (1961). Wieloaspektową analizę wieloletniej zmienności zachmurzenia w skali całego kraju wykonali Filipiak i Miętus (2009) oraz Matuszko i in. (2022). Struktura zachmurzenia w wybranych polskich miastach była tematem prac Wójcika i Usckiej (1999), Szygi-Pluty (1999; 2022), Matuszko (2007) oraz Szczapińskiego i in. (2022). Relacje między zachmurzeniem, opadami atmosferycznymi i temperaturą powietrza na przykładzie Krakowa były tematem pracy Matuszko i in. (2001). Wpływ miasta na zmiany struktury zachmurzenia i opadów atmosferycznych podczas intensywnego rozwoju Krakowa analizowała Matuszko (2001). Bednorz i Szyga-Pluta (2004) badały zależność między rodzajem chmur a przyrostem pokrywy śnieżnej w Polsce północno-zachodniej. Szyga-Pluta (2009; 2015) analizowała wpływ cyrkulacji atmosfery na zachmurzenie w Poznaniu według klasyfikacji Lityńskiego (1969) i Osuchowskiej-Klein (1978). Związek cyrkulacji atmosfery ze zmiennością zachmurzenia i rodzajów chmur w Krakowie wykonali Matuszko (2002), Pluta (2013) oraz Matuszko i Węglarczyk (2018). Wpływ wielkości zachmurzenia i rodzajów chmur na usłonecznienie i natężenie promieniowania słonecznego badała Matuszko (2012a; 2012b). Bartoszek i in. (2020) obserwowali zależności między zachmurzeniem, optyczną grubością aerozolu (AOT – *aerosol optical thickness*) i usłonecznieniem w Polsce. Wpływ zachmurzenia na ekstremalne zjawiska pogodowe analizowała Matuszko (2014). Interesującym nurtem w dziedzinie zachmurzenia jest analiza chmur, które są spowodowane działalnością człowieka (Mazon i in. 2012; 2018).

Celem głównym niniejszej pracy była kompleksowa analiza jakościowa i ilościowa rodzaju zachmurzenia nad Polską w podziale na piętra wysokościowe, a także wykrycie czasowej (sezonowej i wieloletniej) oraz przestrzennej zmienności występowania rodzajów chmur w latach 1996–2020.

OBSZAR, MATERIAŁ ŹRÓDŁOWY I METODY BADAŃ

Analizę przeprowadzono na podstawie danych pomiarowych z 36 stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB). Wybrano stacje, dla których kompletność danych pomiarowych wyniosła powyżej 99% (ryc. 1). Stacje są równomiernie rozmieszczone na terenie kraju, co sprawia, że położone są na różnych wysokościach i obszarach o zróżnicowanej rzeźbie terenu. W analizie posługiwano się cogodzinnymi wynikami pomiarów rodzajów zachmurzenia w okresie 1996–2020, które pozyskano z archiwum IMGW-PIB (danepubliczne.imgw.pl). Dane dotyczące rodzajów

chmur są kodowane przez obserwatorów i podlegają ich subiektywnej ocenie. Pomiary są kodowane zgodnie z wymaganiami Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO 2019) w trzech piętrach wysokości (tab. 1). W niniejszej pracy posługiwano się określeniami chmur przedstawionymi w tab. 1. Każde z trzech pięter posiada 11 kodów – cyfry od „1” do „9” oznaczają poszczególne rodzaje chmur, np. „0” to brak chmur, natomiast „/” to piętro niewidoczne. Piętro niskie może być niewidoczne na skutek mgły, zamieci śnieżnej, intensywnych opadów śniegu (Matuszko i Soroka 2013) lub ciemności (meteomodel.pl). Chmury piętra niskiego mogą przysłaniać chmury piętra średniego i wysokiego, co uniemożliwia ich określenie (Soroka i Matuszko 2013). Gdy chmury w poszczególnych piętrach nie przysłaniają się, możliwa jest obserwacja chmur we wszystkich piętrach.



Ryc. 1. Obszar badań – wybrane stacje IMGW-PIB

Źródło: opracowanie własne na podstawie paczki raster.

Fig. 1. Study area – selected IMWM-NRI stations

Source: own work based on raster packet.

Godziny w niniejszej analizie zostały podane w czasie UTC. W każdym piętrze zbadano przebieg wieloletni, roczny i dobowy udziału [%] rodzajów chmur, piętra niewidocznego i braku chmur. W analizie statystycznej wykorzystano test Chi kwadrat Pearsona, za poziom istotności statystycznej przyjęto $p \leq 0,05$. Udziały dla przebiegów wieloletnich, rocznych i dobowych rozpatrywano osobno w poszczególnych piętrach. Mapy interpolacji zostały wykreślone przy wykorzystaniu

metody krygingu. Każda mapa przedstawia 100% udziału wystąpień danej chmury w Polsce w analizowanym wieloleciu (wystąpienia danego kodu na stacjach zostały podzielone przez sumę wszystkich wystąpień danego kodu w Polsce i pomnożone przez 100%).

Tab. 1. Kody WMO, objaśnienia nazw rodzajów chmur w trzech piętrach

Tab. 1. WMO codes, explanation of the names of the cloud types in the three levels

Piętro niskie		
Kod WMO	Nazwa	Określenie
CL-1	Cumulus humilis (Cu hum)	Cumulus słabo wypiętrzony, pięknej pogody; chmura kłębiasta
CL-2	Cumulus mediocris, congestus (Cu med, con)	Cumulus średnio i mocno wypiętrzony; chmura kłębiasta
CL-3	Cumulonimbus capillatus (Cb cap)	Cumulonimbus mający rozwiany wierzchołek, często z kowadłem; chmura burzowa
CL-4	Stratocumulus cumulogenitus (Sc cugen)	Stratocumulus pochodzący z rozpostarcia się Cu lub Cb; chmura warstwowo-kłębiasta
CL-5	Stratocumulus (Sc)	Warstwa chmur Stratocumulus (translucidus, perlucidus, lenticularis); chmura warstwowo-kłębiasta
CL-6	Stratus fractus (St fra)	Stratus postrzępiony, zły pogody; chmura warstwowa
CL-7	Stratus nebulosus (St neb)	Stratus mglisty, jednolity; chmura warstwowa
CL-8	Stratocumulus nad chmurami Cumulus (Sc^Cu)	Warstwa chmur Stratocumulus nad chmurami Cumulus
CL-9	Cumulonimbus calvus (Cb cal)	Cumulonimbus bez rozwianej górnej części; chmura burzowa
Piętro średnie		
Kod WMO	Nazwa	Określenie
CM-1	Altostratus (As)	Altostratus przeświecający; chmura średnia-warstwowa
CM-2	Nimbostratus (Ns)	chmura opadowa, gruba i ciemna; chmura warstwowo-deszczowa
CM-3	Alto cumulus (Ac)	Alto cumulus w jednej warstwie; chmura średnia-kłębiasta
CM-4	Alto cumulus lenticularis (Ac len)	Alto cumulus soczewkowy w jednej lub kilku warstwach; chmura średnia-kłębiasta
CM-5	Alto cumulus translucidus (Ac tra)	Alto cumulus przezroczysty w pasmach albo jedna lub więcej warstw Ac; chmura średnia-kłębiasta
CM-6	Alto cumulus cumulogenitus (Ac cugen)	Alto cumulus pochodzący z rozpostarcia się chmur Cu/Cb; chmura średnia-kłębiasta
CM-7	Alto cumulus, Altostratus (Ac, As)	Alto cumulus w wielu warstwach albo Alto cumulus i Altostratus
CM-8	Alto cumulus castellanus, floccus (Ac cas, flo)	Alto cumulus w kształcie wieżyczek (castellanus) lub kłębków (floccus); chmura średnia-kłębiasta
CM-9	Alto cumulus chaotycznego nieba (Ac chaotycznego nieba)	Alto cumulus na niebie o wyglądzie chaotycznym na kilku poziomach; chmura średnia-kłębiasta

Piętro wysokie		
Kod WMO	Nazwa	Określenie
CH-1	Cirrus różnych gatunków (Ci różnych gatunków)	Cirrus niezaciągający nieba; chmura pierzasta
CH-2	Cirrus w postaci poplątanych wiązek (Ci w postaci poplątanych wiązek)	Cirrus w postaci poplątanych wiązek lub kłębków czy wieżyczek; chmura pierzasta
CH-3	Cirrus spissatus (Ci spi)	Cirrus pochodzący z rozwianych kowadeł Cb; chmura pierzasta
CH-4	Cirrus uncinus (Ci unc)	Cirrus haczykowany stopniowo zaciągający niebo; chmura pierzasta
CH-5	Cirrus i Cirrostratus zaciągający niebo nie więcej jak 45° (Ci, Cs zaciągający niebo nie więcej jak 45°)	Cirrus i Cirrostratus lub same Cirrostratus stopniowo zaciągające niebo nie więcej jak 45° nad horyzont
CH-6	Cirrus i Cirrostratus zaciągający niebo ponad 45° (Ci, Cs zaciągający niebo ponad 45°)	Cirrus i Cirrostratus lub same Cirrostratus stopniowo zaciągające niebo ponad 45° nad horyzont
CH-7	Cirrostratus pokrywający niebo (Cs pokrywający niebo)	Cirrostratus w pełni pokrywający niebo; chmura pierzasto-warstwowa
CH-8	Cirrostratus niezaciągający nieba (Cs niezaciągający nieba)	Cirrostratus niezaciągający nieba i nie w pełni pokrywający niebo; chmura pierzasto-warstwowa
CH-9	Cirrocumulus (Cc)	Cirrocumulus różnych odmian; chmura pierzasto-kłębiasta

Źródło: opracowanie własne na podstawie meteomodel.pl i cloudatalas.wmo.int.

Source: own work based on meteomodel.pl and cloudatalas.wmo.int.

WYNIKI

Najczęściej występującym rodzajem chmur w Polsce w latach 1996–2020 był *Stratocumulus* (ryc. 2). Zdecydowanie najczęściej notowano wystąpienie chmur piętra niskiego, natomiast udział chmur piętra średniego i wysokiego był znacznie mniejszy. Stwierdzono najwięcej wystąpień chmur *Stratocumulus* w piętrze niskim, *AltoCumulus* w piętrze średnim oraz chmur *Cirrus* różnych gatunków w piętrze wysokim.

Charakterystyka piętra niskiego

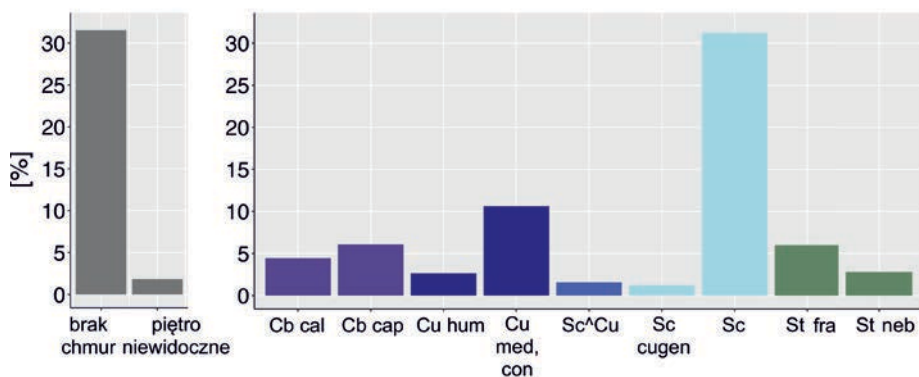
Chmury piętra niskiego są najczęściej występującymi chmurami w Polsce (ryc. 2). Udział sytuacji z brakiem zachmurzenia w piętrze niskim (31%) był znacznie większy niż udział sytuacji z piętrzem niewidocznym niskim (2%) (ryc. 3). Zaobserwowano wyraźnie największy udział chmur *Stratocumulus* – 31% wśród chmur piętra niskiego, następny największy udział chmur *Cumulus* średnio i mocno wypiętrzonych miał zaledwie 11% udziału. Wśród chmur kłębiastych wyraźnie większy udział miały chmury *Cumulus* średnio i mocno wypiętrzone (11%) niż

te słabo wypiętrzone (3%). Chmury burzowe miały mały udział – 10%, większy udział odnotowano w przypadku chmur *Cumulonimbus* z gatunku *capillatus* (6%) niż *calvus* (4%). Chmury warstwowe miały najmniejszy udział wśród chmur piętra niskiego (9%). *Stratus fractus* występował częściej niż *Stratus nebulosus*. Najmniejszy udział odnotowano dla warstwy chmur *Stratocumulus* nad warstwą chmur *Cumulus* (2%) i *Stratocumulus cugen* (1%).



Ryc. 2. Liczba wystąpień rodzajów chmur w poszczególnych piętrach w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 2. Occurrences of cloud types in particular levels in Poland in the years 1996–2020

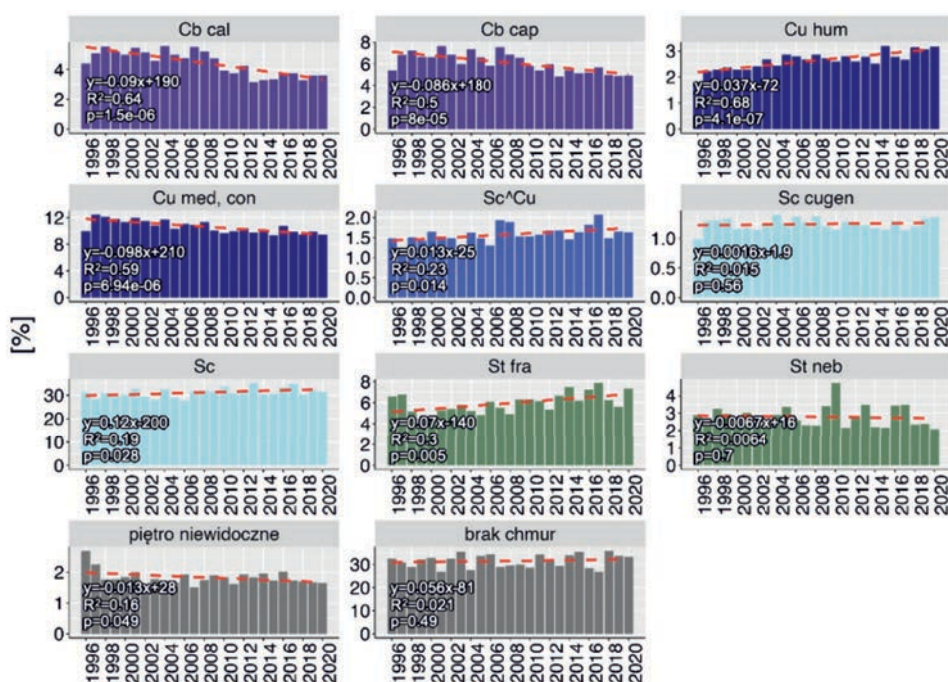


Ryc. 3. Udział [%] braku chmur, piętra niewidocznego i rodzajów chmur w piętrze niskim w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 3. Share [%] of no clouds, invisible level and cloud types in the low-level in Poland in 1996–2020

Przebiegi wieloletnie udziału rodzajów chmur piętra niskiego, piętra niewidocznego i braku chmur w tym piętrze są zróżnicowane (ryc. 4). Dla większości chmur tego piętra odnotowano wzrost udziału w badanym okresie. Spośród chmur

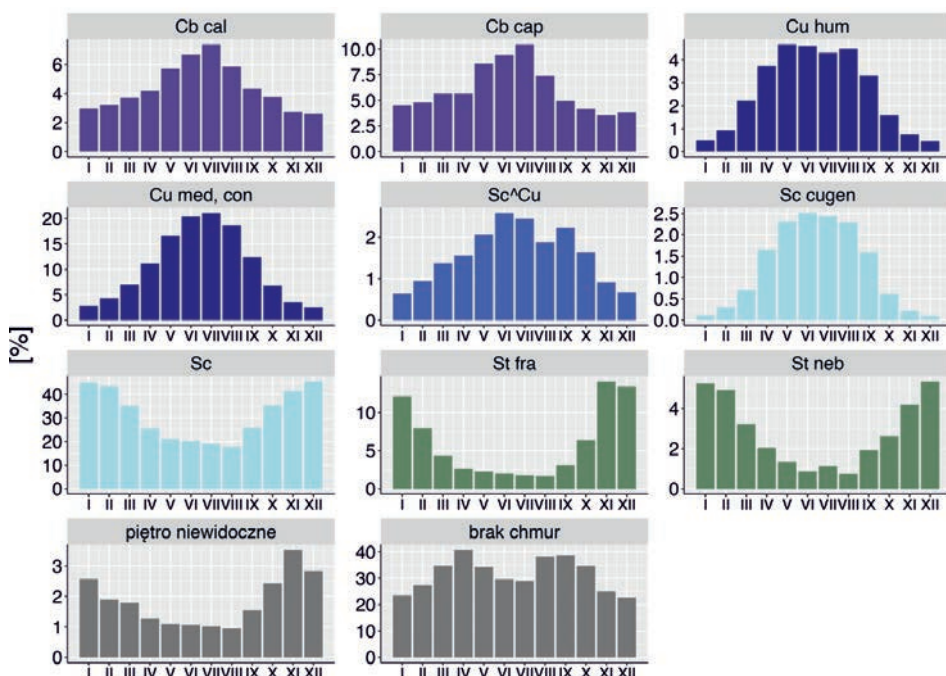
piętra niskiego największy wzrost udziału odnotowano dla chmur *Stratocumulus*, a największy spadek dla chmur *Cumulus* średnio i mocno wypiętrzonych. Trendy przebiegów wieloletnich piętra niewidocznego, braku chmur oraz chmur w piętrze niskim, z wyjątkiem chmur *Stratocumulus cugen*, *Stratus nebulosus* i braku chmur niskich są istotne statystycznie dla $p \leq 0,05$. W analizowanym wieloleciu zaobserwowano spadek udziału chmur burzowych. Spadek ten może być związany ze spadkiem udziału chmur *Cumulus* średnio i mocno wypiętrzonych. Z chmur tych wypiętrzają się chmury *Cumulonimbus calvus*, a następnie w kolejnym etapie rozwoju komórek burzowych powstaje gatunek *capillatus*. Stwierdzono wzrost udziału chmur *Cumulus* słabo wypiętrzonych, czyli gatunku w początkowej fazie życia chmur kłębiastych, z których następnie tworzą się bardziej wypiętrzone chmury *Cumulus*. Zaobserwowano wzrost udziału chmur warstwowo-kłębiastych. *Stratocumulus* charakteryzował się wzrostem udziału w badanym wieloleciu. Nie stwierdzono charakterystycznego trendu zmian udziału chmur warstwowych. Odnotowano wzrost udziału gatunku *Stratus fractus* i spadek udziału gatunku *Stratus nebulosus* w badanym wieloleciu. Zaobserwowano spadek udziału piętra niewidocznego niskiego, przebieg wieloletni był bardzo wyrównany, jedynie w latach 1996–1997 udział był większy.



Ryc. 4. Przebieg wieloletni udziału [%] rodzajów chmur piętra niskiego, piętra niewidocznego i braku chmur w tym piętrze w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 4. Multiannual course of the share [%] of cloud types of the low-level, invisible level and no clouds in this level in Poland in 1996–2020

Przebiegi roczne udziału rodzajów chmur piętra niskiego, przypadków piętra niewidocznego i braku chmur w tym piętrze wykazują wyraźną sezonowość (ryc. 5). Zaobserwowano największy udział chmur o budowie pionowej (*Cumulus*, *Cumulonimbus*), chmur *Stratocumulus* nad chmurami *Cumulus* i chmur *Stratocumulus cugen* w cieplejszej części roku – od maja do sierpnia (napływ ciepłych i wilgotnych mas powietrza). Dla wyżej wymienionych chmur najmniejszy udział odnotowano w chłodnej części roku. Najwięcej chmur burzowych odnotowano w lipcu, najmniej



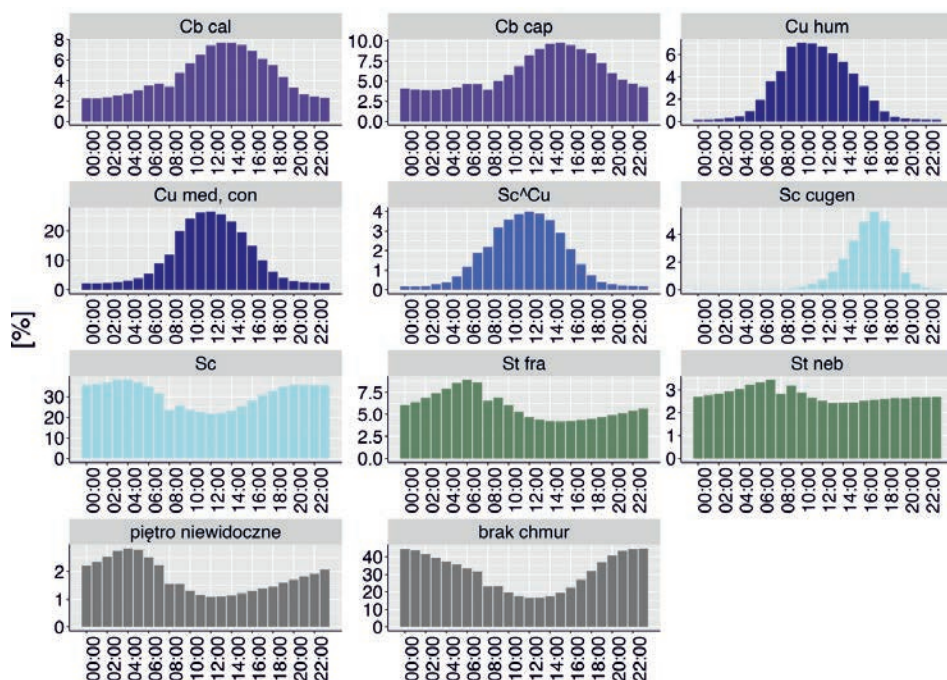
Ryc. 5. Przebieg roczny udziału [%] rodzajów chmur piętra niskiego, piętra niewidocznego i braku chmur w tym piętrze w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 5. Annual course of the share [%] of cloud types of the low-level, invisible level and no clouds in this level in Poland in 1996–2020

w listopadzie i grudniu. Chmury *Cumulus* słabo wypiętrzone i *Stratocumulus* charakteryzowały się stałym przebiegiem od maja do sierpnia. Przebieg udziału chmur burzowych był zbliżony do chmur *Cumulus* średnio i mocno wypiętrzonych. Zaobserwowano największy udział chmur warstwowych i *Stratocumulus* w chłodnej części roku – od listopada do lutego, najmniejszy udział natomiast w okresie letnim. Piętro niskie było niewidoczne najczęściej w chłodnej części roku z maksimum w listopadzie i minimum w sierpniu. Stwierdzono dwa maksima największego udziału braku zachmurzenia niskiego w kwietniu i sierpniu, najmniejszy udział przypadł na chłodną część roku. Mniejszy udział braku chmur niskich stwierdzono w czerwcu

i lipcu, ponieważ w tych miesiącach udział chmur o genezie konwekcyjnej, czyli burzowych i kłębiastych, był największy. Najmniejszy udział braku chmur piętra niskiego odnotowano w sezonie zimowym, co było związane z dużym udziałem w tym czasie chmur warstwowych i *Stratocumulus*.

W przebiegach dobowych udziału rodzajów chmur piętra niskiego, sytuacji piętra niewidocznego i braku chmur tego piętra stwierdzono charakterystyczną cykliczność (ryc. 6). Zaobserwowany największy udział chmur o budowie pionowej



Ryc. 6. Przebieg dobowy udziału [%] rodzajów chmur piętra niskiego, piętra niewidocznego i braku chmur w tym piętrze w Polsce w latach 1996–2020 w czasie UTC

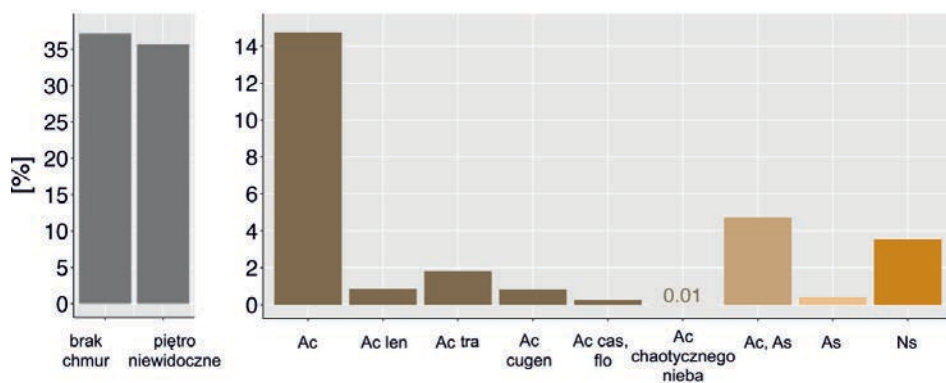
Fig. 6. Daily course of the share [%] of cloud types of the low-level, invisible level and no clouds in this level in Poland in 1996–2020 in UTC

(*Cumulus*, *Cumulonimbus*) i *Stratocumulus* nad chmurami *Cumulus* w środkowej, cieplejszej porze dnia. Dla wyżej wymienionych chmur najmniejszy udział odnotowano w godzinach nocnych i wczesnorannych. Chmury konwekcyjne (*Cumulus*, *Cumulonimbus*) mają genezę związaną z chwiejną stratyfikacją atmosfery, która stwarza warunki do powstawania silnych prądów wstępujących. Ten stan atmosfery najczęściej występuje w porze dziennej. Chmury kłębiaste największy swój udział miały w godzinach 9:00–14:00, a najmniejszy 18:00–6:00. W przypadku chmur *Cumulus* słabo wypiętrzonych maksimum udziału przypadło wcześniej (10:00) niż tych średnio i mocno wypiętrzonych (12:00).

Spowodowane jest to tym, że chmury *Cumulus* słabo wypiętrzone to gatunek w początkowej fazie życia chmur kłębiastych, z których następnie tworzą się chmury bardziej wypiętrzone. Chmury burzowe są kolejnym stadium rozwoju chmur kłębiastych związanym z silnymi prądami wstępującymi (Kaczorowska 1977). Dlatego też maksimum udziału chmur burzowych przypada na godziny późniejsze niż chmur kłębiastych. Najwięcej chmur burzowych stwierdzono od 13:00 do 16:00, czyli podczas największej konwekcji swobodnej, która najsilniej występuje 2–3 godziny po górowaniu Słońca. Maksimum udziału chmur *Cumulonimbus capillatus* (pochodzi z gatunku *calvus*) przypada później niż *Cumulonimbus calvus*. Najmniej chmur burzowych odnotowano od 21:00 do 4:00, czyli wtedy, gdy temperatura powietrza i konwekcja swobodna są najmniejsze (brak mechanizmu inicjującego wznoszenie powietrza, czyli silnie nagrzanego gruntu). Zaobserwowano później występujące maksimum (17:00) udziału chmur *Stratocumulus cugen* niż chmur o budowie pionowej (*Cumulus*, *Cumulonimbus*). Najmniejszy udział chmur *Stratocumulus cugen* wystąpił w godzinach nocnych i wczesnorannych (22:00–8:00). Największy udział chmur *Stratocumulus* wystąpił w godzinach od 18:00 do 6:00, najmniejszy w godzinach okołopołudniowych. Przebieg dobowy gatunków chmur warstwowych jest zbliżony. Największy udział chmur warstwowych odnotowano wczesnym ranem (4:00–7:00), najmniejszy w godzinach 12:00–16:00. Piętro niewidoczne niskie najczęściej wystąpiło w nocy i wczesnym ranem, najmniejszy udział odnotowano w godzinach okołopołudniowych.

Charakterystyka piętra średniego

Chmury piętra średniego były notowane znacznie rzadziej niż chmury piętra niskiego (ryc. 2). Udział [%] braku chmur tego poziomu, piętra niewidocznego i rodzajów chmur w piętrze średnim przedstawiono na ryc. 7. Zaobserwowano większy udział braku chmur i piętra niewidocznego w piętrze średnim w porównaniu z piętrem niskim. Większy udział piętra niewidocznego w piętrze średnim może być spowodowany przysłonięciem chmurami piętra niskiego. Stwierdzono również znacznie większy udział braku chmur średnich (37%) i piętra niewidocznego średniego (36%) w porównaniu z udziałem chmur w tym piętrze. Wyraźnie największy udział wśród chmur tego piętra miały chmury *Altostratus* w jednej warstwie, ponieważ udział chmur *Altostratus* w wielu warstwach lub występujących z chmurami *Altostratus* wynosił 5%. Udział chmur deszczowych *Nimbostratus* wyniósł 3,5%. Śladowy udział, poniżej 2%, odnotowano dla chmur średnich-kłębiastych i średnich-warstwowych (CM-4, CM-5, CM-6, CM-8, CM-9, CM-1) (tab. 1).



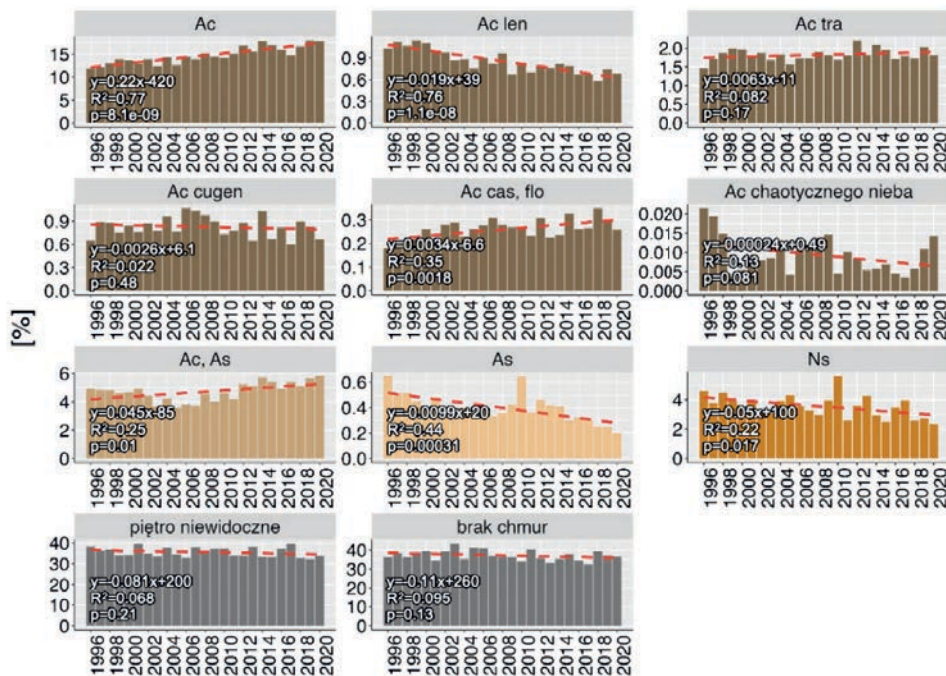
Ryc. 7. Udział [%] braku chmur, piętra niewidocznego i rodzajów chmur w piętrze średnim w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 7. Share [%] of no clouds, invisible level and cloud types in the mid-level in Poland in the years 1996–2020

Przebiegi wieloletnie udziału rodzajów chmur piętra średniego, piętra niewidocznego i braku chmur tego poziomu są zróżnicowane (ryc. 8). Dla większości chmur w piętrze średnim odnotowano spadek udziału w badanym okresie. Trendy przebiegów wieloletnich chmur piętra średniego są istotne statystycznie dla $p \leq 0,05$, z wyjątkiem chmur *Altostratus*, *Altostratus*, *Altostratus* chaotycznego nieba, braku chmur i piętra niewidocznego w piętrze średnim. Spośród chmur piętra średniego największy wzrost udziału w analizowanym wieloleciu odnotowano dla chmur *Altostratus* w jednej warstwie, a największy spadek dla chmur *Nimbostratus*. Odnotowano wzrost udziału chmur średnich-kłębiastych, takich jak: *Altostratus* w jednej warstwie, *Altostratus translucidus* i *Altostratus castellanus/floccus*, spadek natomiast dla: *Altostratus lenticularis*, *Altostratus cugen* i *Altostratus* chaotycznego nieba. Wystąpił wzrost udziału chmur *Altostratus* w wielu warstwach lub występujących z chmurami *Altostratus*. Stwierdzono spadek udziału chmur średnich-warstwowych i warstwowo-deszczowych, największy ich udział wystąpił w 2010 roku. Wystąpił spadek udziału braku chmur i piętra niewidocznego w piętrze średnim.

Przebiegi roczne udziału rodzajów chmur piętra średniego, piętra niewidocznego i braku chmur tego piętra wykazują sezonowość (ryc. 9). Chmury średnie-kłębiaste charakteryzują się wyraźnie większym udziałem w cieplej części roku (od maja do sierpnia) i mniejszym udziałem w chłodnej części roku (od listopada do marca). Przebieg roczny chmur *Altostratus lenticularis* nie wykazał wyraźnej sezonowości, największy udział wystąpił w listopadzie, październiku i lipcu, a najmniejszy w styczniu i lutym. Największy udział chmur *Altostratus* w wielu warstwach lub występujących z chmurami *Altostratus* wystąpił w okresie letnim i lutym, najmniejszy w styczniu i grudniu. Stwierdzono mniejszy udział chmur

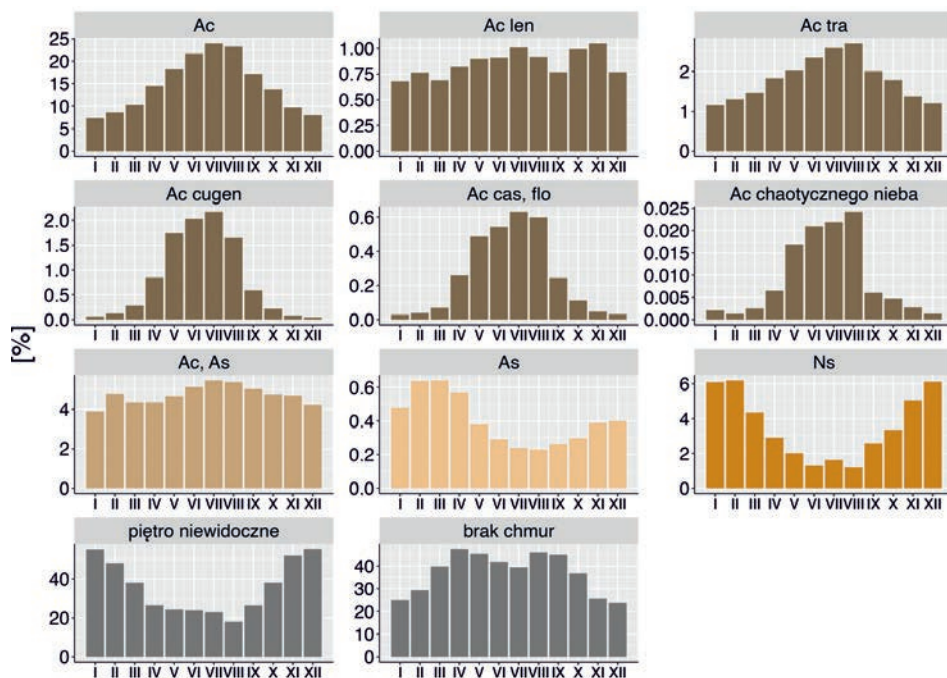
średnich-warstwowych i warstwowo-deszczowych w okresie letnim od czerwca do sierpnia. Większy udział wystąpił w chłodnej części roku, przy czym w przypadku chmur *Altostratus* największy udział notowano od lutego do marca, a chmur *Nimbostratus* od grudnia do lutego. Największy udział piętra niewidocznego średniego stwierdzono w zimie, a najmniejszy latem z minimum w sierpniu. Dla sytuacji braku zachmurzenia średniego zaobserwowano wystąpienie dwóch maksimum częstości wiosną i jesienią. Charakterystyczne jest zmniejszenie udziału braku chmur piętra średniego latem, co spowodowane jest dużym udziałem chmur średnich-kłębiastych w tym okresie. Najmniejszy udział sytuacji braku chmur tego piętra stwierdzono zimą.



Ryc. 8. Przebieg wieloletni udziału [%] rodzajów chmur piętra średniego, piętra niewidocznego i braku chmur w tym piętrze w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 8. Multiannual course of the share [%] of mid-level clouds, invisible level and no clouds in this level in Poland in the years 1996–2020

Przebiegi dobowe udziałów rodzajów chmur piętra średniego, piętra niewidocznego i braku chmur w piętrze średnim nie wykazały aż tak charakterystycznej cykliczności, jak w przypadku piętra niskiego (ryc. 10). Największy udział chmur *Altostratus*, czyli najczęściej występujących chmur w piętrze średnim, odnotowano w godzinach wczesnorannych (5:00–7:00) i popołudniowych (16:00–18:00), mniejszy wystąpił w porze okołopołudniowej. Najmniejszy

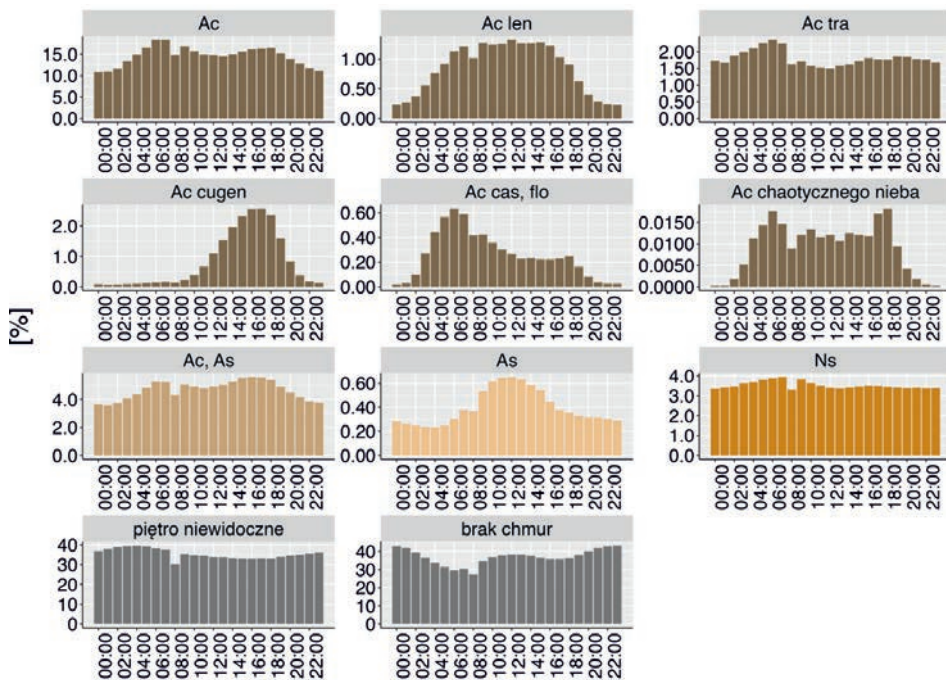


Ryc. 9. Przebieg roczny udziału [%] rodzajów chmur piętra średniego, piętra niewidocznego i braku chmur w tym piętrze w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 9. Annual course of the share [%] of mid-level clouds, invisible level and no clouds in this level in Poland in the years 1996–2020

udział chmur *Altostratus* odnotowano w nocy. Chmury soczewkowate najczęściej występowały od 6:00 do 18:00, najrzadziej w nocy. *Altostratus translucidus* miał największy udział w pierwszej części dnia od 0:00 do 7:00, następnie przebieg był wyrównany. *Altostratus cugen* powstaje z rozpościerania chmur kłębiastych i burzowych, podobnie jak *Stratocumulus cugen*. Dlatego też największy udział tych chmur stwierdzono o 17:00, czyli 2–3 godziny po największym udziale chmur burzowych. Najmniejszy udział chmur *Altostratus cugen* wystąpił w nocy i nad ranem, czyli wtedy, gdy udział chmur konwekcyjnych był najmniejszy. *Altostratus castellanus/floccus* najczęściej występowały rano (5:00–7:00), najrzadziej w nocy. W przebiegu dobowym chmur *Altostratus chaotycznego nieba* zaobserwowano dwa maksima największego udziału tych chmur, rano (4:00–6:00) i wczesnym wieczorem (17:00–18:00). Najmniejszy udział tych chmur wystąpił w nocy. *Altostratus* w wielu warstwach lub występujący z chmurami *Altoparvus* miał wyrównany dobowy przebieg z maksimum udziału po południu i minimum w nocy. Zaobserwowano wyraźną cykliczność w przebiegu dobowym chmur *Altoparvus*, największy udział stwierdzono w godzinach okołopołudniowych (10:00–15:00), najmniejszy natomiast w nocy i nad

ranem. *Nimbostratus* i piętro niewidoczne średnie charakteryzowały się wyrównanym dobowym przebiegiem. Przebieg dobowy braku chmur piętra średniego nie wykazał wyraźnej cykliczności, największy udział wystąpił w porze nocnej, a najmniejszy rano.



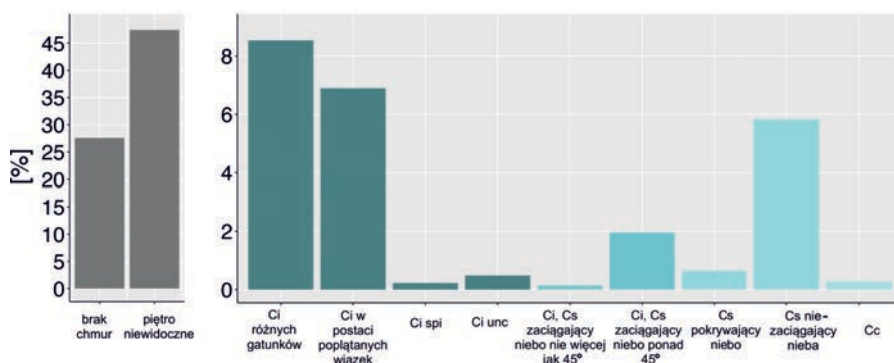
Ryc. 10. Przebieg dobowy udziału [%] rodzajów chmur piętra średniego, piętra niewidocznego i braku chmur w tym piętrze w Polsce w latach 1996–2020 w czasie UTC

Fig. 10. Daily course of the share [%] of mid-level clouds, invisible level and no clouds in this level in Poland in the years 1996–2020 in UTC

Charakterystyka piętra wysokiego

Udział [%] sytuacji braku chmur, piętra niewidocznego oraz rodzajów chmur w piętrze wysokim przedstawiono na ryc. 11. Wśród trzech pięter wysokości, piętro wysokie charakteryzowało się najmniejszym udziałem braku chmur (28%) i największym udziałem piętra niewidocznego (47%), co wynika z przysłonięcia chmurami niższych poziomów. Wyraźnie największy udział wśród chmur tego piętra stwierdzono dla chmur *Cirrus* różnych gatunków, *Cirrus* w postaci poplątanych wiązek i *Cirrostratus* niezaciągających nieba. Pozostałe chmury piętra wysokiego miały znacznie mniejsze udziały (poniżej 2%). Najmniejszy udział

(0,14%) miały chmury *Cirrus* i *Cirrostratus* zaciągające niebo nie więcej niż 45° nad horyzontem.



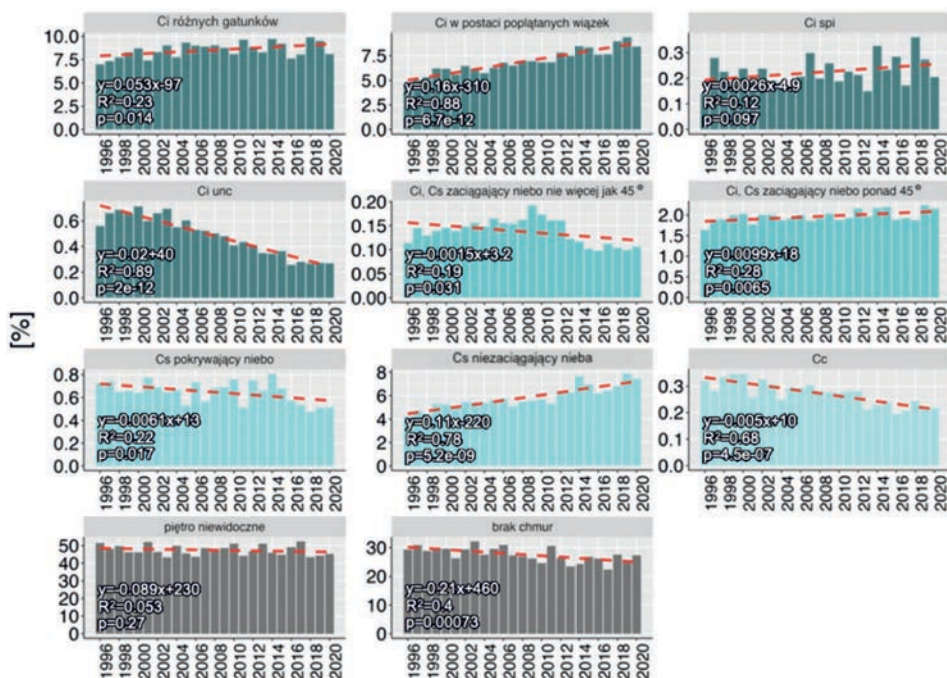
Ryc. 11. Udział [%] braku chmur, piętra niewidocznego i rodzajów chmur w piętrze wysokim w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 11. Share [%] of no clouds, invisible clouds and cloud types in the high-level in Poland in the years 1996–2020

Przebiegi wieloletnie udziału rodzajów chmur piętra wysokiego, piętra niewidocznego i braku chmur tego piętra są zróżnicowane (ryc. 12). Dla większości chmur w piętrze wysokim odnotowano wzrost udziału w badanym okresie. Trendy przebiegów wieloletnich chmur piętra wysokiego są istotne statystycznie dla $p \leq 0,05$, z wyjątkiem chmur *Cirrus spissatus* i piętra niewidocznego wysokiego. Spośród chmur piętra wysokiego największy wzrost udziału w analizowanym wieloleciu odnotowano w przypadku chmur *Cirrostratus* niezaciągających nieba, a największy spadek dla chmur *Cirrus uncinus*. Odnotowano wzrost udziału chmur *Cirrus* różnych gatunków, *Cirrus* w postaci poplątanych wiązek, *Cirrus spissatus*, *Cirrus* i *Cirrostratus* zaciągających niebo ponad 45° oraz *Cirrostratus* niezaciągających nieba. Spadek udziału dotyczył chmur *Cirrus* i *Cirrostratus* zaciągających niebo nie więcej niż 45° , *Cirrostratus* pokrywających niebo oraz *Cirrocumulus*. W przypadku udziału piętra niewidocznego wysokiego i braku chmur piętra wysokiego zaobserwowano niewielką tendencję spadkową udziału w badanym wieloleciu.

Przebiegi roczne udziału rodzajów chmur piętra wysokiego, piętra niewidocznego i braku chmur tego piętra wykazują sezonowość (ryc. 13). W piętrze wysokim większość chmur wykazywała największy udział w cieplejszej części roku (głównie latem) i najmniejszy w chłodnej. *Cirrus spissatus* występował w najcieplejszych miesiącach roku z maksimum w lipcu, natomiast w miesiącach zimowych jego udział był znikomy, ponieważ jest to pozostałość chmur burzowych. Chmury o kodach CH-5, CH-6, CH-8 (tab. 1) najczęściej występowały w miesiącach wiosennych (marzec, kwiecień, maj), najrzadziej

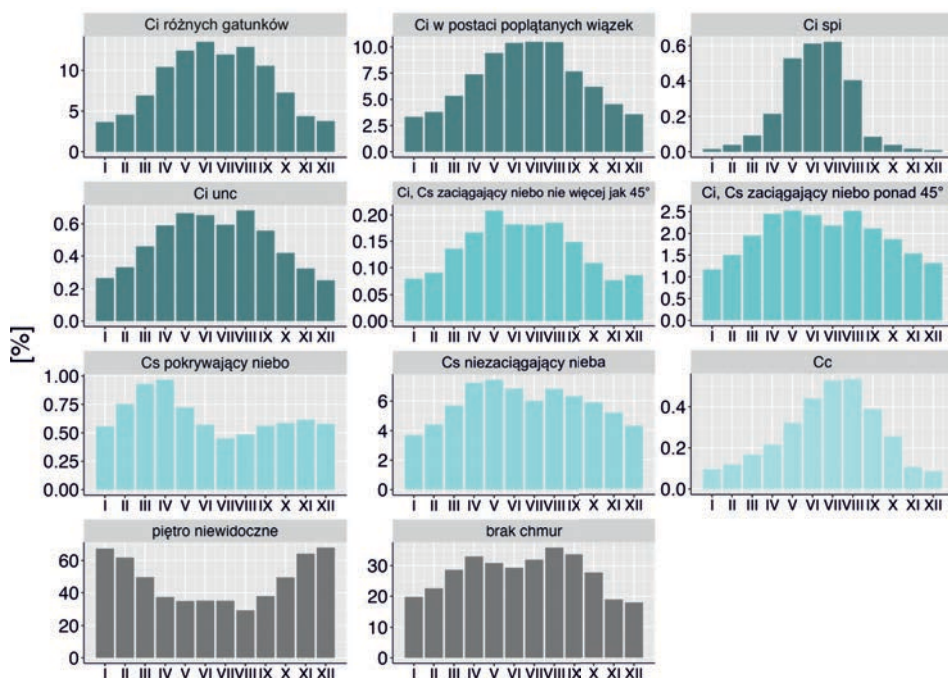
obserwowane były zimą. W przypadku chmur *Cirrostratus* pokrywających niebo spadek udziału występowania pojawiał się po wiosennym maksimum przypadającym na kwiecień. Największy udział piętra niewidocznego wysokiego wystąpił w miesiącach zimowych, co związane jest z występowaniem dużej ilości chmur warstwowych niższych pięter. Latem udział piętra niewidocznego wysokiego maleje ze względu na większy udział chmur piętra wysokiego w zachmurzeniu ogólnym oraz mniejszy udział chmur warstwowych w piętrze niskim i średnim (ryc. 5, ryc. 9) umożliwiającą obserwację chmur piętra wysokiego. W udziale braku chmur piętra wysokiego można zaobserwować wystąpienie dwóch maksimów: w kwietniu i sierpniu. Najmniejszy udział braku chmur wysokich stwierdzono późną jesienią (listopad) i zimą.



Ryc. 12. Przebieg wieloletni udziału [%] rodzajów chmur piętra wysokiego, piętra niewidocznego i braku chmur w tym piętrze w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 12. Multiannual course of the share [%] of high-level clouds, invisible level and no clouds in this level in Poland in the period 1996–2020

Największy udział chmur *Cirrus* różnych gatunków i *Cirrus* w postaci poplątanych wiązek przypada od godziny 7:00 do 18:00 (ryc. 14), a najmniejszy w porze nocnej. *Cirrus spissatus* (chmura, która jest pozostałością chmur burzowych) największy udział miał w godzinach okołopołudniowych i popołudniowych (14:00–18:00). *Cirrus uncinus* największy udział miał w godzinach wczesnoran-

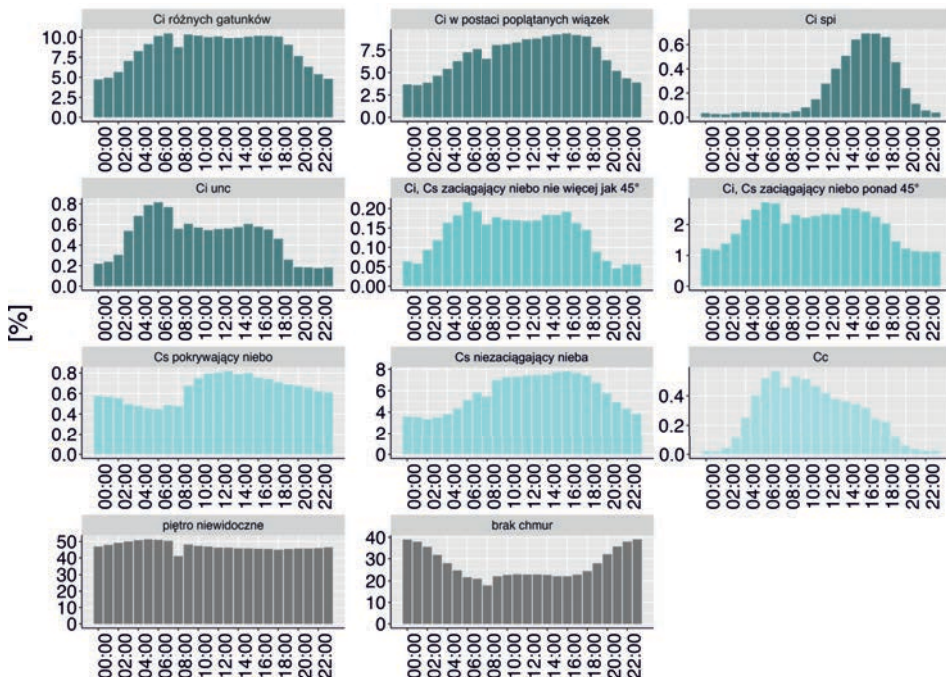


Ryc. 13. Przebieg roczny udziału [%] rodzajów chmur piętra wysokiego, piętra niewidocznego i braku chmur w tym piętrze w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 13. Annual course of the share [%] of high-level clouds, invisible level and no clouds in this level in Poland in the period 1996–2020

nych (4:00–7:00), następnie udział spadał i utrzymywał się na względnie stałym poziomie do godzin popołudniowych. Minimum przypadało na godziny wieczorne i nocne. Podobny charakter udziału w przebiegu dobowym miały chmury *Cirrus* i *Cirrostratus* zaciągające niebo nie więcej niż 45° oraz *Cirrus* i *Cirrostratus* zaciągające niebo ponad 45° . *Cirrostratus* pokrywający niebo i niezaciągający nieba charakteryzował się porannym spadkiem udziału, wzrost następował od godziny 9:00 do 13:00, następnie udział stopniowo spadał aż do porannego minimum. *Cirrocumulus* największy udział miał o 7:00, wraz z upływem dnia udział malał, w nocy osiągając minimum. Piętro niewidoczne wysokie charakteryzowało się wyrównanym dobowym przebiegiem. Przebieg dobowy udziału braku chmur piętra wysokiego wykazywał dobową cykliczność, największy udział wystąpił w nocy, a najmniejszy w dzień.

„Niekiedy chmury *Cc*, *Ac*, *Sc* mogą być rezultatem rozpadu chmur kłębiastych. Mogą być także przekształconymi chmurami *Cs*, *As*, *St* pod wpływem rozwijających się w nich ruchów konwekcyjnych lub ruchów falowych w towarzyszących tym chmurom warstwach inwersyjnych” (Woś 2002, 158).



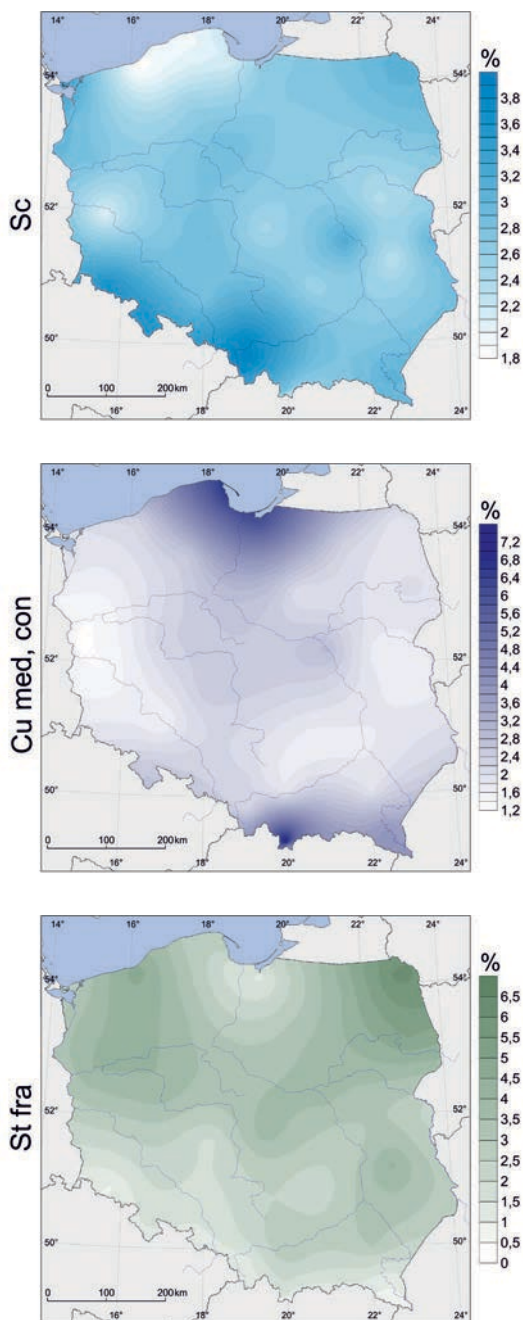
Ryc. 14. Przebieg dobowy udziału [%] rodzajów chmur piętra wysokiego, piętra niewidocznego i braku chmur w tym piętrze w Polsce w latach 1996–2020 w czasie UTC

Fig. 14. Daily course of the share [%] of high-level clouds, invisible level and no clouds in this level in Poland in the period 1996–2020 in UTC

Rozkład przestrzenny udziału występowania wybranych chmur w trzech piętrach

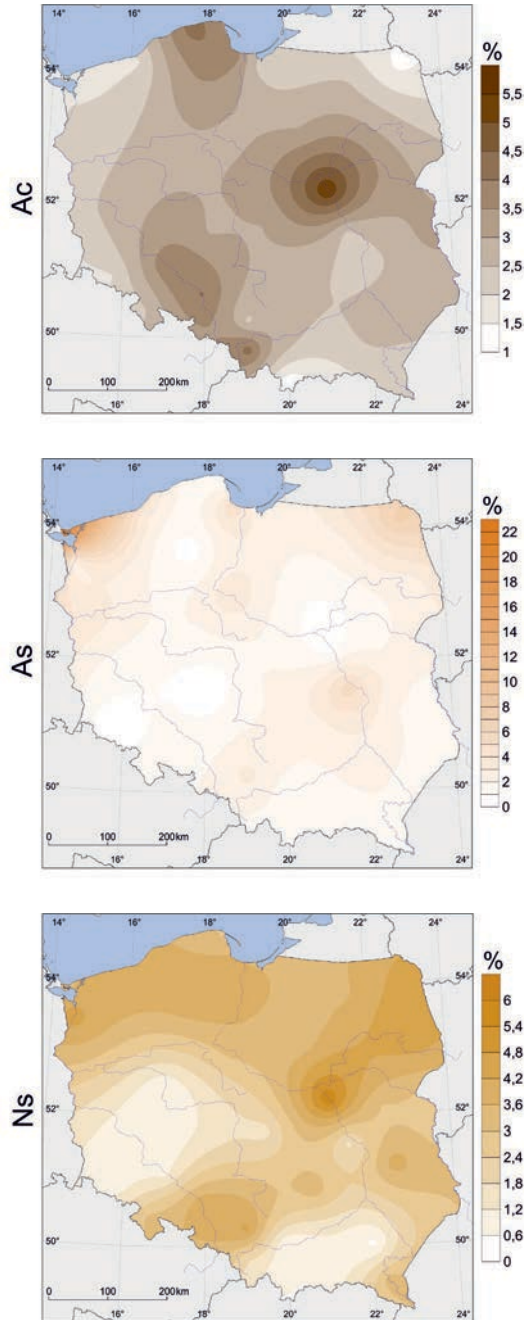
Chmury *Stratocumulus* najczęściej obserwowane były nad Wyżyną Śląską i Sudetami, najrzadziej nad Pobrzeżem Koszalińskim (ryc. 15). Miejscami, gdzie najczęściej występowały chmury *Cumulus mediocris* i *congestus*, były Pobrzeża Koszalińskie i Gdańskie oraz Tatry. Chmurę *Stratus fractus* najczęściej obserwowano nad Pojezierzem Suwalskim, Kotliną Biebrzańską i Pojezierzem Pomorskim.

Najwięcej chmur *Alto cumulus* obserwowano nad Niziną Mazowiecką, Pobrzeżem Koszalińskim i Niziną Śląską (ryc. 16). Chmura *Altostratus* najczęściej obserwowana była nad Pobrzeżem Szczecińskim. Chmura deszczowa, czyli *Nimbostratus*, najliczniej pojawiała się nad Niziną Mazowiecką, pomiędzy Wyżyną Śląską a Niziną Śląską oraz nad Pojezierzem Pomorskim.



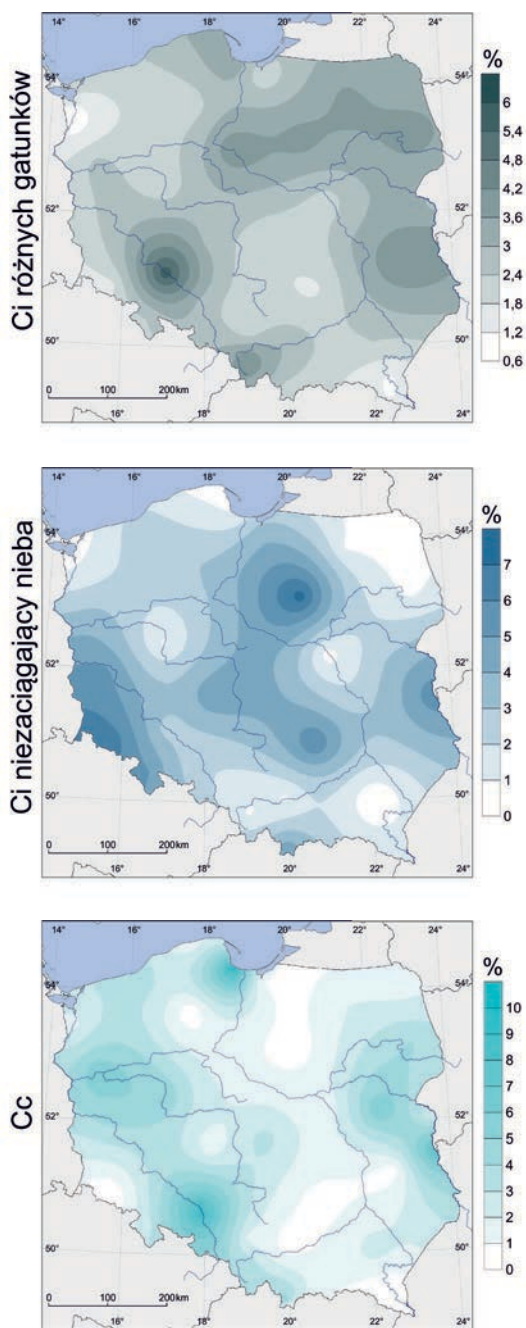
Ryc. 15. Rozkład przestrzenny udziału [%] występowania wybranych chmur piętra niskiego w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 15. Spatial distribution of the share [%] of the occurrence of selected low-level clouds in Poland in 1996–2020



Ryc. 16. Rozkład przestrzenny udziału [%] występowania wybranych chmur piętra średniego w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 16. Spatial distribution of the share [%] of the occurrence of selected mid-level clouds in Poland in 1996–2020



Ryc. 17. Rozkład przestrzenny udziału [%] występowania wybranych chmur piętra wysokiego w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 17. Spatial distribution of the share [%] of the occurrence of selected high-level clouds in Poland in 1996–2020

Cirrus różnych gatunków pojawiał się najczęściej nad Niziną Śląską oraz nad wschodnią Polską (ryc. 17). *Cirrostratus* niezaciągający nieba tworzył się najczęściej nad północno-zachodnimi Sudetami, Pojezierzem Mazurskim, Zachodnim Polesiem i Wyżyną Małopolską. Najrzadziej obserwowany był nad Suwalszczyzną. *Cirrocumulus* obserwowany najczęściej był nad zachodnią Polską: Pobrzeżem Gdańskim, Niziną Śląską, Pojezierzem Wielkopolskim oraz nad Podlasiem i Polesiem Zachodnim.

DYSKUSJA WYNIKÓW

W przeprowadzonej analizie stwierdzono, że najczęściej występującą chmurą w Polsce w analizowanym wieloleciu był *Stratocumulus*, następnie *Alto cumulus* i chmury pierzaste. Podobny rezultat otrzymała Szyga-Pluta (2015; 2022) w opracowaniach dla Poznania. Najczęściej występującym rodzajem zachmurzenia w piętrze niskim był *Stratocumulus*, w piętrze średnim *Alto cumulus*, taki sam rezultat dla Poznania w latach 2010–2019 otrzymali Szczapiński i in. (2022).

W analizowanym wieloleciu zaobserwowano wyraźny spadek udziału chmur burzowych, chmur pierzasto-kłębiastych, deszczowych oraz wzrost udziału chmur pierzastych (z wyjątkiem *Cirrus uncinus*), chmur średnich-kłębiastych (z wyjątkiem chmur *Alto cumulus* chaotycznego nieba) i kłębiasto-warstwowych. Podobne wyniki uzyskała Szyga-Pluta (2022) w analizie dla Poznania w latach 1951–2015.

Szyga-Pluta (2022) zaobserwowała większy udział chmur *Stratocumulus* zimą oraz chmur pierzastych, *Cumulus* i *Cumulonimbus* wiosną i latem, taki sam rezultat otrzymano w niniejszej pracy. Autorka nie stwierdziła charakterystycznego rocznego przebiegu dla chmur *Cirrocumulus*, *Cirrostratus*, *Altostratus* i *Nimbostratus*. W tejże analizie odnotowano charakterystyczny przebieg dla wyżej wymienionych rodzajów chmur z wyjątkiem chmury *Cirrostratus*. Matuszko i in. (2022) w analizie dla Polski w latach 1971–2020 stwierdzili wyraźny przebieg roczny z maksimum letnim i minimum zimowym dla chmur piętra wysokiego, *Alto cumulus*, *Cumulus* i *Cumulonimbus*. Przebieg z maksimum zimą i minimum latem odnotowano dla chmur warstwowych i kłębiasto-warstwowych. Taki sam rezultat otrzymano w niniejszej analizie oraz w opracowaniu dla Torunia w okresie 1986–1995 (Wójcik i Uscka 1999).

Przebieg dobowy chmur konwekcyjnych charakteryzował się wyraźną cyklicznością, najczęściej chmury te występowały w godzinach popołudniowych latem. Maksimum dla chmury *Stratus* odnotowano ranem w okresie zimowym, taki sam wynik uzyskali Matuszko i in. (2022), wyjaśniając tę zależność procesami radiacyjnego chłodzenia powierzchni czynnej.

PODSUMOWANIE

W Polsce w latach 1996–2020 najczęściej występował *Stratocumulus*. Stwierdzono najwięcej wystąpień chmur *Stratocumulus* w piętrze niskim, *AltoCumulus* w piętrze średnim oraz *Cirrus* różnych gatunków w piętrze wysokim. W analizowanym wieloleciu w piętrze niskim odnotowano zmniejszający się udział chmur burzowych i chmur *Cumulus* średnio i mocno wypiętrzonych. Wystąpił natomiast wzrost udziału chmur *Cumulus* słabo wypiętrzonych, chmur kłębiasto warstwowych i *Stratus fractus*.

W piętrze średnim nie odnotowano jednego kierunku zmian występowania chmur średnich-kłębiastych. Odnotowano wzrost udziału chmur *AltoCumulus*, *AltoCumulus translucidus*, *AltoCumulus* w wielu warstwach lub występujących z chmurami *Altostratus* oraz *AltoCumulus* w kształcie wieżyczek lub kłębków. Nastąpił spadek udziału chmur *AltoCumulus: lenticularis, cugen*, chaotycznego nieba. Odnotowano spadek udziału chmur średnich-warstwowych i deszczowych.

W piętrze wysokim stwierdzono wzrost udziału chmur pierzastych z wyjątkiem gatunku *Cirrus uncinus*. Dla chmur warstwowo-pierzastych nie stwierdzono wyraźnego kierunku zmian. Chmury pierzasto-kłębiaste w analizowanym wieloleciu nieznacznie zmniejszyły swój udział.

W piętrze niskim latem maksimum udziału odnotowano w przypadku chmur o budowie pionowej, czyli chmur burzowych i gatunków chmur *Cumulus*. Minimum udziału tych chmur przypadało zimą. Mniej wyraźny, lecz podobny przebieg stwierdzono w przypadku chmur *Stratocumulus* nad chmurami *Cumulus* i *Stratocumulus* pochodzących z rozpostarcia się chmur *Cumulus* lub *Cumulonimbus*. Odwrotny przebieg, czyli z maksimum przypadającym zimą, a minimum latem odnotowano w przypadku chmur *Stratocumulus* i obu gatunków chmur *Stratus*. W piętrze średnim stwierdzono największy udział chmur średnich-kłębiastych w sezonie letnim, a najmniejszy w zimowym. Brakiem wyraźnego przebiegu rocznego charakteryzuje się gatunek *lenticularis*. Chmury *Altostratus* i *Nimbostratus* największy udział miały w chłodnej części roku, najmniejszy natomiast w ciepłej. W piętrze wysokim większość rodzajów chmur wykazywała największy udział w cieplejszej części roku i najmniejszy w chłodnej.

W przebiegu dobowym wystąpił wyraźny wzrost udziału chmur o budowie konwekcyjnej w godzinach popołudniowych podczas największej konwekcji swobodnej. Największy udział chmur *Stratocumulus* wystąpił w godzinach nocnych, najmniejszy nad ranem i w okolicach południa. W piętrze średnim i wysokim przebiegi dobowe nie wykazały tak charakterystycznej cykliczności jak w przypadku piętra niskiego.

Podziękowanie

Pragniemy podziękować promotorowi tejsze pracy – dr Katarzynie Szydze-Plucie – za poświęcony czas i wsparcie merytoryczne. Podkład mapy Polski został pozyskany dzięki

uprzejmości prof. UAM dr. hab. Arkadiusza Tomczyka. Projekt był realizowany w ramach grantu studenckiego Study@research w zakresie programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza” (ID-UB).

LITERATURA

- Bartoszek K., Matuszko D., Soroka J., 2020: *Relationships between cloudiness, aerosol optical thickness, and sunshine duration in Poland*. Atmospheric Res., 245, 105097.
- Bednorz E., Szyga-Pluta K., 2004: *Przyrost grubości pokrywy śnieżnej a występowanie wybranych rodzajów chmur w Polsce północno-zachodniej*. Bad. Fizjogr., Ser. A – Geografia Fizyczna, 55, 29–34.
- Filipiak J., Miętus M., 2009: *Spatial and temporal variability of cloudiness in Poland, 1971–2000*. Int. J. Climatol., 29, 1294–1311.
- Kaczorowska Z., 1977: *Pogoda i klimat*. WSiP, Warszawa.
- Kożuchowski K., 2011: *Klimat Polski. Nowe spojrzenie*. PWN, Warszawa.
- Kożuchowski K., 2012: *Meteorologia i klimatologia*. PWN, Warszawa.
- Lenart W., 2015: *Zmiany klimatu*. Fundacja na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju, Warszawa.
- Lityński J., 1969: *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*. Pr. PIHM, 97, 3–15.
- Matuszko D., 2001: *Wpływ miasta na zachmurzenie i opady (na przykładzie Krakowa)*, [w:] K. German, J. Balon (red.), *Przemiany środowiska przyrodniczego Polski a jego funkcjonowanie, Problemy ekologii krajobrazu*, 10. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, 529–536.
- Matuszko D., 2002: *Wpływ cyrkulacji atmosfery na zachmurzenie w Krakowie*, [w:] A. Marsz, A. Styszyńska (red.), *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*. Akademia Morska w Gdyni, 141–146.
- Matuszko D., 2007: *Zachmurzenie*, [w:] D. Matuszko (red.), *Klimat Krakowa w XX wieku*. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, 75–86.
- Matuszko D., 2012a: *Influence of cloudiness on sunshine duration*. Int. J. Climatol., 32, 1527–1536.
- Matuszko D., 2012b: *Influence of the extent and genera of cloud cover on solar radiation intensity*. Int. J. Climatol., 32, 15, 2403–2414.
- Matuszko D., 2014: *Zachmurzenie i burze w aspekcie ekstremalnych zdarzeń atmosferycznych*. Pr. Geogr., 139, 79–92.
- Matuszko D., Bartoszek K., Soroka J., 2022: *Long-term variability of cloud cover in Poland (1971–2020)*. Atmospheric Res., 268, 106028.
- Matuszko D., Piotrowicz K., Twardosz R., 2001: *Związki między zachmurzeniem, opadami i temperaturą powietrza w Krakowie w ostatnim stuleciu*. Pr. i Stud. Geogr., 29, 113–119.
- Matuszko D., Soroka J., 2013: *Zachmurzenie Spitsbergenu na podstawie obserwacji w Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie, Cloudiness over Spitsbergen based on observations made at the Polish Polar Station in Hornsund*. IGiP UJ.
- Matuszko D., Soroka J., 2017: *Nowa klasyfikacja chmur*. Przegl. Geofiz., 62, 1–2, 83–100.
- Matuszko D., Węglarczyk S., 2018: *Long-term variability of the cloud amount and cloud genera and their relationship with circulation (Kraków, Poland)*. Int. J. Climatol., 38, 1205–1220.
- Mazon J., Costa M., Pino D., Lorente J., 2012: *Clouds caused by human activities*. Weather, 67, 11, 302–306.
- Mazon J., Costa M., Pino D., 2018: *Airplane clouds: From chemtrail pseudoscience to the science of contrails*. Méthode Science Studies Journal, 8, 181–187.

- Osuchowska-Klein B., 1978: *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej (1901–1975)*. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Perkins O., 2019: *Czytanie z chmur. Jak przewidywać pogodę*. ALMA-PRESS, Warszawa.
- Pluta G., 2013: *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na kształtowanie zachmurzenia (na przykładzie Krakowa, 2004–2008)*. Przegl. Geofiz., 3–4, 185–196.
- Soroka J., Matuszko D., 2013: *Trudności w wizualnej ocenie zachmurzenia w Hornsundzie (SW Spitsbergen)*. Probl. Klim. Polar., 23, 147–156.
- Szczapiński A., Dyszy W., Sobkowiak K., 2022: *Rodzaje zachmurzenia w Poznaniu w latach 2010–2019 – częstość występowania, przebieg roczny oraz zależność od temperatury powietrza*, [w:] A. Kostrzewski (red.), *Geoprzestrzeń*, 4, *Środowisko geograficzne wybranych obszarów – stan środowiska, turystyka, edukacja, metody badań*, 9–35.
- Szyga-Pluta K., 1999: *Częstość występowania poszczególnych rodzajów chmur w Poznaniu*. Bad. Fizjogr. Pol. Zach., Ser. A – Geografia Fizyczna, 50, 167–174.
- Szyga-Pluta K., 2009: *Typy cyrkulacji atmosfery a rodzaje chmur w Poznaniu (The atmospheric circulation types and cloud genera in Poznań)*. Bad. Fizjogr. Pol. Zach., Ser. A – Geografia Fizyczna, 60, 133–145.
- Szyga-Pluta K., 2015: *Circulation influence on cloudiness in Poznań*. Quaest. geogr., 34, 3.
- Szyga-Pluta K., 2022: *Cloudiness and cloud genera variability at the turn of the 21st century in Poznań (Poland)*. Időjárás, 126, 1, 109–125.
- Warakomski W., 1961: *Częstotliwość występowania rodzajów chmur w Polsce w okresie 1950–1959*. Ann. UMCS, Ser. B, 7, 11, 207–256.
- Wójcik G., Uscka J., 1999: *Zachmurzenie w Toruniu w latach 1986–1995*. Act. Univ. Lodz. Fol. Geograph. Phys., 3, 251–263.
- World Meteorological Organization, 1975: *Manual on the observation of clouds and other meteors*. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva.
- World Meteorological Organization, 2019: *Manual on Codes – International Codes*, Vol. I.1, *Annex II to the WMO Technical Regulations: part A – Alphanumeric Codes*. WMO – no. 306, Geneva.
- Woś A., 1999: *ABC meteorologii*. PWN, Warszawa.
- Woś A., 2002: *Meteorologia dla geografów*. PWN, Warszawa.

Źródła internetowe

- <https://danepubliczne.imgw.pl> [dostęp: 26.01.2022].
- https://meteomodel.pl/hidden/kurs/Wyklad_5_Rozpoznawanie_chmur_2.pdf [dostęp: 22.05.2022].
- <https://cloudatlas.wmo.int/en/code-specifications-and-coding-procedures.html> [dostęp: 10.09.2022].
- <https://www.eduscience.pl/artykuły/czym-są-chmury-soczewkowate> [dostęp: 18.10.2022].