

CHMURY PIĘTRA WYSOKIEGO, ŚREDNIEGO I NISKIEGO: ANALIZA ZACHMURZENIA W POLSCE

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: *High, medium and low clouds: an analysis of the cloud cover in Poland.* The subject of the paper is an analysis of the type of clouds in Poland in 1996–2020 on the low, middle and high levels. Daily data on cloud types and the cloudiness of the low-level from 36 IMWM-NRI stations were used. In the analysed multi-year period, the highest share of low-level clouds was observed (56%), followed by mid-level clouds (23%), and the lowest share of high-level clouds (21%). There was a slight decrease in the share of low-level clouds, and an increase in the share of middle and high levels clouds in the analysed period. The share of low-level clouds was highest in the cool season and during the afternoon and night hours; it was lowest in the summer, and early morning and evening hours. The middle and high levels had the highest share in the summer and during the early evening and early morning hours. These levels were least frequent in the winter, and around noon for the mid-level, and at night for the high-level. The *Cumulus humilis* and *Stratocumulus cugen* clouds were most frequently observed on the low-level during low cloudiness. *Stratus fractus* and *Cumulonimbus capillatus* were most frequently observed during total and high cloudiness on the low-level. In the warm season and the daytime, clouds are more isolated; in the cool season, they form more dense cloud layers.

Keywords: types of clouds, levels of cloud height, cloud cover, Poland

WSTĘP

Zachmurzenie to wielkość pokrycia nieba przez chmury (Kozuchowski 2012). Jest to jeden z głównych elementów pogody i klimatu. „Chmury są nieodłącznym, choć bardzo zmiennym w czasie i przestrzeni, elementem krajobrazu” (Matuszko 2014a). Makroskalowe procesy cyrkulacyjne i czynniki lokalne wpływają na wielkość zachmurzenia. Chmury znacząco modyfikują przepływ promieniowania słonecznego przez atmosferę ziemską, oddziałują na natężenie całkowitego promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi oraz ilość zatrzymanego promieniowania długofalowego Ziemi (Popkiewicz i in. 2018). Zachmurzenie odgrywa ważną rolę, modyfikując efekt cieplarniany (Matuszko i in. 2022). Niektóre rodzaje chmur generują opady atmosferyczne, które mają znaczący wpływ na środowisko przyrodnicze. Ze względu na wysokość występowania poszczególnych rodzajów chmur wyróżnia się trzy piętra wysokości. W strefie umiarkowanej chmury piętra niskiego znajdują się na wysokości do 2 km nad ziemią, chmury piętra średniego od 2 do 7 km, chmury piętra wysokiego od 5 do

13 km (Kozuchowski 2011). Chmury kształtowane przez procesy konwekcyjne (*Cumulus*, *Cumulonimbus*), które sprzyjają ich pionowej rozbudowie, mogą zajmować dwa lub trzy piętra. Luke Howard (1804) dokonał pierwszego podziału chmur, na którym opiera się współczesna klasyfikacja. Wyróżnił trzy podstawowe rodzaje chmur (*Cirrus*, *Cumulus*, *Stratus*) i cztery pośrednie (*cirro-cumulus*, *cirro-stratus*, *cumulo-stratus*, *cumulo-cirro-stratus*) według ich wyglądu oraz zmian w czasie. W *Międzynarodowym Atlasie Chmur* (1975) wyróżniono dziesięć podstawowych rodzajów chmur. Międzynarodowa klasyfikacja obejmuje podział na rodziny, rodzaje, gatunki i odmiany chmur.

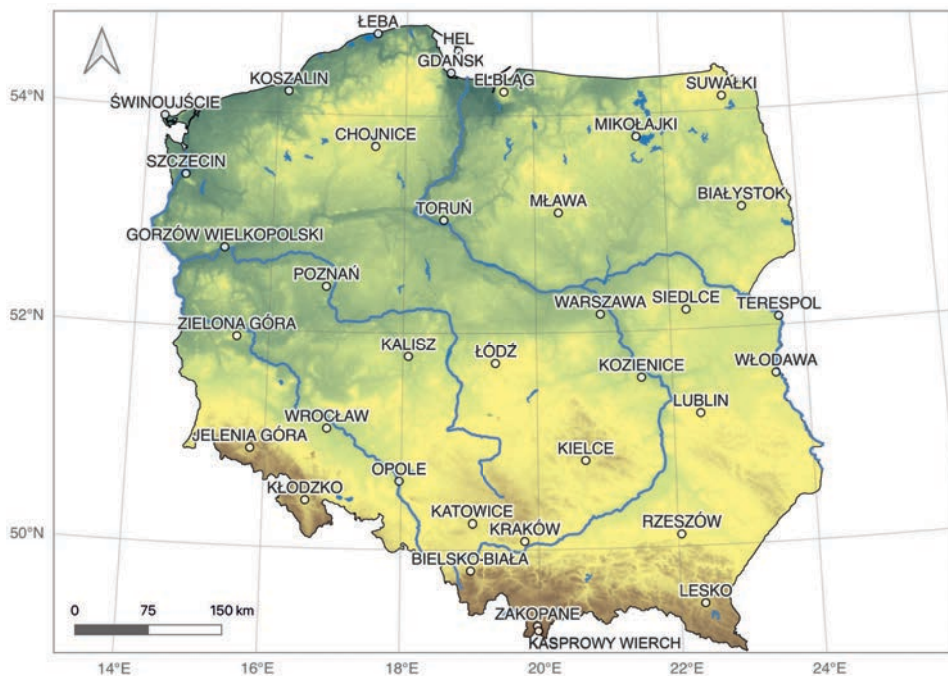
Publikacji dotyczących rodzaju zachmurzenia w Polsce jest znacznie mniej niż analiz wielkości zachmurzenia. Większość badaczy skupia się na rodzajach chmur, prac dotyczących analizy pięter wysokości chmur jest niewiele. Taką analizę dla Poznania podjęli Szczapiński i in. (2022). Analiz dotyczących zmienności rodzajów chmur w polskich miastach (Michna 1959; Szyga-Pluta 1999, 2022; Matuszko 2003, 2007, 2009; Szczapiński i in. 2022) jest więcej niż publikacji dotyczących rodzajów chmur na terenie całego kraju, takich jak praca Filipiaka i Miętusa (2009) oraz Matuszko i in. (2022). Zależności między rodzajem chmur a przyrostem pokrywy śnieżnej w Polsce północno-zachodniej badały Bednorz i Szyga-Pluta (2004). Temat wielkości zachmurzenia w Polsce podjęło wielu badaczy (Matuszko 2003, 2007; Żmudzka 2003, 2014; Wibig 2008; Filipiak i Miętus 2009; Sypniewska i Szyga-Pluta 2018, Szczapiński i in. 2020). Wpływ cyrkulacji atmosfery na wielkość zachmurzenia w kraju podjęli Adamczyk i Ustrnul (2006), Żmudzka (2006, 2007), Adamczyk (2007). Podobną tematykę, ale na obszarach górskich w Polsce podjęła Pluta (2014). Szereg prac dotyczy również wpływu cyrkulacji atmosfery na rodzaje chmur w polskich miastach (Matuszko 2002; Pluta 2013; Szyga-Pluta 2015; Matuszko i Węglarczyk 2018). Curyło i Kois (2010) badali, czy pomiary promieniowania słonecznego mogą być wykorzystywane do rozpoznawania chmur. Z wielkością zachmurzenia i jego rodzajem związane są ekstremalne zjawiska pogodowe, które analizowała Matuszko (2014b). Warren i in. (2007) przeprowadzili obszerną analizę zmian w zachmurzeniu i rodzajach chmur na całym świecie w latach 1971–1996.

Celem głównym niniejszej pracy była kompleksowa analiza ilościowa rodzajów chmur w Polsce w latach 1996–2020. Analiza opierała się na czasowej zmienności (wieloletniej, sezonowej, dobowej) występowania trzech pięter wysokości chmur: piętra niskiego, średniego i wysokiego. Zbadano przebiegi wieloletnie liczebności wybranych chmur w celu określenia tendencji zmian ich występowania w analizowanym okresie. Podjęto próbę analizy wielkości zachmurzenia niskiego dla chmur w piętrze niskim (brak danych o wielkości zachmurzenia w piętrze średnim i wysokim w danych synoptycznych).

OBSZAR, MATERIAŁ ŹRÓDŁOWY I METODY BADAŃ

W opracowaniu wykorzystano dane pomiarowo-obszaryjne z 36 stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) w Polsce (ryc. 1). Wybrane stacje charakteryzują się równomiernym rozmieszczeniem przestrzennym i dużą kompletnością danych. W analizie posłużono się dobowymi pomiarami rodzajów chmur w piętrze niskim, średnim i wysokim w wieloleciu 1996–2020. W opracowaniu wykorzystano również pomiary wielkości zachmurzenia niskiego podawanego w skali oktantowej. Dane, które są podstawą analizy, pozyskano z ogólnodostępnego archiwum IMGW-PIB (dane-publiczne.imgw.pl). Rodzaje chmur są kodowane według wymogów Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) przez obserwatorów stacyjnych. Każde z trzech pięter wysokości posiada 11 kodów – cyfry od „1” do „9” to poszczególne chmury, „0” to brak chmur, natomiast „/” to piętro niewidoczne. Piętro wysokie może być niewidoczne ze względu na przysłonięcie chmurami niższych pięter. Chmury w piętrze średnim mogą przysłaniać chmury piętra niskiego. Piętro niskie może być niewidoczne przez mgły, zamiecie lub ciemności (meteomodel.pl). Godziny w niniejszej analizie zostały podane w czasie UTC.

Analizie poddano przebieg wieloletni, roczny i dobowy udziału chmur w piętrze niskim, średnim i wysokim, w celu określenia ich czasowej zmienności (ryc. 3, ryc. 4, ryc. 5). Przebiegi wieloletniej liczebności wybranych chmur wykonano dla chmur deszczowych, burzowych, chmur *Stratocumulus* (najczęściej występujących chmur w badanym wieloleciu) i dla chmur *Cirrus* różnych gatunków (najczęściej występujących chmur w piętrze wysokim). W przebiegach wieloletnich liczebności chmur deszczowych i burzowych posłużono się agregacją wybranych kodów (ryc. 6). Za chmury deszczowe dające ciągłe, długotrwałe opady przyjęto chmury *Altostratus* (kod CM-1) i *Nimbostratus* (kod CM-2), natomiast chmury burzowe to: *Cumulonimbus calvus* (kod CL-9) i *Cumulonimbus capillatus* (kod CL-3). Kody rodzajów chmur wraz z objaśnieniami dostępne są w internetowym atlasie chmur WMO – cloudatalas.wmo.int. Do określenia stopnia zakrycia nieba przez chmury posłużono się skalą oktantową od 0 (brak zachmurzenia) do 9 (niebo niewidoczne), przy czym dane pomiarowe z oktantem 9 zostały zamienione na oktant 8, czyli zachmurzenie całkowite. Taka zamiana nie dotyczy stacji wysokogórskich, ponieważ występuje tam często niebo niewidoczne. Z tego względu z części opracowania dotyczącej wielkości zachmurzenia niskiego wykluczono obserwatorium wysokogórskie Kasprowy Wierch (wykorzystano dane z 35 stacji meteorologicznych). W piętrze niskim dokonano analizy przebiegu rocznego (ryc. 8) i dobowego (ryc. 10) udziału chmur w taki sposób, że kolejno jeden miesiąc i godzina daje 100% udziału (bez stacji Kasprowy Wierch). W opracowaniu posługiwano się objaśnieniami oktantów podanymi w tab. 1 oraz objaśnieniami nazw chmur w piętrze niskim w tab. 2. W analizie statystycznej posłużono się testem Chi kwadrat Pearsona, za poziom istotności statystycznej przyjęto $p \leq 0,05$.



Ryc. 1. Lokalizacja stacji synoptycznych IMGW-PIB

Fig. 1. Location of IMWM-NRI synoptic stations

Źródło: opracowanie własne na podstawie paczki raster. Source: own study based on the raster package.

Tab. 1. Objasnienie nazewnictwa oktantów

Tab. 1. Explanation of octant names

Oktanty	Objasnienie	Stopień pokrycia nieba przez chmury [%]
0	bezchmurnie	0,0
1	zachmurzenie małe	12,5
2		25,0
3	zachmurzenie umiarkowane	37,5
4		50,0
5		62,5
6	zachmurzenie duże	75,0
7		87,5
8		100,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie: lodzkie.eu. Source: own study based on: lodzkie.eu.

Tab. 2. Kody WMO, objaśnienia nazw chmur w piętrze niskim
 Tab. 2. WMO codes, explanations of the cloud names in the low-level

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

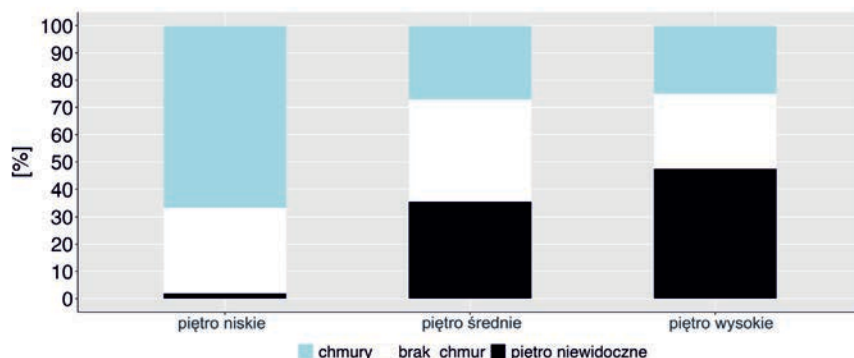
Źródło: opracowanie własne na podstawie meteomodel.pl. Source: own study based on meteomodel.pl.

WYNIKI

Ogólna charakterystyka pięter zachmurzenia w Polsce

W Polsce w analizowanym wieloleciu największy udział spośród pięter wysokości chmur miało piętro najniższe (56%), następnie średnie (23%), a najmniejszy wysokie (21%), zatem przewaga udziału chmur piętra niskiego jest znaczna. Największy udział chmur (67%) i najmniejszy udział piętra niewidocznego (2%) stwierdzono w piętrze niskim (ryc. 2). Najmniejszy udział chmur (25%) i największy udział piętra niewidocznego (47%) odnotowano w piętrze wysokim. Spowodowane jest to przysłonięciem chmurami niższych pięter. Największy udział braku chmur wystąpił w piętrze średnim (37%). Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem wysokości występowania piętra zmniejsza się udział chmur oraz wzrasta udział piętra niewidocznego.

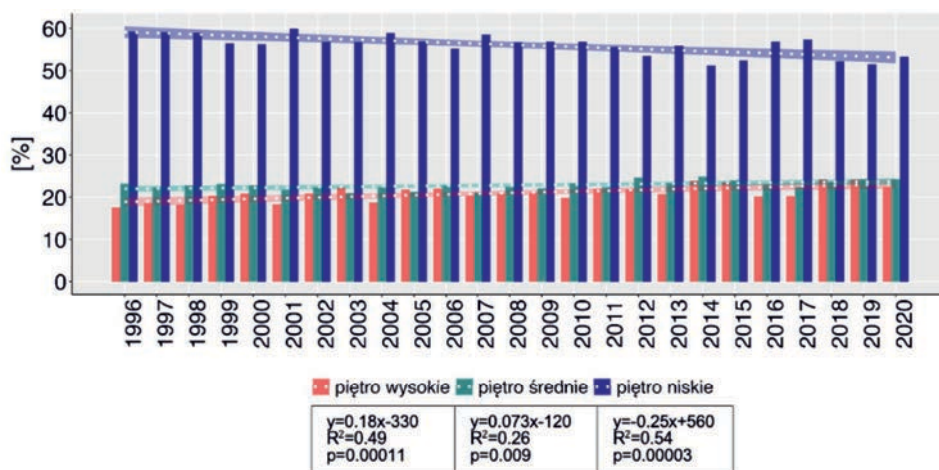
Przebieg wieloletni udziału chmur piętra niskiego, średniego i wysokiego w Polsce w latach 1996–2020 przedstawia ryc. 3. Trendy zmian udziału chmur w badanym wieloleciu są istotne statystycznie dla poziomu istotności $p \leq 0,05$ we wszystkich piętrach wysokości chmur. Odnotowano niewielki spadek udziału



Ryc. 2. Udział chmur, braku chmur i piętra niewidocznego w piętrze niskim, średnim i wysokim w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 2. Share of clouds, lack of cloudiness and invisible cloud level in the low, middle and high level in 1996–2020

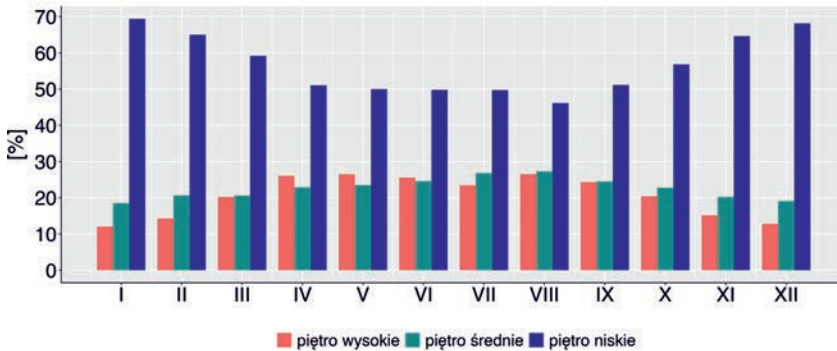
chmur piętra niskiego i wzrost udziału piętra średniego i wysokiego. Największą zmianę stwierdzono w piętrze średnim, w którym wzrost wyniósł 0,09%/10 lat. W analizowanym wieloleciu w każdym roku udział chmur piętra niskiego był większy niż średniego i wysokiego. Przeważnie udział chmur piętra wysokiego był mniejszy niż piętra średniego, wyjątkiem są lata: 2003, 2005 i 2018. Największy udział (60%) chmur piętra niskiego wystąpił w 2001, a najmniejszy w 2014 (51%) roku. Największy udział (25%) chmur piętra średniego odnotowano w 2014, najmniejszy natomiast w roku 2007 (21%). Największy udział (24%) chmur piętra wysokiego stwierdzono w 2014, a najmniejszy w 1996 roku (18%).



Ryc. 3. Przebieg wieloletni udziału chmur piętra niskiego, średniego i wysokiego w Polsce w latach 1996–2020

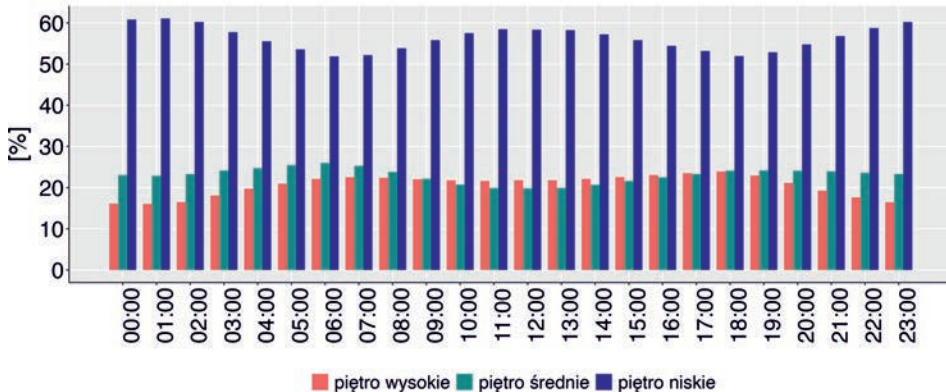
Fig. 3. Multiannual course of the share of low, middle and high clouds in Poland in 1996–2020

W przebiegu rocznym udziału chmur piętra niskiego, średniego i wysokiego widać wyraźną sezonowość (ryc. 4). Zaobserwowano największy udział chmur piętra niskiego w chłodnej porze roku (69% – w grudniu), a najmniejszy w okresie letnim (46% – w sierpniu). Związane jest to z większym udziałem chmur warstwowych w okresie zimowym. Przebieg roczny udziału chmur piętra średniego i wysokiego jest zbliżony. Największe udziały tych pięter stwierdzono w okresie letnim w sierpniu (piętro średnie – 27%, piętro wysokie – 26,5%), najmniejsze natomiast w chłodnej części roku w styczniu (piętro średnie – 19%, piętro wysokie – 12%).



Ryc. 4. Przebieg roczny udziału chmur piętra niskiego, średniego i wysokiego w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 4. Annual course of the share of low, middle and high clouds in Poland in 1996–2020



Ryc. 5. Przebieg dobowy udziału chmur piętra niskiego, średniego i wysokiego w Polsce w latach 1996–2020 w czasie UTC

Fig. 5. Daily course of the share of low, middle and high clouds in Poland in 1996–2020 at UTC

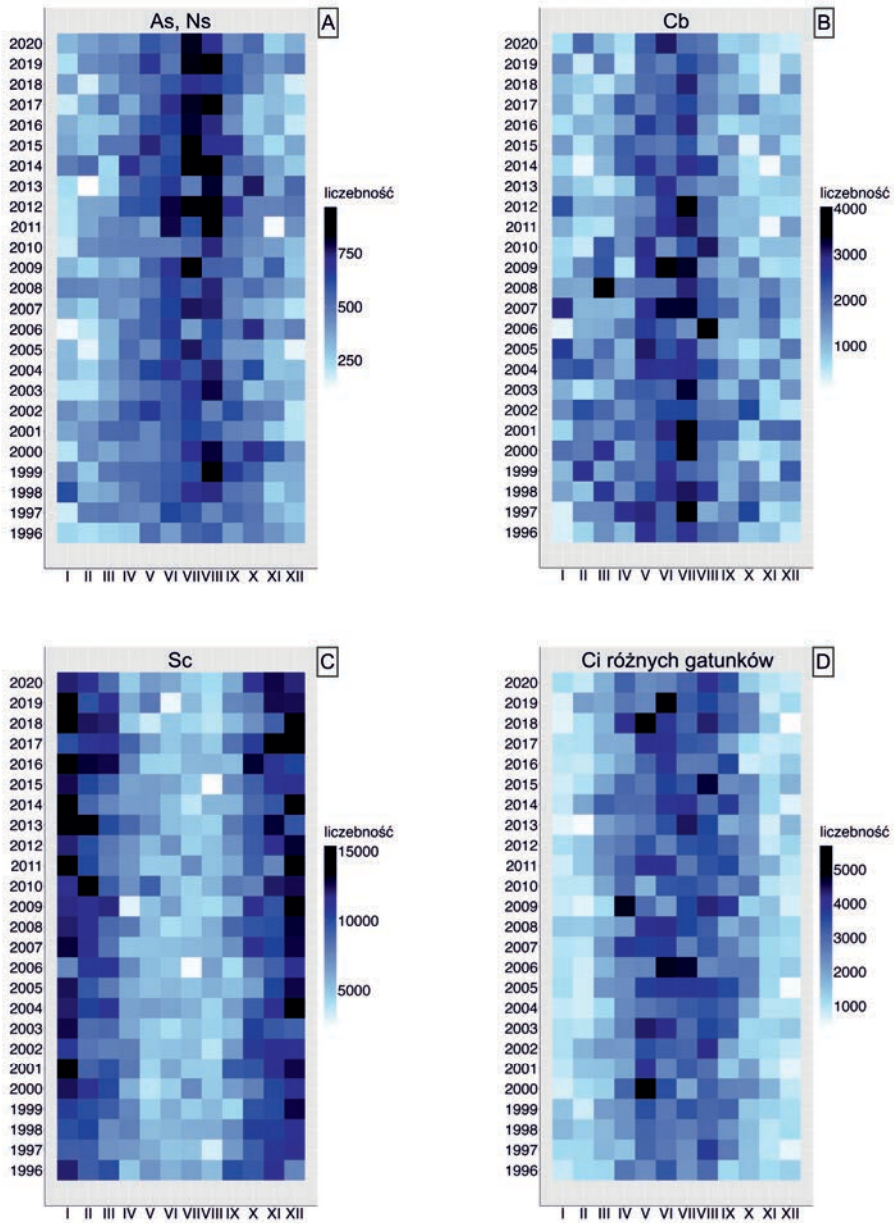
Przebieg dobowy udziału chmur piętra niskiego, średniego i wysokiego w Polsce charakteryzuje się wyraźną cyklicznością (ryc. 5). Największy udział chmur piętra niskiego stwierdzono w godzinach okołopołudniowych i nocnych z maksimum o godzinie 1:00 – 61%, najmniejszy natomiast w godzinach wczesnowieczornych i wczesnorannych z minimum o godzinie 6:00 – 52%. Udziały chmur piętra średniego i wysokiego charakteryzują się podobnym przebiegiem dobowym. Maksimum udziału chmur piętra średniego wystąpiło o godzinie 6:00 – 26%, a piętra wysokiego o godzinie 18:00 – 24%. Najmniejszy udział chmur piętra średniego odnotowano w godzinach okołopołudniowych z minimum o godzinie 12:00 – 20%. Najmniejszy udział chmur piętra wysokiego stwierdzono w godzinach nocnych z minimum o godzinie 1:00 – 16%. Zaobserwowano większy udział chmur piętra wysokiego niż średniego w godzinach okołopołudniowych.

Przebiegi wieloletnie liczebności wybranych chmur

Przebieg wieloletni w ujęciu rocznym liczebności wybranych chmur w Polsce w latach 1996–2020 przedstawiono na ryc. 6. Chmury dające ciągłe i długotrwałe opady to *Altostratus* i *Nimbostratus*. Najwięcej tych chmur wystąpiło w cieplej porze roku od maja do września. Zaobserwowano wyraźnie zwiększającą się liczbę tych chmur w lipcu i sierpniu w badanym wieloleciu (po 2011 r.). Chmury burzowe najczęściej występowały w lecie, zaobserwowano zmniejszenie się liczebności tych chmur w badanym wieloleciu głównie latem. *Stratocumulus*, czyli najczęściej występujący rodzaj chmur w Polsce, odnotowywany jest najliczniej zimą. Stwierdzono zwiększenie liczebności chmury *Stratocumulus* w sezonie zimowym (głównie w styczniu i grudniu) w analizowanym wieloleciu. Od kwietnia do września nie zaobserwowano większych zmian. Chmury *Cirrus* różnych gatunków, czyli najczęściej obserwowane chmury piętra wysokiego, odnotowywano systematycznie w cieplej porze roku. Michna (1957 za Matuszko 2009) wyjaśnia to dwoma przyczynami: „pierwsza – to częste kompleksy antycyklonalne pochodzenia subtropikalnego dające fale długo utrzymujących się chmur pierzastych, głównie wzdłuż linii frontu ciepłego, które w tym okresie na obszarze Polski południowej osiągają maksymalną częstość; druga – częsty napływ powietrza polarnego kontynentalnego ze wschodu i południowego wschodu” (Matuszko 2009). W badanym wieloleciu chmury *Cirrus* różnych gatunków zwiększyły swoją liczebność w cieplej części roku, zimą nie zaobserwowano większych zmian.

Wielkość zachmurzenia piętra niskiego

Udział wielkości zachmurzenia niskiego dla poszczególnych chmur piętra niskiego przedstawiono na ryc. 7. Przy zachmurzeniu małym piętra niskiego najczęściej obserwowane były chmury *Cumulus humilis* oraz *Stratocumulus*



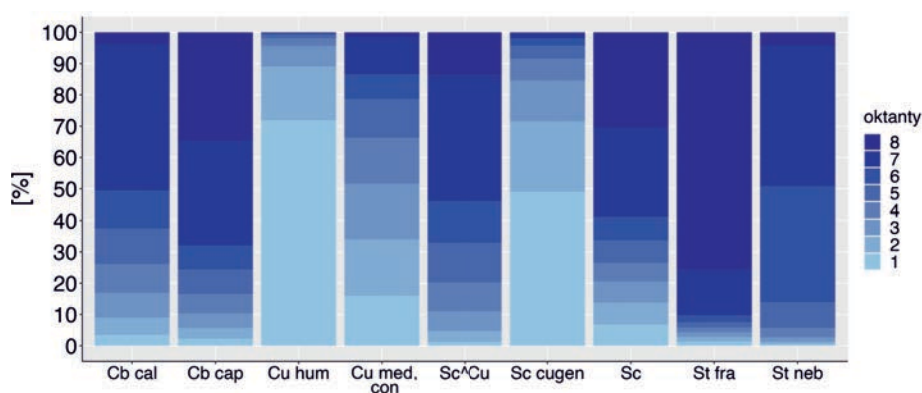
Ryc. 6. Przebieg wieloletni w ujęciu rocznym liczebności wybranych chmur w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 6. Long-term course in annual terms of the number of selected clouds in Poland in 1996–2020

Objaśnienia: A – *Alto cumulus* + *Nimbostratus*; B – *Cumulonimbus capillatus* + *calvus*; C – *Stratocumulus*, D – *Cirrus* różnych gatunków

Explanations: A – *Alto cumulus* + *Nimbostratus*; B – *Cumulonimbus capillatus* + *calvus*; C – *Stratocumulus*, D – *Cirrus* of different species

cugen. *Cumulus humilis* to „chmury pięknej pogody” występujące podczas pogody wyżowej (Matuszko 2014a). *Cumulus humilis* to izolowane chmury, z tego względu nie pokrywają nieba w znacznym stopniu. Udziały chmur *Cumulus* o umiarkowanym i dużym rozwoju w poszczególnych stopniach wielkości zachmurzenia niskiego były w większości wyrównane (około 15%). Chmury burzowe *Cumulonimbus capillatus* i *Cumulonimbus calvus* najczęściej przyczyniały się do występowania zachmurzenia niskiego dużego i całkowitego. *Cumulonimbus capillatus*, czyli rozwinięta forma chmury burzowej, miała wyraźnie większy udział zachmurzenia całkowitego niż *Cumulonimbus calvus*. Udziały zachmurzenia małego i umiarkowanego dla chmur burzowych były podobne. Warstwa chmur *Stratocumulus* znajdująca się nad chmurami *Cumulus* najczęściej wpływała na występowanie zachmurzenia dużego i całkowitego. Chmury *Stratocumulus* miały największy udział zachmurzenia dużego i całkowitego, udziały zachmurzenia małego i umiarkowanego były wyrównane. Udziały wielkości zachmurzenia niskiego dla gatunków chmur warstwowych (*St fra*; *St neb*) znacznie się różnią. Przy większym stopniu zachmurzenia niskiego obserwowano częściej chmury *Stratus fractus* niż *Stratus nebulosus*.

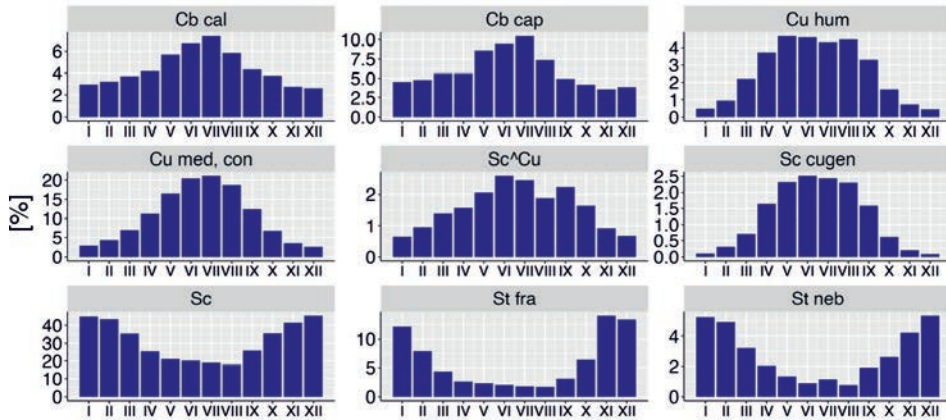


Ryc. 7. Udział wielkości zachmurzenia niskiego dla chmur piętra niskiego (objaśnienia nazw tab. 1 i tab. 2)

Fig. 7. Share of the amount of low cloudiness for clouds of the low-level (explanation of names in tab. 1 and tab. 2)

Zaobserwowano wyraźną sezonowość w przebiegach rocznych udziału chmur piętra niskiego (ryc. 8). Chmury burzowe (*Cb cal*; *Cb cap*), chmury kłębiaste (*Cu hum*; *Cu med, con*), chmury *Stratocumulus* nad warstwą *Cumulus* i *Stratocumulus cugen* największe udziały miały w ciepłej części roku – głównie latem. *Stratocumulus cugen* pochodzi z rozpostarcia się chmur o budowie pionowej, czyli burzowych lub kłębiastych. Latem największe udziały w przebiegu rocznym miały chmury o genezie konwekcyjnej. Chmury konwekcyjne (*Cumulus*, *Cumulonimbus*) powstają podczas chwiejnej stratyfikacji atmosfery,

kiedy to występować mogą silne prądy wstępujące. Do powstania chmur burzowych niezbędna jest obecność wilgotnych i ciepłych mas powietrza (Ponomarev i in. 2005). Chmury kłębiasto-warstwowe (*Sc fra*; *St neb*) największe udziały w przebiegu rocznym miały natomiast w chłodnej części roku, głównie zimą.



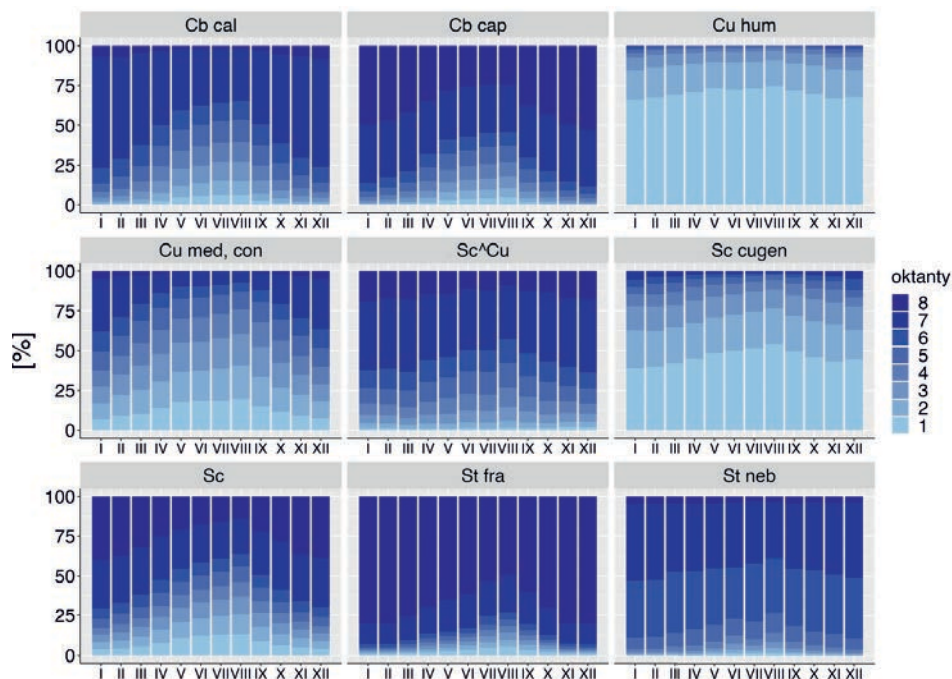
Ryc. 8. Przebieg roczny udziału chmur piętra niskiego w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 8. The annual course of the share of low-level clouds in Poland in 1996–2020

Udział wielkości zachmurzenia niskiego dla poszczególnych chmur piętra niskiego w przebiegu rocznym przedstawiono na ryc. 9. Zaobserwowano tendencję wzrostu udziału zachmurzenia małego dla poszczególnych chmur piętra niskiego w okresie letnim, głównie w sierpniu, i wzrostu wielkości zachmurzenia niskiego zimą. Tendencja ta jest najbardziej wyraźna dla chmur *Cumulonimbus capillatus*, *Cumulonimbus calvus* i *Stratocumulus*. Struktura zachmurzenia zmienia się w ciągu roku, dlatego też najmniejsza wielkość zachmurzenia niskiego latem może być tłumaczona tym, że w cieplej porze roku chmury są bardziej izolowane, występują częściej pojedynczo, natomiast zimą tworzą bardziej zwarte warstwy zachmurzenia.

Podobnie jak w przypadku przebiegów rocznych (ryc. 8), stwierdzono wyraźną cykliczność w przebiegach dobowych udziału chmur piętra niskiego (ryc. 10). Chmury burzowe (*Cb cal*; *Cb cap*), chmury kłębiaste (*Cu hum*; *Cu med, con*), chmury *Stratocumulus* nad warstwą *Cumulus* i *Stratocumulus cugen* największe udziały miały w godzinach popołudniowych, czyli w najcieplejszej porze dnia. Cykl życia chmur burzowych często zaczyna się od chmur *Cumulus humilis*, które tworzą się najczęściej nad ranem. Gatunek ten przy sprzyjających warunkach przeobraża się w bardziej wypiętrzone gatunki chmur *Cumulus mediocris* i *congestus*. Przy silniejszej konwekcji chmury *Cumulus* przeobrażają się w chmury burzowe – *Cumulonimbus calvus*, a następnie *Cumulonimbus capillatus*. Chmury

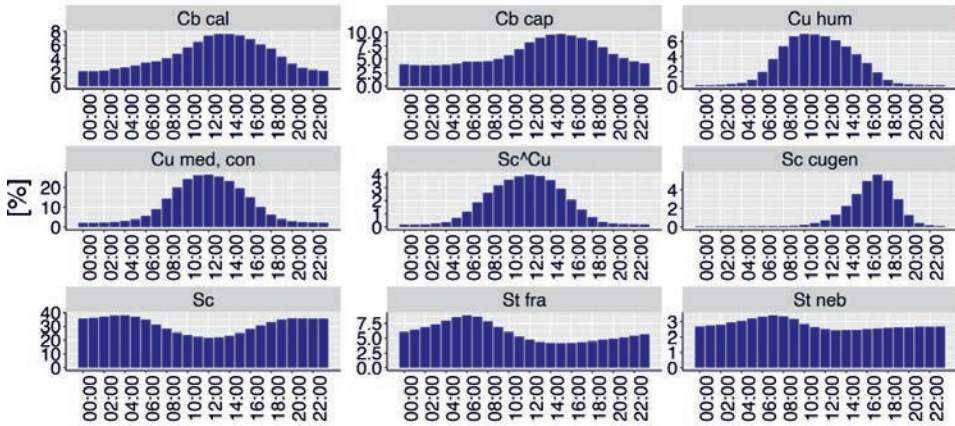
kłębiaste zanikają podczas zachodu słońca lub przekształcają się w chmury kłębiasto-warstwowe (Matuszko 2014a). Chmury kłębiasto-warstwowe (*Sc*) i warstwowe (*Stfra*; *Stneb*) największe udziały w przebiegu dobowym miały natomiast w godzinach nocnych i wczesnorannych (gdzie temperatura powietrza w ciągu doby jest najniższa), a najmniejsze po południu.



Ryc. 9. Udział wielkości zachmurzenia niskiego dla chmur piętra niskiego w przebiegu rocznym (objaśnienia nazw tab. 1 i tab. 2)

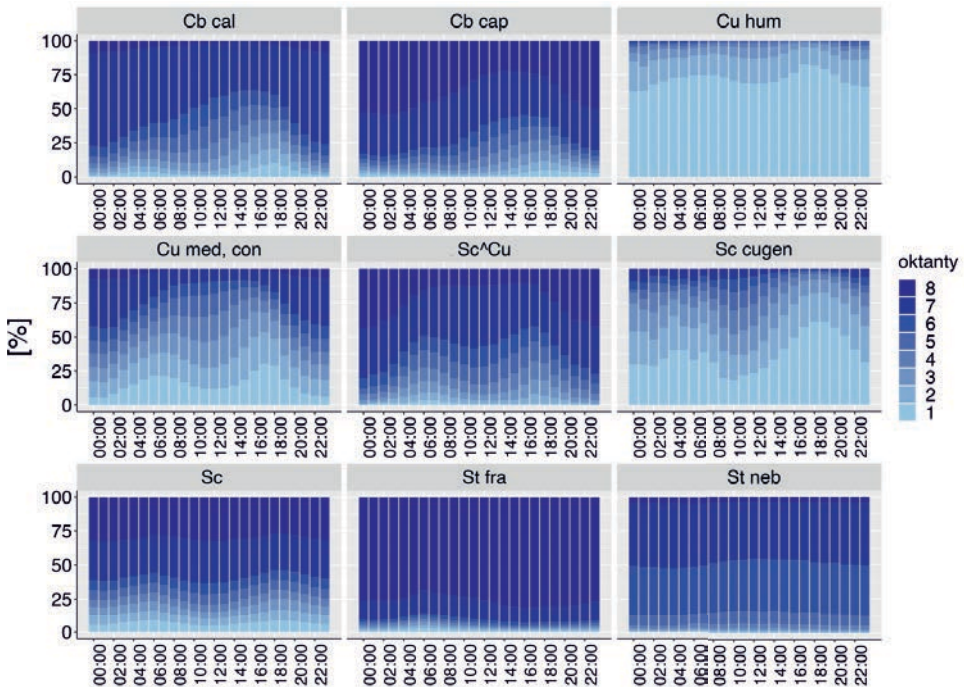
Fig. 9. Share of the amount of low cloudiness for low-level clouds in the annual course (explanations of names in tab. 1 and tab. 2)

Udział wielkości zachmurzenia niskiego dla poszczególnych chmur piętra niskiego w przebiegu dobowym przedstawiono na ryc. 11. Zaobserwowano tendencję wzrostu udziału zachmurzenia małego dla poszczególnych chmur piętra niskiego w godzinach wczesnorannych i popołudniowych. Zachmurzenie całkowite i duże występowało najczęściej w porze nocnej. Tendencja ta nie jest obserwowana jedynie w przypadku chmur *Stratus fractus* i *Stratus nebulosus*, których udziały wielkości zachmurzenia w przebiegu dobowym są stosunkowo niezmiennie. Struktura zachmurzenia zmienia się również w ciągu doby, dlatego też największy udział zachmurzenia małego w godzinach popołudniowych może być tłumaczony tym, że w cieplejszej porze dnia chmury są bardziej izolowane. Nocą tworzą bardziej zwarte warstwy zachmurzenia, dlatego też udział zachmurzenia niskiego całkowitego i dużego jest wtedy największy.



Ryc. 10. Przebieg dobowy udziału chmur piętra niskiego w Polsce w latach 1996–2020

Fig. 10. Daily course of the share of low-level clouds in Poland in 1996–2020



Ryc. 11. Udział wielkości zachmurzenia niskiego dla chmur piętra niskiego w przebiegu dobowym w czasie UTC (objaśnienia nazw tab. 1 i tab. 2)

Fig. 11. Share of the amount of low cloudiness for low-level clouds in the daily course in UTC time (explanations of the names in tab. 1 and tab. 2)

DYSKUSJA

Największy udział chmur (67%) i najmniejszy udział piętra niewidocznego (2%) stwierdzono w piętrze niskim. W piętrze średnim wystąpił największy udział braku chmur (37%). Dla piętra wysokiego zaobserwowano najmniejszy udział chmur (25%) i największy udział piętra niewidocznego (47%). Filipiak i Miętus (2009) odnotowali, że w przypadku badanych przez nich stacji w Polsce dla większości z nich udział braku chmur w piętrze niskim wynosił około 30%, w piętrze średnim 35–38%, a w piętrze wysokim 26–32%. Potwierdza to wyniki otrzymane w niniejszej pracy. Szczapiński i in. (2022) w opracowaniu dla Poznania w latach 2010–2019 otrzymali zbliżone wyniki jak w niniejszej analizie. Wskazali, że w piętrze niskim dla zaledwie 1% sytuacji nie stwierdzono wystąpienia chmur. Dla piętra średniego udział braku chmur w Poznaniu wynosił 28%, natomiast dla piętra wysokiego 27%. Stwierdzono zwiększenie liczebności chmur *Stratocumulus* w analizowanym wieloleciu zwłaszcza w sezonie zimowym. Dla chmur *Altostratus* i *Nimbostratus* zaobserwowano wyraźne zwiększenie się ich liczebności w lipcu i sierpniu od 2011 roku. Stwierdzono, że chmury burzowe (*Cumulonimbus capillatus* i *Cumulonimbus calvus*) zmniejszają swoją liczebność w analizowanym wieloleciu głównie latem. Matuszko i in. (2022) w latach 1971–2020 dla chmur *Stratocumulus* zaobserwowali znaczny wzrost udziału występowania, co potwierdza otrzymane wyniki. Dla chmur *Altostratus* i *Nimbostratus* autorzy wskazują spadek ich liczebności w latach 1971–2020, natomiast w tejże pracy w latach 1996–2020 dla tych chmur zaobserwowano wzrost ich liczebności. Matuszko i in. (2022) stwierdzili zwiększenie częstości występowania chmur *Cumulus* i *Cumulonimbus*, natomiast Szyga-Pluta (2022) w analizie dla Poznania zaobserwowała spadek ilości chmur *Cumulonimbus*, co jest zgodne z otrzymanymi wynikami. Szyga-Pluta (2022) odnotowała większy udział chmur *Stratocumulus* zimą oraz chmur kłębiastych i burzowych wiosną i latem, taki sam rezultat otrzymano w niniejszej pracy. Matuszko i in. (2022) odnotowali największą średnią miesięczną liczbę dni z chmurami warstwowymi i kłębiasto-warstwowymi zimą, najmniejszą natomiast latem, takie same wyniki dotyczące udziałów występowania tych chmur uzyskano w tejże pracy. W niniejszym opracowaniu stwierdzono największy udział chmur *Cumulus* i *Cumulonimbus* latem oraz w porze popołudniowej, do podobnych wyników doszli Matuszko i in. (2022).

PODSUMOWANIE

W Polsce w latach 1996–2020 największy udział spośród pięter wysokości chmur miało piętro najniższe (56%), następnie średnie (23%), a najmniejszy wysokie (21%). Analiza pięter zachmurzenia wykazała, że największy udział chmur wystąpił w piętrze niskim (67%). Największy udział braku chmur cha-

rakteryzowało piętro średnie (37%). Piętro niewidoczne ze względu na przyśłonięcie przez chmury niższych pięter największy udział miało w najwyższym piętrze chmur (47%). Stwierdzono istotne statystycznie zmiany udziału chmur w piętrze niskim, średnim i wysokim w przebiegu wieloletnim. Odnotowano niewielki spadek udziału chmur piętra niskiego i wzrost udziału piętra średniego i wysokiego w analizowanym wieloleciu. Największą zmianę stwierdzono w piętrze średnim, w którym wzrost wyniósł 0,09%/10 lat. Wieloletni przebieg udziału pięter zachmurzenia charakteryzował się przewagą w udziale chmur piętra niskiego nad piętrzem średnim i wysokim. Udziały chmur piętra średniego w większości lat były większe niż udziały chmur piętra wysokiego. Przebieg roczny udziału chmur w piętrze niskim, średnim i wysokim wykazywał wyraźną sezonowość. Największy udział chmur piętra niskiego przypadał w chłodnej porze roku, najmniejszy natomiast w okresie letnim. Odmiennym przebiegiem rocznym charakteryzowały się piętro średnie i wysokie. Dla tych pięter największe udziały stwierdzono w okresie letnim, natomiast najmniejsze zimą. Przebiegi dobowe udziału chmur w piętrze niskim, średnim i wysokim charakteryzowały się wyraźną cyklicznością. Największy udział chmur piętra niskiego obserwowano w godzinach okołopołudniowych i nocnych, najmniejszy w godzinach wczesnorannych i wczesnowieczornych. Chmury piętra średniego i wysokiego charakteryzowały się największym udziałem w godzinach wczesnowieczornych i wczesnorannych. Najmniejszy udział chmur piętra średniego obserwowano w godzinach okołopołudniowych, w przypadku chmur piętra wysokiego były to godziny nocne.

Chmury deszczowe *Altostratus* i *Nimbostratus* występowały najczęściej w cieplej porze roku, stwierdzono wzrost ich liczebności w analizowanym wieloleciu w porze cieplej, zwłaszcza w lipcu i sierpniu. Chmury burzowe *Cumulonimbus* występowały głównie w lecie, ich liczebność w analizowanym okresie zmniejszyła się. *Stratocumulus*, czyli najczęściej występujące chmury w Polsce, zwiększyły liczebność w analizowanym wieloleciu w sezonie zimowym. W badanym wieloleciu chmury *Cirrus* różnych gatunków zwiększyły swoją liczebność w cieplej części roku, zimą nie zaobserwowano większych zmian.

Przy zachmurzeniu małym piętra niskiego najczęściej obserwowane były chmury *Cumulus humilis* oraz *Stratocumulus cugen*. Udziały chmur *Cumulus* o umiarkowanym i dużym rozwoju w poszczególnych stopniach wielkości zachmurzenia niskiego były w większości wyrównane (około 15%). Chmury *Cumulonimbus capillatus* i *Cumulonimbus calvus*, *Stratocumulus*, *Stratus fractus* i *Stratus nebulosus* oraz warstwa chmur *Stratocumulus* znajdująca się nad chmurami *Cumulus* występowały najczęściej, gdy zachmurzenie niskie było duże i całkowite. Chmury burzowe (*Cb cal*; *Cb cap*), chmury kłębiaste (*Cu hum*; *Cu med, con*), chmury *Stratocumulus* nad warstwą *Cumulus* i *Stratocumulus cugen* największe udziały miały w cieplej części roku, głównie latem i w godzinach popołudniowych, a najmniejsze w chłodnej części roku oraz nad ranem i w nocy. Chmury kłębiasto-warstwowe

(Sc) i warstwowe (*St fra*; *St neb*) największe udziały miały natomiast podczas chłodnej części roku, głównie zimą oraz w godzinach wczesnorannych i nocnych, a najmniejsze udziały latem oraz w godzinach około południa. Struktura zachmurzenia zmienia się w cyklu rocznym i dobowym. Zaobserwowano wzrost udziału zachmurzenia małego dla poszczególnych chmur piętra niskiego w okresie letnim i w godzinach popołudniowych oraz wzrost wielkości zachmurzenia niskiego zimą i w porze nocnej. W cieplej porze roku i dnia chmury są bardziej izolowane, natomiast w chłodnej tworzą bardziej zwarte warstwy zachmurzenia.

LITERATURA

- Adamczyk R., Ustrnul Z., 2006: *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu zachmurzenia ogólnego na obszarze Polski*. Ann. UMCS, Sec. B, 61, 15–23.
- Adamczyk R., 2007: *Oscylacja Północnoatlantycka a wielkość zachmurzenia na obszarze Polski*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*. IGiGP UJ, Kraków, 85–91.
- Bednorz E., Szyga-Pluta K., 2004: *Przyrost grubości pokrywy śnieżnej a występowanie wybranych rodzajów chmur w Polsce północno-zachodniej*. Bad. Fizjogr., Ser. A – Geogr. Fiz., 55, 29–34.
- Curyło A., Kois B., 2010: *Obserwacje chmur a pomiary promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni ziemi*. Pr. Inst. Elektrot., 244, 69–78.
- Filipiak J., Miętus M., 2009: *Spatial and temporal variability of cloudiness in Poland, 1971–2000*. Int. J. Climatol., 29, 1294–1311.
- Howard L., 1804: *On the Modification of Clouds and the Principles of their Production, Suspension and Destruction: Being the Substance of an Essay Read Before the Askesian Society in Session 1802–1803*, J. Taylor: London, https://luckyssoap.com/thegatheringcloud/Howard_modificationofclouds.pdf [dostęp: 10.10.2022].
- Kożuchowski K., 2011: *Klimat Polski. Nowe spojrzenie*. PWN, Warszawa.
- Kożuchowski K., 2012: *Meteorologia i klimatologia*. PWN, Warszawa.
- 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, Gdynia, 141–146.
- Matuszko D., 2003: *Cloudiness changes in Cracow in the 20th century*. Int. J. Climatol., 23, 975–984.
- Matuszko D., 2007: *Zachmurzenie*, [w:] D. Matuszko (red.), *Klimat Krakowa w XX wieku*. IGiGP UJ, Kraków, 75–86.
- Matuszko D., 2009: *Wpływ zachmurzenia na usłonecznienie i całkowite promieniowanie słoneczne na przykładzie krakowskiej serii pomiarów*. Wyd. UJ, Kraków.
- Matuszko D., 2014a: *Chmury jako element krajobrazu*, [w:] W. Ziąja, M. Jodłowski (red.), *Struktura środowiska przyrodniczego a fizjonomia krajobrazu*. IGiGP UJ, Kraków, 139–150.
- Matuszko D., 2014b: *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)*. Atmos. Res., 268.

- 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.
- Michna E., 1957: *Częstotliwość występowania rodzajów chmur w Lublinie*. Ann. UMCS, Sec. B, 10, 6, 301–315.
- Michna E., 1959: *Zachmurzenie Rzeszowa w latach 1947–1958*. Ann. UMCS, Sec. B, 13, 8, 202–218.
- Pluta G., 2013: *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na kształtowanie zachmurzenia (na przykładzie Krakowa, 2004–2008)*. Przegl. Geofiz., 3–4, 185–196.
- Pluta G., 2014: *Cyrkulacyjne uwarunkowania skrajnych wielkości zachmurzenia w zachodniej części Karpat polskich*. Pr. Geogr., 139, 67–78.
- Ponomarev E., Ivanov V.A., Byckov V.A., 2005: *Wielkie pożary w lasach wschodniej Syberii i ich wpływ na proces tworzenia się lokalnych chmur burzowych*. Leśne Pr. Badaw., 4, 19–28.
- Popkiewicz M., Kardaś A., Malinowski S., 2018: *Nauka o klimacie*. Wydawnictwo Sonia Dąga, Warszawa.
- Sypniewska L., Szyga-Pluta K., 2018: *Zmienność czasowa i zróżnicowanie przestrzenne zachmurzenia w Polsce w latach 2001–2016*. Bad. Fizjogr., Ser. A – Geogr. Fiz., 69, 193–213.
- Szczapiński A., Dyszy W., Górna W., Grajek Z., Maćkowiak W., Sobkowiak K., 2020: *Wielkość zachmurzenia w wybranych miastach Polski w latach 2015–2019*, [w:] A. Kostrzewski (red.), *Środowisko przyrodnicze Polski – stan, ochrona, znaczenie turystyki*. Geoprzestrzeń, vol. 3, Bogucki, 47–65.
- 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.), *Środowisko geograficzne wybranych obszarów – stan środowiska, turystyka, edukacja, metody badań*. Geoprzestrzeń, vol. 4, Bogucki, 9–35.
- Szyga-Pluta K., 1999: *Częstość występowania poszczególnych rodzajów chmur w Poznaniu*. Bad. Fizjogr., Ser. A – Geogr. Fiz., 50, 167–174.
- Szyga-Pluta K., 2015: *Circulation influence on cloudiness in Poznań*. Quaes. Geogr., 34 (3), 141–149.
- Szyga-Pluta K., 2022: *Cloudiness and cloud genera variability at the turn of the 21st century in Poznań (Poland)*. Időjárás, 126 (1), 109–125.
- Warren S.G., Eastman R.M., Hahn, C.J., 2007: *A survey of changes in cloud cover and cloud types over land from surface observations 1971–1996*. Journ. of Climate, 20, 717–738.
- Wibig J., 2008: *Cloudiness variations in Łódź in the second half of the 20th century*. Int. J. Climatol., 28 (4), 479–491.
- WMO, 1975: *Manual on the observations of clouds and other meteors Codes – International Cloud Atlas*. Volume I, WMO No. 407.
- Żmudzka E., 2003: *Wielkość zachmurzenia w Polsce w drugiej połowie XX wieku*. Przegl. Geofiz., 3–4, 159–186.
- Żmudzka E., 2006: *Pressure field over Europe and North Atlantic favourable for the occurrence of clear and cloudy days in Poland*. Misc. Geogr., 12, 55–65.
- Żmudzka E., 2007: *Przyczyny cyrkulacyjne zmian zachmurzenia nad Polską (1951–2000)*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*. IGiP UJ, Kraków, 93–102.
- Żmudzka E., 2014: *Wybrane cechy zmienności zachmurzenia nad Polską*. Pr. i Stud. Geograf., 56, 231–249.

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.lodzkie.eu/data/other/slownik_meteo.pdf [dostęp: 26.01.2022].