

# Klimat województwa podlaskiego w czasie globalnego ocieplenia

Andrzej  
Górniak



Białystok 2021

Recenzenci:  
prof. dr hab. Bogusław Michał Kaszewski (UMCS)  
dr hab. Marek Kejna, prof. UMK

Opracowanie graficzne:  
Zbigniew Łaszc

Projekt okładki:  
Janina Knap

Redakcja i korekta:  
Teresa Margańska

Skład i redakcja techniczna:  
Zbigniew Łaszc

© Copyright by Uniwersytet w Białymstoku  
Białystok 2021

ISBN 978-83-7431-694-1

Wydanie publikacji zostało sfinansowane ze środków  
Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej  
w Białymstoku  
oraz Wydziału Biologii Uniwersytetu w Białymstoku

Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku  
ul. Świerkowa 20B, 15-328 Białystok  
tel. (85) 745 71 20, (85) 745 71 02, (85) 745 70 59  
e-mail: [wydawnictwo@uwb.edu.pl](mailto:wydawnictwo@uwb.edu.pl)  
www: <http://wydawnictwo.uwb.edu.pl>

Druk i oprawa: Hot Art Przemysław Zaczek

## Spis treści

1. Wstęp.....	5
2. Charakterystyka fizjograficzna województwa .....	7
3. Metodyka opracowania danych meteorologicznych .....	12

### Część I. Klimat województwa w latach 1995-2019

4. Cyrkulacja i ciśnienie atmosferyczne .....	21
5. Warunki solarne.....	31
Zachmurzenie .....	31
Rodzaje chmur.....	37
Ustonecznienie.....	44
Całkowite promieniowanie słoneczne .....	48
6. Temperatura powietrza .....	51
7. Wiatr .....	65
8. Wilgotność powietrza.....	79
9. Opady atmosferyczne i pokrywa śnieżna .....	87
10. Zjawiska meteorologiczne.....	111
11. Warunki biometeorologiczne.....	121
Warunki agroklimatyczne .....	121
Elementy klimatu a samopoczucie i zdrowie człowieka .....	128
12. Regiony klimatyczne województwa podlaskiego.....	137
13. Jakość powietrza i opadów .....	143

### Część II. Zmieniający się klimat

14. Zmiany klimatyczne północno-wschodniej Polski w aspekcie geologicznym .....	156
15. Historyczne zmiany klimatyczne .....	161
16. Współczesne zmiany klimatyczne północno-wschodniej Polski .....	165
Warunki termiczne .....	165
Zmiany warunków pluwialnych.....	169
Inne zidentyfikowane zmiany klimatyczne .....	171
17. Prognoza regionalnych zmian klimatycznych do 2100 roku .....	178
18. Konsekwencje zmian klimatycznych i niezbędne działania .....	183

19. Zakończenie.....	189
Literatura .....	191
Załączniki.....	202
Słowniczek .....	207
Spis rysunków, mapek i schematów.....	210
Spis tabel.....	215

# 1. Wstęp

---

Mija już 20 lat od ukazania się regionalnej monografii klimatu województwa podlaskiego, utworzonego *de novo* od 1 stycznia 1999 roku zgodnie z nowym podziałem administracyjnym Polski (Górniak 2000). Przedstawione wówczas charakterystyczne cechy klimatu regionu były oparte na pomiarach i obserwacjach meteorologicznych prowadzonych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW – PIB) w latach 1961-1995 oraz uwzględniły wcześniejsze pomiary temperatury powietrza oraz opadów atmosferycznych poczynając od lat 30. XX wieku. Zaproponowany w tej monografii nowy podział województwa na regiony i subregiony klimatyczne znalazł wielu zwolenników i coraz powszechniej jest stosowany w opracowaniach planistycznych oraz pracach naukowych.

Niniejsze opracowanie składa się z dwóch części. W pierwszej opisano cechy klimatu i zmienność parametrów warunków pogodowych województwa podlaskiego w ciągu ostatnich 25 lat, czyli w okresie 1995-2019. Druga część zawiera ocenę wieloletniej zmienności warunków klimatycznych i ocenę tendencji i kierunków zmian w trakcie globalnych zmian klimatycznych. Już ponad 20 lat temu, w poprzedniej monografii klimatycznej województwa (Górniak 2000), wskazywałem na nasilające się zmiany klimatyczne i konieczność ich śledzenia. Monitoring zmian klimatycznych realizowany jest na całym świecie i wnioski z niego płynące w coraz większym stopniu stają się niezbędne ludziom, organizacjom gospodarczym i organom planistycznym. W coraz większym zakresie opracowania klimatologiczne stają się aplikacyjne. Wzrasta też znaczenie informacyjno-ostrzegawcze służby meteorologicznej w krajowych systemach zarządzania kryzysowego. Z drugiej strony, syntezy ze zgromadzonych danych meteorologicznych stają się wykładnią do nowego sposobu gospodarowania i zarządzania środowiskiem w warunkach zmieniającego się rocznego układu pogody, znanego z przeszłości. Postępujące zmiany klimatyczne, których człowiek nie może zatrzymać, a co najwyżej spowolnić, zmuszają do działań dostosowujących się do tych

zmian. Bez nich regiony, kraje czy też kontynenty będą ponosiły znaczące straty gospodarcze, ale też zagrażać życiu mieszkańców Ziemi.

Pogłębiona wiedza na temat regionalnych cech klimatu jest niezbędna w procesie planowania dalszego rozwoju różnych dziedzin życia. Stanowi podstawę do podejmowania strategicznych decyzji przez organy wojewódzkiej administracji państwowej, samorządy oraz indywidualnych przedsiębiorców. Dla zrozumienia działań tych organów zagadnienia klimatologiczne powinny być upowszechniane w społeczeństwie, a szczególnie wśród dzieci i młodzieży.

Niniejsze opracowanie powstało z myślą o szerokiej grupie zainteresowanych problemami środowiska przyrodniczego województwa podlaskiego, na podstawie bogatego już materiału obserwacyjnego IMGW – PIB. Mam nadzieję, że prezentowana publikacja przybliży czytelnikom specyfikę klimatu województwa i dostarczy aktualnych danych, potrzebnych w pracy zawodowej i nauce. Polecamy ją także nauczycielom oraz młodzieży licealnej i akademickiej pogłębiającej wiedzę o środowisku przyrodniczym tej części Polski.

Pragnę gorąco podziękować prof. dr hab. B.M. Kaszewskiemu oraz dr hab. Markowi Kejnie, prof. UMK za wnikliwą recenzję i cenne uwagi oraz sugestie, wzbogacające to opracowanie. Panu mgr inż. Adamowi Więcko dziękuję za wykonanie map opadów i izoterm. Panu P. Dżaków z [www.meteomodel.pl](http://www.meteomodel.pl) dziękuję za udostępnienie przeliczonych danych dobowych temperatury powietrza dla stacji klimatycznych. Wyrazy podziękowania przekazuję wszystkim obserwatorom terenowym i pracownikom stacji synoptycznych w Białymstoku i Suwałkach za ich codzienny trud i systematyczne pomiary. Pracownikom IMGW – PIB z Białegostoku dziękuję za stały dozór i troskę o poprawne funkcjonowanie aparatury pomiarowej. Niniejsze opracowanie nie powstałoby bez ich pracy.

## 2. Charakterystyka fizjograficzna województwa

---

Województwo podlaskie leżące w północno-wschodniej Polsce sąsiaduje od północnego-wschodu z Litwą, od wschodu z Białorusią. Od południa graniczy z województwem lubelskim (gmina Konstantynów), od południowego zachodu z województwem mazowieckim, a od zachodu z województwem warmińsko-mazurskim. Zajmuje powierzchnię 20187 km<sup>2</sup>, co stanowi 6,46% powierzchni Polski.

Najdalej na północ wysuniętym krańcem województwa (54°24'33"N) jest wieś Laskowce w gminie Wiżajny, a punktem wysuniętym najdalej na południe – zakole rzeki Bug (52°16'05"N) w gminie Mielnik. Granica wschodnia województwa osiąga długość geograficzną 23°56'04"E (wieś Zaleszany, gmina Michałowo), a zachodnia 21°36'49"E we wsi Ksebkki (gmina Turośl). Rozciągłość południkowa mierzona od zakola Bugu w gminie Mielnik po granicę litewską w gminie Wiżajny wynosi 237 km. Rozciągłość równoleżnikowa mierzona w prostej linii od wsi Ksebkki po okolice Bobrownik na wschodzie wynosi 158 km. Pokazuje to jednoznacznie, że rozciągłość południkowa województwa jest o wiele większa niż równoleżnikowa.

W granicach województwa istnieją zasadniczo dwie jednostki krajobrazowe. Od północy po dolinę Biebrzy rozciąga się pagórkowaty krajobraz młodoglacjalny, powstały u schyłku ostatniego zlodowacenia bałtyckiego (rys. 1). Młode osady polodowcowe, o zróżnicowanej miąższości, często zaburzone na skutek procesów kriogenicznych i neotektonicznych wznoszą się od wysokości 130 m n.p.m. do prawie 300 m n.p.m. (Ber 2000). Jest to najwyższa część województwa i tam też znajduje się jego najwyższy położony punkt – Góra Rowelska koło Wiżajn o wysokości 298 m n.p.m. Dzięki znacznemu nagromadzeniu różnorodnych form akumulacyjnych oraz licznych rynien i wytopisk polodowcowych, deniwelacje terenu lokalnie dochodzą do prawie 100 m. Tworzy to wraz z licznymi głębokimi jeziorami niepowtarzalny krajobraz polodowcowy. Pod utworami polodowcowymi, w płytko leżącym podłożu krystalicznym (na głębokości około 700-1000 m) zostały dokładnie zinwentaryzowane złoża tytano-wanadonośnych rud ilmenitowo-magnetytowych (Znosko 1993). Podczas głębokich wierceń geologicznych

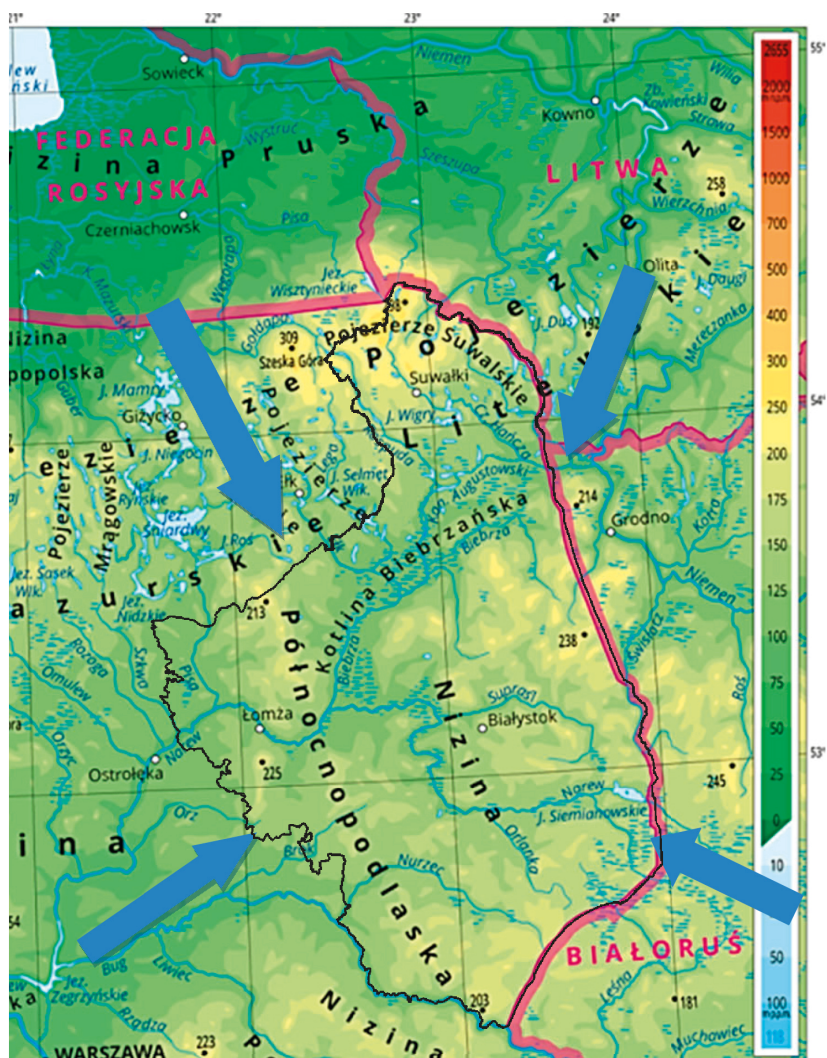
na Suwalszczyźnie (profil Udryń PIG 1) udokumentowano także unikalne w skali Europy pozostałości wieloletniej zmarzliny z czasów zlodowacenia bałtyckiego (Honczaruk, Śliwiński 2011). Region ten według podziału Kondrackiego (1998) zajmują trzy jednostki fizjograficzne: Pojezierze Zachodniosuwalskie, Wschodniosuwalskie oraz od strony doliny Biebrzy – Równina Augustowska (rys. 2). Tę ostatnią jednostkę wyróżnia od pozostałych duże zalesienie, gdyż rozciąga się tutaj Puszcza Augustowska, której wschodnie granice leżą na Białorusi i na Litwie. Obszar pojezierny praktycznie pokrywa się z powiatami ziemskimi – suwalskim i sejneńskim oraz powiatem grodzkim – Suwałki. W makroskali, Pojezierze Suwalskie stanowi wyraźne wyniesienie ponad otaczające obniżenia, dlatego utrudnia penetrację mas powietrza z północy, a raczej preferowane są kierunki północno-wschodni i północno-zachodni (rys. 1). Zachodni kraniec województwa to kilkukilometrowy pas Pojezierza Elckiego oraz rozległa torfowo-piaszczysta Równina Kurpiowska, sięgająca aż do doliny Narwi.

Pozostała część województwa to piaszczysto-gliniaste pagórkowate wysoczyzny i równiny staroglacjalne, oddzielone od siebie rozległymi dolinami trzech najważniejszych rzek regionu: Biebrzy, Narwi i Bugu. Pod nimi zachowały się osady trzech wcześniejszych zlodowaceń i okresów interglacjalnych. Najwyższe z nich to przygraniczne Wzgórza Sokólskie oraz Wysoczyzna Kolneńska (rys. 2). Deniwelacje terenu rzadko przekraczają 50 m, a największe z nich są związane z kemami i ozami wyróżniającymi się od otaczających wytopisk i równin denudacyjnych (Musiał 1992, Banaszuk 1996). Lokalnie żywa, jak na warunki krajobrazu staroglacjalnego, rzeźba Wysoczyzny Białostockiej jest rezultatem odmiennego od Pojezierza Suwalskiego charakteru deglacji tego terenu. Miała ona charakter aerialny, w przeciwieństwie do frontalnego ustępowania zlodowacenia bałtyckiego (Ber 1972, Musiał 1992). Dawne rozległe misy wytopiskowe, wypełnione obecnie osadami aluwialnymi i torfami, tworzą liczne torfowiska.

We wschodniej części Równiny Bielskiej i Wysoczyzny Białostockiej rozciągają się tereny Puszczy Białowieskiej i Knyszyńskiej. Pozostałe wysoczyzny są w małej części zalesione i wykorzystywane pod uprawy rolne.

Ważnym elementem środowiska przyrodniczego są doliny rzeczne, o różnicowanej szerokości i charakterze zboczy. Dolina Biebrzy ma charakter kotliny





Rys. 1.

Ukształtowanie terenu północno-wschodniej Polski i uprzywilejowane topograficznie kierunki napływu mas powietrza (mapa za zgodą Wydawnictwa Wiking, Warszawa)



**Rys. 2.**

Regiony fizyczno-geograficzne województwa podlaskiego według podziału Kondracikiego (1978); symbolem A oznaczono Dolinę Dolnej Narwi

o skomplikowanej genezie glacialnej. W większości pokryta jest mozaiką torfów i utworów aluwialnych z licznymi wyspami mineralnymi (zwanymi tutaj „grądzikami”), często bogatymi w węgiel wapnia. Miąższość torfów biebrzańskich sięga miejscami do 6 m. Na peryferiach poszczególnych części doliny Biebrzy spotykane są piaszczyste holocenijskie wydmy. Największe z nich występują na zachód od Lipska i Tykocina, a także w rejonie Czerwonego Bagna. Pozostałe doliny rzek są zdecydowanie węższe i w wielu miejscach mają charakter przełomów, np. Dolina Dolnej Narwi koło Łomży i Podlaski Przełom Bugu. Na przemian występujące odcinki przełomowe i proste doliny doprowadziły do charakterystycz-

nego meandrującego biegu rzek z licznymi starorzeczami, a na Bugu również ruchomymi łachami rzecznyymi. W górnym biegu Narwi, na terenie Narwiańskiego Parku Narodowego, zachował się unikatowy w skali europejskiej anastomozujący (wielokorytowy) charakter rzeki nizinnej, niespotykany w innych częściach kontynentu. Znaczne wcięcie się doliny Narwi w stosunku do otaczających wysoczyzn sprawia, iż w okolicach Rybaków, w pobliżu ujścia Szkwy znajduje się najniższy położony punkt województwa – 93 m n.p.m.

W województwie podlaskim mieszka ponad 1,18 mln osób (według Głównego Urzędu Statystycznego, stan na 31 grudnia 2018 r.), co sprawia, że średnia gęstość zaludnienia (59 osób/km<sup>2</sup>) jest o ponad połowę mniejsza niż średnia krajowa. Pod względem gęstości zaludnienia województwo jest na 14 miejscu w Polsce. W strukturze użytkowania ziemi blisko 60% stanowią użytki rolne, a lasy i grunty leśne niemal 30%. Należy przy tym zaznaczyć, że 32% powierzchni województwa to obszary prawnie chronione (GUS 2020). Wśród nich są 4 parki narodowe (Białowiecki, Biebrzański, Narwiański, Wigierski), 3 parki krajobrazowe (Puszczy Knyszyńskiej, Doliny Narwi, Suwalski) oraz obszary chronionego krajobrazu i sieć rezerwatów przyrody o zróżnicowanym charakterze i statusie ochronnym.

Efektywnej ochronie przyrody w województwie podlaskim sprzyjają także, oprócz dobrego stanu zachowania seminaturalnych środowisk leśnych i ekosystemów wodnych oraz niewielkiego zaludnienia, mało intensywne rolnictwo (głównie kierunek hodowli bydła mlecznego), słaby rozwój przemysłu przetwórczego, jak również stopniowe wdrażanie zasad ekorozwoju w gospodarce.

### 3. Metodyka opracowania danych meteorologicznych

---

Podstawowy materiał opracowania stanowią średnie wartości miesięczne najważniejszych elementów meteorologicznych z ciągów obserwacyjnych za okres 1995-2019 dla 2 stacji synoptycznych IMGW – PIB w Suwałkach i Białymstoku, 4 stacji klimatycznych w Różanymstoku, Biebrzy (Pieńczykówek), Szepietowie i Białowieży. Na obszarze województwa działają jeszcze 3 inne stacje klimatyczne w Łomży (Marianowo), Supraślu i Jabłonowie-Wypychy, lecz serie pomiarów z tych stacji są nieciągłe lub obejmują ostatnie kilka lub kilkanaście lat.

Przy ocenie absolutnych wartości temperatury powietrza występujących na terenie województwa podlaskiego wykorzystano również dane z innych stacji klimatycznych: w Sejnach, Augustowie, Bielsku Podlaskim, Siemiatyczach, Kolnie i Szczuczynie, funkcjonujących w okresie 1947-1967 (Pióro, 1973).

Serie danych dla okresu 25 lat (od 1995 do 2019 roku) stanowią wystarczający okres, odpowiedni do opracowań klimatologicznych, szczególnie w trakcie postępujących zmian klimatu o charakterze globalnym. Należy podkreślić, że w ostatnich latach znacząco wzrosła jakość zbieranych danych i ciągłość materiału obserwacyjnego. Jest to zasługa wdrażanego w Polsce od lat 90. XX wieku Systemu Meteorologicznej Osłony Kraju (SMOK) i automatyzacji procesu pomiarowego. Udoskonalany jest też sprzęt i aparatura pomiarowa, czego przykładem jest powszechne stosowanie automatycznych deszczomierzy (pluwiometrów), automatycznych urządzeń do pomiaru usłonecznienia i widzialności poziomej. Dawne wiatromierze Wilda zostały zastąpione wiatromierzami sonicznymi (akustycznymi) z automatycznym pomiarem kierunku wiatru. Jednocześnie zmiany urządzeń pomiarowych na stacjach meteorologicznych, szczególnie dotyczy to pomiarów wiatru i usłonecznienia, mogą być jedną z przyczyn powstawania niejednorodności ciągów klimatologicznych (Pruchnicki 1987). Dostęp internetowy do aktualnych danych meteorologicznych stał się powszechny dla wszystkich zainteresowanych (strona [www.meteo.imgw.pl](http://www.meteo.imgw.pl)).

Obliczenia średnich miesięcznych i rocznych temperatury powietrza na 4 stacjach klimatycznych zostały wykonane na podstawie danych pomiarowych IMGW – PIB. Ze względu na zmienną w czasie formułę wyliczenia średniej dobowej, serie pomiarowe są niejednorodne, dlatego dla okresu 1971-1995 zastosowano wartości średnie dobowe temperatury wyliczone według formuły  $T = T_6 + T_{18} + T_{min} + T_{max}$ , czyli takiej, jaką stosuje się obecnie dla stacji klimatycznych IMGW – PIB. Przeliczeń dokonał Piotr Dżaków ([www.meteomodel.pl](http://www.meteomodel.pl)). Dla przypomnienia trzeba dodać, że dla stacji synoptycznych średnia dobowa temperatura jest wyliczana jako średnia z 8 pomiarów: o godz. 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 i 21 czasu UTC. Mapy izoterm średnich rocznych oraz dla stycznia i lipca dla okresu 1995-2019 (załączniki) wykonano w programie SURFER, wykorzystując dane ze stacji pomiarowych zlokalizowanych na terenie województwa podlaskiego, a także ościennych województw oraz Grodna (Białoruś). Były to dane z tego samego okresu dla stacji klimatycznych w Olecku i Pułtusku oraz ze stacji synoptycznych w Mikołajkach, Siedlcach i Terespolu.

Do oceny wieloletnich zmian temperatury powietrza posłużyły zarówno dane z lat 1931-1960, zamieszczone w *Atlasie klimatycznym Polski* (Wiszniewski 1973), jak i wyniki z poprzedniego opracowania klimatu województwa podlaskiego z lat 1961-1995 (Górniak 2000). Charakterystykę zjawisk meteorologicznych w województwie przedstawiono bazując na danych z wielolecia 1995-2019. W prezentowanym opracowaniu przedstawiono także zmienność wielu parametrów pogody w ujęciu średnich dobowych (od godz. 0 do 23) wartości dla kolejnych dni w roku, przy czym pominięto dane z dnia 29 lutego (w 6 latach przestępnych omawianego okresu). Jako że przebieg temperatury powietrza w średnich szerokościach geograficznych w ciągu roku ma w przybliżeniu charakter sinusoidalny, dla stacji synoptycznych w Białymstoku i Suwałkach dokonano aproksymacji modelu temperatury dobowej. Podobnie jak Fortuniak i in. (1998) dokonano analizy harmonicznej sinusoid i określono terminy pojawiania się istotnych fluktuacji temperatury (*in plus* to wyraźne ocieplenia, a *in minus* ochłodzenia) od przebiegu modelu. Przy omawianiu zagadnień termiki powietrza, ciśnienia, zachmurzenia czy gatunków chmur, zaprezentowano dobową zmienność tych parametrów na podstawie pomiarów cegodzinnych (według czasu

uniwersalnego) dla stacji synoptycznych w Białymstoku i Suwałkach. W okresie listopad-marzec czas urzędowy w Polsce różni się o godzinę (np. godz. 12 UTC to godz. 13 urzędowego czasu polskiego), a gdy obowiązuje czas letni, jest to różnica dwóch godzin (np. godz. 14 UTC to godz. 12 czasu w Polsce).

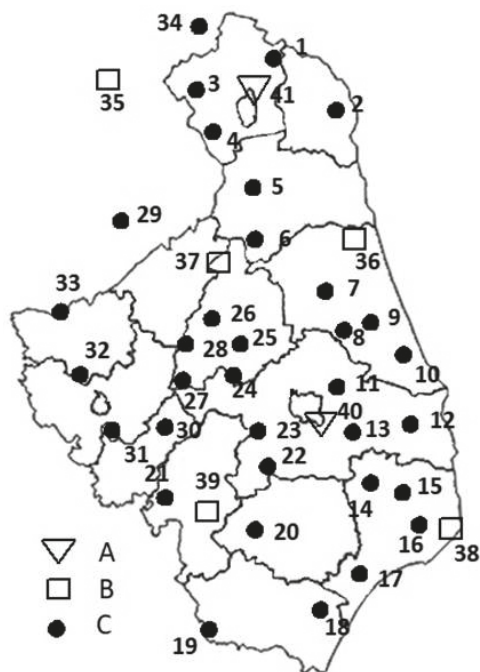
Średnie dobowe wartości temperatury dla stacji synoptycznych wyliczone zostały z 8 terminów obserwacyjnych w ciągu doby, a dla stacji klimatycznych tylko z 3 podstawowych terminów, tj. godziny 7, 13, 19. Średnie dobowe wartości wilgotności względnej powietrza dla stacji synoptycznych wyliczono dla okresu 1995-2019. Wartości temperatury i wilgotności powietrza pochodzą z pomiarów w klatce meteorologicznej umieszczonej na wysokości 2 m nad gruntem. Ponadto uwzględniono pomiary temperatury powietrza przy gruncie (5 cm nad powierzchnią terenu).

Pomiary opadów atmosferycznych są wykonywane w województwie podlaskim przez 2 stacje synoptyczne, 4 zautomatyzowane stacje klimatyczne z nadzorem obserwatora oraz w kilkudziesięciu posterunkach opadowych, zlokalizowanych na terenie województwa podlaskiego. W części niniejszego opracowania dotyczącej opadów atmosferycznych wykorzystano dane z 38 punktów, stale dokonujących pomiaru sumy opadów w latach 1995-2019 roku z terenu województwa podlaskiego. Wszystkie lokalizacje stacji pomiarów opadu oraz pomiaru innych elementów pogody prezentuje rys. 3 oraz dane spisane w załączniku I.

Do wykreślenia przebiegu izohiet na terenie województwa wykorzystano również dane z posterunków opadowych i jednej stacji klimatycznej, zlokalizowanych w pobliżu jego granic w sąsiednich województwach. Rozmieszczenie uwzględnionych posterunków opadowych i stacji klimatycznych, z których wykorzystano dane, przedstawiono na rys. 3. Gdy porównamy liczbę posterunków uwzględnionych w opracowaniu danych z lat 1995-2019, okazuje się że jest ona o 45% mniejsza w porównaniu do poprzedniego opracowania z 2000 roku. Jest to skutek kolejnych redukcji sieci pomiarowej IMGW – PIB, zapoczątkowanej już w latach 90. ubiegłego stulecia, a sfinalizowanej w 2015 roku. W istniejących sieciach IMGW – PIB pojawiły się więc rozległe obszary bez bieżących pomiarów wielkości opadów atmosferycznych. Szczególnie dotyczy to Równiny Augustowskiej na wschód od Augustowa oraz Wysoczyzny Drohiczyńskiej na południe od Brańska do

doliny Bugu. Najbardziej ubolewam nad zakończeniem pomiarów w miejscowości Sucha Rzecznka w Puszczy Augustowskiej, w której pierwsze pomiary rozpoczęto w latach 70. XIX wieku. Ponadto nie poprawiła się sytuacja w zakresie pełniejszego rozpoznania warunków klimatycznych południowej części województwa, czyli dla powiatów siemiatyckiego i bielskiego oraz na północy dla powiatu sejneńskiego. Dlatego władze województwa oraz IMGW – PIB winny rozważyć odnowienie punktów pomiarowych, szczególnie w celu podwyższenia sprawności centrów zarządzania kryzysowego, tak istotnego w okresie zmian klimatu.

Sporadyczne braki danych pomiarowych dla stacji klimatycznych oraz posterunków opadowych (średnich miesięcznych wartości) uzupełniono na podstawie matematycznych zależności korelacyjnych o największym poziomie istot-



**Rys. 3.**

Rozmieszczenie stacji synoptycznych (A), klimatycznych (B) oraz opadowych (C) IMGW – PIB na tle podziału województwa podlaskiego na powiaty i miasta na prawach powiatów, numeracja stacji jak w załączniku I

ności ( $r^2 > 0,7$ ,  $p < 0,01$ ) między najbliższymi posterunkami posiadającymi pełną serię pomiarową. Brakujące dane wyliczono na podstawie danych z całego wielolecia 1995-2019 dla poszczególnych miesięcy i dla kolejnych par posterunków. Podobna zasada uzupełnienia sporadycznych braków pomiarów serii pomiarowych w skali miesiąca została zastosowana dla innych parametrów pogody.

Pomiary ilości i natężenia opadów należą do trudnych, bowiem opad wykazuje duże cechy niejednorodności przestrzennej. W klimatologii istnieje szereg parametrów opisujących opady. Do nich zaliczamy wielkość opadu, liczbę dni z opadem, liczbę dni z opadem  $\geq 0,1$  mm, liczbę dni z opadem deszczu, śniegu, deszczu ze śniegiem lub gradu, obfitość opadu. W wymienionych powyżej cechach wydzieli się liczbę z dni z opadami śladowymi, gdy opad deszczu, mżawki, śniegu jest niewielki, poniżej zdolności pomiarowej stosowanego sprzętu pomiarowego ( $\geq 0,1$  mm). Na stacjach synoptycznych, przy pomiarach cegodzinnych, detekcja opadów jest znacząco większa niż na stacjach klimatycznych, gdzie suma opadu jest mierzona raz na dobę. Dlatego w opracowaniu posługują się liczbą dni z opadami  $\geq 0,1$  mm. Obfitość opadów została wyliczona jako średnia wysokość opadów w dniach ich występowania, podobnie jak dobowe maksymalne wartości opadów w ciągu 24 godzin (pomiar od godz. 6 czasu UTC do godz. 6 następnego dnia, przypisywany dla dnia rozpoczęcia pomiaru).

Zachmurzenie nieba określane jest w praktyce meteorologicznej w skali oktantowej, czyli od 0 do 8. W opracowaniu prezentowane jest też w procentach zachmurzenia sklepienia niebieskiego, a wartość 100% odpowiada wartości 8 w skali oktantowej.

Wskaźnik Vujevic'a (1956) został wyliczony jako stosunek różnicy średnich opadów maj – lipiec i sierpień – październik do średniej z wielolecia sumy rocznej opadów. Wyliczono także stosunki sumy opadów jesienią do opadów wiosennych oraz stosunek sumy opadów zimowych do sumy opadów letnich. Wyliczono także inne wskaźniki stosowane w klimatologii, takie jak dzielnik Gorczyńskiego, stosunek opadów zimowych do letnich i wiosennych do zimowych. Przy ostatnim wskaźniku suma opadów zimowych była wyliczana z uwzględnieniem danych z grudnia poprzedniego roku kalendarzowego.



Przy opracowaniu średniej częstości wiatru pojawił się znany w klimatologii dylemat, jak przedstawić częstość wiatrów – z uwzględnieniem lub pominięciem udziału ciszy atmosferycznej. Przy wyliczeniach średniej prędkości wiatru cisze atmosferyczne były uwzględniane.

Do analiz statystycznych ciągów danych wykorzystano programy Excel. Wśród wyliczanych cech znalazły się wartości średnie, odchylenie standardowe i odchylenie średnie od wartości średniej. W opracowaniu wykorzystano jedynie wartości wyliczonych współczynników determinacji ( $r^2$ ) o poziomie istotności  $p < 0,005$ , wskazujące na istotność zależności statystycznych między wybranymi parametrami pogody. Ponadto, charakteryzując ciąg danych (miesięcznych lub rocznych), wyliczono współczynnik zmienności jako iloraz odchylenia standardowego i wartości średniej wyrażony w procentach. Ten względny wskaźnik statystyczny jest powszechną miarą rozproszenia wartości zbioru danych (Kosowska-Cezak i in. 2000). Określając charakter wieloletniego trendu wybranych parametrów klimatu, stosowano jedynie analizę trendu liniowego, wyznaczając przy tym współczynnik determinacji i poziom istotności.



# CZĘŚĆ I

## Klimat województwa w latach 1995-2019

---



Fot. Janusz Kupryjanowicz



## 4. Cyrkulacja i ciśnienie atmosferyczne

---

Województwo podlaskie, mimo że jest położone we wschodniej części Polski, znajduje się pod dominującym wpływem zachodniej cyrkulacji mas powietrza, typowej dla umiarkowanych szerokości geograficznych. W Polsce częstość napływu mas powietrza z kierunku zachodniego wynosi w skali roku blisko 36%, a ze wschodniego 29% (Woś 1996, za Kolendowiczem 1994). Jest to skutek oddziaływania na Europę Środkową dwóch dominujących ośrodków barycznych: Nizu Islandzkiego i Wyżu Azorskiego. Obliczenia na podstawie kalendarza typów cyrkulacji atmosferycznej w Polsce w latach 1961-1990, opracowanego przez Stępniewską-Podrażkę (1991), wskazują na dominację w skali roku cyrkulacji antycyklonalnej (średnio 149 dni) nad cyklonalną (117 dni). Cyrkulacja przejściowa trwa przez 23% roku, a siodło baryczne nad naszym krajem utrzymuje się średnio przez 18 dni. W ciągu roku jedynie w listopadzie liczba dni z niżami jest większa od liczby dni z wyżami. W sierpniu, wrześniu i październiku cyrkulacja wyżowa występuje niemal dwukrotnie częściej niż niżowa (rys. 4, 5).

Z układami niskiego ciśnienia w strefie umiarkowanej związane jest występowanie frontów atmosferycznych. Z analiz Sykulskiego i Bielec-Bąkowskiej (2017) wynika, że nad północną Polską częstotliwość frontów atmosferycznych jest większa niż na południu Polski. W północnej części województwa podlaskiego pogoda kształtowana przez fronty atmosferyczne występuje średnio przez 137 dni w roku, czyli przez 1/3 roku (37%) (tab. 1).

Najczęściej występują one w chłodnej porze roku – od listopada do stycznia, przez więcej niż 40% dni w miesiącu. Jest to związane ze szlakami niżów atlantyckich, często dość głębokich, przemieszczających się z zachodu na wschód lub północny wschód. W lutym i sierpniu fronty atmosferyczne pojawiają się najrzadziej, bowiem w tym okresie układy antycyklonalne znad Rosji są silnie rozbudowane i ograniczają migrację niżów na wschód.

**Tabela 1.**

Średnia miesięczna liczba dni z występowaniem frontów atmosferycznych w Suwałkach w latach 2006-2015 według Sykulskiego, Bielec-Bąkowskiej (2017).

miesiące	fronty atmosferyczne					dni bez frontu
	chłodny	ciepły	zokludowany	inne	razem	
styczeń	3,4	2,8	3,9	2,0	12,1	18,9
luty	2,5	2,1	3,6	1,3	9,5	18,7
marzec	4,2	3,0	2,7	2,0	11,9	19,1
kwiecień	4,5	2,3	2,5	1,6	10,9	19,1
maj	5,1	2,8	2,0	2,1	12,0	19,0
czerwiec	4,1	2,1	2,6	1,7	10,5	19,5
lipiec	4,4	2,3	2,4	1,7	10,8	20,2
sierpień	4,9	2,2	2,3	1,0	10,4	20,6
wrzesień	4,4	2,7	1,9	0,8	9,8	20,2
październik	5,1	2,4	2,3	1,4	11,2	19,8
listopad	4,5	4,0	3,9	1,8	14,2	15,8
grudzień	4,6	4,0	2,7	2,0	13,3	17,7
rok	51,7	32,7	32,8	19,4	136,6	228,6

Podobnie jak całym kraju, na terenie województwa podlaskiego fronty chłodne występują częściej od pozostałych rodzajów frontów, a fronty ciepłe i zokludowane są obecne w roku z podobną częstością (tab.1). Fronty ciepłe występują częściej w chłodnej porze roku niż w ciepłej, natomiast fronty chłodne odwrotnie, częściej w porze ciepłej niż w chłodnej. Podobna częstość występowania frontów ciepłych i zokludowanych w rejonie Suwałk wskazuje, że nad północno-wschodnią Polską układy niżowe przemieszczają się dalej na wschód.

Jednocześnie podczas przemieszczania się frontów chłodnych czy zokludowanych obserwuje się nasilenie ekstremalnych zjawisk pogodowych, których niekorzystne dla człowieka skutki stają coraz większe. Pojawiająca się przy frontach ekstremalna prędkość wiatru, natężenie i suma opadów czy wyładowania atmosferyczne, w wielu przypadkach stanowią zagrożenie dla człowieka oraz infrastruktury energetycznej i gospodarczej.

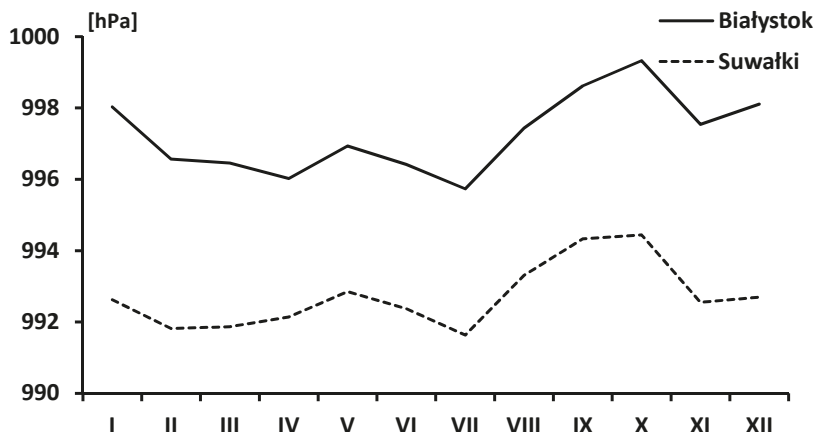
Na powierzchni Ziemi ciśnienie atmosferyczne zależy również od wysokości bezwzględnej, tj. wysokości w stosunku do poziomu morza. Dlatego największe rzeczywiste wartości ciśnienia atmosferycznego występują na obszarach najniższej położonych, a więc w województwie podlaskim – w jego południowo-zachodniej części. Ponadto północna część województwa częściej znajduje się na drodze przemieszczania się niżowych centrów barycznych niż część południowa, która charakteryzuje się generalnie większymi gradientami ciśnienia. Potwierdzeniem tego są wyniki pomiarów wykonywanych na stacjach meteorologicznych IMGW – PIB (tab. 2).

W Białymstoku średnia roczna wartość ciśnienia atmosferycznego na poziomie stacji za okres 1995-2019 wynosiła 997,3 hPa, a w Suwałkach jedynie 992,7 hPa, czyli o 4,6 hPa mniej. Najniższa wartość ciśnienia zanotowana podczas pomiarów terminowych w Białymstoku w omawianym okresie wyniosła 952,6 hPa, a w Suwałkach 945 hPa. Wartości maksymalne wyniosły odpowiednio 1033,1 hPa i 1028,7 hPa. Suwałki to także miejsce, gdzie 3 stycznia 1993 roku odnotowano rekordowo wysokie ciśnienie atmosferyczne w Polsce. Po zredukowaniu do poziomu morza wynosiło wówczas 1053 hPa (Roth 2000, według zestawienia H. Lorenc).

**Tabela 2.**

Średnie miesięczne ciśnienie atmosferyczne (na poziomie stacji) w latach 1995-2019

parametr	Białystok				Suwałki			
	średnia	max.	min.	różnica	średnia	max.	min.	różnica
średnia roku	997,3	998,9	995,2	3,7	992,7	994,5	991,0	3,5
amplituda roku	53,3	65,2	42,5	22,7	61,6	72,6	47,9	24,7
średnia dobową	997,3	1031,9	959,9	72,0	992,7	1027,8	952,0	75,8
amplituda doby	5,4	37,8	0,6	37,2	5,6	39,2	0,7	38,5
pomiar terminowy		1033,1	952,6	80,5		1028,7	945,0	83,7
zmiana w ciągu 1 h		7,5	-3,9	11,4		5,7	-4,4	10,1



**Rys. 4.**

Uśredniony przebieg roczny ciśnienia atmosferycznego (na poziomie stacji) w latach 1995-2019

Wieloletnia zmienność ciśnienia atmosferycznego na terenie województwa podlaskiego nie jest znaczna, gdyż różnice między średnimi rocznymi wartościami tego elementu klimatu na obu analizowanych stacjach IMGW – PIB nie przekraczają 4 hPa (tab. 2).

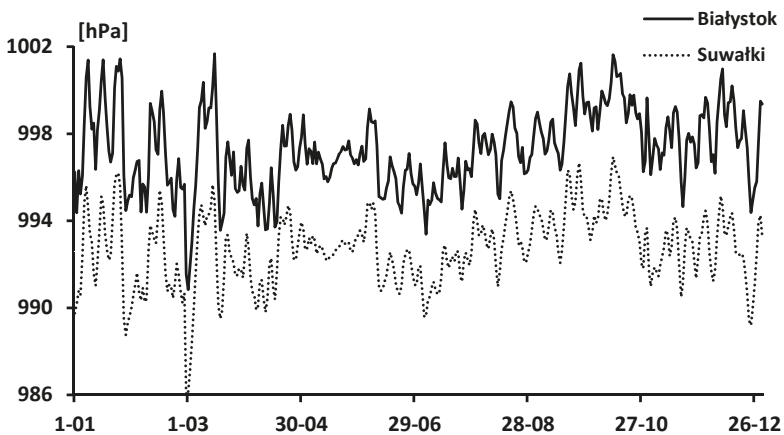
W przebiegu średnich miesięcznych wartości ciśnienia atmosferycznego największe wartości występują w maju i październiku. Wyraźnie mniejsze ciśnienie w Białymstoku występuje natomiast w kwietniu, lipcu i listopadzie, a w Suwałkach obniżone wartości występują w lutym, zamiast minimum kwietniowego (rys. 4).

Rzeczywistą zmienność ciśnienia atmosferycznego w ciągu roku lepiej pokazuje wykres ze średnimi wartościami ciśnienia wyliczonego dla każdej doby w ciągu roku oraz przebieg wartości znormalizowanych (rys. 5, 6). Okres jesienno-zimowy cechuje się większą dynamiką zmian tego parametru pogody w porównaniu do okresu wiosenno-letniego, ale przebieg średnich ma podobny charakter. Bardzo głęboki spadek ciśnienia w dniu 1 i 2 marca, wyliczony w obu stacjach, jest skutkiem wystąpienia w roku przestępnym dnia o wyjątkowym



spadku ciśnienia, o ponad 30 hPa, powodując wystąpienie średnich o dość niskich wartościach.

Wyliczone średnie dobowe wahają się w przedziale około 8 hPa, ale dla wielolecia różnice pomiędzy wartościami ekstremalnymi przekraczają w obu stacjach 80 hPa (tab. 2). Analizując średnie dobowe, rzeczywiste ciśnienie atmosferyczne, na obu stacjach pomiarowych można wyznaczyć 15 cykli barycznych o odmiennej przeciętnej wartości ciśnienia oraz średniej dziennej amplitudy tego parametru (tab. 3). Połowa z tych okresów to cykle podwyższonego, a połowa obniżonego ciśnienia. Od połowy marca do końca lipca panuje ciśnienie atmosferyczne poniżej średniej rocznej. Przy tym okazuje się, że najmniejsze dobowe amplitudy ciśnienia atmosferycznego przypadają na okres ciepły – od kwietnia do października, a największe na okres chłodniejszy – od listopada do marca (tab. 3).



**Rys. 5.**

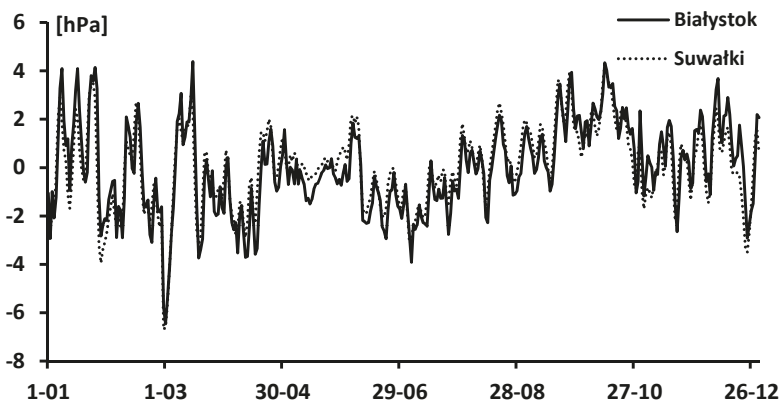
Przebieg średniego dobowego ciśnienia atmosferycznego (na poziomie stacji) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

**Tabela 3.**

Cykle baryczne i ich charakterystyka w latach 1995-2019 w województwie podlaskim; szary odcień oznacza okres obniżonego ciśnienia, pogrubiona czcionka wartości ekstremalne dla obu miejscowości

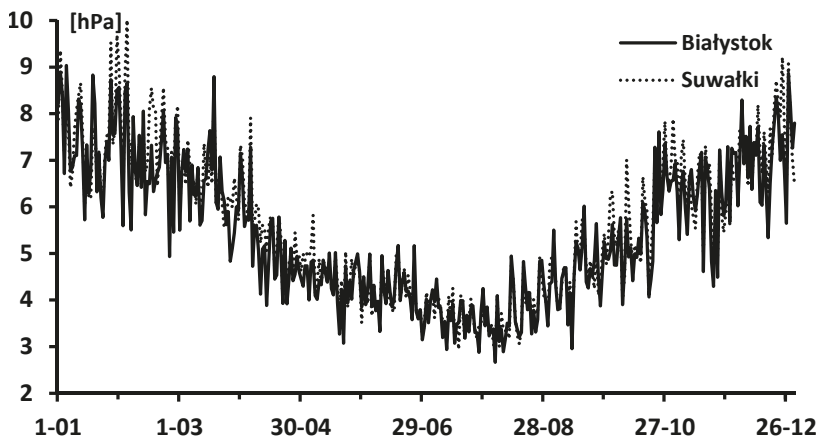
okres	liczba dni	średnia znormalizowana		amplituda dobową [hPa]	
		Białystok	Suwałki	Białystok	Suwałki
01.01-25.01	25	1,21	0,56	7,35	7,36
26.01-08.02	14	-1,79	<b>-2,46</b>	<b>7,49</b>	<b>8,05</b>
09.02-20.02	12	0,52	0,40	6,76	7,33
21.02-02.03	10	-1,78	-1,73	6,87	7,37
03.03-16.03	14	0,90	0,69	6,54	6,64
17.03-05.04	20	-1,26	-0,94	6,22	6,38
06.04-17.04	12	<b>-2,59</b>	-1,92	5,23	5,80
18.04-10.06	54	-0,09	0,52	4,41	4,56
11.06-14.07	34	-1,85	-1,43	3,98	4,00
15.07-30.07	16	-1,12	-1,12	<b>3,58</b>	<b>3,58</b>
31.07-17.09	49	0,24	0,75	3,96	4,03
18.09-26.10	39	<b>2,34</b>	<b>2,20</b>	5,12	5,33
27.10-02.12	37	0,40	-0,03	6,31	6,45
03.12-22.12	20	1,30	0,35	7,00	7,29
23.12-31.12	9	-0,60	-1,12	7,45	7,78

W okresie zimowo-jesiennym amplitudy dobowe ciśnienia są rzędu 7-8 hPa, czyli przeciętnie 2 razy większe od wartości notowanych latem (3-4 hPa). Więcej o większych, krótkookresowych zmianach ciśnienia atmosferycznego, nie zawsze korzystnych dla zdrowia człowieka, czytelnik może znaleźć w rozdziale o bioklimacie.



**Rys. 6.**

Znormalizowany przebieg średniego dobowego ciśnienia atmosferycznego w ciągu roku na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019



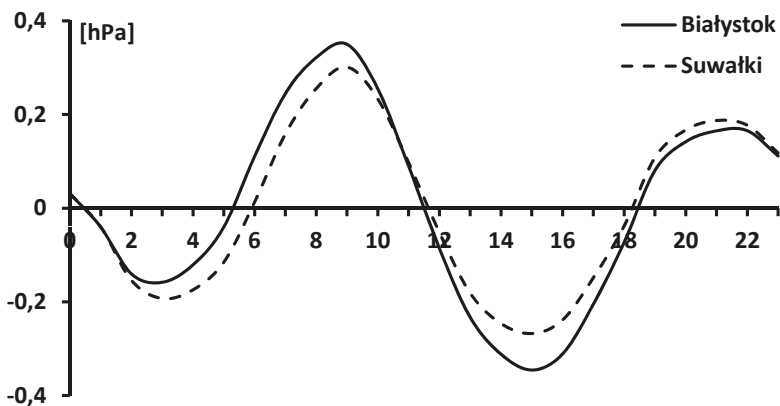
**Rys. 7.**

Przebieg roczny średniej dobowej amplitudy ciśnienia atmosferycznego (na poziomie stacji) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

Na koniec omawiania ciśnienia atmosferycznego, warto wspomnieć o istnieniu systematycznych i bardzo niewielkich fluktuacji ciśnienia w ciągu doby.

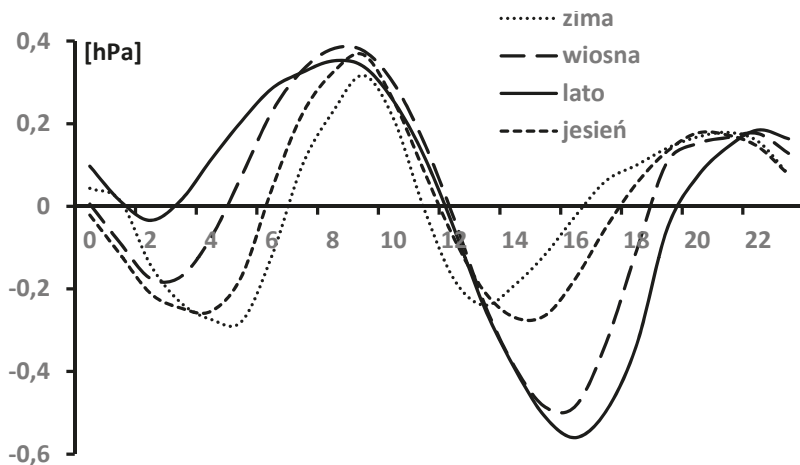
Jeszcze pod koniec XIX wieku, podczas dokładnych pomiarów barometrycznych na kilku stacjach meteorologicznych w USA, udokumentowano występowanie przedpołudniowego maksimum i popołudniowego minimum ciśnienia atmosferycznego w ciągu doby (Chapman, Lindzen 1970). Zjawisko to, zwane w literaturze anglojęzycznej jako *atmospheric / barometric tides* (pływy ciśnienia), jest obecnie lepiej poznane pod względem teoretycznym i udokumentowane wieloletnimi, cegodzinnymi seriami pomiarowymi. Największe dobowe fluktuacje ciśnienia atmosferycznego, niezależnie od typu układów barycznych, podobnie jak pływy morskie, występują dwukrotnie w ciągu doby w strefie okolorównikowej, a ich amplituda stopniowo zmniejsza się ku biegunom (Le Blancq 2011). Przyjmuje się, że jest to efekt działania sił grawitacyjnych i nakładającego się strumienia energii słonecznej w ciągu dnia, docierającego do powierzchni Ziemi. Wywołuje to pojawianie się pływów mas powietrza w troposferze, a tym samym ciśnienia atmosferycznego, które mogą mieć związek z pochłanianiem energii podczas zwiększonego w ciągu dnia promieniowania ultrafioletowego przez ozon. Proces ten jest też obserwowany w Polsce, ale z rzadka opisywany (Fortuniak, Pawlak 2002). Bogaty materiał dla obu stacji synoptycznych na terenie województwa podlaskiego pozwolił na dokładniejsze oszacowanie tego zjawiska, a jego wyniki prezentuje rys. 8.

W ciągu doby pojawiają się dwa „pływy ciśnienia”: przedpołudniowy, o większej amplitudzie, z maksimum o godz. 9 według czasu UTC i minimum o godz. 15, i drugi, z mniejszymi wartościami ekstremalnymi, odpowiednio o godzinie 21 i 3. W nawiązaniu do zmian wielkości fluktuacji wraz ze wzrostem szerokości geograficznej, amplituda fluktuacji w Białymstoku jest o 0,1 hPa większa niż w Suwałkach, a przebieg dobowy tych zmian jest bardzo zbliżony w tym samym momencie maksimum i minimum.



**Rys. 8.**

Dobowe, względne pływy ciśnienia atmosferycznego na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019. Na osi poziomej godziny według czasu uniwersalnego (UTC)



**Rys. 9.**

Dobowe, sezonowe względne pływy ciśnienia atmosferycznego w Białymstoku w latach 1995-2019. Na osi poziomej godziny według czasu uniwersalnego (UTC)

Analiza sezonowego przebiegu pływów ciśnienia w ciągu doby w Białymstoku (rys. 9) wskazuje na zwiększoną amplitudę jesienią i latem (odpowiednio 0,87 hPa i 0,91 hPa) w porównaniu do zimy i wiosny (0,6 hPa i 0,62 hPa). Podobne prawidłowości występują także dla pomiarów ciśnienia w Suwałkach. Sezonowe zmiany amplitudy tego zjawiska potwierdzają wcześniejsze obserwacje Fortuniaka i Pawlaka (2002) w Łodzi, które były zauważalne w danych z trzech lat pomiarów. Natomiast w analizach krótkiej serii dla Łodzi nie stwierdzono innej prawidłowości. Czas wystąpienia maksimum pływów ciśnienia w ciągu doby w poszczególnych porach roku różni się jedynie o dwie godziny, natomiast w przypadku minimum – 4 godziny. Potwierdza to w dużym stopniu pogląd o dominującej roli czynnika radiacyjnego w powstawaniu półdobowych pływów ciśnienia atmosferycznego.

## 5. Warunki solarne

---

### 5.1. Zachmurzenie

Zachmurzenie powstaje w wyniku kondensacji pary wodnej w atmosferze. Jest uwarunkowane rodzajem masy powietrza i modyfikowane przez sezonowe zmiany intensywności promieniowania słonecznego oraz charakterem powierzchni terenu, nad którym występuje. Ten element klimatu jest kształtowany głównie przez makroskalowe procesy cyrkulacyjne (Ustrnul 1994). Wyjaśnienia wieloletniej i sezonowej zmienności zachmurzenia regionu północno-wschodniej Polski należy poszukiwać w procesach i zjawiskach obecnych na całym kontynencie i jego oceanicznych obrzeżach. Takie uwarunkowania zachmurzenia nad Polską zaprezentowała z dużą szczegółowością i dokładnością prof. Elwira Żmudzka w swojej rozprawie z 2007 roku. Wskazuje w niej, że rozkład ciśnienia w sektorze europejsko-atlantyckim tłumaczy do 80% zmienności wielkości zachmurzenia. Nad Polskę docierają masy powietrza generowane nad morzami lub lądami, przede wszystkim ze strefy umiarkowanej, arktycznej i podzwrotnikowej, a z niewielką częstością także zwrotnikowej. Kierunki napływu mas powietrza w ciągu roku są zmienne, bowiem pochodzą z terenów o odmiennej wilgotności czy zróżnicowanej ilości ciepła.

W województwie podlaskim zachmurzenie w ciągu roku jest mało zróżnicowane przestrzennie. Potwierdzają to wyniki obserwacji ze stacji meteorologicznych w Białymstoku i Suwałkach. Średnie roczne wartości zachmurzenia w skali 8-stopniowej są takie same i wynoszą 5,2 (tab. 4). W wieloleciu wartości roczne były dość wyrównane i zmieniały się w zakresie od 4,9 do 5,9 (skala 0-8). Na stacjach klimatycznych z mniejszą ilością obserwacji w ciągu doby istnieje większe zróżnicowanie wartości: zmniejszone zachmurzenie w Biebrzy i nieco większe w Szepietowie w porównaniu do danych ze stacji synoptycznych (tab. 5).

W ciągu roku najwięcej jest dni pochmurnych i o umiarkowanym zachmurzeniu, a przeciętnie w roku jest 4-5 dni całkowicie bezchmurnych i 40-48 dni z całkowitym zachmurzeniem.

**Tabela 4.**

Średnie roczne zachmurzenie oraz średnia roczna liczba dni o zróżnicowanym zachmurzeniu obserwowane na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019

<b>cecha</b>	<b>Białystok</b>	<b>Suwałki</b>
średnie zachmurzenie (skala 0-8)	5,2	5,2
<b>liczba dni w roku</b>		
bezczmurnych	4	5
pogodnych	40	44
o umiarkowanym zachmurzeniu	129	125
pochmurnych	151	142
z zachmurzeniem całkowitym	40	48

**Tabela 5.**

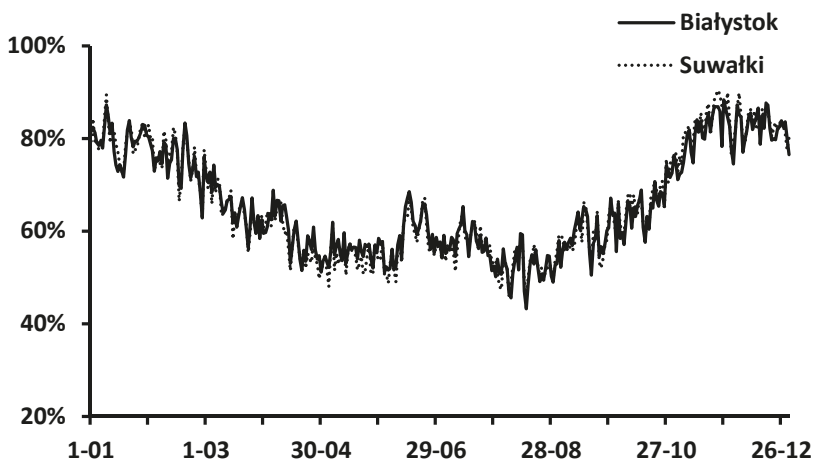
Średnie miesięczne zachmurzenie (%) województwa podlaskiego w latach 1995-2019

<b>miesiąc</b>	<b>Szepietowo</b>	<b>Białystok</b>	<b>Biebrza</b>	<b>Różanystok</b>	<b>Suwałki</b>
styczeń	85,2	81,3	73,5	85,4	81,4
luty	81,2	76,9	67,6	81,5	77,0
marzec	73,2	66,0	55,5	70,7	64,5
kwiecień	64,4	56,5	46,9	60,1	54,7
maj	60,5	54,8	46,2	56,1	53,1
czerwiec	59,8	87,0	45,3	56,5	55,7
lipiec	63,0	56,4	47,3	59,0	55,1
sierpień	59,3	50,4	44,2	55,3	50,2
wrzesień	68,8	56,5	50,7	61,3	55,5
październik	75,7	64,9	58,4	72,2	66,6
listopad	86,8	82,1	76,3	85,5	84,6
grudzień	87,1	81,4	76,4	86,0	82,8
<b>rok</b>	72,1	67,9	57,4	69,1	65,1



Okres od listopada do lutego to część roku o największym zachmurzeniu, przekraczającym średnio 80% nieba pokrytego chmurami, które w miesiącach letnich nie przekracza 60% (tab. 5). Miesiącem o największym zachmurzeniu jest listopad lub grudzień, a sierpień o najmniejszym. Najmniejsze zachmurzenie sierpnia to efekt długiego dnia i przewagi konwekcyjnego rodzaju zachmurzenia, podobnie jak w całej Polsce (Kožuchowski 2011).

Analiza zachmurzenia średnich dobowych, oprócz sezonowości, wskazuje również na istnienie kilku okresów odbiegających wartościami w dłuższym czasie, potwierdzone w obu stacjach synoptycznych (rys. 10). Okresy o zwiększonym zachmurzeniu pojawiają się w terminach 6-17 kwietnia, 10-27 czerwca i 14-24 lipca. Natomiast wyraźnie zmniejszonym zachmurzeniem w województwie cechują się następujące terminy w ciągu roku: 26 kwietnia – 6 maja, 4-10 sierpnia, 16-27 sierpnia i 16-27 września. Okresowe zwiększenie stopnia zachmurzenia trwało dłużej od okresu o mniejszym zachmurzeniu.

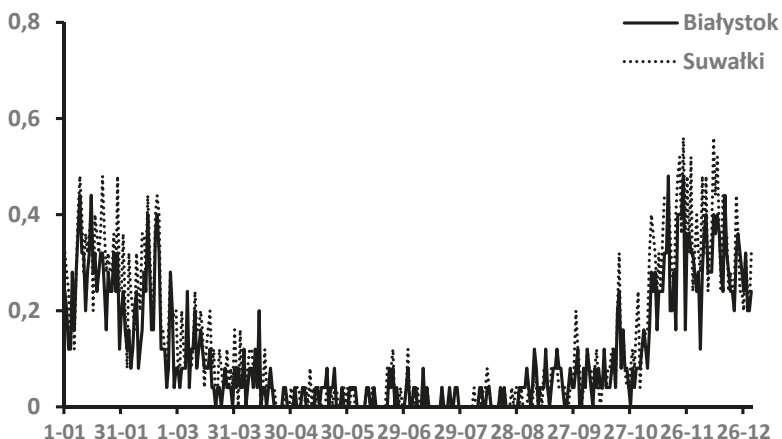


**Rys. 10.**

Średnie dobowe zachmurzenie w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

Dni z całkowitym zachmurzeniem nieba, od listopada do lutego, występują z częstością 20-50% w poszczególnych dniach (rys. 11), a jedynie do 5% w okresie letnim. W połowie kwietnia i trzeciej dekadzie czerwca zaznacza się

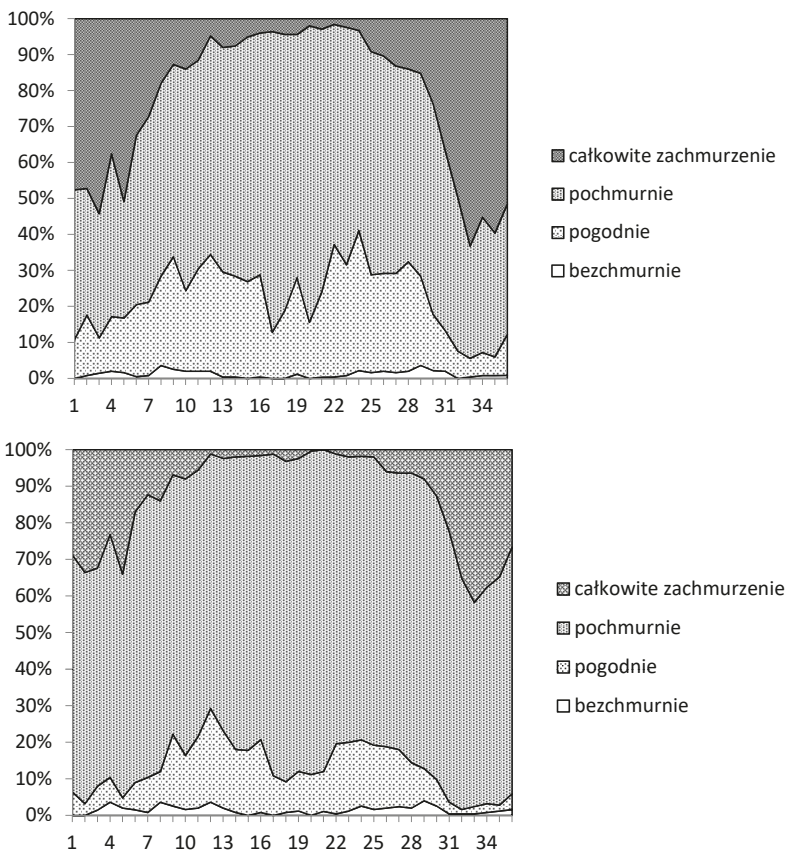
krótkookresowy wzrost częstości dni z całkowitym zachmurzeniem, o czym była mowa powyżej. Połowa kwietnia w województwie podlaskim cechuje się zwiększonym spadkiem średniego ciśnienia podczas przemieszczania się ośrodków niżowych z sektora zachodniego (rys. 6). Natomiast czerwiec, a dokładnie jego druga połowa, zazwyczaj wiąże się tzw. monsunem europejskim, czyli cyklem niżowej pogody przynoszącej zwiększone opady, szczególnie na południu Polski.



**Rys. 11.**

Częstość występowania dni z całkowitym zachmurzeniem (8 w skali oktantowej) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

Biorąc pod uwagę wielkość całkowitego zachmurzenia i częstość występowania w określonym zakresie w układzie dekadowym, można przedstawić zróżnicowanie typów pogody w ciągu na terenie województwa podlaskiego (rys. 12). Bez względu na porę roku stale dominuje pogoda pochmurna, a jej udział w ciągu roku zmienia się od 55 do 65%.

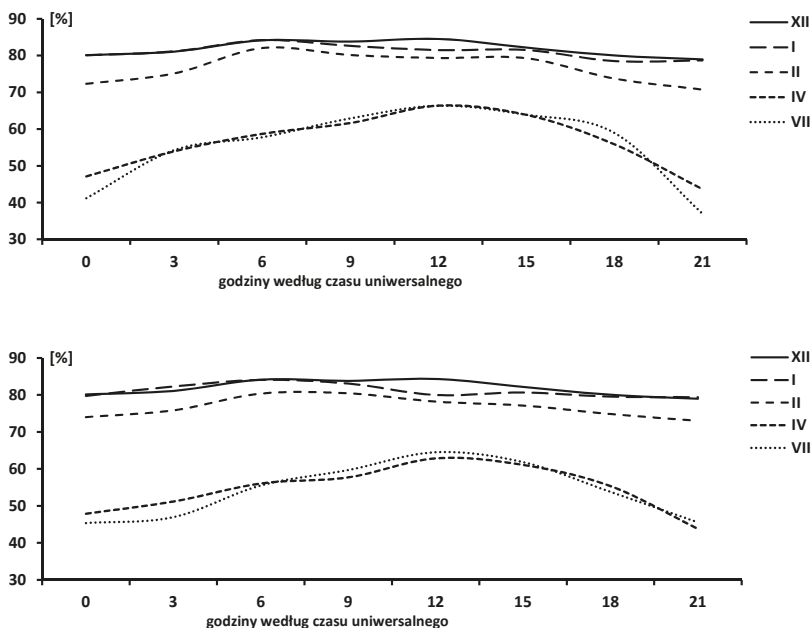


**Rys. 12.**

Częstość pogody o zróżnicowanym zachmurzeniu, dekadami w latach 1995-2019 w Białymstoku (A) i Suwałkach (B)

Od listopada do drugiej dekady lutego, czyli w okresie zimowym, zdecydowanie dominuje pogoda pochmurna, z największym udziałem całkowitego zachmurzenia w ciągu roku. Od trzeciej dekady lutego do końca kwietnia stopniowo wzrasta udział dni pogodnych, przy zmniejszającym się udziale dni z zachmurzeniem całkowitym. Ostatnia dekada marca (9 dekada roku) oraz dwie ostatnie dekady kwietnia (dekada 11 i 12) są w województwie w ciągu roku okresem o największym udziale dni pogodnych. Od maja do października występuje tu

najwięcej dni pogodnych, z najmniejszym w ciągu roku udziałem całkowitego zachmurzenia. W najcieplejszym okresie roku, gdy zachmurzenie konwekcyjne wzrasta, o około 10% zmniejsza się udział dni pogodnych na rzecz dni pochmurnych. W Białymstoku, czyli w środkowej części województwa, uwidacznia się to w mniejszym stopniu niż w regionie Suwalskim (rys. 12). W październiku dni pogodne szybko ustępują na rzecz pełnego zachmurzenia i dalej rozpoczyna się kolejny cykl pogodowy.



**Rys. 13.**

Zmienność zachmurzenia w ciągu doby w wybranych miesiącach w Białymstoku (A) i Suwałkach (B) w latach 1995-2019; wartości średnie dla 8 pomiarów terminowych

Obserwacje na stacjach synoptycznych pokazują także, że dobowy cykl zachmurzenia przebiega odmiennie w zależności od pory roku. W okresie zimowym (grudzień – luty) zmienność zachmurzenia średnio nie przekracza 10%, natomiast latem przekracza nawet 30% (rys. 13). Ponadto w chłodnej porze roku maksimum zachmurzenia nie zawsze przypada na okres dobowego górowania

Słońca, tak jak to ma miejsce latem. W lutym i kwietniu, jak widać na rys. 13, maksimum zachmurzenia przypada na godzinę 6 (czasu uniwersalnego) zarówno w Białymstoku, jak i Suwałkach.

W Białymstoku największą średnią liczbę (4 do 5) dni pogodnych w miesiącu notuje się w maju, marcu i sierpniu, a w Suwałkach w sierpniu, maju i marcu. W obu stacjach synoptycznych najmniejsza liczba dni pogodnych, o średnim zachmurzeniu poniżej 25% sfery niebieskiej, występowała w listopadzie – średnio 1 dzień (rys. 10). W okolicach Suwałk dni pogodnych jest przeciętnie o 4 więcej w roku niż Białymstoku. Średnio w roku występowały one odpowiednio przez 40 i 36 dni (rys. 12).

## 5.2. Rodzaje chmur

Prezentując warunki solarne województwa podlaskiego, w rozdziale 5 określono cechy sezonowości zachmurzenia oraz jego dynamikę w ciągu doby. Systematyczne obserwacje meteorologiczne prowadzone na stacjach synoptycznych obejmują także rodzaje, gatunki i odmiany chmur, zgodnie z ich międzynarodową klasyfikacją. Stosowany system klasyfikacji chmur wydziela 10 ich rodzajów, o cechach wykluczających się nawzajem (Kossowska Cezak i inni 2000). I na tym najwyższym poziomie klasyfikacji będzie zaprezentowany opis warunków nefologicznych województwa podlaskiego. Wyjaśnienia wymaga w opisie łączne potraktowanie rodzajów *Nimbostratus* (*Ns*) i *Altostratus* (*As*), wynikające z klucza kodowania informacji o pogodzie w przesyłanych depeuszach SYNOP (patrz słowniczek). Ze względu na brak osobnego wydzielenia liczby klucza dla chmury *Ns*, oba rodzaje chmur były analizowane łącznie, podobnie jak to uczyniła Żmudzka (2007). Należy pamiętać, że naziemne obserwacje meteorologiczne chmur dotyczą tylko chmur widzianych z danego miejsca, a nie wszystkich znajdujących w troposferze.

Podobnie jak całej Polsce, również w województwie podlaskim dominującym elementem zachmurzenia są chmury piętra niskiego (tab. 6) występujące podczas 69-71% codziennych obserwacji na stacjach synoptycznych województwa. Chmury z pozostałych pięter wysokościowych pojawiają się z mniejszą częstością, a w Białymstoku ich częstość jest większa niż odpowiednich chmur

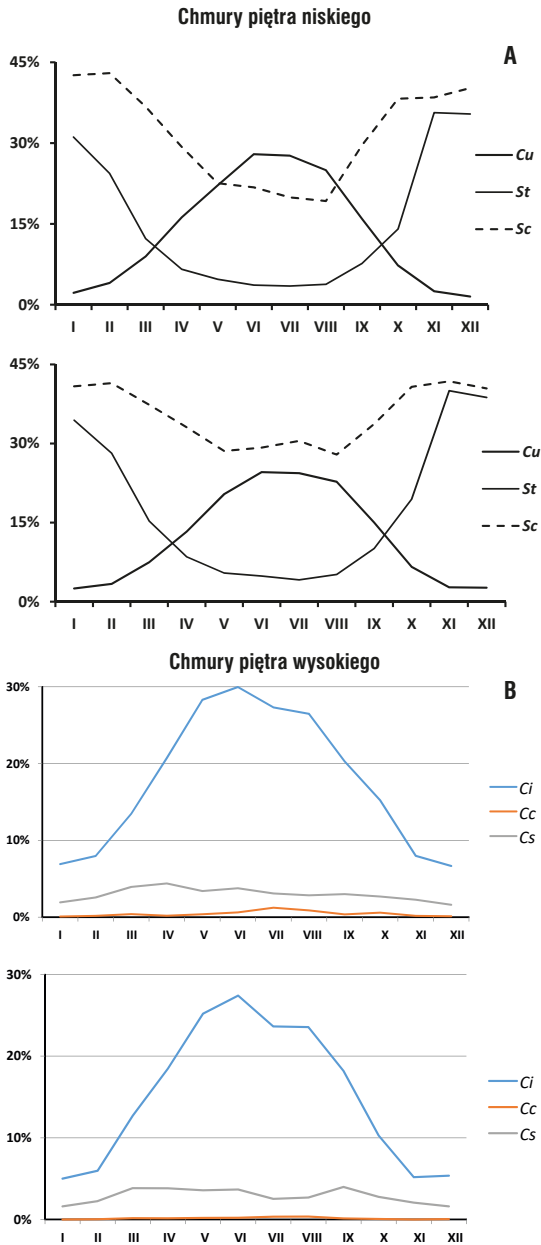
w Suwałkach. W północnej części województwa chmury piętra wysokiego średnio w roku są częściej notowane od chmur piętra średniego, w pozostałej części województwa sytuacja jest odwrotna. Jest to wynik dość wyrównanej w ciągu roku częstości występowania chmur piętra średniego w Suwałkach, przy większej sezonowości chmur wysokich (rys.14). Z poszczególnych pięter dominującymi rodzajami chmur są: *Stratocumulus (Sc)*, *Alto cumulus (Ac)* i *Cirrus (Ci)*.

**Tabela 6.**

Średnia roczna częstość (%) występowania rodzajów chmur w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

chmury		Białystok			Suwałki		
		min.	max.	średnia	min.	max.	średnia
niskie	<i>Cu</i>	13,4	11,3	15,7	11,0	8,9	12,7
	<i>St</i>	15,2	11,0	20,7	17,7	12,0	23,2
	<i>Sc</i>	31,9	26,3	36,7	35,8	24,7	45,1
razem – niskie		60,5	53,6	66,8	66,8	55,1	71,5
średnie	<i>As +Ns</i>	8,3	6,7	11,9	7,4	4,7	10,5
	<i>Ac</i>	16,0	11,7	21,3	8,2	2,2	17,3
razem – średnie		24,4	18,7	29,1	29,1	15,6	7,5
wysokie	<i>Ci</i>	17,3	14,8	19,6	14,8	11,6	17,9
	<i>Cc</i>	0,4	0,1	1	0,1	0,0	0,3
	<i>Cs</i>	3,0	1,7	4,8	2,8	1,4	4,6
razem wysokie		20,7	18,1	23,6	17,7	13,3	22,0
<i>Cb</i>		6,3	4,3	8,3	6,5	4,3	8,1

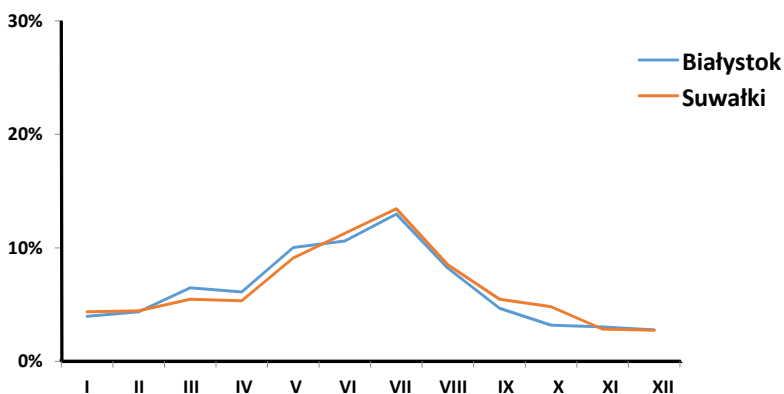
Sezonowość, czyli zróżnicowana częstość w ciągu roku, dotyczy nie tylko wspomnianych już chmur wysokich, ale także chmur niskich. Rodzaje *Stratus* i *Stratocumulus* najczęściej występują w porze chłodnej, a w okresie najcieplejszym ich częstość zmniejsza się o 50% lub więcej (rys. 14). Odwrotnie ma się częstość chmur kłębiastych *Cu* i *Cb*, a szczególnie tej ostatniej, która latem może rozbudowywać się nawet do piętra wysokiego. Od maja do sierpnia *Cu* osiągają w roku największą częstość z maksimum w czerwcu, przy czym w północnej



**Rys. 14.**

Średnia miesięczna częstość występowania chmur piętra niskiego (A) i wysokiego (B) w Białymstoku (górny) i Suwałkach (dolny) w latach 1995-2019

części województwa nie przekraczają częstości występowania chmur *Sc*. W pozostałej części województwa rodzaj *Cumulus* w tym okresie staje się dominantem wśród wszystkich rodzajów chmur (rys. 14). Chmury kłębiasto-deszczowe (*Cb*) swoje maksimum częstości w ciągu roku osiągają miesiąc później niż *Cu*, czyli w lipcu, kiedy to również temperatura osiąga swoje największe wartości (rys. 15). W Białymstoku chmury *Cb* w pierwszej części okresu cieplejszego występowały nieco częściej niż w Suwałkach. Chmury wysokie mają podobny układ sezonowości na obszarze województwa podlaskiego, ale chmury *Ci* częściej występowały w Suwałkach niż w Białymstoku.



**Rys. 15**

Średnia miesięczna częstość występowania chmur *Cb* w województwie podlaskim w latach 1995-2019

Rozpatrując wszystkie rodzaje chmur, struktura zachmurzenia między północną a centralną częścią województwa wykazuje większe zróżnicowanie sezonowe (tab. 7), ale zachowuje ogólny charakter opisany dla Polski przez Żmudzką (2007) dla lat 1966-2000. Na północy województwa w zachmurzeniach zawsze dominowały chmury *Sc*, natomiast w Białymstoku od maja do sierpnia dominantami były początkowo chmury *Cirrus* (maj – czerwiec), a w optimum letnim *Alto-cumulus*. W miesiącach zimowych (styczeń i luty) w obu stacjach synoptycznych struktura zachmurzenia jest zbliżona, a w zachmurzeniu (oprócz *Sc*) zwiększona jest częstość *St* i *As* + *Ns*. Są to typowe chmury frontowe, które dominują w chłod-



nej porze roku i z największymi częstościami występują w północnej części Polski. Jest to charakterystyczny dla strefowej cyrkulacji powietrza zespół chmur, bez względu na kierunek adwekcji w porze chłodnej (Żmudzka 2007). W porach przejściowych, przy zmieniającej się cyrkulacji ze strefowej (patrz słowniczek) na południkową lub odwrotnie oraz, przy zmieniającym się wówczas kierunku wiatru geostroficznego (patrz słowniczek), wśród dominujących rodzajów chmur w Białymstoku był *Ac* (tab. 7). W Suwałkach pojawiają się one tylko jako akcesoryczny składnik zachmurzenia w lecie. Wskazuje to, że ten rodzaj chmury wiązać należy z czasem dominacji cyrkulacji południowej, która na obszarze województwa podlaskiego podlega w tym czasie stopniowemu zmniejszeniu.

**Tabela 7.**

Rodzaje chmur (o średniej częstości >10%) dominujące w poszczególnych miesiącach w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

miesiące	Białystok	Suwałki
styczeń	<b>Sc</b> – St – As +Ns	<b>Sc</b> – <b>St</b> – As +Ns
luty	<b>Sc</b> – St – As +Ns	Sc – St – As +Ns
marzec	Sc – Ci – As +Ns	Sc – St – Ci –As +Ns
kwiecień	Sc – Ci – Ac – As +Ns	Sc – Ci – Cu – Ac
maj	Ci – Ac – Cu – Cb	Sc – Ci – Cu – Ac
czerwiec	Ci – Cu – Ac – Cb – Sc	Sc – Ci – Cu – Ac – Cb
lipiec	Ac – Cu – Ci –Sc -Cb	Sc – Cu – Ci – Ac – Cb
sierpień	Ac – Ci – Cu – Sc	Sc – Ci – Cu – Ac
wrzesień	Sc – Ac – Cu	Sc – Ci – Cu – Ac – St
październik	Sc – Ci – Ac – St	<b>Sc</b> – St – Ci
listopad	<b>Sc</b> – St – As +Ns	<b>Sc</b> – <b>St</b>
grudzień	Sc –Ac – St – Cu – As +Ns	<b>Sc</b> – St – As +Ns

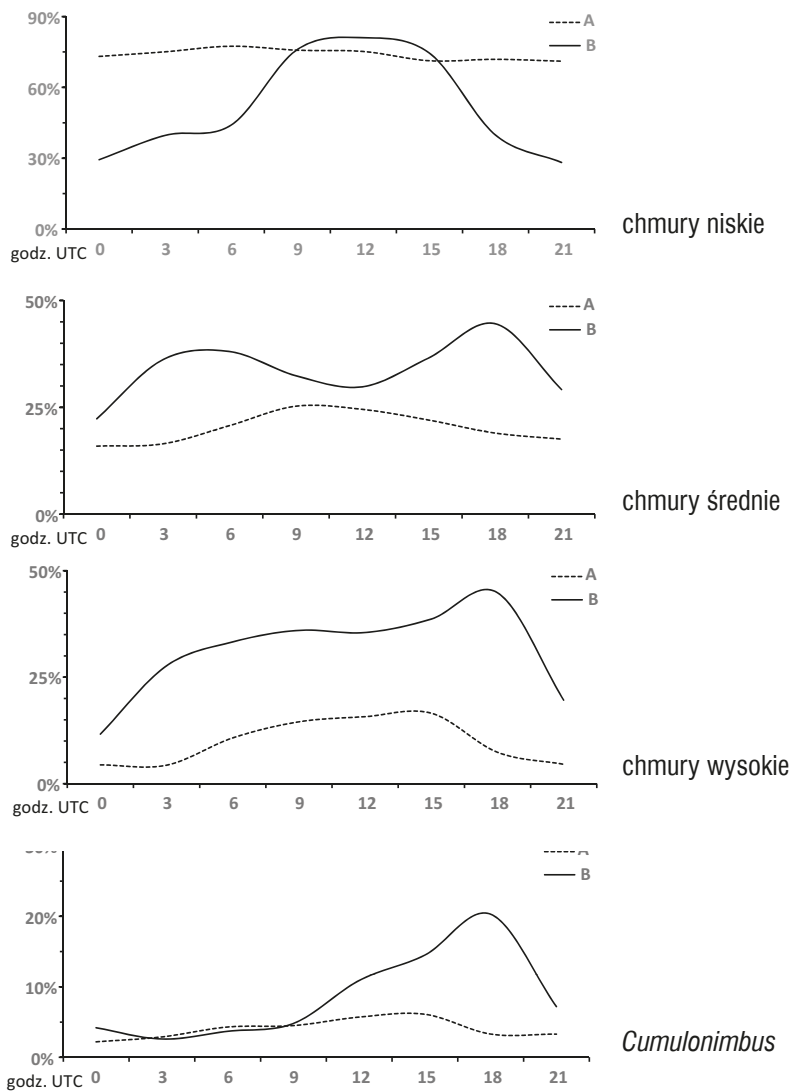
Oprócz sezonowej zmienności rodzajów chmur, dobrze zaznacza się różnicowanie rodzajów chmur w ciągu doby w zależności od pory roku. W ciepłej porze roku występuje wyraźny okołopołudniowy wzrost częstości niskich chmur, a chmury średnie mają dwa mniejsze maksima – na początku i pod koniec dnia

(tab. 8). Chmury wysokie swoje maksimum częstości osiągają późnym popołudniem. Zmniejszone dobowe zróżnicowanie dopływu energii promienistej Słońca w porze chłodnej wpływa na niewielkie dobowe zmiany zachmurzenia (rys. 16).

**Tabela 8.**

Średnia częstość (%) występowania rodzajów chmur w 8 terminach w ciągu doby na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019; pogrubiona czcionka – wartość maksymalna w ciągu doby

rodzaje chmur	godzina UTC							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Białystok								
<i>Cu</i>	0,2	0,9	5,1	28,6	<b>35,7</b>	26,3	4,5	0,2
<i>Cb</i>	2,8	2,8	3,8	5,6	10,6	<b>12,0</b>	9,3	4,1
<i>St</i>	4,8	5,2	6,7	<b>8,9</b>	8,9	6,7	4,9	4,2
<i>Sc</i>	46,4	<b>49,9</b>	48,6	38,1	33,1	36,1	42,9	44,7
<i>As+Ns</i>	9,3	10,0	<b>11,4</b>	10,9	9,7	10,2	11,0	9,3
<i>Ac</i>	9,4	13,7	17,0	14,9	14,3	16,1	<b>16,6</b>	11,8
<i>Ci</i>	7,2	12,9	20,1	22,1	22,5	<b>23,9</b>	22,0	10,5
<i>Cc</i>	0,0	0,2	0,6	<b>1,1</b>	0,8	0,4	0,4	0,0
<i>Cs</i>	1,4	1,7	2,8	3,6	4,5	<b>4,6</b>	3,3	1,6
Suwałki								
<i>Cu</i>	0,8	1,0	4,3	24,1	<b>31,2</b>	23,2	3,2	1,0
<i>Cb</i>	3,6	3,8	4,0	5,4	10,4	<b>12,4</b>	8,4	4,6
<i>St</i>	17,1	20,6	<b>23,8</b>	19,6	15,0	14,2	14,4	15,8
<i>Sc</i>	39,0	<b>40,6</b>	38,2	30,3	28,0	32,3	43,9	39,2
<i>As+Ns</i>	6,6	6,9	7,8	<b>8,6</b>	7,4	7,7	7,3	7,1
<i>Ac</i>	4,6	6,6	<b>11,4</b>	10,8	9,4	10,2	8,3	5,3
<i>Ci</i>	5,7	9,2	16,3	18,2	20,2	<b>21,4</b>	20,1	8,9
<i>Cc</i>	0,0	0,0	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0
<i>Cs</i>	1,7	1,6	2,4	3,4	<b>3,8</b>	3,7	3,3	2,0



**Rys. 16.**

Średnia częstości chmur z poszczególnych pięter w ciągu doby w Białymstoku zimą (styczeń – luty, A) i latem (lipiec – sierpień, B) w latach 1995-2019

Wówczas o charakterze zachmurzenia w większym stopniu decyduje rodzaj cyrkulacji atmosfery niż czynnik solarny. W skali roku największym zróżnicowaniem dobowym charakteryzują się chmury *Cu* i *Cb*, z tym, że w Białymstoku jest ono większe niż w Suwałkach (tab. 8), a chmur *St* i *Sc* w Suwałkach. Pora doby z maksimum częstości chmur niskich jest taka sama w obu miejscowościach. Chmury frontowe *As+Ns* osiągają wcześniej swoje maksimum dobowe w Białymstoku niż w części północnej województwa. Chmury wysokie *Cc* i *Cs* pojawiają się średnio o 3 godziny wcześniej w Suwałkach niż w Białymstoku.

### 5.3. Usłonecznienie

Jednym z najważniejszych czynników pogodotwórczych jest energia promieniowania słonecznego docierająca do powierzchni Ziemi. Czas, w którym bezpośrednio promieniowanie słoneczne dociera do powierzchni terenu jest określany w meteorologii jako usłonecznienie rzeczywiste. Ma ono miejsce wówczas, gdy pomiędzy Słońcem a punktem pomiarowym nie występują chmury lub mgła. Jest ono zmienne w ciągu roku i jest mierzone w jednostkach czasu, dawniej przy pomocy heliografu, a obecnie za pomocą urządzeń z detektorami czuymi na natężenie promieniowania słonecznego. W heliografach Campbella-Stokesa dokładność pomiarów wynosiła około 6 minut, obecnie w rejestratorach elektronicznych wynosi jedną sekundę. Wypalanie śladu na heliogramach następuje gdy promieniowanie słoneczne jest równe lub większe niż  $279,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  czyli  $0,4 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (Kuczmarowski 1990), natomiast rejestracja promieniowania słonecznego w nowoczesnych urządzeniach rozpoczyna się od poziomu  $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  (Matuszko 2009).

Wyniki pomiarów, w większości rejestratorami elektronicznymi, ze stacji IMGW – PIB w Suwałkach i Białymstoku z lat 1995-2019 wskazują, że przeciętnie w ciągu roku usłonecznienie rzeczywiste trwa odpowiednio 1700 i 772 godzin, a więc dziennie średnio 4,7 – 4,9 godziny. Generalnie w województwie podlaskim roczna suma usłonecznienia rzeczywistego zwiększa się w kierunku południowym, aby na terenie województwa osiągać jedne z największych wartości w kraju.

Jak podaje Martyn (1987), województwo podlaskie należy do uprzywilejowanych regionów Polski, na równi z regionami nadmorskim i pogórzy. W rozpa-

trywanym wieloleciu najmniejsza suma roczna usłonecznienia wystąpiła w latach 2016 i 2001 i była o blisko 400 godzin mniejsza od średniej dla okresu 1995-2019. Największą roczną wartość w tym okresie, ponad 2000 godzin, zanotowano w Białymstoku w 2018 i 2019 roku, zaś w Suwałkach w 2018 roku. Były to maksymalne wartości roczne zanotowane w okresie powojennym na tym terenie. Nie można wykluczyć, że zwiększone usłonecznienie w ostatnich 25 latach jest w części konsekwencją zmian urządzeń pomiarowych na urządzenia o większej czułości.

**Tabela 9.**

Średnie miesięczne i roczne usłonecznienie rzeczywiste (godziny) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

miesiące	Białystok		Suwałki	
	średnia	% dnia	średnia	% dnia
styczeń	38,4	15,1	36,3	14,5
luty	57,6	20,6	55,0	19,8
marzec	124,1	34,4	123,5	33,1
kwiecień	190,3	45,8	189,3	44,5
maj	254,6	52,2	249,7	50,2
czerwiec	261,7	51,3	255,1	49,5
lipiec	254,8	50,0	247,8	48,4
sierpień	253,0	55,2	237,3	51,8
wrzesień	164,7	42,6	159,5	41,9
październik	104,1	31,2	92,8	28,3
listopad	37,8	14,4	28,9	11,1
grudzień	30,8	14,7	24,5	10,6
suma w roku	1772	35,6	1700	33,6

Od kwietnia do września średnie usłonecznienie w ciągu doby trwa przeciętnie ponad 5 godzin, a ponad 8 godzin od maja do końca sierpnia (rys. 17). W chłodnej porze roku usłonecznienie rzeczywiste trwa zdecydowanie krócej, ze względu na krótszy dzień i zwiększone zachmurzenie. Od listopada do końca stycznia trwa średnio mniej niż 2 godziny dziennie. Najmniejsza średnia miesięczna wartość w Białymstoku przypada na listopad, a w Suwałkach na grudzień, podobnie jak w całej

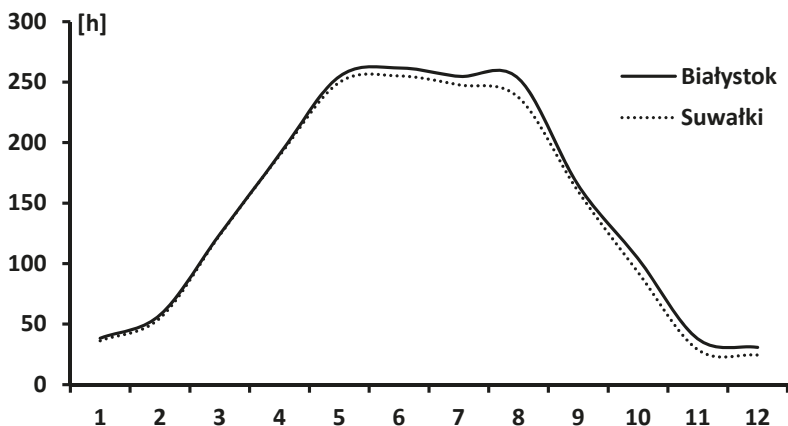
Polsce (tab. 9). Zauważa się przy tym, że w okolicach Białegostoku usłonecznienie rzeczywiste w sezonie letnim jest o kilka procent dłuższe niż w Suwałkach.

Ze względu na sezonowe zróżnicowanie długości dnia, do opisywania usłonecznienia używa się usłonecznienia względnego (patrz słowniczek). W omawianych miejscowościach kształtuje się ono na zbliżonym poziomie i wynosi średnio 35%, przy czym od maja do sierpnia przeważnie przekracza połowę czasu trwania dnia (tab. 9). W okresie o największym usłonecznieniu średnie miesięczne wartości dla sierpnia są większe niż dla maja. Czerwiec i lipiec w obu miejscowościach cechuje się mniejszym usłonecznieniem względnym niż miesiące maj i sierpień. W miesiącu sierpniu notowana jest największa różnica między średnimi wartościami usłonecznienia Białegostoku i Suwałk.

Analiza wyliczonych dla każdej doby wartości średniego usłonecznienia w ciągu roku pokazuje jeszcze inne prawidłowości. W Białymstoku i Suwałkach istnieją trzy synchroniczne okresy o wyraźnie zmniejszonym usłonecznieniu niż by to wynikało z przebiegu średniej rocznego natężenia promieniowania słonecznego. Pierwszy z nich pojawia się w połowie kwietnia, drugi w środku maja, a trzeci – największy – w drugiej połowie czerwca. W Białymstoku to 6-14 kwietnia, 12-17 maja, 10-26 czerwca, a w Suwałkach 6-13 kwietnia, 14-18 maja, 12-25 czerwca. Zmniejszony dopływ energii w pierwszych dwóch okresach zmniejsza tempo ogrzewania się powietrza. Ostatni z nich to okres związany z tzw. letnim monsunem europejskim, czyli adwekcją wilgotnych mas powietrza z NW-W wraz z ciągiem niżów rozwijających się wówczas nad zachodnią i środkową Europą (Żmudzka 2007).

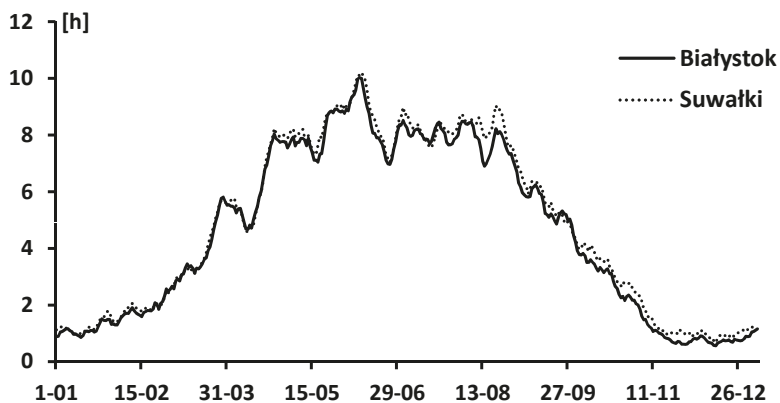
Druga prawidłowość w przebiegu dobowego usłonecznienia to istnienie od późnej wiosny do końca sierpnia (3-4 miesięcznego) okresu o zbliżonym czasie dobowego usłonecznienia rzeczywistego. Mimo zmieniającego się w tym czasie usłonecznienia, możliwego od 12 do blisko 17 godzin na dobę, wartości średnie usłonecznienia rzeczywistego oscylują między 10 a 11 godzin (rys. 18). To zasługa dużej częstości wyżów sprzyjających usłonecznieniu. Trzecia z istniejących prawidłowości to szybsze tempo wiosennego wzrostu usłonecznienia w porównaniu do jesienno-tempera jego zmniejszania. Pojawiająca się asymetria w przebiegu rocznego usłonecznienia ma miejsce gdy zjawiska astronomiczne determinujące ten proces zachowują stałe symetrię. Obraz przebiegu usłonecz-

nienia nie byłby pełny bez wskazania niskiego poziomu usłonecznienia w chłodnej porze roku (rys. 19). Wówczas częstość występowania dni pozbawionych bezpośredniego oświetlenia słonecznego jest wyjątkowo wysoka, rzędu 75-80%. Skutkuje to dodatkowo niekorzystnymi dla człowieka warunkami bioklimatycznymi, o których piszę w rozdziale o warunkach biometeorologicznych.



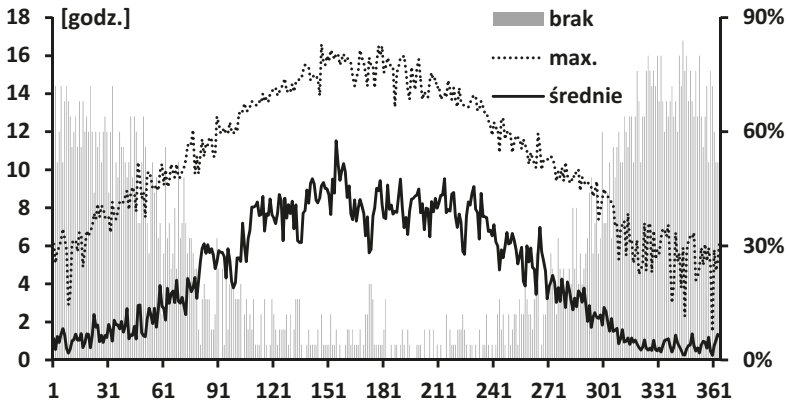
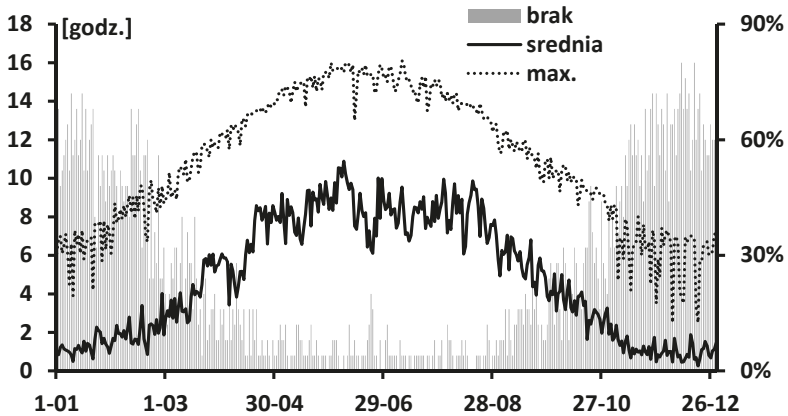
**Rys. 17.**

Przebieg roczny średnich miesięcznych wartości usłonecznienia rzeczywistego w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019



**Rys. 18.**

Średnie dobowe usłonecznienie rzeczywiste w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019



**Rys. 19.**

Średnie i maksymalne dobowe usłonecznienie (lewa oś) w Białymstoku (górny wykres) i Suwałkach (dolny wykres) oraz częstość występowania dni o pełnym zachmurzeniu (brak bezpośredniego promieniowania słonecznego – prawa oś) w latach 1995-2019; dla każdej doby  $n=25$

## 5.4. Całkowite promieniowanie słoneczne

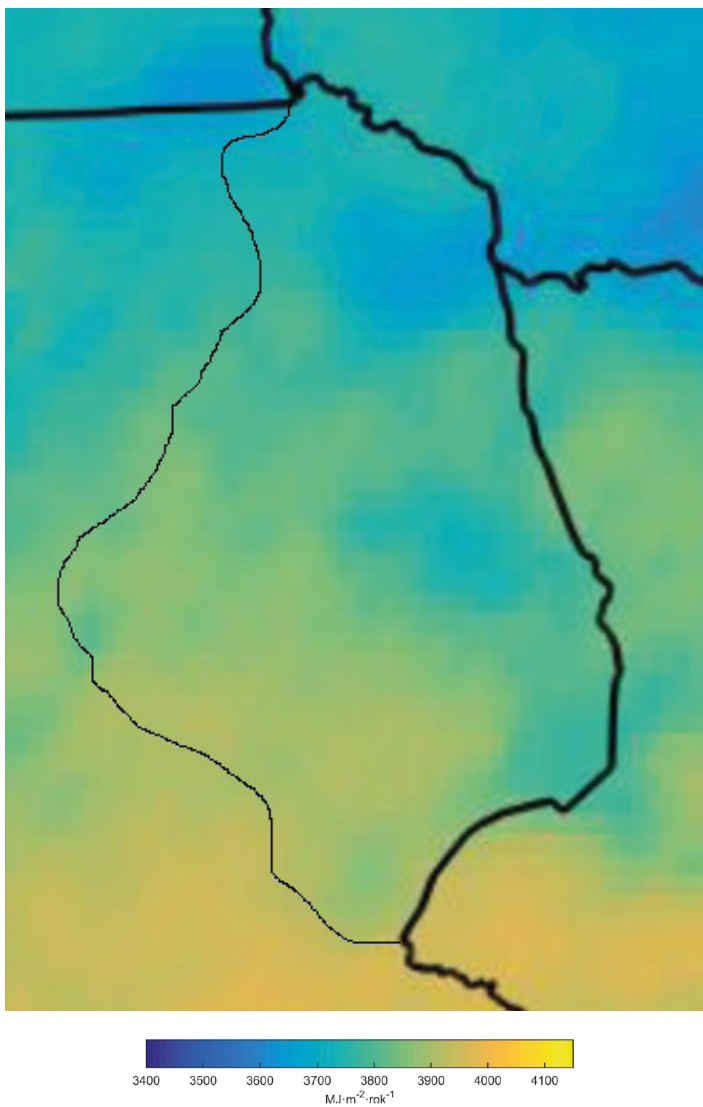
Zachmurzenie ma istotny wpływ na ilość całkowitego promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni ziemi (Matuszko 2009). Jak wynika



z najnowszych analiz Kuleszy (2018, 2020), dokonanych na podstawie pomiarów *in situ* oraz danych z pomiarów satelitarnych, w latach 1986-2015 średnia roczna suma całkowitego promieniowania słonecznego nad Polską wynosiła 3902 MJ·m<sup>-2</sup>. W tym okresie wzrastała rocznie średnio o 7,2 MJ·m<sup>-2</sup>·rok<sup>-1</sup>. Na obszarze województwa podlaskiego całkowite promieniowanie słoneczne było mniejsze od średniego w kraju, rzędu 3600-3900 MJ·m<sup>-2</sup>·rok<sup>-1</sup>. W latach 1961-1995 wartości podawane dla województwa podlaskiego przez Bogdańską i Podogrockiego (2000) były mniejsze, co potwierdza trend wyliczony przez Kuleszę (2018).

Największe obszary leśne, takie jak Puszcza Augustowska, Knyszyńska i Białowieska, wraz z obniżeniem Nurczyka cechowały się najmniejszymi wartościami promieniowania. Regionem otrzymującym największą dawkę promieniowania jest Wysoczyzna Wysokomazowiecka. Mapa średniego rocznego promieniowania słonecznego dla Polski zaprezentowana przez Kuleszę (2018) (rys. 20) wskazuje także na mniejszą wartość dawki promieniowania na największe doliny rzeczne niż na otaczające je wysoczyzny. Wschodnia, przygraniczna część województwa podlaskiego, w obrębie wysoczyzn peryglacialnych charakteryzuje się największym w kraju i istotnym statystycznie wieloletnim trendem wzrostu sumy rocznej promieniowania – ponad 12 MJ·m<sup>-2</sup>·rok<sup>-1</sup>.

W sezonie letnim promieniowanie słoneczne dostarcza blisko połowę rocznej dawki (blisko 1800 MJ·m<sup>-2</sup>), a w sezonie zimowym (grudzień – luty) mniej niż 250 MJ·m<sup>-2</sup>. Największe dobowe wartości promieniowania słonecznego wiążą się z antycyklonalnymi typami cyrkulacji, szczególnie podczas cyrkulacji antycyklonalnej południowo-zachodniej, co jest związane z silnie rozbudowanym Wyżem Azorskim (Kulesza 2020); najmniejsze zaś z cyrkulacjami mas powietrza z północy i północnego-wschodu.



**Rys. 20.**

Średnia suma promieniowania słonecznego w ciągu roku w województwie podlaskim (Kulesza 2018), fragment rysunku nr 9 na s. 53

## 6. Temperatura powietrza

---

Głównym elementem klimatu jest temperatura powietrza o szerokim zakresie zmienności w strefie umiarkowanej. Amplituda ekstremalnej temperatury powietrza w województwie podlaskim w latach 1995-2019 przekroczyła w Białymstoku, Biebrzy i Szepietowie 70°C (tab. 10). Są to wartości jedne z największych w nizinnej części Polski. W okresie powojennym (1947-1995) wartości amplitudy były jeszcze większe (77,2°C) (Górniak 2000). Jest to znana cecha klimatu umiarkowanego, o zwiększonych wpływach kontynentalnych. Amplituda średnich miesięcznych wartości temperatury oscyluje w województwie podlaskim wokół 22°C (tab. 10), potwierdzając tym samym największe dla obszaru Polski zaznaczające się cechy klimatu kontynentalnego.

### Tabela 10.

Amplituda średnich miesięcznych i ekstremalnych wartości temperatury powietrza (°C) w województwie podlaskim w latach 1995-2019

<b>miejsowość</b>	<b>amplituda średnich miesięcznych</b>	<b>amplituda wartości ekstremalnych</b>
Szepietowo	22,3	70,4
Białowieża	22,4	69,3
Białystok	21,9	70,9
Biebrza	22,0	70,7
Różanystok	22,5	65,3
Suwałki	22,1	65,7

O zwiększonych wartościach amplitudy powietrza województwa decydują przede wszystkim wartości temperatury minimalnej, które w omawianym wieloleciu osiągały wartości poniżej -35°C w miesiącu styczniu w Białymstoku i Biebrzy (tab. 11). Z kolei maksymalne wartości temperatury powietrza ponad 36°C odnotowano w Szepietowie zarówno w lipcu, jak i sierpniu (tab. 12) .

**Tabela 11.**

Najniższa minimalna temperatura powietrza (°C) zanotowana w poszczególnych miesiącach w województwie podlaskim w okresie 1995-2019

miesiąc	Szeptewo	Białowieża	Białystok	Biebrza	Różanystok	Suwałki	minimalna w województwie
styczeń	-33,8	-34,6	-35,4	-35,6	-30,0	-30,7	-35,6
luty	-32,7	-33,9	-32,9	-34,7	-28,4	-29,0	-34,7
marzec	-23,3	-28,2	-24,0	-30,0	-29,6	-29,7	-30,0
kwiecień	-7,2	-9,5	-8,3	-8,9	-6,6	-10,0	-10,0
maj	-2,9	-5,4	-4,5	-6,4	-3,8	-4,3	-6,4
czerwiec	1,0	-0,8	-0,2	-1,0	0	-0,9	-1,0
lipiec	4,8	3,2	4,2	1,7	4,4	3,2	1,7
sierpień	2,2	-1,7	0,2	-2,8	0	0,9	-2,8
wrzesień	-3,5	-4,8	-5,1	-6,7	-5,8	-4,3	-6,7
październik	-8,6	-10,7	-9,9	-10,3	-12,0	-8,6	-12,0
listopad	-19,2	-19,9	-20,7	-20,3	-18,7	-19,7	-20,7
grudzień	-27,2	-28,7	-26,2	-29,7	-26,8	-27,8	-29,7
rok	-33,8	-34,6	-35,4	-35,6	-30,0	-30,7	-35,6

W pozostałych lokalizacjach pomiarowych maksymalna temperatura miesięcy letnich mieściła się między 35-36°C, za wyjątkiem Białowieży o najmniejszych wartościach poniżej 35°C (tab. 13) – czyli ekstremalne wartości temperatury powietrza odnotowano w centralnej i południowej części województwa podlaskiego. Są one w dużym stopniu uwarunkowane czynnikami lokalnymi. Warto zauważyć, że w ostatnich 25 latach zwiększyły się maksymalne wartości dla 6 miesięcy, zarówno letnich, jak okresu chłodnego (luty, marzec) (tab. 14), natomiast obniżenie wartości minimalnych temperatury powietrza było notowane tylko dla 3 miesięcy okresu przejściowego między miesiącami najcieplejszym i najchłodniejszym, szczególnie w listopadzie.

**Tabela 12.**

Najwyższa maksymalna temperatura powietrza (°C) zanotowana w poszczególnych miesiącach w województwie podlaskim w okresie 1995-2019

miesiąc	Szeptemowo	Białowieża	Białystok	Biebrza	Różanystok	Suwałki	maksymalna w województwie
styczeń	11,5	10,6	11,3	11,0	10,6	9,5	11,5
luty	15,5	16,8	16,4	15,5	15,0	14,8	16,8
marzec	21,2	21,3	21,8	21,1	19,9	20,4	21,8
kwiecień	26,7	27,0	27,4	27,0	26,8	26,9	27,4
maj	29,9	30,9	30,1	30,2	31,2	30,3	31,2
czerwiec	32,0	31,8	32,4	31,4	33,1	31,9	33,1
lipiec	36,6	34,6	35,5	34,3	35,3	35,2	36,6
sierpień	36,4	34,7	35,2	35,1	35,0	34,8	36,4
wrzesień	29,5	32,1	30,0	28,7	29,6	29,7	30,0
październik	25,0	25,5	25,4	24,4	24,6	24,0	25,5
listopad	16,5	18,2	16,8	16,9	16,6	15,7	18,2
grudzień	14,1	13,7	13,8	13,5	12,8	11,4	13,8
rok	36,6	34,7	35,5	35,1	35,3	35,2	36,6

Średnia temperatura powietrza województwa nawiązuje zasadniczo do zmiany szerokości geograficznej i zmniejsza się od południa ku północy, osiągając w latach 1995-2019 w Suwałkach wartość dla roku 7,2°C (tab. 13, zał. II). Wskazuje to jednoznacznie, że mamy obecnie postępujący wzrost temperatury powietrza, dokumentowany także w skali globalnej. Południkowe zróżnicowanie wartości średnich wynosi obecnie 0,7°C i było mniejsze niż w okresie 1961-1995 (Górniak 2000). Kotlina Biebrzańska wyróżnia się niższymi wartościami temperatury powietrza w stosunku do otaczających wysoczyzn, a izoterma 7,6°C dociera do Biłogostoku, obejmując swoim łobem blisko 1/3 województwa. W południo-

wej i zachodniej części województwa izotermy średniej rocznej temperatury nawiązują swoim łukiem do istnienia chłodnego łobu powietrza w tej części Polski.

**Tabela 13.**

Średnia miesięczna temperatura powietrza (°C) z wielolecia 1995-2019 na stacjach pomiarowych IMGW – PIB województwa podlaskiego

miesiąc	Szeptemowo	Białowieża	Białystok	Biebrza	Różanystok	Suwałki
styczeń	-3,4	-3,7	-3,4	-3,6	-3,4	-3,9
lut	-2,0	-2,2	-1,9	-2,3	-2,0	-2,5
marzec	1,9	1,5	1,7	1,1	1,9	1,0
kwiecień	8,2	7,8	8,0	7,4	8,2	7,6
maj	13,6	13,4	13,2	12,9	13,6	12,7
czerwiec	16,9	16,9	16,5	16,4	16,9	16,3
lipiec	18,9	18,7	18,5	18,4	18,9	18,2
sierpień	18,1	17,4	17,5	17,1	18,1	17,7
wrzesień	12,9	12,1	12,6	12,0	12,9	12,7
październik	7,5	7,1	7,5	6,9	7,5	7,1
listopad	2,8	2,6	2,9	2,6	2,8	2,5
grudzień	-1,5	-1,7	-1,4	-1,5	-1,5	-1,7
rok	7,9	7,5	7,6	7,3	7,5	7,2

Oprócz cykliczności wieloletniej temperatury powietrza, obserwuje się istotną statystycznie zależność ze wskaźnikiem NAO zarówno dla wartości rocznych (rys. 22), jak i okresu zimowego (rys. 23), które są prezentowane na przykładzie Suwałk. Podobne zależności odnotowano dla innych stacji pomiarowych województwa, stwierdzone wcześniej przez Kejnę i Rudzkiego (2021) w wieloleciu 1961-2018 w innych stacjach Polski. Wskazana zależność oznacza, że zachodnia cyrkulacja mas powietrza na terenie województwa podlaskiego stopnio-

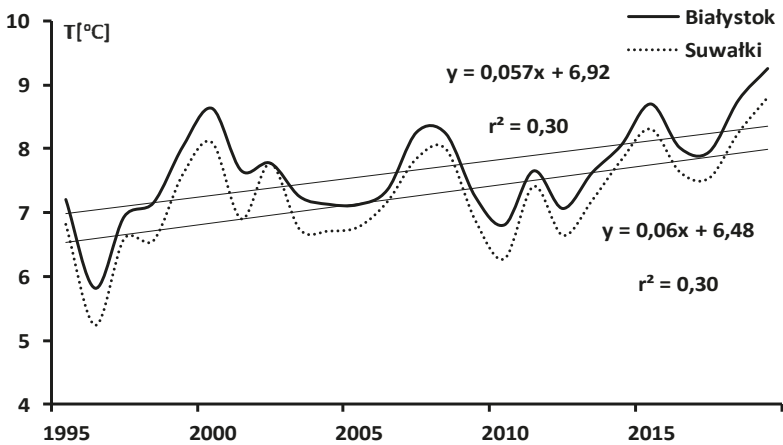
wo się zwiększa, szczególnie w okresie zimowym. Od ponad 100 lat obserwuje się około 8-letni, powtarzający się cykl zmian omawianego wskaźnika, podobnie jak średniej temperatury sezonów zimowych w Polsce (Żmudzka 1999). Jest to po części wyjaśnienie zmienności średniej rocznej temperatury w Polsce.

**Tabela 14.**

Porównanie ekstremalnych wartości temperatury powietrza odnotowanych w województwie podlaskim w dwóch okresach pomiarowych

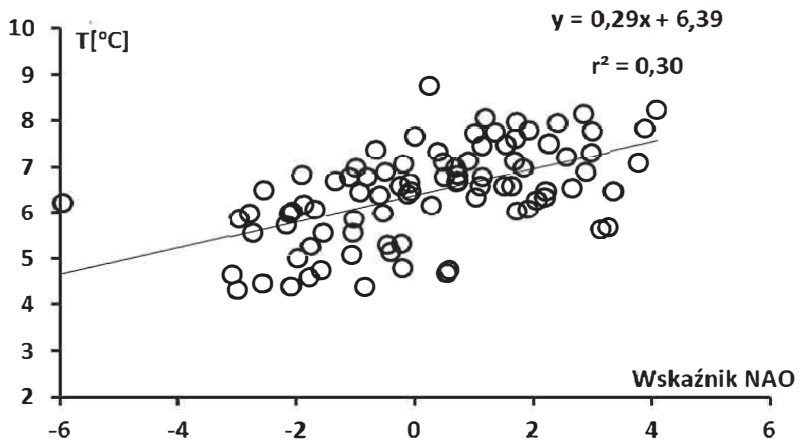
miesiąc	maksymalna w województwie		minimalna w województwie	
	1961-1995	1995-2019	1961-1995	1995-2019
styczeń	12,0	11,5	-35,6	-31,4
luty	14,5	<b>16,8</b>	-34,7	-29,9
marzec	20,3	<b>21,8</b>	-30,0	-22,1
kwiecień	31,7	27,4	-10,0	-11,4
maj	32,7	31,2	-6,4	-5,5
czerwiec	33,4	33,1	-1,0	<b>-2,4</b>
lipiec	34,8	<b>36,6</b>	1,7	2,0
sierpień	35,5	<b>36,4</b>	-2,8	0,9
wrzesień	34,8	30,0	-6,7	-5,2
październik	24,9	<b>25,5</b>	-12,0	-12,9
listopad	19,0	18,2	-20,7	<b>-22,6</b>
grudzień	12,4	<b>13,8</b>	-29,7	<b>-29,8</b>
rok	35,5	<b>36,6</b>	-35,6	-31,4

Zmienność wieloletnia temperatury powietrza na terenie Polski ma określoną cykliczność (okresowość). Najczęściej powtarza się 7,7-letni cykl termiki powietrza (Lorenc 1994, Kożuchowski 1996). Z obliczeń statystycznych Żmudzkiej (1999) wynika, iż w przebiegu sezonowych i średnich rocznych temperatury w Polsce w latach 1951-1990 występowały powtarzające się cykle około 2-, 6-, 8-, 10-letnie. Najczęściej powtarza się cykl termiczny 7,6-letni (Żmudzka 1999).



**Rys. 21.**

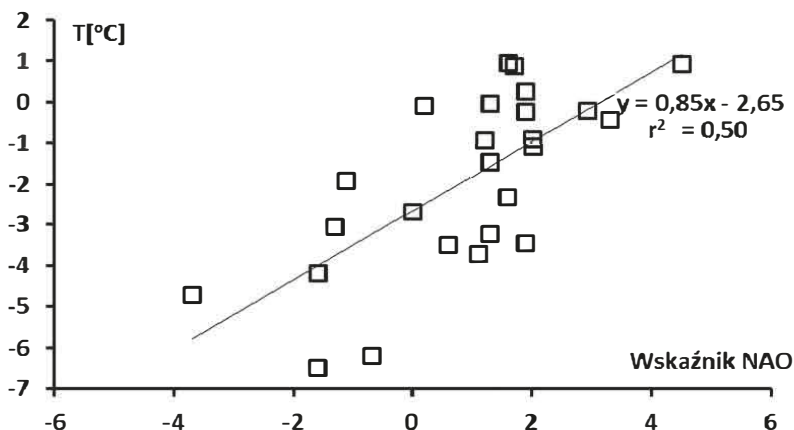
Zmienność średniej rocznej temperatury powietrza w Białymstoku i Suwałkach w latach 1996-2019



**Rys. 22.**

Zależność między średnią roczną wartością wskaźnika NAO i temperaturą powietrza w Suwałkach w latach 1931-2019





**Rys.23.**

Zależność między średnią wartością wskaźnika NAO w okresie styczeń – marzec i temperatury powietrza w tym okresie Suwałkach w latach 1995-2019

W województwie podlaskim styczeń jest miesiącem najchłodniejszym, a lipiec – najcieplejszym w roku (tab. 13). Lipiec i sierpień to miesiące, w których nie notowano ujemnej temperatury powietrza na wysokości 2 m od gruntu. Średnia miesięczna wartość najcieplejszego miesiąca w roku na terenie całego województwa przekracza 18°C, a najchłodniejszego jest wyższa niż -4°C. Oznacza to, że obecnie cały obszar województwa można zaliczyć do zasięgu klimatu C (umiarkowany z ciepłymi zimami) według klasyfikacji Köppena-Geigera (Kottek i in. 2006). Wschodni zasięg tej krainy klimatycznej od czasu jej ustanowienia stale przemieszcza się w kierunku wschodnim. W pierwszej połowie XX wieku granica między klimatem C i D byłaznaczona na Odrze, pod koniec XX wieku na Wiśle, a obecnie można ją przeprowadzić przez zachodnią część Białorusi i Ukrainy.

W rocznym przebiegu średnich wartości miesięcznych temperatury powietrza, od marca do maja występuje szybki wzrost, a od września do listopada spadek. W okresie wegetacyjnym (kwiecień – październik) analizowanego wielolecia 1995-2019, zmienność średnich miesięcznych wartości temperatury każdego z miesięcy była stosunkowo niewielka. Średnie odchylenia od wartości średniej dla tych miesięcy nie były większe niż 1°C. Natomiast okres chłodny, od grudnia

do marca, był termicznie bardziej dynamiczny. Przyczyn tego stanu rzeczy należy szukać w mezo- i makroskalowych zmianach zimowej cyrkulacji atmosfery w Europie, a szczególnie w natężeniu cyrkulacji strefowej (zachodniej) (Lorenc 1994, Żmudzka 1999, Wibig 2000). Mapa izoterm dla lipca (zał. IV) wskazuje dłuższe utrzymywanie się wychłodzenia Kotliny Biebrzańskiej i zachodniej części Wysoczyzny Białostockiej w stosunku do terenów sąsiednich i położonych bardziej na południe. W miesiącu styczniu taka sytuacja nie jest obserwowana (zał. III).

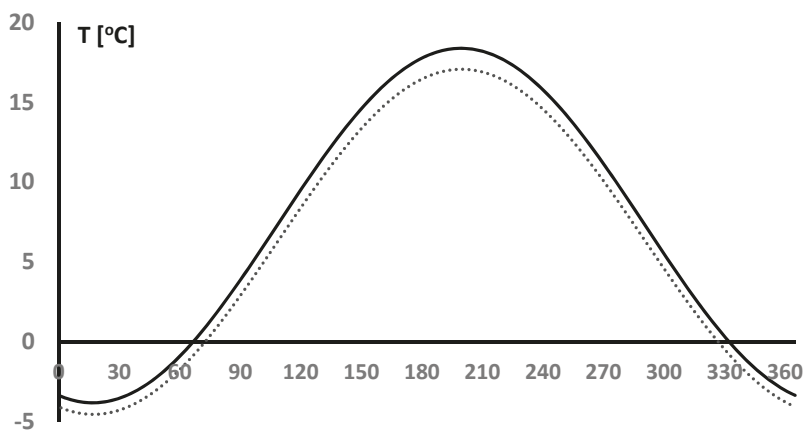
Więcej i bardziej szczegółowych informacji o ustroju termicznym można uzyskać podczas analizy średnich wartości dla doby, a rozpatrywany okres 25 lat jest wystarczająco długi, aby je zauważyć. W tym celu wyliczono teoretyczny (modelowy) przebieg dobowych wartości temperatury powietrza w Białymstoku i Suwałkach, w oparciu o codzienne pomiary na stacjach (tab. 15, rys. 24). Jest on także prezentowany przykładowo dla Białegostoku na rysunku 25, wraz ze średnimi wartościami wyliczonymi dla każdej daty w ciągu roku w latach 1995-2019. Wyraźnie widoczna jest zwiększona różnica temperatury powietrza zimą i latem między stacjami, a bardzo niewielka w porach przejściowych, co potwierdzają zebrane dane empiryczne z tabeli 13.

Odchylenia wartości zmierzonych od danych modelowych (rys. 25) mieszczą się w zakresie od  $-3^{\circ}\text{C}$  do  $2^{\circ}\text{C}$ , a występujące przez kilka dni odchylenia można uznać za okresy „za chłodne” lub „za ciepłe”, podobnie jak to tłumaczą Fortuniak i in. (1998). W ciągu roku wyznaczono łącznie 13 okresów trwających 3 dni lub więcej, a na każdej ze stacji synoptycznych występowało 5 okresów wyraźnie chłodniejszych i 7 okresów nadmierne ciepłych (tab. 15). W większości są one typowe dla obszaru Polski i wskazywane w opisach ustroju termicznego Polski (Woś 1996, Fortuniak i in. 1998). Nie odnotowano zwiększonego ochłodzenia w drugiej dekadzie maja tzw. „zimnych ogrodników”. Zestawienie w tab.16 pokazuje, że na terenie województwa podlaskiego okresy nadmierne chłodne i ciepłe występują synchronicznie, jedynie z 1-2 dniowym przesunięciem, natomiast różnice pojawiają się w porach przejściowych, bowiem w północnej części województwa zaznacza się drugi, cieplejszy okres wiosenny w pierwszej dekadzie maja, niewystępujący w Białymstoku. Podobnie też w listopadzie w Białymstoku odnotowano cieplejszy okres, nieobserwowany w Suwałkach.

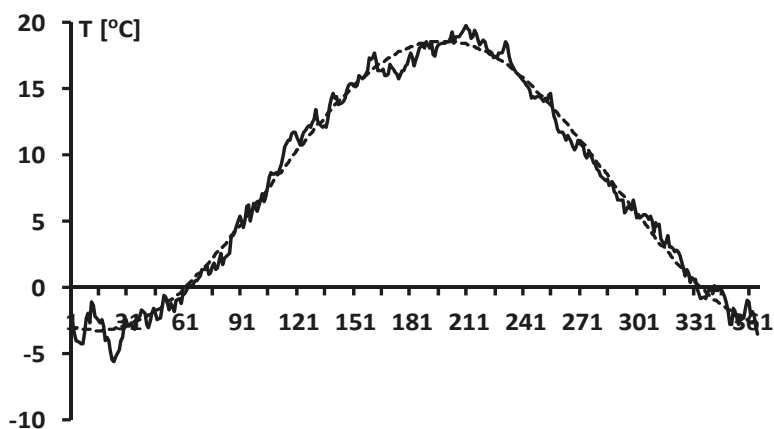
**Tabela 15.**

Występowanie charakterystycznych termicznie dni w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

dni w roku		Białystok		Suwałki	
		obserwacje	model	obserwacje	model
najcieplejszy dzień	wartość	19,8	18,6	19,8	18,39
	data	29.07	17.07	30.07	20.07
najchłodniejszy dzień	wartość	-5,7	-3,27	-6,5	-3,85
	data	24.01	15.01	24.01	17.01.
ekstremalne wartości dobowe temperatury					
maksymalna średnia doby		26,6		26,9	
data		16.07.2001		9.08.2013	
minimalna średnia doby		-24,2		-26,5	
data		27.12.1996		7.1.2003	

**Rys. 24.**

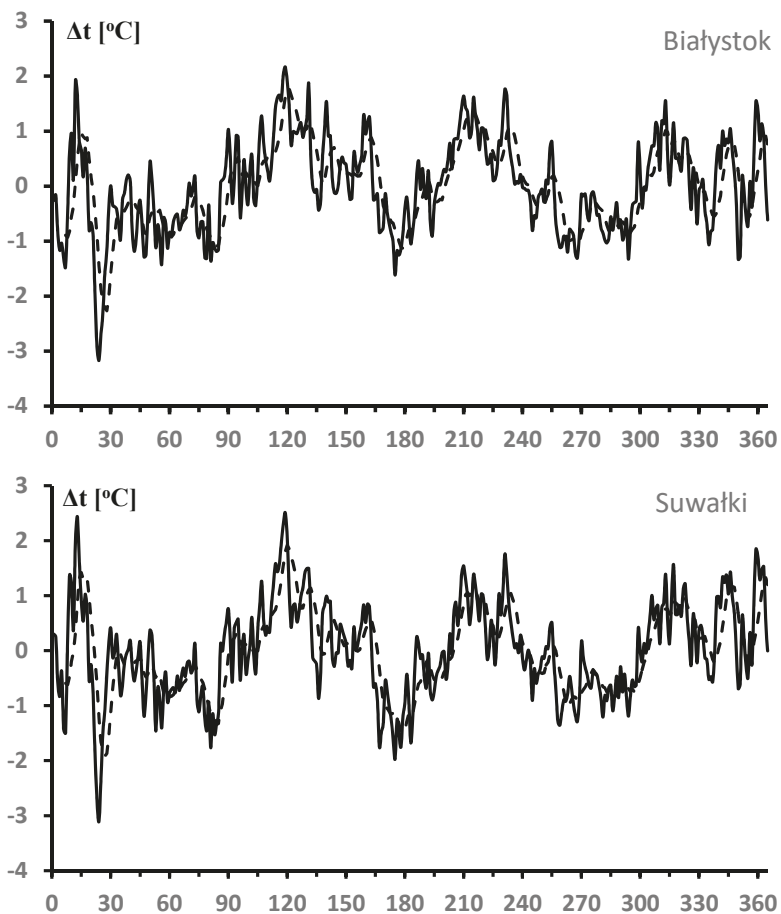
Model temperatury dobowej w ciągu roku w Białymstoku (linia ciągła) i Suwałkach (linia kropka) w latach 1995-2019



**Rys. 25.**

Rzeczywisty (linia ciągła) i modelowy (linia przerywana) przebieg średniej dobowej temperatury powietrza w ciągu roku w Białymstoku w latach 1995-2019

Charakteryzując dobową temperaturę powietrza należy dodać, że w ciągu każdej doby zmienia się ona na skutek zmieniającej się ilości energii słonecznej oraz innych procesów fizycznych w dolnej troposferze, a w klimacie umiarkowanym szczególnie podczas przemieszczania się frontów atmosferycznych. Uśrednione wartości miesięczne dla pomiarów cegodzinnych na stacjach synoptycznych wskazują, że dobowe zmiany zwiększają się wraz ze wzrostem średniej temperatury powietrza, z których największe przypadają na maj (rys. 27). Maksymalne średnie dobowe wartości dla wszystkich miesięcy w roku występują o godz. 13-14 czasu uniwersalnego, natomiast minimalne zmieniają się w szerokim zakresie, w czasie wschodu słońca. W czerwcu minimum dobowe przypada na godzinę 2 UTC, a w styczniu na godzinę 6 czasu UTC. W przebiegu dobowym temperatury powietrza zwraca też uwagę fakt wolniejszego tempa ogrzewania się powietrza w miesiącach cieplej pory roku wraz z szybszym wychładzaniem się w godzinach przedwieczornych.



**Rys. 26.**

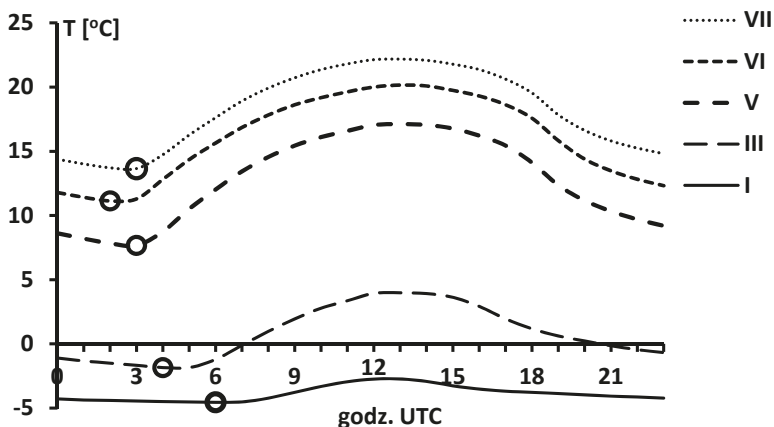
Różnica między średnią dobową temperaturą powietrza a wartością modelową dla danej daty w okresie 1995-2019 w Białymstoku (górny wykres) i Suwałkach (dolny wykres)

**Tabela 16.**

Daty występowania okresów wyraźnie chłodnych i nadmiernie ciepłych w latach 1995-2019

charakter okresu	Białystok		Suwałki	
	„wyraźnie chłodne”	„nadmiernie ciepłe”	„wyraźnie chłodne”	„nadmiernie ciepłe”
główne wtargnięcie zimy	4-7.01.		4-7.01.	
odwilż zimowa		9-17.01.		9-18.01.
nawrót zimy	22-27.01.		22-26.01.	
chłody wiosenne	19-26.03.		19-26.03.	
ciepła wiosna I		23.04.-1.05.		22.04-1.05.
ciepła wiosna II				9-12.05.
chłodne lato	16.06.-3.07.		16.06-3.07.	
letnie upały		28.07.-4.08.		28.07.-4.08.
późne lato		18-20.08.		18-20.08.
ochłodzenie wczesnej jesieni	16-20.09.		15-19.09.	
powrót jesieni		7-9.11.		
ocieplenie wczesnozimowe		8-12.12.		8-12.12.
odwilż Bożonarodzeniowa		25-26.12.		25-26.12.

Termika powietrza jako jeden z najważniejszych elementów meteorologicznych jest często podstawą do klasyfikacji typów pogody. Zgodnie z wartościami progowymi zaproponowanymi przez Wosia (1996) dla lat 1995-2019, dokonano klasyfikacji termicznej roku dla stacji synoptycznych z województwa podlaskiego (tab. 17). W ciągu roku w regionie dominuje pogoda ciepła i bardzo ciepła, która łącznie trwa 53-54% dni w roku. Pogoda chłodna i zimna stanowi około 32% dni w roku.



**Rys. 27.**

Zróznicowanie średniej temperatury powietrza w ciągu doby w wybranych miesiącach w Suwałkach w latach 1995-2019; koło oznacza najniższą średnią wartość w ciągu doby w danym miesiącu

**Tabela 17.**

Średnia częstość dni (%) w roku o określonym termicznym typie pogody w wybranych miejscowościach województwa podlaskiego w latach 1995-2019

typ pogody	średnia temperatura doby [°C]	Białystok	Suwałki
upalna	>25	0,2	0,3
gorąca	20-25	5,8	5,1
bardzo ciepła	15-20	18,5	18,0
ciepła	5-15	35,4	34,8
chłodna	0-5	19,6	19,7
zimna	-5-0	12,8	13,5
mroźna	-5-15	6,8	7,5
bardzo mroźna	<-15	0,8	1,1



Dolina Biebrzy, fot. Piotr Tałałaj



## 7. Wiatr

---

### Kierunek wiatru

Ten element meteorologiczny, opisujący stan dynamiczny przypowierzchniowej warstwy atmosfery, należy do najtrudniej mierzalnych, a uzyskiwane wyniki są często zbyt mało precyzyjne wskutek czynników lokalizacyjnych lub przyrządowych (szczególnie na stacjach klimatycznych z wiatromierzem Wilda). O trudnościach metodycznych i interpretacyjnych uzyskiwanych pomiarów kierunku i prędkości wiatru możemy dowiedzieć się ze szczegółowego opracowania Lorenc (1996). Problem ten jest stopniowo rozwiązywany poprzez wymianę na urządzenia bardziej precyzyjne, jednak dalej pozostaje zróżnicowana częstość pomiarów, która nie jest bez wpływu na uzyskiwane wyniki.

Do charakterystyki wiatru wykorzystano dane obserwacyjne ze wszystkich (24) terminów pomiarowych w ciągu doby na stacjach synoptycznych w Suwałkach i Białymstoku oraz dane z 3 terminów pomiarowych w ciągu doby na 2 stacjach klimatycznych zlokalizowanych w województwie, o pełnej serii obserwacyjnej. Mimo niejednorodności materiału obserwacyjnego wydaje się, że uzyskano dość reprezentatywny obraz pola wiatru na obszarze województwa, zbliżony do opisanego dla Polski w makroskali przez Lorenc (1996).

W niniejszym opracowaniu do analizy przestrzennej wiatru posłużono się 8-kierunkową różą wiatru. Województwo podlaskie jest uprzywilejowane pod względem występowania wiatru z kwadrantu zachodniego i południowego (tab. 18, rys. 28). Taki układ dominant kierunku wiatru jest typowy dla większej (oprócz gór) części Polski (Lorenc 1996). Jest to efekt oddziaływania rozwiniętych centrów niżowych nad Morzem Północnym, prowadzących do Polski silny strumień powietrza z zachodu oraz południowego zachodu. Dlatego przy codziennych pomiarach na stacjach synoptycznych wiatr z kierunku zachodniego był dominujący w 15-20 latach z omawianego 25-lecia (tab. 18). W Biebrzy był dominantem jedynie w 8 latach, natomiast w Białowieży dominacja wiatru z kierunku SW

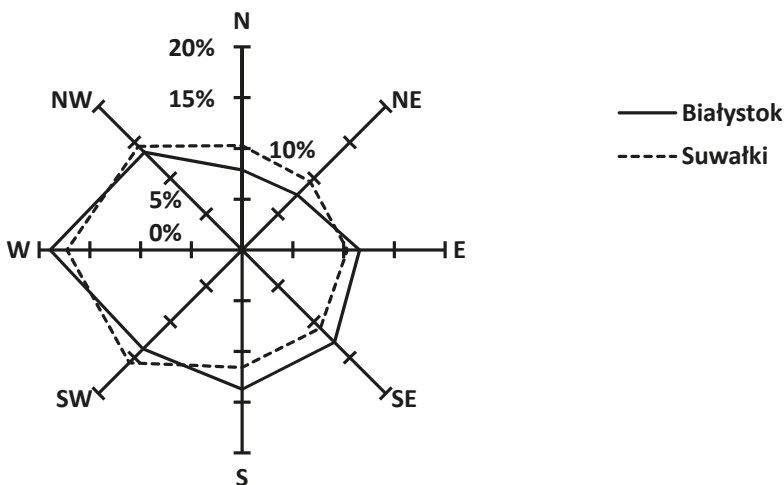
była najczęstsza. W centralnej części Kotliny Biebrzańskiej dominujący w roku kierunek wiatru zmieniał się często, wśród nich kierunek SE pojawiał się względnie często, podobnie jak w Białowieży. Takiej sytuacji nie notowano na stacjach synoptycznych. O zmiennym kierunku wiatru na terenie województwa świadczy fakt, że tylko dla 3 lat spośród 25 analizowanych dominujący kierunek wiatru był taki sam (dwukrotnie kierunek zachodni i raz kierunek SW), w pozostałych latach nie było takiej zgodności. Dowodzi to, że czynniki lokalne, takie jak ukształtowanie terenu, charakter i rodzaj roślinności czy zagospodarowanie terenu odgrywają istotną rolę w modyfikacji kierunku przepływu mas powietrza w przyziemnej części troposfery.

### **Tabela 18.**

Liczba lat z dominacją określonego kierunku wiatru w latach 1995-2019; \* – trzykrotne pomiary na dobę, dla stacji synoptycznych – 24 pomiary na dobę

<b>kierunki</b>	<b>Białystok</b>	<b>Suwałki</b>	<b>Białowieża*</b>	<b>Biebrza*</b>
NW	0	3	3	2
W	20	15	5	8
SW	1	4	9	6
S	1	1	1	3
SE	0	1	7	5
E	3	1	0	1

Dokładniejsze i częstsze pomiary na stacjach synoptycznych wskazują, że w skali wielolecia w województwie podlaskim zwiększoną częstość występowania ma wiatr z kierunku 240-280°, odpowiadający kierunkowi SW (rys. 29). Z tego kierunku częstość jest blisko dwa razy większa od pozostałych.

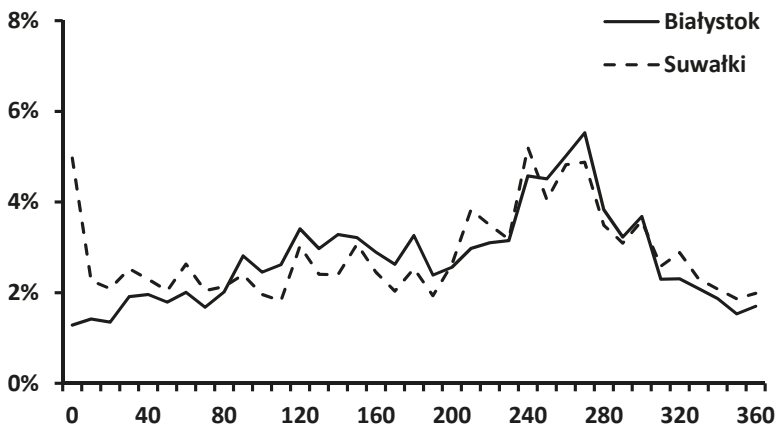


**Rys. 28.**

Różne kierunki wiatru dla stacji synoptycznych w województwie podlaskim w latach 1995-2019

W chłodnej części roku, od grudnia do lutego, dominujący wiatr ma kierunek SW, jedynie w Białymstoku przeważa kierunek zachodni. Od marca do października dominujący kierunek wiatru odchyła się bardziej na północ (W-NW). Na polanie białowieskiej pod koniec wiosny (kwiecień – maj) dominujący kierunek wiatru staje się przeciwstawny (E-SE), zaś w Białowieży taki kierunek jest notowany jako dominujący we wrześniu i listopadzie (tab. 19).

W województwie podlaskim największa częstość wiatru z kierunków N, NE i E występuje w maju (tab. 19), za wyjątkiem Biebrzy, gdzie maksimum kierunku wschodniego przypada na wrzesień. Wiatr z kierunku SE na wszystkich stacjach pomiarowych z największą częstością spotyka się w listopadzie, podobnie jak z kierunku południowego w Suwałkach. Kierunek S i SW najczęściej w ciągu roku pojawia się w grudniu, natomiast kierunek W i NW w czerwcu. Jedynie w Białowieży maksimum kierunku zachodniego występuje o miesiąc później, czyli w lipcu.



**Rys. 29.**

Średnia częstość występowania wiatru (przedziały co 10°) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

**Tabela 19.**

Dominujący kierunek wiatru (skala 8-kierunkowa) w poszczególnych miesiącach wiolecia 1995-2019 w województwie podlaskim

<b>miesiące</b>	<b>Białystok</b>	<b>Suwałki</b>	<b>Białowieża</b>	<b>Biebrza</b>
styczeń	W	SW	SW	SW
luty	W	W	SW	SW
marzec	W	W	NW	W
kwiecień	W	W	SE	NW
maj	W	NW	E	NW
czerwiec	W	W	NW	NW
lipiec	W	NW	NW	NW
sierpień	W	W	NW	NW
wrzesień	W	W	SW	E
październik	W	W	SW	SW
listopad	SE	S	SE	SE
grudzień	W	SW	SW	SW

**Tabela 20.**

Średnia miesięczna częstość wiatru (A) z określonego kierunku na stacjach pomiarów anemometrycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019

	Białystok		Suwałki		Biebrza		Białowieża	
	A	miesiąc	A	miesiąc	A	miesiąc	A	miesiąc
N	10,0%	maj	12,6%	maj	6,3%	maj	6,6%	maj
NE	11,4%	maj	14,8%	maj	6,9%	maj	6,0%	maj
E	13,9%	maj	12,4%	maj	10,8%	wrzesień	10,1%	maj
SE	22,0%	listopad	17,6%	listopad	13,5%	listopad	13,8%	listopad
S	19,5%	grudzień	19,5%	listopad	12,9%	grudzień	9,9%	grudzień
SW	20,1%	grudzień	26,5%	grudzień	13,9%	grudzień	15,6%	grudzień
W	26,3%	czerwiec	23,0%	czerwiec	13,9%	czerwiec	14,0%	lipiec
NW	19,2%	czerwiec	21,5%	czerwiec	11,4%	czerwiec	14,1%	czerwiec

## Prędkość wiatru

Średnia roczna prędkość wiatru w województwie, wyliczona dla ostatnich 25 lat, wahała się od  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w Białymstoku do  $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w Suwałkach (tab. 21). Najmniejsza średnia prędkość wiatru odnotowana w Białymstoku jest po części wynikiem licznych przeszkód terenowych w otoczeniu stacji, zniekształcających rzeczywistą strukturę wiatru. Z drugiej zaś strony centralna część województwa predysponowana jest, w stosunku do terenów położonych na zachód i południe od Białegostoku, do stopniowej redukcji wiatru. Jest to efekt powolnego zmniejszania się gradientów ciśnienia w trakcie przemieszczania się nad wysoczyznami stref frontowych, głównie z kierunku zachodniego.

Na Pojezierzu Suwalskim potwierdza się istnienie zwiększonej średniej rocznej prędkości wiatru w porównaniu do regionu wysoczyzn, tak jak w latach 1961-1995 (Górniak 2000). Jednakże ostatnie 25 lat cechowało się mniejszą średnią rocznej prędkości wiatru. W porównaniu do wielolecia 1961-1995, w Suwałkach średnia wartość roczna zmniejszyła się o  $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a w Białymstoku jedynie o  $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pomiaru IMGW – PIB dowodzą (rys. 30), że od 2008 roku

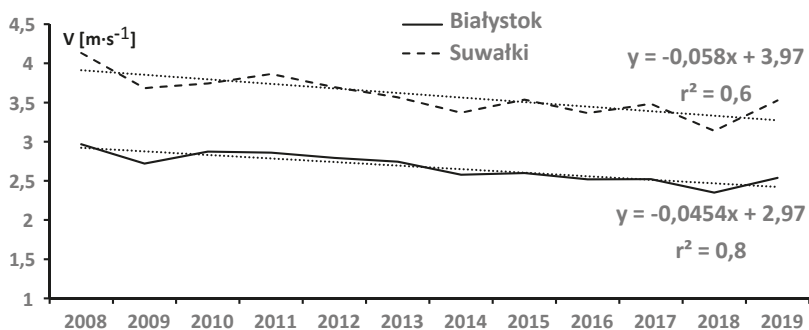
następuje zmniejszanie się średniej rocznej prędkości wiatru, czyli tendencja odwrotna niż w latach poprzednich.

Występowanie poziomych ruchów powietrza jest zjawiskiem wyjątkowo zmiennym w czasie i przestrzeni. Cisze atmosferyczne z największą częstością występują w centralnej i południowej części województwa, a z najmniejszą w jego północnej części (tab. 21). W ciągu roku cisze atmosferyczne na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego najczęściej występowały w sierpniu, zaś na klimatycznych we wrześniu. Nie jest wykluczone, że na uzyskane różnice częstości miała wpływ częstość pomiarów, szczególnie ich brak w czasie nocnym. W miesiącach letnich cisze występują dwukrotnie częściej niż zimą. Północno-zachodnie i północne regiony cechuje bardziej wyrównany ich w udział w ciągu roku w porównaniu z resztą województwa. W analizowanym wieloleciu zaobserwowano postępujące zmniejszanie się częstości ciszy atmosferycznej (rys. 31), prawdopodobnie w części jest to efekt zmiany anemometrów na bardziej czułe.

**Tabela 21.**

Średnia miesięczna prędkość wiatru ( $m \cdot s^{-1}$ ) (na wysokości wiatromierza) na wybranych stacjach meteorologicznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019

<b>miesiące</b>	<b>Białystok</b>	<b>Suwałki</b>	<b>Białowieża</b>	<b>Biebrza</b>
styczeń	2,8	4,0	2,4	3,0
luty	2,9	4,0	2,3	3,0
marzec	2,8	3,9	2,4	3,1
kwiecień	2,6	3,5	2,0	3,0
maj	2,3	3,3	1,8	2,9
czerwiec	2,2	3,2	1,7	2,9
lipiec	2,1	3,0	1,5	2,7
sierpień	1,9	2,8	1,4	2,3
wrzesień	2,1	3,0	1,5	2,5
październik	2,4	3,5	2,0	2,8
listopad	2,8	3,7	2,2	2,8
grudzień	2,8	3,8	2,3	2,9
rok	2,5	3,5	2,0	2,8



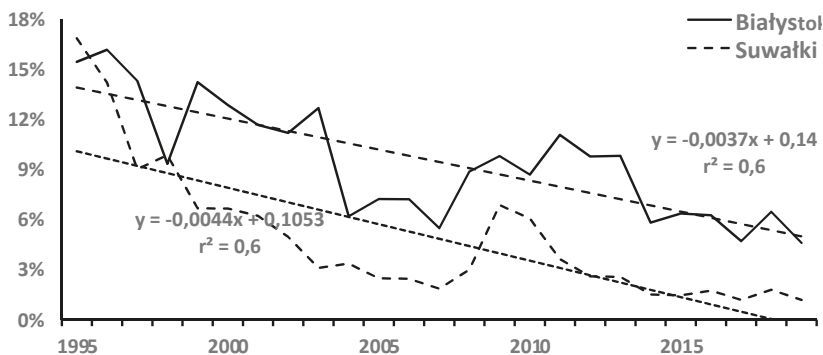
**Rys. 30.**

Zmiany średniej rocznej prędkości wiatru (na wysokości wiatromierza) w Białymstoku i Suwałkach w latach 2008-2019

**Tabela 22.**

Częstość (%) pomiarów występowania ciszy atmosferycznej w latach 1995-2019 w województwie podlaskim; pogrubione wartości – maksymalne dla stacji

miesiąc	Białystok	Suwałki	Białowieża	Biebrza
styczeń	4,8	4,1	5,2	9,8
luty	4,3	3,0	5,6	9,5
marzec	6,5	3,7	6,8	10,1
kwiecień	10,0	4,9	9,1	9,5
maj	12,1	5,5	9,7	8,2
czerwiec	12,7	5,5	11,2	7,6
lipiec	13,2	6,5	12,6	10,2
sierpień	<b>17,5</b>	<b>8,5</b>	18,7	15,5
wrzesień	14,9	6,4	<b>19,8</b>	<b>17,1</b>
październik	8,4	4,4	9,9	12,7
listopad	4,5	3,0	5,2	7,3
grudzień	4,7	4,0	5,1	8,5
rok	9,5	5,0	9,8	10,5



**Rys. 31.**

Zmiany średniego rocznego udziału ciszy w codziennych pomiarach wiatru w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

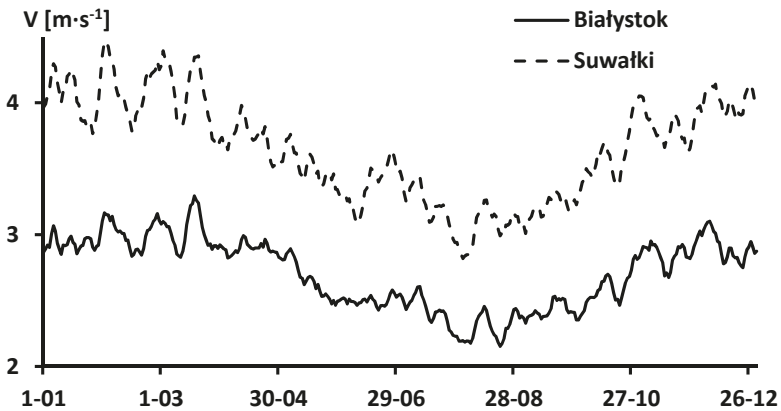
Ze szczegółowej analizy struktury wiatru w Polsce przedstawionej przez Lorenc (1996) wynika, że zjawisko ciszy atmosferycznych w województwie, podobnie jak na pozagórskim obszarze Polski, najczęściej trwa około jednej godziny. W Białymstoku dłużej trwające cisze (ponad 3 godziny) spotyka się prawie dwukrotnie częściej niż w Suwałkach.

Szacunkowa mapa średniej rocznej prędkości wiatru prezentowana przez Lorenc (1996) staje się przez to mniej aktualna przy projektowaniu rozwoju energetyki wiatrowej w województwie.

Pełne dane obserwacyjne ze stacji synoptycznych województwa w omawianym okresie umożliwiły przeprowadzenie bardziej szczegółowej analizy zmienności prędkości wiatru w oparciu o średnie dla każdej z dat w ciągu roku. Każda dobowa wartość na rys. 26 została wyliczona z 600 pomiarów. Ciepły okres roku (od kwietnia do października) cechuje się mniejszą dobową prędkością wiatru o około  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w stosunku do pory chłodnej (rys. 32). Na obu rozpatrywanych stacjach przebieg roczny średnich dobowych wykazuje dużą synchroniczność, wskazując na podobny układ pola wiatru w regionie. Jedyne w kwietniu i maju obniżenie prędkości wiatru w Suwałkach jest względnie niższe w Białymstoku (rys. 33). W okresie zimowym cykliczny wzrost prędkości wiatru ma większe natężenie w Suwałkach niż w Białymstoku. Analiza falkowa (dane nieprezentowane)

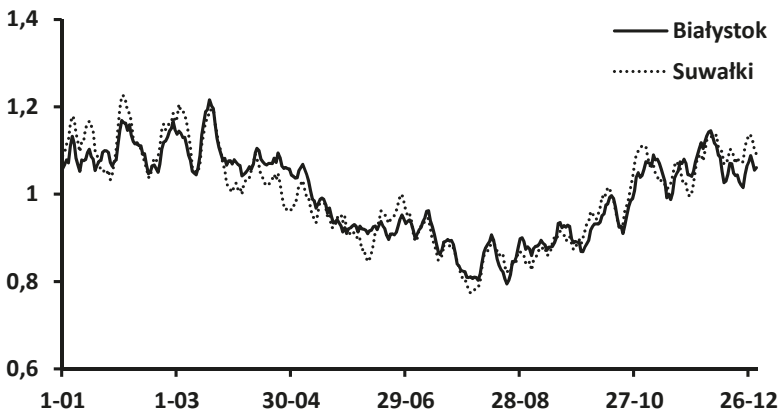


wykazała, w okresie zimowym w obu stacjach pojawiają się istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ) cykle 9,3-dniowe, dobrze widoczne także na rys. 33.



**Rys. 32.**

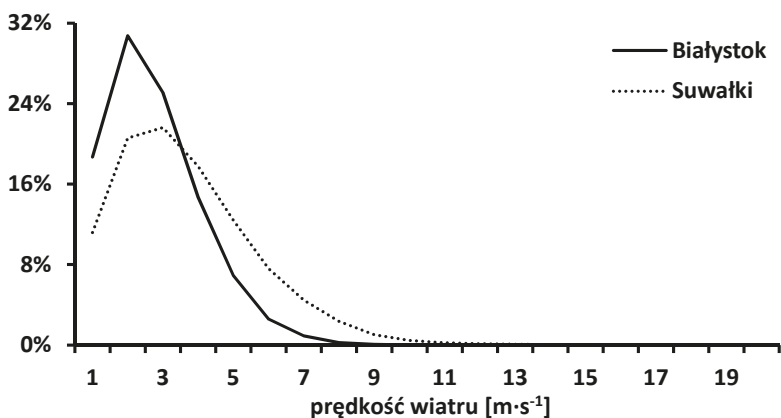
Roczny przebieg średniej dobowej prędkości wiatru w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019



**Rys. 33.**

Przebieg roczny znormalizowanych średnich ruchomych (7 dni) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

W granicach województwa podlaskiego zdecydowanie przeważa wiatr słaby, a jedynie w regionie suwalskim tylko w niewielkim stopniu dominuje nad wiatrem umiarkowanym (tab. 23). Częstość wiatru silnego i bardzo silnego w całym województwie nie przekracza 1% wszystkich obserwacji (rys. 34). W północnej części województwa największa wartość z pomiarów terminowych wynosiła  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w Biebrzy  $17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a udział wiatru o prędkości ponad  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  jest większy niż w centralnej i południowej części województwa (tab. 23).



**Rys. 34.**

Średnia roczna częstość wiatru o określonej prędkości w latach 1995-2019 (na podstawie codziennych pomiarów) w Białymstoku i Suwałkach

**Tabela 23.**

Średni roczny udział (%) rodzaju wiatru w czterech stacjach pomiarowych IMGW – PIB województwa podlaskiego w latach 1995-2019

wiatr	zakres [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Białystok	Suwałki	Biebrza	Białowieża
		%			
słaby	1-3	74,7	53,7	67,1	81,8
umiarkowany	4-9	25,3	45,4	32,4	17,0
silny	10-15	0,01	0,89	0,5	0,40
bardzo silny	>16	0	0,02	0,01	0,01

Cechą wiatru jest zróżnicowanie prędkości w czasie, typowe dla ruchu turbulentnego. Za porywy wiatru uznaje się wielokrotnie występujące pulsacje prędkości wiatru przekraczające o  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  średnią 10-minutową prędkość wiatru. Obszar Suwalszczyzny jest zaliczany, obok Pojezierza Pomorskiego oraz gór, do terenów o największej częstości występowania wiatru z porywami. Pojawiają się one głównie w sezonie zimowym, od października do kwietnia. Sprzyja temu zwiększona częstość cyklonalnej cyrkulacji zachodniej, trwającej blisko 25 dni w roku (Lorenc 1996). W Białymstoku maksymalna rzeczywista prędkość wiatru w porywach odnotowana na stacji synoptycznej IMGW – PIB wynosiła  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a w Suwałkach  $32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Z mapy występowania wiatru z porywami (lata 1961-1975) autorstwa H. Lorenc wynika, iż środkowa część województwa podlaskiego charakteryzuje się mniej niż 100 godzinami w roku z wiatrem porywistym (Lorenc 1996). Natomiast w regionie południowym (Szepietowo – Siemiatycze) oraz w powiatach suwalskim i sejneńskim trwa on dwukrotnie dłużej. Maksymalna prędkość wiatru z porywami o rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia 2% (tzn. raz na 50 lat) w obszarze na północ od Białegostoku przekracza  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Jest to ważna charakterystyka, często stosowana przy projektowaniu budowli, sieci energetycznych itp. Roczne prawdopodobieństwo przewyższenia maksymalnej prędkości wiatru w porywach ponad  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w rejonie Suwałk wynosi prawie 12 i jest ponad trzykrotnie większe niż w Białymstoku.

Jednak największe porywy wiatru ( $>25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) w strefie umiarkowanej związane są z występowaniem określonych typów cyrkulacji powietrza oraz z przemieszczaniem się latem lokalnych „trąb powietrznych”. Ich powstawanie związane jest najczęściej z chmurami burzowymi *Cumulonimbus* i dotyczy wąskich stref o szerokości około 100 metrów i rozciągłości do kilku kilometrów. Prędkość wiatru w takim lokalnym wirze powietrza może dochodzić do  $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Najczęściej trwa kilka, kilkanaście minut i pojawia się w cieplej porze roku w godzinach popołudniowych. Zazwyczaj towarzyszy przemieszczającym się chłodnym frontom atmosferycznym.

W ostatnim 25-leciu trąby powietrzne, zwane w mediach nieślusnie tornadami, występowały również w województwie podlaskim. Jak wynika z danych ESWD (European Severe Weather Database – strona [www.essl.org](http://www.essl.org)), w jego

granicach odnotowano 15 takich zdarzeń (tab. 24). Miały różne lokalizacje, bez wyraźnych preferencji przestrzennych, ale wszystkie wiązały się ze zniszczeniami budynków, mienia indywidualnych gospodarstw, linii energetycznych oraz znacznych powierzchni lasów. Skutki gospodarcze „trąb powietrznych” można porównywać ze skalą zniszczeń podczas amerykańskich tornad, dlatego w tabeli 24 umieszczono ich rodzaj w nawiązaniu do skali tornad Fujity. Pod koniec XX wieku szacowano, że w Polsce w ciągu roku występowały średnio 4 zjawiska tego typu. W pierwszych dwóch dekadach XXI wieku ich częstość znacząco wzrosła, podobnie jak skala zniszczeń w infrastrukturze i gospodarstwach indywidualnych. W pamięci wielu starszych mieszkańców regionu pozostają dalej znaczne skutki dwóch największych „trąb powietrznych” w tej części Polski, jedna z nich pojawiła się w rejonie dzielnicy Dojlidy w Białymstoku, a druga w centrum Tykocina.

W strukturze prędkości wiatru obserwuje się także wyraźny rytm dobowy, ukazany dokładnie dla Polski w badaniach Wierzbickiego i Bartkowskiego (1975) oraz Lorenc (1996). W Białymstoku i Suwałkach maksimum dobowe przypada na godziny 9-15 UTC, a minimum między godziną 2 i 4 UTC (rys. 35). W Białymstoku maksimum jest względnie większe niż w Suwałkach, gdzie jest nieco opóźnione w stosunku do stolicy województwa. Dobowy cykl prędkości wiatru jest typowy dla obszarów lądowych, gdyż nad morzem lub dużymi akwenami wodnymi dobową strukturą prędkości wiatru charakterystyczna dla lądu zanika na skutek odmiennych właściwości termicznych wody i jej szorstkości. Dobbowe maksimum w godzinach południowych zaznacza się wyraźniej w miesiącach letnich niż zimą, ze względu na silniejszą turbulencję powietrza w porze silnego południowego nasłonecznienia (Wierzbicki, Bartkowski 1975). Warto przy tym wskazać, że okołopołudniowy wzrost prędkości wiatru ma miejsce 1-2 godziny po wystąpieniu dobowego maksimum ciśnienia atmosferycznego.

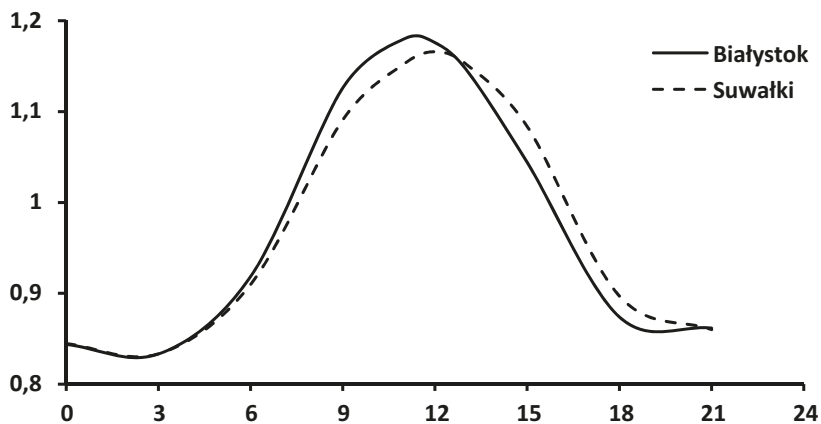
**Tabela 24.**

Trąby powietrzne odnotowane w województwie podlaskim w latach 1995-2019 według danych ESWD ([www.eesl.org](http://www.eesl.org))

<b>rok</b>	<b>data</b>	<b>miejsowości</b>	<b>skala Fujity</b>
2004	9 lipca	Kleszczele, Jelonka	F2
2005	22 lipca	Goniądz	F2
2006	13 sierpnia	Chroszcz, Dzikie Dobrzyniewo	F1
2006	28 listopada	okolice Suchowoli	F1
2007	11 maja	Chodorówka Stara, Kopciówka	F1
2007	09 sierpnia	Klimaszewica, Borawskie	F2
2008	21 czerwca	Tobołowo, gm. Nowinka	F2
2008	4 sierpnia	Augustów	F1
2009	6 maja	Jaziewo, Karoliny, Sztabin, Chilmonty	F1
2009	8 czerwca	Kalinowo, gm. Piątnica	F2
2010	18 maja	Pobondzie, Potopy, Rowełe, Marianka, Kadaryszki	F2
2010	18 maja	Bielsk Podlaski	F1
2012	29 lipca	Siemiatycze	F1
2017	29 czerwca	Wilkołuk, Zelwa,	F1
2017	29 czerwca	Dworzysko	F1
2018	24 sierpnia	Sierzputy-Marki, gm. Śniadowo	F2

Innym ważnym aspektem wiatru jest wzrost jego średniej prędkości w miarę oddalania się od powierzchni Ziemi, jako efekt zmniejszonego tarcia powietrza o podłoże. Pionowe zmiany prędkości wiatru w 200-metrowej przypowierzchniowej warstwie atmosfery zależą nie tylko od charakteru podłoża, ale też od ukształtowania terenu i typu równowagi atmosfery (Lorenc 1996). Jak podaje autorka, na wysokości 30 m nad powierzchnią terenu średnia roczna prędkość wiatru w Białymstoku jest o blisko 0,5 m/s większa niż na wysokości 10 m od powierzchni gruntu, a w Suwałkach o blisko 0,7 m/s. Powyższe dane były wyli-

czone dla terenu otwartego o najmniejszej szorstkości podłoża (klasa 0). Jest to równocześnie ważna informacja z punktu widzenia gospodarczego, szczególnie istotna w budownictwie i energetyce.



**Rys. 35.**

Względne zmiany prędkości wiatru w ciągu doby w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

## 8. Wilgotność powietrza

---

Istnieje wiele wskaźników wilgotności powietrza, wśród których wyróżnia się prężność pary wodnej oraz wilgotność względną. Prężność pary wodnej w powietrzu jest wyrażana w jednostkach ciśnienia (hektopaskalach – hPa). Zależy od temperatury powietrza i szybko zwiększa się w miarę jej wzrastania. Średnia roczna wartość prężności pary wodnej w powietrzu w Suwałkach i Białymstoku w rozpatrywanym okresie była zbliżona i wynosiła odpowiednio 9,1 i 9,2 hPa (tab. 25). Średnie dobowe wartości zmieniały się w szerokim zakresie – od 0,6 hPa do 24,5 hPa, a rozkład częstości jest asymetryczny, z dominacją częstości w zakresie 5-7 hPa, stanowiącej łącznie ponad 22% (rys.36). W rozkładzie pojawia się też drugie, mniej wyraźne maksimum o wartościach 12-14 hPa, związane z ciepłą porą roku. Przebieg roczny tego parametru powietrza jest zbliżony do przebiegu temperatury powietrza, gdyż najmniejsze średnie miesięczne wartości są charakterystyczne dla stycznia (4,2 hPa w Suwałkach), a największe dla lipca (15,6-15,8 hPa) (tab. 34). W okresie od listopada do kwietnia zmienność średnich miesięcznych wartości prężności pary wodnej w przyziemnej części atmosfery jest większa niż w okresie od maja do października. Chłodny okres roku cechuje się większą od wielkości notowanych w miesiącach letnich wartością współczynnika zmienności (tab. 34). W północnej części województwa obserwuje się większą zmienność warunków pogodowych w okresie zimowym niż w cieplej porze roku. Wspomniany wcześniej ścisły związek prężności pary wodnej z temperaturą jest wyraźnie widoczny, gdy porównamy przebieg dobowej prężności pary wodnej ze średnimi dla temperatury. Na obu wykresach zaznacza się późnomajowe zmniejszenie się tempa wzrostu obu parametrów, maksimum na przełomie lipca i sierpnia oraz wyraźne „tąpnięcie” we wrześniu, w czasie obniżania się temperatury i prężności pary wodnej.

Stan atmosfery jest również często charakteryzowany za pomocą wilgotności względnej, wyrażanej w procentach. Jest to stosunek aktualnej prężności pary wodnej do maksymalnej prężności pary wodnej w danej temperaturze. Pełne nasycenie powietrza parą wodną jest dość rzadko notowane na aktualnie pracują-

cych stacjach automatycznych. A przecież dość często występuje mgła czy rosa, i wówczas wilgotność względna wynosi 100%.

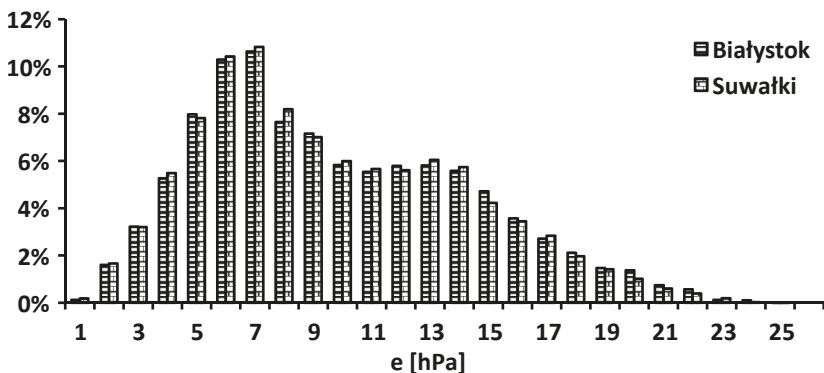
Zakres średnich dobowych wartości wilgotności względnej na stacjach synoptycznych zawierał się w przedziale od 31,5% do 100%, a średnich miesięcznych dla wszystkich stacji pomiarowych 50-95% (tab. 26). Stan pełnego wysycenia powietrza parą wodną nie był częsty, gdyż przez 25 lat (84131 dni) notowany był w Białymstoku tylko 38 razy, a w Suwałkach dla 62 dni. Przestrzenna zmienność średnich rocznych tego parametru w obrębie województwa podlaskiego jest niewielka. Można zauważyć, że wilgotność względna w Kotlinie Biebrzy jest nieco podwyższona, ale nie jest to wartość istotnie różniąca się od pozostałych.

**Tabela 25.**

Wieloletnia zmienność średniej rocznej prężności pary wodnej (e) w powietrzu oraz jego współczynnik zmienności (V) w latach 1995-2019

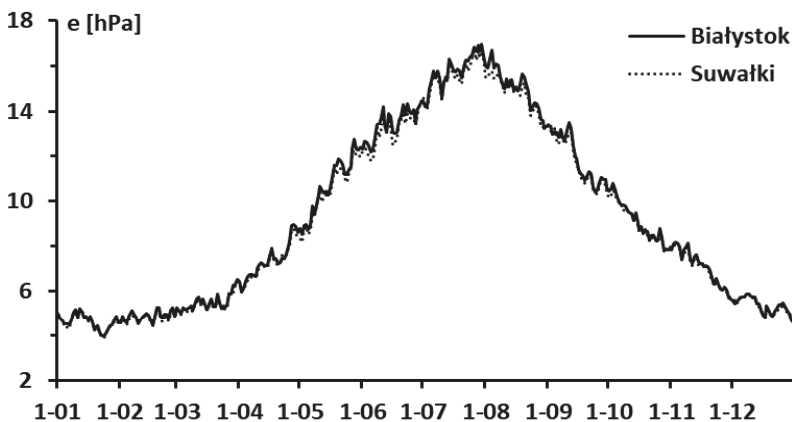
miesiące	Białystok		Suwałki	
	e [hPa]	V [%]	e [hPa]	V [%]
styczeń	4,61	17,9	4,20	18,6
luty	4,87	19,7	5,73	20,1
marzec	5,50	16,5	6,07	17,2
kwiecień	7,34	13,4	5,59	13,2
maj	10,7	10,0	10,4	10,2
czerwiec	13,4	10,8	13,1	9,9
lipiec	15,8	9,4	15,6	9,7
sierpień	15,0	7,0	14,8	7,2
wrzesień	11,9	7,4	11,8	7,6
październik	9,08	10,7	9,00	10,7
listopad	7,08	14,3	7,02	13,4
grudzień	5,34	20,0	5,31	21,2
rok	9,25		9,11	
abs. min.	0,8		0,6	
abs. max.	24,0		24,5	





**Rys. 36.**

Względna częstość dobowej prężności pary wodnej w powietrzu w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019



**Rys. 37.**

Średnia dobowa prężność pary wodnej w powietrzu w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

W cyklu rocznym można wyróżnić dwa okresy o odmiennym stanie uwilgotnienia powietrza (tab. 35). Od kwietnia do sierpnia średnia miesięczna wilgotność względna jest najmniejsza i nie przekracza 80%. Minimum tego parametru na obszarze województwa przypada w maju, a jedynie w Bondarach występuje

w czerwcu. Najwilgotniejszy jest okres od października do lutego, gdy średnie miesięczne z wielolecia przekraczały 85%.

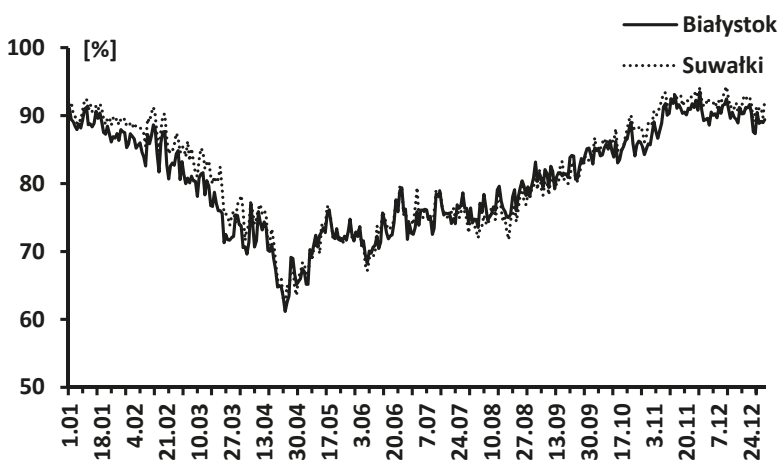
**Tabela 26.**

Średnia miesięczna wilgotność powietrza na stacjach pomiarowych IMGW – PIB w latach 1995-2019

<b>miesiące</b>	<b>Białowieża</b>	<b>Bondary</b>	<b>Białystok</b>	<b>Biebrza</b>	<b>Suwałki</b>
styczeń	87,4	89,1	88,4	90,9	90,2
luty	85,2	86,2	85,0	89,2	87,7
marzec	81,0	78,8	77,4	83,9	80,7
kwiecień	74,1	70,5	69,4	73,4	70,9
maj	73,6	71,3	71,3	71,8	71,3
czerwiec	74,4	71,0	73,0	72,0	73,4
lipiec	77,3	74,5	75,7	77,1	75,9
sierpień	79,5	74,3	77,1	79,4	75,6
wrzesień	84,3	81,3	82,0	84,4	81,1
październik	86,3	85,2	85,3	86,8	86,6
listopad	89,8	90,6	90,3	91,1	92,0
grudzień	88,9	90,5	90,1	91,4	91,8
rok	81,8	80,3	80,4	82,6	81,4
min.	57,1	57,4	54,4	60,0	49,8
max.	95,2	97,7	94,6	96,0	96,4

Bardziej szczegółowy obraz zmienności wilgotności względnej w ciągu roku przedstawiony został na rys. 42 dla dwóch stacji synoptycznych, gdzie średnie dobowe wyliczono z 24 pomiarów. Można zaznaczyć, że na obu stacjach przebieg wartości jest bardzo podobny, jedynie w chłodnej części roku (od połowy października aż do połowy kwietnia) wilgotność powietrza w Suwałkach jest większa niż Białymstoku. Wspólną cechą obu stacji pomiarowych jest obecność 8 okresów (ciągów dni) o zbliżonych parametrach wilgotności powietrza. Okres o największej wilgotności względnej powietrza zaczyna się od około 10 listopada i trwa do początku lutego, po czym następuje stopniowe jej zmniejszanie

się do 73-75%, trwające do około 25 marca. Następnie rozpoczyna się okres najmniejszej wilgotności, trwający średnio do 5-7 czerwca i przedzielony blisko miesięcznym (15 kwiecień – 15 maj) czasem panowania powietrza o najmniejszej wilgotności. Wówczas średnie dobowe wartości wilgotności względnej są w zakresie 60-70%. Po letnim optimum termicznym, z przedziałem wilgotności 74-76% trwającym do końca sierpnia, następuje ponowne zwiększanie się pary wodnej w powietrzu do najwyższego poziomu w roku. Przed osiągnięciem poziomu maksymalnych wartości daje się zauważyć istnienie dwutygodniowego okresu z niewielkim obniżeniem wilgotności powietrza. Jest to równocześnie okres powrotu warunków pogodowych „złotej jesieni”, wskazywanym wcześniej przy omawianiu zagadnień termiki powietrza.



**Rys. 38.**

Roczny przebieg średniej dobowej wilgotności powietrza w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

Na zakończenie omawiania cech powietrza związanych z wilgotnością przedstawiam zagadnienie parowania wody z powierzchni lądu, gdyż wilgotność powietrza jest zarówno efektem, jak i przyczyną zjawiska ubywania lądowych zasobów wody. Zmieniająca się stale cyrkulacja mas powietrza i zawartości w nich wody, przy mezoskalowym zróżnicowaniu form użytkowania terenów lądowych, jest przyczyną pojawiających się trudności metodycznych w poprawnym osza-

cowaniu parowania terenowego (ewapotranspiracji). Proces ten jest sumarycznym wynikiem parowania wody z powierzchni gleb, wód powierzchniowych oraz transpiracji roślin, szczególnie istotny w produkcji roślinnej i szerzej – w gospodarowaniu i planowaniu zużycia wody w jednostkach hydrograficznych łądów. Skutkuje to istnieniem bardzo dużej ilości stosowanych na świecie reguł matematycznych do ich szacowania. Prezentowane wyniki oszacowania parowania terenowego w województwie podlaskim w ostatnich 25 latach (1995-2019) uzyskano przy zastosowaniu reguły Ivanova (Romanienko 1961) i modyfikacjami tego wzoru dla okresu zimowego wprowadzonymi przez Wendlinga i Müllera (1984). Wyliczenia miesięcznych wartości parowania terenowego (E) wykonano na podstawie średniej miesięcznej wilgotności i temperatury powietrza (mierzonej na wysokości 2 m nad powierzchnią terenu).

Reguła ta ma postać

$$E \text{ [mm]} = a \cdot b \cdot (25 + t)^2 \cdot (100 - f), \text{ gdzie}$$

a – wartość stała: dla okresu ciepłego wynosi 0,00006, a dla zimowego (listopad-luty), zgodnie z modyfikacją Wendlinga i Müllera (1984) dla środkowej Europy – 0,000036,

b – liczba dni z miesiącu,

t – średnia temperatura miesiąca [°C],

f – średnia względna wilgotność danego miesiąca [%].

Uzyskiwane tą metodą wartości ewapotranspiracji (E) dają w Polsce dość wiarygodne wyniki, możliwe do zastosowania przy klimatycznym bilansie wodnym (Radzka 2014, Okoniewska, Szumińska 2020).

Wielkość parowania terenowego w województwie podlaskim w latach 1995-2015 wynosiła przeciętnie 499 mm (tab. 27). W najcieplejszych latach parowanie osiąga wartości blisko 670 mm, a najniższe nieco poniżej 350 mm (rys. 39). W latach 2008-2013 odnotowano okresowe zmniejszenie parowania terenowego, które w ostatnim okresie rozpatrywanego 25-lecia ma tendencję wzrostową, przekraczając wysokie wartości parowania z 2002 roku.

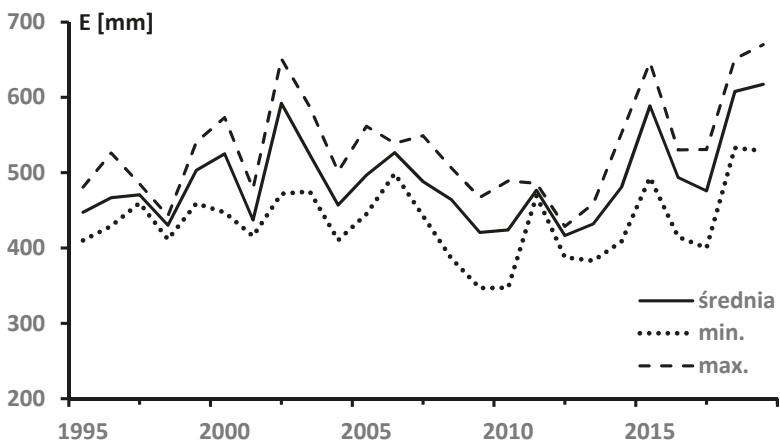
W czasie trzech miesięcy letnich (czerwiec – sierpień), w wyniku parowania ubywa blisko 50% rocznego parowania terenowego (rys. 40). Wiosną suma parowania przekracza nieco 30% wartości rocznej, a zimą osiąga średnio mniej niż 4%.

**Tabela 27.**

Średnie miesięczne i roczne parowanie terenowe (mm) oraz zakres współczynników zmienności (V%) w wybranych stacjach pomiarowych IMGW – PIB w latach 1995-2019

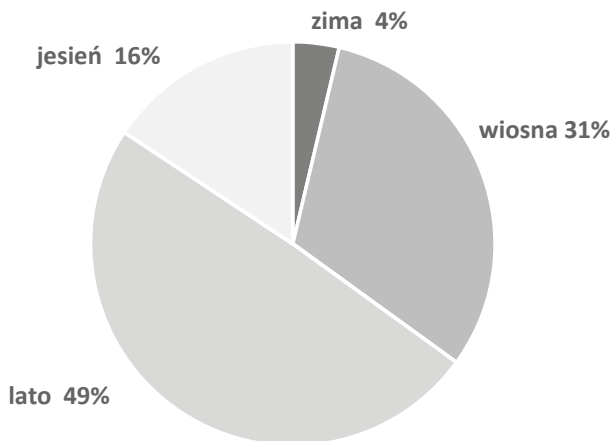
miesiąc	Białowieża	Białystok	Biebrza	Suwałki	Bondary	V [%]
styczeń	6,3	6,2	4,7	4,9	5,8	26,6-41,4
luty	7,7	8,4	5,8	6,5	7,6	32,3-42,0
marzec	24,6	29,8	20,6	24,0	27,8	23,0-33,6
kwiecień	50,1	60,1	50,6	55,5	58,2	21,2-26,2
maj	72,5	78,5	75,5	76,6	79,9	18,9-30,6
czerwiec	81,3	84,0	86,5	81,2	92,9	19,1-28,8
lipiec	80,8	86,0	80,5	84,4	92,6	24,1-28,2
sierpień	69,1	77,8	68,1	82,5	88,9	22,2-28,6
wrzesień	39,2	46,1	38,5	48,2	48,2	18,4-24,4
październik	26,5	29,0	25,0	25,8	29,4	23,6-28,1
listopad	8,4	8,0	7,3	6,4	7,8	21,6-28,2
grudzień	6,6	6,3	5,2	5,0	5,8	25,8-40,1
rok	473,0	520,1	468,3	500,9	544,8	12,7-14,9
max. roku	656,7	646,5	614,3	670,0	674,6	
min. roku	347,1	426,8	383,2	411,5	427,9	

W ciągu roku największe średnie miesięczne parowanie występuje w czerwcu lub lipcu i cechuje się najmniejszą zmiennością wieloletnią (tab. 27). Ekstremalnie wysokie wartości E, rzędu 150 mm, notowano w Białymstoku w lipcu, natomiast w Suwałkach w sierpniu. Najmniejsze parowanie ma miejsce w styczniu, a współczynnik zmienności w tym miesiącu ma największą wartość w roku.



**Rys. 39.**

Wieloletnie zmiany średniego rocznego parowania terenowego oraz jego zakresu w województwie podlaskim w latach 1995-2019



**Rys. 40.**

Struktura wielkości parowania terenowego w poszczególnych sezonach roku w województwie podlaskim w latach 1995-2019

## 9. Opady atmosferyczne i pokrywa śnieżna

---

Opady atmosferyczne decydują o zasobności łądów w wodę niezbędną do życia organizmów i działalności gospodarczej człowieka. Jej nadmiar lub niedobór determinuje określony rozwój ekosystemów łądowych, a także może stwarzać zagrożenie dla życia i zdrowia człowieka. Położenie Polski w klimacie umiarkowanym przejściowym sprawia, iż związana z tym struktura opadów atmosferycznych w skali wieloletniej lub roku stwarza okresowe trudności w racjonalnym gospodarowaniu wodą. Pojawiająca się pod koniec XX wieku zwiększona niestabilność warunków pluwiometrycznych na Ziemi zwiększa zainteresowanie naukowców, menadżerów i polityków wynikami badań klimatologicznych (Kozuchowski 1996, Kundzewicz i in. 2017). W niniejszym opracowaniu potraktowano więc ten element klimatu w sposób szczególny, także ze względu na ochronę licznych w województwie ekosystemów wodno-błotnych i łąk, wrażliwych na wszelkie zmiany w ilości i ustroju opadowym.

Analizę oparto na miesięcznych sumach opadów z 38 punktów rozmieszczonych na terenie województwa podlaskiego, funkcjonujących w latach 1995-2019 (zał. I, rys. 3). Przed dokonaniem ostatecznych obliczeń statystycznych dane poddano weryfikacji, w sposób powszechnie przyjęty w klimatologii. Przede wszystkim uzupełniono brakujące wartości pomiarów ze stacji opadowych, w oparciu o sąsiadujące posterunki lub stacje klimatyczne czy synoptyczne. Uzupełnienia średnich miesięcznych wartości dokonano na podstawie najbardziej istotnych statystycznie zależności między najbliższymi posterunkami posiadającymi pełną serię pomiarów wysokości opadów. W wyliczonych zależnościach statystycznych stosowanych do uzupełnień danych współczynnik determinacji zawsze przekraczał wartość 0,8, przy poziomie istotności  $<0,005$ . Dlatego też wyliczenia w dotychczasowych publikacjach mogą się nieco różnić od prezentowanych wcześniej w tej pracy.

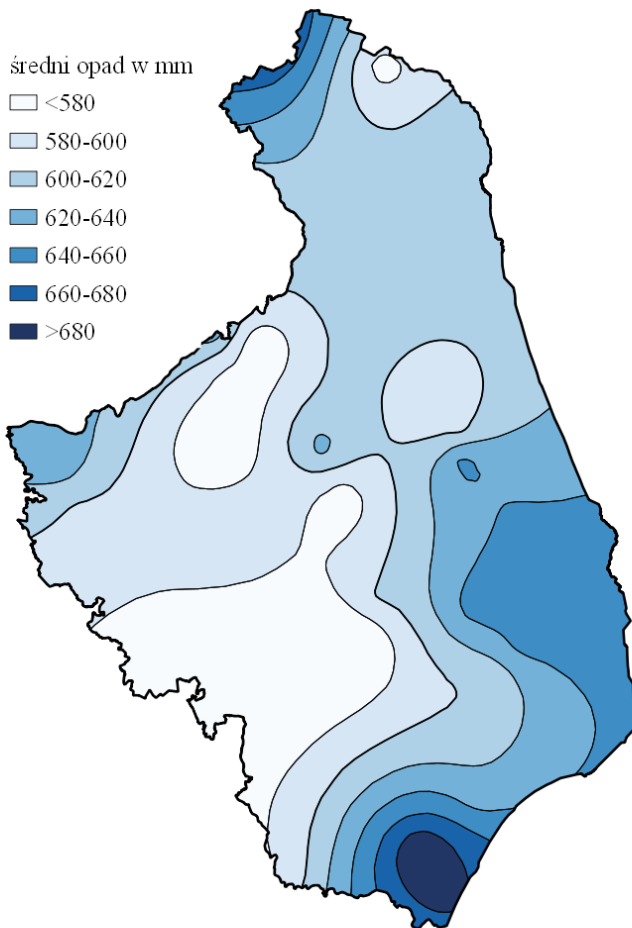
Wyliczona dla potrzeb bilansu wodnego województwa średnia suma opadu rocznego (styczeń – grudzień) w województwie podlaskim w omawianym okresie wynosiła 608 mm, a średnie sumy roczne dla punktów pomiaru opadów

z okresu 1995-2019 zmieniały się od 320 mm do 1039 mm. Średnie roczne dla terenu województwa zmieniały się w mniejszym zakresie od 502 mm do 786 mm (rys. 41). Porównując omawiany okres z latami 1961-1995, nastąpił wzrost średniej rocznej sumy opadów o nieco ponad 20 mm, zaś zakres zmian opadów rocznych o ponad 300 mm. Wskazuje to jednoznacznie na zwiększenie fluktuacji rocznej sumy opadów. Do lat o zwiększonej sumie opadów zaliczyć należy lato 2010 i 2017, natomiast najmniejszymi sumami opadów charakteryzowały się lata 2000 i 2015. Największe zróżnicowanie opadów na obszarze województwa odnotowano w 1996 roku (współczynnik zmienności 14,4%), a najmniejsze w 2015 roku (współczynnik zmienności 6,4%). W latach 1995-2019 brak jest istotnego statystycznie trendu zmian wielkości opadów (rys. 42).

W województwie podlaskim istnieje umiarkowane przestrzenne zróżnicowanie sumy rocznych opadów. W ostatnim 25-leciu największymi opadami charakteryzowała się Puszcza Białowieska wraz doliną Nurczyka (tab. 28). W miejscowości Nurzec-Stacja w 2010 roku zanotowano po raz pierwszy w regionie rekordową sumę opadów rocznych, przekraczającą wartość 1000 mm. W regionie tym średnia wieloletnia przekracza wartości dla obszarów pojezierzy, uznawanych dotychczas za największe w województwie podlaskim (Górniak 2000), podobnie też sąsiednie regiony wysoczyzn cechowały się większą roczną sumą opadów niż pojezierza.

Najmniejsze sumy opadów rocznych w województwie występowały w Kotlinie Biebrzańskiej i przylegającej do niej Wysoczyźnie Kolneńskiej. W latach 1961-1995 również stwierdzono zmniejszone opady roczne na tym terenie (Górniak 2000). Potwierdzają to wcześniejsze badania Kossowskiej-Cezak i in. (1991), wskazujących na specyfikę warunków pluwalnych regionu biebrzańskiego w porównaniu do sąsiadujących wysoczyzn.





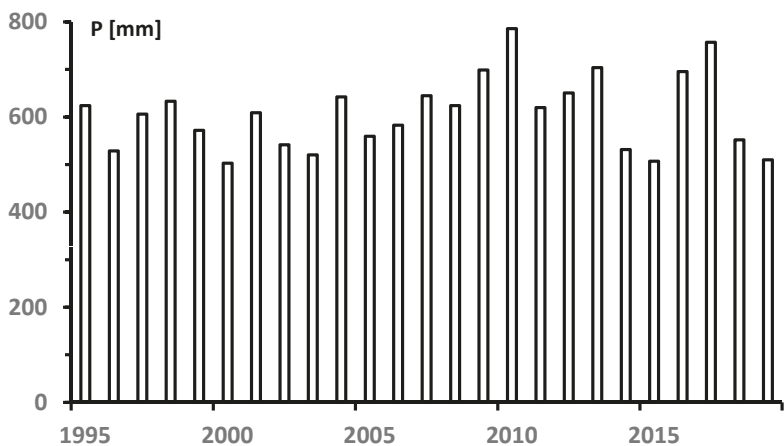
**Rysunek 41.**

Mapa sumy rocznej opadów atmosferycznych w województwie podlaskim w latach 1995-2019

**Tabela 28.**

Średnie sumy opadów (mm) miesięcznych oraz minimalne i maksymalne sumy opadów miesięcznych i dobowych na 38 stacjach pomiarowych IMGW – PIB w województwie podlaskim w latach 1995-2019

miesiące	miesięczne wartości			maksymalny opad dobowy
	średnia	min.	max.	
styczeń	36,8	1,8	143	28,6
luty	33,8	1,5	105	25,3
marzec	34,8	4,2	90	29,8
kwiecień	37,1	0,1	106	45,9
maj	61,9	3,4	206	97,8
czerwiec	66,3	7,7	285	88,9
lipiec	88,2	4,0	332	111,6
sierpień	69,9	2,5	262	101,5
wrzesień	53,1	7,8	242	86,8
październik	44,9	0,1	146	41,2
listopad	41,4	7,2	126	38,3
grudzień	39,9	1,8	109	24,4
rok	608,2	320	1039	111,6

**Rys. 42.**

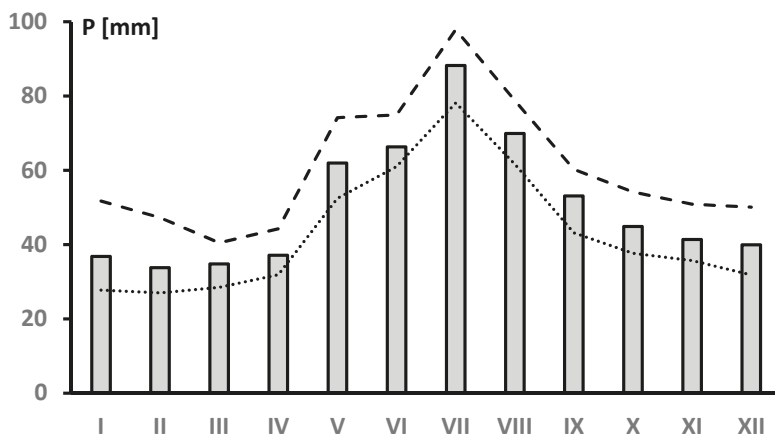
Średnie roczne opady atmosferyczne w województwie podlaskim w latach 1995-2019

**Tabela 29.**

Średnie miesięczne sumy opadów w głównych regionach fizjograficznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019; n – liczba stacji

<b>region</b>	<b>n</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>	<b>IX</b>	<b>X</b>	<b>XI</b>	<b>XII</b>	<b>rok</b>
Pojezierze Wschodniosuwalskie	3	38	32	34	34	54	68	89	72	50	50	40	38	598
Pojezierze Zachodniosuwalskie	3	42	36	37	35	52	66	87	69	52	54	43	43	616
Kotlina Biebrzańska	4	35	34	34	36	57	64	86	69	51	43	41	39	590
Wzgórza Sokólskie	3	34	31	33	37	60	66	85	70	53	45	40	38	594
Wysoczyzna Białostocka część wschodnia	5	41	38	38	39	65	64	89	74	57	48	45	45	642
Wysoczyzna Białostocka część zachodnia	4	35	33	33	36	66	64	86	73	51	44	41	40	603
Równina Bielska	3	38	34	35	39	65	70	93	66	56	42	42	42	624
Puszcza Białowieska i dolina Nurczyka	3	46	42	38	41	66	73	96	68	57	46	47	46	666
Wysoczyzna Drohiczyńska	2	33	32	32	38	64	69	88	67	50	38	37	35	582
Wysoczyzna Wysokomazowiecka	3	30	28	30	35	66	64	83	68	54	39	37	33	568
Wysoczyzna Kolneńska	2	32	32	33	34	59	63	83	72	50	42	38	36	574
Równina Kurpiowska	2	33	30	33	34	61	68	88	73	52	47	41	38	598
Pojezierze Etckie	3	37	33	37	37	63	66	94	75	56	50	43	41	631

Pas zmniejszonych opadów rocznych ciągnie się w kierunku południowo-wschodnim, poczynając od Kotliny Biebrzańskiej i dalej obejmuje Wysoczyznę Wysokomazowiecką i Drohiczyńską (rys. 41, tab. 29). Ostatni z regionów również doświadcza efektu doliny Bugu, przesuującego lokalnie część wilgoci atmosferycznej poza jego obszar, na tereny przyległe. Odbywa się to przeważnie we wrześniu i październiku, podobnie jak w przypadku Kotliny Biebrzańskiej. Ponadto Wysoczyzna Wysokomazowiecka cechuje się zmniejszonymi opadami sezonu zimowego (grudzień – luty) w relacji do sąsiednich terenów. Warty zauważenia jest też fakt wyraźnego zróżnicowania opadowego w obrębie Wysoczyzny Białostockiej. Część wschodnia regionu, bardziej zalesiona i z większymi deniwelacjami, ma roczne opady średnio większe o ponad 40 mm niż część zachodnia, bardziej płaska, z dominacją terenów uprawnych. Jednocześnie liczba posterunków opadowych na tym obszarze jest dwukrotnie większa niż w pozostałych częściach województwa. Potwierdza się tym samym słuszność wydzielenia klimatycznego subregionu Supraskiego w regionie Białostockim na mapie regionów klimatycznych województwa podlaskiego (Górniak 2000).



**Rys. 43.**

Maksymalne, minimalne i średnie miesięczne opady w województwie podlaskim w latach 1995-2019; dane z 39 stacji pomiarowych IMGW – PIB

Generalnie w województwie podlaskim opady wykazują roczny rytm cechujący umiarkowane szerokości geograficzne, gdzie opady letnie przeważają nad zimowymi (rys. 43). Roczny przebieg opadów na terenie województwa podlaskiego w analizowanym 25-leciu cechuje się minimum lutowym i maksimum w lipcu, podobnie jak w innych regionach nizinnych kraju i północnej części Wyżyny Lubelskiej (tab. 31).

**Tabela 30.**

Średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych w latach 1995-2019 w województwie podlaskim i kilku wybranych stacjach synoptycznych Polski; dane wyliczone na podstawie danych publicznych udostępnionych przez IMGW – PIB (dostęp online: 4.03.2021), pogrubiona czcionka – średnie wartości minimalne i maksymalne

miesiące	średnia dla woj. podlaskiego	Toruń	Mikołajki	Warszawa	Lublin-Radawiec	Łódź
styczeń	36,8	32,5	33,6	31,4	34,1	37,3
luty	<b>33,8</b>	<b>28,1</b>	<b>29,5</b>	<b>31,0</b>	<b>31,6</b>	<b>35,2</b>
marzec	34,8	31,9	33,1	28,4	38,3	37,2
kwiecień	37,1	30,9	34,1	34,8	42,8	35,3
maj	61,9	53,5	59,5	55,9	72,6	64,3
czerwiec	66,3	52,2	71,6	61,3	66,1	63,5
lipiec	<b>88,2</b>	<b>99,1</b>	<b>88,6</b>	<b>89,3</b>	<b>89,3</b>	<b>87,2</b>
sierpień	69,9	63,3	81,1	61,8	57,6	53,7
wrzesień	53,1	50,8	55,8	49,3	57,6	52,4
październik	44,9	38,5	54,0	38,8	43,4	43,9
listopad	41,4	33,9	40,8	35,6	38,0	40,1
grudzień	39,9	37,4	35,2	33,1	33,8	38,6
rok	608	552	617	551	605	589

Sezonowość opadów jest cechą charakterystyczną wszystkich stref klimatycznych. W klimacie umiarkowanym przejściowym określona sezonowość opadów może być oznaką zaznaczających się warunków kontynentalnych lub oceanicznych. Ustrój pluwialny danego obszaru najlepiej jest oceniać stosując syntetyczne, klimatyczne wskaźniki liczbowe. Wartości niektórych wskaźników

wyliczone dla regionów województwa podlaskiego podano w tabeli 34. Dodatnia wartość wskaźnika opadowego Vujević'a (patrz słowniczek) wskazuje na kontynentalny ustrój pluwialny obszaru województwa, który najbardziej zaznacza się w rejonie Puszczy Białowieskiej, Równiny Bielskiej i Wysoczyzny Drohiczyńskiej.

**Tabela 31.**

Opadowe wskaźniki klimatyczne w regionach geograficznych województwa podlaskiego w latach 1995-2016; Pw/Pj – stosunek opadów wiosny do opadów jesieni, Pz/PI – stosunek opadów zimowych (grudzień – luty) do opadów jesieni

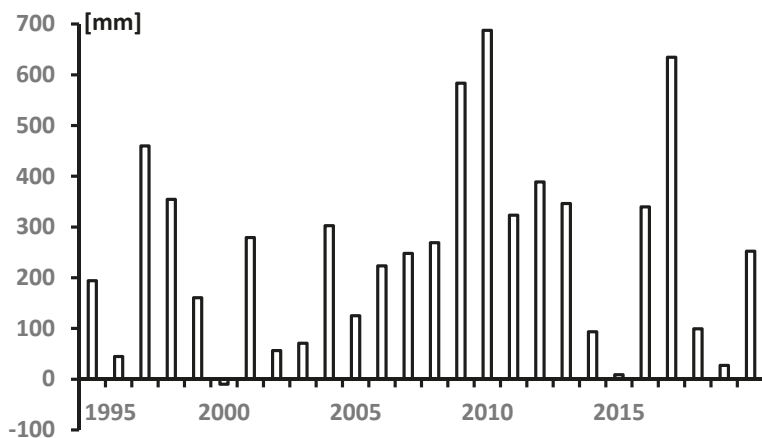
region	wskaźnik Vujević'a	dzielnik Gorczyńskiego	indeks opadów Schmucka	Pw/Pj	Pz/PI
Pojezierze Wschodniosuwalskie	0,06	0,68	240,7	0,94	0,52
Pojezierze Zachodniosuwalskie	0,05	0,68	246,9	0,94	0,58
Kotlina Biebrzańska	0,07	0,56	211,9	1,07	0,53
Wzgórza Sokólskie	0,07	0,59	235,1	1,04	0,51
Wysoczyzna Białostocka – część wschodnia	0,06	0,62	292,9	1,11	0,56
Wysoczyzna Białostocka – część zachodnia	0,08	0,56	222,7	1,09	0,53
Równina Bielska	0,10	0,57	283,5	1,10	0,55
Puszcza Białowieska i dolina Nurczyka	0,10	0,56	335,6	1,12	0,63
Wysoczyzna Drohiczyńska	0,11	0,69	222,3	1,23	0,49
Wysoczyzna Wysokomazowiecka	0,09	0,58	202,2	1,17	0,46
Wysoczyzna Kolneńska	0,07	0,65	196,1	1,10	0,50
Równina Kurpiowska	0,08	0,69	243,9	1,09	0,48
Pojezierze Etckie	0,07	0,60	316,2	1,06	0,52

Wyliczone wartości dzielnika Gorczyńskiego (1945, za Okołowiczem 1969) dla centralnej części województwa mają wartości mniejsze niż 0,6, z minimum w Kotlinie Biebrzańskiej i Puszczy Białowieskiej. Natomiast największe war-

tości występowały na terenach pojezierzy, na Wysoczyźnie Kolneńskiej i Równinie Kurpiowskiej. Ustrój pluwiálny pojezierzy jest bardziej zbliżony do ustroju oceanicznego niż kontynentalnego, ze względu na większą możliwość dopływu wilgotnych mas powietrza z kierunku północno-zachodniego. Na terenie województwa podlaskiego indeks opadowy Schmucka (1965) w latach 1995-2019 średnio wynosił 252 mm i był najbardziej zróżnicowany przestrzennie spośród zastosowanych pięciu wskaźników opadowych. Wysoczyzna Kolneńska wykazuje najmniejsze wartości tego indeksu (<200 mm). Równie niskie wartości (200-240 mm) indeksu opadowego dotyczą Kotliny Biebrzańskiej oraz regionów środkowej i południowej części województwa podlaskiego. Wschodnia część województwa i zachodnie jego części w obrębie Pojezierza Etckiego cechowały się największymi wartościami indeksu opadowego (>290 mm). W przebiegu wieloletnim średnia wartość indeksu opadowego zmieniała się od -9,8 mm w 2000 roku do 688 mm w 2010 roku, który cechował się wysokimi rocznymi opadami (rys. 44). Ujemna średnia wartość indeksu opadowego wystąpiła w jednym roku, czyli występowała zdecydowanie rzadziej niż np. w województwie łódzkim, gdzie w ciągu 55 lat taka sytuacja występowała ośmiokrotnie (Wibig, Radziun 2019). Przestrzenne zróżnicowanie indeksu Schmucka na terenie województwa było bardzo wysokie i w 16 na 25 analizowanych lat notowano zarówno ujemne, jak i dodatnie wartości indeksu. Wskazuje to znaczną niejednorodność pola opadów w województwie i jednocześnie potwierdza, że indeks opadowy Schmucka bardziej opisuje efektywność opadów niż cechy oceaniczne/kontynentalne ustroju opadowego (Kozuchowski, Wibig 1988).

W województwie podlaskim opady wiosny przeważają nad jesiennymi, co przemawia za cechami pluwiálnego ustroju kontynentalnego. Jedynie na Pojezierzu Suwalskim sytuacja jest odwrotna (tab. 31), wskazująca na sezonowe oznaki ustroju oceanicznego. Kirschenstein i Baranowski (2005) wykazali, że w latach 1951-1995 Pojezierze Suwalskie posiadało ustrój pluwiálny o cechach oceanicznych. Natomiast na terenie całego województwa podlaskiego istnieje dominacja letnich opadów nad zimowymi, co jest uznawane za charakterystyczne dla ustroju kontynentalnego. Wynika z tego, że oceaniczne cechy pluwiálne regionu Suwalskiego pojawiają się jedynie w przejściowych porach roku, a kontynentalne cechy

pluwalne zdecydowanie dominują w pozostałych porach roku. Jest to zgodne z wcześniejszymi poglądami Kożuchowskiego i Wibig (1988), wskazującymi na istotną przewagę pluwalnych cech klimatu kontynentalnego całej wschodniej Polski.



**Rys. 44.**

Średnia wartość indeksu opadowego Schmucka (1965) w województwie podlaskim w latach 1995-2019

## Dni opadowe

W latach 1995-2019 opady roczne występowały po 218-219 dni, liczba dni z opadem była większa niż dni bez opadów (tab. 32). Blisko 75% dni z opadami cechuje się opadami mierzalnymi, czyli  $\geq 0,1$  mm, a średnio w roku występowało 49 dni o opadach  $< 0,1$  mm w Suwałkach i 55 dni w Białymstoku. Najwięcej dni z opadem  $\geq 0,1$  mm notowano w Białowieży, szczególnie w postaci deszczu (tab. 33). Od Kotliny Biebrzańskiej i dalej na wschód ku granicy z Białorusią ciągnie się obszar nie tylko o zmniejszonej sumie opadów, ale także o mniejszej w liczbie dni z opadem. W porównaniu do Białowieży jest to okres o ponad 3 tygodnie krótszy, a w relacji do Białegostoku o 11 dni.



**Tabela 32.**

Dni bezopadowe i z opadami na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019

liczba dni w roku	Białystok			Suwałki		
	średnia	max.	min.	średnia	max.	min.
bez opadów	146	176	119	147	182	115
z opadem	219	246	189	218	251	184
z opadem <0,1 mm	55	71	42	49	97	22
z opadem ≥0,1 mm	164	196	132	169	194	133

**Tabela 33.**

Średnia liczba dni z opadem deszczu i śniegu (≥0,1 mm) oraz ich udział w sumie opadów w wybranych miejscowościach województwa podlaskiego w latach 1995-2019

miejscowość	liczba dni			% opadu jako	
	deszcz	śnieg	opad	śnieg	deszcz
Suwałki	116	53	169	21,3%	78,7%
Różanystok	111	41	153	17,1%	82,9%
Biebrza	114	39	153	16,0%	84,0%
Białystok	112	52	164	18,8%	81,2%
Białowieża	126	50	175	19,6%	80,4%
Szepietowo	112	40	152	13,9%	86,1%

W Suwałkach liczba dni z opadem (≥ 0,1 mm) była średnio o 4 dni większa niż w Białymstoku (tab. 34). W zależności od pory roku, średni miesięczny udział dni opadowych może różnić się nawet o 20%. Najwięcej dni z opadem ≥ 0,1 mm (od 15 do 18 dni) notowano w chłodnej porze roku, od listopada do lutego, z maksimum w styczniu i minimum w kwietniu. Wraz ze wzrostem udziału dni z opadem w danym miesiącu zmniejszała się różnica między stacjami synoptycznymi.

**Tabela 34.**

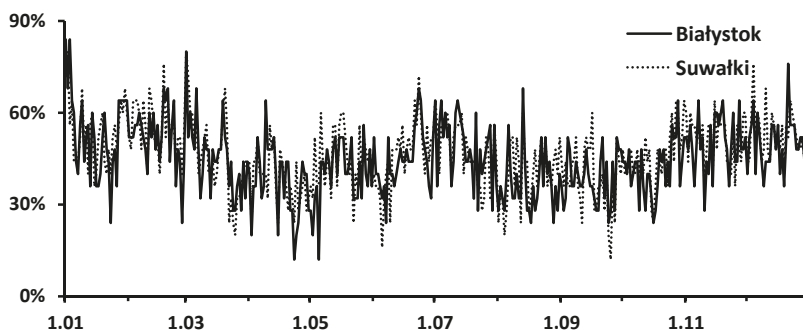
Średni miesięczny udział dni z opadem atmosferycznym ( $\geq 0,1\text{mm}$ ) w latach 1995-2019

miesiące	% dni z opadem	
	Białystok	Suwałki
styczeń	53,3%	55,0%
luty	49,9%	54,2%
marzec	45,7%	47,9%
kwiecień	35,1%	38,1%
maj	40,1%	44,5%
czerwiec	43,5%	46,0%
lipiec	49,0%	49,4%
sierpień	36,9%	42,1%
wrzesień	38,5%	38,3%
październik	41,7%	47,4%
listopad	50,0%	51,7%
grudzień	50,2%	54,6%
rok	45,0%	48,4%
min.	35,1%	38,1%
max.	53,3%	55,0%

Wyliczone częstości występowania opadów atmosferycznych w kolejnych dniach roku wskazują, że dni opadowe najczęściej mają częstość od 40 do 55%, bardzo podobną w obu analizowanych stacjach synoptycznych (rys. 45). Największe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu atmosferycznego ( $>80\%$ ) zarówno w Suwałkach, jak i Białymstoku było w dniach 2 i 3 stycznia oraz 1 marca. Statystycznie dniami najmniej „opadowymi” są 24 kwietnia i 5 maja, a w Suwałkach także 25 września.

Dominującą postacią opadów na omawianym terenie są opady deszczu, gdyż opady śniegu stanowią średnio 14-21% sumy rocznej (tab. 35), a w poszczególnych latach ich udział może zmieniać się od kilku do blisko 30%. Liczba dni w roku z opadami deszczu była o około 50-60% większa od odpowiedniej dla

śniegu; równocześnie obserwowano znaczną wieloletnią zmienność liczebności dni z opadem o zróżnicowanej formie czy wysokości opadu.



**Rys. 45.**

Średni udział dni z opadem atmosferycznym ( $\geq 0,1$  mm) w ciągu roku w latach 1995-2019 w Białymstoku i Suwałkach

**Tabela 35.**

Średnia liczba dni z różnymi formami opadu atmosferycznego w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

liczba dni w roku z opadem	Białystok			Suwałki		
	średnia	max.	min.	średnia	max.	min.
opad <0,1 mm						
deszcz	33	47	21	31	62	16
śnieg	22	32	11	18	35	4
opad $\geq 0,1$ mm						
deszcz	112	145	87	117	148	91
śnieg	52	75	28	54	70	31
opad						
deszczu	145	177	116	148	185	110
śniegu	74	73,7	99	72	96	48
w tym deszczu ze śniegiem	17	31	5	11	22	1

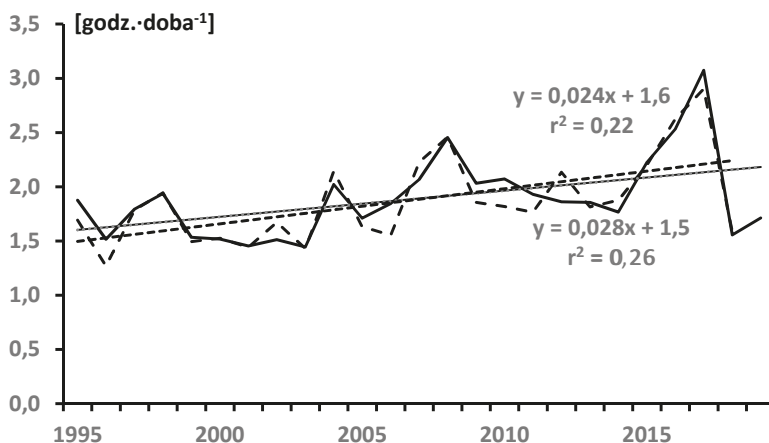
## Czas trwania i obfitość opadów

Istnieje wiele parametrów meteorologicznych stosowanych do charakterystyki wielkości i natężenia opadów. Profesor Merecki, już w 1915 roku, opisując różnicowanie opadów w Polsce, zastosował za Pietkiewiczem (1889) wskaźnik – obfitość opadów. Jest to wskaźnik określający średnią wysokość opadu w dniach z opadem (w mm na dzień z opadem). Według Kosiby (1972) jest to miara „średniej wydajności dnia opadowego”. W niniejszej pracy obliczono średnią obfitość opadów ( $\geq 0,1$  mm) dla dwóch stacji synoptycznych dla każdego dnia, poszczególnych miesięcy i lat z okresu 1995-2019. Dokładniejszą miarą wydajności pojedynczego okresu opadowego (*rain intensity*) jest natężenie opadu (w mm/min), określane dawniej na podstawie pasków z pluwiografów, a obecnie ze zbioru danych zapisywanego elektronicznie dla każdej stacji pomiaru opadu w sieci IMGW – PIB. Ten parametr wykorzystuje się przy analizach opadów o wysokim natężeniu, opadach nawalnych i ma szczególne zastosowanie przy projektowaniu sieci kanalizacyjnej i kanałów odprowadzających wody opadowe. Jeszcze innym parametrem opadów stosowanym w klimatologii jest czas trwania opadów (w godzinach), służący do opisu charakteru opadów (krótkotrwałe, długotrwałe). W prezentowanym opracowaniu wykorzystano zestawienia miesięcznych sum czasu trwania opadów ( $\geq 0,1$  mm) dla stacji synoptycznych w latach 1995-2019, które przedstawiono w postaci średnich dobowych, miesięcznych i rocznych.

W analizowanym 25-leciu w województwie podlaskim opad atmosferyczny średnio w roku trwał 3,1 godziny na dobę (tab. 36). W ciągu roku największy średni czas trwania opadów występuje w grudniu i styczniu (5,4-5,7 godziny na dobę), a najmniejszy w sierpniu (1,4 godziny) (rys. 46). Średni czas trwania opadów w województwie podlaskim jest większy od przeciętnej wartości dla polskich pojezierzy, ale mniejszy od wartości średnich dla terenów wyżynnych czy górskich (tab. 36). Nie stwierdzono istotnych statystycznie tendencji w zmienności średniego czasu trwania opadów w analizowanym 25-leciu, a fluktuacje wartości rocznych były znaczne – od 2,3 godziny na dobę w 2015 roku do 4,4 godziny na dobę w 2010 roku (obie wartości dla Suwałk).

Średni roczny czas trwania deszczu na obu analizowanych stacjach synoptycznych był podobny i wyniósł 1,9 godziny na dobę. Zmienność wieloletnia

czasu trwania opadów, wyrażona współczynnikiem zmienności wynosiła 20-21% i była większa o 4-5% niż zmienność dla całkowitego czasu trwania opadów atmosferycznych. W przypadku średniego czasu trwania deszczu wystąpiła istotna statystycznie tendencja wzrostu wartości (rys. 46). Szczególnie wysokie wartości odnotowano w roku 2017, kiedy to czas występowania opadów deszczu był blisko dwukrotnie większy od średniej z wielolecia. W ciągu roku największy średni czas opadów deszczu występuje w listopadzie (2,7-2,8 godziny na dobę), a najmniejszy w sierpniu (1,4 godziny) (rys. 47). W Suwałkach średni miesięczny czas trwania opadów ponad 2 godziny na dobę zaczyna się w październiku, czyli o miesiąc wcześniej niż w Białymstoku.



**Rys. 46.**

Wieloletnie zmiany średniego rocznego czasu trwania opadu deszczu w latach 1995-2019 w Białymstoku (linia ciągła) i Suwałkach (linia przerywana)

Średnia roczna wydajność dni z opadem (obfitość) w latach 1995-2019 na analizowanych stacjach synoptycznych zmieniała się przeważnie w zakresie 3-4 mm na dzień z opadem (rys. 48), ale od 2010 roku pojawiły się 3 lata (2010, 2013 i 2017, a w Białymstoku także w 2016 roku) ze średnią obfityością ponad 4 mm na dzień opadowy. Dlatego w ostatnich 25 latach obfityość opadów miała tendencję wzrostu istotną statystycznie ( $p < 0,01$ ), o blisko dwukrotnie większym

natężeniu w Białymstoku niż w Suwałkach (rys. 46). Obfitość opadów z analizowanego okresu była nieco większa od wartości dla tych stacji prezentowanych przez Kożuchowskiego (2015) dla 50-lecia 1958-2008.

**Tabela 36.**

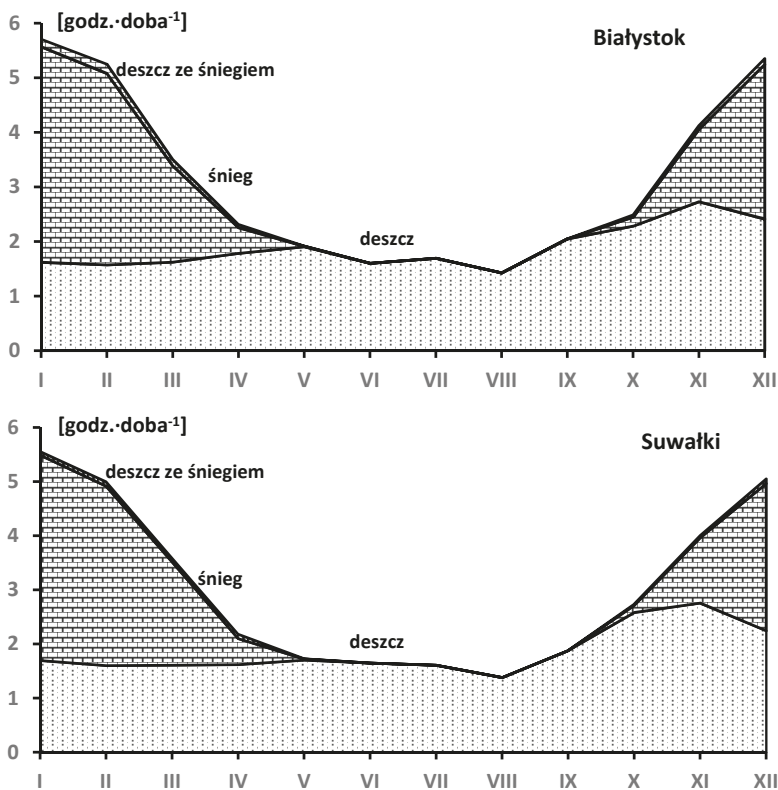
Średni czas trwania opadów atmosferycznych i deszczu w ciągu roku w wybranych miejscowościach Polski w latach 1995-2019 (obliczenia własne na podstawie danych IMGW – PIB zestawionych na stronie [www.meteomodel.pl](http://www.meteomodel.pl))

miejscowość	czas trwania [godz.·doba <sup>-1</sup> ]	
	opadów atmosferycznych	deszczu
Hel	2,12	1,57
Świnoujście	2,09	1,67
Łeba	2,70	2,07
Chojnice	2,85	2,05
<b>Białystok</b>	<b>3,11</b>	<b>1,89</b>
<b>Suwałki</b>	<b>3,02</b>	<b>1,86</b>
Terespol	2,53	1,56
Lublin-Radawiec	3,36	2,00
Rzeszów	3,25	1,99
Lesko	4,20	2,35
Zakopane	4,74	2,39

**Tabela 37.**

Porównanie rocznej i sezonowej obfitości opadów w Białymstoku i Suwałkach w dwóch okresach badawczych; dane z lat 1958-2008, według Kożuchowskiego (2015)

okres	Białystok		Suwałki	
	1958-2008	1995-2019	1958-2008	1995-2019
rok	3,52	3,87	3,46	3,58
wiosna	3,33	3,90	3,18	3,27
lato	5,64	5,70	5,46	5,29
jesień	3,47	3,65	3,57	3,64
zima	2,09	2,22	2,02	2,13

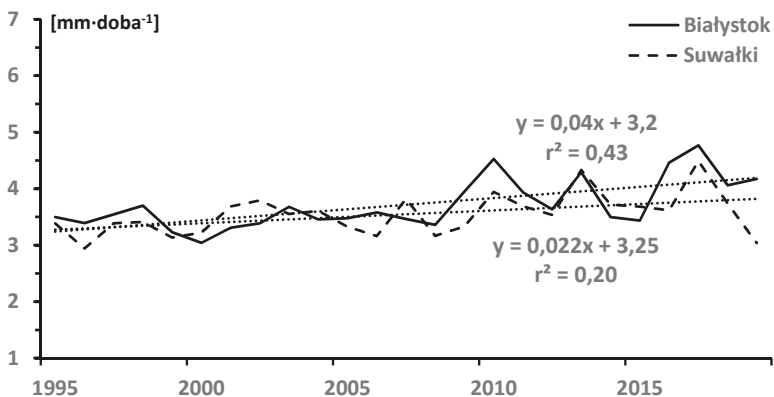


**Rys. 47.**

Zróżnicowanie średniego miesięcznego czasu trwania różnych form opadu w ciągu roku w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

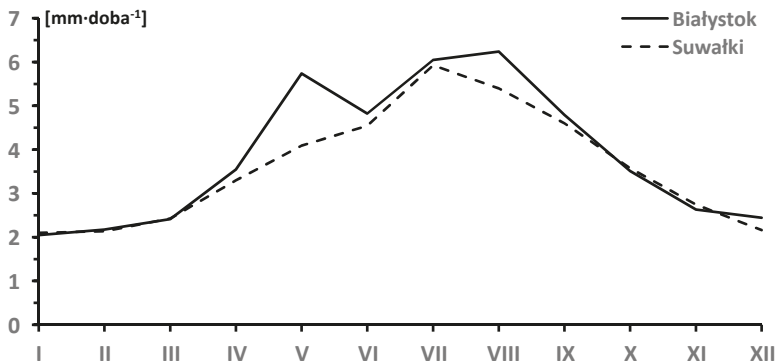
Większe różnice w średniej rocznej obfitości opadów w Białymstoku niż w Suwałkach (tab. 37) wynikają przede wszystkim ze zwiększonej intensywności opadów w maju i sierpniu w Białymstoku w dekadzie 2010-2019, co również potwierdza rys. 48, prezentujący sezonowość obfitości opadów w województwie podlaskim. Wyraźnie zaznacza się zwiększona, blisko dwukrotnie, obfitość opadów sezonu ciepłego (kwiecień – wrzesień) w porównaniu do miesięcy okresu październik – marzec, o obfitości 2-2,5 mm na dzień z opadem (rys.49). Jest to związane ze zwiększonym rozwojem zachmurzenia o charakterze konwekcyjnym

w cieplej porze roku. Taki schemat sezonowości potwierdza charakter rocznego cyklu prezentowanego wcześniej przez Olechnowicz-Bobrowską (1970) oraz Kożuchowskiego (2015).



**Rys. 48.**

Wieloletnie zmiany średniej rocznej obfitości opadów w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019



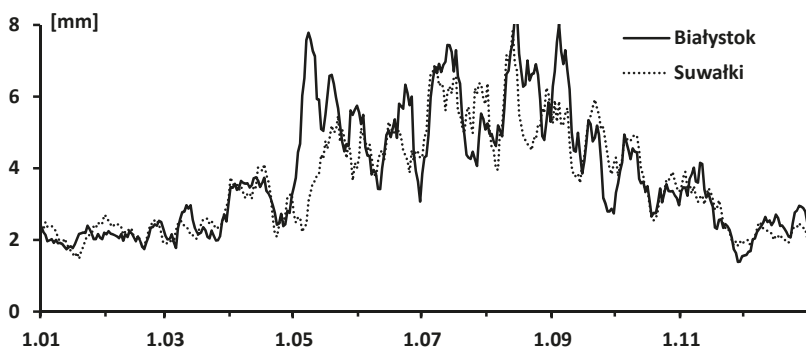
**Rys. 49.**

Średnia miesięczna obfitość opadów atmosferycznych w Białymstoku i Suwałkach w latach 2015-2019



Roczny przebieg średnich dobowych wartości obfitości opadów na rys. 49 także nawiązuje do wspomnianego wcześniej schematu rocznego. Dokumentuje przy tym istnienie 5-6 kilkudniowych okresów ze zmniejszoną obfitością w porze ciepłej (trzecia dekada kwietnia, druga dekada czerwca i lipca, połowa sierpnia) oraz dwóch terminów w porze chłodnej (druga dekada października i ostatnia listopada). Można to wiązać z opadami z chmur warstwowych obecnych podczas przemieszczania się frontów ciepłych.

Zwiększająca się obfitość wiosennych opadów w województwie podlaskim świadczy o zwiększającym się natężeniu cyrkulacji strefowej w porze przejściowej w tym okresie i pojawianiu się cech oceanicznych, dominujących w kontynentalnym ustroju pluwialnym.



**Rys. 50.**

Średnia ruchoma (7 dniowa) dobowej obfitości opadu w wieloleciu 1995-2019 na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego

Blisko 3/4 dobowych opadów w województwie podlaskim nie przekracza 5 mm, a w porze chłodnej opady dobowe nie przekraczają 40 mm, zaś latem mogą nawet przekraczać 100 mm. Podobnie jak w latach wcześniejszych, opad ponad 40 mm na dobę częściej spotyka się na wysoczyznach niż w pasie pojezierzy (tab. 38, zał. I).

**Tabela 38.**

Sezonowe zróżnicowanie częstości (%) opadu dobowego o różnej wysokości w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

opad dobowy [mm]	Białystok			Suwałki		
	IV-IX	X-III	rok	IV-IX	X-III	rok
<5	67,7	84,4	76,8	69,4	84,9	77,8
5 – 9,9	17,2	11,8	14,3	16,8	11,0	13,6
10 – 19,9	10,3	3,6	6,6	9,9	3,8	6,6
20 – 39,9	4,3	0,2	2,1	3,4	0,3	1,7
40 – 59,9	0,48	-	0,22	0,31	-	0,14
60 – 79,9	0,05	-	0,02	0,15	-	0,07
80 – 100	0,05	-	0,02	-	-	-
mediana	2,4	1,3	1,7	2,1	1,3	1,6

## Opady śniegu i pokrywa śnieżna

Od października do połowy maja w województwie podlaskim opady atmosferyczne występują także w postaci śniegu lub śniegu z deszczem. Ta ostatnia forma opadu w porze chłodnej jest odnotowywana jedynie na stacjach synoptycznych. W obu stacjach na terenie województwa opad deszczu ze śniegiem występuje średnio 11-17 dni w ciągu roku, przy czym większa ich częstość była obserwowana w Białymstoku niż w Suwałkach (tab. 35). Opad deszczu ze śniegiem najczęściej występuje w grudniu oraz lutym (średnio po 3-4 dni w miesiącu) oraz do 2 dni w październiku i kwietniu. W sezonie zimowym opady śniegu występują średnio przez 39-40 dni w Kotlinie Biebrzańskiej, do 55 dni na Suwalszczyźnie (tab. 39). Blisko połowa z nich dotyczy stycznia i lutego, a na Suwalszczyźnie także grudnia.

Opady śniegu przez blisko 5 miesięcy w sezonie zimowym średnio przekraczały 15 mm w latach 1995-2019, a przez 3 miesiące były większe niż 20 mm. W północnej części województwa, reprezentowanej przez stację Suwałki, wielkość opadu śniegu była większa od pozostałej jego części (rys. 51). Przez blisko 1/3

roku (grudzień – marzec) stanowią one ponad 50% miesięcznej sumy opadów, a w grudniu i kwietniu ich udział przekracza 30% średnich opadów miesięcznych (rys. 52). Opady śniegu w okresie od października do końca kwietnia stanowią średnio około 45% całkowitej sumy opadu, przy średniej rocznej około 21-22%.

**Tabela 39.**

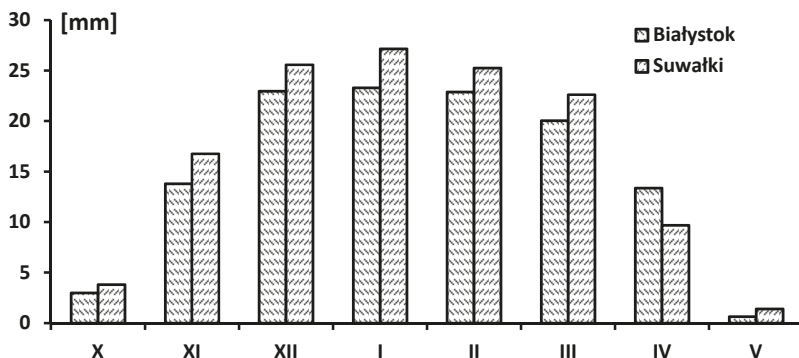
Średnia miesięczna liczba dni z opadem śniegu (opad >0,1 mm) sezonu zimowego w województwie podlaskim w latach 1995-2019

miesiąc	Szepietowo	Białowieża	Białystok	Biebrza	Różanystok	Suwałki
październik	0,8	1,1	1,3	0,8	0,7	1,2
listopad	4,1	5,2	5,6	4,3	3,9	5,9
grudzień	7,9	9,8	9,7	7,6	8,1	11,4
styczeń	10,1	12,4	12,4	9,1	10,3	12,6
luty	8,8	10,5	11,2	8,5	9,0	11,8
marzec	5,9	8,0	8,4	6,0	7,0	8,9
kwiecień	1,9	2,6	3,3	2,7	2,3	2,8
maj	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2
sezon	40	50	52	39	41	55

Opady śniegu cechują się zdecydowanie dłuższym średnim czasem trwania niż opady deszczu. W miesiącach zimowych, a szczególnie od grudnia do lutego, trwają one około 3 razy dłużej niż opad deszczu w tym samym okresie (rys. 47).

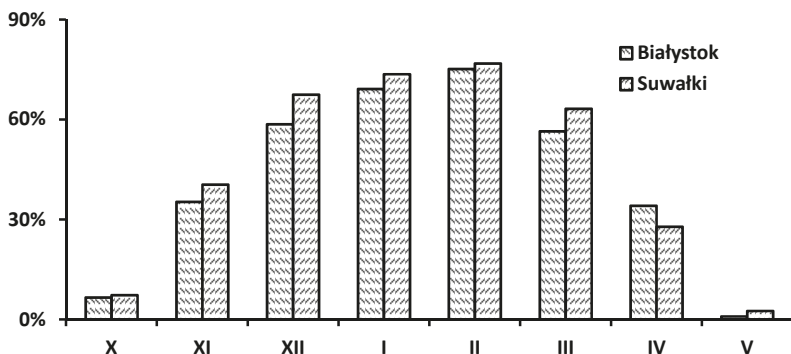
Powstająca zimą pokrywa śnieżna w północno-wschodniej Polsce występuje od października do końca kwietnia i może też pojawić się na 1-2 dni w pierwszej połowie maja. Ma charakter nietrwały, wywołany śródzimowymi odwilżami. Liczba dni z pokrywą śnieżną zmieniała się w ostatnim 25-leciu od 9 dni w Różanymstoku zimą 2007/2008 do 156 w Białowieży zimą 1995/1996. W południowej i południowo-zachodniej części województwa czas trwania pokrywy śnieżnej wynosi średnio 60-66 dni, a w rejonie Białegostoku i Białowieży 72-75 dni (tab. 41). Najdłużej śnieg zalega w rejonie Suwałk, średnio 81 dni w roku i są to wartości jedne z największych w nizinnej części Polski. W 11 sezonach

zimowych, na 25 analizowanych, pokrywa śnieżna występowała łącznie ponad 3 miesiące. W omawianym okresie w Suwałkach, Białymstoku i Białowieży pokrywa śnieżna nie trwała zimą krócej niż 36 dni. Tylko styczeń w województwie podlaskim jest miesiącem z coroczną obecnością i największą liczbą dni w roku z pokrywą śnieżną, a w Suwałkach jest to także grudzień.



**Rys. 51.**

Średni miesięczny opad w postaci śniegu zanotowany na stacjach synoptycznych w województwie podlaskim w latach 1995-2019



**Rys. 52.**

Średni udział opadów śniegu w sumie opadów miesięcznych na dwóch stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019

**Tabela 40.**

Porównanie średniej obfitości opadu deszczu i śniegu na stacjach pomiarowych IMGW – PIB w województwie podlaskim w latach 1995-2019

miejsowość	deszcz			śnieg		
	średnia obfitość [mm/d]	suma [mm]	% rocznego opadu	średnia obfitość [mm/d]	suma [mm]	% rocznego opadu
Suwałki	4,13	484	78,7%	2,37	128,4	21,3%
Różanystok	4,53	499	82,9%	2,51	103,1	17,1%
Biebrza	4,19	473	84,0%	2,29	89,8	16,0%
Białystok	4,42	497	81,2%	2,23	114,9	18,8%
Białowieża	4,15	518	80,4%	2,56	126,2	19,6%
Szepietowo	4,13	484	78,7%	1,96	77,2	13,9%

Maksymalna wysokość pokrywy śnieżnej w granicach województwa w ciągu ostatnich 25 lat przekroczyła 50 cm, a w Szepietowie zbliżyła się do blisko 80 cm (tab. 42). Największa miąższość śniegu pojawia się zazwyczaj w drugiej części okresu zimowego, czyli w lutym lub marcu. Jedynie w Suwałkach i Różanymstoku takie maksima pojawiały się w styczniu.

**Tabela 41.**

Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną w województwie podlaskim w latach 1995-2019

miesiące	Szepietowo	Białowieża	Białystok	Biebrza	Różanystok	Suwałki
październik	0,2	0,3	0,7	0,4	0,4	0,9
listopad	3,6	5,2	5,1	4,0	4,0	5,6
grudzień	11,6	14,9	15,0	13,0	13,3	16,4
styczeń	18,7	23,0	21,7	20,6	20,9	23,2
luty	15,9	18,4	17,9	16,8	17,8	20,2
marzec	8,6	11,2	10,5	9,9	10,0	12,4
kwiecień	1,0	1,9	1,6	1,6	1,3	2,0
maj	•	0,04	•	•	0,04	0,04
średnia w sezonie	60	75	72	66	68	81

**Tabela 42.**

Maksymalna wysokość pokrywy śnieżnej zanotowana w województwie podlaskim w latach 1995-2019; wartości min. i max. dla sezonu

miesiące	Szepietowo	Białowieża	Białystok	Biebrza	Różanystok	Suwałki
październik	5	6	9	12	13	13
listopad	32	29	23	17	24	18
grudzień	38	37	41	48	50	56
styczeń	55	42	49	43	57	64
luty	79	61	65	50	49	60
marzec	56	63	60	56	52	64
kwiecień	37	48	46	54	50	51
maj	·	3	·	·	5	2
min.	8	10	11	8	8	11
max.	79	63	65	56	57	64

Z wyliczeń wykonanych dla stacji synoptycznych wynika, że średnia wysokość pokrywy śnieżnej (patrz słowniczek) w sezonie zimowym nie jest duża i wynosi jedynie 11-13 cm, a przez 5 miesięcy w roku (gdy występuje) jest nie mniejsza niż 5 cm (tab. 43).

**Tabela 43.**

Średnia wysokość (cm) i liczba miesięcy (n) z pokrywą śnieżną w 25 sezonach zimowych 1995-2019 w Białymstoku i Suwałkach (od października 1994 do maja 2019)

miesiące	Białystok		Suwałki	
	średnia	n	średnia	n
październik	3,0	5	3,0	6
listopad	5,4	18	4,0	18
grudzień	6,5	23	7,7	25
styczeń	11,3	25	13,4	25
luty	11,1	25	13,6	25
marzec	8,4	23	11,4	24
kwiecień	5,7	11	9,3	9
maj	·	0	5,0	2
średnia wysokość	11		13	

## 10. Zjawiska meteorologiczne

---

### Mgła

Spośród zjawisk meteorologicznych występujących na obszarze Polski istotny wpływ na działalność człowieka wywierają mgły o różnej genezie, które ograniczają widzialność poziomą poniżej 1 km ze względu na duże zgęszczenie mikrokropelek wody, czasami przechłodzonej, lub drobnych kryształków lodu, o średnicach 0,1-60  $\mu\text{m}$  otaczających jądra kondensacji.

Pierwsza grupa mgieł to mgły radiacyjne pojawiające się głównie rano, w okresie jesiennym i zimowym, będące wynikiem intensywnego oddawania przez podłoże energii cieplnej, ochładzaniem powietrza i kondensacji pary wodnej. Warunkiem ich powstania jest zaleganie wilgotnego, ciepłego powietrza nad oziębionym podłożem (Roth 2000).

Mgły adwekcyjne mogą się tworzyć praktycznie w każdej porze roku w ciepłych masach powietrza przemieszczających się nad chłodnym podłożem. W tworzeniu wszystkich rodzajów mgieł ważną rolę odgrywają lokalne warunki środowiskowe, a szczególnie obszary podmokłe, jeziora, rzeki oraz zwarte kompleksy leśne. Nad ekosystemami wodnymi późnym latem i jesienią mogą powstawać mgły z wyparowania w sytuacjach, gdy woda paruje z ciepłej powierzchni wody do chłodnego powietrza. Podobnie też w lasach i strefach przyleśnych mgły przyziemne występują częściej niż na obszarach pól, ze względu na większą wilgotność powietrza wewnątrz lasu (Tomanek 1972). Innym czynnikiem lokalnym stymulującym częstsze powstawanie mgieł jest rzeźba terenu, a szczególnie obniżenia dolin i zagłębień bezodpływowych. Takie zjawiska zostały udokumentowane m.in. w Kotlinie Biebrzańskiej (Kossowska-Cezak i in. 1991).

W ciągu roku w województwie podlaskim liczba dni z mgłą zanotowana na wybranych stacjach meteorologicznych zmienia się od 12 do ponad 100 (tab. 44). Przeciętnie w wieloleciu w Białymstoku występowała przez 48 dni, a w Suwałkach o ponad 3 tygodnie dłużej. Średnia liczba dni z mgłą w miesiącu waha się od

1-2 do 11, z wyraźnie zaznaczającą się sezonowością występowania. Najczęściej są one notowane w chłodnej porze roku, od września do marca, z maksimum w listopadzie. Trwają one dłużej w ciągu doby. Od kwietnia do sierpnia mgły występują na rzadko, a z najmniejszą częstotliwością w czerwcu. W tym okresie czas ich występowania ogranicza się do godzin porannych lub przedwieczornych. Niektóre lokalne warunki mogą zmienić częstość i czas trwania mgieł.

**Tabela 44.**

Średnia miesięczna liczba dni z mgłą w Białymstoku i Suwałkach latach 1995-2019

miesiące	Białystok		Suwałki	
	średnia	max.	średnia	max.
styczeń	5,8	13	8,6	15
luty	4,6	9	6,4	14
marzec	4,0	8	5,7	10
kwiecień	2,3	7	3,4	9
maj	1,9	8	2,4	9
czerwiec	1,2	4	2,3	5
lipiec	1,8	6	2,8	7
sierpień	2,2	6	4,2	12
wrzesień	3,5	8	6,3	18
październik	6,5	13	9,0	14
listopad	8,4	16	10,9	18
grudzień	6,2	15	9,2	16
rok	48,4	65	71,2	102

## Burza

Interesującym, lecz groźnym zjawiskiem meteorologicznym jest burza, która jest definiowana jako widzialny lub słyszalny przejaw elektryczności atmosfery (Retallack 1991). Pojawienie się tego elektrometeoru rozpoznawane jest po grzmocie lub widzialnych wyładowaniach elektrycznych (błyskawica, piorun) i związane jest z maksymalnie rozbudowaną chmurą *Cumulonimbus*. Burze występują głównie latem, w wilgotnej masie powietrza o tzw. chwiejnej równowadze



i silnych prądach wznoszących. Zjawisko to może towarzyszyć frontom atmosferycznym i wówczas obserwuje się linię burz wzdłuż frontu. Coraz częściej burze obserwowane są także w przejściowych porach roku, a nawet zimą.

W omawianym 25-leciu 1995-2019, na stacjach synoptycznych nie notowano burz w styczniu oraz listopadzie (Suwałki) i grudniu (Białystok) (tab. 45). Od maja do sierpnia stwierdzono przeciętnie 2 do 4 dni z burzami w miesiącu; więcej ich występuje w części środkowej województwa niż w części północnej. W ciągu roku średnio ponad 20 dni w województwie podlaskim cechuje się występowaniem burz, podobnie jak we wcześniejszym opracowaniu Bielec-Bąkowskiej (2002) dla całej Polski. Analizowane województwo należy w kraju do terenów z umiarkowaną liczbą dni z burzami w roku i ich zdecydowanie mniejszą częstością niż w południowo-wschodniej Polsce, gdzie jest o 10-12 dni burzowych w roku więcej.

Wraz z rozwojem nowoczesnych metod i technik pomiarowych nasza wiedza o występowaniu burz szybko się poszerza. Ze względu na niebezpieczeństwa i zagrożenia dla zdrowia oraz życia człowieka w Polsce i innych krajach Unii Europejskiej (UE) czy USA instalowane są systemy detekcji burz, np. polski system PERUN, będący częścią europejskich systemów ZEUS czy EUCLID, wyposażony w ciągły monitoring przez system radarów meteorologicznych. Niestety w północno-wschodniej Polsce ich zasięg jest peryferyjny i w niektórych sytuacjach północna część województwa jest często poza ich zasięgiem.

Z pierwszych opracowań nowego jakościowo i ilościowo materiału pomiarowego wynika, że rzeczywista częstość burz jest o 20-40% większa niż wynika to z obserwacji naziemnych (Taszarek i in. 2019, 2020). Rekordowym w Europie był 17 lipca 2010 roku, kiedy wystąpiło ponad 214 000 wyładowań atmosferycznych. W centralnej Europie częstość wyładowań elektrycznych jest większa od częstości słyszalnych i widzialnych efektów burz. Wyładowania atmosferyczne są o 20-30% częstsze niż wynika to obserwacji naziemnych, na dodatek ich częstość wzrasta w dużej części Europy.

## **Grad**

Za grad przyjmuje się opad atmosferyczny w postaci lodowych brył o nieregularnym kształcie i średnicy wynoszącej minimum 5 mm. Powstaje on najczę-

ściej w ciepłym sezonie w warunkach konwekcyjnych i związany jest z chmurami *Cumulonimbus* (Glickman, Walter 2000). Ich tworzeniu sprzyja chwiejna równowaga atmosfery, obecność silnych prądów wstępujących i zstępujących w rozbudowującej się chmurze *Cb*, co oznacza pionowy uskok wiatru, dużą zasobność wody w powietrzu oraz niskie zaleganie izotermy 0°C (Changnon i in. 2009; Niall i Walsh 2005). Blair i in. (2011) klasyfikują wielkość gradu na duży (>2 cm), wielki (>5 cm) i olbrzymi (>10 cm).

**Tabela 45.**

Średnia miesięczna liczba dni z burzą, gradem i gołoledzią w Białymstoku i Suwałkach latach 1995-2019

m-ce	burze				grad				gołoledź			
	Białystok		Suwałki		Białystok		Suwałki		Białystok		Suwałki	
	średnia	max.	średnia	max.	średnia	max.	średnia	max.	średnia	max.	średnia	max.
1	·	·	·	·	0,3	2	0,1	2	2,4	11	2,2	7
2	0,0	1	0,0	1	0,3	1	0,2	2	1,6	6	1,3	7
3	0,2	2	0,2	1	0,4	2	0,3	2	0,3	2	0,5	4
4	0,8	3	0,6	2	0,5	3	0,2	2	·	·	0,0	1
5	4,4	11	3,9	10	0,4	2	0,4	2	·	·	·	·
6	5,5	14	4,5	12	0,4	2	0,1	1	·	·	·	·
7	7,4	15	6,6	15	0,2	2	0,0	1	·	·	·	·
8	5,1	13	4,3	10	·	·	0,1	1	·	·	·	·
9	1,2	4	1,1	5	0,0	1	·	·	·	·	·	·
10	0,2	3	0,2	1	0,1	1	0,0	1	·	0,1	2	-
11	0,0	1	·	·	0,4	1	0,1	1	1,3	5	1,1	4
12	·	·	0,0	1	0,3	2	0,3	1	2,2	6	2,9	8
rok	25	34	21	32	3,2	6	1,8	5	8	16	8	17

Większość opadów gradu powstaje na chłodnym froncie atmosferycznym lub na liniach szkwału formujących się przed tym frontem, czy też przy zafalowaniu frontu atmosferycznego (Suwała, Bednorz 2013, Suwała 2014). Rzadziej opad gradu pojawia się podczas rozwoju chmur kłębiastych w obrębie jednorod-

nej masy powietrza (burze wewnętrzmasowe), czy też w czasie lub po przejściu powietrza ciepłego.

W województwie podlaskim na stacjach synoptycznych był notowany w ostatnim 25-leciu maksymalnie 5-6 razy w roku, ale średnia liczba dni z gradem w Białymstoku jest blisko 2 razy większa niż w Suwałkach (tab. 45). Na północy regionu nie były notowane we wrześniu, a w Białymstoku w sierpniu. Wzrost częstości gradu z północy na południe województwa pokrywa się z danymi Pučika i in. (2019) z obserwacji od 1966 roku, którzy wskazują na istnienie na pograniczu Polski, Białorusi, po południowo-wschodnią Litwę strefy zwiększonej częstości jego występowania. Ponadto wskazują także na roczne maksimum w maju, czyli o miesiąc wcześniej niż w pozostałej części centralnej Europy. Opady gradu najczęściej pojawiają się w godzinach 16-18, podobnie jak w całym wyznaczonym pasie pogranicza polsko-białorusko-ukraińskiego, aż po południowy łuk Karpat w Rumunii (Pučik i in. 2019).

## **Gotoleń**

To zjawisko meteorologiczne okresu zimowego, najbardziej niebezpieczne dla kierowców i pieszych poruszających się po utwardzonych powierzchniach. Gotoleń (*black ice*) powstaje wówczas, gdy po wcześniejszym wychłodzeniu podłoża w okresie panowania mrozów następuje raptowne śródzimowe ocieplenie z opadem deszczu lub marznącego deszczu. Powstająca na płaskich powierzchniach cienka warstewka lodu wywołuje śliskość, niejednokrotnie całkowicie uniemożliwiającą przemieszczanie się po niej.

W województwie podlaskim każdego roku pojawiała się maksymalnie 16-17 razy w ciągu 5 zimowych miesięcy (listopad-marzec), a w Suwałkach także w kwietniu i październiku. Przeciętnie w ostatnim 25-leciu było to 8 dni rocznie, podobnie na całym obszarze, z nieco podwyższoną częstością w styczniu (tab. 45).



Jesienna Suwalszczyzna, fot. Piotr Tatałaj

## Rosa, szron, szadź

Pierwsze dwa zjawiska – rosa i szron – to typowe hydrometeory, powstające okresowo na powierzchni terenu podczas radiacyjnego wychłodzenia podłoża i skraplania się wody zawartej w powietrzu w postaci kropelek wody (rosa). Przy okresowym wychłodzeniu powietrza poniżej 0°C powstaje szron w postaci kryształków lodu rzędu kilku milimetrów, białych łusek lub igieł lodowych na roślinności i innych powierzchniach terenu. W województwie podlaskim w ostatnim 25-leciu rosa była notowana przez 11 miesięcy w roku, nie była notowana jedynie w lutym. Jest to dość powszechne zjawisko, gdyż może występować nawet 165 dni w roku (w Białymstoku w 2008 roku), a w Suwałkach z nieco mniejszą częstością (w 1996 roku 128 dni). Średnia liczba dni z rosą przekracza 100 dni w roku (tab. 46), z największą średnią liczbą dni w sierpniu, stanowiących blisko 20% wszystkich dni z rosą w roku. Czas trwania zjawiska rosy jest zróżnicowany, ale nie jest zbyt krótki w ciągu doby. Kafar (1998) wyliczył, że w Łodzi (Lublinek) średnio trwała 7 godzin w dniach występowania w latach 1951-1992. Ta forma wody w klimacie umiarkowanym może stanowić blisko 10% sumy rocznych opadów (Hutorowicz 1963) i może być szczególnie ważna dla roślin w okresie późnoletnim i wczesnojesiennym, z pojawiającymi się często niedoborami opadów. Zdecydowanie mniejszy udział rosy (max. 3% dla sezonu) w relacji do sumy opadów maj-październik w Białowieży z lat 1973-1991 podaje Szałach (2001). Wyliczenia te powstały na podstawie systematycznych pomiarów instrumentalnych (wagowy „rosograf” produkcji niemieckiej) w dawnym Zakładzie Biologii Ssaków PAN w Białowieży (obecnie Instytut Biologii Ssaków PAN).

Oprócz ilościowych aspektów rosy, równie istotne są cechy jakości wody w rosie wprowadzanej do obiegu lądowego. Na obszarach zurbanizowanych czy w otoczeniu tras szybkiego ruchu, skład chemiczny wody w rosie okazuje się być znacząco zmieniony w stosunku do jej jakości na terenach rolniczych lub leśnych (Galek i inni 2012). Jest często wyznacznikiem charakteru i natężenia zmian składu powietrza pod wpływem narastającej antropopresji (więcej w rozdziale: *Jakość powietrza*).

Zjawiskiem meteorologicznym obserwowanym niemal cały rok w tych punktach obserwacyjnych jest szron. Ten hydrometeor, w postaci osadu zbud-

wanego z kryształków lodu rzędu kilku milimetrów, białych łusek lub igieł lodowych na roślinności i innych powierzchniach terenu pojawia się w tych samych warunkach co rosa, lecz przy ujemnej temperaturze tych powierzchni. Szron występuje podczas pogodnej nocy oraz w godzinach porannych, a impulsem do zaistnienia tego zjawiska jest znaczne wypromieniowanie ciepła z podłoża lub spływ wychłodzonego powietrza do zagłębienia terenu.

**Tabela 46.**

Średnia miesięczna liczba dni z rosą, szronem i szadzią w Białymstoku i Suwałkach latach 1995-2019

m-ce	rosa				szron				szadź			
	Białystok		Suwałki		Białystok		Suwałki		Białystok		Suwałki	
	średnia	max.	średnia	max.	średnia	max.	średnia	max.	średnia	max.	średnia	max.
1	0,0	1	0,04	1	4,6	16	1,2	9	3,4	9	4,8	10
2	.	.	.	.	4,6	10	1,6	8	1,6	8	3,0	14
3	0,2	3	0,6	7	10,0	20	4,5	11	0,2	2	1,0	6
4	5,7	15	6,9	15	7,2	15	4,3	11	0	1	0,04	1
5	17,7	26	16,4	22	1,4	9	1,0	6	.	.	.	.
6	18,3	25	15,7	23	.	.	.	.	.	.	.	.
7	20,2	28	17,3	26	.	.	.	.	.	.	.	.
8	23,0	30	20,0	29	.	.	.	.	.	.	.	.
9	20,2	28	18,5	26	1,4	7	1,4	6	.	.	.	.
10	10,0	24	10,0	19	6,2	18	4,7	13	0,04	1	0,3	3
11	2,2	8	1,9	9	6,1	14	3,5	9	1,2	7	1,2	7
12	0,4	6	0,1	2	6,1	11	2,5	7	2,4	7	3,9	10
rok	118	165	107	128	48	62	25	45	9	18	14	25

W Suwałkach szron w okresie 1961-1995 mógł się tworzyć praktycznie przez cały rok, natomiast w Białymstoku nie był notowany w lipcu (tab. 46). W obu miejscowościach w omawianym wieloleciu szron notowano zawsze w kwietniu, a w Białymstoku już w listopadzie. W stolicy województwa średnia roczna liczba dni ze szronem (49 dni) jest zdecydowanie większa niż w Suwałkach (28 dni).

Największe różnice w średniej miesięcznej częstości występowania tego zjawiska między tymi dwoma miejscowościami występują w chłodnej porze roku, od grudnia do marca. Warty odnotowania jest fakt częstszego pojawiania się szronu we wrześniu w Suwałkach niż w Białymstoku, czego nie notowano w pozostałych miesiącach. Największa częstość dni z tym zjawiskiem przypada w Suwałkach na kwiecień, a w Białymstoku na marzec (tab. 46).

Podobna w formie do szronu jest szadź, która zalega nie tylko na powierzchni gruntu, lecz może także występować na wszystkich rodzajach podłoża takich jak drzewa, słupy telefoniczne, napowietrzne linie telefoniczne, elektryczne i inne. Powstawanie szadzi polega na tym, że przechłodzone kropelki mgły zamrażają przy zetknięciu się z przedmiotami i zapoczątkowują dalsze tworzenie się kryształków. Wyróżnia się szadź twardą i szadź miękką. Według badań Lityńskiej i in. (1969), zjawisko to pod względem synoptycznym jest charakterystyczne dla układów wysokiego ciśnienia oraz siodła, przy występowaniu słabych wiatrów lub nawet cisz.



Wigierski Park Narodowy, fot. Piotr Tafataj



# 1 1. Warunki bioklimatyczne województwa podlaskiego

---

W poprzednich rozdziałach zaprezentowano charakterystykę elementów klimatu i ich przestrzenne zróżnicowanie, a wiele z nich poprzez wartości lub charakter zmian wpływa bezpośrednio lub pośrednio na procesy życiowe wszelkich organizmów. W badaniach bioklimatologicznych analizuje się wpływ zmienności warunków atmosferycznych na fizjologiczne procesy u roślin, w tym uprawnych. Warunki klimatyczne determinują rozmieszczenie i migracje zwierząt. Określone typy pogody wpływają na behavior zarówno naturalnych populacji zwierząt, jak i człowieka. W bioklimatologii używa się pojęcia bodźcowości warunków pogodowych na samopoczucie i zdrowie człowieka. Dlatego w tym rozdziale przedstawiam wybrane cechy klimatu województwa i ich wpływ na organizmy (biota), a w szczególności na panujące warunki bioklimatyczne istotne dla zdrowia człowieka. Są one opracowane na podstawie systematycznych pomiarów meteorologicznych z 25-lecia 1995-2019. Opisywane aspekty bioklimatyczne wynikają z położenia województwa podlaskiego na tle szerszych uwarunkowań naturalnych. W podziale Europy na regiony bioklimatyczne, północno-wschodnia Polska oraz inne regiony położone na północny-wschód od linii środkowa Wisła – południowa Kotlina Sandomierska znajdują się w obrębie regionu *nemoral* – zaktualizowany podział Rivas-Martínez i in. (1996) w pracy Rivas-Martínez i in. (2017). Jest to obszar klimatu umiarkowanego z cechami przejściowymi między obszarami z dominującym wpływem powietrza znad oceanów a regionem borealnym.

## Warunki agroklimatyczne

Jako pierwszą cechą agroklimatu należy wymienić zmienną długość sezonu wegetacyjnego, decydującego o warunkach i możliwościach uprawy roślin. Powszechnie przyjmuje się, że sezon wegetacyjny to okres o średniej dobowej temperaturze powietrza równej lub wyższej niż 5°C. Ze względu na położenie geograficzne, województwo podlaskie w stosunku do innych pozagórskich części

kraju ma najkrótszy sezon wegetacyjny. W ostatnich 25 latach trwał on średnio 200-205 dni, zmieniając się w poszczególnych latach od 176 do 240 dni (tab. 47). Dane uzyskane po II wojnie światowej wskazywały na krótsze jego trwanie, średnio do 180-190 dni w roku. W porównaniu do wartości z lat 1961-1994 jego liczba zwiększyła się o około 10 dni w Białymstoku i o 4 dni w Suwałkach (Górniak 2000). Analiza danych do 2000 roku wskazywała na brak wyraźnych tendencji zmian długości termicznego sezonu wegetacyjnego ze względu na wyjątkową zmienność z roku na rok, nawet do 60 dni (Żmudzka 2004, Kożuchowski i Degirmendzić 2005). Od początku XX wieku długość sezonu wegetacyjnego wydłuża się poprzez wcześniejsze pojawianie się temperatury dobowej powyżej 5°C oraz jej wydłużenie jesienią. Podobne tendencje zmian w północno-wschodniej Polsce stwierdzili Chojnacka-Ożoga, Ożoga (2018). Obecnie w środkowej i południowej części województwa podlaskiego sezon wegetacyjny trwa tyle, ile w okresie powojennym trwał w centralnej Polsce. Region Suwalski dalej cechuje się krótszym czasem trwania sezonu wegetacyjnego o około 2 tygodnie w porównaniu do centralnej Polski i trwa o 3-4 tygodnie krócej niż w zachodniej Polsce. A trzeba przypomnieć, że wzrost temperatury powietrza o 1°C w skali roku przyspiesza rozwój roślin o 2-5 dni i o kilkanaście dni, gdy wzrost zasobów termicznych dotyczy okresu wiosennego (Menzel i in. 2006, Jatczak i Walawender 2009). Na postępujące zmiany klimatyczne reaguje również roślinność naturalna, a jej przejawy fenologiczne wskazują na zmiany długości sezonu wegetacyjnego (Kępińska-Kasprzak, Struzik 2019).

Inny wskaźnik termiczny stosowany w agroklimatologii to roczna suma stopniodni (roczna suma temperatury efektywnej) powyżej np. 10°C (GDD – *growth degree days*) (Mavi, Trupper 2004) (patrz słowniczek). Jak podają Wypych i in. (2017), w latach 1951-2010 średnia wartość tego wskaźnika dla Polski wynosiła 920. Z wyliczeń własnych dla lat 1995-2019 wynika, że w województwie podlaskim średnie wartości GDD mieściły się w przedziale 890-950, a jedynie w Szepietowie ich średnia przekroczyła wartość 1000 (tab. 48). Dla porównania w centralnej i południowej Polsce przekraczał on wartość 1170, co pokazuje zmniejszony potencjał termiczny regionu w stosunku do pozostałej części kraju.

**Tabela 47.**

Czas trwania i charakterystyczne daty sezonu wegetacyjnego w województwie podlaskim w latach 1995-2019

miejsowość	czas trwania sezonu wegetacyjnego			średnie daty		ekstremalne daty	
	średnia	min.	max.	początku sezonu	końca sezonu	początku sezonu	końca sezonu
Szepietowo	204	180	240	6 kwi	27 paź	7 mar	21 lis
Białowieża	205	179	239	6 kwi	29 paź	8 mar	23 lis
Białystok	203	179	229	4 kwi	28 paź	25 mar	15 lis
Biebrza	204	176	239	6 kwi	27 paź	8 mar	21 lis
Różanystok	204	176	239	6 kwi	28 paź	8 mar	23 lis
Suwałki	200	176	221	4 kwi	28 paź	25 mar	10 lis

**Tabela 48.**

Średnia roczna suma temperatury efektywnej (> 10°C) na stacjach pomiarowych województwa podlaskiego w latach 1995-2019 w wybranych miejscowościach w Polsce

miejsowość	GDD
Białystok	944,7
Biebrza	894,3
Białowieża	947,4
Różanystok	957,6
Szepietowo	1005,5
Suwałki	899,7
Olecko	938,4
Warszawa	1177,2
Wrocław	1208,4

Czynnikiem ograniczającym wiosenny rozwój upraw roślin w agrocenozach klimatu umiarkowanego są przymrozki. Przymrozki do -2°C uważane są za łagodne, ale i też mogą okazać się szkodliwe dla roślin uprawnych. Przy okresowym obniżaniu się temperatury powietrza w zakresie od -2,1 do -4°C noszą mianem

no umiarkowanych, a poniżej  $-4^{\circ}\text{C}$  to już przymrozki silne. Oba te rodzaje przynoszą znaczne straty w uprawach i plantacjach krzewów i drzew owocowych. Powszechnie występują w nocy lub w godzinach porannych przez 10 miesięcy w roku, w Białymstoku nie występowały tylko w lipcu, a w Biebrzy i Szepietowie były notowane we wszystkich miesiącach roku (tab. 49, rys. 53).

**Tabela 49.**

Minimalna, absolutna temperatura powietrza przy gruncie zanotowana na stacjach pomiarowych województwa podlaskiego w latach 1995-2019

miesiąc	Szepietowo	Białowieża	Białystok	Biebrza	Różanystok	Suwałki	minimalna w województwie
styczeń	-31,9	-36,2	-34,2	-30,9	-31,9	-35,5	-36,2
luty	-33,3	-32,2	-34,5	-30,6	-31,5	-33,8	-34,5
marzec	-28,0	-27,6	-26,5	-26,2	-26,0	-25,6	-28,0
kwiecień	-12,0	-11,5	-11,5	-13,8	-13,4	-13,8	-13,8
maj	-10,7	-7,5	-8,3	-12,0	-9,9	-9,5	-12,0
czerwiec	-3,5	-2,6	-2,9	-6,5	-3,1	-2,1	-6,5
lipiec	-0,1	1,2	0,8	-0,7	1,8	0,7	-0,7
sierpień	-3,0	0,0	-0,4	-1,9	1,0	0,7	-3,0
wrzesień	-6,1	-6,6	-7,4	-9,6	-6,9	-6,9	-9,6
październik	-13,4	-12,8	-14,3	-16,0	-13,4	-14,7	-16,0
listopad	-23,0	-22,5	-24,6	-23,4	-22,1	-24,8	-24,8
grudzień	-30,8	-33,4	-33,0	-30,5	-31,5	-35,0	-35,0
rok	-33,3	-36,2	-34,5	-30,9	-31,9	-35,5	-36,2

Jeszcze w maju w ciągu ostatnich 25 lat temperatura powietrza przy gruncie była mniejsza niż  $-10^{\circ}\text{C}$ , a zjawisko przymrozków majowych było obecne przez 12-30% dni (tab. 49). Okres bez przymrozków w większej części województwa (bez Kotliny Biebrzańskiej i zachodniej części Wysoczyzny Wysokomazowieckiej) w latach 1995-2019 trwał od 19 czerwca do 30 sierpnia, czyli 72 dni (tab. 51). W Biebrzy okres taki trwał wyjątkowo krótko – tylko 12 dni, a w Szepietowie

35 dni. Są to jednocześnie miejsca o najkrótszych okresach bezprzymrozkowych w nizinnej części Polski. Wynika to z regionalnych uwarunkowań klimatycznych, a szczególnie z ujemnego dobowego salda promieniowania słonecznego w drugiej części okresu letniego. Na to nakładają się lokalne uwarunkowania terenowe (płytki poziom wód gruntowych, odmienna struktura porów gleb organicznych), ograniczające większe ogrzewanie się powierzchniowej części gleby w ciągu dnia. Gleby torfowe uwodnione przez większą część roku zalicza się do tzw. gleb chłodnych.

**Tabela 50.**

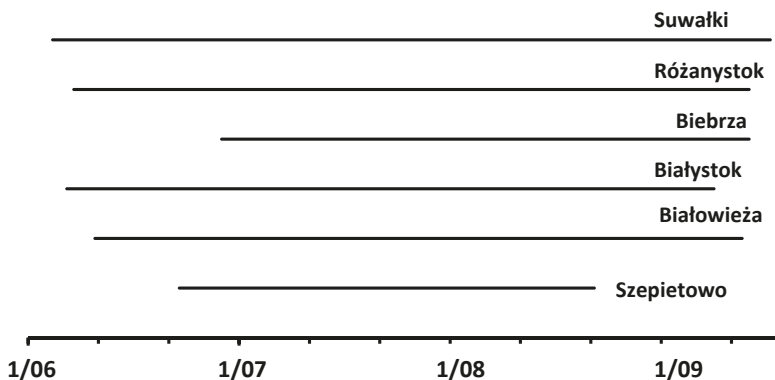
Średni miesięczny udział (%) dni z temperaturą minimalną przy gruncie poniżej 0°C w latach 1995-2019 w ciepłej porze roku w województwie podlaskim

miejsowość	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik
Szepietowo	20,1	3,9	0,1	1,5	10,3	35,9
Białowieża	20,4	2,7	•	•	11,5	38,6
Białystok	17,0	2,1	•	0,1	12,5	37,9
Biebrza	30,1	8,9	0,4	2,1	20,1	46,3
Różanystok	12,1	1,9	•	•	7,3	28,3
Suwałki	15,5	1,3	•	•	8,5	33,2

**Tabela 51.**

Daty okresu bez przymrozków i z umiarkowanymi przymrozkami na stacjach pomiarowych województwa podlaskiego w latach 1995-2019; dla stacji Biebrza – najdłuższy okres bezprzymrozkowy

miejsowość	okres bezprzymrozkowy	okres z umiarkowanymi przymrozkami (T <sub>min.</sub> ≤ -2,1°C)
Szepietowo	04-07 do 11-08	22-06 do 20-08
Białowieża	19-06 do 07-09	10-06 do 9-09
Białystok	19-06 do 30-08	2-06 do 6-09
Biebrza	19-07 do 01-08	28-06 do 11-09
Różanystok	19-06 do 05-09	7-06 do 11-09
Suwałki	18-06 do 03-09	4-06 do 14-09



**Rys. 53.**

Okresy bez przymrozków umiarkowanych w województwie podlaskim w wieloleciu 1995-2019

Innym czynnikiem ograniczającym rozwój roślinności naturalnej oraz upraw roślinnych jest niedobór wody, a dokładniej opadów. Parametrem określającym względną wilgotność danego miesiąca w sezonie wegetacyjnym i uwzględniającym zarazem warunki termiczne jest uniwersalny wskaźnik hydrotermiczny Sielianinowa ( $k$ ). Na jego podstawie Skowera i Puła (2004) opracowali klasyfikację hydrotermiczną miesięcy sezonu wegetacyjnego w Polsce (od kwietnia do września). Przyjmuje następujące wartości dla miesiąca:

- ekstremalnie suchy –  $k < 0,4$ ;
- bardzo suchy –  $0,41 < k < 0,7$ ;
- suchy –  $0,71 < k < 1,0$ ;
- nieco suchy –  $1,01 < k < 1,3$ ;
- optymalne uwilgotnienie –  $1,31 < k < 1,60$ ;
- nieco wilgotny –  $1,61 < k < 2,0$ ;
- wilgotny –  $2,01 < k < 2,5$ ;
- bardzo wilgotny –  $2,51 < k < 3,0$ ;
- ekstremalnie wilgotny  $k > 3,01$ .

Czyli dla miesięcy z niedoborem wody analizowany wskaźnik ( $k$ ) ma wartości  $< 1,3$ ; dla miesięcy suchych  $< 1,0$  i wyjątkowo suchych  $< 0,7$ .

**Tabela 52.**

Średnia liczba miesięcy o różnym stopniu niedoboru wilgoci w roku oraz liczba miesięcy (na 25 analizowanych) bardzo suchych i ekstremalnie suchych w województwie podlaskim w okresie 1995-2019

stacja	k – średnia (IV-X)	średnia liczba miesięcy w roku			liczba miesięcy, gdy $k < 0,7$					
		$k < 1,3$	$k < 1,0$	$k < 0,7$	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Szepietowo	1,45	3,3	2,3	1,1	5	3	5	3	4	9
Białowieża	1,66	2,7	1,7	0,6	3	4	4	3	4	6
Białystok	1,63	2,6	1,6	0,8	5	2	3	2	4	6
Biebrza	1,53	3,1	2,0	1,0	5	5	5	4	3	6
Różanystok	1,64	3,0	1,8	0,9	4	4	4	3	4	7
Suwałki	1,65	2,7	1,9	0,8	3	4	4	1	6	6

W wieloleciu 1995-2019 średnie wartości omawianego wskaźnika dla sezonu wegetacyjnego (kwiecień-październik) były bardzo zbliżone na obszarze województwa, jedynie stacje Biebrza i Szepietowo miały mniejsze wartości (tab. 49). Średnio połowa sezonu wegetacyjnego w województwie podlaskim cechuje się wyraźnym niedoborem wody dla roślin (tab. 49). Początek jak i koniec sezonu wegetacyjnego w Polsce to okres największej częstości suszy (Szyga-Pluta 2018). W północnej części województwa, przy korzystniejszym wilgotnościowo kwietniu i lipcu, największa częstość suszy przypada na sierpień i wrzesień. Jednocześnie obszar ten należy do najbardziej zagrożonych silnymi suszami. Środkowa i południowa część województwa ma podobny poziom zagrożenia suszami umiarkowanymi jak inne regiony centralnej Polski. Częstość występowania suszy w czerwcu jest tutaj większa niż w północnej części województwa. W Polsce występowaniu suszy sprzyja przede wszystkim długotrwała cyrkulacja antycyklonalna (Bartoszek 2014). Zauważono, że w przebiegu wieloletnim lata z suszami atmosferycznymi często grupują się, po czym następują lata bardziej zasobne w opady. Warto pamiętać, że charakter hydrotermiczny sezonu wegetacyjnego wpływa na plonowanie i jakość produkowanej paszy i żywności. Na przykład sucha i słoneczna pogoda w okresie wegetacji sprzyja gromadzeniu białka i glutenu

w ziarnie pszenicy, natomiast chłodna i wilgotna większej gęstości i lepszemu wyrównaniu wielkości ziarna (Karaczun, Kozyra 2020).

## **Elementy klimatu a samopoczucie i zdrowie człowieka**

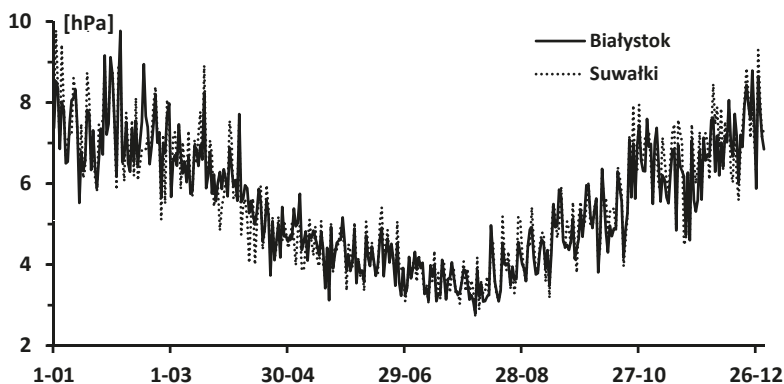
Warunki pogodowe należą do zewnętrznych czynników wpływających na samopoczucie i zdrowie człowieka (Krzyszowski, Pawlas, 2015). W różnych typach klimatu i zmienności warunków pogodowych człowiek stopniowo adaptuje się. W klimacie umiarkowanym, przy zróżnicowaniu warunków pogodowych od dni bardzo mroźnych aż po upały, nie każdy organizm posiada zdolności dostosowawcze. Przy wystąpieniu silnych bodźców termicznych, fizycznych czy wilgotnościowych, część populacji odczuwa dyskomfort samopoczucia, a przy innych zdrowotnych dolegliwościach lub w przypadku osób starszych nadmierne działanie bodźców pogodowych może stać się jedną z przyczyn śmierci. Kozłowska-Szczęsna i in. (1997) takie aktywne biologicznie sytuacje pogodowe nazywają meteorotropowymi.

Analizy bioklimatyczne w powiązaniu z danymi służb sanitarno-epidemiologicznych jednoznacznie wskazują na niekorzystne dla człowieka elementy. W obszarze klimatu umiarkowanego są to: duże i bardzo szybkie zmiany ciśnienia atmosferycznego, upały, zjawisko parności powietrza, noce tropikalne czy dni nadmiernie gorące lub bardzo mroźne. Do tego dodaje się zwiększoną prędkość wiatru oraz grupę zjawisk meteorologicznych, których występowanie omówiono wcześniej.

Istotnym bodźcem mechanicznym wpływającym na samopoczucie i zdrowie ludzi są okresowe i nagłe zmiany wartości ciśnienia atmosferycznego (Kozłowska-Szczęsna i in. 1997). Zmiany ciśnienia o ponad 8 hPa z dnia na dzień lub w ciągu doby uznaje się za silnie bodźcowe, a o ponad 12 hPa za bardzo silne. W niniejszym opracowaniu wykorzystano wszystkie terminowe pomiary w ciągu doby w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019, które stały się podstawą dalszych analiz. Podobne analizy dla Warszawy, ale dla okresu 5-letniego przeprowadzili wcześniej Rozbicka, Rozbicki (2016). Średnia zmiana ciśnienia z dnia na dzień w ciągu roku wynosiła 4,2-4,2 hPa. Blisko 75% dni w roku w obu rozpatrywanych miejscowościach cechuje się zmianami międzydobowymi mniejszymi

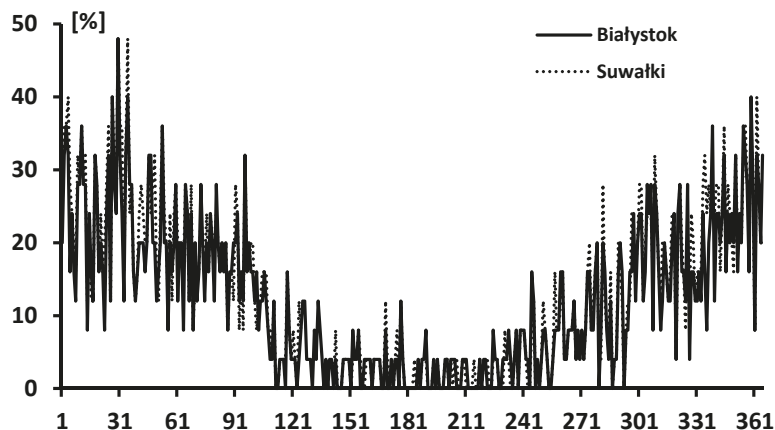


niż 8 hPa. W okresie letnim zmiany ciśnienia przebiegają bardziej łagodnie niż w porze chłodnej. Średnia wartość dobowej amplitudy ciśnienia była w analizowanym wieloleciu podobna w Białymstoku i w Suwałkach, około 5,5 hPa, przy średnich dobowych wartościach w zakresie 2,7 – 10,1 hPa.



**Rys. 54.**

Średnia dobowa amplituda ciśnienia atmosferycznego (na poziomie stacji) w latach 1995-2019



**Rys. 55.**

Średnia częstość dni z dobową amplitudą ciśnienia atmosferycznego ponad 10 hPa w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

Maksymalne zmiany ciśnienia w ciągu doby odnotowane w obu miejscowościach przekroczyły 35 hPa i wynosiły w Białymstoku 37,2 hPa i 39,2 hPa w Suwałkach (rok 2010). Od końca października do drugiej połowy marca średnia dobową amplituda ciśnienia atmosferycznego bardzo rzadko jest mniejsza niż 6 hPa (rys. 54). W ciągu roku 18 dni w Białymstoku i 22 dni w Suwałkach posiadało średnie dobowe amplitudy ciśnienia ponad 8 hPa, z czego połowa dotyczyła stycznia (rys. 53). Dni: 27, 30, 31 stycznia, 4 luty i 25 grudnia to w Białymstoku dni o największej amplitudzie dobowej ciśnienia, przekraczającej 10 hPa.

W Suwałkach taka sama sytuacja została wyliczona dla 4, 27, 30 stycznia, 4 lutego oraz 28 grudnia. Są to więc dni o największych zmianach dobowych ciśnienia, które mogą stanowić zagrożenie dla samopoczucia i zdrowia mieszkańców województwa podlaskiego.

Innym zjawiskiem realnie zagrażającym życiu ludności w klimacie umiarkowanym są tzw. fale upałów (*heat waves*), definiowane w amerykańskim słowniku meteorologicznym jako okres przynajmniej trzech dni z maksymalną temperaturą powietrza  $>30^{\circ}\text{C}$  (Wereski 2011). Podobną metodę zastosowała Wibig (2009), przyjmując dwa progi temperatury maksymalnej ( $>25^{\circ}\text{C}$ ,  $>30^{\circ}\text{C}$ ) do wyznaczenia fal upałów.

Na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w analizowanym okresie stwierdzono 17 terminów letnich fal upałów (co najmniej 3 dni z temperaturą maksymalną  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ), z maksymalnymi wartościami temperatury w 2015 roku (tab. 55). W ciągu 15 lat (1995-2009) było ich 7, a 10 w kolejnych latach, co jest oznaką zwiększania się częstości ich występowania. Fale upałów występowały od drugiej dekady czerwca do drugiej dekady sierpnia włącznie, ale najczęściej był to przełom lipca i sierpnia o 3-6 dniach upalnych. Począwszy od 2010 roku fale upałów trwały dłuższej, maksymalnie do 13 dni Suwałkach w 2010 roku. Okresy upałów związane są najczęściej z ulokowaniem się wyżu atmosferycznego z centrum nad Bałtykiem, ułatwiającego napływ gorących mas powietrza z sektora wschodniego. Dodatkowo wielkość ogrzania powietrza potęguje adyabatyczne opadanie mas powietrza układu antycyklonalnego.

**Tabela 53.**

Fale upałów w latach 1995-2019 w Białymstoku i Suwałkach (max. temperatura doby  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ , co najmniej 3 kolejne dni)

rok	Białystok			Suwałki		
	daty	liczba dni	max. temp.	daty	liczba dni	max. temp.
1997	.	.	.	29.06-1.07.	3	32,8
2000	21-23.06.	3	32,6	.	.	.
2001	15-17.07.	3	32,5	.	.	.
2001	17-21.08.	5	30,9	.	.	.
2002	28.07-2.08.	6	33,5	29.07-2.08.	5	33,2
2003	28.07-4.08.	8	32,2	.	.	.
2006	6-13.7.	8	34,2	6-11.07.	6	33,0
2010	16-24.07.	9	32,3	12-25.07.	13	32,9
2010	13-15.08.	3	33,8	13-16.08.	4	33,4
2012	27.07-3.08.	8	33,7	27-29.07.	3	33,2
2014	29.7 -5.8.	8	32,9	2-5.08.	4	33,9
2015	4.6.07.	3	32,6	4-6.07.	3	31,7
2015	3-12.08.	10	34,6	4-12.08.	9	34,2
2016	24-26.06	3	32,1	.	.	.
2018	28.07-3.08	6	31,0	30.07-3.08.	5	30,8
2018	.	.	.	8-10.08.	3	31,1
2019	11-13.06	3	32,0	11-13.06.	3	32,6

Fale letnich upałów, występujące coraz częściej i dłużej, stają się coraz większym zagrożeniem dla życia zwłaszcza starszych mieszkańców strefy umiarkowanej. Występujące wówczas przegrzanie organizmów o zmniejszonej zdolności regulacji temperatury ciała – ludzi chorych lub starszych – staje się przyczyną lawinowego wzrostu zgonów (Krzeszkowiak, Pawlas 2015). W niektórych krajach europejskich, USA bądź Kanadzie fale upałów przynoszą już tysiące ofiar, dlatego krajowe lub regionalne centra zarządzania kryzysowego publicznie ogłaszają alerty zagrożenia letnimi falami upałów.

Wraz z wysoką temperaturą i zwiększoną zawartością pary wodnej w powietrzu, latem pojawia się u ludzi odczucie parności. W bioklimatologii istnieje kilka metod określania czasu trwania czy też ilości dni parnych. Najczęściej stosowane jest kryterium Scharlau'a, w którym za dzień parny uznaje się ten, w którym prężność pary wodnej ( $e$ ) przekraczała 18,8 hPa. Innym kryterium jest przekroczenie wielkości tzw. temperatury ekwiwalentnej 56°C, przy której pojawia się odczucie parności (Kozłowska-Szczęśna i in. 1997).

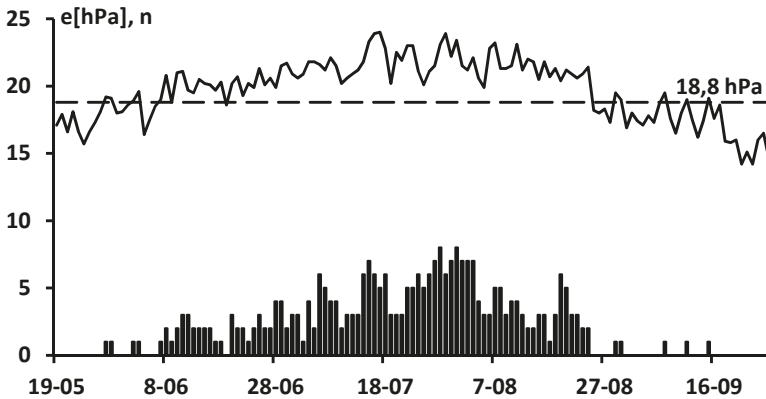
Stosując kryterium Scharlau'a, w województwie podlaskim średnio w roku występowało 24 dni z oznakami parności, z maksymalnie 34 dniami w roku (tab. 54). Temperatura ekwiwalentna okazała się ostrzejszym kryterium wyznaczania liczby dni parnych, gdyż wskazała średnio o 10 mniej niż przy zastosowaniu kryterium Scharlau'a. Podobną prawidłowość stwierdzili Bartoszek i Węgrzyn (2013) dla okolic Lublina. Liczba dni parnych w poszczególnych latach z wielolecia 1995-2019 była zmienna. W 2001 roku powtórzyła się wysoka częstość takich dni, jak w rekordowym roku 1972 (Górniak 2000), lecz kilka kolejnych lat cechowało się zdecydowanie większymi wartościami. Wskazuje to na stopniowy wzrost częstości zjawiska parności w regionie, bez względu na stosowane kryterium ich wyznaczania.

**Tabela 54.**

Średnia liczba dni parnych według dwóch kryteriów w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

miesiące	kryterium temp. ekwiwalentnej T>56°C		kryterium Scharlau'a ( $e \geq 18,8$ hPa)	
	Białystok	Suwałki	Białystok	Suwałki
maj	0,3	0,3	1,6	2,4
czerwiec	2,8	2,0	6,4	6,9
lipiec	6,5	5,3	13,7	13,6
sierpień	4,1	2,9	10,4	10,0
wrzesień	0,3	0,08	2,0	2,0
max. w roku	20	20	34	34
średnia roku	14	11	24	24

Dni parne w województwie podlaskim pojawiają się od trzeciej dekady maja do pierwszej dekady września, z największą częstością pod koniec lipca (rys. 56, tab. 51). Przeciętnie w miesiącu lipcu dni parne stanowią około 15% całego miesiąca (według kryterium temperatury ekwiwalentnej), a częstość dni parnych w sierpniu jest większa niż w lipcu.



**Rys. 56.**

Przebieg maksymalnej dobowej prężności pary wodnej (wykres liniowy) w Białymstoku w latach 1995-2019 i średnia (n) liczba dni parnych (słupki) w określonych datach według kryterium Scharlau'a ( $e \geq 18,8$  hPa)

W ciepłym półroczu, w niektórych krajach powszechnie stosowany jest wskaźnik Humidex, określający stopień uciążliwości pogody gorącej i parnej. Przy jego wyliczaniu wykorzystuje się wartości temperatury i aktualnego ciśnienia pary wodnej, uzyskanych z codziennych pomiarów terminowych na stacjach synoptycznych. W Kanadzie, Francji oraz kilku innych krajach w prognozach pogody podaje się do publicznej wiadomości ostrzeżenia o możliwych przekroczeniach jego wartości  $29,9^{\circ}\text{C}$  (Krzeszkowiak, Pawlas 2015). Wówczas warunki pogodowe stwarzają umiarkowany dyskomfort i trudności przy wykonywaniu pracy fizycznej, a długotrwały wysiłek może doprowadzić do udaru cieplnego. Przy wartościach Humidex ponad  $39$  do  $44^{\circ}\text{C}$  istnieje niebezpieczeństwo udaru cieplnego, nawet przy krótkotrwałym wysiłku. Możliwość wystąpienia udaru cieplnego, tylko podczas pobytu w terenie otwartym pojawia się, gdy wartość

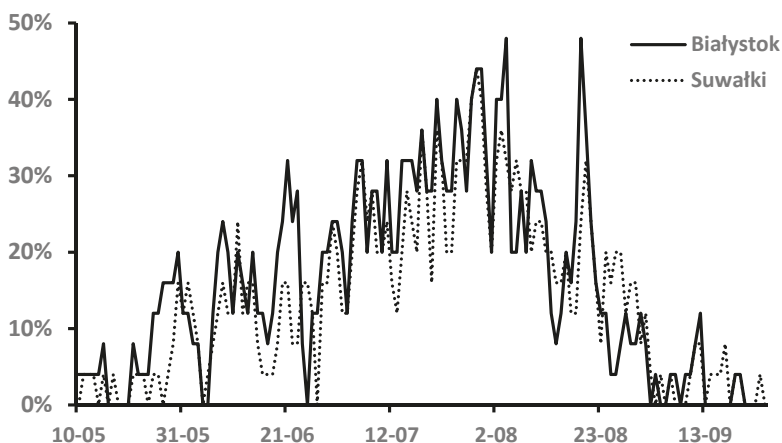
omawianego wskaźnika przekracza 44°C (Błażejczyk, Kunert 2011). Prezentowane dane dotyczą wartości tego wskaźnika z pomiarów cogodzinnych. Gdy co najmniej jeden z pomiarów godzinowych cechował się wyliczoną wartością Humidex ponad 29,9°C, wówczas dany dzień uznawano za dzień z dyskomfortem termiczno-wilgotnościowym.

Znaczny dyskomfort termiczno-wilgotnościowy w latach 1995-2019 w województwie podlaskim pojawia się od 10 maja do 24 września. Maksymalna wartość wskaźnika Humidex (41,4°C) wystąpiła w Suwałkach w 2010 roku i była o około 1°C większa od maksymalnej w Białymstoku. Latem 2007 i 2008 roku w Suwałkach nie stwierdzono występowania dni o znacznym dyskomforcie termiczno-wilgotnościowym, natomiast w Białymstoku corocznie były one obecne. Wartości Humidex ponad 29,9°C wystąpiły w Białymstoku maksymalnie przez 373 godziny w roku 2010. W ciągu roku, a dokładniej od maja do września (włącznie), średnio w Białymstoku występowały przez 163 godziny, a w Suwałkach przez 114. W obu miejscowościach dyskomfort termiczno-wilgotnościowy średnio występuje 21-22 dni w roku, przy czym maksymalny został odnotowany w 2017 roku w Suwałkach, łącznie podczas 68 dni. Najczęściej takie dni z dyskomfortem grupują się w 4-6 dniowe epizody, podobne stwierdzono przy analizie dni upalnych. W ciągu doby uciążliwy okres pojawia się w godzinach 10-14 czasu uniwersalnego, chociaż stwierdzono także sytuacje, gdy trwał nieprzerwanie przez 19 godzin. Zaobserwowano, że w kolejnych sezonach letnich nieregularnie zwiększał się czas trwania dyskomfortu w ciągu doby, co wskazuje na stopniowe narastanie tego zjawiska. Podobną tendencję wcześniej stwierdzono w Lublinie (Dobek i in. 2008), gdzie sytuacje dyskomfortu pojawiają już w kwietniu, czyli o miesiąc wcześniej niż w województwie podlaskim.

Największe natężenie dyskomfortu termiczno-wilgotnościowego przeciętnie nasila się przez 2-3 dekady lipca i sierpnia oraz w okolicach 19 sierpnia (rys. 57). Trzecim okresem zwiększonej uciążliwości jest trzecia dekada czerwca.

Sytuacje odczuwania dyskomfortu pojawiają się także podczas letnich nocy z podwyższoną temperaturą, utrudniającą odpoczynek podczas snu. Noce bardzo ciepłe i gorące (tropikalne) są rzadkim zjawiskiem w klimacie umiarkowanym (Kossowska-Cezak 2003). W latach 1995-2019 odnotowano 64 bardzo

ciepłe noce, co średnio daje 2-3 dni w roku (tab. 55). Pojawiły się też noce tropikalne, ale każda z nich w innym terminie i wraz z upalnym dniami reprezentowały tzw. doby tropikalne. Wtedy maksymalna temperatura była większa niż 30°C, a nocą temperatura minimalna nie obniżała się poniżej 20°C. W Białymstoku był to 16 lipca 2001, a w Suwałkach – 5 sierpnia 2014 i 18 lipca 2010 roku. Taką samą liczbę nocy tropikalnych odnotowano w latach 1986-2015 w Zakopanem (Pajewska 2016). Zjawisko to na terenach pozagórskich Polski ma wyraźną tendencję wzrostową od początku XXI wieku.



**Rys. 57.**

Częstość dni sezonu ciepłego o wartościach wskaźnika Humidex >29,9°C w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

Podsumowując, należy stwierdzić, że pod względem meteorologicznym sytuacja w województwie podlaskim z jednej strony podlega zmianom korzystnym w okresie zimowym, wraz ze zmniejszeniem liczby dni mroźnych i bardzo mroźnych, z drugiej zaś ulega pogorszeniu, z powodu wzrastającej w lecie liczby dni upalnych i dni parnych.

**Tabela 55.**

Liczba nocy bardzo ciepłych i tropikalnych w województwie podlaskim w latach 1995-2019 (kryterium temperatury minimalnej)

miesiące	Białystok		Suwałki	
	bardzo ciepłe	tropikalne	bardzo ciepłe	tropikalne
	18-20°C	>20°C	18-20°C	>20°C
VI	7	0	7	0
VII	35	1	36	1
VIII	22	0	21	1
IX	0	0	0	0
razem	64	1	64	2



## 12. Regiony klimatyczne województwa podlaskiego

---

Przestrzenne zróżnicowanie analizowanych elementów klimatu i ich przebiegu w ciągu roku w granicach województwa spowodowane jest przede wszystkim:

- położeniem geograficznym województwa,
- zróżnicowaniem fizjograficznym,
- charakterem rzeźby terenu,
- powierzchniami gleb hydrogenicznych oraz kompleksami leśnymi.

Większa rozciągłość południkowa niż równoleżnikowa województwa skutkuje przede wszystkim zróżnicowaniem termicznym. Jest ono szczególnie obserwowane od lutego do czerwca, kiedy to średnie miesięczne między Szepietowem a Suwałkami przekraczają  $0,6^{\circ}\text{C}$ , a najwyższa średnia występuje w marcu – ponad  $1^{\circ}\text{C}$ . Natomiast rozciągłość równoleżnikowa tylko zimą wykazuje większe wychłodzenie wschodnich części województwa. Zróżnicowanie fizjograficzne i użytkowanie terenu, wynikające z warunków glebowych, prowadzi do większego zróżnicowania przestrzennego pola wiatru, wilgotności powietrza czy opadów.

Biorąc pod uwagę wspomniane czynniki klimatotwórcze obszaru województwa podlaskiego oraz uzyskane podczas opracowania dane ilościowe, a także wyniki wcześniejszych prób regionalizacji klimatycznej w skali kraju i regionu (Pióro 1971, Stopa-Boryczka 1986), można wyodrębnić regiony klimatyczne województwa podlaskiego. Za podstawę regionalizacji przyjęto przestrzenne zróżnicowanie warunków termiczno-opadowych i struktury wiatru, z uwzględnieniem częstości występowania charakteryzowanych w opracowaniu zjawisk meteorologicznych. Prezentowana mapa regionów klimatycznych opiera się na wyznaczeniu stref (granic) o największym „izogrادیencie klimatycznym”, zgodnie z interpretacją tego pojęcia przez E. Romera (1949). Metoda ta była stosowana w wielu opracowaniach klimatologicznych, m.in. dla byłego województwa suwalskiego (Stopa-Boryczka 1985), dla północno-wschodniej Polski (Stopa Boryczka i in.

1986) oraz ostatnio przy podziale klimatycznym Polski w oparciu o typy pogody (Woś 1996). Efektem podjętej regionalizacji jest opracowana mapa (rys. 53), na której wydzielono względnie jednolite trzy regiony klimatyczne, a w każdym z nich subregiony o specyficznych (drugorzędnych) cechach klimatu tych obszarów. Ze względu na charakterystyczny przebieg warunków klimatycznych w obrębie zwartych wielkoobszarowych powierzchni leśnych Puszczy Knyszyńskiej i Białowieskiej, należy dodać, że jeszcze nie do końca rozpoznanych, w obrębie subregionów klimatycznych wydzielono odmianę leśną.

W województwie podlaskim wyróżniono trzy główne regiony klimatyczne: Suwalski, Podlaski i Mazowiecki (rys. 58). Pierwszy z nich – **Suwalski** jest najchłodniejszym regionem klimatycznym województwa, mimo występowania znacznej liczby jezior, łagodzących warunki termiczno-wilgotnościowe. Region ten charakteryzuje się znacznymi kontrastami opadowymi ze względu na duże, jak na warunki województwa, zróżnicowanie wysokościowe terenu. W regionie Suwalskim pokrywa śnieżna zalega najdłużej w województwie. Ważną cechą klimatu, wyróżniającą ten region od pozostałych, jest największa w województwie średnia roczna prędkość wiatru, ponad 4 m/s, z dużym udziałem wiatru o prędkościach umiarkowanych i silnych. Warty podkreślenia jest fakt, iż warunki klimatyczne regionu należą w województwie do najbardziej uciążliwych dla rolnictwa; sprzyjają one natomiast wykorzystaniu wiatru pod względem energetycznym, jako czystego źródła energii.

Zasięgiem terytorialnym klimatyczny Region Suwalski obejmuje cały obszar pojezierny na północ od Biebrzy po granicę państwa. Południowa granica regionu jest zbieżna z granicą fizjograficzną między Kotliną Biebrzańską a Równiną Augustowską, wyznaczoną przez Kondrackiego (1998). Warto wspomnieć, że południowa granica Regionu Suwalskiego była także jedną z granic regionów w podziale klimatycznym Polski Romera (1949) oraz w regionalizacji rolniczo-klimatycznej Gumińskiego (1948).



**Rys. 58.**

Podział województwa podlaskiego na regiony klimatyczne

W obrębie Suwalskiego Regionu Klimatycznego wyróżniono trzy subregiony: Garbów Pojeziernych, Suwalsko-Sejneński oraz Wigiersko-Augustowski. Pierwszy i ostatni z subregionów to krainy podobnie wyróżnione w pierwszym podziale klimatycznym województwa białostockiego przez Pióro (1973). Natomiast wydzielony subregion Suwalsko-Sejneński, w porównaniu ze wspomnianym podziałem, różni się przebiegiem zachodniej granicy subregionu, przesuniętej ku zachodowi. Wyróżnienie trzech subregionów było podyktowane przede wszystkim zróżnicowaniem opadowym, gdyż w subregionie Garbów Pojeziernych suma roczna opadów atmosferycznych jest większa niż w subregionie Wigiersko-Augustowskim, a najmniejsze opady notuje się w subregionie Suwalsko-Sejneńskim. Największe zróżnicowanie wysokości opadów między wyróżnionymi subregionami przypada na lata wilgotne i wówczas maksymalne różnice sum opadów między nimi przekraczają 150 mm. Należy przy tym wspomnieć, że wydzielenie subregionu Wigiersko-Augustowskiego było podyktowane dwoma istotnymi czynnikami modyfikującymi warunki klimatyczne, do których zaliczamy dużą jeziorność obszaru (duże powierzchniowo akweny) oraz relatywnie dużą lesistość.

W prezentowanym podziale klimatycznym województwa największy powierzchniowo jest Region **Podlaski**. Jest to region o najbardziej zaznaczonych w województwie cechach kontynentalizmu termicznego, przy zróżnicowaniu opadowym wynikającym z przebiegu dolin dwóch rzek – Narwi i Biebrzy oraz obecności dwóch rozległych kompleksów leśnych. W obrębie Podlaskiego Regionu Klimatycznego wydzielono cztery subregiony: Białostocki, Bielski, Biebrzański i Kolneński. Granice między subregionami pokrywają się z przebiegiem obniżeń dolin rzek, a w przypadku subregionu Biebrzańskiego są to granice wysoczyzn otaczających ten rozległy, wklęsły obszar, zdominowany przez silnie uwodnione gleby hydrogeniczne. O odrębności klimatycznej tej jednostki fizjograficznej w stosunku do sąsiednich regionów świadczą jednoznacznie wyniki opracowania Kossowskiej-Cezak i in. (1991). W subregionach Białostockim i Bielskim wyróżniono, w randze części subregionu, obszary kompleksów leśnych (Supraski i Białowieski) dla uwypuklenia znaczenia lasu w kształtowaniu warunków wilgotnościowych, wielkości opadów i specyficznej struktury wiatru. Jak już wcześniej podkreślono, klimatyczna rola lasu nie zawęży się jedynie do wnętrza komplek-

sów leśnych oraz śródleśnych polan. Obejmuje swoim wpływem również rozległą strefę otoczenia lasu (Tomanek 1972).

Dane obserwacyjne z wielolecia 1995-2019 upoważniają obecnie do wydzielenia dodatkowo klimatycznego subregionu Nurczyka w Regionie Podlaskim. Jest to podyktowane wyraźnie większą sumą opadów rocznych, przekraczających średnio 700 mm. Wielkość notowanych tam opadów jest obecnie największa w województwie i tak samo wysoka jak na terenach garbów pojeziernych Suwalskiego Regionu klimatycznego. Staje się teraz bardziej zrozumiałe, dlaczego w przeszłości istniała tam tak duża ilość młynów wodnych, znacznie większa niż w środkowym Nurcu czy Orłance. Jest to region o zwiększonych opadach, gdzie w przeszłości efektywnie wykorzystywano energię wód płynących, a ponadto większa ilość opadów miała wpływ na rozwój na znacznych obszarach gleb hydrogeniczných, intensywnie zmeliorowanych w II połowie XX wieku.

Wśród wyróżnionych subregionów, jak wskazują wyliczone wskaźniki pluwialne, najbardziej wyraźne cechy kontynentalne ustroju opadowego ma subregion Kolneński, ponieważ w pozostałych subregionach warunki klimatyczne są łagodzone przez rozległe obszary leśne oraz uwilgotnione podłoże gleb hydrogeniczných. Białostocki subregion klimatyczny wyróżnia się od pozostałych największą częstością opadów o charakterze deszczy ulewnych i opadów nawalnych. Ponadto kemowe wzgórza okolic Sokółki oraz obszar aglomeracji Białegostoku mają wpływ na lokalne modyfikacje struktury wiatru, co potwierdzają pomiary na stacjach Białystok i Różanystok.

Warto też wspomnieć o wyznaczonej południowej granicy klimatycznego Regionu Podlaskiego, mającej odmienny od północnej granicy kierunek i charakter. Granica ta zasadniczo nie pokrywa się z przebiegiem granic fizjograficznych (z wyjątkiem Regionu Kolneńskiego). Gradient cech klimatycznych na tym obszarze województwa podlaskiego nie jest zbyt wyraźny, ale jednocześnie pojawia się niemal we wszystkich analizowanych parametrach klimatycznych. Południowa granica Podlaskiego Regionu Klimatycznego biegnie z południowego wschodu, od granicy państwa (na południe od miejscowości Nurzec-Stacja), ku północnemu zachodowi, z lekkim zafalowaniem na północ od Szepietowa. W swoim biegu w zachodniej części województwa, wyznaczona granica z Mazowieckim

Regionem klimatycznym pokrywa się z doliną dolnego biegu rzeki Pisy. Opisany przebieg granicy z kierunku SE w kierunku NW wskazuje na stopniowe ustępowanie dominacji cech kontynentalnych klimatu na korzyść warunków oceanicznych, dominujących w środkowej Polsce.

Za takim wydzieleniem południowej granicy Regionu Podlaskiego przemawiają także wyniki regionalizacji klimatycznej przeprowadzonej przez innych autorów. Niemal identyczną granicę regionów klimatycznych w tej części Polski znajdujemy w ostatnim podziale klimatycznym Wosia (1996) (między Regionem Mazursko-Podlaskim i Podlasko-Poleskim), a także we wcześniejszych podziałach Wiszniewskiego i Chełchowskiego (1987) oraz w podziale Polski na regiony bioklimatyczne (Kozłowska-Szczęśna 1991).

W obrębie **Mazowieckiego** Regionu klimatycznego na terenie województwa podlaskiego wyróżniono dwa subregiony: Nadbużański i Kurpiowsko-Zambrowski. Pierwszy z nich, wyróżniony wcześniej przez Pióro (1973), jest pod wpływem regionalnej modyfikacji klimatu doliny Bugu, o wyraźnej w krajobrazie krawędzi od strony północnej. W tym subregionie następuje stopniowe wygaszanie cech rozległych równin mazowieckich, o cieplejszych zimach i relatywnie ubogich opadach letnich. O odrębności klimatycznej tej części województwa świadczą też odmienne od pozostałych regionów wskaźniki – średnia prędkość i struktura kierunkowa wiatru w ciągu roku. Należy dodać, że panujące na tym terenie warunki klimatyczne należą w województwie podlaskim do najbardziej korzystnych dla rolnictwa, a przede wszystkim produkcji roślinnej. W subregionie Kurpiowsko-Zambrowskim, obok mniejszych średniorocznych opadów, ważną cechą wyróżniającą ten obszar jest niewielka częstość dni z burzami. Ponadto, jak podkreśla w swoim opracowaniu Pióro (1973), w regionie tym jesienią i zimą średnia miesięczna temperatura powietrza jest nieco wyższa od notowanej na obszarach położonych bardziej na północ i wschód.

Przedstawiony podział klimatyczny województwa wskazuje na istnienie regionów o nieco odmiennych warunkach pogodowych, istotnych dla funkcjonowania gospodarki, a w szczególności dla rozwoju rolnictwa i turystyki.

## 13. Jakość powietrza i opadów

---

Do oceny warunków klimatycznych wpływających na stan środowiska oraz na zdrowie człowieka coraz częściej włącza się komponent chemiczny troposfery. Podlega on stałemu monitorowaniu przez służby ochrony środowiska, dlatego opisując warunki klimatyczne województwa podlaskiego nie powinno się go pomijać. Poniżej zaprezentowane zostały najważniejsze dane o stanie powietrza województwa podlaskiego w oparciu o dane Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Białymstoku o stężeniu mierzonych parametrów powietrza w Białymstoku, Łomży i Suwałkach oraz na stacji pozamiejskiej w Borsukowiznie (gmina Michałowo), traktowanej jako tzw. tło naturalne.

### Pyły

Polska jest wskazywana, jako jeden z krajów UE o największym pyłowym zanieczyszczeniu powietrza (European Environment Agency 2019). Natomiast województwo podlaskie, jako jedyne w kraju, zaliczane jest do strefy w klasie A pod względem stężeń pyłu  $PM_{10}$  i dla większości obszaru także dla pyłu  $PM_{2,5}$ . Przy dopuszczalnym obecnie poziomie  $40 \mu g m^{-3}$  (dla strefy A) średnie wartości z wielolecia dla wszystkich stacji pomiarowych w województwie są zdecydowanie mniejsze (tab. 56). Największe średnie stężenia  $PM_{10}$  notuje się w Łomży, podobnie jak  $PM_{2,5}$ , przy czym dla tej najdrobniejszej frakcji pyłu średnie roczne wartości przekraczają wartość normatywną  $25 \mu g m^{-3}$ . W Białymstoku występowały też okresy pomiarowe z poziomem ponad tę wartość, ale liczba dni w roku z przekroczeniami jest niewielka i dopuszczalna w takiej ilości dla klasy A.

Wyliczone wartości wieloletnie wskazują na dobrą jakość powietrza, a przy tym trzeba dodać, że w ostatnich 3-5 latach dane z monitoringu zanieczyszczeń powietrza pyłami są optymistyczne. Trzeba jednak mieć świadomość, że monitorowany stan „zapylenia” powietrza jest silnie uwarunkowany przebiegiem pogody na danym obszarze i nie zawsze zmniejszenie regionalnej emisji zanieczyszczeń pyłowych przekłada się na zmniejszenie występujących stężeń

pyłu. O wiele bardziej skomplikowany jest transport drobnych pyłów o charakterze transgranicznym i często wyniki analiz bezpośrednich są efektem zwiększonego „importu” zanieczyszczeń z różnych części Europy. Dlatego w obiektywnych interpretacjach danych o zanieczyszczeniu pyłem lub gazami, przy tzw. epizodach zanieczyszczeń, wyznacza się **trajektorie wsteczne** (patrz słowniczek), aby określić położenie źródła zanieczyszczeń.

**Tabela 56.**

Średnie roczne stężenia pyłu w powietrzu [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] oraz ich odchylenie standardowe (SD – średnie roczne) na stanowiskach Państwowego Monitoringu Jakości Powietrza w województwie podlaskim; w nawiasach podano okres pomiarowy  $\text{PM}_{2,5}$  – pył o średnicy mniejszej niż  $2,5 \mu\text{m}$ ,  $\text{PM}_{10}$  – pył o średnicy mniejszej niż  $10 \mu\text{m}$ , czas uśredniania 24 godziny, w Borsukowiznie – czas uśredniania 1 godzina

Miejscowość (ul.)	średnia	SD
$\text{PM}_{10}$ 2004-2019		
Łomża, Sikorskiego	32,1	2,64
Suwałki, Pułaskiego	25,6	8,96
Białystok, Warszawska	24,2	3,17
Borsukowizna	12,7	(rok 2019)
$\text{PM}_{2,5}$ (2009-2019) 24 h		
Łomża, Sikorskiego	27,7	3,50
Białystok, Waszyngtona	19,9	3,94
Suwałki, Pułaskiego	13,2	1,80
Borsukowizna	9,2	(rok 2019)

Równie ważny jest tzw. wskaźnik wentylacji atmosferycznej (patrz słowniczek), warunkujący zwiększanie lub zmniejszanie się zagęszczenia aerozoli w dolnej troposferze. Jest on związany bezpośrednio ze średnią prędkością wiatru oraz miąższością strefy mieszania, uwarunkowaną typem równowagi termodynamicznej. Niestety w centralnej Europie, przy często występujących antycyklonach w porze zimowej oraz zwiększonej emisji zanieczyszczeń powietrza (energetyka, spalanie węgla w lokalnych piecach) równowaga ta jest bardzo niekorzystna



z punktu widzenia stanu jakości powietrza. Dlatego pojawianie się zjawiska smogu zimowego w województwie podlaskim (bardzo rzadko w porównaniu z obszarami południowej Polski) jest uwarunkowane czynnikami antropogenicznymi, ale także czynnikami środowiskowymi, na które człowiek nie ma wpływu. Dlatego też czynnik klimatyczny, czy aktualne uwarunkowania synoptyczne winny być w większym stopniu uwzględniane przy ocenie stopnia antropogenicznego zanieczyszczenia powietrza niż ma to miejsce obecnie.

## Gazy

Zanieczyszczenia gazowe powietrza to z jednej strony związki tlenu i azotu czy siarki, a z drugiej – produkty spalania różnych form związków organicznych pochodzenia naturalnego lub sztucznego. Związki organiczne w postaci gazu są także produktem wielu procesów technologicznych.

W warunkach naturalnych zanieczyszczenia powietrza były i są obecne, a ich poziom na obszarach ekumeny może osiągać stężenia niebezpiecznie wysokie, wpływające na zdrowie człowieka, zwierząt hodowlanych, a także niebezpieczne czy wręcz toksyczne dla roślin ze zbiorowisk naturalnych czy w agrocenozach. Dlatego monitoring gazów w atmosferze jest tak ważnym narzędziem w ochronie środowiska, a przede wszystkim w ochronie zdrowia człowieka. Trzeba przyznać, że polski system monitoringu gazowych zanieczyszczeń powietrza w został szybko zorganizowany niemal od podstaw i funkcjonuje na wysokim poziomie.

Zanieczyszczenia gazowe obecne w powietrzu nad obszarem województwa podlaskiego to głównie związki powstające w gospodarce komunalnej, w sieci transportowej i lokalnych gospodarstwach domowych. Jak podaje ostatni *Raport o stanie jakości powietrza w województwie podlaskim* (rok 2019), gospodarka komunalno-bytowa jest najważniejszym emitorem pyłów, gazowych związków siarki oraz benzopirenów [B(a)P], natomiast dla związków azotu są to transport i zanieczyszczenia punktowe, w tym rolnictwo (tab. 57). Jest to całkowicie odmienna struktura emisji zanieczyszczeń powietrza niż w większości wysoko rozwiniętych krajów UE, gdzie dominują przemysł i transport. Jest to tak-

że efekt niewielkiego zagęszczenia ludności w województwie, zagospodarowania przestrzennego oraz innej tradycji w kształtowaniu agrocenoz.

Podobnie jak w przypadku zanieczyszczeń pyłami, wieloletnie stężenia analizowanych gazów są niewielkie w porównaniu z innymi częściami kraju. Wyniki analiz ze stacji monitoringowych z terenu województwa potwierdzają utrzymywanie się niskiego poziomu zanieczyszczenia powietrza tlenkami siarki, azotu czy ozonu, poniżej norm wyznaczonych na obszarze UE. Pojawiająca się liczba epizodów z ponadnormatywnymi stężeniami mieści się w dopuszczalnych granicach przyjmowanych dla stref z jakością powietrza klasy A (najlepsza).

**Tabela 57.**

Średnie roczne stężenia gazów [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] (czas uśredniania 1 godzina) oraz odchylenie standardowe (SD) na stacjach pomiarowych województwa podlaskiego w latach 2009-2019; źródło danych: [www.gios.pl](http://www.gios.pl)

stanowiska pomiarowe	SO <sub>2</sub>				NO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		O <sub>3</sub>	
	rok		zima		rok		rok		Rok	
	śred.	SD	śred.	SD	śred.	SD	śred.	SD	śred.	SD
Łomża ul. Sikorskiego	6,73	1,65	9,8	2,0	14,7	1,47	24,2	5,5		
Białystok ul. Waszyngtona	3,50	1,15	5,0	2,1	14,0	1,25	18,3	1,8		
Białystok ul. 42 Pułku Piechoty	4,22	0,93	5,6	1,7	9,07	1,12	10,9	1,4	51,1	5,6
Borsukowizna	1,80	0,46	2,3	0,6	2,94	0,67	3,3	0,8	49,6	5,2

Zaprezentowana tabela 57 pokazuje nie tylko generalnie niski poziom szkodliwych dla zdrowia człowieka gazów, ale na przykładzie stacji w Białymstoku wskazuje na silne klimatyczne uwarunkowania lokalne, odgrywające w przestrzeni miejskiej istotną rolę w kształtowaniu jakości powietrza. Na takie uwarunkowania wskazywano już wiele lat temu w pierwszych pracach polskich klimatologów, np. dla Łodzi (Kozuchowski i in. 1998).

Innym ciekawym aspektem jakości powietrza w województwie podlaskim jest występowanie ozonu w przyziemnej części troposfery na obszarach natural-

nych i leśnych. Dane ze stacji śródleśnej w Borsukowiźnie w przypadku ozonu wskazują na bardzo zbliżone stężenia do wartości notowanych na obszarach zurbanizowanych. Przy szczegółowej analizie stwierdzano długie okresy letnie, ale też i w chłodnej porze roku, kiedy to poziom stężenia ozonu w powietrzu terenów leśnych był zdecydowanie większy niż w centrum miasta. Jest to dowód na wielkoobszarowe kształtowanie się stężeń tego gazu i zdolność lasów iglastych do wytwarzania go. Prawdopodobnie jest to również wpływ korzystnej miejskiej struktury przestrzennej (udział i rozmieszczenie biologicznie aktywnych obszarów – parki, tereny trawiaste) na ograniczanie wzrostu jego stężeń w powietrzu miejskim.

## **Skład chemiczny wód opadowych**

Miarą zanieczyszczenia atmosfery jest skład chemiczny wód opadowych docierających do powierzchni danego terenu, dlatego od wielu lat w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska prowadzone są analizy chemiczne opadów. W województwie podlaskim takie pomiary dotyczą opadów zbieranych na dwóch stacjach synoptycznych, a uśrednione wyniki z ostatnich 10 lat prezentuje tabela 58. Woda opadowa ma odczyn pH lekko kwasowy, ze stosunkowo niewielką ilością rozpuszczonych związków mineralnych, zarówno makro-, jak i mikroskładników.

Od ponad 15 lat utrzymuje się korzystna tendencja zmniejszania się zakwaszenia wód (wzrostu wartości pH) (rys. 59) oraz stężeń substancji mineralnych, która jest udokumentowana spadkiem przewodności właściwej wody opadowej (rys. 60) rzędu 30% od początku XX wieku. Wartości EC (przewodności właściwej wody) notowane obecnie na terenie województwa podlaskiego są praktycznie takie same jak na niektórych stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery w Polsce, a nawet mniejsze od notowań na Śnieżce czy w Łebie (*Raport...* 2019). Potwierdza to jednocześnie opisywany powyżej stan niewielkiego zanieczyszczenia atmosfery przez gazy i pyły pochodzenia antropogenicznego w województwie podlaskim.

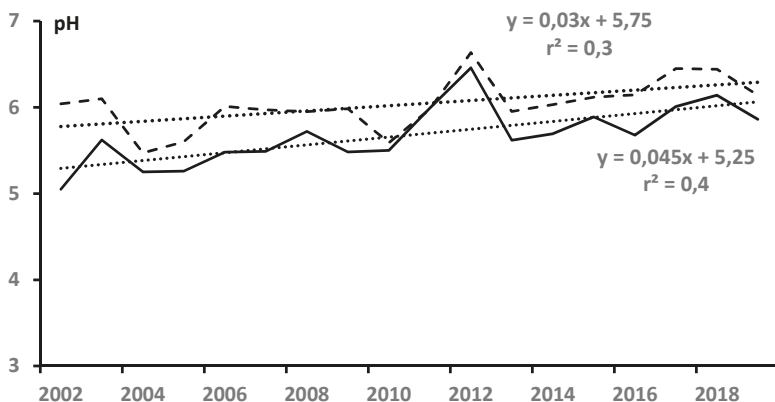
**Tabela 58.**

Średnie roczne stężenia analizowanych składników rozpuszczonych w wodzie opadowej w Białymstoku i Suwałkach (2010-2019); EC – przewodność właściwa, TN – całkowity azot, TP – całkowity fosfor, źródło danych: [www.gios.pl](http://www.gios.pl)

parametr	jednostka	Białystok	Suwałki
pH	pH	5,85	6,13
EC	$\mu\text{S cm}^{-1}$	15,9	18,3
Ca	$\text{mg dm}^{-3}$	0,89	1,07
Mg	$\text{mg dm}^{-3}$	0,13	0,19
Na	$\text{mg dm}^{-3}$	0,24	0,55
K	$\text{mg dm}^{-3}$	0,19	0,18
SO <sub>4</sub>	$\text{mg dm}^{-3}$	1,55	1,54
Cl	$\text{mg dm}^{-3}$	0,66	1,14
TN	$\text{mgN dm}^{-3}$	1,40	1,30
N-NH <sub>4</sub>	$\text{mgN dm}^{-3}$	0,69	0,58
NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub>	$\text{mgN dm}^{-3}$	0,39	0,37
TP	$\mu\text{gP dm}^{-3}$	51,7	33,4
Zn	$\mu\text{g dm}^{-3}$	97,4	87,2
Cu	$\mu\text{g dm}^{-3}$	4,11	3,71
Pb	$\mu\text{g dm}^{-3}$	0,83	1,18
Ni	$\mu\text{g dm}^{-3}$	0,71	0,67
Cr	$\mu\text{g dm}^{-3}$	0,43	0,46
Cd	$\mu\text{g dm}^{-3}$	0,13	0,10

Wśród kationów w wodzie opadowej dominuje wapń i sód, które osiągnęły większe stężenia w Suwałkach niż w Białymstoku, co wiąże się z większą alkalizacją wód opadowych na północy województwa niż w pozostałej jego części (tab. 58). Większe stężenia Ca i Na w opadach skutkuje większą ilością substancji mineralnych w wodzie opadowej Regionu Suwalskiego, a tym samym większe wartości EC. Od pierwszej dekady XXI wieku stężenia EC w Białymstoku mają

podobny trend zmniejszania się wartości, natomiast w Suwałkach od drugiej dekady tendencja spadku zdecydowanie się zmniejszyła, a wręcz uległa stabilizacji. Wskazuje to na możliwość powstania nowych źródeł emisji, których należy upatrywać w zwiększonej eksploatacji kruszyw naturalnych, szczególnie żwiru, zasobnego w węglany na sandrze Augustowskim. Stężenia magnezu i potasu w wodzie opadowej są niewielkie i dlatego ich pozycja w strukturze kationów jest zdecydowanie odmienna niż w wodach powierzchniowych i podziemnych.

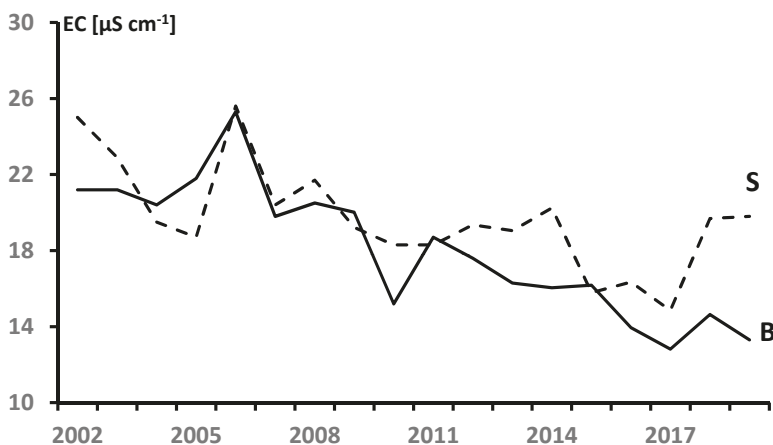


**Rys. 59.**

Średnie roczne stężenia odczynu pH wód opadowych w latach 2002-2019 w Białymstoku (linia ciągła) i Suwałkach (linia kreskowa); źródło danych: [www.gios.pl](http://www.gios.pl)

Spośród analizowanych anionów dominujące są siarczany nad chlorkami (tab. 58), ale ta dominacja nie jest tak duża, gdy porównamy ją ze stężeniami tych jonów w wodach powierzchniowych województwa. Poziom substancji biogenych w opadach również jest niski, zbliżony do stężeń notowanych w wodach jezior czy rzek o niskiej trofii (Górniak, Kajak 2020). Średnie stężenia tych substancji w Białymstoku są większe niż w Suwałkach, co jest sytuacją odwrotną niż w przypadku makroskładników. Zwraca uwagę fakt dominacji jonów amoniowych nad azotanami i azotynami, wskazujący na zwiększoną w regionie emisję gazową amoniaku z materii organicznej gleb organicznych, ściółki leśnej oraz terenów rolniczych, włącznie z hodowlą zwierząt. Dla większości analizowanych makroskładników wód opadowych, średnie ważone stężenia na stacjach pomiarowych

województwa podlaskiego są mniejsze lub zbliżone do średniej wartości wyliczonej dla Polski, co pokazują przykładowe dane dla roku 2019 (tab. 59).



**Rys. 60.**

Średnie roczne wartości przewodności właściwej (EC) wód opadowych w latach 2002-2019 w Białymstoku (B) i Suwałkach (S); źródło danych: [www.gios.pl](http://www.gios.pl)

**Tabela 59.**

Średnie (ważone) stężenia wybranych anionów (mg dm<sup>-3</sup>) i przewodności właściwej (EC w μS cm<sup>-1</sup>) w wodzie opadowej na stacjach pomiarowych województwa podlaskiego i wybranych miastach Polski w 2019 roku

miasta	EC	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )
Suwałki	19,8	1,32	1,01	0,47
Białystok	13,3	1,16	0,36	0,40
Toruń	24,2	2,10	0,89	0,37
Poznań	24,4	1,92	1,78	0,53
Legnica	16,7	1,66	0,70	0,48
Katowice	18,2	1,76	1,46	0,36
<b>średnia dla Polski</b>	<b>16,5</b>	<b>1,56</b>	<b>0,63</b>	<b>0,40</b>

W wodach opadowych dokonuje się także pomiarów stężeń sześciu mikroelementów, uznawanych za szkodliwe dla żywych organizmów. Stężenia cynku i miedzi swoimi wartościami wyraźnie odbiegają od pozostałych analizowanych pierwiastków śladowych, które średnio wstępują w stężeniach około  $1 \mu\text{g dm}^{-3}$  lub mniejszymi. Średnie stężenia z ostatnich 10 lat takich mikrośladników jak cynk, miedź, nikiel, kadm były większe w Białymstoku niż w Suwałkach, natomiast dla ołowiu i chromu większe były w Suwałkach (tab. 60). O wielkości średnich stężeń mikrośladników dla roku decydował okres chłodny, gdyż wówczas wzrasta emisja zanieczyszczeń pyłowych w związku z sezonem grzewczym, przede wszystkim z bardzo licznych pieców i palenisk domowych (tzw. niskie emitory).

Na koniec omawiania aktualnej jakości powietrza województwa podlaskiego trzeba wskazać na wielkość ładunku substancji docierających z opadami atmosferycznymi na jednostkę powierzchni terenu oraz na zmiany wieloletnie (tab. 60).

Na podkreślenie zasługuje wielkość ładunku azotu docierającego corocznie do gleb i roślin, który jest nieco większy niż przeciętny w Polsce. Jego roczna wartość  $8-9 \text{ kg N ha}^{-1}$  stanowi blisko 10% wielkości tego pierwiastka wprowadzanego rokrocznie do gleb uprawnych wraz z nawozami sztucznymi. Podobnie wygląda sytuacja z wapniem i magnezem, których roczny ładunek z opadami też stanowi około 10% średniego nawożenia wapniowego gleb uprawnych. W przypadku ładunku innych pierwiastków jest to mniej niż kilka procent w stosunku do intensywności nawożenia przez rolników.

Należy przy tym zauważyć, że aktualnie opady dostarczają na powierzchnię Ziemi relatywnie wysoki ładunek eutrofizujący wody. Dla azotu jest on niemal równy ładunkowi dopuszczalnemu, a dla fosforu to ponad 50% takiego ładunku dla jezior o średniej głębokości mniejszej niż 5 m, a takie jeziora w Polsce przeważają (Górniak, Kajak 2020). Widzimy więc, że opady są istotnym źródłem przyczyniającym się do wzrostu żyzności wód powierzchniowych, a postępujące zmniejszanie się zanieczyszczenia opadów jest korzystne dla ekosystemów tych wód.

**Tabela 60.**

Ładunek [kg ha<sup>-1</sup>] substancji rozpuszczonych docierający rocznie z opadami atmosferycznymi w Białymstoku i Suwałkach w latach 2002-2019, według danych GIOS; pogrubioną czcionką zaznaczone zostały wartości większe niż w okresie wcześniejszym, kursywą – wartości mniejsze

parametr	Białystok		Suwałki		średnio w Polsce w 2019 roku
	2002-2010	2011-2019	2002-2010	2011-2019	
Ca	4,72	<b>5,11</b>	5,77	<b>6,57</b>	4,18
Mg	0,70	<b>0,79</b>	1,08	<b>1,16</b>	0,64
Na	<b>1,76</b>	1,38	<b>3,28</b>	2,95	2,57
K	<b>1,40</b>	1,05	<b>1,28</b>	1,06	1,90
SO <sub>4</sub>	<b>12,35</b>	9,58	<b>11,35</b>	9,17	9,30
Cl	<b>5,02</b>	3,25	<b>6,34</b>	5,55	5,56
TN	<b>9,17</b>	8,66	7,87	<b>7,93</b>	8,79
N-NH <sub>4</sub>	<b>4,72</b>	3,90	<b>3,89</b>	3,61	3,49
N (NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> )	<b>2,60</b>	2,22	<b>2,33</b>	2,15	2,31
TP	0,33	<b>0,35</b>	0,20	<b>0,21</b>	0,23
Zn	0,37	<b>0,55</b>	0,33	<b>0,53</b>	0,22
Cu	0,020	<b>0,024</b>	0,021	<b>0,023</b>	0,040
Pb	<b>0,010</b>	0,004	<b>0,008</b>	0,003	0,0049
Cd	<b>0,001</b>	0,001	<b>0,002</b>	0,001	0,0008
Ni	<b>0,008</b>	0,003	<b>0,005</b>	0,004	0,0031
Cr	<b>0,010</b>	0,002	<b>0,004</b>	0,002	0,0008



# CZĘŚĆ II

## Zmieniający się klimat

---



Dolina Narwi, fot. Piotr Tafataj



Warunki klimatyczne, podobnie jak szereg innych komponentów otaczającego nas środowiska przyrodniczego, podlegają ciągłym przemianom pod wpływem czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Zmiany wywołane czynnikami zewnętrznymi mają charakter globalny, są zazwyczaj pochodzenia naturalnego i są niezależne od człowieka. Tymczasem od pewnego czasu na Ziemi zaczynają pojawiać się zmiany środowiska, w tym zmiany klimatyczne, które trudno uznać za naturalne. Dlatego w tej części zostaną zaprezentowane elementy klimatu w ujęciu dynamicznym, rozwijające się w perspektywie wieloletniej, o różnej skali czasowej, by wykazać te, które mają charakter globalny, niezależny od człowieka i te, które są w dużym stopniu efektem ludzkiej aktywności. Wiele z nich staje się zagrożeniem dla gospodarki i życia człowieka.



Dolina Biebrzy wiosną, fot. Piotr Tałataj

## 14. Zmiany klimatyczne północno-wschodniej Polski w aspekcie geologicznym

---

Przeszłość geologiczna ostatnich 2,5 miliona lat północno-wschodniej Polski dokumentuje dominację klimatu chłodnego w czasie plejstocenijskiego panowania lądolodów, z ciepłymi okresami interglacjalnymi. Jak wskazywano wcześniej, plejstocenijski chłodny okres z wieloletnią zmarzliną sięgającą do głębokości 700 m zakończył się 11700 lat temu (liczony obecnie od roku 2000). Ten moment obecnie uznaje się początek holocenu, czyli od zatwierdzenia nowego podziału stratygraficznego przez IUGS w 2018 roku (Walker i in. 2018, 2019) (patrz słowniczek).

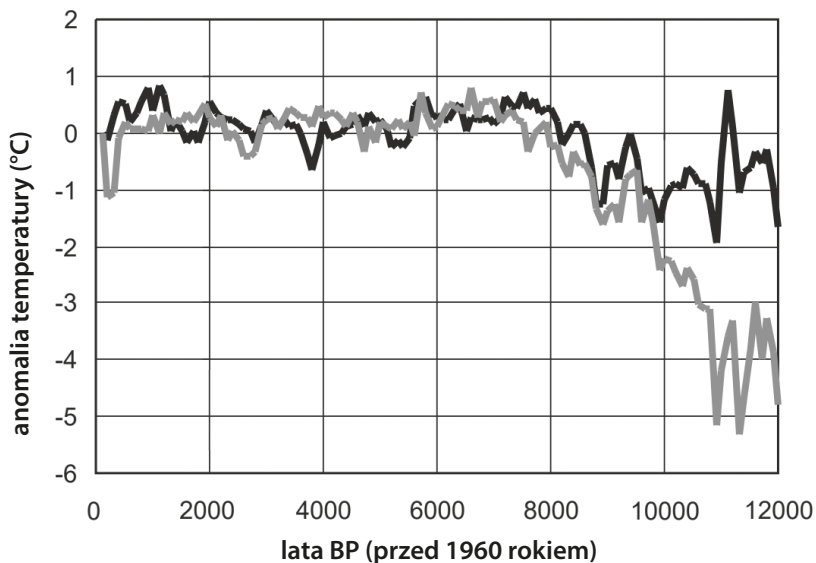
Już pod koniec plejstocenu rozpoczęło się stopniowe ocieplenie klimatu w Europie i jego kontynuacja w holocenie. Około 8 tys. lat temu w północno-wschodniej Polsce panowały już warunki termiczne bardzo zbliżone do współczesnych, co pokazuje rekonstrukcja holocenijskiej anomalii termicznej w wschodnio-centralnej części Europy (rys. 61).

Bardziej precyzyjne dane paleoklimatyczne wskazują, że w holocenie – okresie geologicznym, w którym żyjemy, istniały wyraźne fluktuacje temperatury powietrza czy opadów, kształtujące nie tylko powierzchnię terenu, ale także charakter i skład naturalnych zespołów roślinnych na łąkach, w ekosystemach rzek, jezior oraz oceanów. Jedną z przyczyn były tzw. chłodne wydarzenia Bonda, pojawiające się co 1470 (plus minus 500 lat). Było ich w sumie 9 (Marks 2016). Były one spowodowane m.in. zmianami radiacji słonecznej i zmianami globalnej cyrkulacji powietrza atmosferycznego. Nie bez znaczenia na zmienność holocenijskiego klimatu były wybuchy wulkanów, które przyczyniły się do wzrostu opadów i zmniejszenia usłonecznienia na dużych obszarach Ziemi. Ostatnie, cykliczne ochłodzenie wystąpiło już w czasach historycznych (1300-1850 n.e.) i nazywane jest małą epoką lodową.

Obecnie wyróżniane są trzy geologiczne okresy holocenu (Walker i in. 2018, 2019):

- **grenland** (11700-8250 lat temu),
- **northgrip** (8250-4200 lat temu),
- **megalaj** (od 4200 lat i współcześnie trwający).

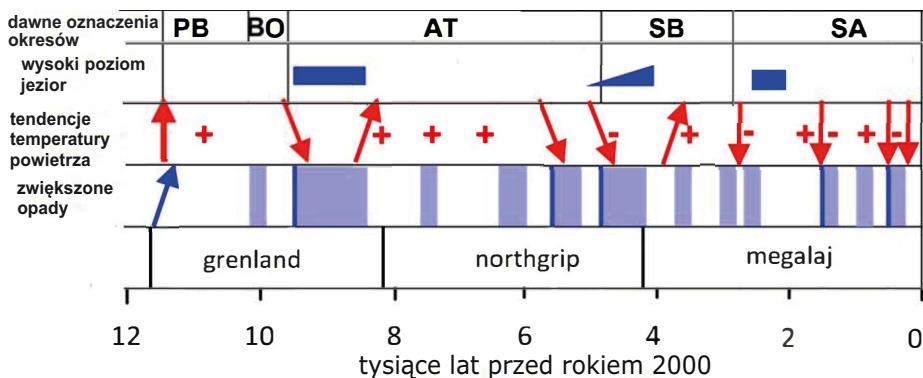
Środkowy holocen – northgrip, uznaje się okres optimum klimatycznego, z najwyższą średnią temperaturą powietrza roku i okresu zimowego (rys. 61).



**Rys. 61.**

Odchylenie anomalii rocznej temperatury powietrza (ciemna linia) i okresu zimowego (szara linia) w okresie ostatnich 12 tys. lat w środkowej Europie, zrekonstruowane na podstawie danych palinologicznych według Davisa i in. (2003); anomalia wyliczona w stosunku do średniej z lat 1961-1990, na osi poziomej lata BP

Aktualne hydrogeologiczne wyliczenia modelowe wskazują, że prawdopodobnie dopiero pod koniec northgripu, około 4,5 tys. lat temu, zanikła całkowicie wieloletnia zmarzlina z Pojezierza Suwalskiego (Mottaghy i in. 2010), potwierdzając wcześniejsze przypuszczenia Starkla (1978). Na podstawie licznych profili osadów dennych jezior Suwalszczyzny (np. Drzymulska i in. 2014, Zawisza i in. 2019) można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że wówczas ostatecznie ukształtował się współczesny zarys układu hydrograficznego pojezierzy.



**Rys. 62.**

Zasadnicze zmiany klimatu i poziomu jezior w holocenie według Starkel i in. 2013 (podział holocenu zgodnie z nowym podziałem IUSG z 2018 roku – Walker i in. 2018, 2019)

Holocenijskie zmiany wilgotności klimatu i jego ekstremalnych przejawów zapisane zostały w osadach dennych jeziora, czy rzek. Analizy ich składu chemicznego, izotopowego tlenu, deuteru czy innych pierwiastków, rozpoznane szczątki roślin i zwierząt wskazują na okresowo zmieniające się wielkości opadu rocznego (Drzymulska i in. 2014, Zawisza i in. 2019). Skutkowało to zmianami poziomu jezior czy powodzią przy okresowym nadmiarze wody oraz murszeniem torfu w czasie suszy (rys. 62). Pod koniec holocenijskiego optimum klimatycznego miała miejsce wysoka niestabilność klimatyczna powodująca silne powodzie, szczególnie w dolinie górnej i środkowej Wisły. Nie ma pewności, czy w części nie zostały one stymulowane przez działalność neolitycznych pasterzy i rolników wkraczających od południa na tereny południowej Polski (Starkel 1978).

Z profili palinologicznych wynika, że pierwsza zauważalna aktywność człowieka w północno-wschodniej Polsce rozpoczynała się zdecydowanie później, w megalaju, gdzie istniały znaczne wahania wilgotnościowe klimatu, a średnia temperatura powietrza miała raczej tendencję malejącą. Zimowe warunki termiczne miały zakres fluktuacji zbliżony do współczesnego, ale częściej niż w optimum klimatycznym występowały ostre zimy. Ponadto wskazują one na zmniejszającą się obecność roślinności ciepłolubnej. Pojawiające się zmiany klimatyczne po-

wodowały reorganizację sieci osadniczej z dolin ku wysoczyznom, a tym samym zwiększenie przekształceń zbiorowisk leśnych na nieleśne.

Jak widzimy, w ciągu ostatnich 12 tys. lat, klimat północno-wschodniej Polski wykazywał istotne naturalne fluktuacje, a w ostatnich 4 tys. lat miał tendencje ku zwiększającej się wilgotności, przy wolno zmniejszającej się średniej temperaturze powietrza w ciągu roku.



Podlasie, fot. Piotr Talalaj

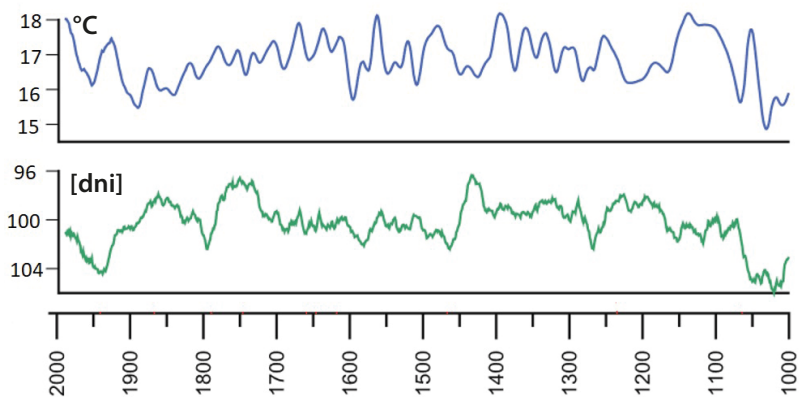


## 15. Historyczne zmiany klimatyczne

---

Początek drugiego tysiąclecia to w Europie okres średniowiecznej ciepłej anomalii klimatycznej (*Medieval Climate Anomaly*) datowany na lata 950-1250, sprzyjającej rozwojowi rolnictwa, stałego osadnictwa. Po tym okresie pojawia się okres tzw. Małej Epoki Lodowcowej (lata 1250-1850), z długimi seriami lat chłodnych i wilgotnych, powodującymi epidemie, „zarazy” oraz liczne wojny. Wówczas niekorzystne warunki klimatyczne były jedną z przyczyn pandemii, znacząco zmniejszających liczbę ludności. Na przykład Wielki Głód (1315-1317) oraz czarna śmierć (1347-1351) na terenach Anglii doprowadziła łącznie do zmniejszenia populacji ludności o blisko 60% (za Büntgen i in. 2013). Zestawienia wykonane przez autorów jednoznacznie wskazują, że największe wojny czy bitwy w Europie Centralnej miały miejsce w okresach istotnych ochłodzeń klimatu, np. bitwa pod Grunwaldem, wojna polsko-rosyjska, czy wojna 30-letnia.

Okresy zimowe od XV wieku były, z niewielkimi wyjątkami – około 1530 i 1730 roku – chłodniejsze średnio o około 0,7°C w porównaniu do analogicznych w XX wieku (Luterbacher i in. 2004). Potwierdza to także niedawno powstała rekonstrukcja warunków klimatycznych dla mazurskiego Jeziora Żabińskiego (rys. 63) (Hernández-Almeida i in. 2016). Wyjątkowo mroźna była zima 1708-1709, kiedy to temperatura powietrza w Europie Centralnej i Zachodniej Rosji była o około 7°C mniejsza od średniej zimowej. Ta wyjątkowo ostra zima pojawiła się podczas wyraźnej tendencji ocieplania się zim w latach 1684-1738 (Luterbacher i in. 2004). Rekonstrukcje klimatyczne z okresu „pre-instrumentalnego” wskazują także na stopniowy wzrost temperatury latem od 1570 roku do około 1750 roku. W większym stopniu ten fakt wiąże się ze wzrostem aktywności Słońca i zwiększeniem cyrkulacji atlantyckiej niż z globalnymi efektami aktywności wulkanicznej w tym okresie. Od połowy XVIII wieku do początku XX wieku dokumentuje się powolne ochłodzenie klimatu Europy Centralnej. Potwierdzają to zdecydowanie mniejsze przyrosty roczne drzew (tab. 61) niż we wcześniejszych latach i w XX wieku (Büntgen i in. 2013).



**Rys. 63.**

Rekonstrukcja średniej temperatury powietrza w sierpniu (górny wykres) i liczba dni z temperaturą wody jeziora Żabińskiego poniżej 4°C w czasie ostatniego tysiąca lat (według Hernández-Almeida i in. 2016)

W okresie 1501-1840 w obecnych granicach Polski odnotowano więcej okresów anomalnie wilgotnych niż anomalnie suchych (Przybylak i in. 2004). W pierwszej połowie XVI i XVIII wieku w Polsce odnotowano częstsze okresy zwiększonych opadów niż w innych przedziałach czasowych. Większość opisanych anomalii opadowych w Polsce dotyczyła regionów w części południowej i zachodniej, które omijały tereny obecnego województwa podlaskiego. Nie bez znaczenia było zwiększone zalesienie regionu oraz rola terenów podmokłych w ograniczeniu zasięgu suszy atmosferycznej. Jedynie wielka susza z XVII wieku (rok 1676) objęła północno-wschodnią Polskę, podobnie jak zachodnie regiony polskich pojezierzy (Przybylak i in. 2020).

Więcej informacji o jakościowych zmianach klimatu Polski w czasach historycznych dostarczają nam zachowane źródła pisane, zbierane w uszczuplonych wojną archiwaliach. Pierwsze pomiary w ramach tzw. Sieci Florentyńskiej, wykonywane na tarasie Zamku Królewskiego w Warszawie, rozpoczęto już pod koniec XVII wieku. Profesjonalne pomiary meteorologiczne były prowadzone pod koniec XIX wieku w uniwersyteckich obserwatoriach astronomicznych (Kraków, Warszawa, Wrocław,

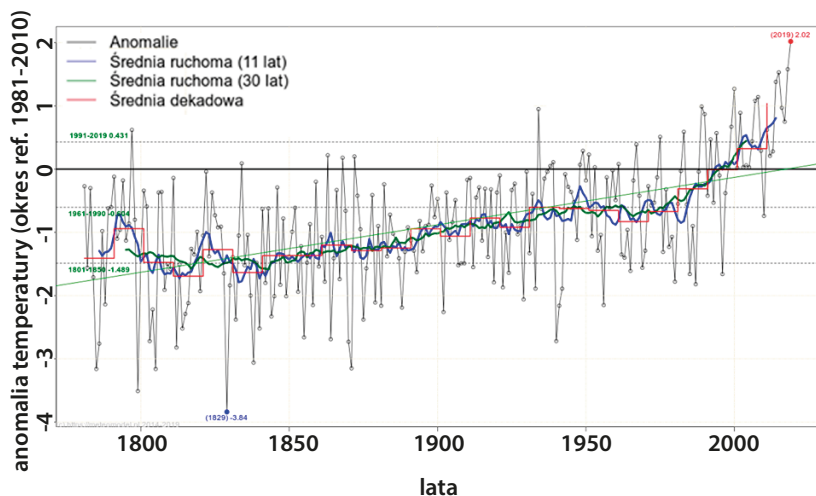
Gdańsk, Wilno). W granicach obecnego województwa podlaskiego instrumentalne pomiary elementów pogody wykonywano jako pierwsze w Białymstoku dopiero w 1881 roku, w ramach Warszawskiej Sieci Meteorologicznej na terenie Królestwa Polskiego, utworzonej przy Muzeum Przemysłu i Rolnictwa w Warszawie. Wcześniejsze obserwacje pogody znajdujemy w archiwaliach, które opisuje prof. Przybylak z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu w swoich licznych opracowaniach (Przybylak i in. 2001, 2004, 2005, 2020). Z przełomu XVIII i XIX mamy informacje pogodowe z północno-wschodniej Polski w diariuszach Chrapowickiego (Przybylak i in. 2020). Równie ważne w ocenie historycznych warunków klimatycznych są dane z badań dendroklimatologicznych. Pomiary szerokości rocznych stojów u drzew żywych oraz znajdujących się w budowlach czy innych fragmentach drzew z okresu historycznego w Europie dobrze dokumentują zmiany klimatu.

### Tabela 61.

Najcieplejsze i najchłodniejsze okresy wiosenne (maj – czerwiec) w XI-XIX wieku w porównaniu do średniej z lat 1961-1990 w Europie Centralnej na podstawie analiz dendroklimatycznych (Büntgen i in. 2013, suplement nr 2)

Najcieplejsze		Najchłodniejsze	
rok	anomalía [°C]	rok	anomalía [°C]
1596	1,16	1248	-4,16
1589	1,06	1837	-3,96
1122	0,89	1836	-3,85
1575	0,78	1814	-3,76
1738	0,76	1751	-3,69
1774	0,66	1507	-3,55
1595	0,65	1832	-3,49
1594	0,64	1638	-3,45
1597	0,63	1786	-3,44
1406	0,61	1837	-3,43
1748	0,59	1361	-3,41

Z globalnych analiz wynika jednoznacznie, że dwa ostatnie wieki w dziejach Ziemi to okres ewidentnego ocieplania się i wzrostu temperatury powietrza. Rok 2019 był kolejnym okresem wzrostu do wartości nie notowanej przez ostatnie kilka tysięcy lat (Lenseen i in. 2019). W przypadku Polski anomalia temperatury powietrza w 2019 roku przekroczyła wartość 2°C w stosunku do średniej z trzydziestolecia 1981-2010 (rys. 64).



**Rys. 64.**

Zmiany anomalii temperatury w Warszawie w okresie 1791-2019 według <https://www.meteomodel.pl> (dostęp online: 10.11.2019)

## 16. Współczesne zmiany klimatyczne północno-wschodniej Polski

---

### Warunki termiczne

Zjawisko globalnego ocieplenia potwierdzają także wyniki pomiarów meteorologicznych w województwie podlaskim, zarówno w porównaniach z okresem 1980-1995, jak i z wcześniejszymi danymi z półwiecza 1881-1930 oraz 1931-1980 (tab. 62).

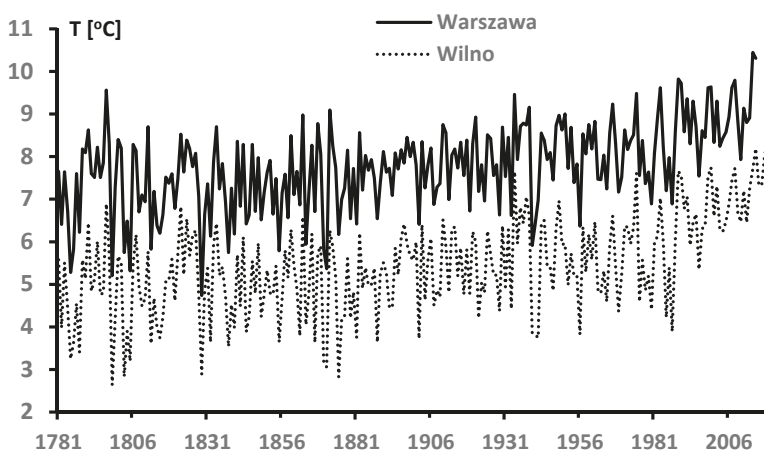
#### Tabela 62.

Średnia miesięczna temperatura powietrza w Białymstoku i Suwałkach w trzech przedziałach czasowych w ciągu ostatnich 139 lat (obliczenia własne)

miesiące	Białystok			Suwałki	
	1881-1930	1931-1980	1981-2019	1931-1980	1981-2019
styczeń	-4,2	-5,1	-3,2	-5,7	-3,7
luty	-3,5	-4,0	-2,4	-4,9	-3,1
marzec	0,4	-0,2	1,5	-1,2	0,6
kwiecień	6,6	6,7	7,6	5,6	7,0
maj	13,1	12,8	13,2	12,0	12,7
czerwiec	16,1	16,5	16,1	15,7	15,5
lipiec	18,0	17,9	18,1	17,2	17,7
sierpień	16,4	16,9	17,2	16,5	17,0
wrzesień	12,3	12,5	12,4	12,1	12,2
październik	6,9	7,1	7,4	6,5	7,0
listopad	1,3	2,1	2,4	1,6	2,0
grudzień	-2,4	-2,1	-1,3	-2,7	-1,7
rok	6,7	6,8	7,4	6,1	6,9

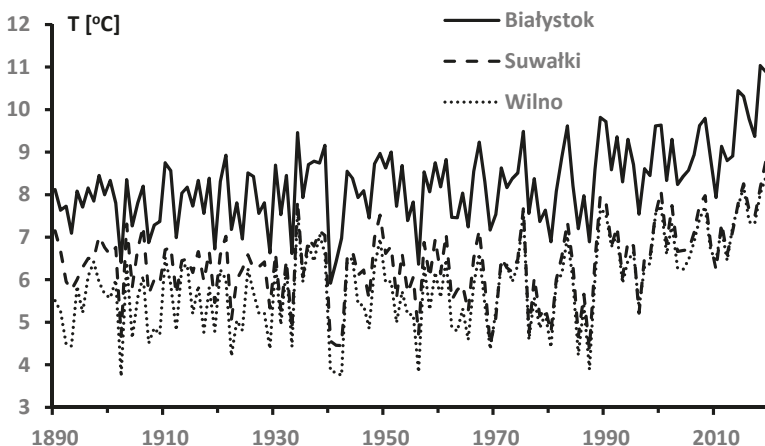
Globalne ocieplenie zaznacza się wyraźnie w długich rekonstruowanych seriach pomiarowych w Warszawie (Lorenc 2000) oraz Wilnie (dane według me-teomodel.pl) (rys. 65). Województwo podlaskie położone jest w połowie odległości między tymi miastami, toteż średnie roczne wartości temperatury mieszczą w przedziale między pomiarami w obu miejscowościach.

Zgodnie z przyjętym powszechnie twierdzeniem, początku ocieplania się troposfery należy szukać od czasu rewolucji przemysłowej, opartej na zwiększonym zużyciu węgla kamiennego. Na wykresach temperatury dla Warszawy i Wilna, w przebiegu 11-letniej średniej ruchomej uwidacznia się taka właśnie tendencja (rys. 65). Jednakże jej raptowne przyspieszenie w województwie podlaskim pojawia się w latach 80. XX wieku i przyjąć można, że rok 1988 to początek tych zmian. Dlatego przy dalszym opisie zmian, okres 1988-2019 będzie tożsamy z okresem zwiększonych zmian klimatycznych w regionie. Zarówno na stacjach synoptycznych, jak i klimatycznych, od 1988 roku notuje się wzrost średniej rocznej temperatury powietrza o 0,3-0,4°C na dekadę (tab. 63, rys. 66). Tendencja ta jest istotna statystycznie ( $p < 0,01$ ) i ma największe wartości w Szepietowie, Białowieży i Suwałkach.



**Rys. 65.**

Zrekonstruowany przebieg średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie (według Lorenc 2000) i Wilnie, uzupełniony wynikami aktualnych pomiarów



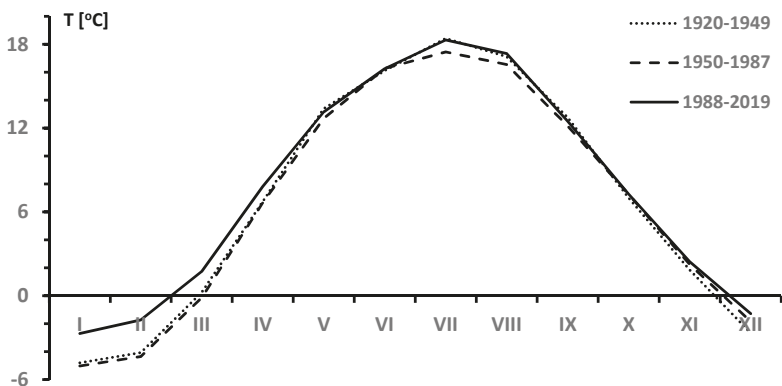
**Rys. 66.**

Zmiany średniej temperatury roku w latach 1881-2019 w Białymstoku i Suwałkach (z własnymi uzupełnieniami) na tle przebiegu temperatury powietrza w Wilnie

**Tabela 63.**

Średnia temperatura powietrza na stacjach pomiarowych IMGW – PIB w dwóch okresach 1961-1987 i 1988-2019; a – współczynnik kierunkowy, b – stała,  $r^2$  – współczynnik determinacji

miejsowość	1961-1987	1988-2019			
	średnia	średnia	a	b	$r^2$
Suwałki	5,9	7,2	0,034	6,67	0,17
Różanystok	6,2	7,5	0,031	6,94	0,16
Białowieża	6,3	7,5	0,033	6,91	0,19
Białystok	6,6	7,6	0,029	7,16	0,14
Biebrza	6,1	7,3	0,027	6,81	0,13
Szepietowo	6,5	7,8	0,039	7,12	0,21



**Rys. 67.**

Przebieg rocznych średniej miesięcznej temperatury powietrza w Białymstoku w trzech okresach czasowych

Zbliżoną wartość wzrostowej tendencji temperatury powietrza podawała m.in. Michalska (2011), a Kejna i Rudzki (2021) wyliczyli dla Polski w latach 1961-2018 wzrost temperatury o  $0,33^{\circ}\text{C}$  na dekadę.

Podczas zmian klimatycznych następuje zwiększenie tempa ocieplenia nie tylko w sezonie zimowo-wiosennym (styczeń – maj), ale także w okresie letnim (rys. 67). Potwierdza to wcześniejsze opinie Fortuniaka i in. (2001) o charakterze zmian termiki powietrza w strefie umiarkowanej. Ze szczegółowych analiz (dane nieprezentowane) dla Białegostoku i Suwałk wynika, że w czasie intensywnego ocieplenia (od roku 1988) zmniejsza się średnia częstość występowania dni z dobową temperaturą powietrza z przedziału  $0-4^{\circ}\text{C}$  oraz  $10-14^{\circ}\text{C}$ , średnio o 5-7 dni w roku w każdym z przedziałów. W porównaniu do lat 1961-1987, o 1-3 dni w roku zwiększyła się średnia liczba dni z temperaturą doby  $4-8^{\circ}\text{C}$  i o 14 -17 dni z przedziału  $18-26^{\circ}\text{C}$ .

Ponadto na terenie całego województwa podlaskiego średnia temperatura w marcu ma wartość dodatnią, podobnie jak w całej Polsce, poza górami, co także potwierdzono dla wielolecia 1961-2018 (Kejna, Rudzki 2021). Zanikła zatem „unikalność termiczna” Pojezierza Suwalskiego, o której jeszcze niedawno wspominał Kożuchowski (2011).



## Zmiany warunków pluwialnych

Współczesny ustrój pluwialny województwa podlaskiego jest typowy dla klimatu umiarkowanego, z dużą zmiennością sumy rocznej opadów z roku na rok. Nie ma istotnych tendencji zmian globalnego ocieplenia, na co wskazywały już wcześniejsze polskie opracowania (Żmudzka 2002, Kaszewski 2006). Pole opadów atmosferycznych w województwie podlaskim przedstawia się jako zmienny przestrzennie układ w czasie. Różnice między średnimi dla okresu ocieplania się klimatu a wcześniejszymi pomiarami na stacjach synoptycznych i klimatycznych są niewielkie, i nie są istotne statystycznie (tab. 64). Analiza danych ze stacji pomiarowych opadów pokazuje podobną sytuację.

**Tabela 64.**

Średnia wysokość opadu (mm) w dwóch okresach 1961-1988 i 1989-2019 na stacjach klimatycznych i synoptycznych województwa podlaskiego

<b>miejsowość</b>	<b>1961-1987</b>	<b>1988-2019</b>
Suwałki	590,8	608,1
Różanystok	524,3	593,6
Biebrza	539,8	555,3
Białystok	594,4	607,5
Białowieża	660,5	634,4
Szepietowo	548,1	543,3

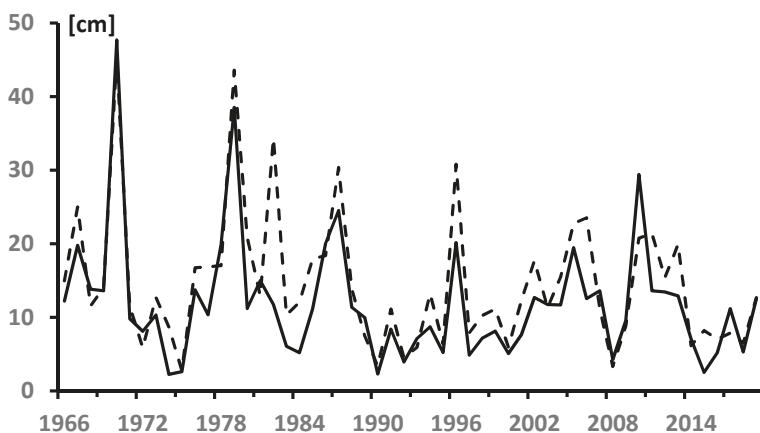
Od ponad 20 lat obserwuje się zwiększony zakres sum rocznych opadów, wzrastają bowiem wartości maksymalne do ponad 800 mm rocznie i zarazem występują lata z opadami zdecydowanie mniejszymi – od 450 mm. Dotyczy to także wartości dla poszczególnych miesięcy, czego dowodem jest podwyższenie absolutnych maksymalnych wartości dla większości z nich w ostatnich 25 latach (tab. 64). Zwiększa się średnia obfitość opadu deszczu (rys. 46) i jego czas trwania (rys. 44). Stopniowo wzrastają maksymalne wartości opadów dobowych w okresie ciepłym (od maja do października). Dlatego w województwie podlaskim obecnie zwiększa się prawdopodobieństwo wystąpienia lokalnych opadów o wielkości 100-130 mm, a nawet większych. Wartości opadów dobowych po-

nad 100 mm były już notowane na obszarze województwa podlaskiego w latach 50. XX wieku, a także wcześniej w okresie międzywojennym (tab. 65).

**Tabela 65.**

Największe opady (mm) w ciągu doby zanotowane w województwie podlaskim w sieci pomiarowej IMGW – PIB

miejsowość	rok	miesiąc	dzień	opad dobowy
Podgórze	1977	8	14	193,4
Zabłudów	1972	8	3	160,8
Zabłudów	1953	7	8	128,5
Słojka	1922	7	25	126,8
Strabla	1972	8	3	120,0
Narew	1957	9	18	113,0
Siemiatycze	1976	7	22	110,4
Hajnówka	1968	6	21	106,7



**Rys. 68.**

Wieloletnie zmiany średniej rocznej wysokości pokrywy śnieżnej w latach 1966-2019 w Białymstoku (linia ciągła) i Suwałkach (linia przerywana)

Istotną zmianą warunków opadowych jest zmniejszenie ilości opadów w postaci śniegu, wydłużenie zimowych okresów bezśnieżnych (rys. 68) i już obecną we wcześniejszych badaniach (Górniak 2000, Olba-Zięty, Grabowski 2007). Proces ten stwierdzany jest na terenie całego województwa.

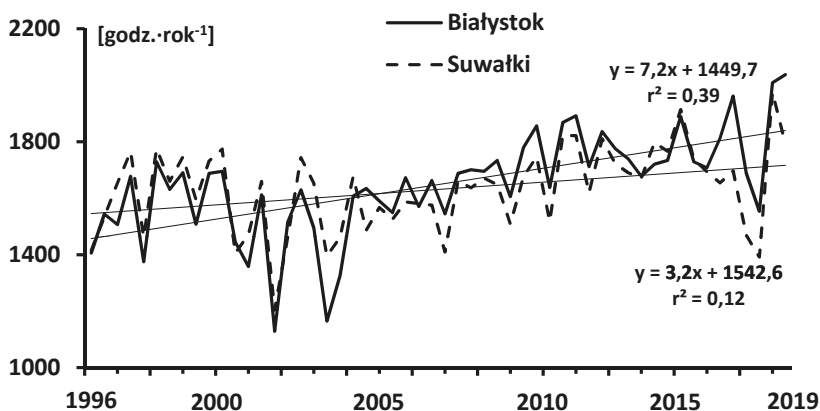
## **Inne zidentyfikowane zmiany klimatyczne**

Do innych zauważalnych zmian elementów klimatu zaliczyć należy stopniowy wzrost usłonecznienia rocznego, znaczący i istotny statystycznie w Białymstoku i mniej wyraźny w Suwałkach (rys. 69). Od 1966 roku w Białymstoku usłonecznienie zwiększało się o 79 godzin na dekadę, a w Suwałkach wartość ta była dwukrotnie mniejsza. Matuszko i in. (2019) stwierdzili, że wieloletnie tendencje zmian usłonecznienia w Zakopanem i Suwałkach były najmniejsze w Polsce w latach 1971-2018. Wieloletni przebieg usłonecznienia w województwie podlaskim potwierdza istnienie globalnego zjawiska *global brightening*, opisywanego przez Brazdila i in. (1994) w środkowej i południowej Europie, potwierdzone także wynikami z dłuższych ciągów obserwacyjnych we Włoszech czy Grecji (Ateny). W latach wcześniejszych (1950-1980) panował okres zmniejszonego dopływu promieniowania słonecznego znany jako *global dimming*. Analizując wymienioną powyżej tendencję należy mieć na względzie fakt zmiany przyrządów pomiarowych w latach 90. XX wieku, przez co uzyskano nieco większe wartości w porównaniu do tradycyjnych pomiarów heliografem (Matuszko i in. 2019).

Wraz ze wzrostem usłonecznienia regionu konsekwentnie wzrastała roczna suma promieniowania słonecznego udokumentowana przez Kuleszę (2018), stając się głównym wektorem stopniowych zmian warunków klimatycznych w północno-wschodniej Polsce.

Podobną wzrostową tendencją wieloletnią odnotowano dla średnich rocznych wartości prężności pary wodnej ( $e$ ) (rys. 70), co jest zrozumiałe przy rosnącej temperaturze powietrza. Natomiast zmiany średniej względnej wilgotności powietrza w ciągu roku nie wskazują tendencji wzrostowej, a wręcz przeciwnie. Od połowy lat 90. XX wieku zarysowuje się nieregularna w czasie tendencja zmniejszania się wilgotności powietrza: częściej jest ona bliższa 75% niż 80% w latach poprzednich (rys. 71). Wcześniej taką tendencję zmian tego elementu

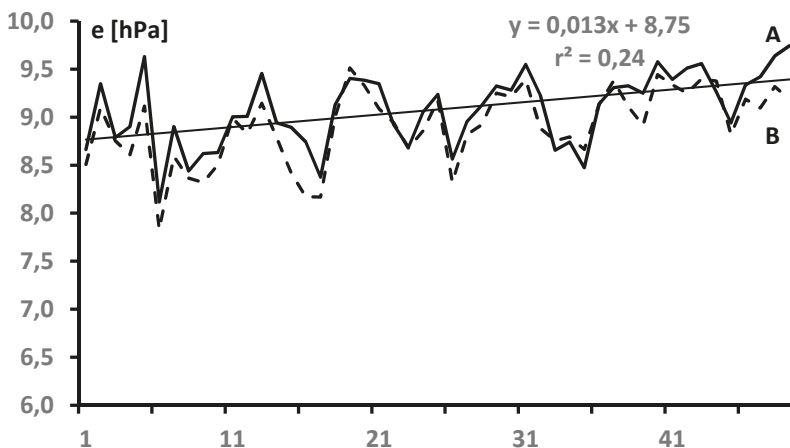
klimatu dla obszaru Polski zauważyli Limanówka i in. (2012). Jest to w części efekt wydłużania się okresów bezdeszczowych w ciągu roku i okresów suszy atmosferycznej. Zjawisko suszy atmosferycznej, a następnie glebowej, staje się jedną z przyczyn zmian struktury lasów. Nawet w warunkach seminaturalnej Puszczy Białowieskiej narastające niedobory wilgoci glebowej powodują wzrost obumierania świerka (Boczoń i in. 2018). Ponadto, jak widać na rys. 71, od drugiej połowy dekady 2000-2010 wyraźnie zmniejszyły się różnice między średnimi rocznymi wilgotnościami względnej na obu stacjach.



**Rys. 69.**

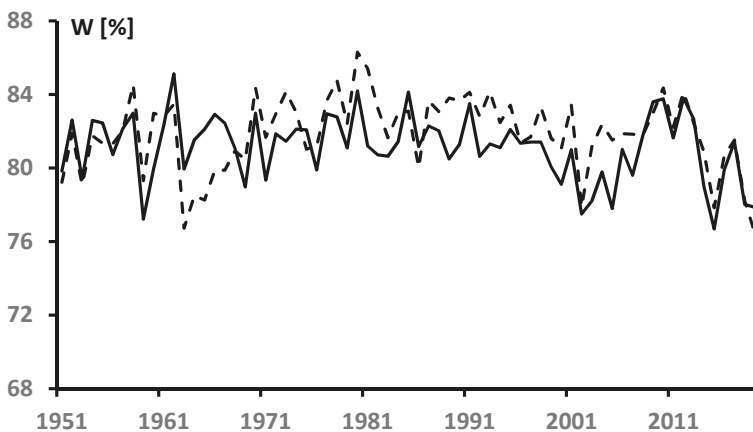
Wieloletnie zmiany rocznego usłonecznienia w Białymstoku i Suwałkach w latach 1996-2019

Występowanie okresów suszy glebowej, a także hydrologicznej w północno-wschodniej Polsce znajdujemy przy porównaniu rocznej sumy opadów i parowania terenowego. Liczba lat (kalendaryzowych) z ujemnym bilansem wodnym wzrosła niemal dwukrotnie (z 3 w latach 1961-1987 do 7 w okresie 1988-2019), przy zbliżonych opadach w obu okresach. Jest to efekt wzrostu temperatury powietrza, a w konsekwencji także parowania terenowego o blisko 40 mm rocznie. To z kolei prowadzi do zmniejszenia ilości wody odpływającej systemami rzeczynymi i zmiennej w czasie objętości zasobów wody możliwej do wykorzystania dla celów komunalnych, rolniczych czy gospodarczych.



**Rys. 70.**

Wieloletnie zmiany średniej prężności pary wodnej w Białymstoku (A) i Suwałkach (B) w latach 1971-2019; liniowa tendencja dla Białegostoku



**Rys. 71.**

Zmiany średniej rocznej wilgotności względnej w Białymstoku (linia ciągła) i Suwałkach (linia przerywana) w latach 1951-2019

Zmiany elementów klimatu województwa dotyczą także prędkości wiatru, a szczególnie występowania wiatru silnego i bardzo silnego. Na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w ostatnich 25 latach zmniejszeniu uległa średnia prędkość wiatru, związana z ograniczeniem czasu z wiatrem o największej prędkości. Jak pokazuje tab. 66, zmniejszenie średniego czasu trwania wiatru o prędkości ponad  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  było w Suwałkach blisko trzykrotne, a w Białymstoku proces ten był notowany jedynie od grudnia do kwietnia. Nie znaczy to, że w czasie cieplej pory roku jest nieobecny: są to jedynie bardzo krótkie epizody, w konsekwencji średnia wieloletnia dla tych miesięcy jest mniejsza niż 0,1 godziny (6 minut).

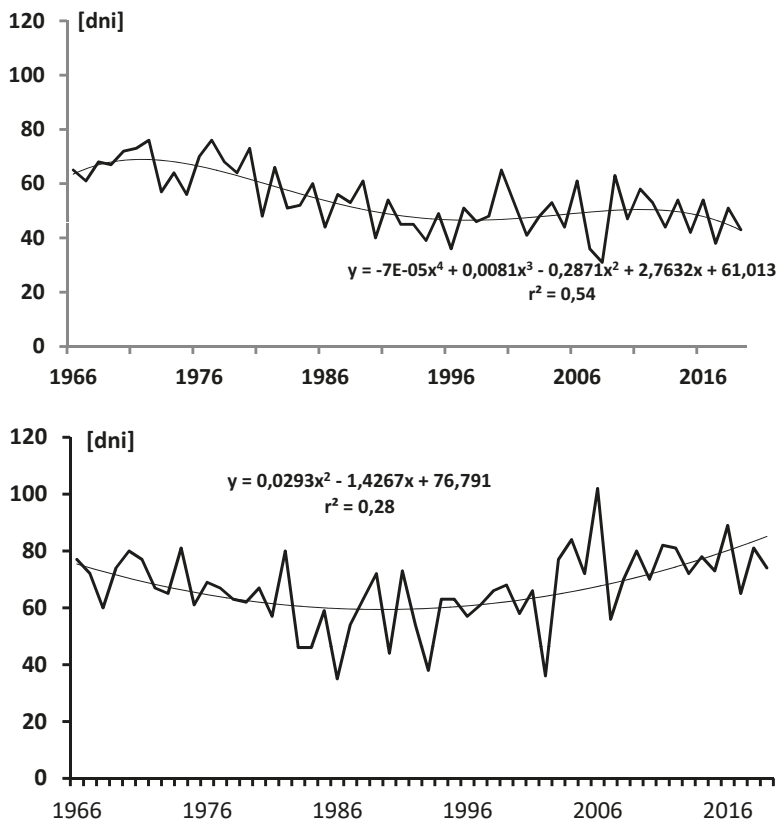
Analizując częstość zjawisk atmosferycznych w województwie nie zauważono istotnych tendencji zmian ich występowania (tab. 66), gdyż mają charakter losowy i ich zróżnicowanie przestrzenne w dużym stopniu jest związane z lokalnymi uwarunkowaniami mikroklimatycznymi.

**Tabela 66.**

Średni miesięczny czas (h) występowania wiatru  $> 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w Białymstoku i Suwałkach na wysokości wiatromierza w latach 1966-2019

miesiące	Białystok		Suwałki	
	1966-1994	1995-2019	1966-1994	1995-2019
styczeń	9,9	0,1	50,0	13,4
luty	4,1	0,2	27,6	11,3
marzec	3,2	0,1	32,2	10,9
kwiecień	2,6	0,1	22,3	8,2
maj	0,8	0,0	7,5	4,2
czerwiec	0,7	0,0	6,1	2,8
lipiec	0,3	0,0	4,0	1,7
sierpień	0,1	0,0	2,5	3,0
wrzesień	1,2	0,0	10,3	2,5
październik	5,8	0,0	19,1	6,4
listopad	6,4	0,0	36,0	6,7
grudzień	3,8	0,1	41,0	5,8
rok	38,8	0,6	258,7	77,0

Dla przykładu, na rys. 72 zaprezentowano zmiany rocznej liczby dni z mgłą na dwóch stacjach synoptycznych w okresie ostatnich 59 lat, które mają odmienną tendencję zmian, a w szczególności od początku XXI wieku. W Suwałkach w tym czasie zwiększyła się liczba dni z mgłą w roku, zaś w Białymstoku po roku 2010 powoli zmniejsza się. Podobną tendencję zauważono dla liczby dni z rosą, która w części ma duże powinowactwo z niską mgłą.



**Rys. 72.**

Roczna liczba dni (oś pionowa) z mgłą w Białymstoku (wykres górny) i w Suwałkach (wykres dolny) w latach 1966-2019

**Tabela 67.**

Zmiany średniej liczby dni w roku ze zjawiskami meteorologicznymi w Białymstoku i Suwałkach od 1966 roku

zjawiska	Białystok		Suwałki	
	1966-1987	1988-2019	1966-1987	1988-2019
burza	25	25	23	21
grad	2,6	3,0	1,4	1,7
rosa	122	118	89	103
mgła	63	48	65	68
szron	47	49	28	24
szadź	6	8	13	13
gołoledź	6	8	7	8

Reasumując, trzeba stwierdzić, że w granicach województwa podlaskiego – od ponad 30 lat – roczny przebieg pogody ulega stopniowej modyfikacji, wraz z postępującym globalnym ociepleniem. Bez względu na przyczynę ocieplania, czynnik solarno-cyrkulacyjny czy efekt cieplarniany, dotychczasowy zakres zmienności wielu elementów pogody przekroczył poziom niespotykany w prowadzonych pomiarach instrumentalnych. Zmienność klimatyczna (wahnięcia klimatu) jest naturalną cechą każdego typu klimatu na Ziemi, lecz gdy zdecydowanie wykracza poza dotychczasowy zakres, a tendencja takich zmian jest trwała, wówczas możemy już mówić o zmianach klimatycznych. Tym bardziej nabiera ona znaczenia w obszarach przejściowych klimatycznie, a obszar Polski jest tego dobitnym przykładem w strefie klimatu umiarkowanego. Jak podkreślali to wybitni polscy klimatolodzy – profesorowie E. Romer i W. Okołowicz – obszar Polski cechuje przejściowość między klimatem kontynentalnym i morskim. Również wschodni zasięg klimatu umiarkowanego o cechach morskich, w koncepcji Köppena-Geigera, w pierwszej połowie XX wieku był wyznaczany na linii Odry, a w kolejnych latach jego granica przesuwana była na linię Wisty (Kottek i in. 2006). Aktualne dane prezentowane w niniejszym opracowaniu potwierdzają dalszą „migrację” zasięgu klimatu umiarkowanego z ciepłymi zimami na wschód. Przekroczenie granicy 18°C dla średniej temperatury najcieplejszego miesiąca,



przy opadach ponad 600 mm, a taka sytuacja występuje w granicach całego województwa podlaskiego, spełnia podstawowe kryteria, aby zaliczyć go – według schematu Köppena-Geigera – do obszaru klimatu umiarkowanego o ciepłych zimach (D). Przed 1990 rokiem region Suwalski posiadał cechy typowe dla klimatu umiarkowanego z chłodnymi zimami (E), a obecnie – wraz z pozostałym obszarem pozagórskim Polski – znajduje się w granicach tego samego typu klimatu. Jak widać, współczesne zjawisko globalnego ocieplenia doprowadziło do klimatycznej zmiany w części regionu, przyczyniając się jednocześnie do zwiększenia integralności klimatycznej kraju.

Ponadto podczas globalnego ocieplenia, w większej części Europy, ocieplenie klimatu dokonuje się przez wzrost częstości anomalnie ciepłych miesięcy w okresie zimowym, jak i letnim. Wszelkie modele klimatyczne i scenariusze zmian klimatu wskazują – według Kundzewicza i in. (2017) – na dalszy:

- wzrost częstości występowania ciepłych nocy i zmniejszenie liczby zimnych nocy,
- wzrost częstości i intensywności fali upałów i ciepła,
- wzrost intensywności i częstości występowania opadów o zwiększonej intensywności oraz innych ekstremalnych zjawisk pogodowych,
- wzrost częstości występowania suszy atmosferycznej o krótkim czasie trwania.

## 17. Prognoza regionalnych zmian klimatycznych do 2100 roku

---

W poprzednim rozdziale wskazano na główne kierunki i cechy zmian wybranych elementów klimatu województwa podlaskiego w XX i pierwszych dwóch dekadach XXI wieku. W literaturze klimatologicznej, równoległe z analizami roli czynników klimatotwórczych i rozwojem systemów klasyfikacji klimatu, poszukiwano także cykliczności zmian pogody i ich przyczyn w różnych odcinkach czasu. Takie cykle zmian są znane z badań geologicznych, astronomicznych czy fizyki atmosfery (Kupryjanowicz, Fitoc 2013). Jak podaje Kaszewski (2015), w polskiej powojennej literaturze klimatologicznej pojawiały się opracowania z prognozami przyszłych zmian warunków klimatycznych. Szczególne znaczenia nabrały one w publicznych dyskusjach naukowców, przedstawicieli gospodarki i polityków nad stanem zagrożeń środowiska i sposobami dalszego gospodarowania ograniczającymi pogarszanie się stanu ekumeny. Wtedy wyplęły też zagadnienia nadmiernej emisji gazów szklarniowych i powstały modele matematyczne do projekcji przyszłych warunków klimatycznych. Globalne modele dały impuls do powstania regionalnych modeli klimatycznych, uwzględniających różne scenariusze zmian stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze. W niniejszym opracowaniu prezentuję prognozy zmian temperatury i opadu w kolejnych dekadach XXI wieku dla okolic Białegostoku i Suwałk, opracowane w ramach międzynarodowej inicjatywy Euro-CORDEX7 przez Instytut Ochrony Środowiska – PIB w Warszawie (Raport 2020). Pełne wyniki tej prognozy, pod akronimem KLIMADA, są powszechnie dostępne na stronie [www.klimada2.ios.gov.pl](http://www.klimada2.ios.gov.pl).

Analizy przeprowadzono dla dwóch scenariuszy rozwoju opisanych akronimami RCP4.5 oraz RCP8.5. Umiarkowany scenariusz RCP4.5 zakłada dalszy wzrost stężeń CO<sub>2</sub> do 540 ppm w 2100 roku oraz osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego (patrz słowniczek) na poziomie 4,5 Wm<sup>-2</sup>. Drugi ze scenariuszy RCP8.5 odpowiada prognozom zmian klimatycznych przy wzroście stężenia CO<sub>2</sub> do 940 ppm w 2100 roku i ciągłym wzroście wymuszenia radiacyjnego do wartości 8,5

Wm<sup>-2</sup>. W prezentowanych poniżej zestawieniach tabelarycznych z wartościami prognostycznymi dodano także wartości średnie z ostatniej dekady 2011-2020, wyliczone łącznie z danymi pomiarowymi IMGW – PIB za 2020 rok ([www.dane-publiczne.imgw.pl](http://www.dane-publiczne.imgw.pl), dostęp online: 15.02.2021).

Według scenariusza RCP4.5 średnia roczna temperatura na terenie Polski wzrośnie w ciągu stulecia o 1,3°C. Według scenariusza RCP8.5 trend wzrostowy średniej rocznej temperatury jest większy niż w scenariuszu ECP4.5. Północno-wschodnia Polska w obu scenariuszach jest prezentowana jako obszar o nieco większym wzroście temperatury powietrza niż średnia dla całego kraju. Przy mniej korzystnym scenariuszu RCP8,5 przewiduje się, że do końca XXI wieku średnia roczna temperatura powietrza wzrośnie w Białymstoku o 3-4°C, a w Suwałkach o 2-3°C w stosunku do dekady 2011-2020 (tab. 67). Warto zauważyć, że dane pomiarowe temperatury powietrza z ostatniej dekady (2011-2020) dla obu miast osiągnęły już wartości prognozowane na kolejną dekadę, czyli lata 2021-2030. Można więc wyciągnąć wniosek, że ocieplenie klimatu w północno-wschodniej Polsce postępuje szybciej niż zakładał zastosowany model matematyczny. Ponadto w prognozach daje się zauważyć powolne zmniejszanie się różnicy średniej temperatury roku między środkową a północną częścią województwa. Jest to zgodne z prezentowaną tendencją zaobserwowaną w ostatnich 25 latach.

W regionalnym modelu zmian klimatycznych w XXI wieku można też odnaleźć dane prognostyczne dla najcieplejszych i najchłodniejszych miesięcy w roku dla kolejnych dekad. W tabeli 68 została zaprezentowana prognoza dla scenariusza RCP8,5, uwzględniająca zwiększające się wymuszenie radiacyjne. W tym przypadku prognozowane średnie miesięczne wartości temperatury powietrza dla bieżącej dekady (2021-2030) są wyższe od dekady 2011-2020. Istotny w prognozie dla stycznia jest fakt znacznego ocieplenia i przewidywanych wartości dodatnich temperatury powietrza w drugiej połowie XXI wieku w Białymstoku. Podobna sytuacja dla stycznia pojawiła się dotychczas w 2007 i 2020 roku. Dla Suwałk prognozuje się stałe utrzymywanie średniej temperatury dla stycznia poniżej zera. Dla lipca prognoza wskazuje wzrost średniej miesięcznej temperatury powietrza w Białymstoku do poziomu 21,5°C (tab. 69), czyli zbliżonego do wartości już notowanej w 2010 roku. W prognozach dla Suwałk średnie wartości dla lipca pod koniec XXI wieku nie

przekroczą 20 °C. Wydaje się, że są to wartości nieco zaniżone, gdyż przez ostatnie 20 lat (2000-2019) w Suwałkach średnie dla letnich miesięcy (czerwiec – sierpień) już 5-krotnie osiągały wartości z przedziału 20-21 °C.

Ponadto w prognozie według scenariusza CPR8.5 obecny jest okres chłodnych zim w dekadzie 2041-2050, na które wcześniej wskazywali Boryczka, Stopa-Boryczka (2004) oraz Boryczka i in. (2015). Podkreślali przy tym znaczny związek cykli termicznych atmosfery z cyklicznością aktywności Słońca przy interferencji z efektami wulkanizmu na Ziemi i z emisją gazów cieplarnianych.

### Tabela 68.

Prognoza średniej rocznej temperatury powietrza w Białymstoku i Suwałkach dekadami XXI wieku według dwóch scenariuszy w ramach projektu KLIMADA

dekady	typ danych	Białystok		Suwałki	
		RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5
2011-2020	dane rzeczywiste	8,2		7,8	
2021-2030	dane z modelu	8,2	8,1	7,8	7,8
2031-2040		8,8	8,7	8,4	8,3
2041-2050		9,0	8,7	8,6	8,3
2051-2060		9,5	9,0	9,1	8,6
2061-2070		9,9	9,2	9,6	8,8
2071-2080		10,5	8,3	10,2	8,9
2081-2090		10,9	9,4	10,6	9,0
2091-2100		11,5	9,6	11,2	9,2

Podobnie jak w makroskalowych projekcjach zmian klimatycznych, w regionalnej prognozie przewiduje się wzrost średnich rocznych opadów, maksymalnie do 830 mm pod koniec XXI wieku (tab. 70). W każdym z obu scenariuszy wzrost ten nie jest stały, zakładając okres o zmniejszonych opadach w połowie XXI wieku. W dekadzie 2021-2030 przewiduje się dość znaczny wzrost średniej sumy opadów w roku, o blisko 15% więcej niż dekadzie 2011-2020. Wydaje się, że jest to wartość nadmiernie przeszacowana.

**Tabela 69.**

Prognoza średniej rocznej temperatury powietrza w styczniu i w lipcu w Białymstoku i Suwałkach dekadami XXI wieku w scenariuszu RCP8.5 w ramach projektu KLIMADA

dekady	typ danych	Białystok		Suwałki	
		styczeń	lipiec	styczeń	lipiec
2011-2020	dane rzeczywiste	-2,8	18,3	-3,4	18,1
2021-2030	dane z modelu	-2,7	18,9	-2,9	18,6
2031-2040		-1,8	19,2	-1,5	18,8
2041-2050		-1,9	19,5	-2,0	19,2
2051-2060		-1,0	19,5	-1,7	19,0
2061-2070		0,1	20,2	-1,1	19,4
2071-2080		1,4	20,7	-1,1	19,3
2081-2090		1,4	21,3	-0,6	19,3
2091-2100		2,3	21,5	-0,6	19,7

**Tabela 70.**

Prognoza średniej rocznej sumy opadów atmosferycznych w Białymstoku i Suwałkach dekadami XXI wieku w scenariuszu RCP8.5 z projektu KLIMADA

dekady	typ danych	RCP 8.5		RCP 4.5	
		Białystok	Suwałki	Białystok	Suwałki
2011-2020	dane rzeczywiste	653	628		
2021-2030	dane z modelu	703	700	723	707
2031-2040		710	695	735	723
2041-2050		755	746	708	704
2051-2060		744	729	749	737
2061-2070		745	742	716	710
2071-2080		754	742	778	764
2081-2090		783	766	757	751
2091-2100		828	816	745	743

Przedstawione prognozy zmian dwóch podstawowych elementów pogody w XXI wieku uświadamiają wysokie prawdopodobieństwo kontynuacji ocieplania

się regionu północno-wschodniej Polski w najbliższej przyszłości. Należy spodziewać się, że dyskusja publiczna nad przyczynami zmian warunków klimatycznych w różnych miejscach na Ziemi i nad mitygacją (patrz słowniczek) tych zmian będzie stale prowadzona.

## 18. Konsekwencje zmian klimatycznych i niezbędne działania

---

Dotychczas udokumentowane konsekwencje zmian klimatycznych są wielorakie i dotyczą zarówno ekosystemów naturalnych, jak i antropogenicznie przekształconych, lądowych, wodnych i morskich. Ich lista stale się wydłuża. Są to przede wszystkim efekty wynikające ze zmian termiki powietrza, opadów i zjawisk ekstremalnych o różnej skali i natężeniu.

Zmieniające się warunki termiczno-wilgotnościowe prowadzą w lasach Europy do przesuwania się optimum siedliskowego świerka na północ i wschód (Rykowski 2008). Okresowe susze sprzyjają powstawaniu pożarów, a silny wiatr w czasie trąb powietrznych powoduje wiatrołomy w monokulturach sosny, dominującej w polskich lasach. Równie istotne są zmiany w długości cyklu życiowego i liczebności owadów, wpływających na ich produktywność i jakość pozyskiwanego drewna. Ocieplanie się siedlisk wzmacnia tempo mineralizacji glebowej materii organicznej, szczególnie ściółki, i dodatkowo zmniejsza leśną retencję wody oraz sprzyja migracji gatunków owadów ciepłolubnych, zwiększających zagrożenie dla zdrowotności drzewostanów. Oprócz owadów, również zespoły awifauny ulegają przekształceniu, włącznie z osiedlaniem się i rozrodem nowych gatunków ptaków (Huntley i in. 2006).

Rzadko spotykane wcześniej warunki klimatyczne wpływają na zmiany funkcjonowania ekosystemów bagiennych, których w województwie podlaskim jest stosunkowo dużo w porównaniu do innych części kraju. Częste susze atmosferyczne, zmniejszona alimentacja wody z topniejącego śniegu, a nadto zmniejszanie się wylewów wody z rzek na tereny zalewowe radykalnie zmniejszają zasoby wodne terenów bagiennych. Przesuszenie wierzchnich poziomów gleb torfowych i postępujące ich murszenie zmniejsza ich wodochłonność. Naturalne zbiorowiska dolinne zmieniają swój skład florystyczny, na niektórych z nich postępuje dominacja trzciny pospolitej, np. w dolinie Narwi na terenie Narwiańskiego Parku Narodowego. Na terenach silnie przesuszonych zwiększa się ryzyko po-

wstawania pożarów, często spotęgowane zbyt dużym odwodnieniem spowodowanym źle eksploatowanymi lub zniszczonymi systemami melioracyjnymi. Część łąk zmniejsza zdolności wysokiej produkcji biomasy, a przy tym spada ich bioróżnorodność.

Zmieniające się warunki klimatyczne modyfikują także przebieg wielu procesów hydrologicznych, fizycznych, chemicznych i biocenotycznych w ekosystemach jezior (Górniak 2020). Ocieplenie okresu zimowego zmienia dotychczasowy charakter i czas trwania zjawisk lodowych. Te z kolei modyfikują jesienne, głębokie mieszanie się wód jezior i zmniejszają zasoby tlenu rozpuszczonego w wodzie (Górniak, Pękala 2001). Zmniejszająca się średnia prędkość wiatru w sezonie wegetacyjnym może sprzyjać zwiększonemu namnażaniu się glonów i sinic w wodach płytkich, polimiktycznych jezior (Deng i in. 2018). Podobny wzrost biomasy fitoplanktonu w epilimnionie jezior następuje pod wpływem intensywnego wzrostu temperatury wody latem, który jest dość powszechny w województwie podlaskim (Górniak 2020). Wzrasta również średnia temperatura wód rzecznych (Marszelewski, Pius 2016) zmieniająca strukturę fitoplanktonu rzecznego. Profesor A. Hillbricht-Ilkowska (1993) wskazywała na ścisły związek ocieplania się klimatu z ekstynkcją chłodnolubnych i stenotermicznych gatunków hydrobiontów, inwazją gatunków ciepłolubnych, a przez to zmniejszenie bioróżnorodności ekosystemów wodnych. Pojawiające się burze atmosferyczne i bardzo silne porywy wiatru stają się istotnym bodźcem w transformacji funkcjonowania ekosystemów jezior.

Zarówno tereny leśne, mokradła czy agrocenozy, w warunkach ocieplenia klimatu i innych zjawisk ekstremalnych z nim związanych, zmieniają swój charakter i ograniczają zakres usług środowiskowych, z których korzysta także człowiek. Dlatego ilość i jakość tych usług prowadzi, z ekonomicznego punktu widzenia, do zmniejszenia ich wartości, a w szczególnych przypadkach do całkowitego ograniczenia.

Zmiana zakresu zmienności warunków pogodowych promuje uprawy roślin ciepłolubnych, takich jak kukurydza, sorgo, soja czy winorośl, zmieniając przy tym dotychczasowy bilans wodny agrocenoz, zwiększając zużycie wody glebowej. Okresowe susze glebowe ograniczają produkcję biomasy przeznaczonej na paszę dla hodowli zwierząt, a nawadnianie staje się ograniczone ze względu



na zmniejszone zasoby wodne wód podziemnych. Uprawy ozime mają najczęściej zapewniony dostęp do wody z okresu zimowego, natomiast roślinom jarym zagrażają częste deficyty wody, a podwyższona temperatura sezonu wegetacyjnego przekłada się na spadki plonowania (Karaczun, Kozyra 2020). Wcześniejsze rozpoczęcie sezonu wegetacyjnego i okresowe przymrozki w maju prowadzą do dużej zmienności produktywności sadownictwa i krzewów owocowych. Równocześnie wydłużony sezon wegetacyjny i wyższa temperatura powietrza może potencjalnie przyczynić się do wzrostu plonów, pod warunkiem ograniczenia rozwoju patogenów i szkodników upraw, które także rozwijają się szybciej w wyższej temperaturze siedliska.

Ocieplenie klimatu wiąże się ze zmianami warunków klimatycznych terenów zurbanizowanych i powstawanie miejskich wysp ciepła, w lecie potęgujących odczucie upału i parności (Kozłowska-Szczęsna 1991). Zwiększają one ryzyko udaru cieplnego wśród znacznej grupy osób w starszym wieku, zamieszkujących centra aglomeracji miejskich. Wzrastająca częstość i natężenie zjawisk ekstremalnych na terenach zabudowanych stwarza równocześnie większe ryzyko uszkodzeń lub nawet zniszczeń infrastruktury bytowej, takiej jak sieć transportowa, elektryczna czy wodno-kanalizacyjna. Powstające w wyniku opadów nawalnych powodzie i podtopienia, na terenach zurbanizowanych zwiększają niebezpieczeństwo dla znacznej liczby ludności terenów gęsto zaludnionych. Wraz ze wzrostem letniej temperatury powietrza rośnie także pobór energii elektrycznej do klimatyzacji pomieszczeń, a przy dominacji elektrowni węglowych znacząco podnosi pobór wody do ich systemów chłodzenia.

Wskazane powyżej najważniejsze konsekwencje zmian dotychczasowych warunków klimatycznych jednoznacznie uświadamiają wszystkim narastanie ryzyka śmierci, pogorszenia stanu zdrowia ludności lub zaburzeń żywotności w skali globalnej. Również coraz bardziej realne staje się zagrożenie bezpieczeństwa żywnościowego, niedoboru wody dla przemysłu, rolnictwa i powstawanie ujemnego bilansu działalności gospodarczej, czyli utrata zysków.

Kolejne raporty IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) potwierdzają konieczność sporządzania planów działań regionalnych i lokalnych, ograniczających skutki narastających zmian środowiska o charakterze klimatycz-

nym. Wdrażane są programy adaptacji do zmian klimatycznych, uwzględniające lokalne warunki środowiskowe i ekonomiczne oraz wyniki projekcji zmian termiczno-wilgotnościowych w przyszłości, w różnych przedziałach czasowych. Dotychczas (do 2020 roku) w województwie podlaskim jedynie aglomeracja Białegostoku posiada plan adaptacji do zmian klimatycznych (Skotak i in. 2018). Został on przyjęty do realizacji przez Radę Miasta Białostok we wrześniu 2019 roku (dostępny na stronie [www.44mpa.pl](http://www.44mpa.pl)). Następne jednostki terytorialne winny je przygotować i wdrażać, aby ograniczyć ryzyko występowania niebezpieczeństwa dla zdrowia i życia mieszkańców.

Wraz z działaniami adaptacyjnymi niezbędne jest budowanie odporności środowiska na wszelkie przejawy ekstremalnych zjawisk pogodowych i wzrost bezpieczeństwa mieszkańców i ich dobytku. Obok działań natury technicznej równie ważne jest budowanie świadomości wspólnego działania, wspomagającego adaptację regionów do zmian klimatycznych i poszerzanie wiedzy na ten temat. Prezentowane opracowanie jest jednym z działań o charakterze edukacyjnym, które winno być intensywnie prowadzone nie tylko w szkołach, ale także prezentowane różnym grupom wiekowym i zawodowym.

W województwie podlaskim, oprócz prowadzenia programu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i pyłów, konieczne jest:

- opracowanie i wdrożenie programu retencjonowania wody w krajobrazie rolniczym, ukierunkowanego na zwiększenie infiltracji wód opadowych, ich magazynowania wraz oraz ograniczenia odpływu wody poprzez rewitalizację istniejących systemów melioracyjnych;
- uaktualnienie instrukcji gospodarowania wodą w zbiornikach zaporowych i zbiornikach małej retencji, z dostosowaniem do aktualnych warunków klimatycznych i hydrologicznych;
- upowszechnienie i wdrożenie dobrych praktyk rolniczych stabilizujących produktywność obszarów rolnych i zwiększających zasoby węgla organicznego w glebach. Jak proponuje FAO (2004), można to osiągnąć poprzez ograniczenie do minimum zabiegów uprawowych, zagospodarowanie resztek poźniwnych *in situ*, zintensyfikowanie upraw roślin okrywowych, zróżnicowanie zmianowania, precyzyjne nawożenie,

dostosowane do żyzności gleb oraz racjonalne nawadnianie (podsiąkowe i kropelkowe);

- racjonalizacja użytkowania gruntów i pełniejsze wykorzystanie gruntów marginalnych jako ostoi bioróżnorodności, upowszechnianie zadrzewień śródpolnych;
- odnawianie i rewitalizacja obszarów podmokłych na obszarach użytkowanych rolniczo, w lasach i na terenach zabudowanych;
- na terenach zurbanizowanych upowszechnienie retencji wód opadowych, redukcja terenów nieprzepuszczalnych, a zwiększenie powierzchni biologicznie czynnych, rewitalizację koryt rzecznych, terenów zalewowych i odnawianie terenów podmokłych.

Są to duże wyzwania ekonomiczne, techniczne i przyrodnicze na kolejne lata, ale aby istnieć i rozwijać się w przyszłości, trzeba zainwestować w środowisko, które stanie się bardziej przyjazne i mniej niebezpieczne dla człowieka.



Jesienna Puszcza Knyszyńska, fot. Janusz Kupryjanowicz

## 19. Zakończenie

---

Przedstawione cechy klimatu województwa podlaskiego dokumentują panowanie na tym terenie klimatu umiarkowanego przejściowego, z coraz to mniej zaznaczającymi się wpływami kontynentalnymi i jego „oceanizacją”. Wiele parametrów, a szczególnie temperatura powietrza, spełnia obecnie kryteria stawiane dla klimatu umiarkowanego z ciepłymi zimami (C). Doprowadziło to do sytuacji, w której obecnie cały pozagórski obszar Polski należy do jednego podtypu klimatu według powszechnie stosowanej na świecie klasyfikacji Köppena-Geigera.

Geograficzne położenie województwa na wschodnich rubieżach klimatu umiarkowanego z ciepłymi zimami znajduje odbicie w dużych amplitudach rocznych temperatury powietrza oraz możliwości występowania lekkich przymrozków, nawet w miesiącach letnich, w Kotlinie Biebrzańskiej i na obszarze międzyrzecza Narwi i Bugu. We wschodniej części województwa stopniowo i znacząco wzrasta suma rocznego promieniowania słonecznego udokumentowana przez Kuleszę (2018), a w całym województwie średnia temperatura roku wzrasta w tempie 0,6°C na dekadę. Istotny wzrost średniej temperatury powietrza w okresie zimowym jest ściśle związany z wartością wskaźnika NAO, czyli wzrostem częstości cyrkulacji mas powietrza nad Oceanem Atlantyckim. Zmniejsza się udział dni mroźnych i bardzo mroźnych zimą, a latem zwiększa się liczba dni parnych oraz fal upałów. Zmniejszająca się wysokość i czas trwania dni z pokrywą śnieżną oraz zwiększona ewapotranspiracja podczas lata jest przyczyną zwiększania się częstości suszy glebowej, pojawiającej się najczęściej wiosną oraz późnym latem i wczesną jesienią. Wraz z okresowymi intensywnymi opadami w ciepłej porze roku i przymrozkami wiosennymi stanowią one czynnik ograniczający efektywność produkcji rolniczej.

Ocieplenie klimatu oznacza też potencjalny wzrost produkcji rolnej, wprowadzanie nowych odmian roślin, bardziej powszechną uprawę winogron, większy przyrost masy drzewnej. Warunki do wypoczynku letniego w Polsce stają się bardziej przyjazne dla turystów przy wyższej temperaturze wód jeziornych i rzek. To są duże korzyści prognozowanych zmian klimatycznych. Z dużym prawdopo-

dobieństwem można przypuszczać, że postępujące ocieplenie klimatu zwiększy w przyszłości ryzyko realnych zagrożeń dla ludności, i to różnego typu. Zagrożenia gospodarcze – utraty lub zniszczenia upraw w rolnictwie, uszkodzenia lub zniszczenia infrastruktury przemysłowej czy transportowej oraz zagrożenia zdrowia i życia podczas letnich fal upałów będą stopniowo narastały. Bez opracowania i wdrożenia regionalnych planów adaptacyjnych do zmian klimatycznych, realizacja programu zrównoważonego rozwoju regionu Zielonych Płuc Polski może być zagrożona. To zdanie jest powtórzeniem stwierdzenia zawartego w moim opracowaniu z 2000 roku i niestety dalej jest aktualne.

# Literatura

---

- Atlas klimatyczny Polski*, 1973, Warszawa.
- Bac S., Rojek M., 1979, *Meteorologia i klimatologia*, Warszawa, PWN.
- Banaszuk H., 1996, *Paleogeografia. Naturalne i antropogeniczne przekształcenia doliny Górnej Narwi*, Białystok, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko.
- Bartoszek K., 2014, *Występowanie susz atmosferycznych w okolicy Lublina i ich uwarunkowania cyrkulacyjne*, Annales UMCS, s. E 69(4), s. 49-61.
- Bartoszek K., Węgrzyn A., 2013, *Dni z pogodą parną w okolicy Lublina i Nałęczowa w latach 1966-2010*, Prace Geograficzne, UJ 133, s. 21-34.
- Ber A., 1972, *Pojezierze Suwalskie*, [w:] *Geomorfologia Polski*, t. II, R. Galon (red.) Warszawa, PWN.
- Ber A., 1981, *Pojezierze Suwalsko-Augustowskie. Przewodnik geologiczny*, Warszawa, Wydawnictwo Geologiczne.
- Ber A., 2000, *Plejstocen Polski północno-wschodniej w nawiązaniu do głębszego podłoża i obszarów sąsiednich*, Prace Państw. Inst. Geol. 170, s. 1-89.
- Bielec-Bąkowska Z., 2002, *Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce (1949-1998)*, Prace Nauk. UŚ 2059, s. 1-159.
- Blair S. F., Deroche D. R., Boustead J. M., Leighton J. W., Barjenbruch B. L., Gargan W. P., 2011, *A radar-based assessment of the detectability of giant hail*, Electron. J. Severe Storms Meteor. 6(7), <http://www.ejssm.org/ojs/index.php/ejssm/article/viewArticle/87>.
- Błażejczyk K., Kunert A., 2011, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, Monografie IGiPZ 13, Warszawa, PAN.
- Boczoń A., Kowalska A., Ksepko M., Sokołowski K., 2018, *Climate warming and drought in the Białowieża Forest from 1950-2015 and their impact on the die-back of Norway Spruce stands*, Water 10, 1502.
- Bogdańska B., Podogrocki J., 2000, *Zmienność całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Polski w okresie 1961-1995*, Mat. Bad. IMGW, s. Meteorologia, 30 s. 1-43.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2004, *Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XX-XXI wieku*, Acta Agrophysica 3(1), 21-33.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kossowska-Cezak U., Wawer J., 2015, *Weryfikacja prognoz okresowych zmian temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2010*, Przegl. Geofiz. LVII, 3-4, 343-362.

- Brázdil R., Flocas A.A., Sahsamanoglou H.S., 1994, *Fluctuation of sunshine duration in central and South-Eastern Europe*, International Journal of Climatology 14(9), s. 1017-1034.
- Büntgen U., Kyncl T., Ginzler Ch., Jacks D.S., Esper J., Tegel W., Heussner K.U., Kyncl J., 2013, *Filling the Eastern European gap in millennium-long temperature reconstructions*, PNAS 110, 5, s. 1773-1778.
- Changnon S., Changnon D., Hilberg S., 2009, *Hailstorms across the nation. An atlas about hail and its damages*, Illinois State Water Survey.
- Chapman S., Lindzen R.S., 1970, *Atmospheric Tides: Thermal and Gravitational*, Dordrecht, D. Reidel Publ. Co.
- Chojnacka-Ożoga L., Ożoga W., 2018, *Tendencje zmian długości termicznego okresu wegetacyjnego w północno-wschodniej Polsce*, Sylwan 162(6), s. 479-489.
- Chomicz K., 1951, *Struktura opadów atmosferycznych w Polsce*, Prace PIHM 101, s. 25-66.
- Chomicz K., 1951, *Ulewy i deszcze nawalne w Polsce*, Wiad. Służby Hydrol. Meteorol. 2, 3, s. 1-260.
- Davis B.A.S., Brewer S., Stevenson A.C., Guiot J., 2003, *The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data*, Quaternary Science Reviews 22, s. 1701-1716.
- Deng J., Paerl H.W., Qin B., Zhang Y., Zhu G., Jeppesen E., Cai Y., Xu H., 2018, *Climatically-modulated decline in wind speed may strongly affect eutrophication in shallow lakes*, Science of the Total Envir. 645, s. 1361-1370.
- Dobek M., Situch M., Wereski S., Bartoszek K., Skiba K., 2008, *Czas trwania i częstość występowania uciążliwych warunków bioklimatycznych w Lublinie na podstawie wskaźnika Humidex*, [w:] K. Klysik, J. Wibig, K. Fortuniak (red.), *Klimat i bioklimat miast*, Łódź, Wyd. Uniw. Łódzkiego, 415-422.
- Drzymulska D., Filoc M., Kupryjanowicz M., 2014, *Reconstruction of landscape paleohydrology using sediment archives of three dystrophic lakes in northeastern Poland*, J. Paleolimnology 51, s. 45-62.
- European Environment Agency (EEA), 2019, *Air quality in Europe – 2019, Report*, EEA, Kopenhaga.
- FAO, 2004, *Carbon sequestration in dryland soils*, World Soil Res. Reports 102.
- Fortuniak K., Kożuchowski K., Papiernik Ż., 1998, *Roczny rytm termiczny klimatu Polski i jego sezonowe osobliwości*, Przegl. Geogr. LXX, 3-4, s. 283-304.
- Fortuniak K., Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, *Trendy i okresowość zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku*, Prz. Geof. 46, 4, s. 283-303.



- Fortuniak K., Pawlak W., 2002, *Solarne pływy półdobowe ciśnienia atmosferycznego w Łodzi*, Przegl. Geofiz. XLVII, 1-2, s. 15-26.
- Gafek G., Sobik M., Błaś M., Polkowska A., Cichała-Kamrowska K., 2012, *Dew formation and chemistry near a motorway in Poland*, Pure Appl. Geophys. 169, s. 1053-1066.
- Glickman T.S., Walter Z., 2000, *Glossary of Meteorology. AMS (American Meteorological Society)*, Boston.
- Górniak A., 2000, *Klimat województwa podlaskiego*, Białystok, IMGW.
- Górniak A., 2020, *Current Climatic Conditions of Lake Regions in Poland and Impacts on Their Functioning*, [w:] E. Korzeniewska, M. Harnisz (red.), *Polish River Basins and Lakes – Part I, The Handbook of Environmental Chemistry*, Springer Nature Switzerland AG 86, s. 1-25.
- Górniak A., Jekatierynczuk-Rudczyk E., 1995, *Stosunki wodne regionu Puszczy Knyszyńskiej*, [w:] A. Czerwiński (red.), *Puszcza Knyszyńska. Monografia przyrodnicza*, Supraśl, s. 49-71.
- Górniak A., Pękała M., 2001, *Zjawiska lodowe jezior północno-wschodniej Polski*, Przegl. Geofiz. 46, 1-2, s. 91-109.
- Górniak A., Kajak Z., 2020, *Hydrobiologia. Limnologia*, Warszawa, PWN.
- Gumiński R., 1948, *Próba wydzielenia dzielnic rolniczo-klimatycznych w Polsce*, Przegl. Hydrolog. Meteorol. 1, s. 7-20.
- Hernández-Almeida I., Grosjean M., Gómez-Navarro J.J., Larocque-Tobler I., Bonk A., Enters D., Ustrzycka A., Piotrowska N., Przybylak R., Wacnik A., Witak M., Tylmann W., 2016, *Resilience, rapid transitions and regime shifts: Fingerprinting the responses of Lake Żabińskie (NE Poland) to climate variability and human disturbance since AD 1000*, The Holocene, s. 1-13.
- Hillbricht-Ilkowska A., 1993, *Ekosystemy jezior i globalne zmiany klimatu*, Kosmos 42, 1, s. 107-121.
- Honczaruk M., Śliwiński Ł., 2011, *Wyniki badań hydrogeologicznych w strefie występowania głębokiej wieloletniej zmarzliny w otworze wiertniczym Udryń PIG 1*, Biuletyn PIG 445, s. 203-216.
- Huntley B., Collingham Y.C., Green R.E., Hilton G.M., Rahbek C., Willis S.G., 2006, *Potential impacts of climatic change upon geographical distributions of birds*, Ibis 148,1, s. 8-28.
- Hutorowicz H., 1963, *Dew measurements at Olsztyn*, Journal des Sciences Hydrologiques 65, s 352-359.
- Jatczak K., Walawender J., 2009, *Average rate of phenological changes in Poland according to climatic changes – evaluation and mapping*, Adv. Sci. Res. 3, s. 127-131.

- Jennings E., Jones S., Arvola L., Staehr P., Gaiser E., Jones I.D., Weathers K.C., Weyhenmeyer G.A., Chiu Chih-Yu, De Eyto E., 2012, *Effects of weather-related episodic events in lakes: an analysis based on high-frequency data*, *Freshwater Biology* 57, 3, s. 589-601.
- Jones J.A.A., 1997, *Global Hydrology*, London, Longman Urn.
- Kaczorowska Z., 1958, *Klimat województwa białostockiego*, „Dokumentacja Geograficzna” 6.
- Kafar M., 1998, *Charakterystyka wybranych zjawisk atmosferycznych w Łodzi w latach 1951-1992*, *Acta Univ. Lodziensis, Folia Geographica Physica* 3, s. 279-293.
- Karaczun Z.M., Kozyra J., 2020, *Wpływ zmiany klimatu na bezpieczeństwo żywnościowe Polski*, Warszawa, SGGW.
- Kaszewski B.M., 1983, *Próba wydzielenia naturalnych okresów synoptycznych na podstawie częstości typów cyrkulacji nad Polską*, *Przegl. Geofiz.* 28, 2, s. 195-207.
- Kaszewski B. M., 2006, *Próba oceny zmian klimatu na Lubelszczyźnie w drugiej połowie XX wieku*, [w:] J. Trepińska i Z. Olecki (red.), *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*, Kraków, IGI GP UJ, s. 127-138.
- Kaszewski B. M., 2015, *Zmiany klimatu Polski w pracach polskich klimatologów*, *Przegl. Geofiz.* LX, 3-4, 217-235.
- Kejna, M., Rudzki, M. 2021, *Spatial diversity of air temperature changes in Poland in 1961-2018*, *Theor. Appl. Climatol.* 143, s. 1361-1379.
- Kędziora A, 1995, *Podstawy agrometeorologii*, Poznań, PWRiL.
- Kępińska-Kasprzak M., Struzik P., 2019, *Reakcja roślin dziko rosnących na obserwowane ocieplenie klimatu*, [w:] [Chojnacka-Oźga L., Lorenz H. red.] *Współczesne problemy klimatu Polski*, Warszawa, IMGW – PIB, s. 233-244.
- Kirschenstein M., Baranowski D., 2005, *Sumy opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1951-1995. Badania Fizjograficzne nad Zachodnią Polską*, Ser. A., *Geogr. Fiz.*, s. 56, 55-72.
- Kondracki J. 1998, *Geografia regionalna Polski*, Warszawa, PWN.
- Kossowska-Cezak U., 1993, *Zmienność temperatury z dnia na dzień w Polsce*, *Gazeta Obserw. IMGW* 6, s. 4-6.
- Kossowska-Cezak U., 2003, *Współczesne ocieplenie a częstość dni charakterystycznych*, *Balneologia Polska* 45, s. 1-2.
- Kossowska-Cezak U., Olszewski K., Przybylska G., 1991, *Klimat Kotliny Biebrzańskiej*, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 372, s. 119-160.
- Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M., 2000, *Meteorologia i klimatologia. Pomiary, obserwacje, opracowania*, Wyd. Nauk. PWN.

- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., and Rubel, F. 2006, World-Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorol. Z.* 15, 259-263.
- Kozłowska-Szczęśna T., 1991, *Warunki bioklimatyczne Polski*, Dok. Geogr. IGI PZ PAN, Warszawa.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997, *Bioklimatologia człowieka*, Monografie IGI PZ PAN, 1, Warszawa.
- Kożuchowski K., 1996, *Współczesne zmiany klimatyczne w Polsce na tle zmian globalnych*, *Przeł. Geogr.* 68, 1-2, s. 79-98.
- Kożuchowski K., 2011, *Klimat Polski. Nowe spojrzenie*, Warszawa, PWN.
- Kożuchowski K.M., 2015, *Obfitość opadów w Polsce w przebiegu rocznym*, *Przeł. Geofiz.* LX, 1-2, s. 27-38.
- Kożuchowski K., Wibig J., 1988, *Kontynentalizm pluwialny w Polsce; zróżnicowanie geograficzne i zmiany wieloletnie*, *Acta Geogr. Lodziensia* 55.
- Kożuchowski K., Degirmendžić J., 2005, *Contemporary changes of climate in Poland: trends and variation in thermal and solar conditions related to plant vegetation*, *Pol. J. Ecol.* 53(3), s. 283-297.
- Krzeszkowiak J., Pawlas K., 2015, *Wpływ warunków meteorologicznych na organizm człowieka*, *Medycyna Środowiskowa* 18, 3, s. 47-55.
- Krzyżowska A., Wereski S., 2011, *Fale upałów i mrozów w wybranych stacjach Polski na tle regionów bioklimatycznych (2000-2010)*, *Przeł. Geof.* LVI, 1-2, s. 99-109.
- Kuczmarowski M., 1990, *Usłonecznienie Polski i jego przydatność dla helioterapii*, *Dok. Geogr.* 4, 67.
- Kundzewicz Z.W., Hov Ø., Okruszko T. (red.), 2017, *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*, Poznań.
- Kulesza K., 2018, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na ilość promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni ziemi w Polsce*, maszynopis rozprawy doktorskiej, UW, Warszawa.
- Kulesza K., 2020, *Uwarunkowania cyrkulacyjne ilości całkowitego promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni ziemi w Polsce w latach 1986-2015*, *Przeł. Geograficzny* 92, 3, s. 341-359.
- Kupryjanowicz M., Filoc M., 2013, *Globalne ocieplenie czy kolejne zlodowacenie? Kilka uwag paleoekologa na temat zmian klimatu w przyszłości*. [w:] I. Cierieszko, A. Bajguz (red.), *Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Rośliny i grzyby w zmieniających się warunkach środowiska*, Białystok, Polskie Towarzystwo Botaniczne, s. 211-226.

- Lenssen, N., Schmidt G, Hansen J., Menne M., Persin A., Ruedy R., Zyss D., 2019, *Improvements in the GISTEMP uncertainty model*, J. Geophys. Res. Atmos., 124, 12, s. 6307-6326.
- Le Blancq F., 2011, *Diurnal pressure variation: the atmospheric tide*, RMetS, Weather 66, nr 11, s. 306-307.
- Limanówka D., Biernacik D., Czernecki B., Farat R., Filipiak J., Kasprzewicz T., Pyrc R., Urban G., Wójcik R., 2012, *Zmiany i zmienność klimatu od połowy XX w.*, [w:] J. Wibig i E. Jakusik (red.), *Warunki klimatyczne i oceanograficzne w Polsce i na Bałtyku Południowym. Spodziewane zmiany i wytyczne do opracowania strategii adaptacyjnych w gospodarce krajowej*, s. 7-33.
- Lityńska Z., Wirkus F., Wirth Z., 1969, *Warunki występowania gołoledzi i szadzi w Polsce i możliwość prognozy gołoledzi*, Wiad. Służby Hydr. Meteorol. V (XVII), 1-2, s. 33-42.
- Lorenc H., 1994, *Ocena zmienności temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie 1931-1993 na podstawie obserwacji z wybranych stacji meteorologicznych w Polsce*, Wiadomości IMGW 17,4, s. 43-60.
- Lorenc H., 1996, *Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce*, Mat. Bad. IMGW seria Meteorologia, 25. ss. 155.
- Lorenc H. (red.), 2005, *Atlas klimatu Polski. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej*, Warszawa.
- Luterbacher J., Dietrich D., Elena Xoplaki E., Grosjean M., Heinz Wanner H., 2004, *Variability, Trends, and Extremes Since 1500 European Seasonal and Annual Temperature*, Science 303, s. 1499-1503.
- Marszelewski W., Pius B., 2016, *Long-term changes in temperature of river waters in the transitional zone of the temperate climate: a case study of Polish rivers*, Hydr. Sci. J. 61, 8, s. 1430-1442.
- Matuszko D., 2009, *Wpływ zachmurzenia na usłonecznienie i całkowite promieniowanie słoneczne na przykładzie krakowskiej serii pomiarów*, Kraków, Wyd. UJ.
- Matuszko D., Piotrowicz K., 2018, *Związek usłonecznienia i temperatury powietrza na podstawie wieloletniej serii klimatologicznej w Krakowie (1884-2016)*, Przegl. Geof. 53, 1-2, s. 15-29.
- Matuszko D., Bartoszek K., Soroka J., Węglarczyk S. 2019, *Zmienność i zróżnicowanie usłonecznienia w Polsce w latach 1971-2018 na podstawie danych naziemnych i satelitarnych*, [w:] [Chojnacka-Ożga L., Lorenz H. red.] *Współczesne problemy klimatu Polski*, Warszawa, IMGW – PIB, s. 46-65.
- Marks L. 2016, *Zmiany klimatu w holocenie*, Przegl. Geol. 64,1, s. 59-65.
- Martyn D., 1987, *Klimat kuli ziemskiej*, Warszawa, PWN.

- Mavi H.S., Trupper G., J., H., 2004, *Agrometeorology*, New York, London, Oxford, Food Products Press.
- Menzel A., i in. (31 autorów), 2006, *European phenological response to climate change matches the warming pattern*, Glob. Change Biology 12, s. 1969-1976.
- Michalska B., 2011, *Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce*, Prace i Studia Geograficzne UW, 4, s. 67-75.
- Mottaghy D., Majorowicz J., Rath V., 2010, *Ground Surface Temperature Histories Reconstructed from Boreholes in Poland: Implications for Spatial Variability*, [w]: R. Przybylak i in. (red.), *The Polish Climate in the European Context: An Historical Overview. Chapter 17*.
- Musiał A., 1992, *Studium rzeźby glacialnej północnego Podlasia*, Warszawa, Wyd. UW.
- Niall S., Walsh K., 2005, *The impact of climate change on hailstorms in Southeastern Australia*, International Journal of Climatology 25, s. 1933-1952.
- Narodowy atlas Polski*, 1973-1978, Warszawa, PAN.
- Okołowicz W., 1969, *Klimatologia ogólna*, Warszawa, PWN.
- Okoniewska M., Szumińska D., 2020, *Changes in Potential Evaporation in the Years 1952-2018 in North-Western Poland in Terms of the Impact of Climatic Changes on Hydrological and Hydrochemical Conditions*, Water 12, s. 877.
- Olba-Zięty W., Grabowski J., 2007, *Warunki termiczne i śnieżne zim doliny Doliny Biebrzy w latach 1980/1981-2004/2005*, Acta Agrophysica 10(3), s. 625-634.
- Olechnowicz-Bobrowska B., 1970, *Częstość dni z opadem w Polsce*, Prace IG PAN, 86, s. 1-75.
- Pajewska M., 2016, *Pogoda upalna w Zakopanem (1986-2015). Badania fizjograficzne*, A, 7, s. 169-177.
- Paszyński J., 1955, *Opady atmosferyczne dorzecza Odry i ich związek z hipsometrią i zalesieniem*, Warszawa, PWN.
- Pióro S.J., 1973, *Klimat województwa białostockiego*, Białystok, Woj. Biuro Geod. Urz. Wodnych.
- Pruchnicki J. (1987) *Metody opracowań klimatologicznych*. PWN, Warszawa, s. 218.
- Przybylak R., Olinski P., Koprowski M., Filipiak J., Pospieszynska A., Chorążyczewski W., Puchałka R., Dąbrowski H.P., 2020, *Droughts in the area of Poland in recent centuries in the light of multi-proxy data*, Clim. Past 16, s. 627-661.
- Przybylak R., Wójcik G., Majorowicz J. 2001., *Zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Polsce w okresie XVI-XX wiek*, Prace i Studia Geograf. 29, s. 79-92.

- Przybylak R., Wójcik G., Marciniak K., Chorążyczewski W., Nowosad W., Olinski P., Syta K., 2004, *Zmienność warunków termiczno-opadowych w Polsce w okresie 1501-1840 w świetle danych historycznych*, Przegl. Geograficzny 76, s. 5-31.
- Przybylak R., Majorowicz, J., Wójcik G., Zielski, A., Chorążyczewski W., Marciniak, K., Nowosad W., Olinski P., Syta K., 2005, *Temperature changes in Poland from the 16th to the 20th centuries*, Int. J. Climatol. 25, s. 773-791.
- Púčik T., Castellano Ch., Groenemeijer P., Kühne T., Rädler A.T., Antonescu B., Faust E., 2019, *Large hail incidence and its economic and societal impacts across Europe*, AMS J. 147, 11, s. 3901- 3916.
- Radzka E., 2014, *Climatic water balance for the vegetation season (according to Iwanow's equation) in central-eastern Poland*, Water-Environ – Rural Areas 14, s. 67-76.
- Retallack B.J., 1991, *Podstawy meteorologii*, Warszawa, WMO, IMGW.
- Romer E., 1949, *Regiony klimatyczne Polski*, Prace Wrocl. Tow. Nauk. 16.
- Rivas-Martinez S., Lousa M., Costa J.C., Duarte M.C., 2017, *Geobotanical survey of Cabo Verde Islands (West Africa)*, Int. J. Geobot. Research 7. s. 1-103.
- Romanienko V., 1961, *Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area*, Proc. Ukr. Hydrometeorol. Res. Inst. 3, s. 12-25.
- Roth G.D., 2000, *Pogoda i klimat*, Warszawa, Świat Książki.
- Rykowski K., 2008, *Climate change, forest, forestry relationships*, Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych.
- Rozbicka K., Rozbicki T., 2016, *Zależność bodźcowości ciśnienia od cyrkulacji atmosferycznej w Warszawie*, Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus 15(3), s. 121-136.
- Schmuck A., 1965, *Regiony pluwiotermiczne w Polsce*, Czas. Geogr. 36(3), s. 239-244.
- Schmuck A., 1969, *Meteorologia i klimatologia dla WSR*, Warszawa, PWN.
- Skotak K i inni 2018, *Miejski plan adaptacji do zmian klimatu do 2030 roku* [dostępny na stronie [www.44mpa.pl](http://www.44mpa.pl)].
- Sokolska J., 1995, *Rozwój osadnictwa a zasięg terytorialny dzisiejszej Puszczy Knyszyńskiej*, [w:] *Puszcza Knyszyńska. Monografia przyrodnicza*, Czerwiński A. (red.), Supraśl, Wyd. Zespół Parków Krajobrazowych, s. 349-364.
- Skowera B., Puła J., 2004, *Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971-2000*, Acta Agrophysica 3(1), s. 171-177.
- Starkel L., 1978, *Paleogeografia holocenu*, Warszawa, PWN.
- Starkel L., Michczyńska D.J., Krąpiec M., Margielewski W., Nalepka D., Pazdur A., 2013, *Progress in the holocene chrono-climatostratigraphy of polish territory*, Geochronometria 40(1) 2013, s. 1-21.

- Stępniewska-Podrażka M., 1991, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery (1951-1990)*, Warszawa, IMGW.
- Stopa-Boryczka M., 1985, *Klimat*, [w:] *Województwo suwalskie. Studia i materiały* Warszawa, OBN Białystok, IG PAN, s. 81-118.
- Stopa-Boryczka M., i inni, 1986, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. IV, *Klimat północno-wschodniej Polski*, Warszawa, Wyd. UW.
- Suwała K., 2014, *Synoptyczne uwarunkowania występowania opadów gradu w środkowej Europie*, maszynopis rozprawy doktorskiej, UAM, Poznań.
- Suwała K., Bednorz E., 2013, *Climatology of hail in Central Europe*, *Quest. Geogr.* 32(3), s. 99-110.
- Sykulski P., Bielec-Bąkowska Z., 2017, *Atmospheric fronts over Poland (2006-2015)*, *Environ. Socio.-econ. Stud.* 5,4, s. 29-39.
- Szałach G., 2001, *Warunki występowania rosy w Białowieży*, *Prace i studia geogr.* 29, s. 191-197.
- Szyga-Pluta K., 2018, *Zmienność występowania suszy w okresie wegetacyjnym w Polsce w latach 1966-2015*, *Przeegl. Geofiz.* 63, 1-2, s. 51-67.
- Taszarek M., Allen J.T., Pucik T., Groenemeijer P., Czernecki B., Kolendowicz L., Lagouvardos K., Kotroni V., Schulz W., 2019, *A Climatology of thunderstorms across Europe from a synthesis of multiple data sources*, *J. Climate AMS* 32, s. 1813-1837.
- Taszarek M., Allen J.T., Groenemeijer P., Edwards R., Brooks H.E., Chmielewski V., Enn S-E., 2020, *Severe convective storms across Europe and the United States. Part I: Climatology of lightning, large hail, severe Wind, and Tornadoes*, *J. Climate AMS* 33, s. 10239-10261.
- Tomanek J., 1972, *Meteorologia i klimatologia dla leśników*, Warszawa, PWRiL.
- Tomaszewska T., Rutkowski Z., 1999, *Fenologiczne pory roku i ich zmienność w wieloleciu 1951-1990*, *Mat. Bad. IMGW*, s. Meteorologia 288, s. 1-39.
- Vujević P., 1956, *Klimatološka statistika*, Beograd, Naučna knjiga.
- Walker M., Head M.J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L., Fisher D., Gkinis V., Long A., Lowe J., Newnham R., Rasmussen S., Weiss H., 2018, *Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new Stages/Subseries*, *Episodes* 41, s. 1-11.
- Walker M., Head M.J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L., Fisher D., Gkinis V., Long A., Lowe J., Newnham R., Rasmussen S., Weiss H., 2019, *Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalisation of stages/ages and sub-*

- series/subepochs and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes*, Journal of Quaternary Science 34, s. 173-186.
- Wendling, U., Müller, J. 1984, *The development of the method for an estimation by calculation of evaporation in winter*, Zeitschrift für meteorology 34, s. 82-85.
- Wibig J., 2000, *Oscylacja Północnoatlantycka i jej wpływ na kształtowanie pogody i klimatu*, Przegł. Geofiz. 45,2, s. 121-137.
- Wibig J., 2009, *Heat waves in Poland in the period 1951-2015: trends, patterns and driving factors*, Met. Hydrol. Water. Manag. 6, s. 1-9.
- Wibig J., Radziun W., 2019, *Opady atmosferyczne w województwie łódzkim w latach 1961-2017?*, Acta Geogr. Lodz. 198, s. 29-47.
- Wierzbicki Z., Bartkowski Z., 1975, *Przebieg dobowy prędkości wiatru w Katowicach, Suwałkach, Ustce i Warszawie*, Mat. Bad. IMGW, s. Meteorologia 6, s. 1-40.
- Wiszniewski W., 1953, *Atlas opadów atmosferycznych w Polsce 1891-1930*, Warszawa, Wyd. Komunik.
- Wiszniewski W., Chelchowski W., 1987, *Regiony klimatyczne*, [w:] *Atlas hydrologiczny Polski*. Warszawa, Wyd. Geol.
- Woś A., 1996, *Zarys klimatu Polski*, Miejsce wyd., Wyd. UAM.
- Wypych A., Sulikowska A., Ustrnul Z., Czekierda D., 2017, *Variability of growing degree days in Poland in response to ongoing climate changes in Europe*, Int. J. Biometeorol. 61, s. 49-59.
- Zawisza E., Zawiska I., Szeroczyńska K., Correa-Metrio A., Mirosław-Grabowska J., Obremska M., Rzodkiewicz M., Słowiński M., Woszczyk M., *Dystrophication of lake Suchar IV (NE Poland): an alternative way of lake development*, Limnetica 38(1), s. 391-410.
- Znosko J., 1993, *Jak odkryto suwalskie magnetyty*, Przegł. Geol. 41,8, s. 552-558.
- Żmudzka E., 1999, *Krótkookresowa zmienność temperatury powietrza w Polsce*, Przegł. Geof. 44, 3, s. 115-130.
- Żmudzka E., 2002, *O zmienności opadów atmosferycznych na obszarze Polski nizinnej w drugiej połowie XX wieku*, Wiad. IMGW 25(46), 4, s. 23-38.
- Żmudzka E., 2004, *Tło klimatyczne produkcji rolniczej w Polsce w drugiej połowie XX wieku*, Acta Agrophysica 3(2), s. 399-408.
- Żmudzka E., 2007, *Zmienność zachmurzenia nad Polską i jej uwarunkowania cyrkulacyjne (1951-2000)*, Diss. UW 477, Warszawa. s. 1-399.
- GIOS, 2020, *Raport – Roczna ocena jakości powietrza w województwie podlaskim. Rok 2019*, Białystok.
- Raporty roczne z monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji do podłoża w Polsce w latach 2000-2019*, Warszawa, IMGW.



Raport skrócony, 2020, *Zmiany temperatury i opadu na obszarze Polski w warunkach przyszłego klimatu do roku 2100 IOS-PIB*, Warszawa, RAPORT SKRO CONY-260121.docx (ios.edu.pl).

## Załącznik I.

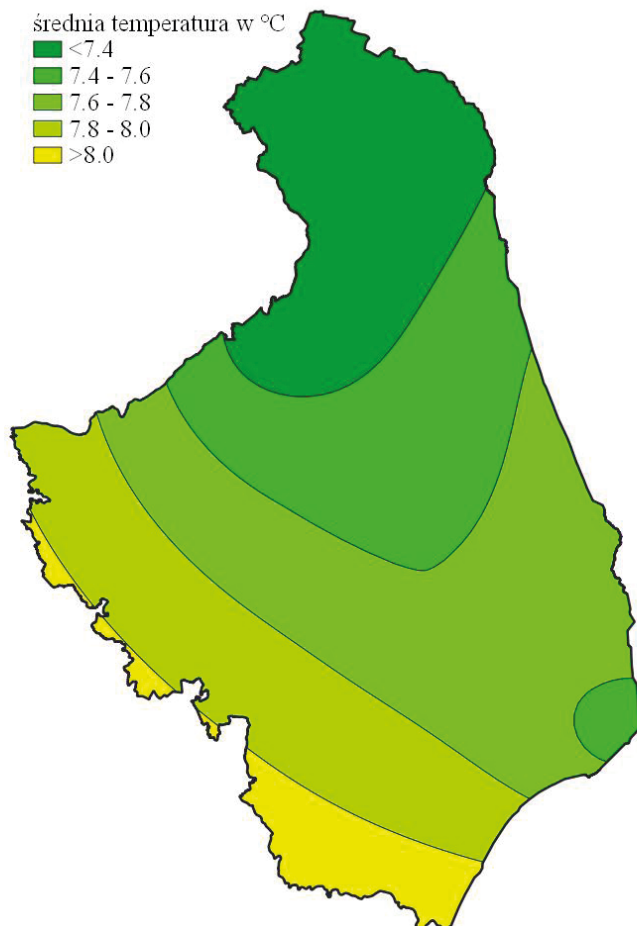
Średnie roczne, maksymalne opady roczne, miesięczne i dobowe (mm) na stacjach pomiarowych IMGW – PIB w latach 1995-2019, czcionka pochyła – stacje położone poza województwem podlaskim.

miejsowość	opad roczny		opad maksymalny	
	średni	max.	miesięczny	dobowy
stacje opadowe				
Aleksandrówka	570,8	749,5	249,7	67,0
Sejny	612,4	835,5	238,7	71,4
Bakałarzewo	626,4	804,5	188,3	76,6
Raczki	615,1	892,4	196,7	76,1
Białobrzegi	617,8	825,6	222,4	110
Dębowo	607,9	738,4	203,2	60,2
Janów	583,2	789,1	285,0	101,5
Kamionka	597,4	735,3	212,3	61,1
Jałówka	645,1	852,9	228,4	61,9
Szudziałowo	633,7	789,4	225,0	55,3
Supraśl	629,9	796,2	225,2	59,1
Gródek	652,3	900,0	224,5	80,4
Zabludów	646,8	841,6	225,8	73,0
Narew	644,4	840,0	204,6	65,0
Klejniki	600,6	788,3	206,5	74,1
Hajnówka	626,9	802,8	199,7	66,3
Kleszczele	628,6	824,6	261,7	80,1
Nurzec-Stacja	702,8	1038,6	250,6	68,9
Tonkiele	580,3	789,5	270,9	88,9
Brańsk	584,4	794,7	261,7	70,8
Wierzbowo	582,4	786,0	276,6	86,8
Suraż	561,5	781,4	200,9	73,0
Baciuły	601,3	833,6	260,3	64,5
Krypno Kościelne	566,3	747,6	195,8	50,8
Mońki	628,0	862,4	197,4	77,1

miejsowość	opad roczny		opad maksymalny	
	średni	max.	miesięczny	dobowy
Osowiec	589,0	877,8	204,2	76,0
Burzyn	598,9	818,0	275,5	64,5
Radziłów	556,5	786,3	302,2	62,3
Drygały	634,2	915,8	235,0	97,8
Wizna	590,6	848,3	255,3	65,4
Pogórze	608,0	813,6	293,7	73,1
Dobrylas	596,0	842,4	249,0	72,5
Ptaki	633,5	811,9	332,2	111,6
Żytkiejmy	700,0	956,7	217,7	115,7
stacje klimatyczne				
Olecko	607,8	831,6	183,6	
Różanystok	601,6	790,0	242,1	63,0
Biebrza-Pieńczyków	562,6	792,7	215,5	68,2
Białowieża	643,7	874,6	218,8	68,5
Szepietowo	559,8	789,9	234,6	72,2
stacje synoptyczne				
Białystok	615,5	934,6	209,3	87,7
Suwałki	610,4	856,2	203,2	66,8

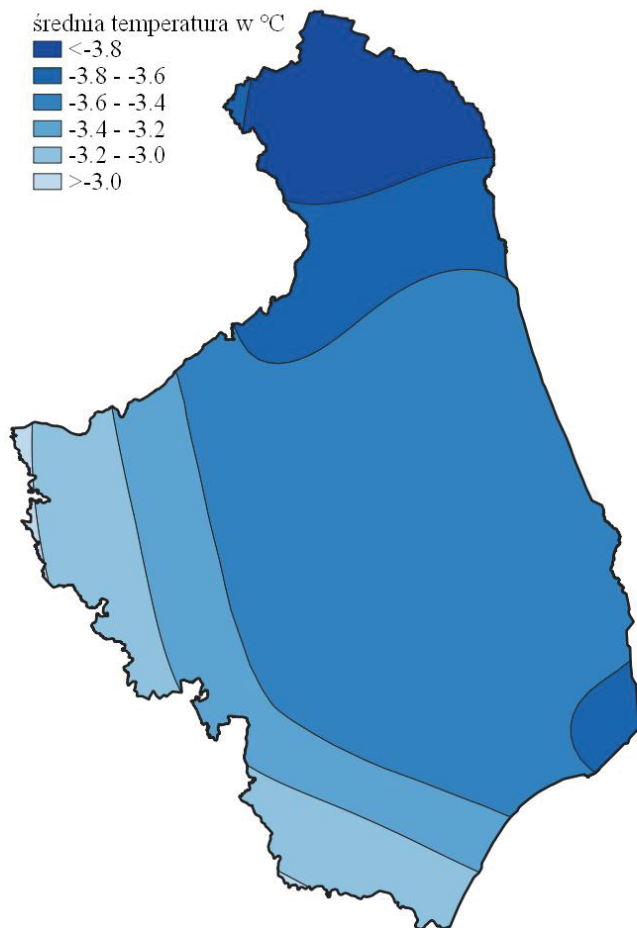
## Załącznik II.

Przestrzenne zróżnicowanie średniej rocznej temperatury powietrza w województwie podlaskim w latach 1995-2019



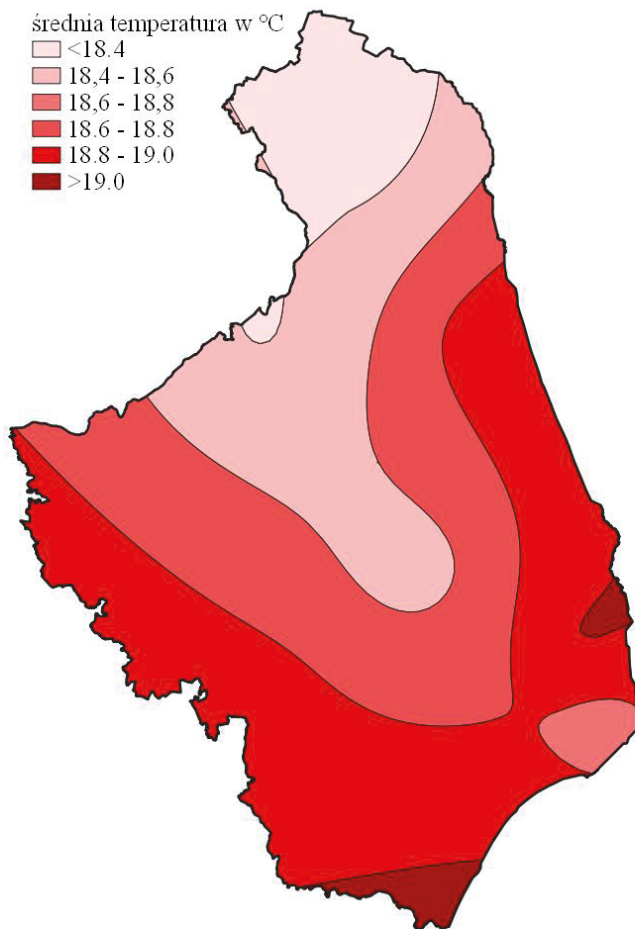
### Załącznik III.

Przestrzenne zróżnicowanie średniej temperatury powietrza w styczniu w województwie podlaskim w latach 1995-2019



#### Zał. IV.

Przestrzenne zróżnicowanie średniej temperatury powietrza w lipcu w województwie podlaskim w latach 1995-2019



## Słowniczek – spis wybranych terminów i definicji

**Bezczmurnie** – niebo w zasięgu obserwacji jest całkowicie wolne od chmur.

**Całkowite zachmurzenie** – niebo całkowicie pokryte jest przez chmury (w zależności od stosowanej skali 8/8, 10/10 lub 100%).

**Cyrkulacja strefowa** – dominujący kierunek przepływu mas powietrza w atmosferze charakterystyczny dla stref oświetleniowych Ziemi i wynikająca z rozkładu wyżów i niżów barycznych. W szerokościach umiarkowanych strefowa cyrkulacja powietrza odbywa się z zachodu na wschód.

**Dzielnik opadowy (D) według Gorczyńskiego** – iloraz różnicy maksymalnej i minimalnej sumy opadów rocznych do średniej z wielolecia, czyli  $D = (P_{\max} - P_{\min}) / P_{\text{śr}}$ .

**IUGS** – International Union of Geological Sciences – międzynarodowa organizacja ustalająca m.in. nazewnictwo okresów geologicznych stosowane w naukach geologicznych.

**Mitygacja zmian klimatu** – szeroki zakres działań technicznych i organizacyjnych mających na celu zmniejszenie, ograniczenie lub unieszkodliwienie efektów występowania określonego procesu, w tym przypadku procesu ocieplenia klimatu.

**Obfitość opadu** – suma opadu przypadająca na jeden dzień opadowy (24 godziny, liczona od godz. 6 czasu UTC do godz. 6 następnego dnia). Oprócz tej miary, dla krótszych epizodów opadowych stosuje się określenie **natężenie/intensywność opadu** wyrażane w mm/godz., jako stosunek sumy opadów do czasu trwania danego opadu.

**SYNOP** – nazwa jednego z międzynarodowych kluczy kodowania aktualnej pogody w miejscu prowadzenia obserwacji meteorologicznej, stosowanego w krajowym i globalnym przekazie informacji z zastosowaniem układu grup cyfr. Zbierane na bieżąco depesze są podstawą pracy synoptyków, informowania społeczeństwa poprzez systemy elektronicznej wizualizacji, a zebrane zbiory depesz z dłuższego okresu służą także do opracowań klimatologicznych.

**Średnia wysokość pokrywy śnieżnej** – w ujęciu miesięcznym lub sezonu zimowego (październik – kwiecień) wyliczona wartość liczbową jako stosunek sumy dziennych danych wysokości pokrywy śnieżnej (>1 cm) i liczby dni z pokrywą śnieżną.

**Temperatura efektywna** – charakterystyczna i różna dla każdego organizmu żywego miara ciepła siedliska, wyrażana najczęściej w stopniach Celsjusza, niezbędna do osiągnięcia kolejnych stanów fizjologicznych (u roślin – faz rozwojowych roślin, u zwierząt zmiennocieplnych – stadiów rozwojowych). Aby określić przewidywany termin danego stadium w celu dokonania odpowiedniego nawożenia czy działań ograniczających rozwój patogenów lub szkodników, najczęściej stosuje się sumę temperatur efektywnych (suma różnic średniej dobowej temperatury powietrza i adekwatnej w danej symulacji temperatury efektywnej).

**Trajektorie wsteczne** – najczęściej nieliniowy odcinek przemieszczania się masy powietrza docierającej w danym terminie do określonej lokalizacji na Ziemi i wyznaczany *post factum* na mapie, z zastosowaniem modeli cyrkulacji atmosfery na podstawie obserwacji i pomiarów cech tropo- i stratosfery. Stosowany w klimatologii do wyznaczania kierunku adwekcji mas powietrza w czasie lub w analizach przestrzennych potencjalnych źródeł zanieczyszczenia powietrza.

**Usłonecznienie możliwe** – czas od wschodu do zachodu Słońca (długość dnia), uwarunkowany położeniem geograficznym i porą roku.

**Usłonecznienie rzeczywiste** – czas wyrażony w godzinach lub minutach, w których rejestrowany jest przez heliograf (lub inny rejestrator o odpowiednio dobranym progu czułości) dopływ promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi.

**Usłonecznienie względne** – stosunek czasu trwania usłonecznienia rzeczywistego do możliwego, wyrażony ułamkiem lub w procentach.

**Wiatr geostroficzny** – stały przepływ powietrza w swobodnej atmosferze (powyżej strefy tarcia), odbywający się równoległe do izobar.



**Współczynnik determinacji ( $r^2$ )** – parametr statystyczny, opisujący siłę zależności, który może być także wyrażony w procentach, np.  $r^2 = 0,5$  oznacza że 50% analizowanych przypadków podlega zależności w wyliczonej formule matematycznej.

**Wskaźnik opadowy według Vujević'a** – stosunek różnicy średnich opadów maj – lipiec i sierpień – październik do średniej z wielolecia, który często jest pomocny w określeniu stopnia kontynentalizmu klimatu wybranego terenu.

**Wskaźnik NAO (*North Atlantic Oscillation*)** – jeden z bezwymiarowych parametrów natężenia cyrkulacji mas powietrza: gdy ma wartość dodatnią – istnieje w Europie dominuje napływ z kierunku zachodniego, gdy ma wartość ujemną – wskazuje na zwiększenie cyrkulacji wschodniej. Wyliczany jest dla miesięcy, sezonów czy lat z różnicy znormalizowanego ciśnienia między Azorami (Ponta Delgada) i południową Islandią (Akureyri).

**Wymuszanie radiacyjne** – teoretyczny i syntetyczny wskaźnik [ $W \cdot m^{-2}$ ] wyliczany w matematycznym modelowaniu wartości bilansu radiacyjnego atmosfery ziemskiej pod wpływem czynników antropogenicznych. Zastosowanie dynamicznego modelu dla dłuższych odcinków czasu umożliwia liczbowe oszacowanie wpływu zmian stężenia np. gazów czy aerosoli na zmiany bilansu radiacyjnego, skutkującego zmianami temperatury powietrza.

**Zachmurzenie ogólne** – stopień pokrycia niebosłonu przez wszystkie chmury, niezależnie od ich rodzaju, widoczne w momencie obserwacji.

**Zachmurzenie składowe** – stopień zachmurzenia w różnych piętrach wysokościowych (rodzinach).

**Zachmurzenie średnie dzienne, dobowe ( $Z_d$ )** – średnia arytmetyczna wielkości zachmurzenia z trzech terminów klimatologicznych.

## Spis rysunków, mapek i schematów

1. Ukształtowanie terenu północno-wschodniej Polski i uprzywilejowane topograficznie kierunki napływu mas powietrza (mapa za zgodą Wydawnictwa Wiking, Warszawa)
2. Regiony fizyczno-geograficzne województwa podlaskiego według podziału Kondrackiego (1978); symbolem A oznaczono Dolinę Dolnej Narwi
3. Rozmieszczenie stacji synoptycznych (A), klimatycznych (B) oraz opadowych (C) IMGW – PIB na tle podziału województwa podlaskiego na powiaty i miasta na prawach powiatów, numeracja stacji jak w załączniku I
4. Uśredniony przebieg roczny ciśnienia atmosferycznego (na poziomie stacji) w latach 1995-2019
5. Przebieg średniego dobowego ciśnienia atmosferycznego (na poziomie stacji) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
6. Znormalizowany przebieg średniego dobowego ciśnienia atmosferycznego w ciągu roku na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019
7. Przebieg roczny średniej dobowej amplitudy ciśnienia atmosferycznego (na poziomie stacji) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
8. Dobowe, względne pływy ciśnienia atmosferycznego na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019. Na osi poziomej godziny według czasu uniwersalnego (UTC)
9. Dobowe, sezonowe względne pływy ciśnienia atmosferycznego w Białymstoku w latach 1995-2019. Na osi poziomej godziny według czasu uniwersalnego (UTC)
10. Średnie dobowe zachmurzenie w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
11. Częstość występowania dni z całkowitym zachmurzeniem (8 w skali oktantowej) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
12. Częstość pogody o zróżnicowanym zachmurzeniu, dekadami w latach 1995-2019 w Białymstoku (A) i Suwałkach (B)

13. Zmienność zachmurzenia w ciągu doby w wybranych miesiącach w Białymstoku (A) i Suwałkach (B) w latach 1995-2019; wartości średnie dla 8 pomiarów terminowych
14. Średnia miesięczna częstość występowania chmur piętra niskiego (A) i wysokiego (B) w Białymstoku (górnym) i Suwałkach (dolnym) w latach 1995-2019
15. Średnia miesięczna częstość występowania chmur *Cb* w województwie podlaskim w latach 1995-2019
16. Średnie częstości chmur z poszczególnych pięter w ciągu doby w Białymstoku zimą (styczeń – luty, A) i latem (lipiec – sierpień, B) w latach 1995-2019
17. Przebieg roczny średnich miesięcznych wartości usłonecznienia rzeczywistego w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
18. Średnie dobowe usłonecznienie rzeczywiste w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
19. Średnie i maksymalne dobowe usłonecznienie (lewa oś) w Białymstoku (górnym wykres) i Suwałkach (dolnym wykres) oraz częstość występowania dni o pełnym zachmurzeniu (brak bezpośredniego promieniowania słonecznego – prawa oś) w latach 1995-2019; dla każdej doby  $n=25$
20. Średnia suma promieniowania słonecznego w ciągu roku w województwie podlaskim (Kulesza 2018), fragment rysunku nr 9 na s. 53
21. Zmienność średniej rocznej temperatury powietrza w Białymstoku i Suwałkach w latach 1996-2019
22. Zależność między średnią roczną wartością wskaźnika NAO i temperatury powietrza w Suwałkach w latach 1931-2019
23. Zależność między średnią wartością wskaźnika NAO w okresie styczeń – marzec i temperatury powietrza w tym okresie Suwałkach w latach 1995-2019
24. Model temperatury dobowej w ciągu roku w Białymstoku (linia ciągła) i Suwałkach (linia kropek) w latach 1995-2019
25. Rzeczywisty (linia ciągła) i modelowy (linia przerywana) przebieg średniej dobowej temperatury powietrza w ciągu roku w Białymstoku w latach 1995-2019

26. Różnica między średnią dobową temperaturą powietrza a wartością modelową dla danej daty w okresie 1995-2019 w Białymstoku (górny wykres) i Suwałkach (dolny wykres)
27. Zróżnicowanie średniej temperatury powietrza w ciągu doby w wybranych miesiącach w Suwałkach w latach 1995-2019; koło oznacza najniższą średnią wartość w ciągu doby w danym miesiącu
28. Róże kierunku wiatru dla stacji synoptycznych w województwie podlaskim w latach 1995-2019
29. Średnia częstość występowania wiatru (przedziały co 10°) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
30. Zmiany średniej rocznej prędkości wiatru (na wysokości wiatromierza) w Białymstoku i Suwałkach w latach 2008-2019
31. Zmiany średniego rocznego udziału ciszy w codziennych pomiarach wiatru w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
32. Roczny przebieg średniej dobowej prędkości wiatru w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
33. Przebieg roczny znormalizowanych średnich ruchomych (7 dni) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
34. Średnia roczna częstość wiatru o określonej prędkości w latach 1995-2019 (na podstawie codziennych pomiarów) w Białymstoku i Suwałkach
35. Względne zmiany prędkości wiatru w ciągu doby w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
36. Względna częstość dobowej prężności pary wodnej w powietrzu w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
37. Średnia dobowa prężność pary wodnej w powietrzu w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
38. Roczny przebieg średniej dobowej wilgotności powietrza w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
39. Wieloletnie zmiany średniego rocznego parowania terenowego oraz jego zakresu w województwie podlaskim w latach 1995-2019
40. Struktura wielkości parowania terenowego w poszczególnych sezonach roku w województwie podlaskim w latach 1995-2019

41. Mapa sumy rocznej opadów atmosferycznych w województwie podlaskim w latach 1995-2019
42. Średnie roczne opady atmosferyczne w województwie podlaskim w latach 1995-2019
43. Maksymalne, minimalne i średnie miesięczne opady w województwie podlaskim w latach 1995-2019; dane z 39 stacji pomiarowych IMGW – PIB
44. Średnia wartość indeksu opadowego Schmucka (1965) w województwie podlaskim w latach 1995-2019
45. Średni udział dni z opadem atmosferycznym ( $\geq 0,1$  mm) w ciągu roku w latach 1995-2019 w Białymstoku i Suwałkach
46. Wieloletnie zmiany średniego rocznego czasu trwania opadu deszczu w latach 1995-2019 w Białymstoku (linia ciągła) i Suwałkach (linia przerywana)
47. Zróżnicowanie średniego miesięcznego czasu trwania różnych form opadu w ciągu roku w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
48. Wieloletnie zmiany średniej rocznej obfitości opadów w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
49. Średnia miesięczna obfitość opadów atmosferycznych w Białymstoku i Suwałkach w latach 2015-2019
50. Średnia ruchoma (7-dniowa) dobowej obfitości opadu w wieloleciu 1995-2019 na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego
51. Średni miesięczny opad w postaci śniegu zanotowany na stacjach synoptycznych w województwie podlaskim w latach 1995-2019
52. Średni udział opadów śniegu w sumie opadów miesięcznych na dwóch stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019
53. Okresy bez przymrozków umiarkowanych w województwie podlaskim w wieloleciu 1995-2019
54. Średnia dobowa amplituda ciśnienia atmosferycznego (na poziomie stacji) w latach 1995-2019
55. Średnia częstość dni z dobową amplitudą ciśnienia atmosferycznego ponad 10 hPa w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019

56. Przebieg maksymalnej dobowej prężności pary wodnej (wykres linowy) w Białymstoku w latach 1995-2019 i średnia (n) liczba dni parnych (stłupki) w określonych datach według kryterium Scharlau'a ( $e \geq 18,8$  hPa)
57. Częstość dni sezonu ciepłego o wartościach wskaźnika Humidex  $> 29,9^\circ\text{C}$  w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
58. Podział województwa podlaskiego na regiony klimatyczne
59. Średnie roczne stężenia odczynu pH wód opadowych w latach 2002-2019 w Białymstoku (linia ciągła) i Suwałkach (linia kreskowa); źródło danych: [www.gios.pl](http://www.gios.pl)
60. Średnie roczne wartości przewodności właściwej (EC) wód opadowych w latach 2002-2019 w Białymstoku (B) i Suwałkach (S); źródło danych: [www.gios.pl](http://www.gios.pl)
61. Odchylenie anomalii rocznej temperatury powietrza (ciemna linia) i okresu zimowego (szara linia) w okresie ostatnich 12 tys. lat w środkowej Europie, zrekonstruowane na podstawie danych palinologicznych według Davisa i in. (2003); anomalia wyliczona w stosunku do średniej z lat 1961-1990, na osi poziomej lata BP
62. Zasadnicze zmiany klimatu i poziomu jezior w holocenie według Starkel i in. 2013 (podział holocenu zgodnie z nowym podziałem IUSG z 2018 roku – Walker i in. 2018, 2019)
63. Rekonstrukcja średniej temperatury powietrza w sierpniu (górnny wykres) i liczba dni z temperaturą wody jeziora Żabińskiego poniżej  $4^\circ\text{C}$  w czasie ostatniego tysiąca lat (według Hernández-Almeida i in. 2016)
64. Zmiany anomalii temperatury w Warszawie w okresie 1791-2019 według <https://www.meteomodel.pl> (dostęp online: 10.11.2019)
65. Zrekonstruowany przebieg średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie (według Lorenc 2000) i Wilnie uzupełnione wynikami z aktualnych pomiarów
66. Zmiany średniej temperatury roku w latach 1881-2019 w Białymstoku i Suwałkach (z własnymi uzupełnieniami) na tle przebiegu temperatury powietrza w Wilnie

67. Przebieg rocznych średniej miesięcznej temperatury powietrza w Białymstoku w trzech okresach czasowych
68. Wieloletnie zmiany średniej rocznej wysokości pokrywy śnieżnej w latach 1966-2019 w Białymstoku (linia ciągła) i Suwałkach (linia przerywana)
69. Wieloletnie zmiany rocznego usłonecznienia w Białymstoku i Suwałkach w latach 1996-2019
70. Wieloletnie zmiany średniej prężności pary wodnej w Białymstoku (A) i Suwałkach (B) w latach 1971-2019; liniowa tendencja dla Białegostoku
71. Zmiany średniej rocznej wilgotności względnej w Białymstoku (linia ciągła) i Suwałkach (linia przerywana) w latach 1951-2019
72. Roczna liczba dni (oś pionowa) z mgłą w Białymstoku (wykres górny) i w Suwałkach (wykres dolny) w latach 1966-2019

### **Mapy w załącznikach**

Załącznik I. Przestrzenne zróżnicowanie średniej rocznej temperatury powietrza w województwie podlaskim w latach 1995-2019

Załącznik II. Przestrzenne zróżnicowanie średniej temperatury powietrza w styczniu w województwie podlaskim w latach 1995-2019

Załącznik III. Przestrzenne zróżnicowanie średniej temperatury powietrza w lipcu w województwie podlaskim w latach 1995-2019

### **Spis tabel**

1. Średnia miesięczna liczba dni z występowaniem frontów atmosferycznych w Suwałkach w latach 2006-2015 według Sykulskiego, Bielec-Bąkowskiej (2017)
2. Średnie miesięczne ciśnienie atmosferyczne (na poziomie stacji) w latach 1995-2019
3. Cykle baryczne i ich charakterystyka w latach 1995-2019 w województwie podlaskim; szary odcień oznacza okres obniżonego ciśnienia, pogrubiona czcionka wartości ekstremalne dla obu miejscowości

4. Średnie roczne zachmurzenie oraz średnia roczna liczba dni o zróżnicowanym zachmurzeniu obserwowane na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019
5. Średnie miesięczne zachmurzenie (%) województwa podlaskiego w latach 1995-2019
6. Średnia roczna częstość (%) występowania rodzajów chmur w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
7. Rodzaje chmur (o średniej częstości >10%) dominujące w poszczególnych miesiącach w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
8. Średnia częstość (%) występowania rodzajów chmur w 8 terminach w ciągu doby na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019; pogrubiona czcionka – wartość maksymalna w ciągu doby
9. Średnie miesięczne i roczne usłonecznienie rzeczywiste (godziny) w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
10. Amplituda średnich miesięcznych i ekstremalnych wartości temperatury powietrza (°C) w województwie podlaskim w latach 1995-2019
11. Najniższa minimalna temperatura powietrza (°C) zanotowana w poszczególnych miesiącach w województwie podlaskim w okresie 1995-2019
12. Najwyższa maksymalna temperatura powietrza (°C) zanotowana w poszczególnych miesiącach w województwie podlaskim w okresie 1995-2019
13. Średnia miesięczna temperatura powietrza (°C) z wielolecia 1995-2019 na stacjach pomiarowych IMGW – PIB województwa podlaskiego
14. Porównanie ekstremalnych wartości temperatury powietrza odnotowanych w województwie podlaskim w dwóch okresach pomiarowych
15. Występowanie charakterystycznych termicznie dni w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
16. Daty występowania okresów wyraźnie chłodnych i nadmiernie ciepłych w latach 1995-2019
17. Średnia częstość dni (%) w roku o określonym termicznym typie pogody w wybranych miejscowościach województwa podlaskiego w latach 1995-2019



18. Liczba lat z dominacją określonego kierunku wiatru w latach 1995-2019;  
\* – trzykrotne pomiary na dobę, dla stacji synoptycznych – 24 pomiary na dobę
19. Dominujący kierunek wiatru (skala 8-kierunkowa) w poszczególnych miesiącach wielolecia 1995-2019 w województwie podlaskim
20. Średnia miesięczna częstość wiatru (A) z określonego kierunku na stacjach pomiarów anemometrycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019
21. Średnia miesięczna prędkość wiatru ( $m \cdot s^{-1}$ ) (na wysokości wiatromierza) na wybranych stacjach meteorologicznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019
22. Częstość (%) pomiarów występowania ciszy atmosferycznej w latach 1995-2019 w województwie podlaskim; pogrubione wartości – maksymalne dla stacji
23. Średni roczny udział (%) rodzaju wiatru w czterech stacjach pomiarowych IMGW – PIB województwa podlaskiego w latach 1995-2019
24. Trąby powietrzne odnotowane w województwie podlaskim w latach 1995-2019 według danych ESWD ([www.essl.org](http://www.essl.org))
25. Wieloletnia zmienność średniej rocznej prężności pary wodnej (e) w powietrzu oraz jego współczynnik zmienności (V) w latach 1995-2019
26. Średnia miesięczna wilgotność powietrza na stacjach pomiarowych IMGW – PIB w latach 1995-2019
27. Średnie miesięczne i roczne parowanie terenowe (mm) oraz zakres współczynników zmienności (V%) w wybranych stacjach pomiarowych IMGW – PIB w latach 1995-2019
28. Średnie sumy opadów (mm) miesięcznych oraz minimalne i maksymalne sumy opadów miesięcznych i dobowych na 38 stacjach pomiarowych IMGW – PIB w województwie podlaskim w latach 1995-2019
29. Średnie miesięczne sumy opadów w głównych regionach fizjograficznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019; n – liczba stacji
30. Średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych w latach 1995-2019 w województwie podlaskim i kilku wybranych stacjach synoptycznych Pol-

- ski; dane wyliczone na podstawie danych publicznych udostępnionych przez IMGW – PIB (dostęp online: 4.03.2021), pogrubiona czcionka – średnie wartości minimalne i maksymalne
31. Opadowe wskaźniki klimatyczne w regionach geograficznych województwa podlaskiego w latach 1995-2016; Pw/Pj – stosunek opadów wiosny do opadów jesieni, Pz/PI – stosunek opadów zimowych (grudzień – luty) do opadów jesieni
  32. Dni bezopadowe i z opadami na stacjach synoptycznych województwa podlaskiego w latach 1995-2019
  33. Średnia liczba dni z opadem deszczu i śniegu ( $\geq 0,1$  mm) oraz ich udział w sumie opadów w wybranych miejscowościach województwa podlaskiego w latach 1995-2019
  34. Średni miesięczny udział dni z opadem atmosferycznym ( $\geq 0,1$ mm) w latach 1995-2019
  35. Średnia liczba dni z różnymi formami opadu atmosferycznego w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
  36. Średni czas trwania opadów atmosferycznych i deszczu w ciągu roku w wybranych miejscowościach Polski w latach 1995-2019 (obliczenia własne na podstawie danych IMGW – PIB zestawionych na stronie [www.meteomodel.pl](http://www.meteomodel.pl))
  37. Porównanie rocznej i sezonowej obfitości opadów w Białymstoku i Suwałkach dwóch okresach badawczych; dane z lat 1958-2008, według Kożuchowskiego (2015)
  38. Sezonowe zróżnicowanie częstości (%) opadu dobowego o różnej wysokości w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
  39. Średnia miesięczna liczba dni z opadem śniegu (opad  $> 0,1$  mm) sezonu zimowego w województwie podlaskim w latach 1995-2019
  40. Porównanie średniej obfitości opadu deszczu i śniegu na stacjach pomiarowych IMGW – PIB w województwie podlaskim w latach 1995-2019
  41. Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną w województwie podlaskim w latach 1995-2019
  42. Maksymalna wysokość pokrywy śnieżnej zanotowana w województwie podlaskim w latach 1995-2019; wartości min. i max. dla sezonu

43. Średnia wysokość (cm) i liczba miesięcy (n) z pokrywą śnieżną w 25 sezonach zimowych 1995-2019 w Białymstoku i Suwałkach (od października 1994 do maja 2019)
44. Średnia miesięczna liczba dni z mgłą w Białymstoku i Suwałkach latach 1995-2019
45. Średnia miesięczna liczba dni z burzą, gradem i gołoledzią w Białymstoku i Suwałkach latach 1995-2019
46. Średnia miesięczna liczba dni z rosą, szronem i szadzią w Białymstoku i Suwałkach latach 1995-2019
47. Czas trwania i charakterystyczne daty sezonu wegetacyjnego w województwie podlaskim w latach 1995-2019
48. Średnia roczna suma temperatury efektywnej ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) na stacjach pomiarowych województwa podlaskiego w latach 1995-2019 i w wybranych miejscowościach w Polsce
49. Minimalna, absolutna temperatura powietrza przy gruncie zanotowana na stacjach pomiarowych województwa podlaskiego w latach 1995-2019
50. Średni miesięczny udział (%) dni z temperaturą minimalną przy gruncie poniżej  $0^{\circ}\text{C}$  w latach 1995-2019, w cieplej porze roku w województwie podlaskim
51. Daty okresu bez przymrozków i z umiarkowanymi przymrozkami na stacjach pomiarowych województwa podlaskiego w latach 1995-2019; dla stacji Biebrza – najdłuższy w roku okres bezprzymrozkowy
52. Średnia liczba miesięcy o różnym stopniu niedoboru wilgoci w roku oraz liczba miesięcy (na 25 analizowanych) bardzo suchych i ekstremalnie suchych w województwie podlaskim w okresie 1995-2019
53. Fale upałów w latach 1995-2019 w Białymstoku i Suwałkach (max. temperatura doby  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ , co najmniej 3 kolejne dni)
54. Średnia liczba dni parnych według dwóch kryteriów w Białymstoku i Suwałkach w latach 1995-2019
55. Liczba nocy bardzo ciepłych i tropikalnych w województwie podlaskim w latach 1995-2019 (kryterium temperatury minimalnej)
56. Średnie roczne stężenia pyłu w powietrzu [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] oraz ich odchylenie standardowe (SD – średnie roczne) na stanowiskach Państwowego Monitoringu

Jakości Powietrza w województwie podlaskim; w nawiasach podano okres pomiarowy, PM<sub>2,5</sub> – pył o średnicy mniejszej niż 2,5  $\mu\text{m}$ , PM<sub>10</sub> – pył o średnicy mniejszej niż 10  $\mu\text{m}$ , czas uśredniania 24 godziny, w Borsukowiznie – czas uśredniania 1 godzina

57. Średnie roczne stężenia gazów [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] (czas uśredniania 1 godzina) oraz odchylenie standardowe (SD) na stacjach pomiarowych województwa podlaskiego w latach 2009-2019; źródło danych: [www.gios.pl](http://www.gios.pl)
58. Średnie roczne stężenia analizowanych składników rozpuszczonych w wodzie opadowej w Białymstoku i Suwałkach (2010-2019); EC – przewodność właściwa, TN – całkowity azot, TP – całkowity fosfor, źródło danych: [www.gios.pl](http://www.gios.pl)
59. Średnie (ważone) stężenia wybranych anionów ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) i przewodności właściwej (EC w  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) w wodzie opadowej na stacjach pomiarowych województwa podlaskiego i wybranych miastach Polski w 2019 roku
60. Ładunek [ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ] substancji rozpuszczonych, docierający rocznie z opadami atmosferycznymi w Białymstoku i Suwałkach w latach 2002-2019, według danych GIOŚ; pogrubioną czcionką wartości większe niż w okresie wcześniejszym, kursywą – wartości mniejsze
61. Najcieplejsze i najchłodniejsze okresy wiosenne (maj-czerwiec) w XI-XIX wieku w porównaniu do średniej z lat 1961-1990 w Europie Centralnej na podstawie analiz dendroklimatycznych (Büntgen i in. 2013, suplement nr 2)
62. Średnia miesięczna temperatura powietrza w Białymstoku i Suwałkach w trzech przedziałach czasowych w ciągu ostatnich 139 lat (obliczenia własne)
63. Średnia temperatura powietrza na stacjach pomiarowych IMGW – PIB w dwóch okresach 1961-1987 i 1988-2019; a – współczynnik kierunkowy, b – stała,  $r^2$  – współczynnik determinacji
64. Średnia wysokość opadu (mm) w dwóch okresach 1961-1988 i 1989-2019 na stacjach klimatycznych i synoptycznych województwa podlaskiego
65. Największe opady (mm) w ciągu doby zanotowane w województwie podlaskim w sieci pomiarowej IMGW – PIB
66. Średni miesięczny czas (h) występowania wiatru  $>10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  w Białymstoku i Suwałkach na wysokości wiatromierza w latach 1966-2019

67. Zmiany średniej liczby dni w roku ze zjawiskami meteorologicznymi w Białymstoku i Suwałkach od 1966 roku
68. Prognoza średniej rocznej temperatury powietrza w Białymstoku i Suwałkach dekadami XXI wieku według dwóch scenariuszy w ramach projektu KLIMADA
69. Prognoza średniej rocznej temperatury powietrza w styczniu i lipcu w Białymstoku i Suwałkach dekadami XXI wieku w scenariuszu RCP8.5 w ramach projektu KLIMADA
70. Prognoza średniej rocznej sumy opadów atmosferycznych w Białymstoku i Suwałkach dekadami XXI wieku w scenariuszu RCP8.5 z projektu KLIMADA

Tabela w załączniku I. Średnie roczne, maksymalne opady roczne, miesięczne i dobowe (mm) na stacjach pomiarowych IMGW – PIB w latach 1995-2019, czcionka pochyła – stacje położone poza województwem podlaskim

