

Synoptyczne uwarunkowania intensywne opadów śniegu w wybranych regionach Europy

*Synoptic conditions underpinning intensive snowfalls
in selected regions of Europe*

ARKADIUSZ MAREK TOMCZYK, EWA BEDNORZ

Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
61-680 Poznań, ul. Dziegielowa 27, atomczyk@amu.edu.pl

Zarys treści. Celem pracy jest określenie sytuacji synoptycznych powodujących intensywne opady śniegu w wybranych regionach Europy. W analizie uwzględniono trzy stacje reprezentujące regiony o różnych warunkach klimatycznych zim. Warunki synoptyczne scharakteryzowano na podstawie ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza, wysokości powierzchni izobarycznej 500 hPa oraz temperatury powietrza na poziomie izobarycznym 850 hPa. Typową sytuacją powodującą intensywne opady śniegu w analizowanych regionach są ujemne anomalie zarówno ciśnienia, jak i powierzchni izobarycznej 500 hPa, co wskazuje na obecność układów niskiego ciśnienia.

Słowa kluczowe: Europa, pokrywa śnieżna, cyrkulacja, warunki synoptyczne.

Wstęp

Pierwsze badania dotyczące zalegania pokrywy śnieżnej dotyczyły krajów, w których szata śnieżna występuje przez długie miesiące zimowe, m.in. Rosji, Finlandii (Kosińska-Bartnicka, 1924). W Europie występowanie pokrywy śnieżnej oraz synoptyczne uwarunkowanie obfitych opadów śniegu analizowano w skali krajów i regionów. T. Andersson i N. Gustafsson (1993) określili warunki synoptyczne powodujące obfite opady śniegu na wschodnim wybrzeżu Szwecji, a E. Bednorz (2009) wyznaczyła warunki baryczne sprzyjające intensywnym opadom śniegu na nizinach Europy Środkowej. Z kolei w Austrii synoptyczną klasyfikację śnieżyc przeprowadził G. Spreitzhofer (1999). Na przykładzie danych ze Smoleńska, Bednorz (2013) ustaliła synoptyczne uwarunkowania śnieżyc w Europie Wschodniej, natomiast dla Europy Południowej – na przy-

kładzie obserwacji z Budapesztu (Bednorz, 2008). Wieloletnie zmiany grubości pokrywy śnieżnej w Europie Wschodniej były również przedmiotem publikacji E. Bednorz i T. Kossowskiego (2004). W Polsce badano także synoptyczne uwarunkowania trwałości pokrywy śnieżnej za pomocą wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (North Atlantic Oscillation – NAO). Badania potwierdziły istotną statystycznie zależność pomiędzy liczbą dni z pokrywą śnieżną a indeksem NAO (Bednorz, 2002; Falarz, 2002, 2007). Poważne społeczne i ekonomiczne skutki obfitych opadów śniegu są uzasadnieniem badania ich synoptycznych przyczyn. Uzyskane wyniki mogą być pomocne w przewidywaniu analizowanych zjawisk pogodowych (Bednorz, 2011).

W kształtowaniu klimatu Europy dużą rolę odgrywają czynniki cyrkulacyjne, głównie częstość napływu określonych rodzajów mas powietrza (Więclaw, 2010). Najważniejszymi stałymi centrami barycznymi kształtującymi pogodę i klimat Europy są Niż Islandzki oraz Wyż Azorski. W mniejszym stopniu i okresowo zaznacza się wpływ Wyżu Azjatyckiego (Syberyjskiego) zimą, a Nizu Południowoazjatyckiego latem (Woś, 2010).

Za cel pracy przyjęto ustalenie sytuacji synoptycznych determinujących obfite opady śniegu w wybranych regionach Europy.

Materiał źródłowy i metody badań

W niniejszej pracy przeprowadzono analizę synoptycznych uwarunkowań dobowego przyrostu pokrywy śnieżnej >10 cm w trzech stacjach: Belgrad (Serbia), Suwałki (Polska) i Ubachsberg (Holandia) (tab. 1). Wybrane stacje są od siebie znacząco oddalone i reprezentują regiony o różnych warunkach klimatycznych zim, dlatego oczekiwano, że uzyskane typy cyrkulacji będą się znacząco od siebie różnić. W pracy celowo pominięto obszary górskie, gdyż wymagają odmiennej procedury metodologicznej ze względu na swą specyfikę klimatyczną (Woś, 1999). Zgodnie z klasyfikacją klimatów Köppena-Geigera (Kottek i inni, 2006), powyższe stacje zostały zakwalifikowane do 2 typów: Belgrad i Ubachsberg – Cfb (klimat oceaniczny), Suwałki – Dfb (klimat kontynentalny z ciepłym latem).

Tabela 1. Położenie geograficzne analizowanych stacji
Locations of the stations analysed

Stacja <i>Station</i>	Szerokość geograficzna φ	Długość geograficzna λ	Wysokość n.p.m. <i>High a.s.l.</i>
Belgrad	44°48'N	20°28'E	116,5
Suwałki	54°05'N	22°56'E	170
Ubachsberg	50°51'N	05°55'E	175

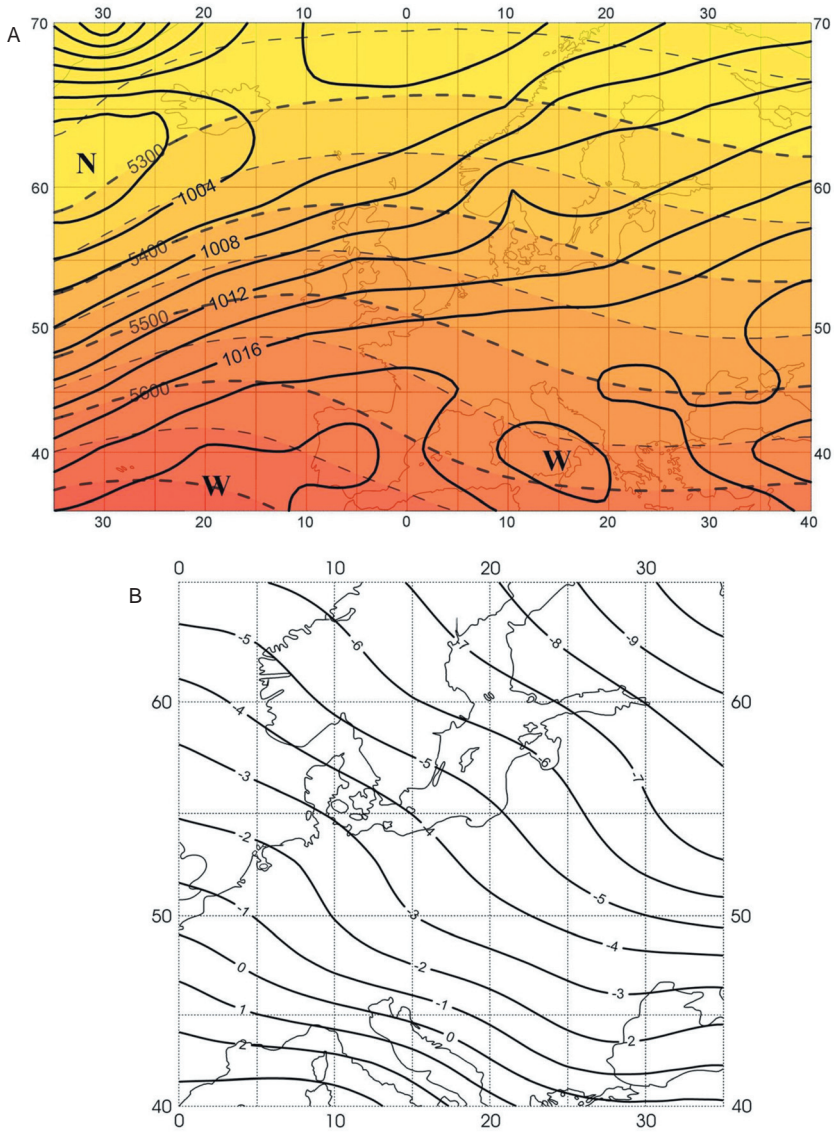
W opracowaniu wykorzystano codzienne dane dotyczące grubości pokrywy śnieżnej z dwóch stacji (Suwałki, Ubachsberg) z 30 sezonów zimowych od 1980/1981 do 2009/2010 oraz z 24 sezonów od 1980/1981 do 2003/2004 dla stacji w Belgradzie. Materiał źródłowy pozyskano ze zbiorów danych European Climate Assessment oraz Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Zmianę grubości pokrywy śnieżnej wyliczono według wzoru: $k_{n+1} - k_n$, gdzie k_n oznacza grubość pokrywy danego dnia, natomiast k_{n+1} grubość pokrywy dnia następnego. Wartość dodatnia oznaczała przyrost pokrywy śnieżnej w ciągu doby, ujemna – spadek grubości pokrywy śnieżnej w ciągu doby, zero – brak zmian grubości pokrywy śnieżnej w ciągu doby. Podobną metodykę określania zmian grubości pokrywy śnieżnej pomiędzy kolejnymi pomiarami przyjęli m.in. M. Nowosad (1992) i E. Bednorz (2008, 2013). Spośród wszystkich dni z przyrostem pokrywy śnieżnej wyselekcjonowano tylko dni z dobowym przyrostem >10 cm, a następnie określono dla nich sytuacje synoptyczne. W niniejszej pracy przyrost pokrywy śnieżnej rozumiany jest w uproszczeniu jako opad śniegu, natomiast przyrost pokrywy śnieżnej >10 cm – jako intensywny opad śniegu.

W celu określenia warunków barycznych sprzyjających występowaniu dni z przyrostem pokrywy śnieżnej >10 cm wykorzystano codzienne wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza (SLP) oraz wysokość powierzchni barycznej 500 hPa (z500 hPa), pochodzące ze zbiorów National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) Reanalysis (Kalnay i inni, 1996), które są dostępne w źródłach Climate Research Unit. W opracowaniu wykorzystano wartości w 120 punktach węzłowych siatki geograficznej $5 \times 5^\circ$ dla obszaru $35-70^\circ\text{N}$ szerokości geograficznej, $35^\circ\text{W}-40^\circ\text{E}$ długości geograficznej. Z powyższych baz danych pochodzą również zgridowane wartości temperatury na poziomie izobarycznym 850 hPa (T850). Mapy rozkładu temperatury powietrza na poziomie izobarycznym 850 hPa oparto na siatce geograficznej $2,5 \times 2,5^\circ$ dla obszaru $40-65^\circ\text{N}$ szerokości geograficznej, $0-35^\circ\text{E}$ długości geograficznej. Dodatkowo dla wybranych dni z intensywnymi opadami śniegu wykreślono 30-godzinne trajektorie wsteczne przy użyciu modelu NOAA HYSPLIT. Analiza trajektorii cząstek powietrza pozwala określić obszar źródłowy mas powietrza oraz stanowi uzupełnienie materiału uzyskanego z analizy map synoptycznych.

Wyniki

Średnie ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza w latach 1980-2010 zimą (XII-III) osiągało najwyższe wartości w rejonie Wysp Azorskich (>1020 hPa) (ryc. 1A). Spadek ciśnienia następował w kierunku północnym, a centrum niżu zlokalizowane było nad północnym Atlantykiem, na południowy zachód od Islandii (<1002 hPa). Nad oceanem, pomiędzy wskazanymi centrami barycznymi występował duży poziomy gradient baryczny, natomiast nad kontynentem był on



Ryc. 1. Średnie dla zimy (grudzień-marzec): A – ciśnienie na poziomie morza w hPa i wysokość powierzchni izobarycznej 500 hPa w m; B – temperatura powietrza na powierzchni izobarycznej 850 hPa w °C

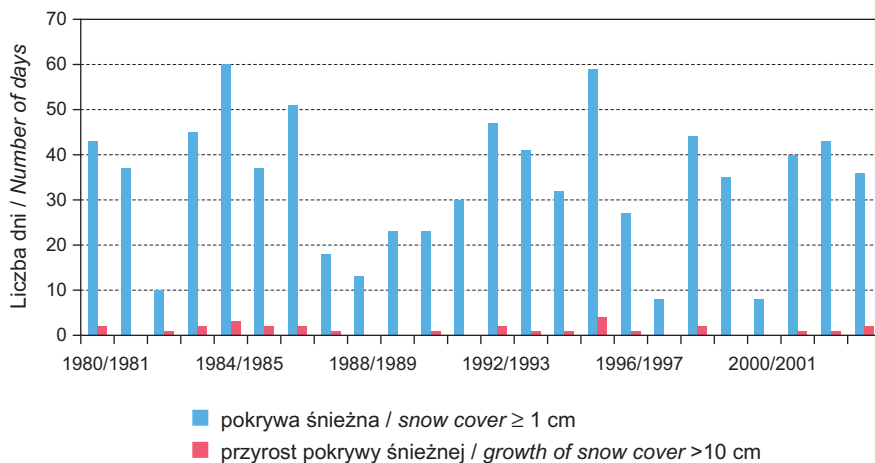
Opracowanie własne na podstawie danych NCEP/NCAR.

Winter (December-March) means for: A – pressure at sea level in hPa and height of the 500 hPa isobaric area in m; and B – air temperature of the 850 hPa isobaric area in °C

Own compilation based on NCEP/NCAR data.

znacząco mniejszy. Zimą uśredniona powierzchnia izobaryczna 500 hPa nachylna była w kierunku północnym. Maksimum wysokości odnotowano nad Wyspami Azorskimi (>5700 m), natomiast minimum – nad północnym Atlantykiem i północną Skandynawią (<5250 m). Średnia temperatura na powierzchni izobarycznej 850 hPa malała z południowego zachodu na północny wschód (ryc. 1B).

W analizowanym okresie w Belgradzie średnio każdej zimy notowano 34 dni z pokrywą śnieżną o grubości ≥ 1 cm. W poszczególnych sezonach ich liczba wahała się od 8 (1997/1998, 2000/2001) do 60 (1984/1985). Z kolei przyrost pokrywy śnieżnej rozumiany w niniejszej pracy jako opad śniegu występował średnio przez 12 dni w zimie. Spośród dni z przyrostem pokrywy śnieżnej ≥ 1 cm, wyselekcjonowano dni z intensywnymi opadami śniegu (przyrost >10 cm). W analizowanym okresie powyższe kryterium spełniało 29 dni (ryc. 2). Ich liczba w poszczególnych latach zmieniała się od 0 (1981/1982, 1988/1989, 1989/1990, 1991/1992, 1997/1998, 1999/2000, 2000/2001) do 4 (1995/1996). Dni z przyrostem pokrywy śnieżnej >10 cm występowały od listopada do marca, ale najwięcej notowano ich w grudniu oraz w lutym.



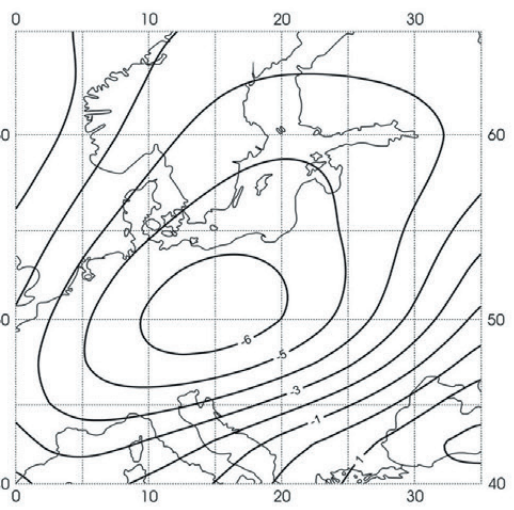
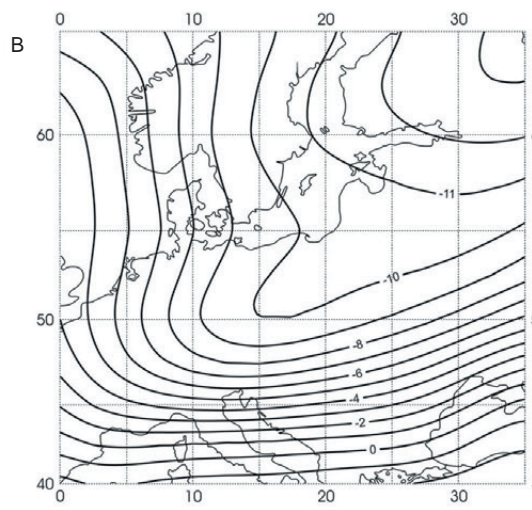
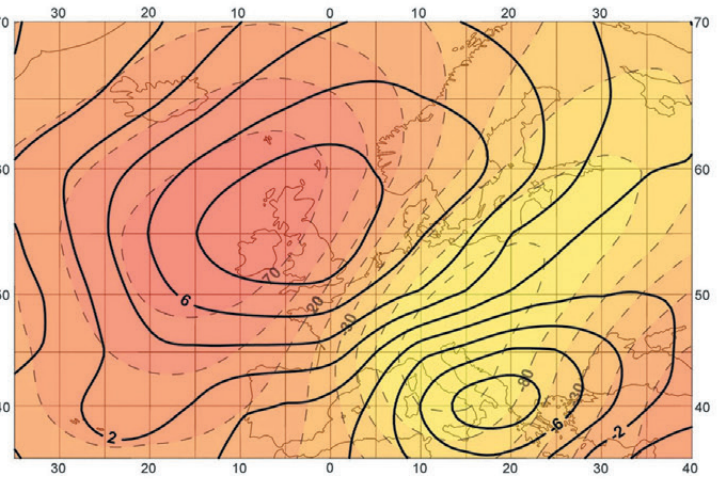
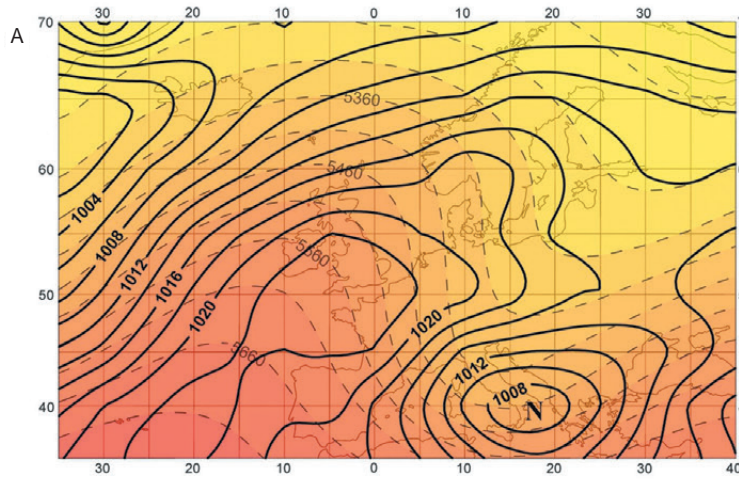
Ryc. 2. Liczba dni z pokrywą śnieżną (≥ 1 cm) oraz dni z przyrostem pokrywy śnieżnej >10 cm w Belgradzie

Opracowanie własne na podstawie danych ECA.

Number of days in Belgrade (Serbia), with snow cover of ≥ 1 cm and with an increase in snow cover >10 cm

Authors' own compilation based on ECA data.

Intensywne opadu śniegu w Belgradzie były związane z obecnością układu niskiego ciśnienia, z centrum zlokalizowanym nad południowym skrajem Półwyspu Apenińskiego (<1008 hPa w centrum) (ryc. 3A). Drugi ośrodek



niskiego ciśnienia zlokalizowany nad północnym Atlantykiem był nieznacznie słabszy niż przeciętnie, a dodatkowo anomalie nad północnym Atlantykiem osiągały 2 hPa. Powyższe układy niskiego ciśnienia rozdzielał klin wysokiego ciśnienia, sięgający na północy Półwyspu Skandynawskiego. Nad południową Europą wykazano ujemne anomalie SLP z centrum nad południowym skrajem Półwyspu Apenińskiego (do <-8 hPa). Z kolei nad środkową, północną i zachodnią Europą stwierdzono dodatnie anomalie ciśnienia na poziomie morza, z centrum nad Wyspami Brytyjskimi (>8 hPa). Powierzchnia izobaryczna 500 hPa nachylona była w kierunku północno-wschodnim. Izohipsy nad oceanem wygięte były łukiem na północny wschód, natomiast nad lądem – na południowy zachód. Anomalie wysokości powierzchni izobarycznej 500 hPa, przebiegały podobnie jak anomalie ciśnienia na poziomie morza, z niewielkim przesunięciem na północny zachód. Temperatura powierzchni izobarycznej 850 hPa malała w kierunku północno-wschodnim (ryc. 3B). Nad Półwyspem Bałkańskim i Apenińskim występował duży poziomy gradient temperatury, który malał w kierunku północno-wschodnim. Tylko nad południowym skrajem Półwyspu Bałkańskiego odnotowano dodatnią anomalię T850. Z kolei najniższą ujemną anomalię odnotowano w Europie Środkowej ($<-6^{\circ}\text{C}$), z centrum nad Polską i Niemcami. Taki układ powodował napływ nad Półwysep Bałkański wilgotnych mas powietrza znad Morza Śródziemnego. 30-godzinne trajektorie wsteczne wykreślone dla wybranych dni (25.12.1982 – 17 cm, 9.01.1984 – 13 cm) także wskazują na transport wilgotnych mas powietrza znad Morza Śródziemnego (ryc. 4).

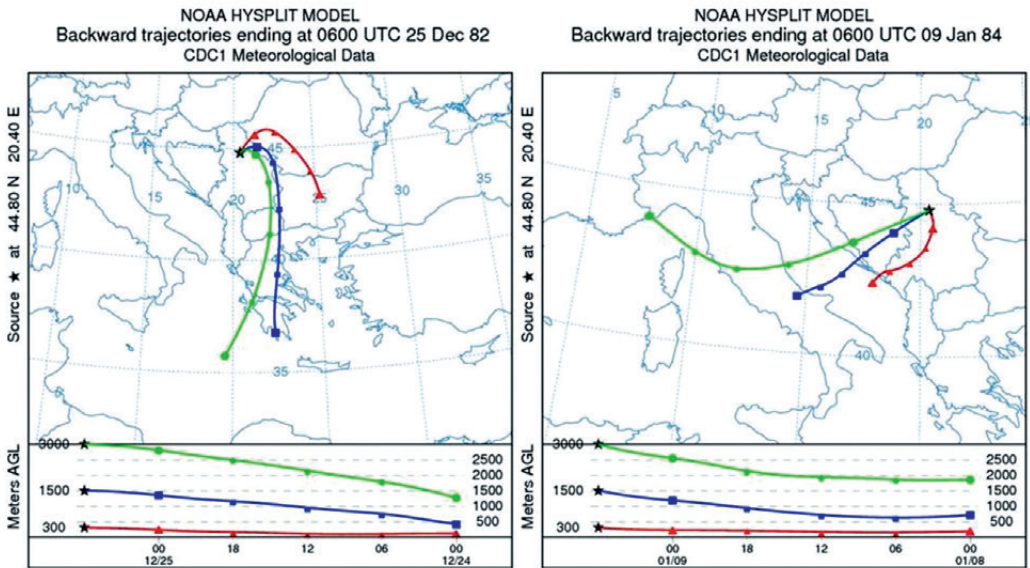
W Suwałkach w badanym wieloleciu przeciętnie zimą notowano 83 dni z pokrywą śnieżną o grubości ≥ 1 cm. Najwięcej takich dni zanotowano zimą 1995/1996, aż 143, a najmniej w sezonie 1991/1992 – zaledwie 37 (ryc. 5). Z kolei średnia roczna liczba dni z przyrostem pokrywy śnieżnej ≥ 1 cm wynosiła 26. Spośród 786 dni z opadem śniegu, zaledwie w 24 wystąpił przyrost pokrywy śnieżnej >10 cm. Wzrost liczby dni z intensywnym opadem śniegu nastąpił w latach 1990. oraz w pierwszej dekadzie XXI wieku (ryc. 5). Najwięcej dni powyższej kategorii odnotowano w sezonach 2000/2001 oraz 2004/2005 (po 3 dni). Opady śniegu powyżej >10 cm występowały od listopada do kwietnia, najczęściej w grudniu oraz w lutym.

Ryc. 3. Ciśnienie na poziomie morza i wysokość powierzchni izobarycznej 500 hPa (A), temperatura na powierzchni izobarycznej 850 hPa (B) dla dni z przyrostem pokrywy śnieżnej >10 cm w Belgradzie oraz mapy anomalii (prawa strona)

Opracowanie własne na podstawie danych NCEP/NCAR.

Pressure at sea level and height of the 500 hPa isobaric area (A), as well as temperature of the 850 hPa isobaric area (B) for days with increases in snow depth >10 cm in Belgrade, plus maps of anomalies (right side)

Own compilation based on NCEP/NCAR data.

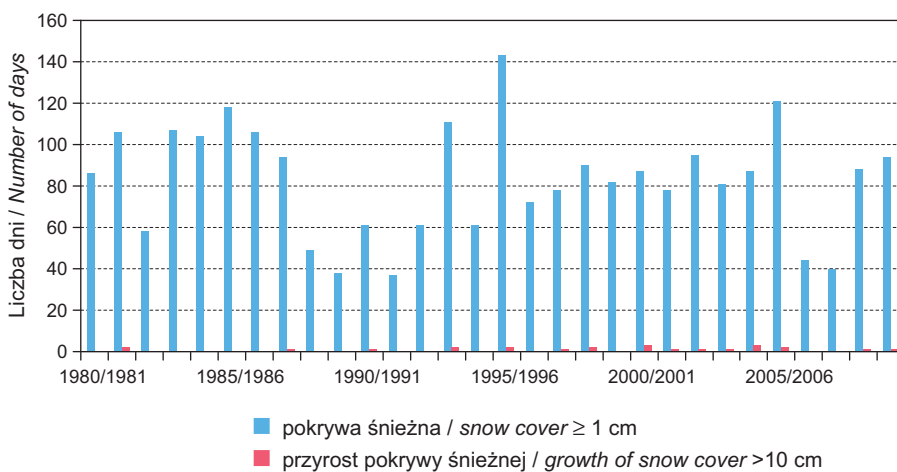


Ryc. 4. 30-godzinne trajektorie wsteczne wykreślone dla wybranych dni w Belgradzie (25.12.1982 – 17 cm, 9.01.1984 – 13 cm)

30-hour retrospective trajectories for selected days in Belgrade (25.12.1982 – 17 cm, 9.01.1984 – 13 cm)

Źródło / Source: model HYSPLIT (www.arl.noaa.gov).

Występowanie intensywnych opadów śniegu w analizowanej stacji przeciętnie związane było z obecnością układu niskiego ciśnienia z centrum nad obwodem kaliningradzkim (<1007 hPa) (ryc. 6A). Europa Zachodnia pozostawała pod wpływem klina Wyżu Azorskiego. Niż Islandzki był słabszy niż przeciętnie w sezonie zimowym, a dodatnie anomalie ciśnienia na poziomie morza nad północnym Atlantykiem sięgały >9 hPa. Ujemne anomalie SLP stwierdzono nad środkową, południową i zachodnią Europą z centrum nad wschodnią Polską (<-7 hPa). Powierzchnia izobaryczna 500 hPa nachylona była w kierunku północno-wschodnim. Nad kontynentem izohipsy wygięte były łukiem na południe, natomiast nad lądem na północ. Nad środkową Europą stwierdzono ujemne anomalie $z500$ hPa, z centrum na północną Polskę oraz południowym Bałtykiem (<-95 m). Ujemne anomalie T850 występowały nad środkową, zachodnią oraz północną Europą, z centrum nad Półwyspem Jutlandzkim ($<-3,5^{\circ}\text{C}$) (ryc. 6B). Opisana sytuacja baryczna powodowała napływ nad północno-wschodnią Polskę wilgotnych i chłodnych mas powietrza z nad północnego Atlantyku, co potwierdziły również wykreślone trajektorie wsteczne (24.01.1994 – 14 cm, 3.11.1997 – 17 cm) (ryc. 7).



Ryc. 5. Liczba dni z pokrywą śnieżną oraz dni z przyrostem pokrywy śnieżnej >10 cm w Suwałkach

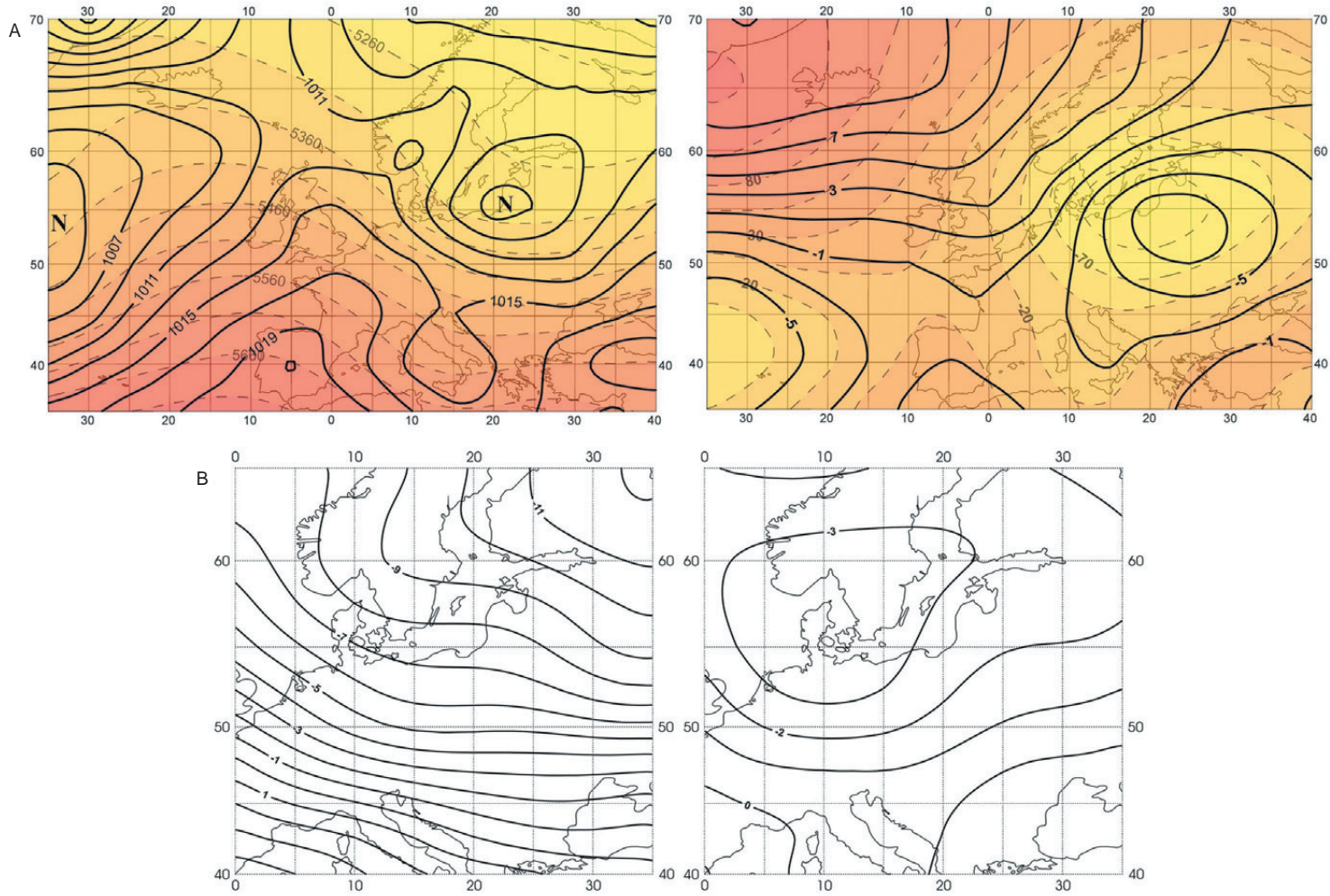
Opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

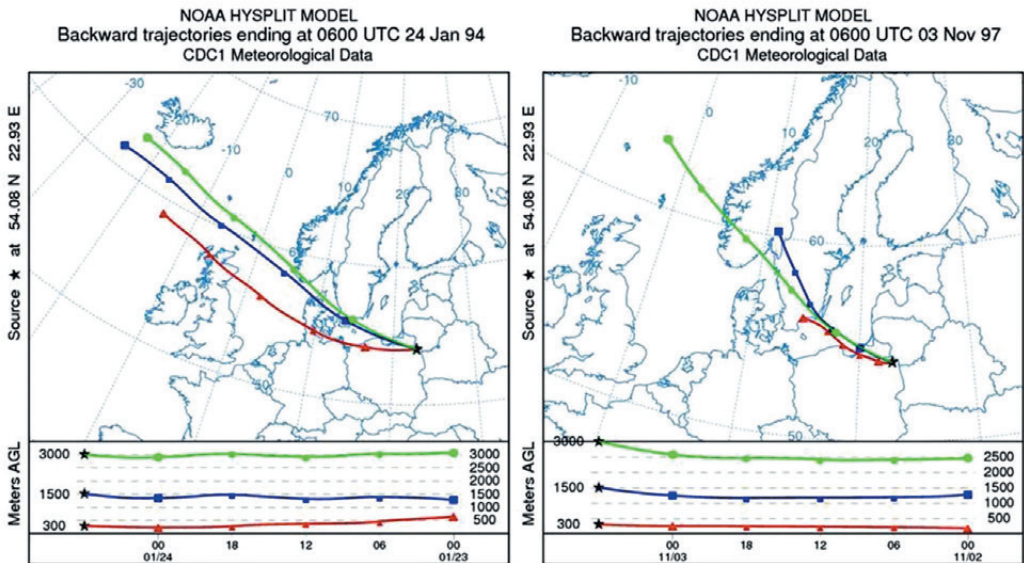
Number of days in Suwałki (Poland), with snow cover ≥ 1 cm and with increases in snow cover >10 cm

Authors' own compilation based on IMGW data.

Pośród analizowanych stacji, Ubachsberg znajduje się pod najsilniejszym wpływem oceanicznym, co istotnie zaznacza się w długości zalegania pokrywy śnieżnej. W badanym trzydziestoleciu przeciętnie każdej zimy notowano 17 dni z pokrywą śnieżną, a najdłużej szata śnieżna zalegała przez 49 dni zimą 2009/2010. Podczas dwóch sezonów zimowych (1988/1989, 1997/1998) nie odnotowano ani jednego dnia z pokrywą śnieżną o miąższości ≥ 1 cm o godzinie 6.00 UTC. W niniejszej stacji przeciętnie w sezonie notowano 6 dni z przyrostem pokrywy śnieżnej ≥ 1 cm. W tej stacji w badanym okresie stwierdzono zaledwie 6 dni z opadem śniegu >10 cm, z tego cztery w latach 1980. (ryc. 8).

Występowanie obfitych opadów śniegu w analizowanej stacji wiązało się z obecnością nad Europą rozległej zatoki niskiego ciśnienia z lokalnym niżem z centrum nad zachodnimi Niemcami (<1002 hPa) (ryc. 9A). Taki układ ciśnienia powodował napływ wilgotnych i chłodnych mas powietrza z północy w dolnej troposferze. Z kolei w średniej troposferze występował napływ mas powietrza z północnego zachodu, na co wskazują izohipsy powierzchni izobarycznej 500 hPa. Ujemne anomalie SLP występowały nad całą Europą, a ich centrum lokowało się nad Niemcami (<-16 hPa). Jednocześnie Niż Islandzki był słabszy niż przeciętnie w chłodniej porze roku, a dodatkowo anomalie ciśnienia na





Ryc. 7. 30-godzinne trajektorie wsteczne wykreślone dla wybranych dni (24.01.1994 – 14 cm, 3.11.1997 – 17 cm) w Suwałkach

30-hour retrospective trajectories for selected days in Suwałki (25.12.1982 – 17 cm, 9.01.1984 – 13 cm)

Źródło / Source: model HYSPLIT (www.arl.noaa.gov)

poziomie morza nad północnym Atlantykiem sięgały >20 hPa. Ujemne anomalie z500 hPa stwierdzono nad całą Europą, z centrum nad Morzem Północnym (<-140 m). Intensywnym opadom śniegu towarzyszyły ujemne anomalie temperatury powierzchni izobarycznej 850 hPa, obejmujące północno-zachodnią część kontynentu ($<-4,5^{\circ}\text{C}$) (ryc. 9B). Powyższy układ potwierdzają także 30-godzinne trajektorie wsteczne wykreślone dla wybranych dni z obfitymi opadami śniegu (16.03.1985 – 15 cm, 22.02.1999 – 15 cm) (ryc. 10).

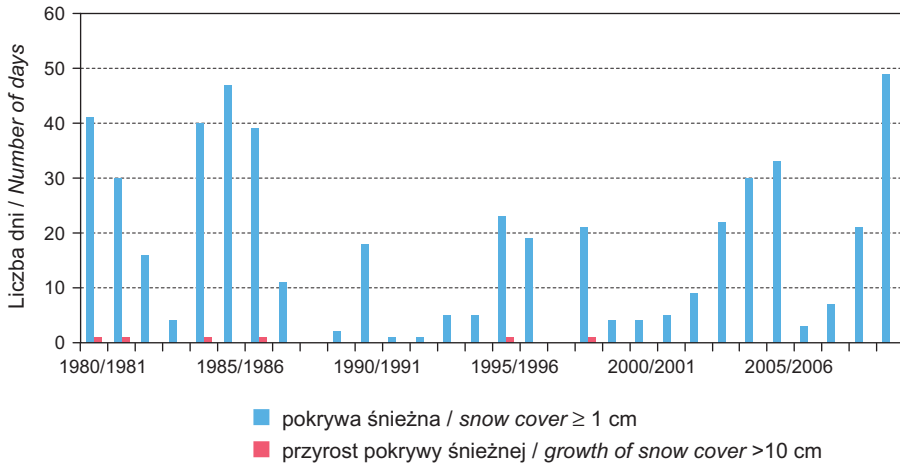


Ryc. 6. Ciśnienie na poziomie morza i wysokość powierzchni izobarycznej 500 hPa (A), temperatura na powierzchni izobarycznej 850 hPa (B) dla dni z przyrostem pokrywy śnieżnej >10 cm w Suwałkach oraz mapy anomalii (prawa strona)

Opracowanie własne na podstawie danych NCEP/NCAR.

Pressure at sea level and height of 500 hPa isobaric area (A), as well as temperature of the 850 hPa isobaric area (B) for days with increases in snow depth >10 cm in Suwałki, plus maps of anomalies (right side)

Authors' own compilation based on NCEP/NCAR data.



Ryc. 8. Liczba dni z pokrywą śnieżną oraz dni z przyrostem pokrywy śnieżnej >10 cm w Ubachsbergu

Opracowanie własne na podstawie danych ECA.

Number of days in Ubachsberg (The Netherlands), with snow cover ≥ 1 cm and with increases in snow cover >10 cm

Authors' own compilation based on ECA data.

Podsumowanie i dyskusja

Spośród analizowanych 3 stacji najdłuższą pokrywą śnieżną zalegała w Suwałkach, a najkrócej w Ubachsbergu. W badanym okresie w każdej stacji odnotowano nieistotny statystycznie spadek liczby dni z pokrywą śnieżną. Tylko w Ubachsbergu odnotowano wzrost liczby dni z przyrostem pokrywy śnieżnej, także nieistotny statystycznie.

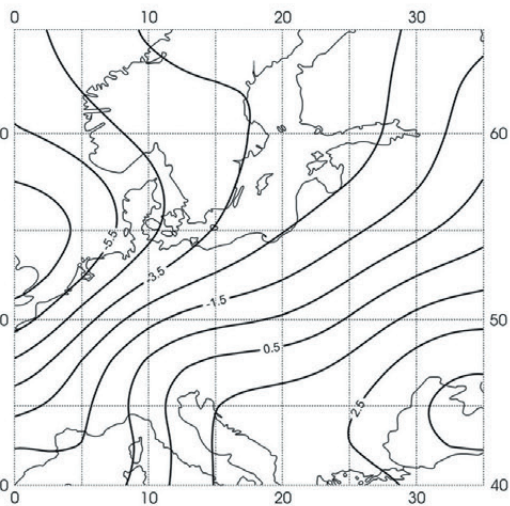
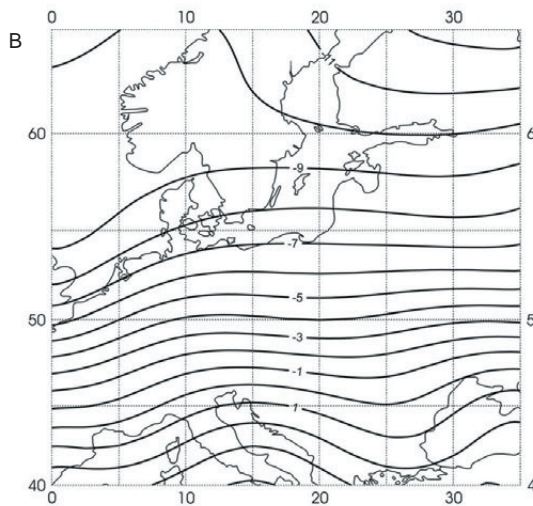
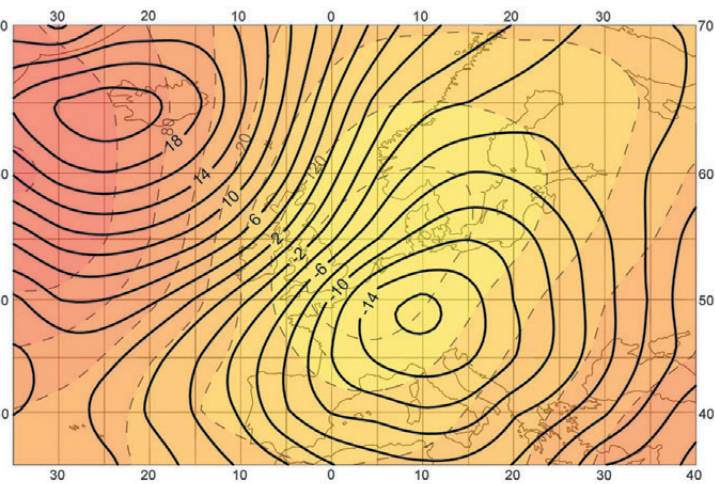
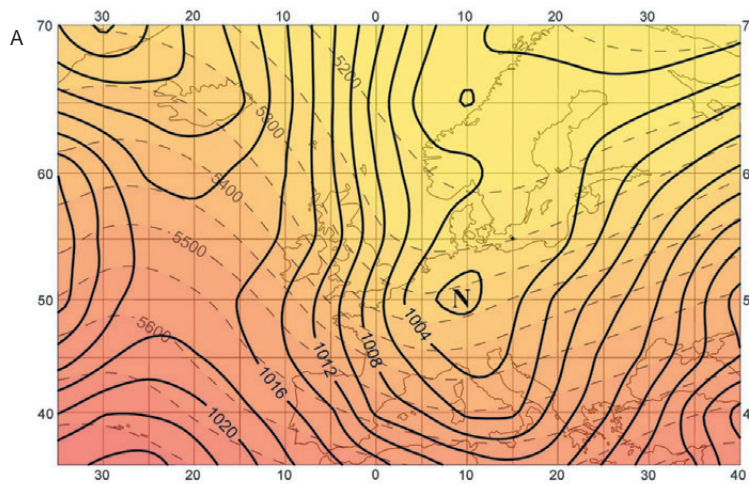
Typową cechą sytuacji synoptycznych powodujących intensywne opady śniegu w Belgradzie były ujemne anomalie SLP oraz obniżenie wysokości powierzchni izobarycznej 500 hPa nad południową Europą, co wskazuje na obecność układów niskiego ciśnienia. Wyniki w niniejszej pracy są zgodne z wcześniej

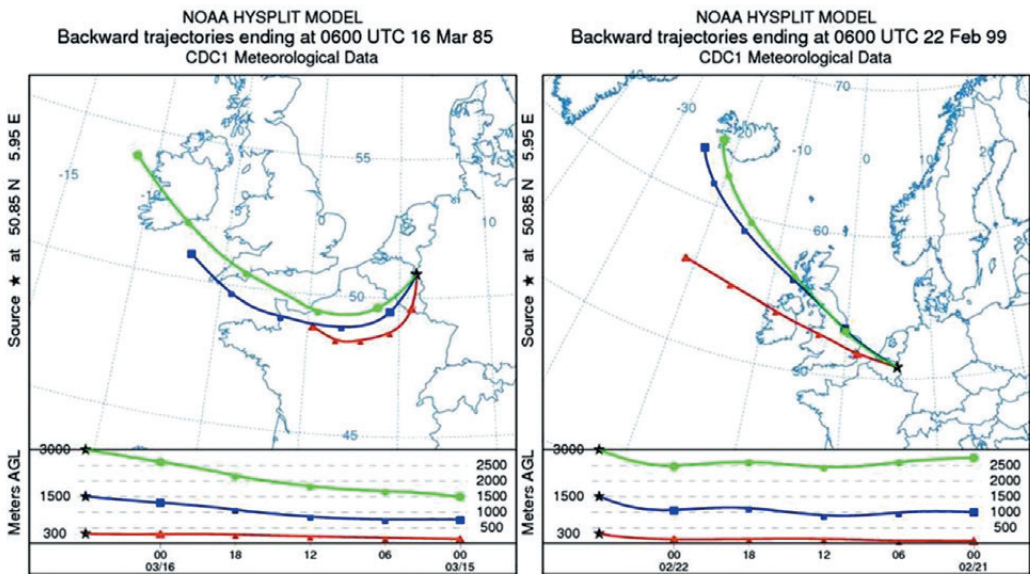
Ryc. 9. Ciśnienie na poziomie morza i wysokość powierzchni izobarycznej 500 hPa (A), temperatura na powierzchni izobarycznej 850 hPa (B) dla dni z przyrostem pokrywy śnieżnej >10 cm w Ubachsbergu oraz mapy anomalii (prawa strona)

Opracowanie własne na podstawie danych NCEP/NCAR.

Pressure at sea level and height of the 500 hPa isobaric area (A), as well as temperature of the 850 hPa isobaric area (B) for days with increases in snow depth >10 cm in Ubachsberg, plus maps of anomalies (right side)

Authors' own compilation based on NCEP/NCAR data.





Ryc. 10. 30-godzinne trajektorie wsteczne wykreślone dla wybranych dni (16.03.1985 – 15 cm, 22.02.1999 – 15 cm) w Ubachsbergu

30-hour retrospective trajectories for selected days in Ubachsberg (25.12.1982 – 17 cm, 9.01.1984 – 13 cm)

Źródło / Source: model HYSPLIT (www.arl.noaa.gov).

uzyskanymi w badaniach przez T. Hirsch i G. Babolcsai (2006) oraz E. Bednorz (2008). Autorzy ci wykazali, że obfite opady śniegu w Budapeszcie związane były z niżami zlokalizowanymi nad południową Europą, głównie w rejonie Basenu Śródziemnomorskiego.

Obfite opady śniegu w Suwałkach związane były z występowaniem układu niskiego ciśnienia z centrum zlokalizowanym nad południowo-wschodnim Bałtykiem. Podobne warunki wyróżniła Bednorz (2009), analizując opady śniegu w nizinnej części Polski. Występowanie intensywnych opadów śniegu w Suwałkach może być związane również z obecnością układu niskiego ciśnienia nad południową Europą, powodującego napływ stosunkowo ciepłego i wilgotnego powietrza z Morza Śródziemnego. Podobne układy baryczne zostały wyznaczone dla intensywnych opadów śniegu w Austrii (Spreitzhofer, 1999).

Sporadyczne opady śniegu >10 cm w Ubachsbergu związane były z rozległą zatoką niskiego ciśnienia, sprowadzającą wilgotne i chłodne masy powietrza z północy i północnego zachodu. Odzwierciedleniem napływu chłodnych mas powietrza są ujemne anomalie T850. Zbliżone wyniki uzyskała E. Bednorz (2013) analizując cyrkulacyjne uwarunkowania śnieżyc w Bremie.

Piśmiennictwo / References

- Andersson T., Gustafsson N., 1993, *Coast of departure and coast of arrival. Two important concepts for the formation and structure of convective snowbands over seas and lakes*, Monthly Weather Review, 122, s. 1036-1049.
- Bednorz E., 2002, *Snow cover in western Poland and macro-scale circulation conditions*, International Journal of Climatology, 22, s. 533-541.
- Bednorz E., 2008, *Synoptic conditions of snow occurrence in Budapest*, Meteorologische Zeitschrift, 17, 1, s. 39-45.
- Bednorz E., 2009, *Wpływ sytuacji barycznych na występowanie pokrywy śnieżnej na obszarach nizinnych środkowej Europy*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Bednorz E., 2011, *Synoptic conditions of heavy snowstorms in Europe*, [w:] *6th European Conference on Severe Storms, Palma de Mallorca, 3-7.10.2011*; //www.essl.org/ECSS/2011/programme/abstracts/149.pdf (26.08.2011).
- Bednorz E., 2013, *Synoptic conditions of heavy snowfalls in Europe*, Geografiska Annaler: Seria A, Physical Geography, 95, s. 67-78.
- Bednorz E., Kossowski T., 2004, *Long-term changes in snow cover depth in eastern Europe*, Climate Research, 27, s. 231-236.
- Falarz M., 2002, *Wieloletnia zmienność pokrywy śnieżnej w Polsce na tle zmian cyrkulacyjnych, termicznych, i opadowych*, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, maszynopis.
- Falarz M., 2007, *Snow cover variability in Poland in relation to the macro- and mesoscale atmospheric circulation in the twentieth century*, International Journal of Climatology, 27, s. 2069-2081.
- Hirsch T., Babolcsai G., 2006, *Characteristic and synoptic classification of heavy snowfall events in Budapest for the period 1953-2003 Part II*. IDOJARAS Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service, 110, 2, s. 155-173.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D., 1996, *The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project*, Bulletin of the American Meteorological Society, 77, s. 437-471.
- Kosińska-Bartnicka S., 1924, *Uśnieżenie w Polsce zimą 1923/24 r.*, Czasopismo Geograficzne, s. 393-406.
- Kottke M., Grieser J., Beck Ch., Rudolf B., Rubel F., 2006, *World map of Köppen-Geiger climate classification updated*, Meteorologische Zeitschrift, 15, s. 259-265.
- Nowosad M., 1992, *The Dynamics of Snow Cover Depth Depending on the Types of Atmospheric Circulation on the Example of the Bieszczady Mountains*, Maria Skłodowska University Press, Lublin.
- Spreitzhofer G., 1999, *Synoptic classification of severe snowstorms over Austria*, Meteorologische Zeitschrift, 8, s. 3-15.
- Więclaw M., 2010, *Przestrzenne i sezonowe zróżnicowanie częstości występowania mas powietrza w Europie Środkowej w latach 1996-2005*, [w:] *Klimat Polski na tle klimatu Europy*, red. L. Kolendowicz, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 9-21.
- Woś A., 1999, *Klimat Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Woś A., 2010, *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.

[Wpłynęło: październik 2013; poprawiono: styczeń 2014 r.]

ARKADIUSZ MAREK TOMCZYK, EWA BEDNORZ

SYNOPTIC CONDITIONS UNDERPINNING INTENSIVE SNOWFALLS
IN SELECTED REGIONS OF EUROPE

The aim of the work described here has been to determine synoptic situations associated with intensive snowfalls in selected regions of Europe. Specifically, an analysis was carried out for three stations representing regions with different climatic conditions in winter. Synoptic conditions were characterized on the basis of atmospheric pressure at sea level, the height of the 500 hPa isobaric area and air temperature at the 850 hPa isobaric level.

Typical features of synoptic situations leading to intensive snowfalls in Belgrade are negative SLP anomalies and a lowering height of the 500 hPa isobaric area over Southern Europe, as indicating the presence of a low-pressure system. Heavy snowfalls in Suwałki, Poland, are in turn associated with the occurrence of a low-pressure system centred on the south-eastern Baltic Sea. Finally, the occasional snowstorms characterising Ubachsberg in The Netherlands are associated with extensive low-pressure troughs that bring in humid and cold air masses from the north and north-west.