

## UWARUNKOWANIA CYRKULACYJNE KONWEKCJI W POŁUDNIOWEJ POLSCE

SZYMON PORĘBA

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej,  
Uniwersytet Jagielloński  
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków

**Abstract:** This work presents the influence of atmospheric circulation on CAPE values over southern Poland. The CAPE index is the one of most commonly used convection indicators. The research was based on a re-analysis from the NCEP/NCAR database, soundings and two atmospheric circulation classifications: Grosswetterlagen and T. Niedźwiedź. The research period included 13 years from 2000 to 2012 during which time the maximum CAPE value reached 3695 J/kg (derived by reanalysis) and almost 4450 J/kg (derived by sounding). According to Grosswetterlagen, the biggest average and maximum CAPE values over southern Poland occurred during three synoptic situations: Trough over Western Europe (TRW), Low over Great Britain (TB), Low over Central Europe (TM)

**Keywords:** atmospheric circulation, convection, CAPE, soundings

### WSTĘP

Konwekcja jest jednym z najbardziej dynamicznych procesów zachodzących w atmosferze. Wymiana ciepła wpływa niemal na wszystkie elementy meteorologiczne. Zgodnie ze *Słownikiem meteorologicznym* (Niedźwiedź 2003) konwekcją nazywamy wszystkie pionowe ruchy powietrza. Wyróżnia się konwekcję swobodną (termiczną), która wywołana jest siłami wyporu oraz konwekcję wymuszoną (dynamiczną), przy której największy wpływ mają siły dynamiczne. Obydwa wymienione typy konwekcji mogą występować jednocześnie. Konwekcja swobodna pojawia się podczas silnej insolacji powodującej nagrzanie się powierzchni czynnej i wznoszenie się powietrza. Konwekcja dynamiczna natomiast jest charakterystyczna dla frontów atmosferycznych lub wymuszania orograficznego.

Wiele elementów i zjawisk meteorologicznych, zwłaszcza te najgwałtowniejsze, są w dużej mierze zależne od konwekcji. Zjawisko to jest często rozpatrywane przede wszystkim z uwagi na jego wpływ na rozwój opadów i burz. Ponadto powoduje zanikanie mgieł, powstawanie chmur, a także różnicuje dyspersję zanieczyszczeń (Rozbicka i in. 2009). Wskaźniki konwekcji pomagają prognozować obszary, w jakich może wystąpić konwekcja. Niektóre z nich stosowane są od przeszło 60 lat (Blanchard 1998). Większość termodynamicznych wskaźników konwekcji opiera się na zawartości wilgoci w dolnej troposferze,

temperaturze powietrza oraz gradiencie temperatury wraz ze wzrostem wysokości (Peppier 1988). W pracy zastosowano termodynamiczny wskaźnik CAPE (Convective Available Potential Energy) określający ilość energii potencjalnie dostępnej konwekcji.

## CEL PRACY I STAN BADAŃ

Praca ma na celu określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na wielkość wskaźnika konwekcji CAPE oraz scharakteryzowanie rozkładu czasowo-przestrzennego tego wskaźnika nad obszarem południowej Polski, obejmującym Karpaty Zachodnie i regiony sąsiednie. Wszystkie badania dotyczą 13-letniego okresu (od roku 2000 do 2012). Opracowano dane dla pór roku, ze szczególnym uwzględnieniem lata, które cechowało się największym zróżnicowaniem wskaźnika CAPE. Główny cel badawczy realizowano na podstawie danych z godziny 12 UTC. Zasadniczym zagadnieniem analiz było sprawdzenie przy jakich typach cyrkulacji atmosferycznej i jakim kierunku adwekcji mas powietrza wskaźnik CAPE osiąga najwyższe wartości. Wyznaczono wartości ekstremalne, dla których z racji dużego zróżnicowania wartości badanego wskaźnika przyjęto dość szerokie kryterium percentyla 90. Zbadano częstość występowania tych wartości w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej.

Cyrkulacja atmosferyczna oraz jej wpływ na pogodę i klimat jest działem badań meteorologii i klimatologii synoptycznej. Tematyka ta została podjęta w szerokim i kompleksowym zakresie przez takich autorów, jak Barry i Perry (1973), Barry i Chorley (1998) oraz Barry i Carleton (2001). Publikacje te stanowią wstęp do wszelkich badań z wymienionej dziedziny, a ponadto zawierają opis konwekcji oraz różnych klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej.

Zależność występowania burz od cyrkulacji atmosferycznej w Polsce badana była m.in. przez Kolendowicza (1996, 2006, 2007), Bielec (2000, 2002) oraz Grabowską (2002, 2011). Badania te opierały się głównie na danych pochodzących ze stacji synoptycznych. Ustrnul i Czekierda (2009) zbadali uwarunkowania cyrkulacyjne ekstremalnie burzowych dni w Polsce, stosując kryterium zanotowania burz na 80% stacji synoptycznych. Stosunkowo dużo publikacji dotyczy cyrkulacyjnych uwarunkowań opadów gradu, jak wiadomo silnie związanych z procesami konwekcyjnymi. Przykładem są publikacje Bielec-Bąkowskiej (2013) oraz Suwały (2014). Coraz częściej w polskiej literaturze pojawiają się publikacje na temat jeszcze groźniejszych zjawisk konwekcyjnych typu tornado lub derecho. Opracowaniami takimi zajmowali się Beblot z zespołem (2008), Popławska i Grabowska (2013), a także Celiński-Mysław i Matuszko (2014). W wielu wymienionych publikacjach pojawiają się wzmianki na temat wskaźników konwekcji, lecz badaniami ich wielkości, rozkładu czasowego i przestrzennego oraz uwarunkowaniami cyrkulacyjnymi zajmowali

się w szczególności: Bąkowski (2005), Siedlecki i Rzepa (2008), Malinowska (2011), Siedlecki (2011), Walawender i in. (2015).

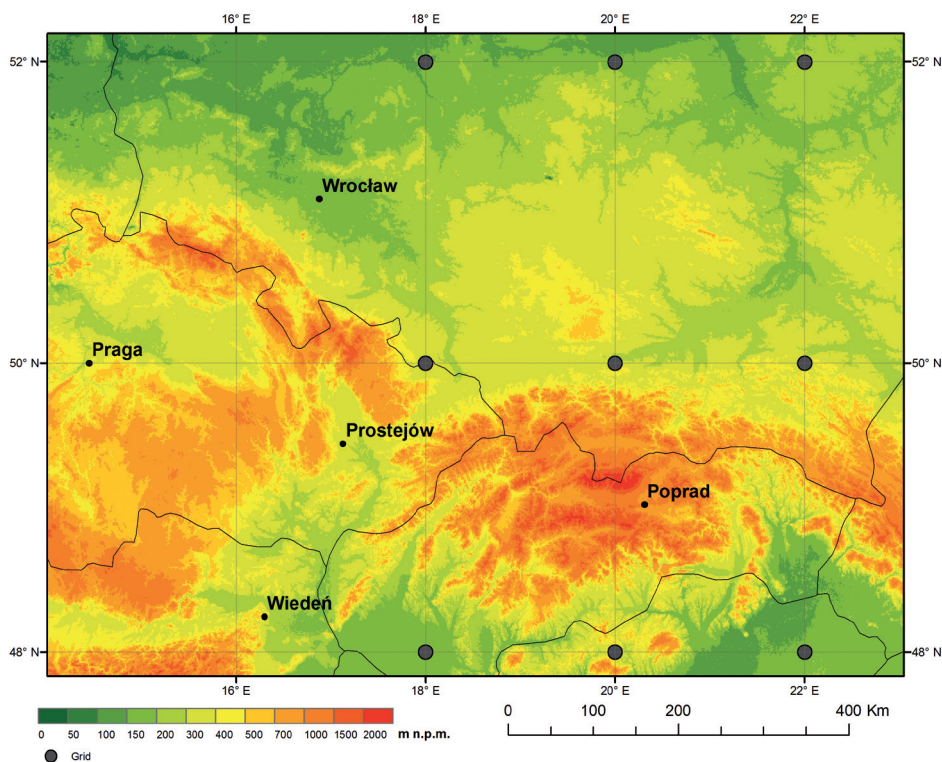
Temat rozkładu i uwarunkowań cyrkulacyjnych wskaźników konwekcji wydaje się dobrze poznany w literaturze anglojęzycznej. Brooks i in. (2003, 2007), Brooks (2013) badali rozkład gwałtownych burz oraz wskaźników konwekcji również przy użyciu reanaliz meteorologicznych. Grünwald i Brooks (2011) porównali wartości wskaźników konwekcji uzyskanych przez pomiar aerologiczny z siłą tornad w Europie. Delden (2001) opracował szczegółowe mapy synoptyczne uwzględniające rozkład m.in. potencjalnej niestabilności atmosfery podczas występowania burz w Europie Zachodniej. Z kolei Holley i in. (2014) badali rozkład wskaźnika CAPE w Wielkiej Brytanii z wykorzystaniem reanaliz.

## OBSZAR BADAŃ

Obszarem badań była wyżynno górską część południowej Polski. Obejmowała ona Karpaty Zachodnie oraz regiony przyległe. Obszar ten charakteryzuje się urozmaiconą rzeźbą terenu. Zaznaczone na mapie (ryc. 1) stacje aerologiczne oraz punkty węzłowe siatki geograficznej (grid) znajdują się na ogół w obszarze wyżynnym. Klimat całego obszaru zakwalifikować można jako umiarkowany przejściowy. Znaczna jego część znajduje się jednak w zasięgu klimatu górskiego. Średnia roczna temperatura powietrza waha się od około 8°C na obszarze południowej Polski po nawet 10°C w Wiedniu. Niższa temperatura występuje na górskim obszarze Karpat (Kozuchowski 2011; Lorenc 2005).

## DANE I METODY BADAŃ

Dane dotyczące wskaźnika CAPE pochodziły z reanaliz meteorologicznych bazy NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction)/(National Center for Atmospheric Research) oraz z pomiarów aerologicznych. Jak wiadomo, reanalizy meteorologiczne powstają w wyniku asymilacji różnorodnych pomiarów atmosfery, zarówno *in situ*, jak i uzyskiwanych za pomocą technik teledetekcyjnych, przy użyciu modeli meteorologicznych (Szot, Kosowski 2014). Wynikiem jest średnia wartość obliczeń pochodząca z wielu modeli. Metoda ta nazywana jest reanalizą wiązek (*ensemble*) i charakteryzuje się dużą dokładnością odwzorowania badanego elementu (Whitaker, Lough 1998). Reanalizy cechują się dobrą rozdzielczością przestrzenną, gdyż informacja o badanym elemencie mieści się we wszystkich równomiernie rozmieszczonych punktach węzłowych siatki geograficznej. Wykorzystane w pracy reanalizy wskaźnika CAPE mają rozdzielczość  $2^\circ \times 2^\circ$  długości i szerokości geograficznej. Wartość



Ryc. 1. Lokalizacja punktów gridowych i stacji aerologicznych na tle rzeźby terenu

Fig. 1. Localization of grids and aerological stations against landform

wskaźnika wyznaczana była dla czterech standardowych dobowych terminów obserwacji meteorologicznych, przy czym wszystkie dalsze obliczenia oparto na wielkości wskaźnika z godziny 12 UTC.

Drugim rodzajem danych były pomiary aerologiczne. Jest to jedyne źródło danych bezpośrednio informujące o warunkach termicznych i wilgotnościowych w pionowym profilu swobodnej atmosfery (Bąkowski 2005). Z oczywistych względów dane te charakteryzują się znacznie gorszą rozdzielczością przestrzenną niż dane z reanaliz. W Polsce pomiary radiosondażowe prowadzone są jedynie we Wrocławiu, Legionowie oraz Łebie. Niejednokrotnie dane te są niekompletne lub błędne. Ze względu na słabą rozdzielczość przestrzenną oraz problem homogeniczności danych pomiary aerologiczne wykorzystane zostały jedynie do wyznaczenia wartości ekstremalnych w postaci percentyla 90. W opracowaniu wykorzystano dane z pięciu stacji aerologicznych: Wrocław, Poprad, Praga, Prostejów oraz Wiedeń. Jak w przypadku reanaliz obliczenia na podstawie danych aerologicznych odniesiono do godziny 12 UTC.

Przedstawione powyżej dane wyjściowe poddane zostały analizie synoptycznej z wykorzystaniem dwóch klasyfikacji typów cyrkulacji atmosferycznej:

Grosswetterlagen oraz T. Niedźwiedzia. Klasyfikacja T. Niedźwiedzia składa się z 21 typów cyrkulacji: 8 typów cyrkulacji cyklonalnych, 8 antycyklonalnych, 4 bez wyraźnej adwekcji (Ka, Ca, Bc, Cc) oraz 1 typ nieokreślony (X) (Niedźwiedź 1981, 2013). Klasyfikacja ta należy do subiektywnych i dotyczy skali lokalnej – dorzecza górnej Wisły, którą można utożsamiać z południową Polską. Drugą zastosowaną klasyfikacją typów cyrkulacji atmosferycznej, która ma na celu ukazanie warunków cyrkulacyjnych nad znaczną częścią Europy Środkowej, jest klasyfikacja Grosswetterlagen. Zawiera 30 typów cyrkulacji: 4 typy cyrkulacji strefowej, 7 mieszanej, 18 południkowej oraz 1 typ nieokreślony lub przejściowy (Hess, Brezowsky 1952; Werner, Gerstengarbe 2010).

Podsumowując, w pracy wykorzystano dane dotyczące wskaźnika CAPE, pochodzące z reanaliz oraz radiosondaży z 13-letniego okresu 2000–2012. Opierano się na wartości wskaźnika z godziny 12 UTC, a obliczenia odniesiono do pór roku. Ocena synoptyczna była dokonana z wykorzystaniem dwóch klasyfikacji typów cyrkulacji atmosferycznej: Grosswetterlagen oraz T. Niedźwiedzia.

## WYNIKI

Zgodnie z przypuszczeniami, obydwa źródła danych dotyczących wskaźnika CAPE potwierdzają występowanie najwyższych średnich oraz maksymalnych wartości badanego wskaźnika w lecie. Zgodnie z danymi z reanaliz, średnia roczna wartość CAPE wyniosła 110 J/kg, natomiast średnia dla lata niemal 300 J/kg. Maksymalna wartość dla całego okresu to 3695 J/kg. Średnia roczna wartość wskaźnika obliczona na podstawie danych aerologicznych to niecałe 50 J/kg, podczas gdy średnia dla lata to niemal 140 J/kg. Maksymalna zanotowana przez pomiar radiosondażowy wartość wskaźnika CAPE to 4439 J/kg (tab. 1).

Na podstawie wstępnych obliczeń oraz literatury uznano, że najistotniejsze zależności badanego wskaźnika występują w lecie, przez co większość dalszych rozważań odnosi się do tej pory roku. Wartości wskaźnika w pozostałych porach roku przedstawione zostały w celu lepszego zrozumienia rocznego rozkładu badanego wskaźnika.

W badanym okresie stwierdza się, iż latem najczęściej występowały cyrkulacje: WZ (19,1%), BM (14,5%), SWZ (10,8%) i TRM (10,2%) zgodnie z klasyfikacją Grosswetterlagen oraz Bc (18,0%) Ka (14,8%) i Wc (9,3%) zgodnie z klasyfikacją T. Niedźwiedzia.

Badania nad ekstremalnymi wartościami wskaźnika CAPE przeprowadzono na podstawie danych aerologicznych. Zastosowano szerokie kryterium percentyla 90. Najwyższą wartość percentyla 90. oraz wartość maksymalną wskaźnika CAPE stwierdzono w Wiedniu. Maksymalnie zanotowano tu ponad 4400 J/kg, natomiast percentyl 90. przekraczał 800 J/kg. We Wrocławiu maksimum wskaźnika CAPE wyniosło ponad 2700 J/kg, na pozostałych stacjach aerologicznych

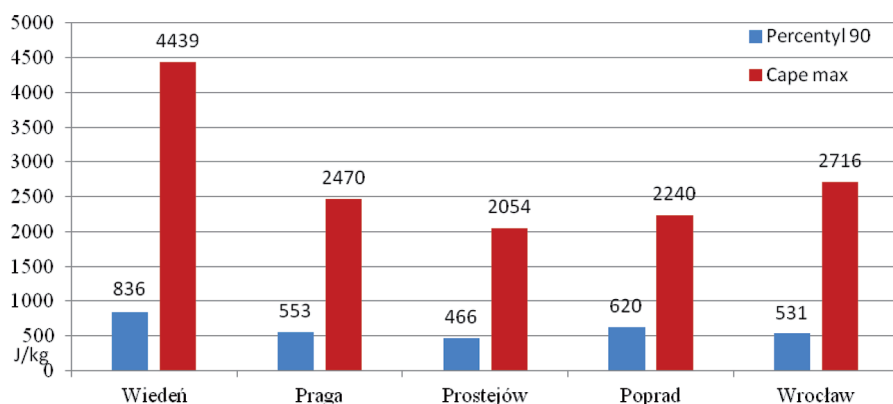
Tabela 1. Średnie i maksymalne wartości wskaźnika CAPE w porach roku na podstawie reanaliz i radiosondaży

Table 1. Average and maximum CAPE values in seasons and year based on reanalysis and soundings

	Zima/Winter	Wiosna/Spring	Lato/Summer	Jesień/Autumn	Rok/Year
Reanalizy/Reanalysis					
Średnia/ Average	12	109	287	28	110
Maks/ Max	260	1 835	3 695	875	3 695
Radiosondaże/Soundings					
Średnia/ Average	2	35	137	14	46
Maks/ Max	257	2 507	4 439	1 317	4 439

wartości maksymalne badanego wskaźnika mieściły się w przedziale 2000–2500 J/kg (ryc. 2). Na podstawie wartości maksymalnych oraz percentyla 90. wskaźnika CAPE stwierdzić można stosunkowo podobne wartości na stacjach w Pradze, Prostejowie, Popradzie oraz Wrocławiu. Istotnie wyższe wartości występowały jedynie w Wiedniu. Wynika to z położenia geograficznego Wiednia – spośród badanych stacji jest najbardziej wysunięty na południe.

W tabeli 2 przedstawione zostały średnie i maksymalne wartości wskaźnika CAPE w porach roku w danych typach cyrkulacji atmosferycznej według klasyfikacji Grosswetterlagen. W tym przyporządkowaniu uwzględniono podział na kierunki adwekcji mas powietrza. Ze względu na zróżnicowaną częstość typów



Ryc. 2. Wartości maksymalne oraz percentyl 90. wskaźnika CAPE na stacjach radiosondażowych  
Fig. 2. Maximum and 90th percentile of CAPE values derived by soundings

Tabela 2. Średnie i maksymalne wartości wskaźnika CAPE [J/kg] w porach roku w typach cyrkulacji klasyfikacji Grosswetterlagen

Table 2. Average and maximum CAPE values [J/kg] in seasons and year in types of atmospheric circulation (according to Grosswetterlagen)

Typy cyrkulacji/ Circulation types	Zima/Winter		Wiosna/Spring		Lato/Summer		Jesień/Autumn		Rok/Year	
	średnia average	maks. max	średnia average	maks. max	średnia average	maks. max	średnia average	maks. max	średnia average	maks. max
WA	7	99	55	672	138	1 562	17	207	51	1 562
WZ	14	259	105	1 494	213	1 999	24	377	99	1 999
WS	9	196	50	907	–	2 051	–	6	78	2 051
WW	6	75	–	39	–	–	13	156	8	156
SWA	3	51	40	538	250	1 767	11	346	49	1 767
SWZ	5	131	156	1 069	358	1 836	28	734	166	1 836
NWA	28	162	65	523	135	1 607	25	249	62	1 607
NWZ	24	207	73	1 220	127	988	48	624	48	1 220
<i>Cyrkulacje zachodnie/ West circulations</i>	12	259	78	1 494	204	2 051	24	734	70	2 051
HM	9	153	75	1 676	156	1 943	14	270	59	1 943
BM	8	135	93	1 833	302	3 003	16	376	115	3 003
<i>Cyrkulacje antycyklonalne/ Anticyclonic circulation</i>	9	153	84	1 833	229	3 003	15	376	87	3 003
TM	–	–	177	951	511	1 912	<b>150</b>	<b>875</b>	<b>346</b>	1 912
NA	25	105	–	85	–	–	–	–	32	105
NZ	<b>29</b>	129	83	346	179	1 067	58	260	77	1 067
HNA	–	107	57	498	32	446	29	494	43	498
HNZ	–	17	122	995	302	1 581	16	205	139	1 581
HB	16	115	28	255	133	1 261	79	470	46	1 261
TRM	12	<b>260</b>	92	908	340	2 431	45	543	135	2 431
<i>Cyrkulacje północne/ North circulations</i>	21	260	93	995	250	2 431	63	543	117	2 431
NEA	7	38	–	1 700	–	579	–	–	152	1 700
NEZ	–	69	–	775	–	2 829	74	502	179	2 829
HFA	7	63	86	790	201	1 486	6	85	92	1 486
HFZ	–	13	–	103	170	985	29	232	79	985
HNFA	–	–	105	1 161	–	–	18	183	75	1 161
HNFZ	8	41	104	676	496	2 337	38	263	238	2 337
SEA	4	52	45	619	–	1 802	11	226	62	1 802
SEZ	6	65	161	1 445	422	1 937	–	120	165	1 937

cd. tab. 2

Cyrkulacje wschodnie/ <i>East circulations</i>	6	69	100	1 700	322	2 829	29	502	130	2 829
SA	–	11	–	576	–	–	6	274	25	576
SZ	–	28	–	636	<b>564</b>	1 808	10	135	174	1 808
TB	–	32	<b>232</b>	<b>1 835</b>	416	2 603	63	600	225	2 603
TRW	10	127	224	1 516	375	<b>3 695</b>	25	629	199	<b>3 695</b>
Cyrkulacje południowe/ <i>South circulations</i>	–	127	228	1 835	452	3 695	26	629	156	3 695
U	14	116	–	827	–	998	–	103	42	998
Ogółem/ <i>Altogether</i>	12	260	101	1 835	287	3 695	34	875	111	3 695

„–” oznacza typy cyrkulacji, które wystąpiły rzadziej niż 10 razy w okresie badań.

„–” stands for circulation types which occurred less than 10 times during research period.

cyrkulacji atmosferycznej w badaniach uwzględniono jedynie te typy cyrkulacji, które wystąpiły przynajmniej 10 razy w badanym wieloleciu. Pozwoliło to uniknąć zbyt wysokich wartości średnich, związanych z niewielką liczbą przypadków. W tabeli 2 i 3 liczby pogrubione oznaczają najwyższe średnie lub maksymalne wartości wskaźnika CAPE w danych porach roku.

W badanym okresie wskaźnik CAPE przyjmował średnio najwyższe wartości w lecie, a najniższe zimą. Wiosną wartość średnia była niemal 3-krotnie wyższa niż jesienią.

Zimą najwyższe średnie wartości wskaźnika CAPE występowały przy cyrkulacji NZ, NWA, NA i NWZ i mieściły się w przedziale 20–30 J/kg. Cyrkulacje z adwekcją powietrza z północy powodowały występowanie najwyższych średnich wartości wskaźnika CAPE. Jest to charakterystyczne dla powietrza arktycznego, którego adwekcja nad obszar Polski wywołuje chwiejność termodynamiczną. Najwyższe wartości wskaźnika CAPE wynosiła niemal 260 J/kg i wystąpiła przy cyrkulacji TRW oraz WZ.

Wiosną wskaźnik CAPE przyjmował średnio 100 J/kg. Najwyższa średnia wartość wskaźnika związana była z typami TB i TRW, przekraczając 220 J/kg. Typy cyrkulacji powodujące adwekcję powietrza z południa charakteryzowały się najwyższymi średnimi wartościami CAPE. Wystąpiło kilka nieznacznie różniących się od siebie wartości maksymalnych (dla danych typów), przy czym najwyższa wartość wystąpiła w typie TB.

Największy potencjał dla konwekcji, stwierdzony na podstawie wartości wskaźnika konwekcji CAPE, występował latem. Latem wskaźnik CAPE osiągał średnio ponad 280 J/kg. W typach SZ oraz TM występowały najwyższe średnie wartości wskaźnika przekraczające 500 J/kg. Ponownie najwyższe średnie wartości wskaźnika wiązały się z adwekcją powietrza z południa. Najwyższa wartość

Tabela 3. Średnie i maksymalne wartości wskaźnika CAPE (J/kg) w porach roku według klasyfikacji T. Niedźwiedzia  
 Table 3. Average and maximum CAPE values (J/kg) in seasons and year in types of atmospheric circulation according to T. Niedźwiedź

Typy cyrkulacji/ Circulation types	Zima/Winter		Wiosna/Spring		Lato/Summer		Jesień/Autumn		Rok/Year	
	średnia average	maks. max	średnia average	maks. max	średnia average	maks. max	średnia average	maks. max	średnia average	maks. max
Na	30	134	79	1 445	161	2 114	46	270	87	2 114
NEa	18	134	138	1 676	364	2 907	49	470	164	2 907
Ea	10	81	42	791	359	1 943	14	462	105	1 943
SEa	4	58	48	735	310	2 253	10	451	67	2 253
Sa	4	28	87	714	298	1 633	8	343	81	1 633
SWa	3	103	71	1 245	132	1 080	14	<b>875</b>	37	1 245
Wa	6	117	40	391	110	2 087	18	629	36	2 087
NWa	19	122	47	839	101	1 246	38	376	49	1 246
Ca	5	61	6	193	34	741	7	101	13	741
Ka	8	127	61	1 220	186	2 130	13	600	73	2 130
<b>a</b>	<b>11</b>	<b>134</b>	<b>62</b>	<b>1 676</b>	<b>206</b>	<b>2 907</b>	<b>22</b>	<b>875</b>	<b>71</b>	<b>2 907</b>
Nc	39	162	124	1 198	453	1 969	73	494	200	1 969
NEc	12	63	168	1 700	506	<b>3 695</b>	47	210	226	<b>3 695</b>
Ec	8	42	191	1 301	<b>662</b>	2 431	30	502	<b>273</b>	2 431
SEc	4	47	154	1 255	370	2 603	19	390	144	2 603
Sc	4	114	173	1 516	450	2 445	23	750	128	2 445
SWc	5	175	111	1 120	286	2 426	29	498	76	2 426
Wc	15	259	123	1 156	225	1 891	47	734	101	1 891
NWc	<b>42</b>	207	103	995	252	2 521	65	624	128	2 521
Cc	–	<b>260</b>	–	342	–	1 327	–	163	128	1 327
Bc	14	131	<b>205</b>	<b>1 835</b>	429	2 829	48	526	223	2 829
x	14	89	101	872	428	1 775	28	178	123	1 775
<b>c</b>	<b>16</b>	<b>260</b>	<b>145</b>	<b>1 835</b>	<b>406</b>	<b>3 695</b>	<b>41</b>	<b>750</b>	<b>163</b>	<b>3 695</b>

a – sytuacje antycyklonalne, c – cyklonalne; „–” oznacza typy cyrkulacji, które wystąpiły rzadziej niż 10 razy w okresie badań.

a – anticyclonal, c – cyclonal; „–” stands for circulation types which occurred less than 10 times during research period.

maksymalna wystąpiła w typie TRW i sięgała niemal 3700 J/kg. Wartość ta znacząco wyróżniała się na tle wartości maksymalnych w innych typach cyrkulacji.

Jesienią wskaźnik CAPE osiągał niskie wartości, średnio poniżej 35 J/kg. Typ cyrkulacji TM sprzyjał występowaniu najwyższych średnich wartości wskaźnika CAPE osiągających 150 J/kg. Adwekcja powietrza z północy powodowała występowanie najwyższych średnich wartości wskaźnika. Maksymalnie wskaźnik wyniósł niemal 900 J/kg w typie TM.

W ciągu badanego wielolecia najkorzystniej na wysokie średnie wartości wskaźnika CAPE wpływały typy cyrkulacji TM, HNFZ i TB. Typy TM i TB wiążą się z układem niskiego ciśnienia w Europie i mogą powodować adwekcję powietrza z południa w jej środkowej części. Typ HNFZ wywołuje adwekcję powietrza ze wschodu.

Klasyfikacja T. Niedźwiedzia pozwala wyróżnić typy antycyklonalne oraz cyklonalne. Zgodnie z przypuszczeniami we wszystkich porach roku cyklonalne typy cyrkulacji powodowały występowanie wyższych wartości wskaźnika CAPE niż typy antycyklonalne.

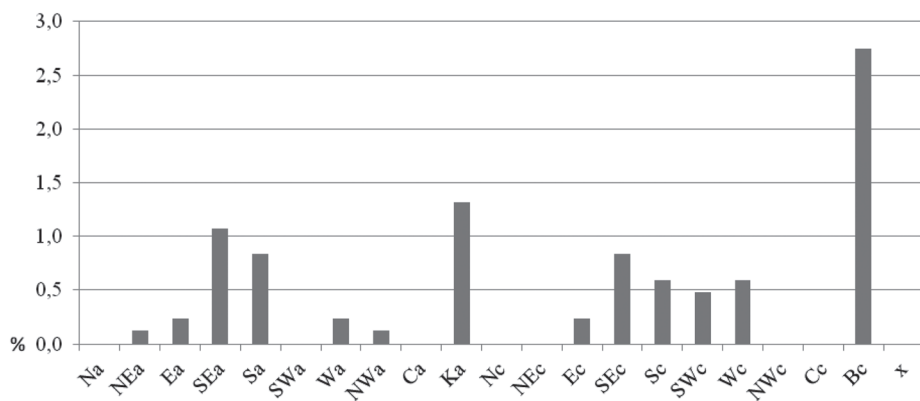
Zimą najwyższa średnia wartość wskaźnika CAPE występowała w typie NwC, osiągając ponad 40 J/kg. Wysokie średnie wartości związane były również z typem Nc oraz Na. Maksymalna wartość wystąpiła w typie Cc i wyniosła 260 J/kg. Wiosną w typie Bc wystąpiła zarówno najwyższa wartość maksymalna (1835 J/kg), jak i średnia (205 J/kg) dla tej pory roku. Ponadto wysokie wartości średnie badanego wskaźnika występowały również w typach Ec, Sc, NEc. Najwyższa średnia wartość wskaźnika CAPE latem związana była z typem Ec, osiągając ponad 660 J/kg. Najwyższa wartość maksymalna wystąpiła w typie NEc, osiągając niemal 3700 J/kg. Jesienią najwyższa wartość średnia wskaźnika CAPE osiągała niewiele ponad 70 J/kg i wystąpiła w typie Nc. Najwyższa wartość maksymalna wystąpiła w antycyklonalnym typie SWa wynosząc 875 J/kg.

W ciągu badanego wielolecia cyklonalne typy cyrkulacji wiązały się z ponad dwukrotnie wyższymi średnimi wartościami wskaźnika CAPE niż w typach antycyklonalnych. Należy również zwrócić uwagę na stosunkowo wysokie średnie i maksymalne wartości wskaźnika CAPE związane z adwekcją powietrza z kierunku wschodniego i północno-wschodniego, również z uwzględnieniem typów antycyklonalnych.

Porównując wartości wskaźnika w obu klasyfikacjach cyrkulacji atmosferycznej, można stwierdzić, że zarówno klasyfikacja Grosswetterlagen, jak i T. Niedźwiedzia wskazuje na najwyższe średnie wartości badanego wskaźnika w typach związanych z układami niskiego ciśnienia. Poza zimą w pozostałych porach roku najwyższe wartości wskaźnika CAPE wiązały się głównie z adwekcją powietrza z południa lub wschodu.

Wyniki prezentowane na rycinie 3 i 4 odnoszą się do wartości wskaźnika CAPE uzyskanych na podstawie danych z pomiarów aerologicznych. Dotyczą one jedynie lata. Obliczono częstość (%) przypadków, w których wartość CAPE była większa od percentyla 90. na danej stacji. Zgodnie z klasyfikacją Grosswetterlagen, w badanym wieloleciu latem największa częstość przypadków z wartością CAPE powyżej percentyla 90. wystąpiła w typie cyrkulacji SWZ oraz TRW. Duża liczba przypadków związana była również z typem BM, HNFZ oraz WZ. Sytuacje takie nie wystąpiły na żadnej ze stacji w typach: WS, WW, NWZ, NA, NZ, NEA, NEZ, HNFA, SEZ oraz SA.





Ryc. 4. Częstość [%] przypadków z CAPE > percentyl 90. w typach cyrkulacji według klasyfikacji T. Niedźwiedzia na stacji aerologicznej w Popradzie w latach 2000–2012 w lecie  
 Fig. 4. Frequency [%] of cases with CAPE > 90th percentile in T. Niedźwiedź circulation types in Poprad aerological station in period 2000–2012 in summer

W obliczeniach częstości przypadków z wartością CAPE większą niż percentyl 90. klasyfikacja T. Niedźwiedzia (ze względu na swój zasięg) mogła zostać zastosowana jedynie dla stacji aerologicznej w Popradzie. Większość przypadków z wartością CAPE powyżej 90. percentyla wystąpiła na tej stacji w typie Bc. Dużą liczbę przypadków odnotowano również podczas typu Ka. Spośród wszystkich sytuacji adwekcyjnych, zarówno cyklonalnych, jak i antycyklonalnych, typy cyrkulacji z adwekcją powietrza z południa charakteryzowały się największą częstością przypadków z wartością CAPE przekraczającą 90. percentyl. Przy typach cyrkulacji z adwekcją powietrza z sektora wschodniego i południowo-wschodniego wartości wskaźnika CAPE częściej przekraczały percentyl 90. podczas sytuacji cyklonalnych niż antycyklonalnych.

## WNIOSKI

W badanym okresie najwyższe średnie sezonowe wartości wskaźnika CAPE uzyskane z reanaliz występowały latem, sięgając około 290 J/kg, oraz wiosną, nieznacznie przekraczając 100 J/kg, najniższe natomiast, jak się można było spodziewać, jesienią (ok. 30 J/kg) oraz zimą (12 J/kg). Na rozpatrywanym obszarze, według danych pochodzących z reanaliz, maksymalna w całym wieloleciu wartość wskaźnika wyniosła 3695 J/kg, natomiast według danych z pomiaru aerologicznego – 4439 J/kg.

Na podstawie reanaliz stwierdzono, że najwyższe średnie roczne wartości wskaźnika CAPE występowały w typie TM zgodnie z klasyfikacją Grosswetterlagen oraz Ec zgodnie z klasyfikacją T. Niedźwiedzia. Na ogół najwyższe

średnie wartości wskaźnika CAPE wiosną i latem związane były z typami cyrkulacji z adwekcją powietrza z południa i wschodu. Zimą i jesienią wyższe średnie wartości występowały przy adwekcji powietrza z północy.

Stwierdzono również, że w badanym wieloleciu, zgodnie z obydwoma klasyfikacjami typów cyrkulacji, wyższe średnie wartości wskaźnika CAPE występowały w typach cyklonalnych niż antycyklonalnych. Ponadto, zgodnie z klasyfikacją T. Niedźwiedzia najwyższe średnie wartości CAPE wiosną i latem wiązały się z typami Ec i NEc, które często wywołują powodzie, zwłaszcza w polskiej części Karpat (Matuszko, Piotrowicz 2012).

Na podstawie danych aerologicznych stwierdzono, że wartość CAPE większa niż percentyl 90. występowała najczęściej w typie SWZ i TRW według klasyfikacji Grosswetterlagen.

Na koniec należy zauważyć, że wskaźnik CAPE świadczy o ilości energii, która potencjalnie może zostać wykorzystana w konwekcji, co nie zawsze przekłada się bezpośrednio na występowanie burz i zjawisk konwekcyjnych. Jest to parametr określający obszary, w których może zaistnieć konwekcja. Jednakże zdarza się, że pomimo wysokich wartości wskaźnika konwekcja nie występuje. Do prawidłowego prognozowania zjawisk konwekcyjnych należy stosować podejście kompleksowe, uwzględniając wiele innych elementów, takich jak: niedosyt wilgotności, gradient temperatury powietrza, obecność warstw hamujących, przepływ powietrza, zmiany ciśnienia atmosferycznego, a także wielkoskalowe procesy dynamiczne na różnych poziomach troposfery. Warto uwzględnić w tym celu inne stosowane wskaźniki konwekcji oraz poszukiwać nowych, lepiej przedstawiających stan termodynamiczny atmosfery.

## LITERATURA

- Barry R.G., Carleton A.M., 2001: *Synoptic and dynamic climatology*, Routledge, London–New York.
- Barry R.G., Chorley R.J., 1998: *Atmosphere, weather and climate*, Routledge, London–New York.
- Barry R.G., Perry A.H., 1973: *Synoptic climatology, methods and applications*, Methuen, London.
- Bąkowski R., 2005: *Wybrane analityczne i prognostyczne wskaźniki chwiejności atmosfery*, [w:] M. Ozga-Zielińska, D. Limanówka (red.), *Hydrologia, meteorologia, klimatologia – badania naukowe i prognozy w erze informatyzacji*, Polskie Towarzystwo Geofizyczne – IMGW, Warszawa, 209–218.
- Bebłot G., Hołda I., Rorbek K., 2008: *Trąba powietrzna w rejonie Częstochowy w dniu 20 lipca 2007 roku*, [w:] *Ekstrema pogodowe w Polsce, obserwacje, pomiary, prognozy*, IMGW, Warszawa.
- Bielec Z., 2000: *Przebieg dobowy i charakterystyka synoptyczna burz w Krakowie w latach 1896–1995*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne 105, Kraków, 73–83.
- Bielec-Bąkowska Z., 2002: *Zróźnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce (1949–1998)*, Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Bielec-Bąkowska Z., 2013: *Burze i grady w Polsce*, Prace Geograficzne 132, IGiGP UJ, Kraków, 99–132.

- Blanchard D.O., 1998: *Assessing the vertical distribution of convective available potential energy*, Weather and Forecasting, 13, 870–877.
- Brooks E.H., 2013: *Severe thunderstorms and climate change*, Atmospheric Research, 123, 129–138.
- Brooks E.H., Anderson A.R., Riemann K., Ebbers I., Flachs H., 2007: *Climatological aspects of convective parameters from the NCAR/NCEP reanalysis*, Atmospheric Research, 83, 294–305.
- Brooks E.H., Lee W.J., Craven P.J., 2003: *The spatial distribution of severe thunderstorm and tornado environments from global reanalysis data*, Atmospheric Research, 67–68, 73–94.
- Celiński-Mysław D., Matuszko D., 2014: *An analysis of the selected cases of derecho in Poland*, Atmospheric Research, 149, 263–281.
- Delden A., 2001: *The synoptic setting of thunderstorms in western Europe*, Atmospheric Research, 56, 89–110.
- Grabowska K., 2002: *Burze w Polsce i ich uwarunkowania*, Zakład Klimatologii, WGSR, UW, Warszawa [rozprawa doktorska].
- Grabowska K., 2011: *Annual and daily changes of thunderstorms in temperate climate in London, Warsaw and Moscow*, Miscellanea Geographica, 15, 115–122.
- Grünwald S., Brooks E.H., 2011: *Relationship between sounding derived parameters and the strength of tornadoes in Europe and the USA from reanalysis data*, Atmospheric Research, 100, 497–488.
- Hess P., Brezowsky H., 1952: *Katalog der Grosswetterlagen Europas*, Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, 33.
- Holley D.M., Dorling R., Steele C.J., Earl N., 2014: *A climatology of convective available potential energy in Great Britain*, International Journal of Climatology, 34, 3811–3824.
- Kolendowicz L., 1996: *Burze na obszarze Polski Północno-Zachodniej w świetle częstości występowania różnych typów cyrkulacji atmosfery*, Zeszyty IGiPZ PAN, 39, 1–115.
- Kolendowicz L., 2006: *The influence of synoptic situations on the occurrence of days with thunderstorms during a year in the territory of Poland*, International Journal of Climatology, 26, 1803–1820.
- Kolendowicz L., 2007: *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie dni z burzą w Polsce w latach 1971–2000*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, IGiP UJ, Kraków, 103–109.
- Kożuchowski K., 2011: *Klimat Polski nowe spojrzenie*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Lorenc H. (red.), 2005: *Atlas klimatu Polski*, IMGW, Warszawa.
- Malinowska M., 2011: *Variability of chosen instability indices in Poland in XXI century*, Prace i Studia Geograficzne, 47, 97–107.
- Matuszko D., Piotrowicz K., 2012: *Ekstremalne zdarzenia pogodowe w Krakowie i ich uwarunkowania cyrkulacyjne*, [w:] Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikasza, A. Widawski (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, Uniwersytet Śląski Wydział Nauk o Ziemi, Sosnowiec, 211–218.
- Niedźwiedz T., 1981: *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, UJ, Kraków.
- Niedźwiedz T. (red.), 2003: *Słownik meteorologiczny*, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, IMGW, Warszawa.
- Niedźwiedz T., 2013: *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy*, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec.
- Peppier R.A., 1988: *A review of static stability indices and related thermodynamic parameters*, Climate and Meteorology Section, Champaign.
- Popławska J., Grabowska K., 2013: *The methods for detection of tornadoes in Poland (case study)*, Scientific Annals of “Alexandru Ioan Cuza” University of Iasi – Geography Series 59, 2, 31–47.
- Rozbicka K., Majewski G., Rozbicki T., 2009: *Charakterystyka stanów równowagi atmosfery na*

- stacji miejskiej Ursynów SGGW i stacji podmiejskiej Legionowo*, Acta Agrophysica, 13(2), 473–485.
- Siedlecki M., 2011: *Charakterystyka klimatologiczna chwiejności atmosfery nad Europą*, Acta Universitatis Lodzianis, Folia Geographica Physica, Łódź, 11, 1–204.
- Siedlecki M., Rzepa M., 2008: *Charakterystyka całkowitej energii chwiejności atmosfery nad Europą w latach 1991–2003*, Przegląd Geofizyczny, 53(1), 43–54.
- Suwała K., 2014: *Synoptyczne uwarunkowania występowania opadów gradu w Środkowej Europie*, UAM, Poznań.
- Szot S., Kosowski M., 2014: *Porównanie danych uzyskanych z radiosondaży z danymi wyznaczonymi na podstawie reanalizy NCEP-NCAR*, Prace Geograficzne, 136, 31–44.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2009: *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, IMGW, Warszawa.
- Walawender E., Kielar R., Ustrnul Z., 2015: *Use of RegCM gridded dataset for thunderstorm favorable conditions analysis over Poland-climatological approach*, Theoretical and Applied Climatology.
- Werner P.C., Gerstengarbe F.W., 2010: *PIK Report, Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881–2009)*, Potsdam, Germany.
- Whitaker J., Lough F.A., 1998: *The relationship between ensemble spread and ensemble mean skill*, Monthly Weather Review, 126, 3292–3302.