

Ewa Łupikasza

**Typy genetyczne opadów ekstremalnych w Europie
oraz ich uwarunkowania synoptyczne
(1950-2008)**

Uniwersytet Śląski
Katowice 2013

Redaktor Prac Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego

Andrzej T. Jankowski

Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego nr 81
ISSN 1895-6777

Recenzenci

Bogusław Michał Kaszewski
Rajmund Przybylak

Badania oraz wydanie książki sfinansowano ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa
Wyższego – Narodowe Centrum Nauki, grant nr N 306 2439 39
Copyright©2013 by Uniwersytet Śląski, Katowice

ISBN 978-83-62652-53-2

Projekt okładki

Ewa Łupikasza

Fotografia na okładce

Tadeusz Niedźwiedź

Współpraca wydawnicza

Pracownia komputerowa Jacka Skalmierskiego
Ul. Pszczyńska 44, Gliwice 44-100

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	7
1.1. Cel i zakres pracy	8
1.2. Stan wiedzy na temat genetycznych i cyrkulacyjnych uwarunkowań opadów ekstremalnych w Europie.....	12
1.3. Dane meteorologiczne i synoptyczne	21
1.3.1. Źródła danych meteorologicznych i synoptycznych	21
1.3.2. Kwalifikacja serii opadowych	24
1.3.3. Jednorodność danych opadowych	24
1.3.4. Charakterystyka danych opadowych wykorzystanych w opracowaniu	26
2. Opady ekstremalne	29
2.1. Definicja ekstremalnych zjawisk pogodowych i klimatycznych	29
2.2. Wskaźniki ekstremalnych zdarzeń opadowych	30
2.3. Przestrzenne zróżnicowanie wysokości i częstości opadów ekstremalnych w Europie	34
2.3.1. Najwyższe dobowe sumy opadów atmosferycznych	34
2.3.2. Wysokość opadów dobowych o małym prawdopodobieństwie wystąpienia (10%P, 5%P, 1%P)	37
2.3.3. Częstość wysokich opadów dobowych (≥ 10 mm, ≥ 30 mm, ≥ 50 mm).....	43
2.4. Kryteria wyznaczania opadów ekstremalnych	47
2.5. Przestrzenne zróżnicowanie wartości progowych (95P) wykorzystanych do wyróżnienia dni z opadem ekstremalnym	51
3. Typy genetyczne opadów ekstremalnych	55
3.1. Klasyfikacja typów genetycznych opadów ekstremalnych	60
3.2. Zasięg przestrzenny ekstremalnych opadów wewnątrzmasowych i frontowych	71
3.3. Przestrzenne i sezonowe zmiany częstości występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych w Europie	73
3.3.1. Opady wewnątrzmasowe (typ M)	74
3.3.2. Opady frontowe (typ F)	77
3.3.3. Opady związane z przejściem frontu chłodnego (typ Fz)	80
3.3.4. Opady związane z przejściem frontu ciepłego (typ Fc)	83
3.3.5. Opady związane z przejściem kilku różnych frontów (typ Fr)	86
3.3.6. Opady związane z frontem okluzji (typ Fo)	88
3.3.7. Opady związane z frontem stacjonarnym (typ Fs) i linią nieciągłości (typ Fn)	90

3.4. Przestrzenne zmiany wysokości opadów ekstremalnych w typach genetycznych	93
3.4.1. Mediana dobowych sum opadów ekstremalnych w typach genetycznych (GTExO)	94
3.4.2. Średnia z najwyższych dobowych sum opadów ekstremalnych w typach genetycznych	97
3.4.2.1. Opady wewnętrzmasowe (typ M)	97
3.4.2.2. Opady frontowe (typ F)	100
3.4.2.3. Opady związane z przejściem frontu chłodnego (typ Fz)	102
3.4.2.4. Opady związane z przejściem frontu ciepłego (typ Fc)	105
3.4.2.5. Opady związane z przejściem różnych frontów (typ Fr)	108
3.4.2.6. Opady związane z frontem okluzji (typ Fo)	111
3.4.2.7. Opady związane z frontem stacjonarnym (typ Fs)	113
4. Regionalizacja typów genetycznych opadów ekstremalnych w Europie	117
4.1. Metoda i wyniki regionalizacji typów genetycznych opadów ekstremalnych	117
4.2. Przestrzenny rozkład i charakterystyka grup regionalnych występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych w Europie w ujęciu sezonowym	121
4.2.1. Grupy regionalne występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych na wiosnę	122
4.2.2. Grupy regionalne występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych w lecie	129
4.2.3. Grupy regionalne występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych w jesieni	136
4.2.4. Grupy regionalne występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych w zimie	142
4.3. Relacje pomiędzy wysokością dobowych opadów ekstremalnych i ich typem genetycznym w obrębie grup regionalnych w ujęciu sezonowym	148
4.3.1. Rozkład częstości sum dobowych opadów ekstremalnych w typach genetycznych na wiosnę	150
4.3.2. Rozkład częstości sum dobowych opadów ekstremalnych w typach genetycznych w lecie	154
4.3.3. Rozkład częstości sum dobowych opadów ekstremalnych w typach genetycznych w jesieni	158
4.3.4. Rozkład częstości sum dobowych opadów ekstremalnych w typach genetycznych w zimie	162
5. Cyrkulacyjne uwarunkowania typów genetycznych opadów ekstremalnych	169
5.1. Klasyfikacja typów cyrkulacji dla Europy	169
5.2. Przestrzenne i sezonowe zróżnicowanie częstości występowania opadów ekstremalnych w typach cyrkulacji atmosfery	171
5.2.1. Wszystkie przypadki opadów ekstremalnych (ExO)	171
5.2.2. Opady wewnętrzmasowe (typ M)	178
5.2.3. Opady frontowe (typ F)	183
5.2.4. Opady związane z przejściem frontu chłodnego (typ Fz)	189
5.2.5. Opady związane z przejściem frontu ciepłego (typ Fc)	194
5.2.6. Opady związane z przejściem różnych frontów (typ Fr)	199
5.2.7. Opady związane z frontem okluzji (typ Fo)	204
5.2.8. Opady związane z frontem stacjonarnym (Typ Fs)	208
5.2.9. Opady związane z linią nieciągłości (typ Fn)	211
5.3. Regionalne zróżnicowanie relacji pomiędzy występowaniem opadów ekstremalnych i cyrkulacją atmosfery w ujęciu sezonowym	213
5.3.1. Częstość typów genetycznych opadów ekstremalnych w sytuacjach synoptycznych w obrębie grup regionalnych na wiosnę	214
5.3.2. Częstość typów genetycznych opadów ekstremalnych w sytuacjach synoptycznych w obrębie grup regionalnych w lecie	217
5.3.3. Częstość typów genetycznych opadów ekstremalnych w sytuacjach synoptycznych w obrębie grup regionalnych w jesieni	220
5.3.4. Częstość typów genetycznych opadów ekstremalnych w sytuacjach synoptycznych w obrębie grup regionalnych w zimie	224

5.4. Przestrzenne i sezonowe zróżnicowanie prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia opadów ekstremalnych w typach cyrkulacji	226
5.4.1. Wszystkie przypadki opadów ekstremalnych (ExO)	227
5.4.2. Opady wewnętrzmasowe (typ M)	230
5.4.3. Opady frontowe (typ F)	232
5.4.4. Opady związane z przejściem frontu chłodnego (typ Fz)	234
5.4.5. Opady związane z przejściem frontu ciepłego (typ Fc)	236
5.4.6. Opady związane z przejściem różnych frontów (typ Fr)	238
5.4.7. Opady związane z frontem okluzji (typ Fo)	241
5.4.8. Opady związane z frontem stacjonarnym (typ Fs)	243
5.4.9. Opady związane z linią nieciągłości (typ Fn)	245
6. Podsumowanie i wnioski	249
Literatura	261
Spis rycin	272
Spis tabel	275
Spis map w suplemencie MAPY	277
Summary	279
Załączniki	289

Spis rycin

Ryc. 1. Procent brakujących danych w seriach dobowych sum opadów (mapa) oraz czasowe zmiany liczby stacji meteorologicznych z danymi opadowymi (w % stacji, wykres) w okresie od grudnia 1950 do lutego 2008	27
Ryc. 2. Procent brakujących danych w seriach dobowych sum opadów atmosferycznych w trzydziestoleciu 1961–1990	27
Ryc. 3. Maksymalne dobowe sumy opadów (SdMax) i ich histogramy oraz średnie z pięciu najwyższych dobowych sum opadów (S5Max) i ich histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	35
Ryc. 4. Rozmieszczenie stacji, na których maksymalne dobowe sumy opadów wystąpiły: A – zimą, B – latem, C – wiosną, D – jesienią (grudzień 1950 – luty 2008)	36
Ryc. 5. Wysokość opadów o małym prawdopodobieństwie wystąpienia (10%P, 5%P, 1%P) (grudzień 1950 – luty 2008)	40
Ryc. 6. Histogramy dobowych sum opadów o małym prawdopodobieństwie wystąpienia (10%P, 5%P, 1%P) w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	41
Ryc. 7. Średnia liczba dni z opadem ≥ 10 mm, ≥ 30 mm i ≥ 50 mm (grudzień 1950 – luty 2008)	44
Ryc. 8. Histogramy średniej liczby dni z opadem ≥ 10 mm, ≥ 20 mm i ≥ 30 mm w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	45
Ryc. 9. Statystyczna charakterystyka (mediana, kwartyle, wartości skrajne) 95P dobowych sum opadów wyznaczonych na podstawie dni z opadem $\geq 0,1$ mm (95P _{0,1} mm) oraz dni z opadem $\geq 1,0$ mm (95P _{1,0} mm) (lewy wykres) oraz statystyczny rozkład różnic pomiędzy obliczonymi percentylami (prawy wykres) na podstawie danych z polskich stacji meteorologicznych w okresie 1961–1990	49
Ryc. 10. Statystyczna charakterystyka (mediana, kwartyle, wartości skrajne) 95P dobowych sum opadów wyznaczonych na podstawie danych z różnych trzydziestoleci normalnych (95P ₁₉₅₁₋₁₉₈₀ , 95P ₁₉₆₁₋₁₉₉₀ , 95P ₁₉₇₁₋₂₀₀₀) oraz statystyczny rozkład różnic pomiędzy obliczonymi percentylami na podstawie dni z opadem $\geq 1,0$ mm na przykładzie danych z polskich stacji meteorologicznych	49
Ryc. 11. Rozkład prawdopodobieństwa (empiryczny) dobowych sum opadów ≥ 1 mm w okresie 1961–1990 na wybranych stacjach w Europie	50
Ryc. 12. Względne wartości progowe (95P) opadów dobowych wykorzystane do wyróżnienia dni z ekstremalnym opadem (1961–1990)	53
Ryc. 13. Histogramy względnych wartości progowych (95P) wykorzystanych do wyróżnienia dni z opadem ekstremalnym w Europie (1961–1990)	54
Ryc. 14. Model układu niżowego. Model poziomy (b) oraz przekroje pionowe (a, c) (Trewartha 1968)	58
Ryc. 15. Schemat rozkładu typów stref opadowych (1–6) występujących w układach niżowych (Hobbs 1981)	60
Ryc. 16. Rozmieszczenie opadów ekstremalnych w Europie w dniu 09 lipca 2007 wraz z mapami synoptycznymi, na podstawie których rozpoznano ich typ genetyczny na stacjach leżących wewnątrz czerwonego okręgu	64
Ryc. 17. Rozmieszczenie opadów ekstremalnych w Europie w dniu 28 stycznia 2008 wraz z mapami synoptycznymi, na podstawie których rozpoznano ich typ genetyczny na stacjach leżących wewnątrz czerwonego okręgu	65
Ryc. 18. Rozmieszczenie opadów ekstremalnych w Europie w dniu 21 stycznia 2005 wraz z mapami synoptycznymi, na podstawie których rozpoznano ich typ genetyczny na stacjach leżących wewnątrz czerwonego okręgu	66
Ryc. 19. Rozmieszczenie opadów ekstremalnych w Europie w dniu 23 marca 2004 wraz z mapami synoptycznymi, na podstawie których rozpoznano ich typ genetyczny na stacjach leżących wewnątrz czerwonego okręgu	67
Ryc. 20. Rozmieszczenie opadów ekstremalnych w Europie w dniu 04 października 2004 wraz z mapami synoptycznymi, na podstawie których rozpoznano ich typ genetyczny na stacjach leżących wewnątrz czerwonego okręgu	68
Ryc. 21. Rozmieszczenie opadów ekstremalnych w Europie w dniu 11 sierpnia 2006 wraz z mapami synoptycznymi, na podstawie których rozpoznano ich typ genetyczny na stacjach leżących wewnątrz czerwonego okręgu	69
Ryc. 22. Rozmieszczenie opadów ekstremalnych w Europie w dniu 14 sierpnia 2006 wraz z mapami synoptycznymi, na podstawie których rozpoznano ich typ genetyczny na stacjach leżących wewnątrz czerwonego okręgu	70
Ryc. 23. Histogramy obrazujące procent dni z opadem ekstremalnym w przedziałach ich zasięgu przestrzennego w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	72
Ryc. 24. Histogramy zasięgu przestrzennego wewnątrzmasowych oraz frontowych opadów ekstremalnych w Europie (% dni z w przedziałach zasięgu przestrzennego) w okresie grudzień 1950 – luty 2008	73
Ryc. 25. Częstość występowania ekstremalnych opadów wewnątrzmasowych (typ M) – rozkład przestrzenny oraz histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	75
Ryc. 26. Częstość występowania ekstremalnych opadów frontowych (typ F) – rozkład przestrzenny oraz histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	78
Ryc. 27. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem chłodnym (typ Fz) – rozkład przestrzenny oraz histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	81
Ryc. 28. Fronty chłodne nad Alpami. Mapa synoptyczna z dnia 12 czerwca 2004, 06 UTC	82
Ryc. 29. Front chłodny napływający nad obszary w pobliżu Morza Czarnego i Kaspijskiego. Mapa synoptyczna z dnia 14 czerwca 2006 06 UTC	82
Ryc. 30. Fronty chłodne napływające nad Półwysep Iberyjski. Mapa synoptyczna z dnia 18 września 2004, 18 UTC	83
Ryc. 31. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem ciepłym (typ Fc) – rozkład przestrzenny oraz histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	85
Ryc. 32. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z przejściem różnych frontów (typ Fr) – rozkład przestrzenny oraz histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	87
Fig. 33. System frontów meteorologicznych (różne fronty) przemieszczających się nad Europą Zachodnią	88
Ryc. 34. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem okluzji (typ Fo) – rozkład przestrzenny oraz histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	89
Ryc. 35. Front okluzji napływający nad południową część Półwyspu Skandynawskiego	90
Ryc. 36. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem stacjonarnym (typ Fs) – rozkład przestrzenny oraz histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	91
Ryc. 37. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z linią nieciągłości (typ Fn) – rozkład przestrzenny oraz histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	92
Ryc. 38. Histogramy mediany dobowych sum opadów ekstremalnych w typach genetycznych w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	95
Ryc. 39. Średnia z pięciu najwyższych dobowych sum ekstremalnych opadów wewnątrzmasowych (typ M) – rozkład przestrzenny i histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	99
Ryc. 40. Średnia z pięciu najwyższych dobowych sum ekstremalnych opadów frontowych (typ F) – rozkład przestrzenny i histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	101
Ryc. 41. Średnia z pięciu najwyższych dobowych sum opadów ekstremalnych związanych z frontem chłodnym (typ Fz) – rozkład przestrzenny i histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	104
Ryc. 42. Średnia z pięciu najwyższych dobowych sum opadów ekstremalnych związanych z frontem ciepłym (typ Fc) – rozkład przestrzenny i histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	107
Ryc. 43. Średnia z pięciu najwyższych dobowych sum ekstremalnych opadów związanych z przejściem różnych frontów (typ Fr) – rozkład przestrzenny i histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	110
Ryc. 44. Średnia z pięciu najwyższych dobowych sum opadów ekstremalnych związanych z okluzją (typ Fo) – rozkład przestrzenny i histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	112
Ryc. 45. Średnia z pięciu najwyższych dobowych sum opadów ekstremalnych związanych z frontem stacjonarnym (typ Fs) – rozkład przestrzenny i histogramy (grudzień 1950 – luty 2008)	114
Ryc. 46. Rozmieszczenie grup regionalnych różniących się strukturą występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych (GTE _{xO}) w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	119
Ryc. 47. Rozmieszczenie grup regionalnych występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych (mapy) oraz średnie wartości zmiennych grupujących (wykresy) wiosną	123
Ryc. 48. Statystyki opisowe zmiennych grupujących w grupach regionalnych występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych wyróżnionych w Europie wiosną	124
Ryc. 49. Rozmieszczenie grup regionalnych występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych (mapy) oraz średnie wartości zmiennych grupujących (wykresy) w lecie	131
Ryc. 50. Statystyki opisowe zmiennych grupujących w grupach regionalnych występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych wyróżnionych w Europie w lecie	132
Ryc. 51. Rozmieszczenie grup regionalnych występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych (mapy) oraz średnie wartości zmiennych grupujących (wykresy) w jesieni	137

Ryc. 52. Statystyki opisowe zmiennych grupujących w grupach regionalnych występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych wyróżnionych w Europie w jesieni	138
Ryc. 53. Rozmieszczenie grup regionalnych występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych (mapy) oraz średnie wartości zmiennych grupujących (wykresy) w ziemie	143
Ryc. 54. Statystyki opisowe zmiennych grupujących w grupach regionalnych występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych wyróżnionych w Europie w ziemie	144
Ryc. 55. Dystrybuanty empiryczne (wykresy liniowe) oraz różnice częstości w przedziałach sum dobowych genetycznych typów opadów ekstremalnych (wykres słupkowy) wiosną w GR1 i GR2	152
Ryc. 56. Podobnie jak na rycinie 55 ale w GR3	153
Ryc. 57. Podobnie jak na rycinie 55 ale w GR6	153
Ryc. 58. Dystrybuanty empiryczne (wykresy liniowe) oraz różnice częstości w przedziałach sum dobowych genetycznych typów opadów ekstremalnych (wykres słupkowy) w lecie w GR3	156
Ryc. 59. Podobnie jak na rycinie 58 ale w GR4	157
Ryc. 60. Podobnie jak na rycinie 58 ale w GR5 i GR6	157
Ryc. 61. Dystrybuanty empiryczne (wykresy liniowe) oraz różnice częstości w przedziałach sum dobowych genetycznych typów opadów ekstremalnych (wykres słupkowy) w jesieni w GR1	160
Ryc. 62. Podobnie jak na rycinie 61 ale w GR2 i GR3	161
Ryc. 63. Podobnie jak na rycinie 61 ale w GR6	161
Ryc. 64. Dystrybuanty empiryczne (wykresy liniowe) oraz różnice częstości w przedziałach sum dobowych genetycznych typów opadów ekstremalnych (wykres słupkowy) w ziemie w GR1	164
Ryc. 65. Podobnie jak na rycinie 64 ale w grupie regionalnej GR2	165
Ryc. 66. Podobnie jak na rycinie 64 ale w grupie regionalnej GR3	165
Ryc. 67. Podobnie jak na rycinie 64 ale w grupie regionalnej GR4	166
Ryc. 68. Podobnie jak na rycinie 64 ale w grupie regionalnej GR5	167
Ryc. 69. Podobnie jak na rycinie 64 ale w grupie regionalnej GR6	167
Ryc. 70. Częstość występowania opadów ekstremalnych w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	173
Ryc. 71. Histogramy obrazujące procent stacji w przedziałach częstości występowania opadów ekstremalnych w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951– luty 2008)	174
Ryc. 72. Częstość występowania ekstremalnych opadów wewnątrzmasowych (typ M) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	180
Ryc. 73. Histogramy obrazujące procent stacji w przedziałach częstości występowania ekstremalnych opadów wewnątrzmasowych (typ M) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	181
Ryc. 74. Częstość występowania ekstremalnych opadów frontowych (typ F) w układach wyżowych (ACT) oraz niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	185
Ryc. 75. Histogramy obrazujące procent stacji w przedziałach częstości występowania ekstremalnych opadów frontowych (typ F) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951- luty 2008)	186
Ryc. 76. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z przejściem frontu chłodnego (typ Fz) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (styczeń 1951 – luty 2008)	190
Ryc. 77. Histogramy obrazujące procent stacji w przedziałach częstości występowania opadów ekstremalnych związanych z przejściem frontu chłodnego (typ Fz) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951- luty 2008)	191
Ryc. 78. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z przejściem frontu ciepłego (typ Fc) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	196
Ryc. 79. Histogramy obrazujące procent stacji w przedziałach częstości występowania opadów ekstremalnych związanych z przejściem frontu ciepłego (typ Fc) w układach wyżowych i niżowych w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	197
Ryc. 80. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z przejściem różnych frontów (typ Fr) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	201
Ryc. 81. Histogramy obrazujące procent stacji w przedziałach częstości występowania opadów ekstremalnych związanych z przejściem różnych frontów (typ Fr) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	202
Ryc. 82. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem okluzji (typ Fo) w układach wyżowych (ATC) oraz niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	206
Ryc. 83. Histogramy obrazujące procent stacji w przedziałach częstości występowania opadów	

ekstremalnych związanych z frontem okluzji (typ Fo) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	207
Ryc. 84. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem stacjonarnym (typ Fs) w układach wyżowych (ATC) oraz niżowych (CTC) (styczeń 1950 – luty 2008)	209
Ryc. 85. Histogramy obrazujące procent stacji w przedziałach częstości występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem stacjonarnym (typ Fs) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	210
Ryc. 86. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z linią nieciągłości (typ Fn) w układach wyżowych (ATC) oraz niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	212
Ryc. 87. Histogramy obrazujące procent stacji w przedziałach częstości występowania opadów ekstremalnych związanych z linią nieciągłości (typ Fn) w układach wyżowych (ATC) i niżowych w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	213
Ryc. 88. Różnice pomiędzy częstością występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych w układach niżowych i wyżowych w grupach regionalnych na wiosnę (marzec 1951 – maj 2007)	215
Ryc. 89. Regionalne zróżnicowanie częstości występowania [%] typów genetycznych opadów ekstremalnych w typach cyrkulacji atmosfery na wiosnę w Europie (marzec 1951 – maj 2007)	216
Ryc. 90. Różnice pomiędzy frekwencją typów genetycznych opadów ekstremalnych w układach niżowych i wyżowych w grupach regionalnych w lecie (czerwiec 1951 – sierpień 2007)	218
Ryc. 91. Regionalne zróżnicowanie częstości występowania [%] genetycznych typów ekstremalnych opadów w typach cyrkulacji atmosfery w lecie w Europie (czerwiec 1951 – sierpień 2008)	219
Ryc. 92. Różnice pomiędzy frekwencją genetycznych typów ekstremalnych opadów w układach niżowych i wyżowych w grupach regionalnych w jesieni (wrzesień 1951 – listopad 2007)	221
Ryc. 93. Regionalne zróżnicowanie częstości występowania [%] genetycznych typów ekstremalnych opadów w typach cyrkulacji atmosfery na jesieni w Europie (wrzesień 1951 – listopad 2008)	222
Ryc. 94. Różnice pomiędzy frekwencją genetycznych typów ekstremalnych opadów w układach niżowych i wyżowych w grupach regionalnych w ziemie (styczeń 1951 – luty 2008)	224
Ryc. 95. Regionalne zróżnicowanie częstości występowania [%] genetycznych typów ekstremalnych opadów w typach cyrkulacji atmosfery w ziemie w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	225
Ryc. 96. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych w układach wyżowych (ATC) oraz niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	228
Ryc. 97. Prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów wewnątrzmasowych (typ M) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	231
Ryc. 98. Prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów frontowych (typ F) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	233
Ryc. 99. Prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów związanych z przejściem frontu chłodnego (typ Fz) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	235
Ryc. 100. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z frontem ciepłym (typ Fc) w układach wyżowych (ATC) oraz niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	237
Ryc. 101. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z przejściem różnych frontów (typ Fr) w układach wyżowych (ATC) oraz niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	240
Ryc. 102. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z okluzją (typ Fo) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	242
Ryc. 103. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z frontem stacjonarnym (typ Fs) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	244
Ryc. 104. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z linią nieciągłości (typ Fn) w układach wyżowych (ATC) oraz niżowych (CTC) (styczeń 1951 – luty 2008)	246

Spis tabel

Tabela 1. Wskaźniki ekstremalnych zdarzeń opadowych rekomendowane przez ETCCDI (The Joint Expert Team on Climate Change Detection and Indices) dla studiów zmian klimatu	33
Tabela 2. Statystyki opisowe sum dobowych opadów (mm) o małym prawdopodobieństwie wystąpienia (10%P, 5%P, 1%P) w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	38
Tabela 3. Statystyki opisowe średniej liczby dni z opadem ≥ 10 mm, ≥ 30 mm i ≥ 50 mm w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	47

Tabela 4. Względne wartości progowe dla opadów ekstremalnych odpowiadające 95P wyznaczonemu na podstawie dni z opadem ≥ 1 mm w okresie 1961–1990 dla wybranych stacji w Europie	51
Tabela 5. Statystyczna charakterystyka wartości progowych opadów odpowiadających 95P [mm] wykorzystanych do wyróżnienia dni z opadem ekstremalnym w Europie	52
Tabela 6. Typy genetyczne opadów ekstremalnych	61
Tabela 7. Statystyki opisowe częstości występowania [%] ekstremalnych opadów wewnątrzmasowych (typ M) oraz frontowych (typ F) w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	74
Tabela 8. Statystyki opisowe częstości występowania [%] ekstremalnych opadów frontowych w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	84
Tabela 9. Statystyki opisowe średnich z pięciu najwyższych sum dobowych [mm] ekstremalnych opadów wewnątrzmasowych (typ M) w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	98
Tabela 10. Statystyki opisowe średnich z pięciu najwyższych dobowych sum [mm] ekstremalnych opadów frontowych (typ F) w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	100
Tabela 11. Statystyki opisowe średnich z pięciu najwyższych sum dobowych opadów ekstremalnych [mm] związanych z frontem chłodnym (typu Fz) w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	103
Tabela 12. Statystyki opisowe średnich z pięciu najwyższych sum dobowych opadów ekstremalnych [mm] związanych z frontem ciepłym (typ Fc) w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	106
Tabela 13. Statystyki opisowe średnich z pięciu najwyższych sum dobowych opadów ekstremalnych [mm] związanych z przejściem różnych frontów (typ Fr) w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	109
Tabela 14. Statystyki opisowe średnich z pięciu najwyższych sum dobowych opadów ekstremalnych [mm] związanych z okluzją (typ Fo) w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	111
Tabela 15. Statystyki opisowe średnich z pięciu najwyższych sum dobowych opadów ekstremalnych [mm] związanych z frontem stacjonarnym (typ Fs) w Europie (grudzień 1950 – luty 2008)	115
Tabela 16. Statystyka F dla zmiennych grupujących obiekty (stacje)	120
Tabela 17. Wybrane wyniki analizy wariancji – między grupowe i wewnątrzgrupowe sumy kwadratów	121
Tabela 18. Statystyki opisowe wybranych charakterystyk opadów w obrębie grup regionalnych wyróżnionych w Europie wiosną	127
Tabela 19. Statystyki opisowe wybranych charakterystyk opadów w obrębie grup regionalnych wyróżnionych w Europie latem	133
Tabela 20. Statystyki opisowe wybranych charakterystyk opadów w obrębie grup regionalnych wyróżnionych w Europie w jesieni	139
Tabela 21. Statystyki opisowe wybranych charakterystyk opadów w obrębie grup regionalnych wyróżnionych w Europie w zimie	145
Tabela 22. Średnie arytmetyczne (\bar{S}_r) i mediany (ME) dobowych sum genetycznych typów opadów ekstremalnych wiosną oraz istotność statystyczna dla testu Kołmogorowa – Smirnowa (K-S) oraz testu U Manna – Whitneya (U M-W) w grupach regionalnych	151
Tabela 23. Średnie arytmetyczne (\bar{S}_r) i mediany (ME) dobowych sum genetycznych typów opadów ekstremalnych w lecie oraz istotność statystyczna dla testu Kołmogorowa – Smirnowa (K-S) oraz testu U Manna – Whitneya (U M-W) w grupach regionalnych	155
Tabela 24. Średnie arytmetyczne (\bar{S}_r) i mediany (ME) dobowych sum genetycznych typów opadów ekstremalnych w jesieni oraz istotność statystyczna dla testu Kołmogorowa Smirnowa (K-S) oraz testu U Manna-Whitneya (U M-W) w grupach regionalnych	159
Tabela 25. Średnie arytmetyczne (\bar{S}_r) i mediany (ME) dobowych sum genetycznych typów opadów ekstremalnych w zimie oraz istotność statystyczna dla testu Kołmogorowa Smirnowa (K-S) oraz testu U Manna-Whitneya (U M-W) w grupach regionalnych	163
Tabela 26. Typy cyrkulacji atmosfery wykorzystane do analizy związków pomiędzy występowaniem typów genetycznych opadów ekstremalnych i cyrkulacją atmosfery	170
Tabela 27. Statystyki opisowe częstości występowania [%] opadów ekstremalnych w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	172
Tabela 28. Statystyki opisowe częstości występowania [%] ekstremalnych opadów wewnątrzmasowych (typ M) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	179
Tabela 29. Statystyki opisowe częstości występowania [%] ekstremalnych opadów frontowych (typ F) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	184
Tabela 30. Statystyki opisowe częstości występowania [%] opadów ekstremalnych związanych z przejściem frontu chłodnego (typ Fz) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	189
Tabela 31. Statystyki opisowe częstości występowania [%] opadów ekstremalnych związanych z	

przejściem frontu ciepłego (typ Fc) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	195
Tabela 32. Statystyki opisowe częstości występowania [%] opadów ekstremalnych związanych z przejściem różnych frontów (typ Fr) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	200
Tabela 33. Statystyki opisowe częstości występowania [%] opadów ekstremalnych związanych z frontem okluzji (typ Fo) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	205
Tabela 34. Statystyki opisowe częstości występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem stacjonarnym (typ Fs) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	208
Tabela 35. Statystyki opisowe częstości występowania [%] opadów ekstremalnych związanych z linią nieciągłości (typ Fn) w układach wyżowych (ATC) i niżowych (CTC) w Europie (styczeń 1951 – luty 2008)	211
Tabela 36. Rozmieszczenie wydzielonych grup regionalnych występowania typów genetycznych opadów ekstremalnych w ujęciu sezonowym	252

Spis map w suplemencie MAPY

Mapy 1. Mediana dobowych sum opadów ekstremalnych w typach genetycznych (grudzień 1950 – luty 2008–luty 2008)	
Mapy 2. Częstość występowania opadów ekstremalnych (ExO) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 3. Częstość występowania opadów ekstremalnych (ExO) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 4. Częstość występowania ekstremalnych opadów wewnątrzmasowych (typ M) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 5. Częstość występowania ekstremalnych opadów wewnątrzmasowych (typ M) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 6. Częstość występowania ekstremalnych opadów frontowych (typ F) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 7. Częstość występowania ekstremalnych opadów frontowych (typ F) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 8. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem chłodnym (typ Fz) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 9. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych frontem chłodnym (typ Fz) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 10. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem ciepłym (typ Fc) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 11. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem ciepłym (typ Fc) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 12. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z przejściem różnych frontów (typ Fr) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 13. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z przejściem różnych frontów (typ Fr) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 14. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem okluzji (typ Fo) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 15. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem okluzji (typ Fo) w cyklonalnych typach sytuacji synoptycznych (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 16. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem stacjonarnym (typ Fs) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 17. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z frontem stacjonarnym (typ Fs) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 18. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z linią nieciągłości (typ Fn) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)	
Mapy 19. Częstość występowania opadów ekstremalnych związanych z linią nieciągłości (typ Fn) w cyklonalnych	

- typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 20. Prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów (ExO) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 21. Prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów (ExO) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 22. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych wewnątrzmasowych (typ M) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 23. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych wewnątrzmasowych (typ M) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 24. Prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów frontowych (typ F) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 25. Prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów frontowych (typ F) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – grudzień 2008)
- Mapy 26. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z frontem chłodnym (typ Fz) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 27. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z frontem chłodnym (typ Fz) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 28. Prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów związanych z frontem ciepłym (typ Fc) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 29. Prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów związanych z frontem ciepłym (typ Fc) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 30. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z przejściem różnych frontów (typ Fr) w układach wyżowych (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 31. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z przejściem różnych frontów (typ Fr) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 32. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z okluzją (typ Fo) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 33. Prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów związanych z okluzją (typ Fo) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 34. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z frontem stacjonarnym (typ Fs) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 35. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z frontem stacjonarnym (typ Fs) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 36. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z linią nieciągłości (typ Fn) w antycyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)
- Mapy 37. Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych związanych z linią nieciągłości (typ Fn) w cyklonalnych typach cyrkulacji (styczeń 1951 – luty 2008)

Summary

Genetic types of extreme precipitation in Europe and their synoptic determinants (1951 – 2008)

At the time of recent climate change, special importance is given to extreme climatic and meteorological events, including extreme precipitation. Contemporary knowledge about their occurrence is incomplete since they, as the phenomena 'deviating from the norm', usually occur randomly and thus are difficult to predict. The knowledge of the conditions of the extreme events occurrence is important because they often inflict severe damage and, in extreme cases, lead to death. Little predictability of extreme phenomena combined with their rapid development causes that people have a limited chance of getting prepared for their occurrence and protecting themselves from their negative consequences. Extreme events are among the most difficult and simultaneously very important research issues in climatology.

The aim of the researches described in this compilation was to identify the spatial and seasonal variation of the extreme events occurrence and amount, and the relationship between their occurrence and atmospheric circulation. The extensive numerical data comprising daily precipitation totals for the period from December 1950 to February 2008 were gathered from 513 meteorological stations. The selected observation sequences either are complete or the gaps contained therein do not exceed 1% of days for more than half of the meteorological stations (64% of the stations). The relatively long period of research covering 58 years determines a large number of the investigated cases of precipitation occurrences, and thus ensures reliability of the results.

A significant diversity of precipitation regimes in Europe, determined by the amount and frequency of atmospheric precipitation as well as by the period of their concentration, necessitates a regional definition of extreme precipitation (ExO) occurrences. In this paper a statistical definition of extreme occurrences was adapted, according to which occurrences are considered to be extreme when they are rare in the context of the frequency distribution of a particular weather element in a particular place – being above the 95th percentile (95P) of this distribution. The threshold values corresponding to the 95P were determined separately for each meteorological station and for each month, on the basis of daily precipitation totals ≥ 1 mm in the standard period of 1961-1990. The spatial and seasonal variation of daily precipitation totals corresponding to the 95P (threshold values to determine the days with precipitation extremes) refers to the variation of monthly precipitation totals. The annual range of variability in 95P of daily precipitation totals is determined by the values of 4.2 mm (January) and 114.4 mm (October). On the continental scale, the highest values of 95P throughout the year characterise the Mediterranean Basin (in the western and central parts in autumn they amount to more than 40 mm), and the western coasts of the Scandinavian Peninsula, especially the south-western part (more than 25 mm in winter). In Western, Central, Eastern and Northern Europe the highest criteria for distinguishing the days with extreme precipitation occur in summer (15-30 mm), whereas the lowest in winter (5-10 mm in

Central and Eastern Europe, 10-15 mm in Western Europe). Spatial and seasonal variability of 95P of daily precipitation totals is the effect of the influence of air circulation and geographical factors (altitude).

Taking into consideration fundamental processes resulting in the formation of precipitation (free convection and forced convection together with overslide movements of the air of a smaller vertical component, e.g. at the warm front) and the possibility of their identification on the basis of synoptic maps, two fundamental types of extreme precipitation were distinguished, namely air mass precipitation (Type M) and frontal precipitation (type F). Because of different courses of dynamic processes dependent on the type of the meteorological front, a further subdivision of extreme precipitation was made: precipitation connected with the passage of different fronts (type Fr), precipitation linked to the passage of the cold front (type Fz), precipitation related to passage of the warm front (type Fc), precipitation associated with the occlusion (type Fo), precipitation associated with the stationary front (type Fs) and precipitation linked to the discontinuity line (type Fn).

One of the fundamental features that distinguish air mass precipitation from frontal precipitation is the size of the area covered by atmospheric precipitation. Analysis of the spatial extent of the basic genetic types of extreme precipitation (type M and type F) has indicated that during the whole year air mass precipitation covers simultaneously (within the same precipitation day) a much smaller number of stations than frontal precipitation. The spatial extent of air mass precipitation did not exceed two meteorological stations in approximately 38-40% of days with extreme precipitation, whereas in the case of front precipitation approximately 15% of days with extreme precipitation were characterized by such an extent.

The frequency of the genetic types of extreme precipitation in Europe is subjected to a clear spatial and seasonal variability. This variability is caused by differences in the rates of the processes of cyclogenesis and cyclolysis, and is conditioned by the relief of the terrain. The average share of air mass precipitation (type M) in the total number of days with extreme precipitation in Europe changes from 14% in winter to 25% in summer. In all seasons extreme precipitation of M type occurs most often in the south of the continent. In summer, when particularly favourable conditions for the development of convection prevail in this area, it represents more than 50% of extreme precipitation. Its frequency decreases as it moves towards the north. In other areas of the continent, only in summer its frequency is in the range of 10-20% of extreme precipitation, whereas in the other seasons it is usually not more than 10% of extreme precipitation. Precipitation of M type is slightly more often noted, as compared to the continent, in the upland and mountain areas of Europe and on the southeast coast of the North Sea (about 30-50% of extreme precipitation).

In Europe, the vast majority of extreme precipitation is associated with the occurrence of meteorological fronts. In each season, the average share of frontal precipitation in the total number of days with extreme precipitation exceeded the share of air mass precipitation by several times. Frontal precipitation (type F) constitutes the largest part of extreme

precipitation in winter (an average of 86% of ExO), when a cyclonic activity increases on the continent, whereas the smallest in summer (an average of 75% of ExO), when there are more favourable conditions for free convection. On the scale of the continent, southern Europe is characterized by the lowest frequency of frontal precipitation, especially in summer, when in the southernmost parts of the area it constitutes about 10% of extreme precipitation. Both the greatest frequency of air mass precipitation and the lowest frequency of frontal precipitation characteristic for this area during the summer season result from the impact of the northern margins of the subtropical high pressure zone. In winter, the frequency of frontal precipitation in Southern Europe increases due to intense cyclonic activity. Frontal precipitation constitutes from 50% to 80% of the extreme precipitation in the vicinity of the coasts of the North Sea, and in summer on the northern and western coasts of the Scandinavian Peninsula and in autumn on the Polish coast of the Baltic Sea. The smaller frequency of extreme precipitation of F type and the higher rate of precipitation of M type on the coasts of the North Sea is related to the breeze effect.

Extreme precipitation associated with the passage of the cold front (type Fz) is most common in summer, when the cooler air from the Atlantic flows in over the continent. In all seasons, the highest incidence of this genetic type of extreme precipitation occurs in Western Europe (about 30-50% of ExO in summer and 30-40% in other seasons) in a zone extending from the north-western tip of the Iberian Peninsula through France to the Alps, and in south-eastern Europe. The greater number of days with extreme precipitation of Fz type in the mountain areas of Western Europe is related to orographic barriers of the Massif Central and the Alps, which lead to slowing down the velocity of cold fronts flowing into the area and their intensification. Summer maxima of the occurrence of Fz type extreme precipitation in the south-eastern part of the continent is associated with a large low-pressure system with the centre located to the south-east of the Caspian Sea, which causes the flow of the continental air over the area in question, and the strong Azores High wedging deep into the continent, or smaller highs forming over the continental part of Europe and inducing the inflow of the air from the north-west. In Central Europe, the frequency of Fz type of precipitation only in summer reaches 20-30% of ExO, and is smaller in the other seasons. In Europe extreme precipitation connected with the warm front (type Fc) is less common than precipitation associated with the cold front. Their average share in the total number of days with extreme precipitation is the highest in winter (on average 13% of ExO), when the surface of the continent is the coldest, and in spring, when the temperature of the land surface cooled in the winter season is still lower than of the surrounding ocean and marine waters. Generally the frequency of Fc type of precipitation increases as it moves into the continent - the fastest in winter, and the slowest in summer. The highest rates of Fc type of precipitation exceed 20% of ExO, especially in winter in the middle part of Southern Europe, in the southern part of Eastern Europe as well as at the individual stations in Central Europe and on the Scandinavian Peninsula, and in spring in Eastern Europe.

Extreme precipitation associated with the passage of various weather fronts (type Fr) occurs in Europe more frequently than the other distinguished types of fronts. On average, they constitute from about 24% of ExO in summer to about 37% of ExO in winter, when the velocity of the fronts' movements over Europe is the highest. The essential features of the spatial distribution of the rate of Fr type of precipitation on the continent do not change significantly over the years. Extreme precipitation of Fr type most commonly occurs in Western Europe, i.e. on the Atlantic islands, on the western coast of the continent, in the area between the Bay of Biscay and the Gulf of Finland, and on the western coast of the Scandinavian Peninsula, especially in its southern part. In this area the share of Fr type of precipitation in winter reaches from 50% of ExO to 60% of ExO, while in summer it occasionally exceeds 40% of ExO. In winter the zone of the high incidence of Fr type of precipitation extends deeper into the continent, covering also Central Europe. Winter and autumn maxima of the incidence of extreme precipitation associated with the passage of various weather fronts on the west coast of the continent are the result of a higher than in the warm half-year velocity of weather fronts due to higher pressure gradients and intense cyclogenesis resulting, in turn, from stronger thermal gradients in the northern hemisphere in this half of the year. In summer, in Mediterranean stations, extreme precipitation associated with the passage of different fronts has not occurred in the study period.

The share of extreme precipitation associated with the occlusion (type Fo) in the total number of days with extreme precipitation is characterized in Europe by an ordered zonal distribution, whereas the essential features of that distribution are subject to little variation during the year. Precipitation of Fo type throughout the year accounts for about 20% of ExO. Most often it occurs in Northern Europe (over 40% of ExO), with the exception of the west coast of the Scandinavian Peninsula, where its share in the total number of extreme precipitation occurrences throughout the year does not exceed 20% of ExO. The place particularly predisposed to be affected by the occurrence of Fo type of precipitation is the central part of the southern tip of the Scandinavian Peninsula, where at many stations they amount to more than 50% of ExO. At the bottom of this local increase in the incidence of Fo type is orography. Weather fronts shifting over the area slow down due to the orographic barrier of the Scandinavian Mountains, which accelerates the formation of the occlusion. The frequency of Fo precipitation gradually decreases from the north to the south. In summer at many stations in Southern Europe precipitation of Fo type has not occurred in the study period.

Extreme precipitation associated with the stationary front (Type Fs) and discontinuity line (type Fn) are among the rarest in Europe. During the year, in Europe the Fs type on average constitutes from about 3% of ExO (in spring and autumn) to 4% of ExO (in summer), while the frequency of precipitation associated with a discontinuity line in no season exceeds 1% of ExO. Precipitation of Fs type usually takes place in Western and Central Europe (about 10-20% of ExO at individual stations), whereas it does not occur at all at many stations in the south and north of the continent. The highest frequency of precipitation of Fn type is

characteristic for summer, whereas in winter it appears sporadically. In summer precipitation of Fn type occurs mainly in Western and Central Europe.

The clearly outlined spatial and seasonal variability of the incidence of particular genetic types of precipitation was the motivation behind undertaking the synthesis of the observed regularities. Using the K-Means Cluster Analysis, after the careful selection of grouping variables, in each season there were selected six groups of stations characterized by different structure of the occurrence of genetic types of extreme precipitation (Table. 36).

Table 36. Distribution of regional groups of occurrence of extreme precipitation genetic types in seasons

Regional Groups	Spring	Summer	Autumn	Winter
GR1	The southern part of Europe from the Atlantic Ocean to the Caspian Sea and the southern part of Central Europe	The northern part of Southern Europe	Western coast of the Scandinavian Peninsula, the stations on the coasts of Western and Central Europe (Baltic coast) and mountain stations	Northern Europe and western coast of the Scandinavian Mountains
GR2	Northern, Central and Eastern Europe, and the western coast of the Scandinavian Peninsula	Southern Europe	The northern part of Southern Europe and the southern part of Western and Central Europe	The northern part of Southern Europe, Eastern Europe
GR3	The western coast of the Scandinavian Peninsula and the northern part of Southern and Western Europe	The western coast of the Scandinavian Peninsula, mountain stations and stations on the coasts of Central Europe, individual stations in Eastern Europe	the western coast of the Scandinavian Peninsula, the northern part of south-western Europe	The coast of the Scandinavian Peninsula, the northern part of south-western Europe
GR4	Northern Europe	The northern part of Western, Central and Eastern Europe and the south-western part of the Scandinavian Peninsula	Western Europe the northern part of Central and Eastern Europe	Western and Central Europe
GR5	The eastern and western part of Southern Europe	The southern part of Western and Central Europe and the northern part of Southern Europe	Southern Europe	A group scattered in Southern, Central and Northern Europe
GR6	The southern part of the Scandinavian Peninsula	Northern Europe	Northern Europe (the leeward side of the Scandinavian Mountains, the Atlantic islands)	Northern Europe on the leeward side of the Scandinavian Mountains, Iceland, United Kingdom

The selected groups of stations do not meet the condition of spatial continuity typical of the regions, but nevertheless they describe the regional characteristics of that structure, hence they are called regional groups. Bearing in mind the big spatial and temporal variability of precipitation, especially as regards extreme precipitation, it should be emphasized that the obtained, clearly structured spatial distribution of regional groups testifies to the existence of regularities governing the occurrence of genetic types of extreme precipitation on the continent. The weather stations which form some of the regional groups are scattered across the continent, however the distribution is not random but the result of the specific impact of local conditions on the course of the processes leading to the occurrence of extreme precipitation and determining amount.

The distinguished regional groups of the incidence of the genetic types of extreme precipitation (GTE_xO) in a synthetic way highlight the most important features of the spatial and seasonal variability of the mentioned structure of the occurrence of GTE_xO. In the regional groups embracing the stations in Northern Europe (GR 6 in all seasons), throughout the year the largest part of extreme precipitation is associated with occlusion (about 50% of ExO in winter, autumn and spring, and about 40% of ExO in summer). In summer air mass precipitation is the dominant genetic type in three regional groups covering the stations in Southern Europe. In the southernmost GR2 regional group, M type represents almost 70% of extreme precipitation. In autumn air mass precipitation is the most common genetic type in two regional groups, while in spring and winter, only in one of the regional groups. In autumn one of these groups includes stations in the southern part of the continent (GR5), however M type of precipitation there has a substantially smaller share in extreme precipitation (less than about 40% of ExO) than in summer. In this regional group a substantial part of ExO is also connected with cold fronts (over 25% of ExO). The second of the distinguished in autumn groups, characterized by the highest incidence of M type of precipitation, covers, in a similar way as the analogous regional groups separated in spring and winter, mountain stations and stations located in the vicinity of the coasts. In these groups, a prominent role in shaping precipitation is played by local factors, mainly relief and breeze effects. In each season, the highest incidences of precipitation associated with a cold front occur in regional groups embracing stations located in the southern part of Western, Central and Eastern Europe, however only in one regional group (GR5) distinguished in summer it constitutes the largest part of extreme precipitation (less than 30% of ExO). In the other groups, the maximum frequency coincides with precipitation associated with the passage of different weather fronts (type Fr). Precipitation of Fr type, however, constitutes the largest part of extreme precipitation in regional groups covering Western and Central Europe, and the northern and central parts of Eastern Europe. Their highest incidence (approximately 50% of ExO) characterises the distinguished in winter GR 4 group, covering stations in Western and Central Europe. Generally, in Europe precipitation associated with the inflow of different fronts constitutes the largest portion of extreme precipitation in winter, when the rate of movement of low pressure systems over the continent is the highest. In this season in four regional groups Fr type represents the largest share of extreme precipitation.

Genetic types of extreme precipitation differ in statistical distribution of the frequency of daily totals, as was assessed within the distinguished regional groups on the basis of the U Mann-Whitney and Kolmogorov-Smirnov test. The statistical significance of this relationship varies depending on the season and the regional group. Generally, in most of the seasons and in most of the regional groups, within which the relationship between the distribution of daily precipitation totals and their genetic type are statistically significant, daily air mass precipitation totals (type M) are significantly lower than frontal precipitation. The increased intensity of air mass precipitation, which typically lasts shorter than one hour, are

compensated by a longer duration of front precipitation, which may occur over a period of 6 to 12 hours, when one takes into account the whole cyclonic system.

Merely in summer, the regional group GR3 primarily comprising stations on the west coast of the Scandinavian Peninsula, near the southeast coast of the North Sea and a few stations in Central Europe, air mass precipitation is significantly higher than precipitation associated with an occlusion, and at the same time air mass precipitation is the most common genetic type in this season (about 35% of ExO). This relationship also lasts in autumn in GR2 which covers most of the stations in Western and Central Europe, where the frequency of precipitation of both M and Fo type is comparable (about 10% of ExO). Another feature distinguishing summer in comparison to the other seasons of the year is daily precipitation totals generated at warm fronts significantly higher than both air mass precipitation and the precipitation associated with a cold front in GR5 including stations near the northern edge of Southern Europe and slightly further to the north. However, in the majority of the regional groups precipitation associated with cold and stationary fronts is higher than precipitation linked to the occlusion (type Fo), the warm front (Fc) and the passage of various weather fronts. The high amount of precipitation associated with the stationary front results from a long period of its lying over a particular area, which can range from several hours to several days. High precipitation due to the cold front is the effect of the occurring on its line forced convection, which brings about precipitation of considerable intensity and duration greater than of precipitation associated with free convection. Only in winter in GR6, precipitation of Fo type is higher than precipitation of Fr type; GR6 regional group comprises stations in Northern Europe and at the southern tip of the Scandinavian Peninsula, where on the continental scale Fo precipitation occurs most frequently.

Analysis of the relationship between the occurrence of extreme precipitation and atmospheric circulation showed that the inclusion of their genetic type contributes to better understanding of these relationships. All genetic types of extreme precipitation (both air mass and front) occur in anticyclonic as well as in cyclonic situations and, while their frequency in the cyclonic situations is greater. The incidence of genetic types of extreme precipitation in Europe indicates the relation to the direction of air advection and the type of pressure system - the nature of this relationship shows clear regional differences.

The occurrence of extreme air mass precipitation has the strongest association with atmospheric circulation in Southern Europe, in mountainous areas, on the southeast coasts of the North Sea and on the western slopes of the Scandinavian Mountains. Precipitation of M type in Southern Europe over the year is related to the inflow of the air from the south-eastern sector (E + SEc situation). In the mentioned above the other parts of Europe, extreme air mass precipitation occurs most frequently during air advection from the northern sector. On the west coast of the Scandinavian Peninsula, M type of precipitation is facilitated by air advection from the north-western sector (W+NWc situation), while in the mountainous areas in the interior of the continent it occurs most frequently during the inflow of the air from the north-western sector (N+NEc situation), which is particularly evident in summer.

The occurrence of frontal extreme precipitation (type F) is related to both the direction of air advection and the type of pressure system. These relations do not change over the year in anticyclonic situations, while in the cyclonic situations they are characterized by a marked seasonal variation. The strongest relation between the incidence of precipitation of F type and anticyclonic situations has been found in the Alps as well as in the middle part of the southern tip of the Scandinavian Peninsula and on the leeward side of the Scandinavian Mountains. In the Alps the occurrence of precipitation of F type, just as in the case of air mass precipitation, is facilitated by air advection from the north, while its highest frequency is characteristic of W+NWa situation. In the central part of the southern tip of the Scandinavian Peninsula and on the leeward side of the Scandinavian Mountains, air advection from the south, especially from the south-east (S+SEa situation) is highly conducive to precipitation of F type. Analysis of the conditional probability of precipitation of F type indicates moreover that in autumn and winter their occurrence on the west coast of the Scandinavian Peninsula is facilitated by N+NEa+ and W+NWa situations, whereas in the southern part of Norway during the whole year – S+SWa situation.

The relationships between the occurrence of front precipitation and cyclonic situations, as has been mentioned, are much more complicated. Extreme precipitation of F type in Northern Europe (with the exception of the west coast of the Scandinavian Mountains) and Eastern Europe are most related to air advection from the south-east (E+SEc situation). In Central Europe, the highest incidence and, at the same time, the largest probability of precipitation of F type is related to the inflow of the air from the north-eastern sector (N+NEc situation). In the western part of Europe, its occurrence is related to air advection from the north-western sector (W+NWc situation). The described above relationships are particularly distinct in autumn and winter. In addition, throughout the year in the British Isles and in the southern part of the Scandinavian Peninsula precipitation of F type usually occurs during air advection from the south-west (S+SWc). In the British Isles the probability of precipitation in S+SEc situation is comparable to its probability in S+SWc situation.

The division of extreme frontal precipitation according to the type of weather front allows better defining of the relationship between its occurrence and atmospheric circulation, especially in cyclonic situations.

The relationships between the occurrence of precipitation associated with the cold front (type Fz) and anticyclonic situations are weak, but nevertheless they are noticeable mainly in the Alps, and while depending on the season also in the Iberian Peninsula and the west coast of the Scandinavian Peninsula. In the Alps the occurrence of precipitation associated with the cold front throughout the year is facilitated by air advection from the north, particularly by W+NWa situation. On the west coast of the Scandinavian Peninsula the frequency of Fz type of precipitation is small in all anticyclonic situations, however, the analysis of conditional probability indicates that its presence in N+NEa situation is more probable than in other anticyclonic types, which is noticeable mainly in winter and autumn.

On the west coast of the Iberian Peninsula higher, in comparison to the continent, frequency of precipitation of Fz type characterizes W+NWa situation (in summer and winter), however these relationships are not confirmed by the results of the analysis of conditional probability.

Extreme precipitation of Fz type demonstrates stronger relationships with cyclonic situations. In south-western Europe, the occurrence of precipitation of Fz type is generally favoured by the inflow of the air from the western sector. In the vicinity of France this type of precipitation is related mainly to the inflow of the air from the north-western sector (W+NWc situation, especially in winter and autumn), whereas on the western coast of the Iberian Peninsula the probability of its occurrence in S+SWc situation is similar, and at some stations even slightly higher. The inflow of the air from the northern sector also facilitates the incidence of extreme precipitation of Fz type in the southern part of Eastern Europe. In the Alps extreme precipitation of Fz type is associated with air advection from the northern sector, both in cyclones and anticyclones; however the likelihood of their occurrence in low-pressure systems is higher.

Precipitation generated at warm fronts (type Fc) occurs relatively rarely in Europe. The relationships between their presence and atmospheric circulation clearly appear in cyclonic situations. The occurrence of precipitation of Fc type indicates a relationship with atmospheric circulation primarily in Eastern Europe, and slightly lesser in Central Europe, reaching the Alps and western part of Eastern Europe. Throughout the year and especially in winter, precipitation of Fc type in Eastern Europe occurs during air advection from the south-eastern sector (E+SEc situation). In Central Europe, the occurrence of extreme precipitation of Fc type is associated with the inflow of the air from the north-east (N+NEc situation), however in spring it applies to the Polish territory, in summer – the western part of Eastern Europe, in autumn – the south of Poland and the areas located further to the south between the Alps and the Black Sea.

Precipitation associated with the passage of various fronts (Fr type) is the most common genetic type, hence the relationship between its frequency and atmospheric circulation is similar to that of frontal precipitation (type F), particularly in cyclonic situations. However, because of the fact that precipitation of Fr type constitutes the largest part of extreme precipitation in Western Europe it is worth noting that its occurrence in this area in the winter season is facilitated by air advection from the north-eastern sector (type W+NWc). The frequency of precipitation of Fr type in anticyclonic situations is smaller than of precipitation of F type, but nevertheless their spatial variability is similar. The only difference regarding ExO of Fr type is the absence of the discussed relationship between air advection from the north and the frequency of Fr precipitation in the Alpine area in autumn and spring.

Precipitation generated at occlusion (type Fo) constitutes the largest share of extreme precipitation in Northern Europe. The area most predisposed to its occurrence is the central part of the southern tip of the Scandinavian Peninsula. In this area, Fo type of precipitation occurs most frequently during the inflow of the air from the south-eastern sector, both in high and low pressure situations (S+SWc and S+SWa situations). In other parts of Europe Fo

precipitation demonstrates a relationship only with the cyclonic. In Northern Europe, especially on the leeward side of the Scandinavian Mountains, in the British Isles and Eastern Europe, the occurrence ExO of Fo type, especially in autumn and winter, is associated with air advection from the south-east. In summer on the western coast of the Scandinavian Peninsula and on the southeast coast of the North Sea extreme precipitation is most often associated with occlusion during air advection from the northern sector (N+NEc and W+NWc situations). Extreme precipitation of Fo type shows the strongest relationship with the type of pressure system, and is mainly associated with cyclones.

Precipitation linked to the stationary front (type Fs) and discontinuity line (type Fn) is the least numerous type of all of the distinguished genetic types. The little frequency of Fn type does not allow formulating reliable conclusions on the relationship between its occurrence and atmospheric circulation. The incidence of precipitation of Fs type in each synoptic situation is low. However, the results of the analysis of conditional probability pointed out to significant associations between its occurrence and atmospheric circulation in the summer season. On the west coast of the Scandinavian Peninsula and on the southeast coast of The North Sea the occurrence of precipitation of Fs type is facilitated by air advection from the north, especially in the north-west sector (W+NWc situation). The advection from the North, particularly N+NEc situation, is also conducive to the occurrence of Fs type of precipitation in the Alps and in southern Poland. In autumn and winter Fs precipitation occurs sporadically but its presence is clearly associated with a trough of low pressure. These relationships are noticeable mainly in winter in southern Poland, on the Polish coast of the Baltic Sea and on the southeast coast of the North Sea.

The relationship between the occurrence of air mass precipitation and atmospheric circulation is characterized by a regional variability smaller than the relationship between atmospheric circulation and the occurrence of frontal precipitation. Moreover, the occurrence of extreme precipitation in high-pressure systems, regardless of the genetic type, in the areas where their formation is aided by orographic effect, is related to the inflow of the air from the northern sector.

SPIS ZAWARTOŚCI

Mapy 1. Mediana dobowych sum opadów ekstremalnych w typach genetycznych

Częstość występowania opadów ekstremalnych w antycyklonalnych typach cyrkulacji w Europie (1951 - 2008)

- Mapy 2. Wszystkie opady ekstremalne (ExO)
- Mapy 4. Opady wewęńtrzasowe (typ M)
- Mapy 6. Opady frontowe (typ F)
- Mapy 8. Opady związane z przejściem frontu chłodnego (typ Fz)
- Mapy 10. Opady związane z przejściem frontu ciepłego (typ Fc)
- Mapy 12. Opady związane z przejściem różnych frontów (typ Fr)
- Mapy 14. Opady związane z frontem okluzji (typ Fo)
- Mapy 16. Opady związane z frontem stacjonarnym (typ Fs)
- Mapy 18. Opady związane z linią nieciągłości (typ Fn)

Częstość występowania opadów ekstremalnych w cyklonalnych typach cyrkulacji w Europie (1951 - 2008)

- Mapy 3. Wszystkie opady ekstremalne (ExO)
- Mapy 5. Opady wewęńtrzasowe (typ M)
- Mapy 7. Opady frontowe (typ F)
- Mapy 9. Opady związane z przejściem frontu chłodnego (typ Fz)
- Mapy 11. Opady związane z przejściem frontu ciepłego (typ Fc)
- Mapy 13. Opady związane z przejściem różnych frontów (typ Fr)
- Mapy 15. Opady związane z frontem okluzji (typ Fo)
- Mapy 17. Opady związane z frontem stacjonarnym (typ Fs)
- Mapy 19. Opady związane z linią nieciągłości (typ Fn)

Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych w antycyklonalnych typach cyrkulacji w Europie (1951 - 2008)

- Mapy 20. Wszystkie opady ekstremalne (ExO)
- Mapy 22. Opady wewęńtrzasowe (typ M)
- Mapy 24. Opady frontowe (typ F)
- Mapy 26. Opady związane z przejściem frontu chłodnego (typ Fz)
- Mapy 28. Opady związane z przejściem frontu ciepłego (typ Fc)
- Mapy 30. Opady związane z przejściem różnych frontów (typ Fr)
- Mapy 32. Opady związane z frontem okluzji (typ Fo)
- Mapy 34. Opady związane z frontem stacjonarnym (typ Fs)
- Mapy 36. Opady związane z linią nieciągłości (typ Fn)

Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów ekstremalnych w cyklonalnych typach cyrkulacji w Europie (1951 - 2008)

- Mapy 21. Wszystkie opady ekstremalne (ExO)
- Mapy 23. Opady wewęńtrzasowe (typ M)
- Mapy 25. Opady frontowe (typ F)
- Mapy 27. Opady związane z przejściem frontu chłodnego (typ Fz)
- Mapy 29. Opady związane z przejściem frontu ciepłego (typ Fc)
- Mapy 31. Opady związane z przejściem różnych frontów (typ Fr)
- Mapy 33. Opady związane z frontem okluzji (typ Fo)
- Mapy 35. Opady związane z frontem stacjonarnym (typ Fs)
- Mapy 37. Opady związane z linią nieciągłości (typ Fn)