

ATLAS ZAGROŻEŃ METEOROLOGICZNYCH POLSKI
METEOROLOGICAL HAZARD ATLAS OF POLAND



ZBIGNIEW USTRNUL, AGNIESZKA WYPYCH,
EWELINA HENEK, DANUTA CZEKIERDA, JAKUB WALAWENDER,
DANUTA KUBACKA, ROBERT PYRC, BARTOSZ CZERNECKI



ATLAS ZAGROŻEŃ METEOROLOGICZNYCH POLSKI

METEOROLOGICAL HAZARD ATLAS OF POLAND

Zbigniew Ustrnul, Agnieszka Wypych, Ewelina Henek,
Danuta Czekierda, Jakub Walawender, Danuta Kubacka,
Robert Pyrc, Bartosz Czernecki

ATTYKA

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy

Kraków 2014



SERIA PUBLIKACJI NAUKOWO-BADAWCZYCH IMGW-PIB

ATLAS ZAGROŻEŃ METEOROLOGICZNYCH POLSKI
METEOROLOGICAL HAZARD ATLAS OF POLAND

Autorzy/Authors:

Zbigniew Ustrnul, Agnieszka Wypych, Ewelina Henek, Danuta Czekierda
Jakub Walawender, Danuta Kubacka, Robert Pyrc, Bartosz Czernecki

Korekta językowa (język polski):

Karolina Racka

Tłumaczenie na język angielski/English translation:

Tomasz Podstawski

English editing:

Bogdan Markiewicz

Recenzent/Reviewer:

Tadeusz Niedźwiedź

Autorzy zdjęć/Photo authors:

Sebastian Wypych – s. 13, 44, 133, 150, 151, 162
Zbigniew Ustrnul – s. 30, 47, 54, 55, 84, 123, 151, 157
Wojciech Skrzypiec – s. 48, Tomasz Nodzyński – s. 84, 87
Paweł Chrustek – s. 85, valdezrl/Fotolia – okładka, s. 133

Przygotowanie do druku i druk/Prepress and press:

Wydawnictwo Attyka

Finansowanie publikacji/Publication financed by:

Wydawnictwo Attyka

Zamówienia/Orders:

www.attyka.net.pl

ISBN: 978-83-64979-05-7

Wydawca

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy
01-673 Warszawa, ul. Podleśna 61, E. content@imgw.pl
& Wydawnictwo Attyka

Od głównego Autora Projektu

Projekt *Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami* (ISOK) powstał z myślą o zapewnieniu poczucia bezpieczeństwa obywateli i ich mienia w sytuacjach nadzwyczajnego zagrożenia. Zaproponowano kompleksowe podejście do systemu osłony kraju, w tym: ochrony przed powodzią, rozpoznania i bieżącego ostrzegania przed ekstremalnymi zjawiskami meteorologicznymi i zdarzeniami technologicznymi (synergicznymi).

Mapy zagrożeń meteorologicznych są istotną składową zaprojektowanego systemu. Mapy prognostyczne, aktualizowane dwukrotnie w ciągu doby, skonstruowane na podstawie modelu mezometeorologicznego oraz opracowanych algorytmów, informują o bieżących (na najbliższe 12, 24 i 48 godzin) zagrożeniach meteorologicznych. Mapy historyczne natomiast przedstawiają zróżnicowanie przestrzenne występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych w Polsce w formie map ciągłych, map sygnaturowych oraz map warunków sprzyjających.

Z uwagi na bogactwo treści map historycznych (wybór elementów meteorologicznych i ich szczegółowych charakterystyk) oraz wnikliwą analizę zróżnicowania czasowego występowania ekstremów pogodowych w Polsce (po raz pierwszy analizowana jest zmienność warunków w kolejnych dekadach roku) autorzy map zdecydowali się na ich wydanie także w formie atlasu. Niniejsza publikacja zawiera obszerny wybór map klimatologicznych, przedstawiających zróżnicowanie czasowe i przestrzenne występowania ekstremalnych zdarzeń i zjawisk pogodowych w Polsce w latach 1951-2010.

Prof. dr hab. inż. Maciej Maciejewski

From the main Author of the Project

The *IT System for Country Protection against extreme hazards* (Polish acronym ISOK) was developed to provide a sense of safety for the citizens and their property in case of extreme hazardous events. A complex approach was proposed as a system of national protection, which includes protection against floods, identification and constant warning against extreme meteorological phenomena and technological (synergistic) events.

Meteorological hazard maps form a critical component of the designed system. Forecasting charts, updated twice a day and constructed on the basis of a meso-meteorological model and developed algorithms provide information on the current meteorological hazards (for the next 12, 24, and 48 hours). Historical maps represent spatial diversity of extreme weather phenomena in Poland in the form of contour maps, signature maps and maps of favorable conditions.

Thanks to the abundant content of historical maps (a wide range of meteorological elements accompanied by their detailed characteristics) and an insightful analysis of the temporal diversity of extreme weather occurrences in Poland (the variability of conditions in subsequent ten-day periods is being analyzed for the first time), the authors of the maps have decided to publish them as an atlas. The following publication consists of an extensive choice of climatological maps that show the temporal and spatial diversity of extreme weather events and phenomena between 1951 and 2010.

Professor Maciej Maciejewski

Przedmowa

Mapy zagrożeń meteorologicznych to jedno z zadań, które było realizowane w ramach projektu ISOK (*Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami*), współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (POIG.07.01.00-00-025/09). Głównym celem zadania było zobrazowanie zróżnicowania przestrzennego ekstremalnych zjawisk pogodowych w ostatnich dekadach (mapy historyczne/klimatologiczne) oraz przedstawienie obszarów, na których zjawiska te są prognozowane (mapy operacyjne/prognostyczne). Dodatkowo, w przypadku map termicznych i opadowych, mapy historyczne stanowiły podstawę do wyznaczania progów zagrożeń dla map operacyjnych. Prognozowane wartości klasyfikowane są bowiem według prawdopodobieństwa ich wystąpienia na danym obszarze obliczonego na podstawie analizy klimatologicznej (Wypych i in. 2014).

W części tzw. map historycznych opracowano mapy przedstawiające zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów pogody i klimatu, które mogą stanowić zagrożenie dla człowieka i przyrody. Mapy te, w łącznej liczbie ponad 700, prezentują klimatologiczne zróżnicowanie wybranych zagrożeń meteorologicznych na obszarze Polski. Umożliwiają tym samym wstępną ocenę potencjalnych zagrożeń wybranymi zjawiskami meteorologicznymi w poszczególnych regionach kraju, w przebiegu rocznym. Wszystkie mapy zostały opracowane, aby finalnie znaleźć się w systemie ISOK, a tym samym umożliwić ich dokładną analizę każdemu użytkownikowi. W niniejszej publikacji, *Atlasie zagrożeń meteorologicznych Polski*, zaprezentowano najważniejsze – zdaniem autorów – mapy, które przedstawiają zakres zróżnicowania wybranych zagrożeń pogodowych. Tym samym pozwalają zwrócić uwagę na ich zmienność zarówno przestrzenną, jak i czasową. Dla ułatwienia percepcji informacji o zjawiskach ekstremalnych zamieszczono też dodatkowo mapy obrazujące zróżnicowanie klimatologiczne wybranych elementów i zjawisk.

Foreword

Meteorological hazard maps are one of the tasks realized in the project titled *IT System for Country Protection against extreme hazards* (Polish acronym ISOK), co-financed by the European Union within the Innovative Economy Operational Program (POIG.07.01.00-00-025/09). The main aim of the task was to present the spatial diversity of extreme weather phenomena that took place in Poland in the past few decades (historical/climatological maps) and show areas where the phenomena are forecast (operational/forecasting charts). Additionally, in the case of temperature and precipitation maps, the historical maps served as the basis for determining hazard thresholds in the operational charts since threshold values are classified according to the probability of their occurrences in a given area, where the probability is computed based on climatological analyses (Wypych et al. 2014).

The so-called historical maps section contains maps representing the spatial diversity of the chosen weather and climate elements that may pose a threat to people and the environment. A total of more than 700 maps illustrate the climatological diversity of chosen weather hazards in Poland. Therefore, they enable an initial analysis of potential threats caused by the chosen weather phenomena in particular parts of the country throughout the course of the year. The entirety of the maps is to be used in the ISOK system to enable their thorough analyzing. For the following publication, *Meteorological Hazard Atlas of Poland*, the most significant maps, according to the authors, were selected to show the range of diversity of the chosen weather hazards thus allowing to draw one's attention to their spatial and temporal variability. To make perceiving the information on extreme phenomena easier, the Atlas also contains additional introductory maps, which show the climatological diversity of the chosen elements and phenomena.

Prace podjęte w ramach zadania *Mapy zagrożeń meteorologicznych* były możliwe dzięki wsparciu pomysłodawcy Projektu, prof. dra hab. inż. Macieja Maciejewskiego, oraz pomocy obecnego kierownika Projektu w IMGW-PIB dra hab. inż. Andrzeja Tiukała, prof. IMGW-PIB, a także kierownika zadania *Mapy Zagrożeń*, dra inż. Tomasza Walczykiewicza.

Mapy zagrożeń meteorologicznych prezentowane w systemie ISOK oraz w niniejszej publikacji powstały dzięki wielkiemu zaangażowaniu zespołu ekspertów, meteorologów i klimatologów, synoptyków, informatyków oraz specjalistów GIS (Geograficzne Systemy Informacji). W przetwarzaniu podstawowej informacji (zebranie materiałów źródłowych oraz ich wstępna analiza statystyczna i klimatologiczna) wzięło udział ponad 20 osób, które choć nie figurują w oficjalnym wykazie autorów *Atlasu ...*, w znacznym stopniu przyczyniły się do powstania wielu map. Za ich profesjonalizm i całą pracę składam serdeczne podziękowania. W opracowaniu poszczególnych elementów meteorologicznych uczestniczyli: mgr Danuta Czekierda (zagrożenia termiczne), mgr Robert Pyrc, mgr inż. Piotr Kilar (intensywne opady atmosferyczne), dr Anna Fiema, dr Paweł Chrustek, mgr Maciej Karzyński, mgr inż. Łukasz Szatan (pokrywa śnieżna), dr hab. Halina Lorenc, prof. IMGW-PIB, dr Bartosz Czernecki (silny wiatr), mgr Rafał Kielar, mgr Grzegorz Mikutel (burza z gradem), mgr Witold Wiązewski, mgr Monika Kaseja (mgła), mgr Ewelina Henek, mgr Łukasz Harasimowicz (szadź), mgr Tomasz Knopik, mgr inż. Szymon Pysz (gołoledź). Wsparcie informatyczne oraz GIS zapewнили mgr Małgorzata Barszczyńska, mgr inż. Danuta Kubacka oraz mgr Jakub Walawender.

Wszystkim wyżej wymienionym, a w tym osobom, które nie znalazły się w zespole autorskim *Atlasu ...*, składam wyrazy wdzięczności.

Nad całością prac, ale także nad opracowaniem poszczególnych elementów czuwały mgr Ewelina Henek oraz dr Agnieszka Wypych. Bez ich ogromnej pomocy ostateczna forma *Atlasu ...* a także wszystkich map znajdujących się w systemie ISOK nie byłaby możliwa. Podziękowanie należy się również mgr Danucie Czekierdzie za wsparcie merytoryczne na różnych etapach prac przygotowawczych.

Za życzliwość i cenne uwagi zarówno przy realizacji całego zadania, jak i przy przygotowaniu części wyników do druku dziękuję Recenzentowi, prof. dr hab. Tadeuszowi Niedźwiedziowi.

Prof. dr hab. Zbigniew Ustrnul
Kierownik Zespołu
Map Zagrożeń Meteorologicznych

The work undertaken in the task of Meteorological Hazard Maps thanks to the widespread support of the project's author, Professor Maciej Maciejewski, the help of the current Project Leader at IMGW-PIB (Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute) Dr. hab. Andrzej Tiukała, prof. at IMGW-PIB, and the help of Hazard Maps Leader Dr. Tomasz Walczykiewicz.

The meteorological hazard maps shown in the ISOK system and in the following publication were developed thanks to the immense involvement of the panel of experts, meteorologists, climatologists, forecasters, computer scientists, and GIS (Geographical Information Systems) specialists. There were over 20 people involved in the processing of primary information (collecting source material, initial statistical and climatological analyses) and, although they do not figure in the official list of authors of the Atlas, they largely contributed to the development of many maps. I wish to express my gratitude for their professionalism and entire work. The following people were involved in the development of particular meteorological elements: Danuta Czekierda, M.Sc. (air temperature extremes), Robert Pyrc, M.Sc., Piotr Kilar, M.Sc. (heavy rainfalls), Dr. Anna Fiema, Dr. Paweł Chrustek, Maciej Karzyński, M.Sc., Łukasz Szatan, M.Sc. (snow cover), Dr. hab. Halina Lorenc, prof. at IMGW-PIB, Dr. Bartosz Czernecki (strong wind), Rafał Kielar, M.Sc., Grzegorz Mikutel, M.Sc. (thunderstorm with hail), Witold Wiązewski, M.Sc., Monika Kaseja, M.Sc. (fog), Ewelina Henek, M.Sc., Łukasz Harasimowicz, M.Sc. (rime ice), Tomasz Knopik, M.Sc., Szymon Pysz, M.Sc. (glaze ice). GIS IT support was ensured by Małgorzata Barszczyńska, M.Sc., Danuta Kubacka, M.Sc. and Jakub Walawender, M.Sc.

I would like to thank all of the above-mentioned and especially those who were not included in the official authorship of the Atlas.

The whole work and the development of its particular elements was coordinated by Ewelina Henek, M.Sc. and Dr. Agnieszka Wypych. Without their enormous help, the final form of both the Atlas and the ISOK system maps in general would never be possible to achieve. The special thanks should be also addressed to Danuta Czekierda, M.Sc. for the scientific support.

For his kindness and priceless remarks during both the realization of the task and print preparation of part of the results, particular appreciation goes to the Reviewer Professor Tadeusz Niedźwiedź.

Professor Zbigniew Ustrnul
Meteorological Hazard Maps
Team Leader

Wstęp

Informacja o bieżących i prognozowanych warunkach pogodowych jest niezastąpiona w codziennym funkcjonowaniu człowieka, zwłaszcza gdy zjawiska pogodowe osiągają wymiar ekstremalny. Stają się wówczas groźne, powodują ogromne straty materialne, nie wspominając już o zagrożeniu dla zdrowia i życia ludzkiego. Obecny rozwój technologiczny, w tym także teledetekcji atmosfery, czy systemów informacji geograficznej wraz ze znajomością procesów zachodzących w atmosferze oraz innych czynników warunkujących zróżnicowanie pogody pozwalają na coraz lepsze ich prognozowanie, umożliwiając tym samym ochronę życia i mienia ludzkiego.

Polska, z uwagi na swoje położenie w Europie, przejściowość klimatu, a także zróżnicowanie ukształtowania powierzchni (ryc. 1), jest szczególnie narażona na występowanie ekstremów pogodowych. Niektóre z nich, jak na przykład intensywne opady atmosferyczne, są bezpośrednią przyczyną powodzi, które w Europie Środkowej powszechnie uważane są za najbardziej niszczycielski żywioł naturalny (Kundzewicz 2012). Inne, choć występują sporadycznie lub sezonowo, na ogół przynoszą mniejsze straty, ale są również bardzo dotkliwe (np. grad, gołoledź, szadź). Dlatego też zagadnienie zjawisk ekstremalnych, w tym przede wszystkim pogodowych, było przedmiotem wielu prac naukowych oraz licznych projektów badawczych. Na uwagę zasługuje zwłaszcza projekt pt. „Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne i hydrologiczne w Polsce”, realizowany w latach 2004-2008.

Wnikliwa analiza częstości występowania ekstremów pogodowych w Polsce oraz informacje na temat potencjalnych szkód, jakie się z nimi wiążą, były podstawą wyboru ośmiu elementów i zjawisk meteorologicznych, które zostały przedstawione na mapach: zagrożenia termiczne, intensywne opady atmosferyczne, pokrywa śnieżna, silny wiatr, burza z gradem, mgła, szadź i gołoledź. Warto podkreślić, że wszystkie one zostały zaliczone przez WMO (Golnaraghi 2012) do zagrożeń pierwszego typu i są jednymi z najczęściej występujących w Europie (WMO 2010).

Introduction

The information on the current and forecast weather conditions, especially when weather phenomena become extreme, is, by and large, indispensable for man's everyday activity. When dangerous, they cause vast material losses, not to mention putting human health and life at risk. The present technological developments, which include remote sensing and geographical information systems, along with the understanding of atmospheric processes and other determinants of weather variability, allow for more efficient forecasts and, consequently, make protecting human life and property possible.

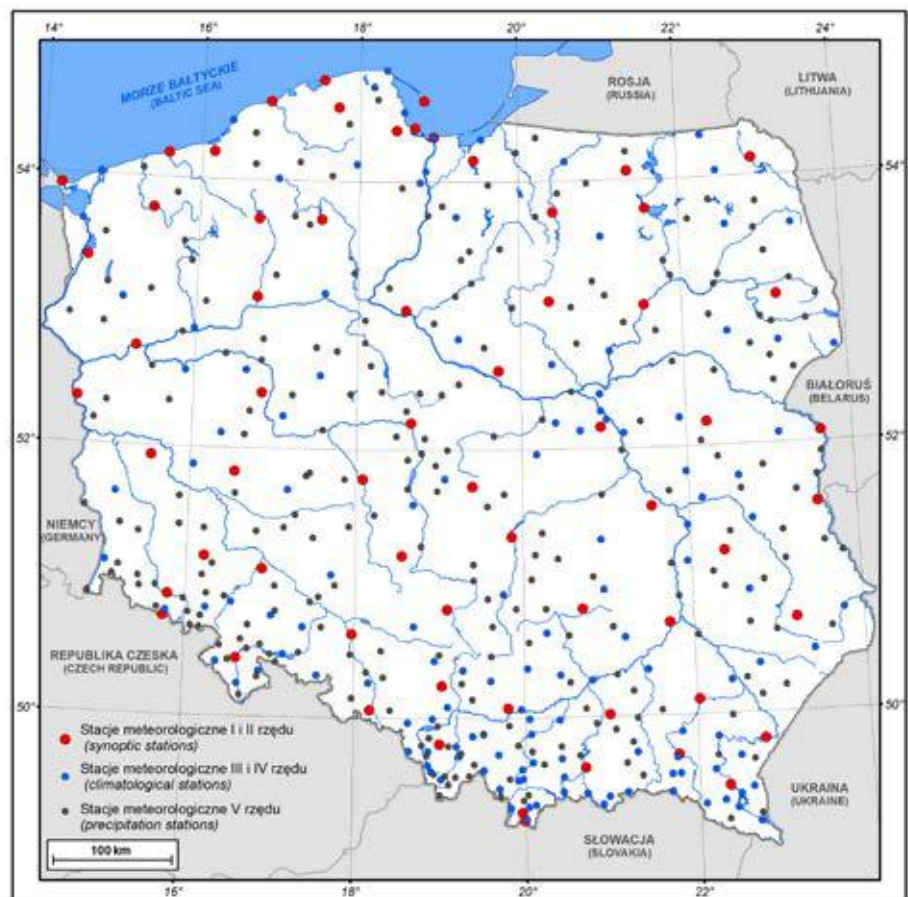
Poland, because of its location in Europe, transitional climate, and varied relief (Fig. 1), is particularly exposed to weather extremes occurrences. Some of them, for example intensive rainfall, are a direct cause of floods, which in Central Europe are universally recognized as the most destructive natural disaster (Kundzewicz 2012). Others, although sporadic or seasonal and usually leading to smaller losses, can also be quite severe (e.g. hail, glaze, rime). Therefore the issue of extreme phenomena, particularly meteorological ones, was the topic of numerous publications as well as scientific projects, as "Extreme meteorological and hydrological events in Poland" carried out in the period 2004-2008.

An insightful analysis of the frequency of extreme weather occurrences in Poland as well as the information on the potential damage associated with them were the basis for choosing eight weather elements and phenomena presented later on maps. These included temperature extremes, intensive rainfalls, snow cover, strong winds, thunderstorms with hail, fog, rime ice, and glaze ice. It is worth mentioning that all of them were rated by the WMO (Golnaraghi 2012) as Type 1 hazards, and belong to the most frequently occurring in Europe (WMO 2010).

1
 Zróżnicowanie
 fizycznogeograficzne Polski
 Physical geography
 of Poland



2
 Rozmieszczenie stacji
 pomiarowych wykorzystanych
 w opracowaniu
 Location of meteorological
 stations used in the study



Materiały źródłowe i metody

Zróźnicowanie przestrzenne występowania ekstremów oraz ekstremalnych zjawisk pogodowych opracowano na podstawie możliwie jak najdłuższych i jednorodnych serii meteorologicznych danych dobowych, pochodzących z okresu od 1951 do 2010 r. (w przypadku zjawisk atmosferycznych, z uwagi na dostępność danych, okres został skrócony do 45-lecia: 1966-2010). Dane te, poddane homogenizacji w ramach dotychczas realizowanych projektów badawczych, zostały dodatkowo wnikliwie sprawdzone pod względem jednorodności (tzw. *weather-dependent analysis*). W uzasadnionych przypadkach ewentualne pojedyncze braki uzupełniono zgodnie z metodami opracowań danych klimatologicznych powszechnie stosowanymi w kontekście ekstremów (Klein Tank i in. 2009). Wykorzystano dane ze stacji meteorologicznych (synoptycznych), posterunków meteorologicznych (klimatologicznych), a w niektórych przypadkach nawet z posterunków opadowych (ryc. 2). Według obecnej nomenklatury IMGW-PIB stacje te zaliczane są do I, II, III, IV i V rzędu sieci pomiarowej.

Do wyznaczenia ekstremów posłużono się szeroko opisaną w literaturze metodą probabilistyczną (m.in. IPCC 2001; Brönnimann i in. 2008; Klein Tank i in. 2009; Ustrnul i in. 2012). Zgodnie z definicją (IPCC 2001; 2013) ekstremalne zjawiska pogodowe uznane zostały za rzadkie w odniesieniu do rozkładu statystycznego w danym miejscu. Przy czym pojęcie „rzadkie”, należy rozumieć jako występujące z częstością nie większą niż 10%. Do wyznaczenia wartości ekstremalnych w ujęciu klimatologicznym posłużono się głównie prawdopodobieństwem 10%, 5% i 1% ich występowania. W praktyce oznacza to, że określonego ekstremum można się spodziewać (odpowiednio) raz na 10, raz na 20 i raz na 100 przypadków. W prezentowanej publikacji najczęściej są to dni. Mapy prawdopodobieństwa opracowane zostały dla temperatury powietrza i opadów atmosferycznych (10%, 5% i 1%), pokrywy śnieżnej (25%, 10% i 1%) oraz wiatru (prawdopodobieństwo wystąpienia raz na 2, 5 i 10 lat).

Jednym z pierwszych etapów niezbędnych do oceny ryzyka związanego z występowaniem określonych warunków pogodowych jest przeprowadzenie szczegółowych analiz klimatologicznych w celu rozpoznania zjawisk, procesów nimi sterujących czy też czynników modyfikujących ich intensywność. Dlatego

Materials and methods

The representation of the spatial diversity of extremes and extreme weather phenomena was achieved on the basis of the longest and most homogenous weather data series available, that is from 1951 to 2010 (in the case of weather phenomena, the period was shortened to 45 years (1966-2010) due to data accessibility). The data, which underwent the process of homogenization during the research projects that have already been completed, was in addition strictly verified in respect of its homogeneity (so-called *weather-dependent analysis*). In justified cases, potential individual data deficiencies were supplemented with the use of climatological data computing methods commonly implemented while dealing with extremes (Klein Tank et al. 2009). The data was obtained from multiple meteorological stations: synoptic stations, climatological stations, and in some cases, even from precipitation stations (Fig. 2).

To determine the extremes, a probabilistic method broadly described in literature (IPCC 2001; Brönnimann et al. 2008; Klein Tank et al. 2009; Ustrnul et al. 2009, among others) was incorporated. According to the definition (IPCC 2001; 2013), extreme weather phenomena were regarded as rare in a given place from the point of view of statistical distribution, whereby the term “rare” means that they occurred with a frequency not exceeding 10%. To determine the extreme values in a climatological approach, a probability of 10%, 5%, and 1% was mainly used. In a practical sense, this means that a given extreme can occur once per 10, 20, and 100 cases, respectively. In the following publication, this comes down most frequently to days. The maps of probability were developed for air temperature and precipitation (10%, 5% and 1%), snow cover (25%, 10% and 1%) as well as wind (probability of occurrence once every 2, 5, and 10 years).

One of the first stages required to assess the risk associated with the occurrence of particular weather conditions is conducting detailed climatological analyses to recognize the phenomena, the processes that cause them, and the factors that modify their intensity. Therefore, in addition to evaluating the absolute values and the probability of extreme phenomena in a given area, an in-depth analysis of individual

też poza oceną bezwzględnych wartości i prawdopodobieństwa wystąpienia zjawisk ekstremalnych w określonym regionie przeprowadzono również wnikliwą analizę poszczególnych przypadków, rozpoznano bezpośrednie przyczyny ich występowania (uwarunkowania synoptyczne i środowiskowe) i – w przypadku burzy, mgły, szadzi i gołoledzi – zdefiniowano tzw. warunki sprzyjające wystąpieniu zjawiska. Opisane zostały one na podstawie znajomości procesów fizycznych zachodzących w atmosferze, a prowadzących do powstania ww. zjawisk, tj. warunków termiczno-wilgotnościowych, opadowych, anemologicznych czy też stratyfikacji pionowej atmosfery (Makkonen 1998; Haklander, Van Delden 2003; Finnegan i in. 2004; Castillo i in. 2005; Toth i in. 2010). Punktem odniesienia były dane z sondaży aerologicznych, depesz lotniczych oraz stacji synoptycznych, obraz przestrzenny natomiast wykonano na podstawie danych z modelu RegCM (Elguindi i in. 2011). W przypadku wybranych zjawisk (np. mgła) warunki atmosferyczne powiązano ze środowiskowymi, sprzyjającymi ich występowaniu, tj. ukształtowaniem i pokryciem terenu, dzięki którym uzyskany obraz zróżnicowania przestrzennego uwzględni nie tylko mgły adwekcyjne, ale także zjawiska mezoskalowe tworzące się lub intensyfikowane przy sprzyjających warunkach lokalnych.

Wszystkie mapy zagrożeń meteorologicznych zostały wykonane z wykorzystaniem dostępnych technik GIS. Do wizualizacji zjawisk i konstrukcji map użyto kilku metod interpolacji przestrzennej (Dobesch i in. 2007; Hengl 2007; Hengl i in. 2008). Najczęściej były to: *kriging resztowy*, *empirical bayesian kriging*, radialne funkcje bazowe. Choć metody te były zastosowane po wnikliwym ich rozpoznaniu i walidacji, nie zawsze pozwalają na bezkrytyczną prezentację poszczególnych elementów. Zróżnicowanie przestrzenne i czasowe zjawisk jest niekiedy tak znaczące, że uwzględnienie wielu szczegółów wydaje się być praktycznie niemożliwe. Co więcej należy pamiętać, że na występowanie ekstremów pogodowych i klimatycznych istotny wpływ mają warunki lokalne (m.in. ukształtowanie terenu, obecność cieków rzecznych i zbiorników wodnych, pokrycie terenu), często wzmagające intensywność zjawisk. Taka ich specyfika nie jest możliwa do uwzględnienia na mapach tworzonych na podstawie informacji ze stacji meteorologicznych. Dlatego też przygotowany materiał musi być interpretowany w skali regionalnej. Zjawiska atmosferyczne: burza z gradem, mgła, szadz, gołoledź – ze względu na swój bardzo lokalny charakter – przedstawiane są na mapach w postaci sygnatur, prezentujących częstość występowania zjawiska na wybranych stacjach na obszarze Polski oraz w postaci ciągłej przestrzennej, ukazującej prawdopodobieństwo występowania warunków sprzyjających.

Z uwagi na dużą zmienność pogody, zwłaszcza w przejściowych porach roku (wiosna, jesień), zróżnicowanie przestrzenne zagrożeń termicznych, intensywnych opadów atmosferycznych oraz pokrywy śnieżnej przedstawiono w ujęciu dekadowym, mapy pozostałych elementów wykonano dla miesięcy lub sezonów roku. Ujęcie dekadowe było możliwe dzięki zgromadzeniu długich i jednorodnych ciągów danych, których dotychczas nie udało się wykorzystać na tak szeroką skalę.

cases was carried out, with the recognition of their direct causes (synoptic and environmental conditioning). In the case of thunderstorm with hail, fog, rime ice, and glaze ice, the so-called favorable conditions were defined. They were described based on the knowledge of physical atmospheric processes that lead to the abovementioned phenomena, i.e. temperature and humidity conditions, precipitation, winds, and vertical stratification of the atmosphere (Makkonen 1998; Haklander, Van Delden 2003; Finnegan et al. 2004; Castillo et al. 2005; Toth et al. 2010). Data from aerological soundings, aviation messages, and synoptic stations were used as a reference. Spatial representation was achieved with the use of the data from RegCM model (Elguindi et al. 2011). With some phenomena (e.g. fog), atmospheric conditions were matched to the environmental ones, that is those which favor the phenomena, i.e. relief and land cover, as it was later possible to obtain the representation of the spatial diversification of the occurrences of favorable conditions, which takes into account not only advection fogs, but also mesoscale phenomena occurring or intensified as a result of favorable local conditions.

All meteorological hazard maps were created with the use of available GIS techniques. Several methods of spatial interpolation were used to visualize the phenomena and construct the maps (Dobesch et al. 2007; Hengl 2007; Hengl et al. 2008). The most often these were: residual kriging, empirical bayesian kriging, radial basis function. Although the methods were used after having been thoroughly studied and validated, they did not always allow for uncritical representation of individual elements. Spatial and temporal diversification of the phenomena is sometimes so significant that considering many factors appears to be virtually impossible. Additionally, one must not forget that weather and extreme climatic occurrences are, to a large extent, formed or intensified by local conditions (among others by the relief, running water and other bodies of water, land cover). It is impossible to present this specific character of the extremes on the maps constructed using the information from weather stations; therefore, the material must be interpreted on a regional scale. Weather phenomena such as thunderstorms with hail, fog, rime, and glaze, were depicted in two forms because of their exceptionally local character: signatures, which show the frequency of their occurrences on chosen stations in Poland, and a spatially continuous form, representing the probability of the occurrence of conditions that may cause a given phenomenon.

Because of great weather variability, especially during transitional seasons (spring and autumn), the spatial diversity of temperature hazards, intensive precipitation, and snow cover for ten-day-periods was presented. Other elements are shown on the maps for months or seasons of the year. It was possible to demonstrate the elements for ten-day-periods thanks to long and homogenous data sets which, until now, have not been used on such a large scale.



Zagrożenia termiczne

Temperatura powietrza uważana jest za przewodni (kluczowy) element pogody i klimatu, gdyż warunkuje przebieg procesów zachodzących w atmosferze, wpływając tym samym bezpośrednio lub pośrednio na pozostałe elementy i zjawiska atmosferyczne.

Warunki termiczne wydają się być najbardziej istotne także z punktu widzenia człowieka i jego aktywności. Stanowią ważną barierę klimatyczną dla środowiska oraz próg ograniczający niejednokrotnie działania podejmowane w zakresie m.in. rolnictwa, budownictwa, transportu, sportu, itd.. W ekstremalnych przypadkach warunki termiczne mogą powodować także zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka.

Istnieje wiele metod oceny wartości ekstremalnych temperatury powietrza (np. Wibig 2001/2002; WMO 2009). W większości przypadków bazują one na wartościach dobowej temperatury maksymalnej i dobowej temperatury minimalnej, które opisują odpowiednio najwyższą i najniższą temperaturę zanotowaną w ciągu doby. Właśnie te charakterystyki wykorzystano na mapach w celu przedstawienia informacji o ekstremach termicznych obciążających czy wręcz (zwłaszcza w sytuacjach utrzymywania się przez dłuższy czas) mogących zagrazać człowiekowi i środowisku.

Jako tło oraz w celu lepszego ukazania sytuacji ekstremalnych termicznie przedstawiono mapę rozkładu średniej rocznej temperatury wyznaczonej dla 30-lecia 1981-2010 (ryc. 3). Z uwagi na burzliwą debatę na temat zmian i zmienności klimatu w ostat-

Temperature extremes

Air temperature is recognized to be the principal (key) element of weather and climate, as it determines the course of atmospheric processes and therefore directly or indirectly affects other atmospheric elements and phenomena.

What is more, thermal conditions seem to be the most crucial when it comes to man and his activities. They are a significant climatic barrier for the environment and often become a threshold that limits actions, for example, in agriculture, building construction, transportation and sporting events, etc. In extreme cases, thermal conditions may pose a threat to human health and life.

There are multiple methods of determining the values of extreme air temperature (e.g. Wibig 2001/2002; WMO 2009). In most instances they are based on daily values of maximum and minimum temperature, which stand for the highest and lowest temperature values recorded during one day. These characteristics were used on maps to represent the information on temperature extremes that cause thermal stress or even situations when they are dangerous for man and the environment.

For the background, and to present thermal extremes in a better way, a map of the distribution of annual mean temperature for the 30-year long period (1981-2010) was used (Fig. 3). Because climate changes and climate variability have been the subject of a wide debate in the recent years, a deviation of the 30-year long period from the years



nich latach dodatkowo przedstawiono odchylenia wspomnianego 30-lecia od wielolecia 1961-1990 (ryc. 4), które jest prezentowane w wielu opracowaniach. Uzupełnieniem są także mapy zróżnicowania przestrzennego średniej dobowej temperatury powietrza w styczniu oraz lipcu (ryc. 5-6). W sensie klimatologicznym miesiące te uchodzą za skrajnie termicznie na obszarze Polski.

Pierwsza część map poświęconych ekstremom termicznym obejmuje maksymalne wartości temperatury powietrza. Na wstępie przedstawiono najwyższą zarejestrowaną temperaturę na poszczególnych stacjach synoptycznych w okresie 1951-2013 (ryc. 7). Przy każdej wartości zamieszczono również datę jej wystąpienia. Kolejne mapy prezentują informację o ekstremalnie dużych wartościach temperatury w Polsce wyznaczonych metodą probabilistyczną. Zamieszczono więc mapy z wartościami temperatury występującej z prawdopodobieństwem 10%, 5% i 1%. Oznacza to, że temperatura o danej lub wyższej wartości może wystąpić odpowiednio 1 raz na 10, 1 raz na 50 lub 1 raz na 100 przypadków w kolejnych dekadach roku (ryc. 8-13). W następnej części zaprezentowane są mapy z ekstremalnie niskimi temperaturami powietrza. Pierwsza z nich przedstawia najmniejsze zarejestrowane wartości wraz z datą ich wystąpienia (ryc. 14). Na kolejnych zaprezentowano wartości temperatury minimalnej z prawdopodobieństwem wystąpienia 10%, 5% i 1% (ryc. 15-20).

Warunki termiczne stanowią zarówno ważną barierę klimatyczną dla środowiska, jak i próg niejednokrotnie ograniczający działania podejmowane przez człowieka w różnorodnym zakresie m.in. w rolnictwie, budownictwie, transporcie, sporcie, a nawet przy planowaniu wydarzeń kulturalnych i rozrywkowych. Dlatego też trudno jednoznacznie i w uniwersalny sposób określić oraz przedstawić warunki, które mogą stwarzać zagrożenie. Doświadczenia dotyczące przyrody oraz różnych dziedzin życia pozwoliły jednak wyróżnić kilka krytycznych wartości temperatury powietrza, które dość powszechnie przyjęły się w klimatologii. W kolejnej części zaprezentowano więc mapy prawdopodobieństwa wystąpienia tzw. dni charakterystycznych, takich jak: dni upalne (z temperaturą maksymalną $\geq 30^{\circ}\text{C}$), dni gorące (z temperaturą maksymalną $\geq 25^{\circ}\text{C}$), dni mroźne (z temperaturą maksymalną $< 0^{\circ}\text{C}$), dni z temperaturą minimalną $\leq -15^{\circ}\text{C}$, dni z temperaturą minimalną $\leq -20^{\circ}\text{C}$. Wszystkie wymienione charakterystyki przedstawiono dla środkowej dekady w miesiącach, w których mogą stworzyć zagrożenie (ryc. 21-35).

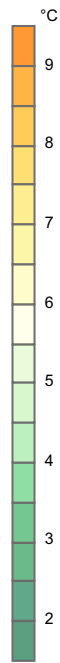
W wielu dziedzinach istotnym progiem jest również 0°C . Przekroczenie go, przede wszystkim w kierunku spadku temperatury, może oddziaływać niekorzystnie na roślinność. Dotyczy to przede wszystkim późnowiosennych i wczesnojesiennych przymrozków (ryc. 36-39).

of 1961-1990 (Fig. 4) which was introduced in many studies has also been presented. The maps of spatial diversity of daily mean air temperature in January and July (Fig. 5-6) provide additional supplementation. In climatological terms, the two months are regarded to have the most extreme temperatures in Poland.

The first part devoted to temperature extremes contains maximum temperature values. Firstly, the maximum air temperature values recorded on individual synoptic stations in 1951-2013 are presented (Fig. 7). Every value is also presented with the date it was recorded. Other maps provide information on extremely high temperature values in Poland obtained using the probabilistic method. Hence, the maps show temperature values that occur with a 10%, 5%, and 1% probability during the selected months. This means that the temperature of a given value or higher can occur once every 10, 50, or 100 cases respectively in subsequent ten-day periods (Fig. 8-13). Maps with extremely low air temperature values constitute the next part. The first one shows the lowest recorded temperatures and dates of their occurrences (Fig. 14). The other maps show minimum temperatures with a 10%, 5%, and 1% probability of occurrence (Fig. 15-20).

Thermal conditions are both an important climatic barrier for the environment and a threshold that often limits human activity in various fields, such as agriculture, building construction, transportation, sporting events and even leisure activities. Therefore it is difficult to unequivocally and universally determine and present the conditions that may become hazardous. However, knowledge of the environment and various aspects of human life have allowed people to distinguish several critical temperature values that are universally accepted in climatology. Consequently, in the next part, maps representing the so-called characteristic days are presented. These include very hot days (with a maximum temperature $\geq 30^{\circ}\text{C}$), hot days (with a maximum temperature $\geq 25^{\circ}\text{C}$), frost days (with a maximum temperature $< 0^{\circ}\text{C}$), days with a minimum temperature of $T_{\min} \leq -15^{\circ}\text{C}$, days with a minimum temperature of $T_{\min} \leq -20^{\circ}\text{C}$. All of the listed characteristics are presented for the median ten-day period of the months in which they may become hazardous (Fig. 21-35).

A temperature of 0°C is also an important threshold in many fields. When temperature values surpass 0°C , a negative impact on vegetation can be observed especially when they decrease further. This applies mainly to late spring and early autumn frosts (Fig. 36-39).



3
 Średnia roczna temperatura powietrza w Polsce (1981-2010)
 Mean annual air temperature (1981-2010)



4
 Odchylenia od średniej rocznej temperatury powietrza w Polsce (1981-2010) względem standardowego 30-letnia klimatologicznego 1961-1990
 Deviations of the mean annual air temperature (1981-2010) with the respect to the 1961-1990 period



5

Średnia temperatura powietrza
stycznia w Polsce (1981-2010)

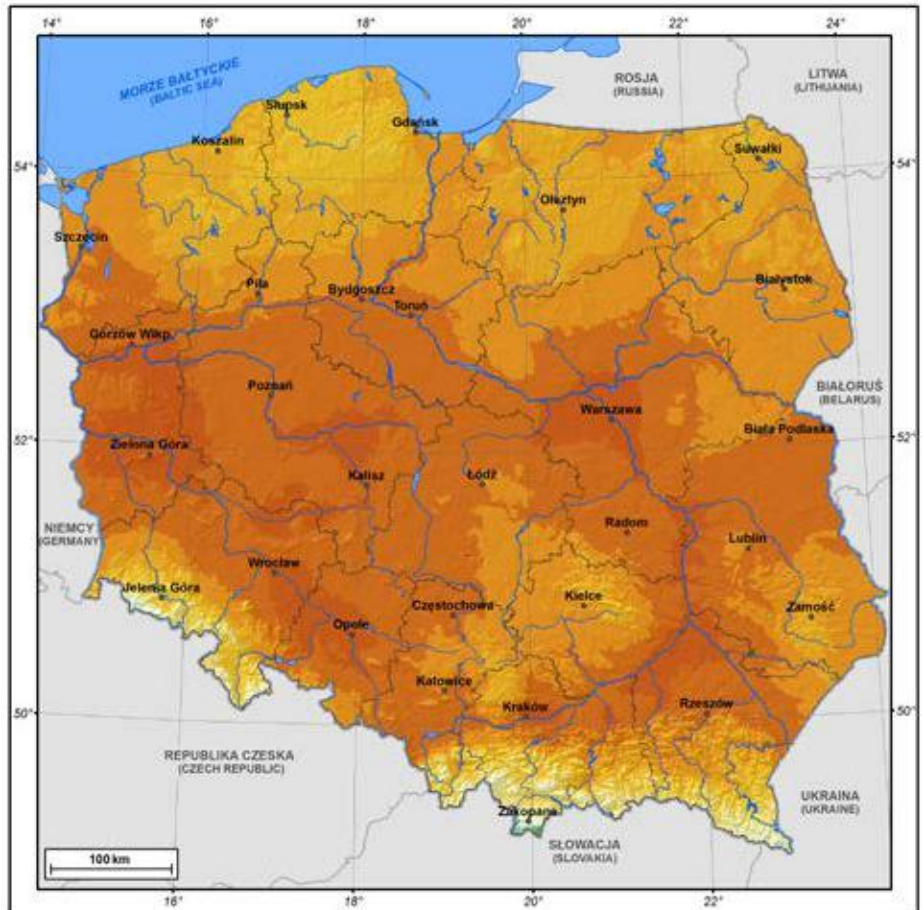
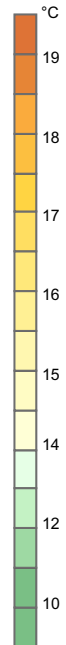
Mean January air temperature
(1981-2010)

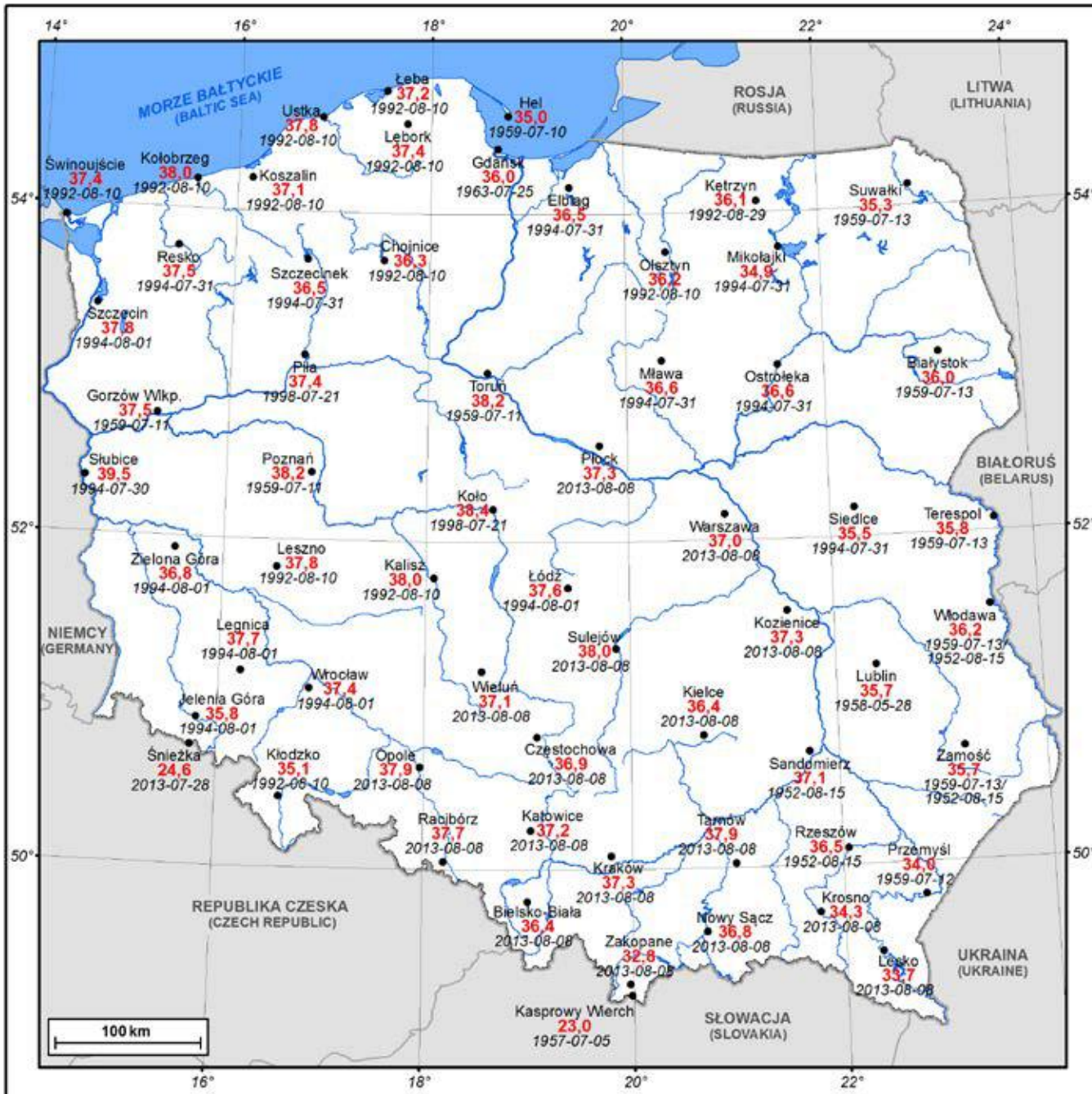


6

Średnia temperatura powietrza lipca
w Polsce (1981-2010)

Mean July air temperature
(1981-2010)

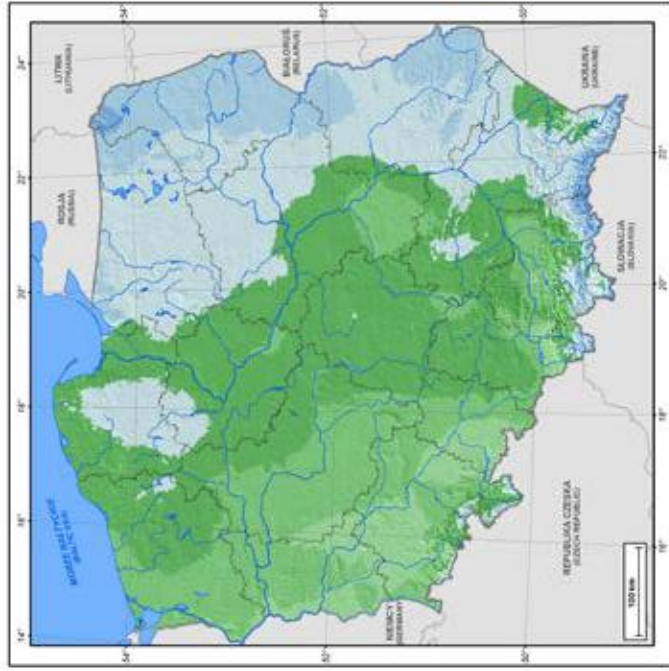




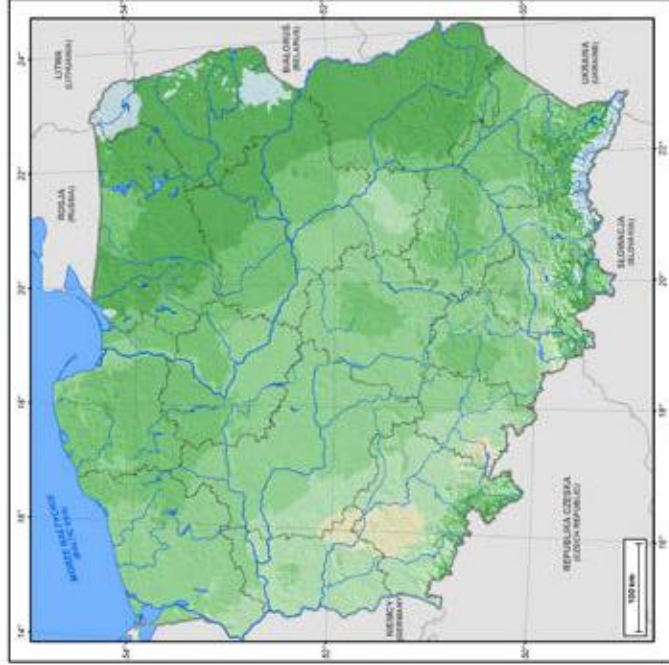
7

Maksymalna dobową temperatura powietrza w Polsce (°C) wraz z datą wystąpienia (1951-2013)
Daily maximum air temperature (°C) and the date of its occurrence (1951-2013)

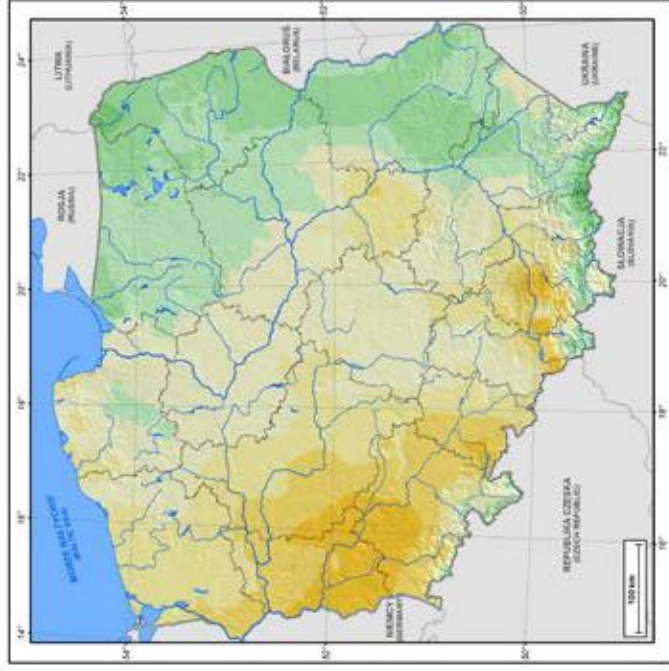
10%



5%

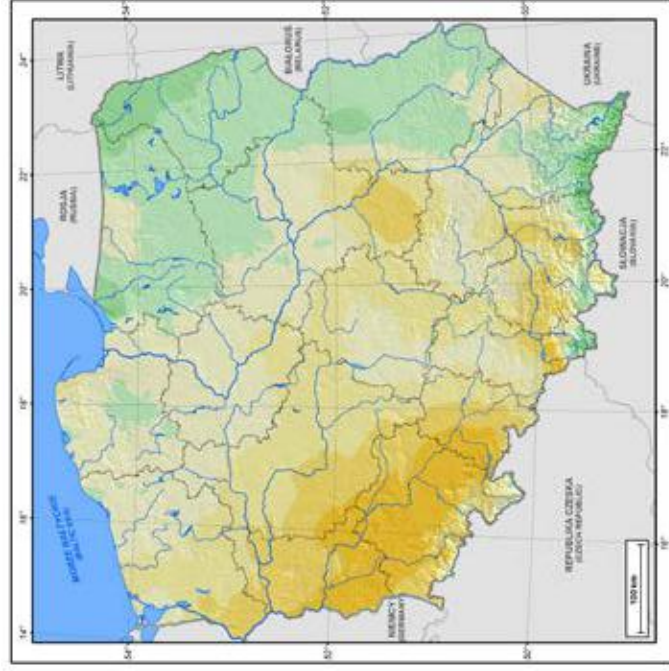
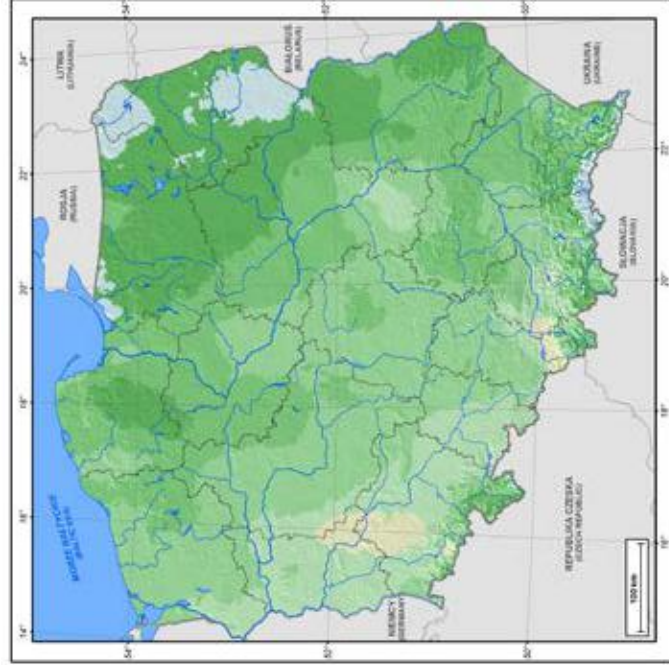
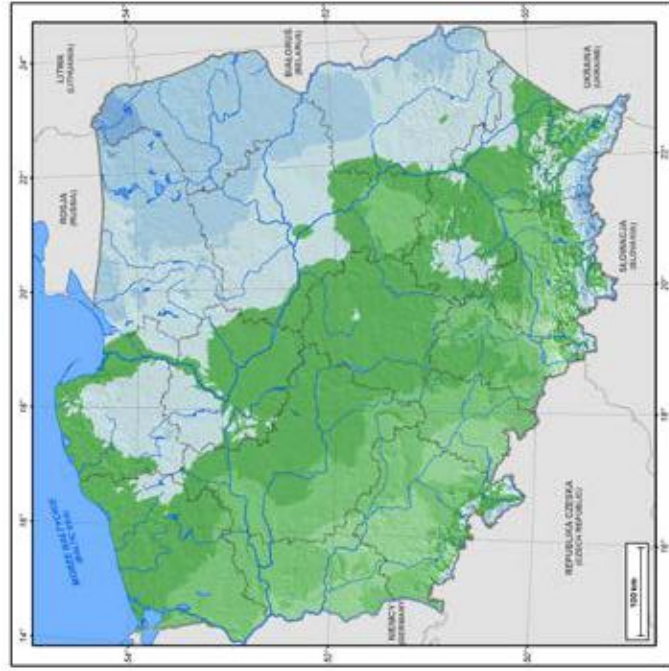


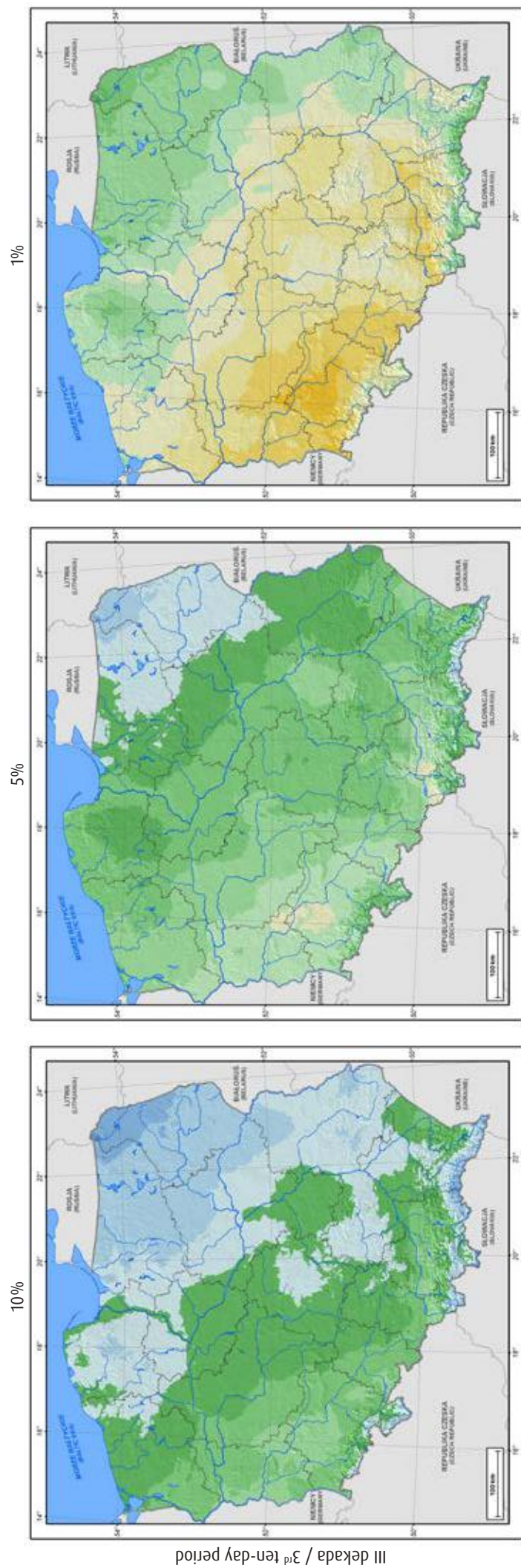
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





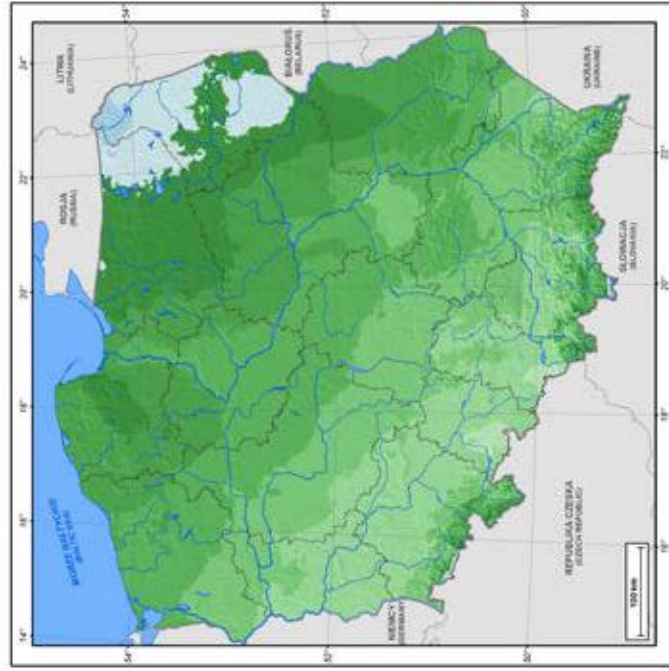
III dekada / 3rd ten-day period

8

Maksymalna dobowa temperatura powietrza w kolejnych dekadach stycznia o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Daily maximum air temperature in each ten-day period in January with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%

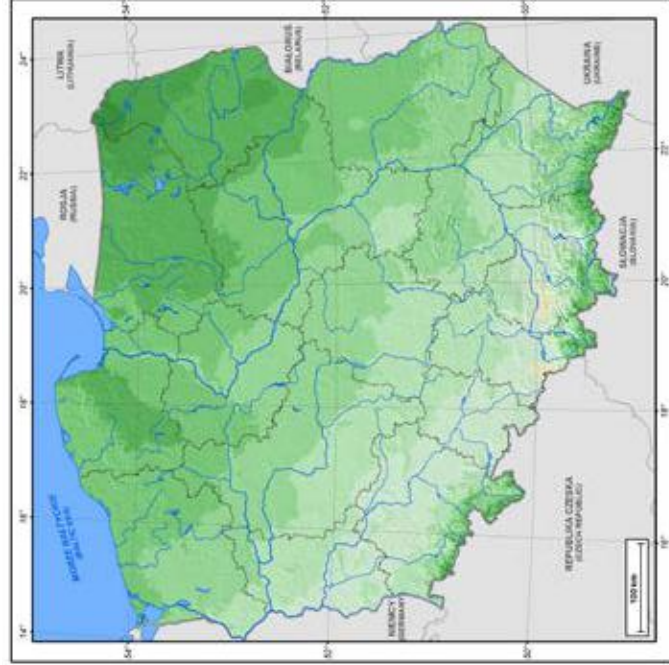


10%



I dekada / 1st ten-day period

5%

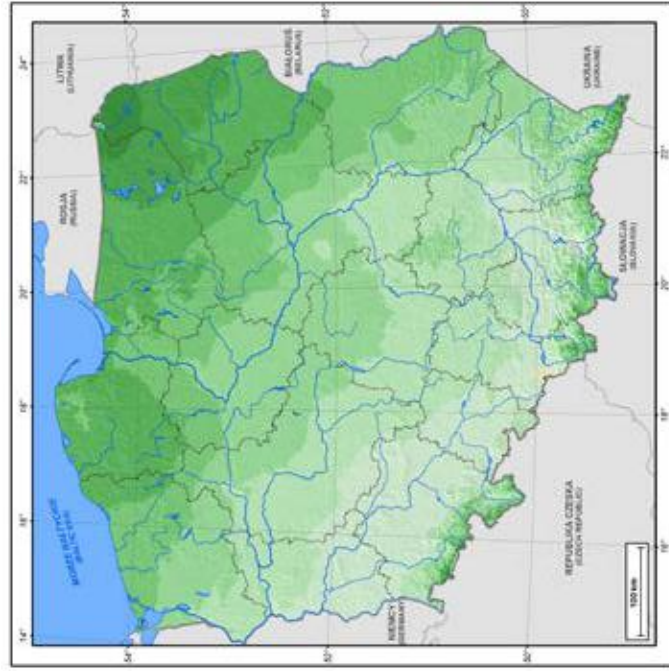


1%



II dekada / 2nd ten-day period

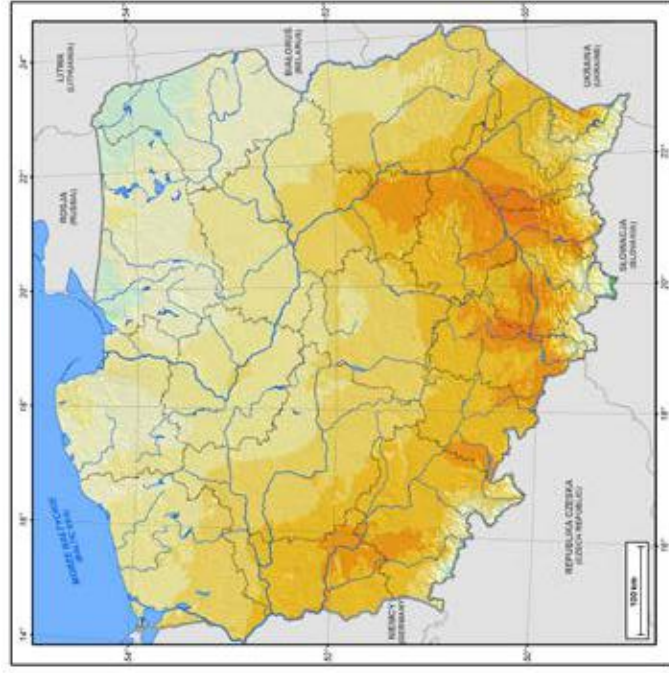
10%

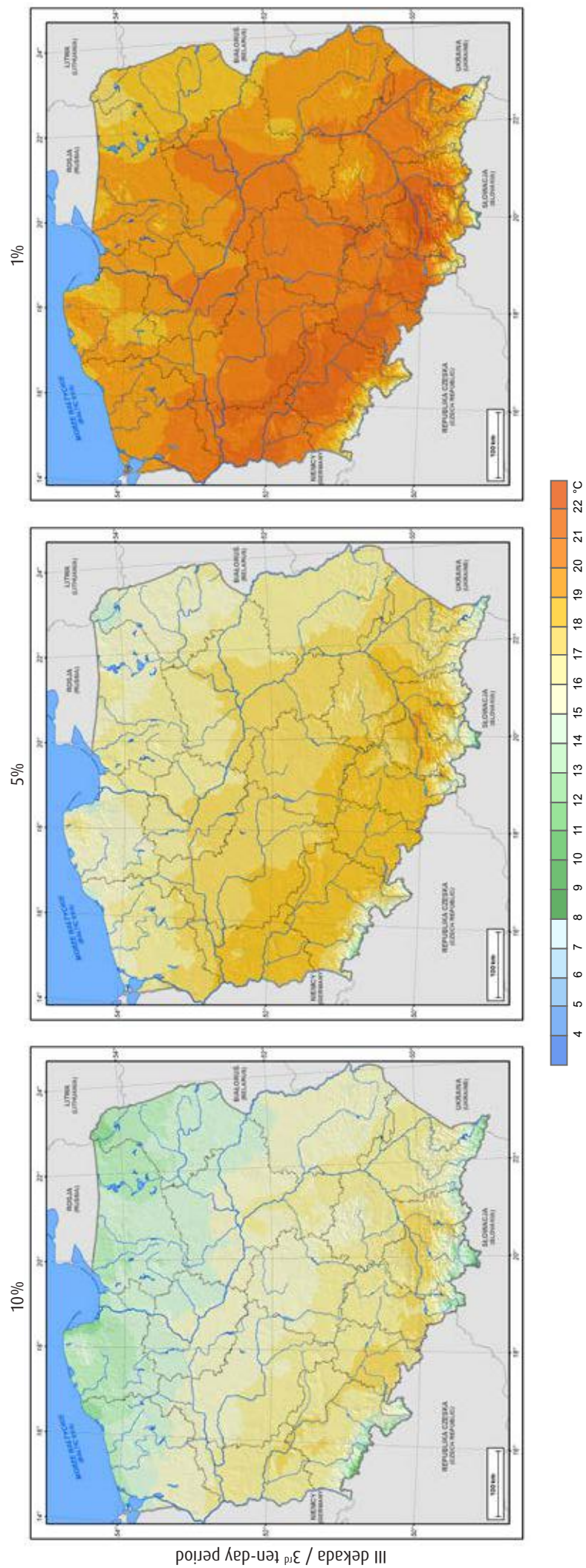


5%



1%





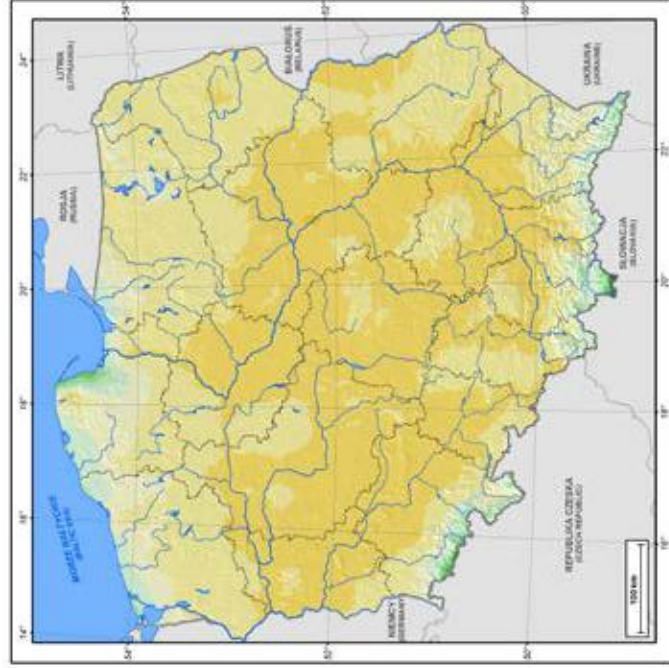
III dekada / 3rd ten-day period

9

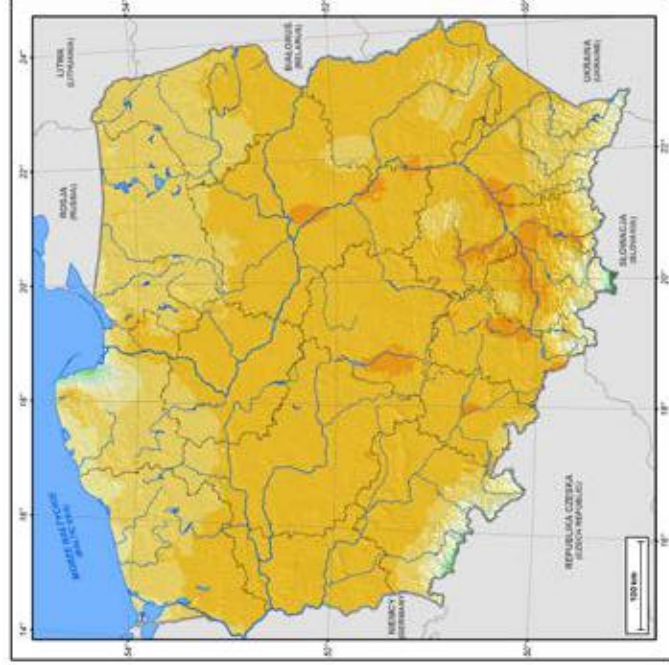
Maksymalna dobowa temperatura powietrza w kolejnych dekadach marca o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Daily maximum air temperature in each ten-day period in March with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



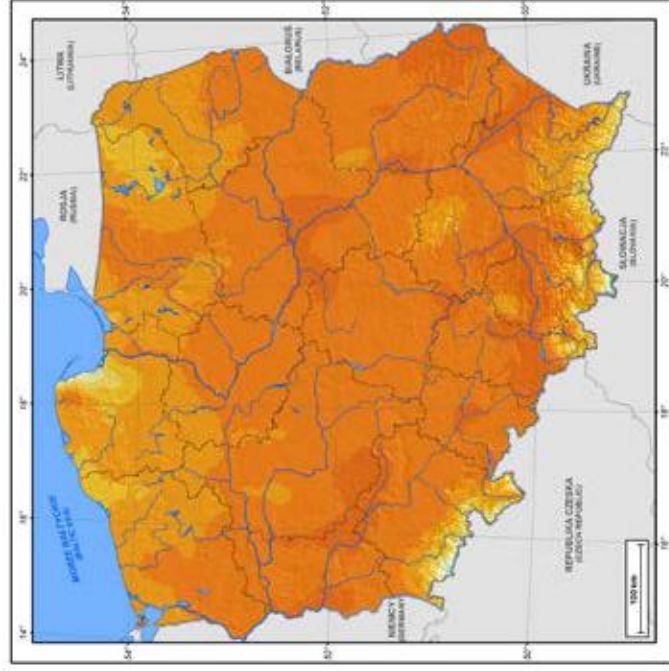
10%



5%

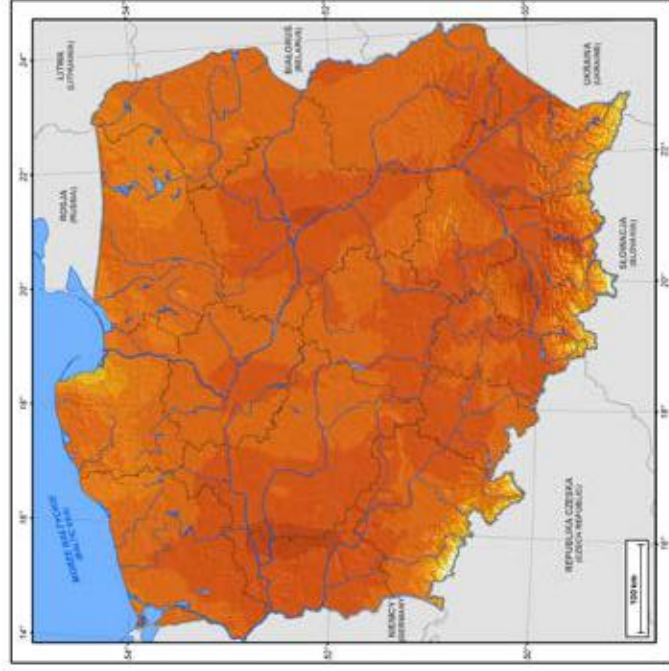
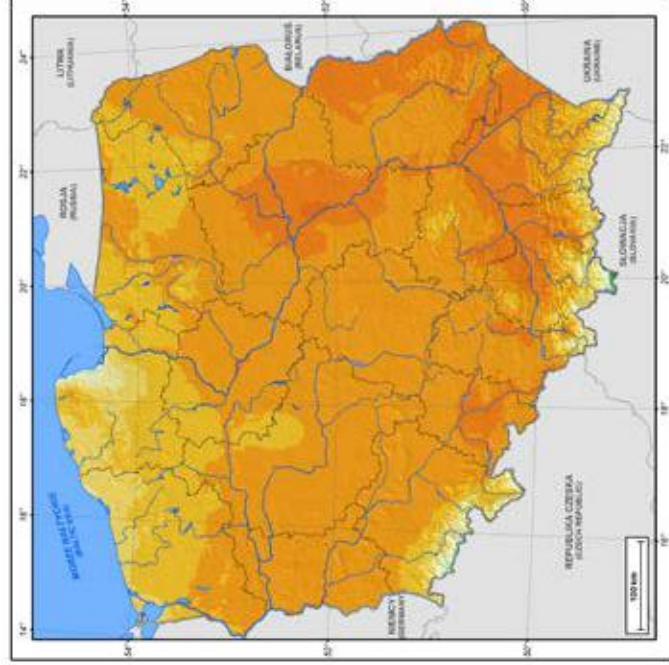
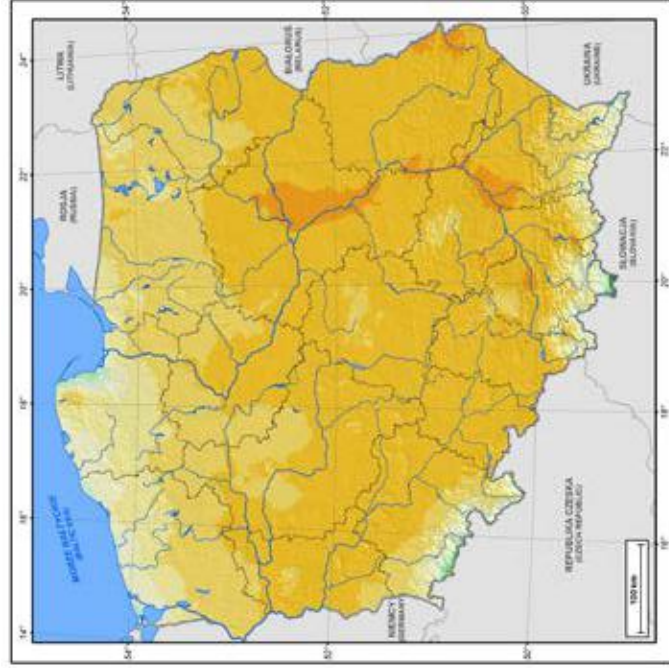


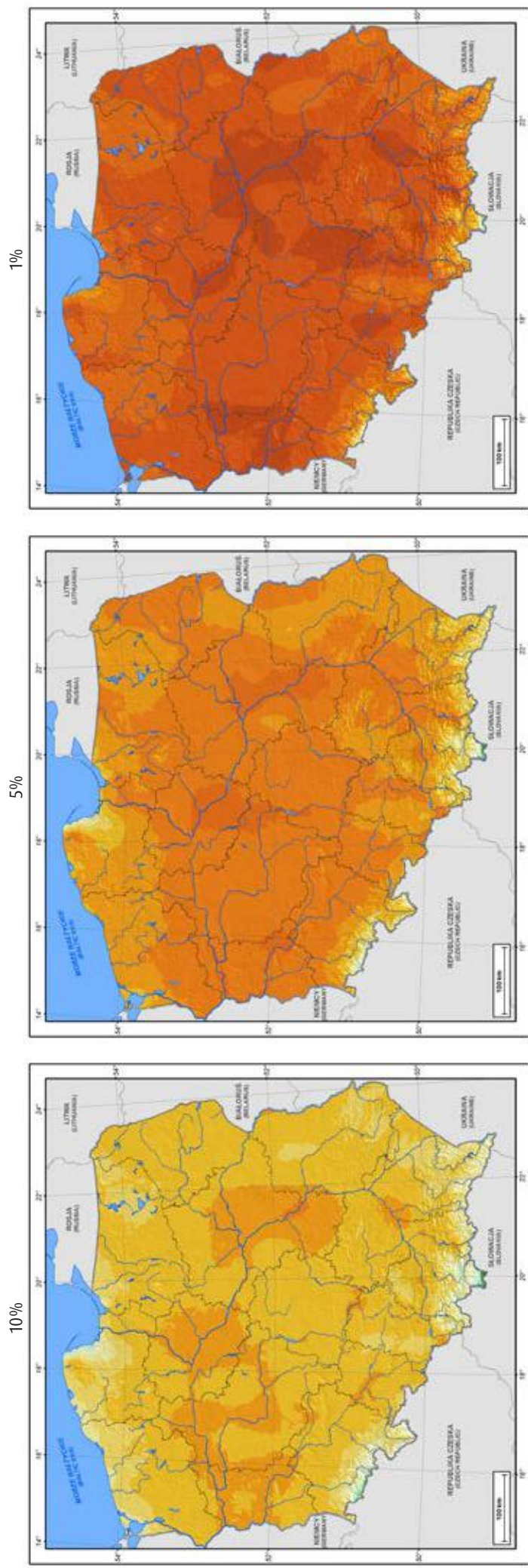
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





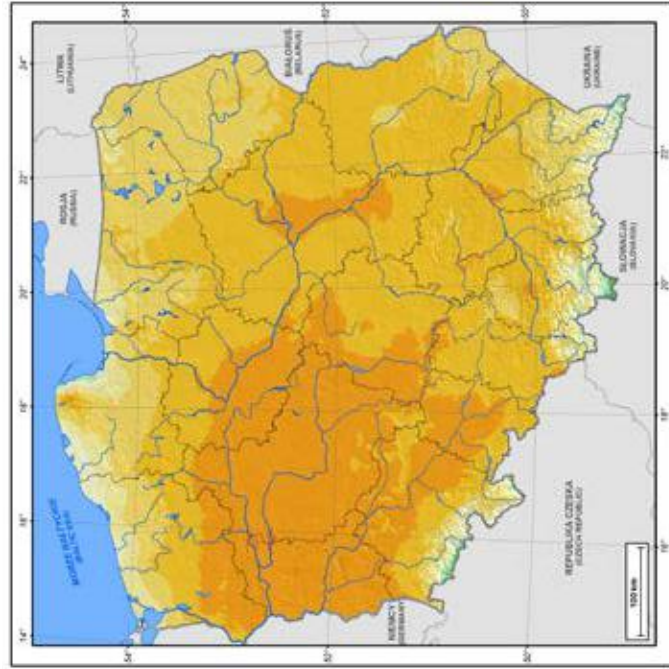
III dekada / 3rd ten-day period

10

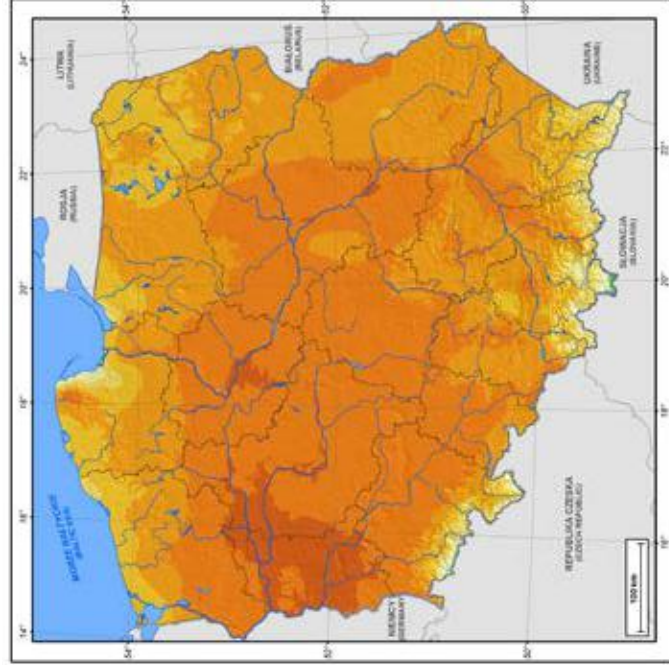
Maksymalna dobowa temperatura powietrza w kolejnych dekadach maja o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Daily maximum air temperature in each ten-day period in May with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



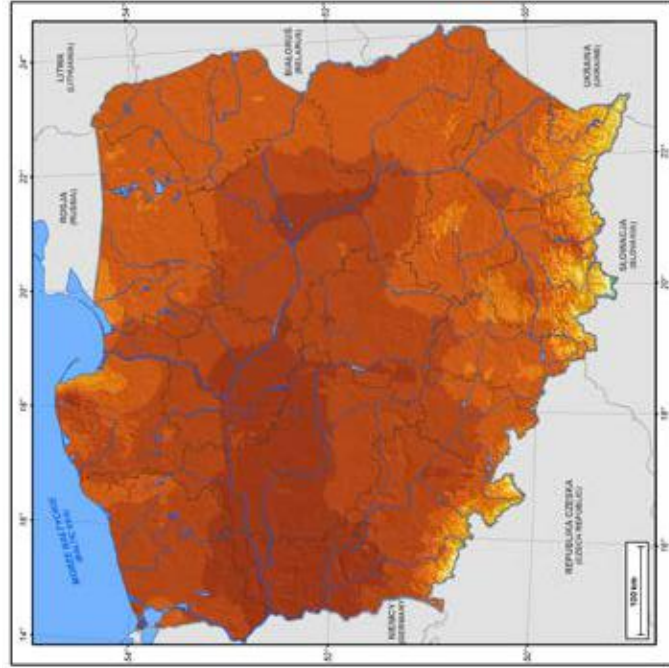
10%



5%

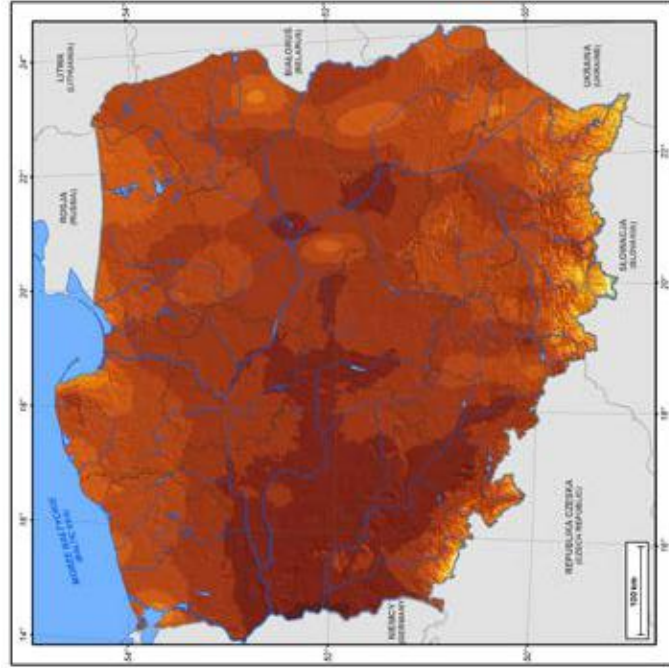
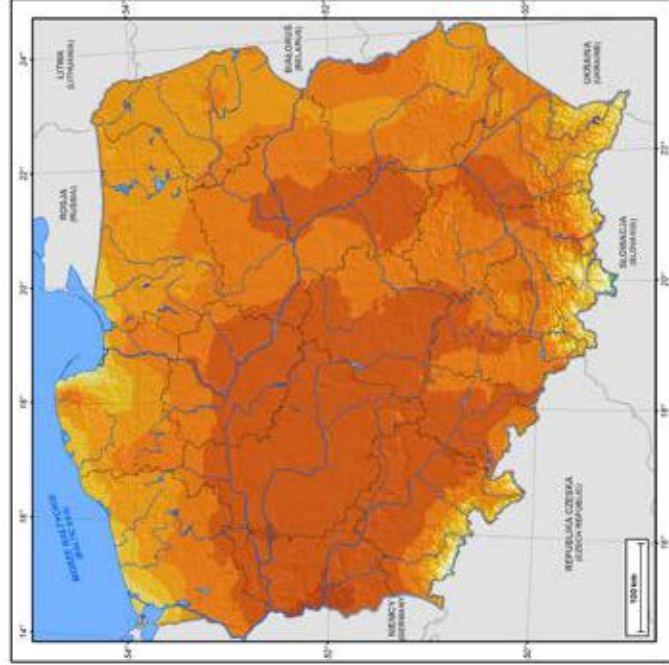
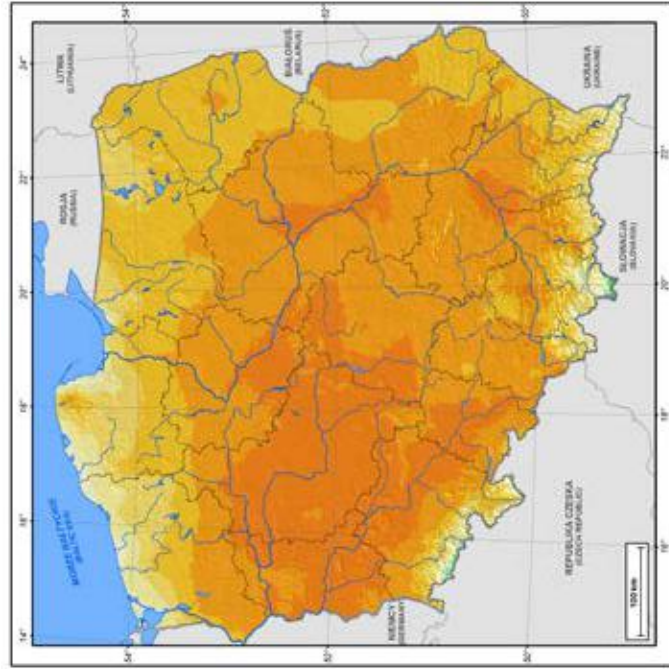


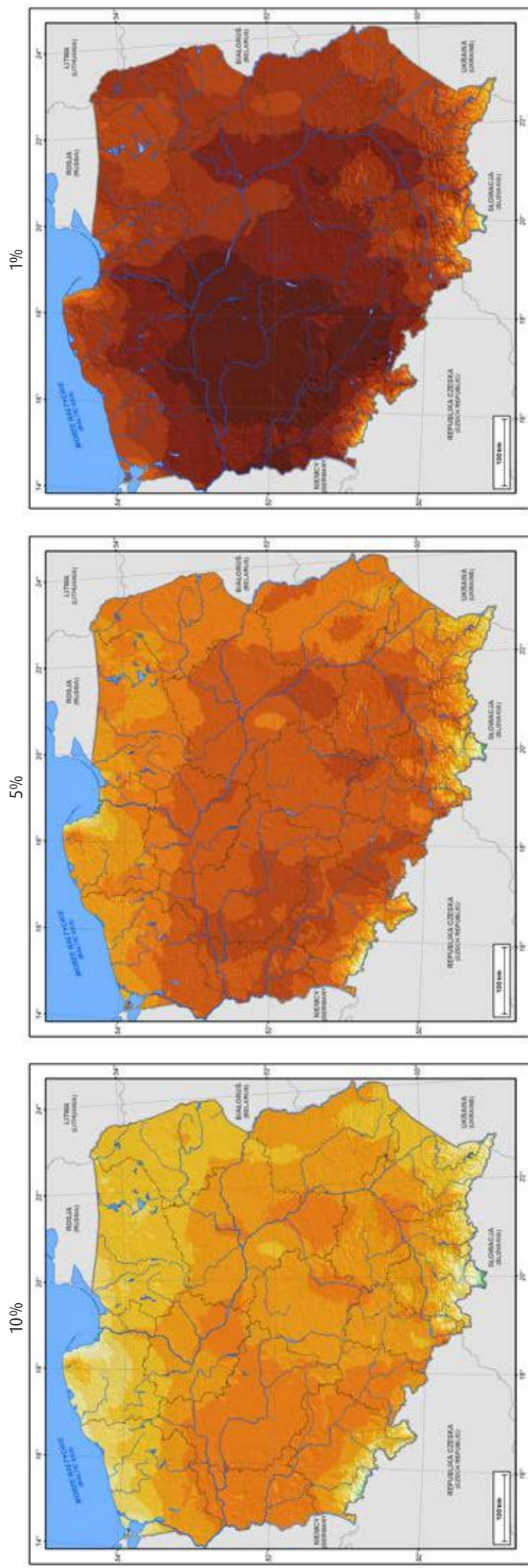
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





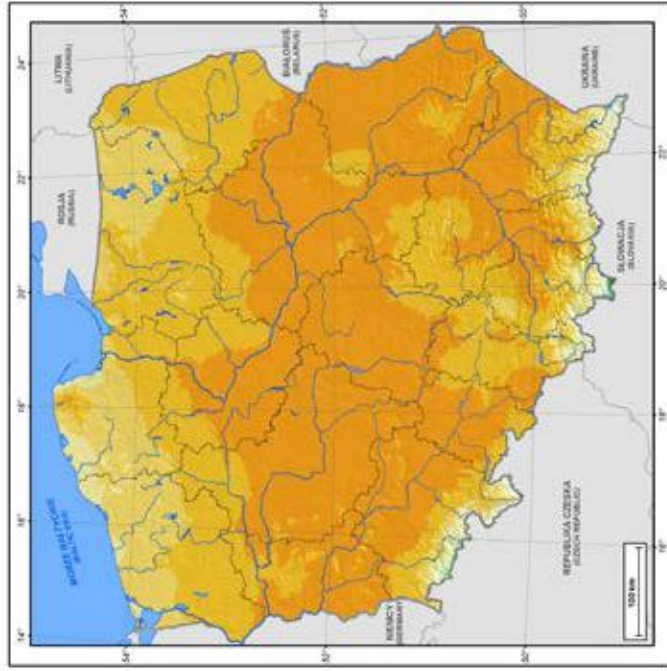
III dekada / 3rd ten-day period

11

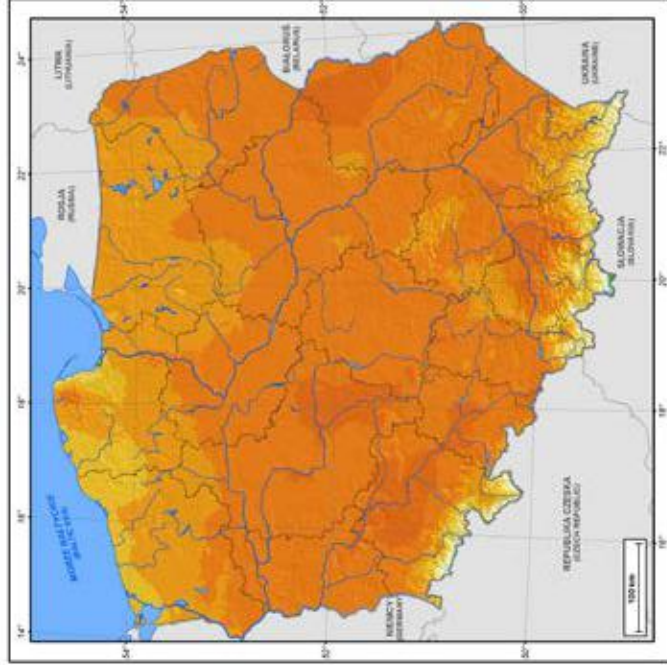
Maksymalna dobowa temperatura powietrza w kolejnych dekadach lipca o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Daily maximum air temperature in each ten-day period in July with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



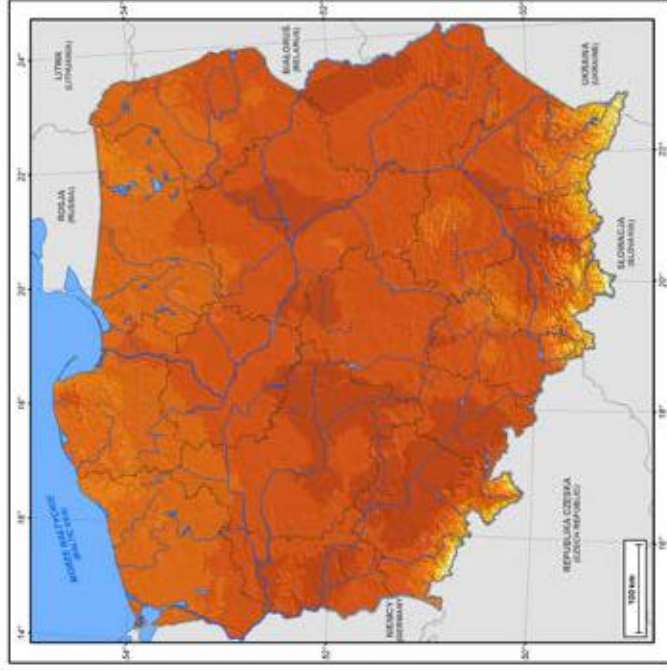
10%



5%

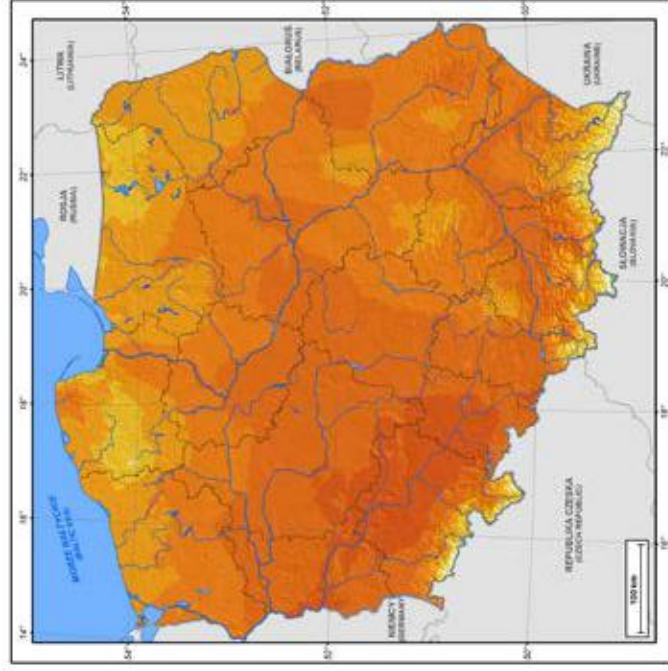
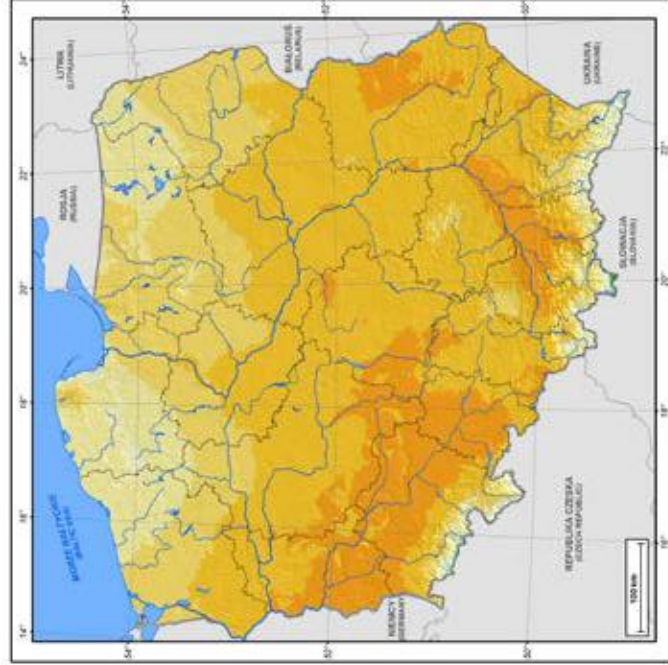
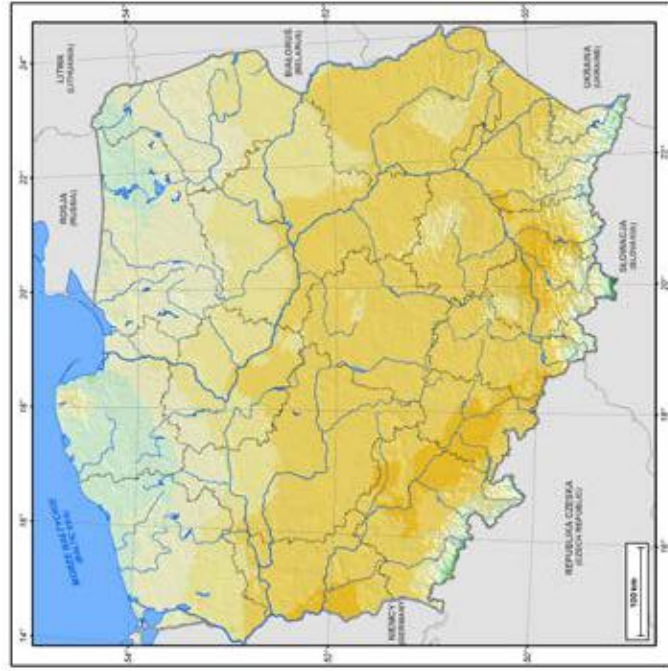


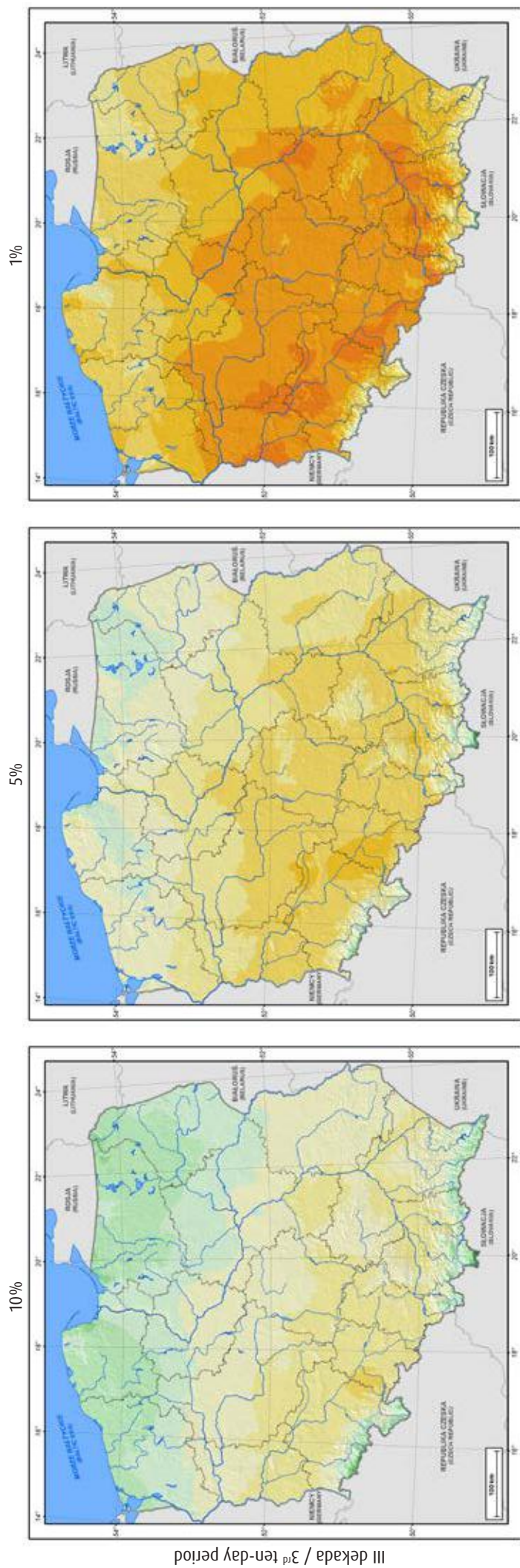
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





III dekada / 3rd ten-day period

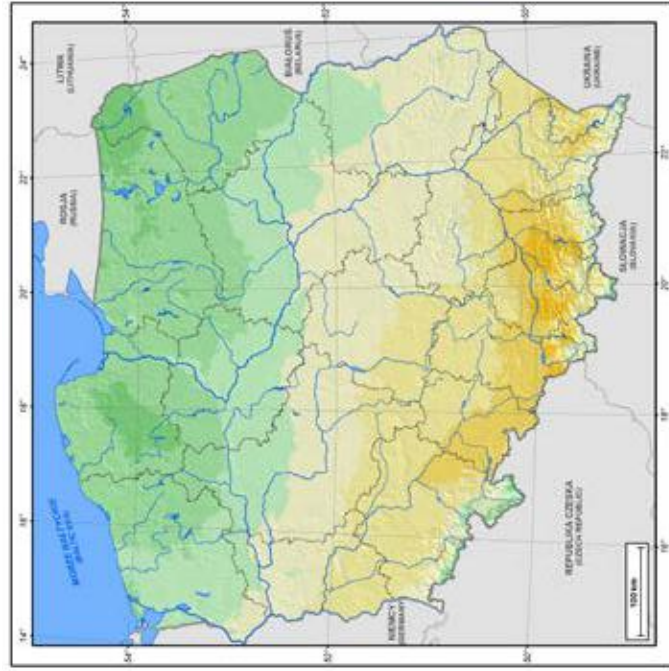
12

Maksymalna dobowa temperatura powietrza w kolejnych dekadach września o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%

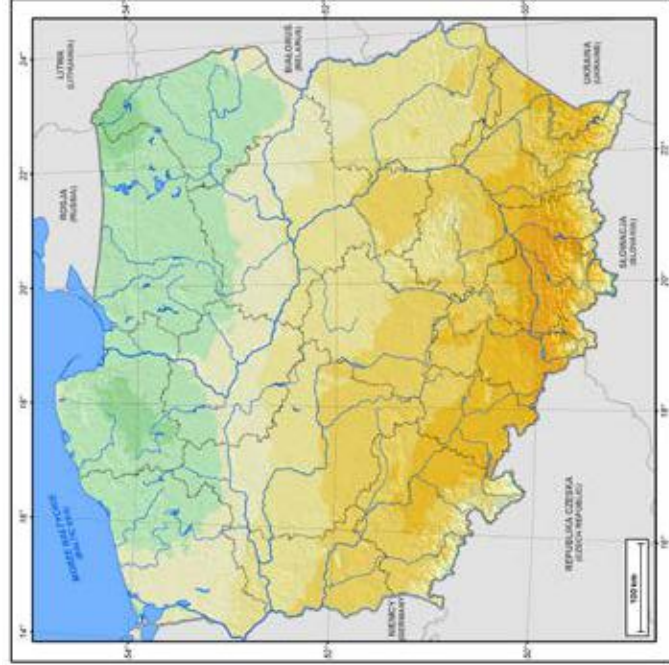
Daily maximum air temperature in each ten-day period in September with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



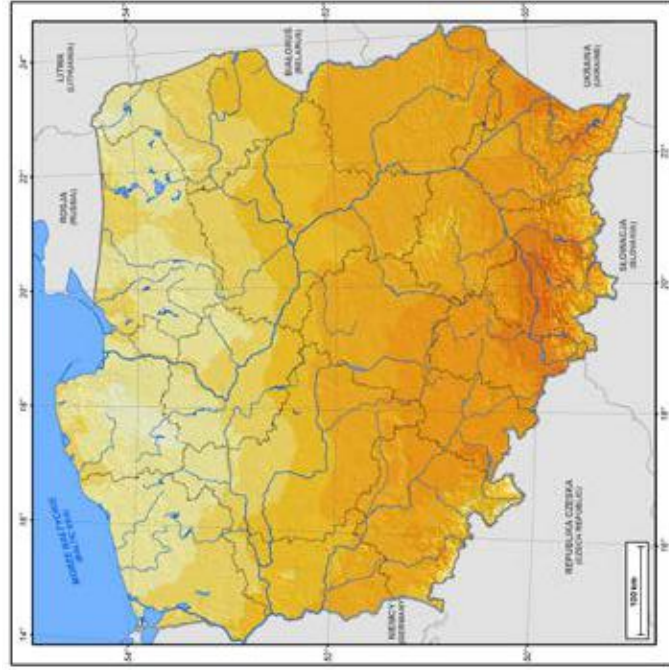
10%



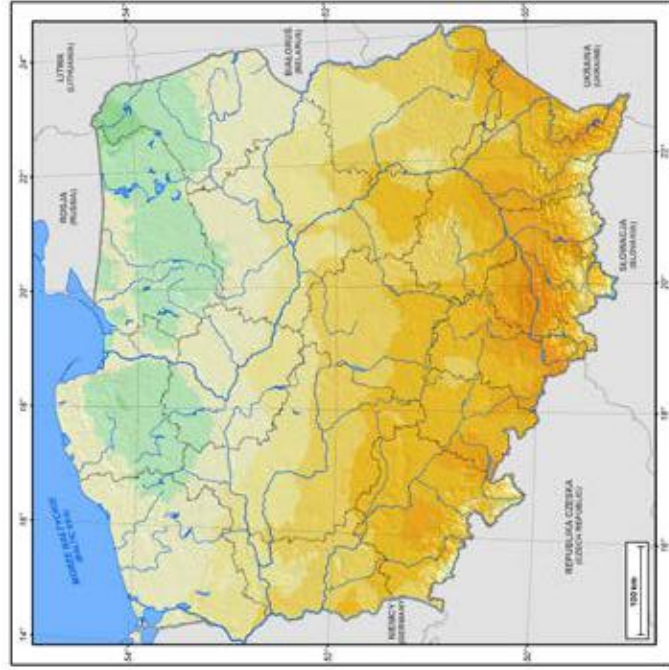
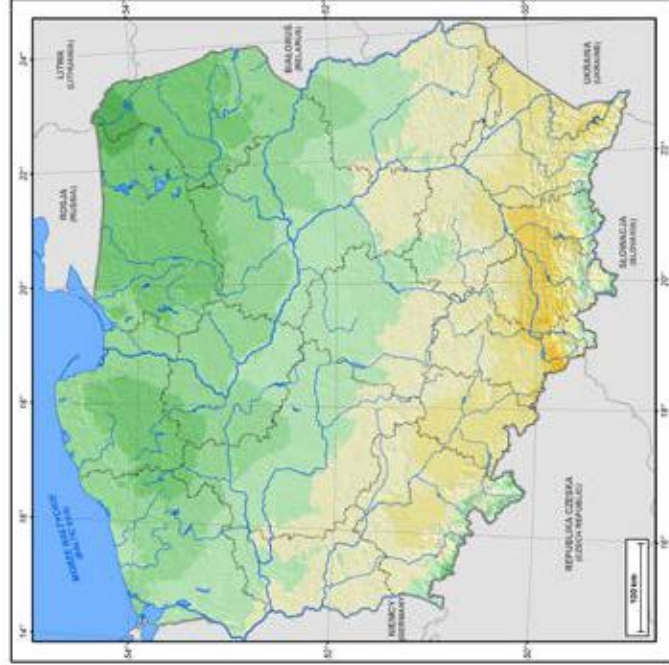
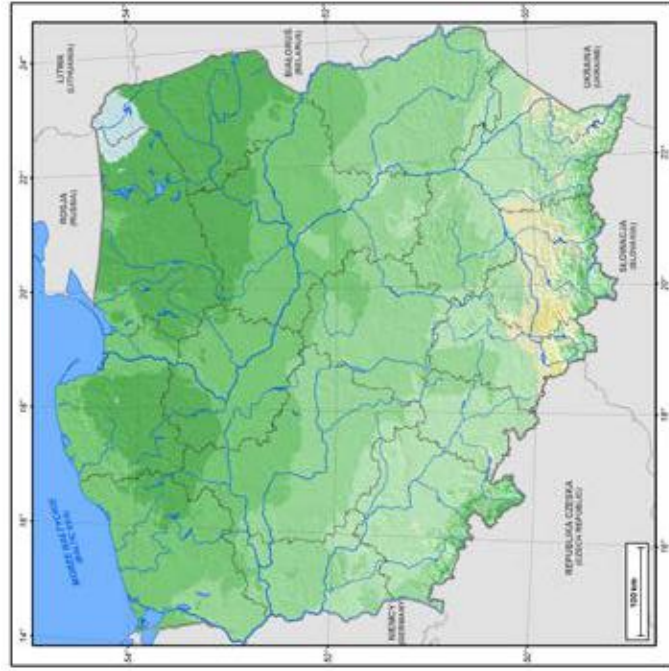
5%

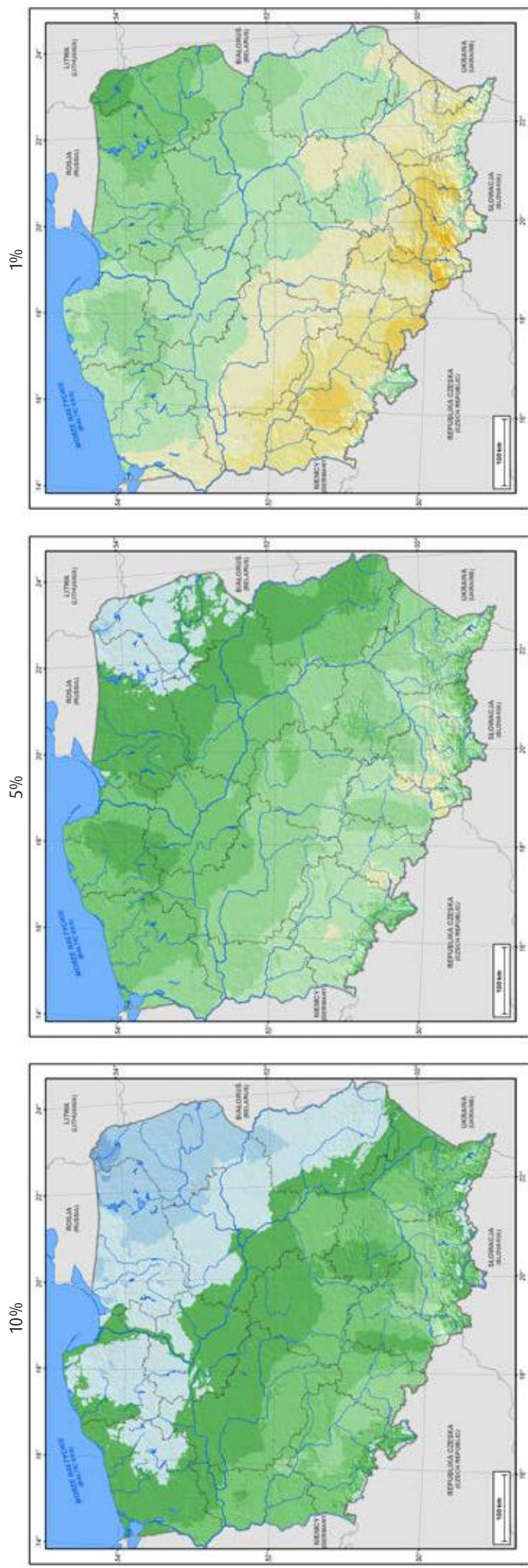


1%



II dekada / 2nd ten-day period



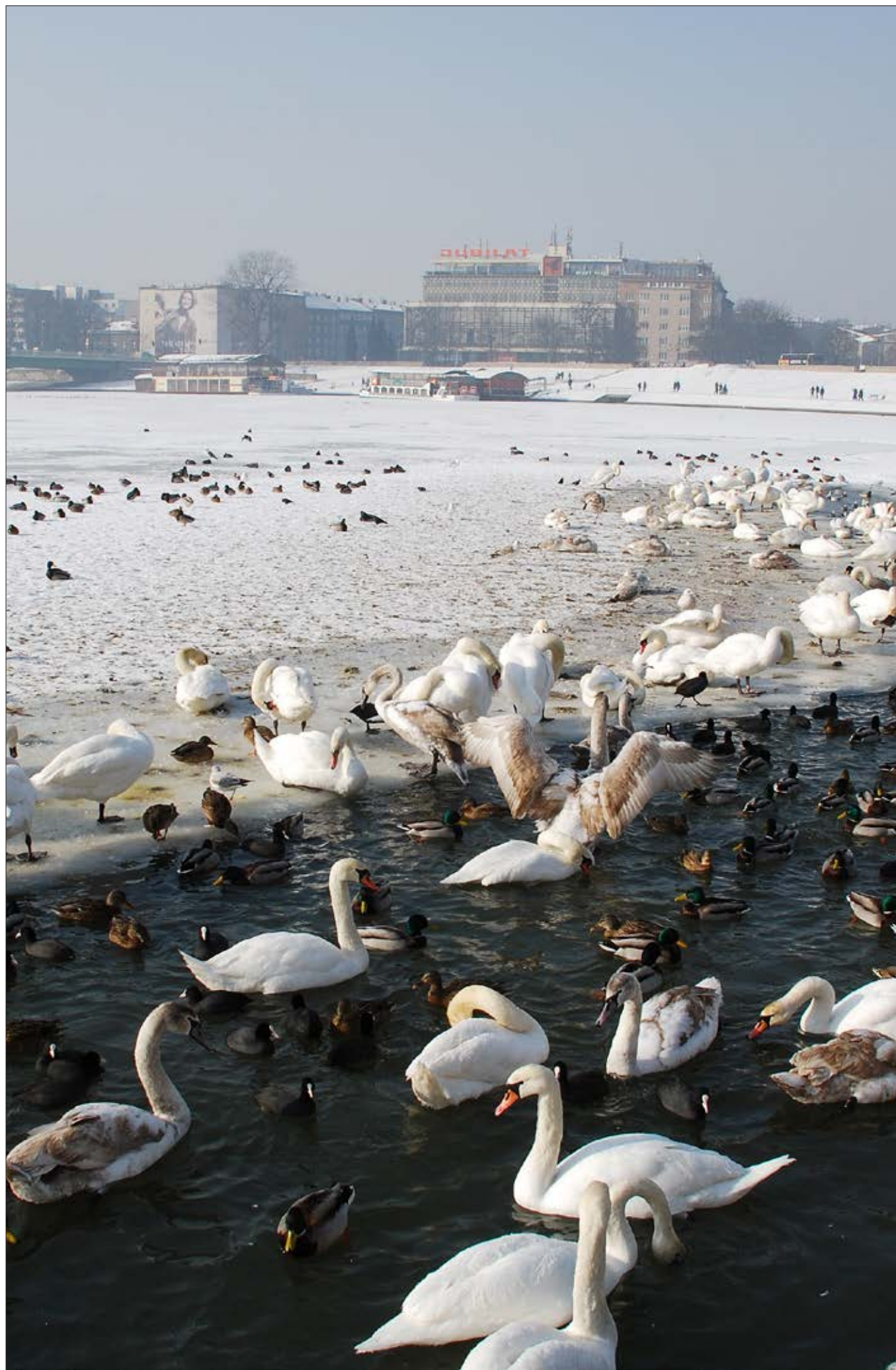


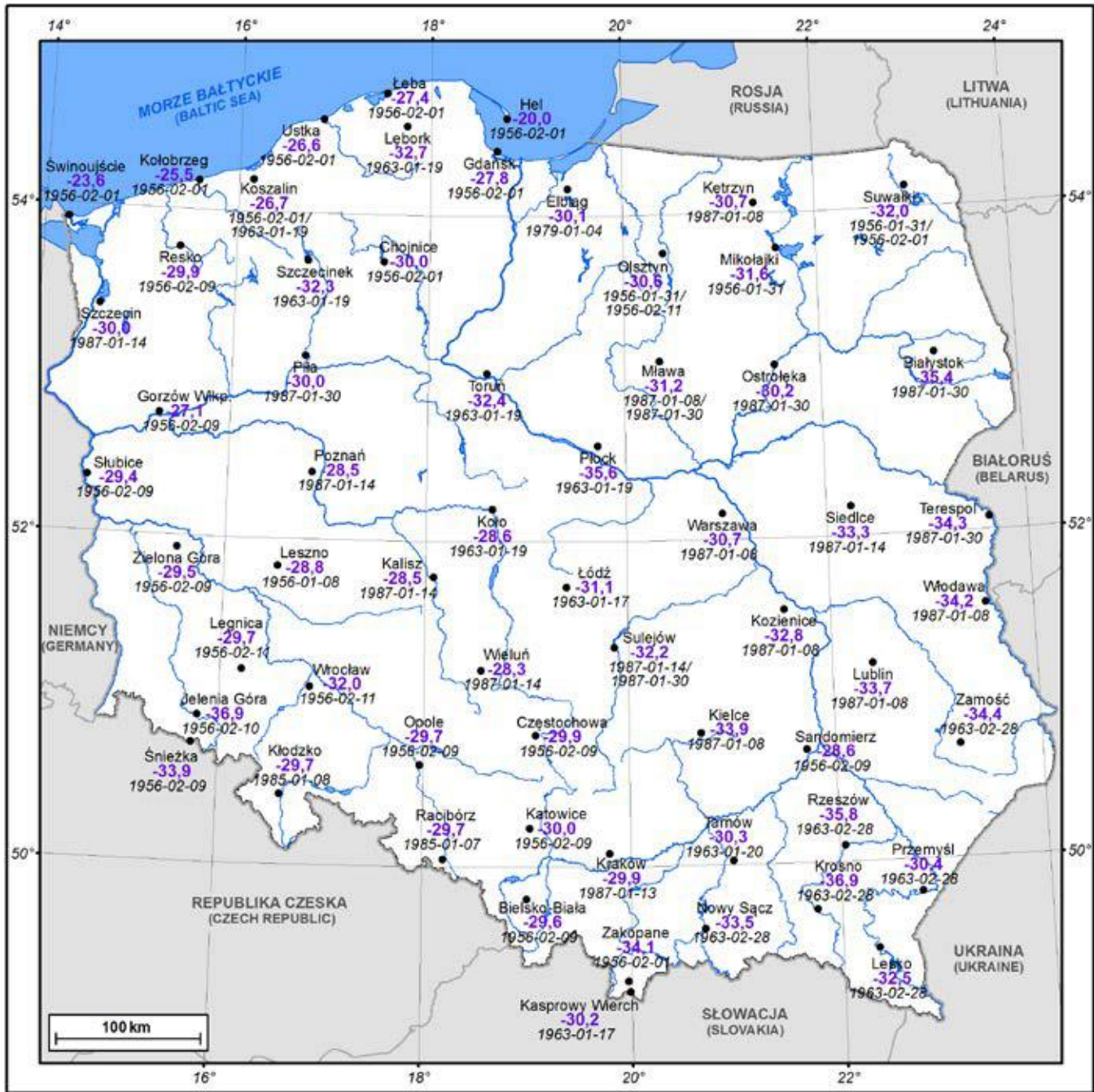
III dekada / 3rd ten-day period

13

Maksymalna dobowa temperatura powietrza w kolejnych dekadach listopada o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Daily maximum air temperature in each ten-day period in November with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



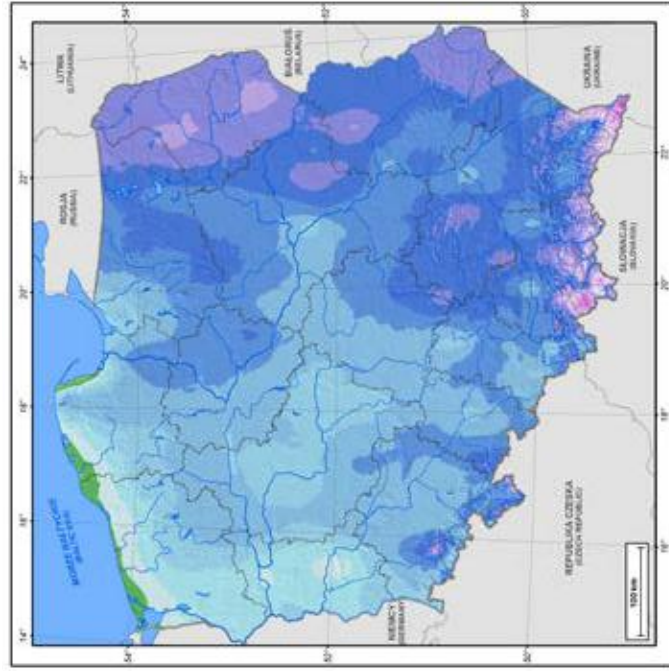




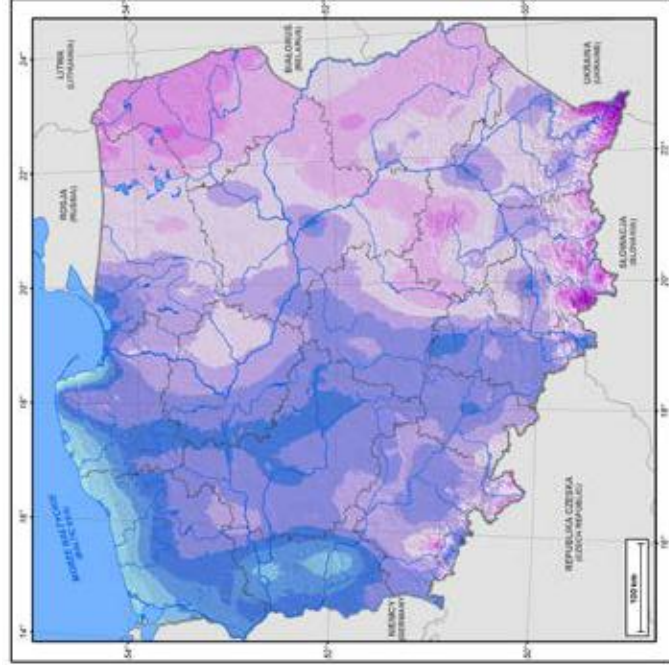
14

Minimalna dobowa temperatura powietrza w Polsce (°C) wraz z datą wystąpienia (1951-2013)
Daily minimum air temperature (°C) and the date of its occurrence (1951-2013)

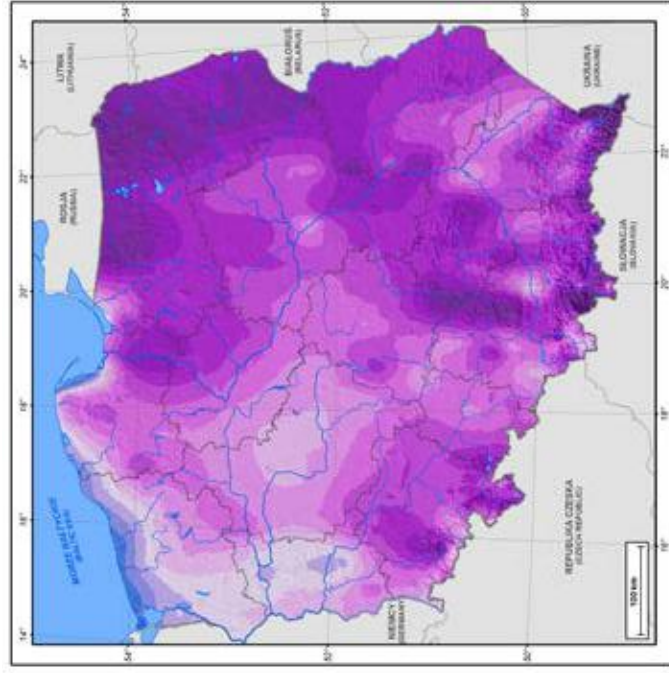
10%



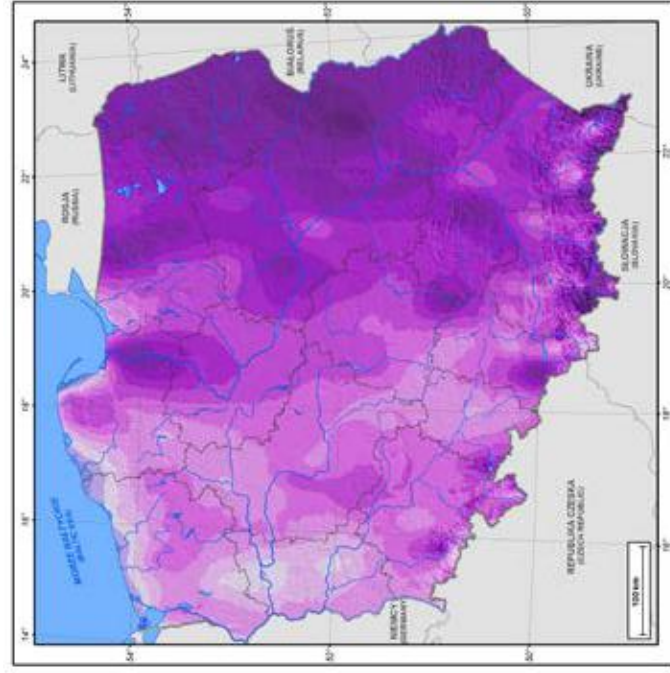
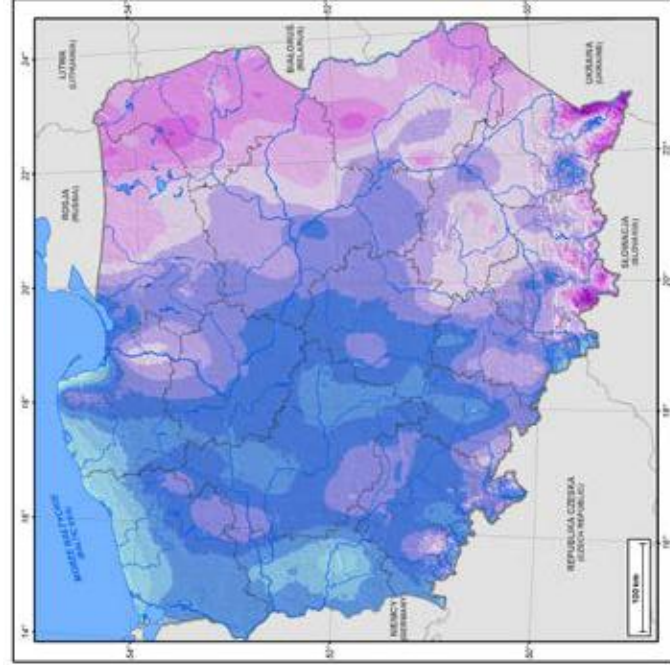
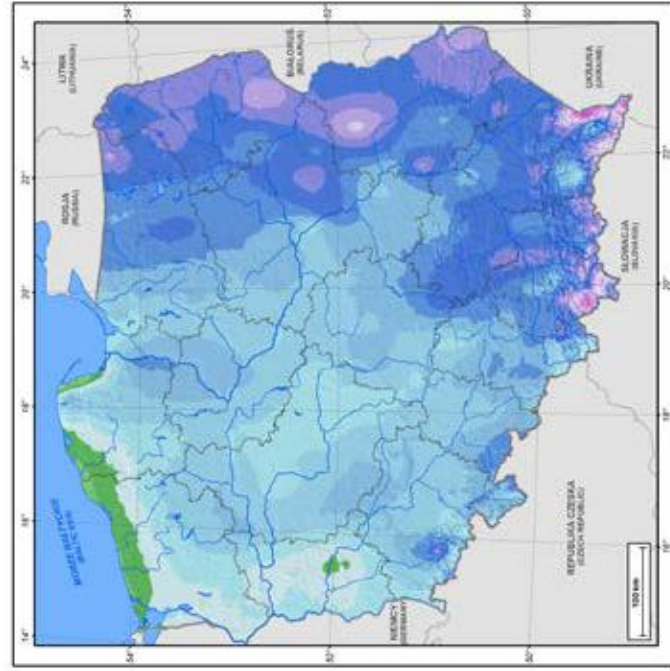
5%

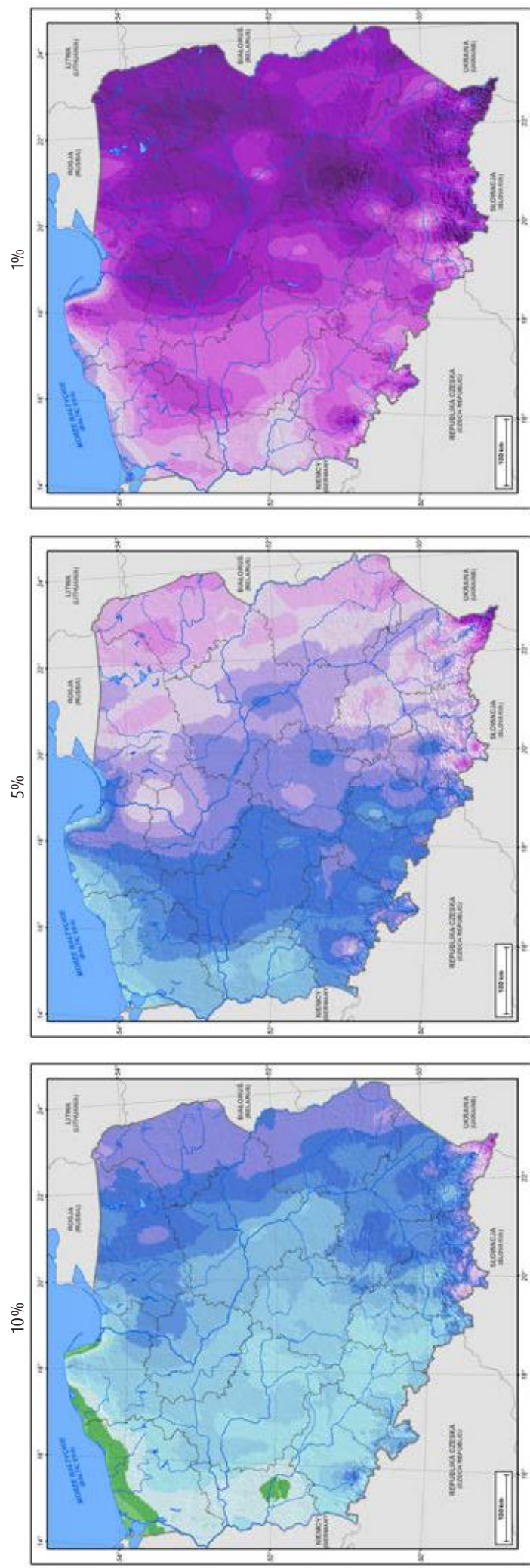


1%



II dekada / 2nd ten-day period





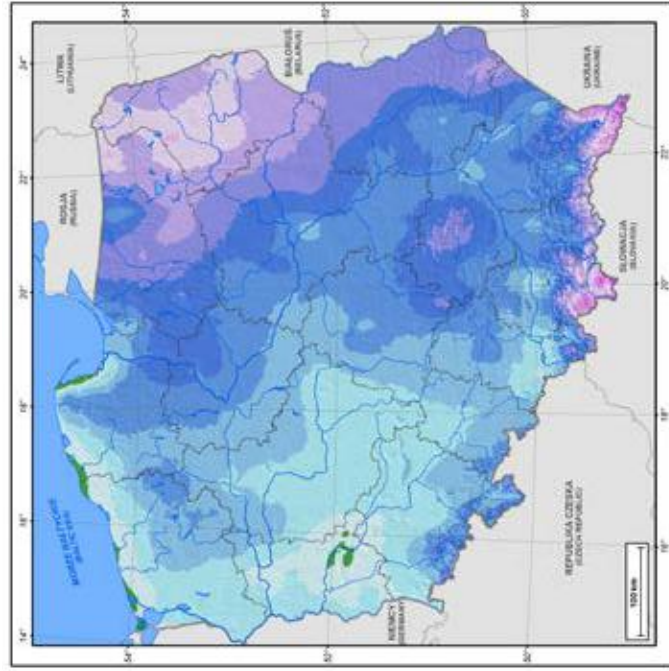
III dekada / 3th ten-day period

15

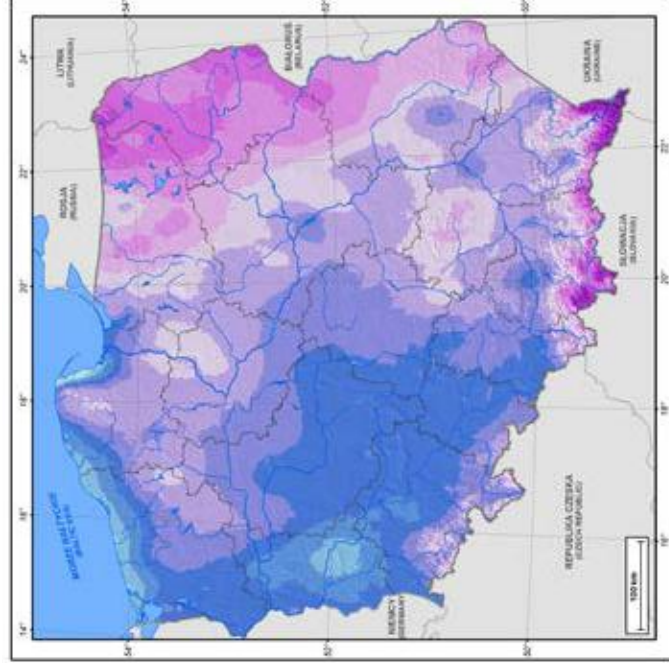
Minimalna dobowa temperatura powietrza w kolejnych dekadach stycznia o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Daily minimum air temperature in each ten-day period in January with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



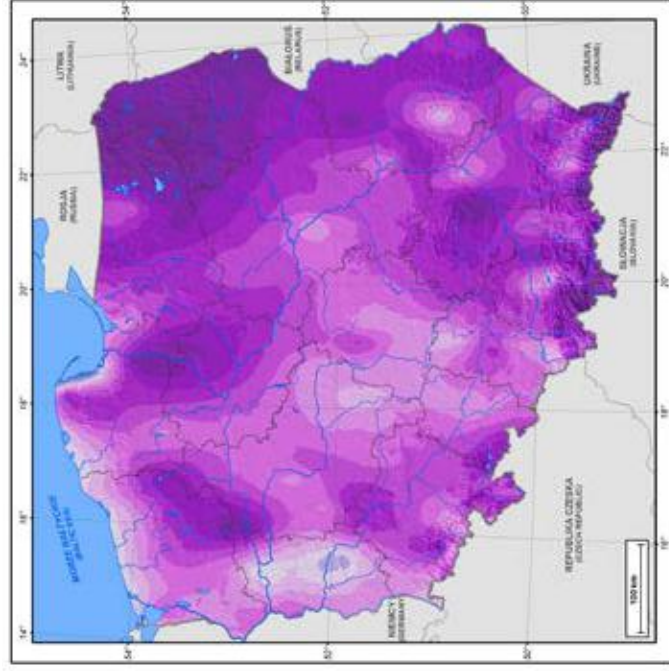
10%



5%

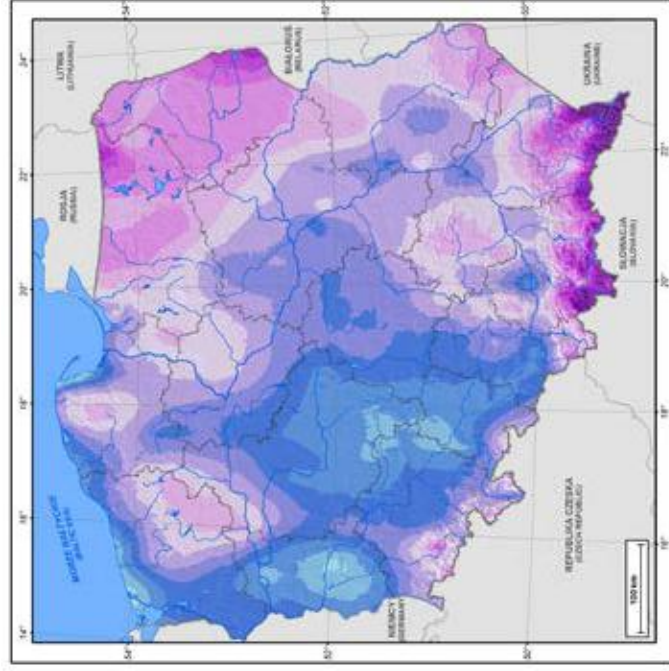
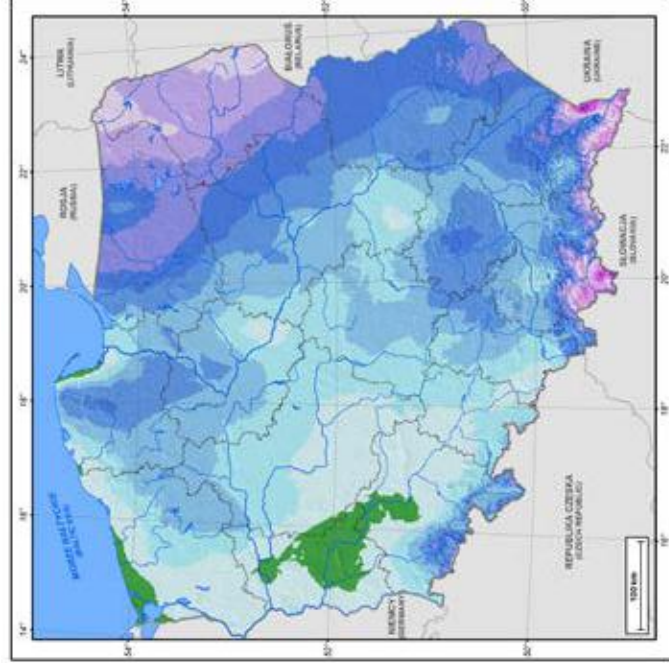
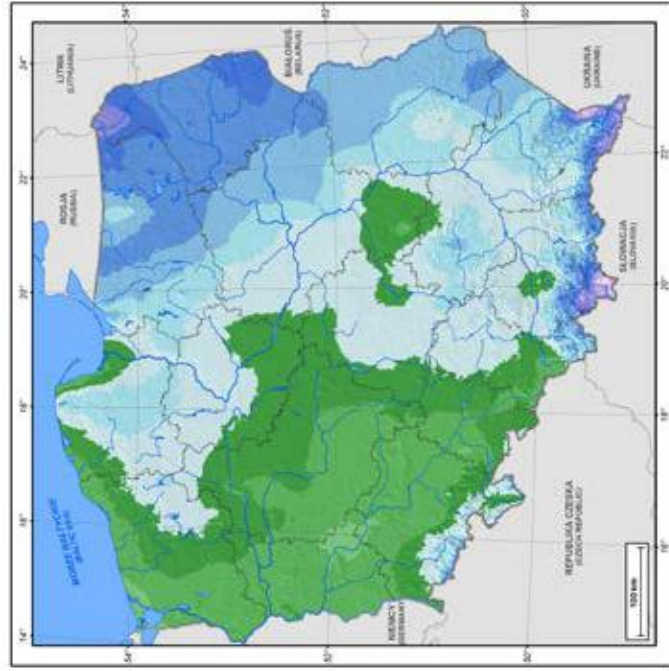


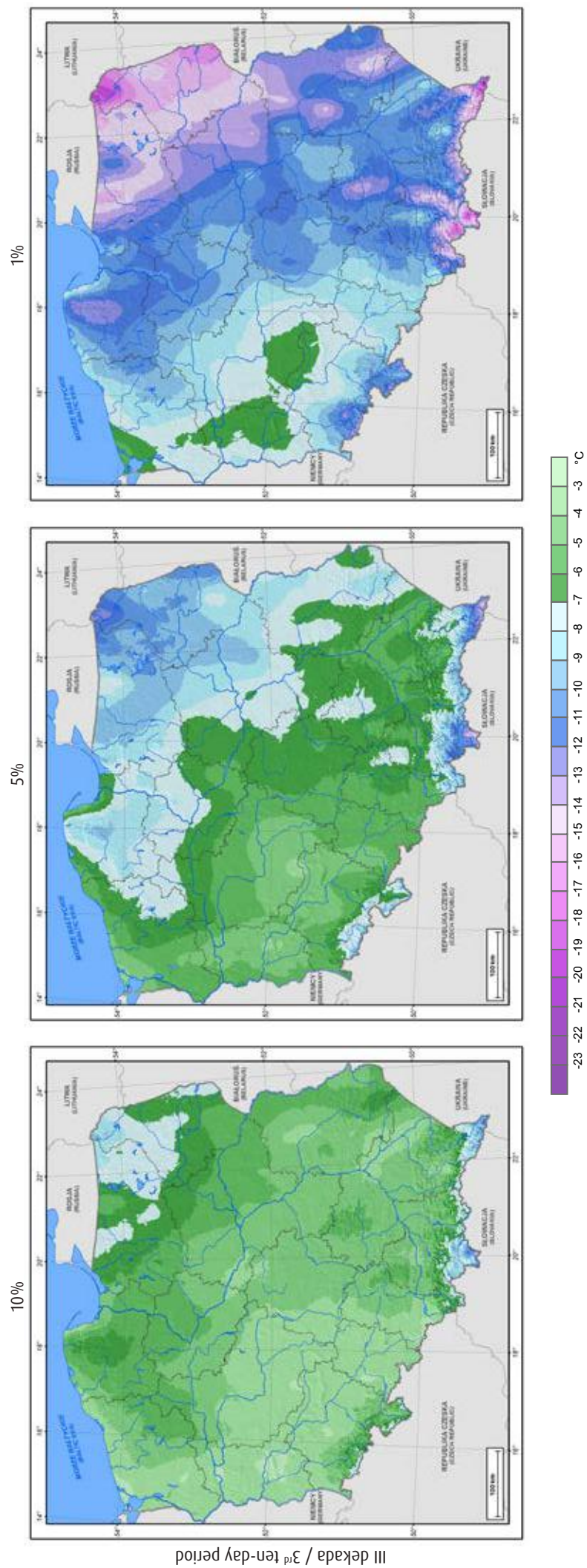
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





III dekada / 3rd ten-day period

16

Minimalna dobowa temperatura powietrza w kolejnych dekadach marca o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Daily minimum air temperature in each ten-day period in March with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



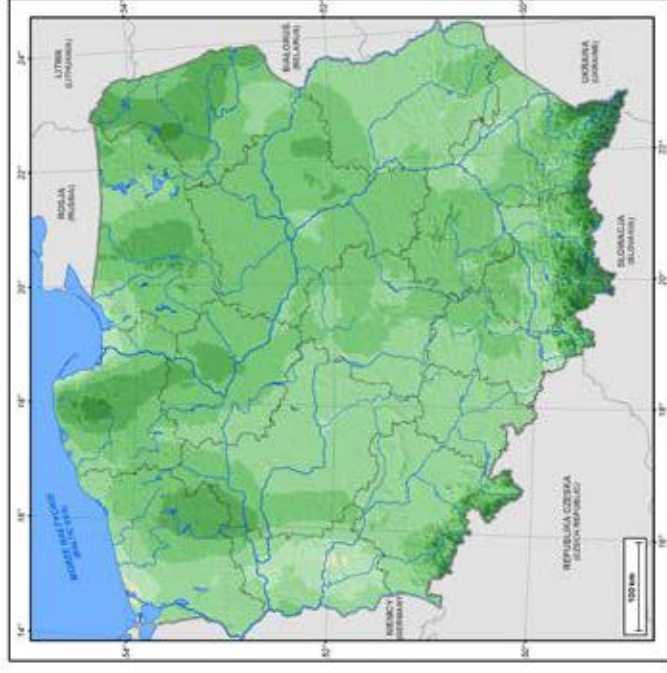
10%



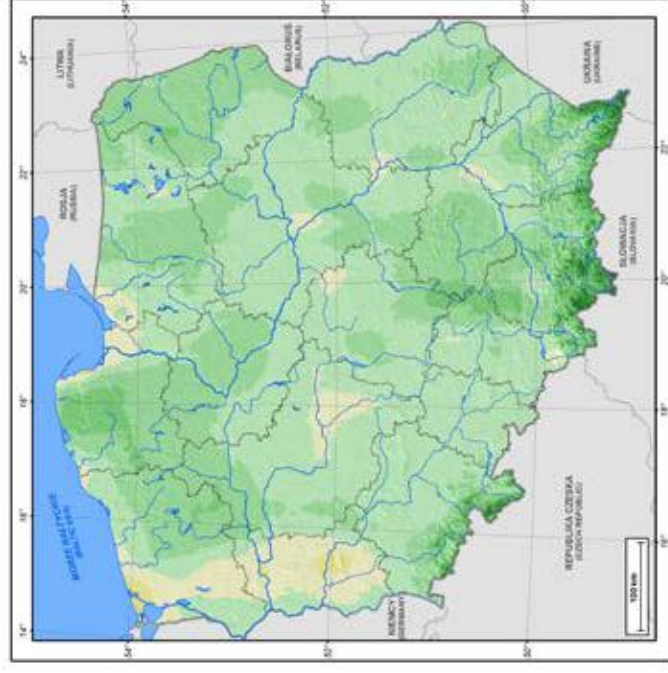
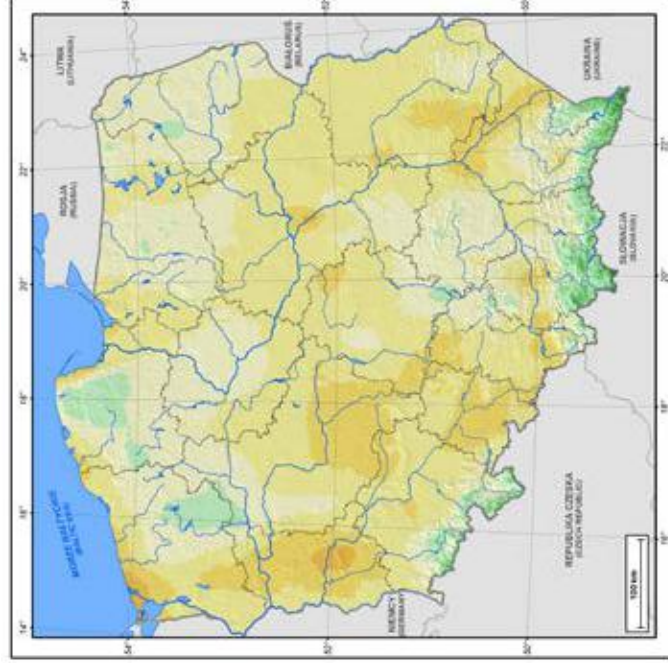
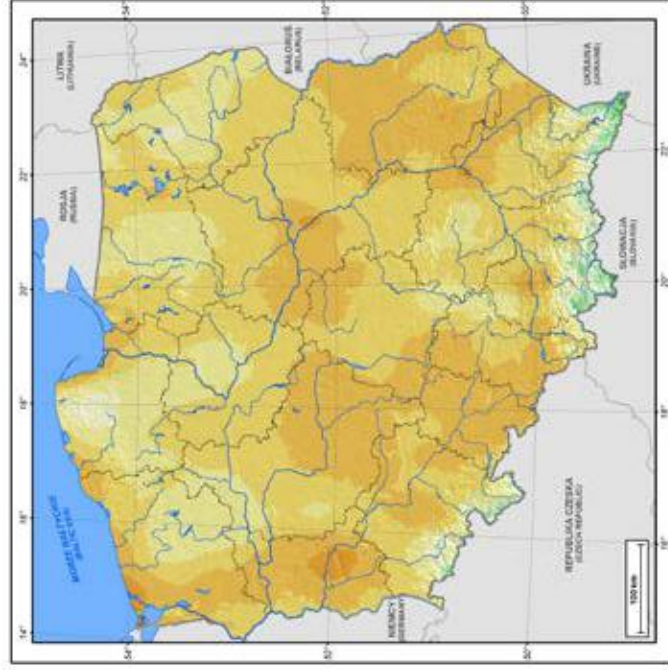
5%

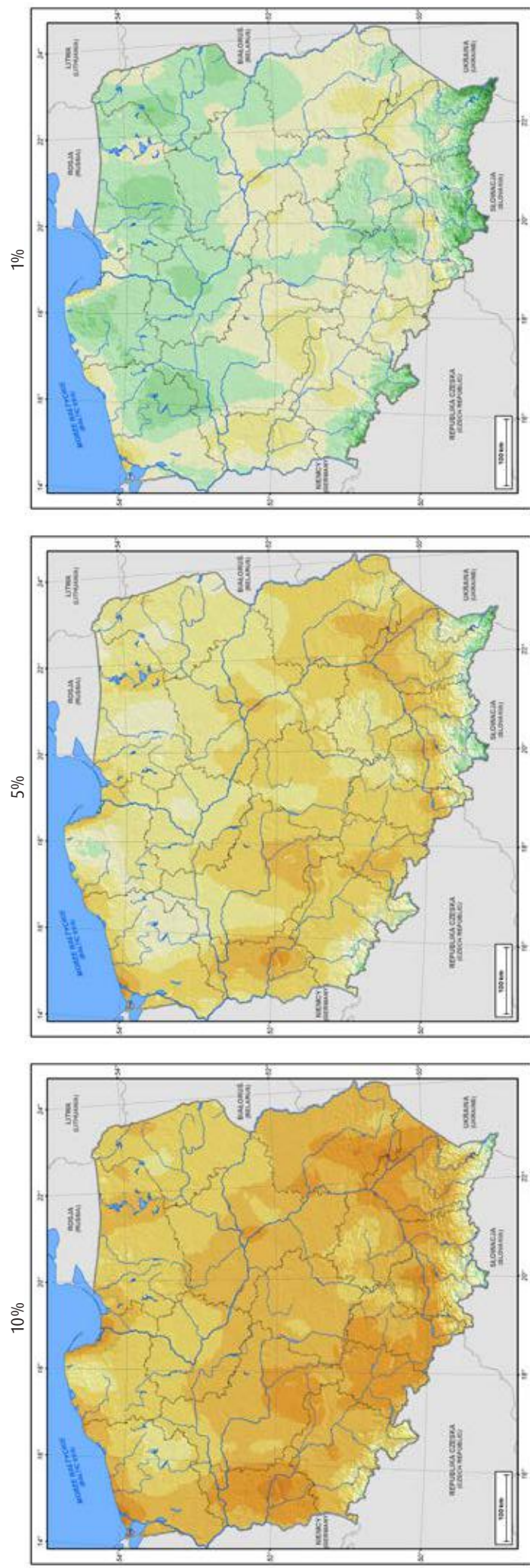


1%

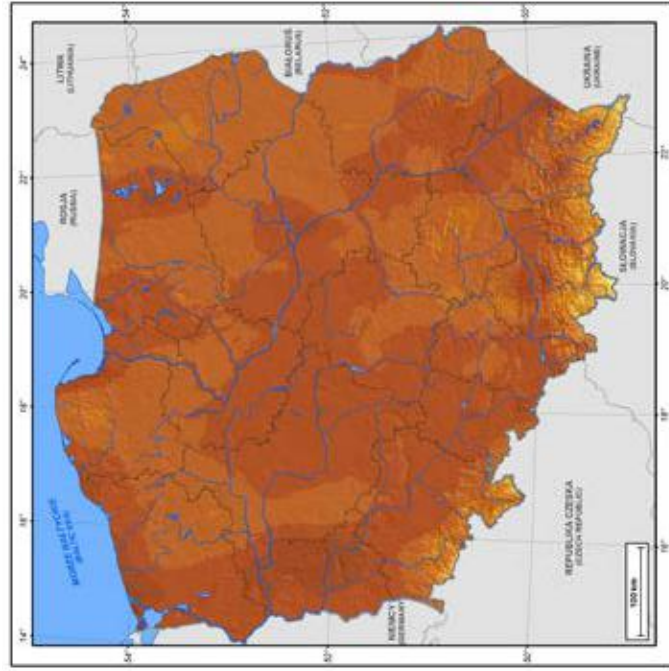


II dekada / 2nd ten-day period

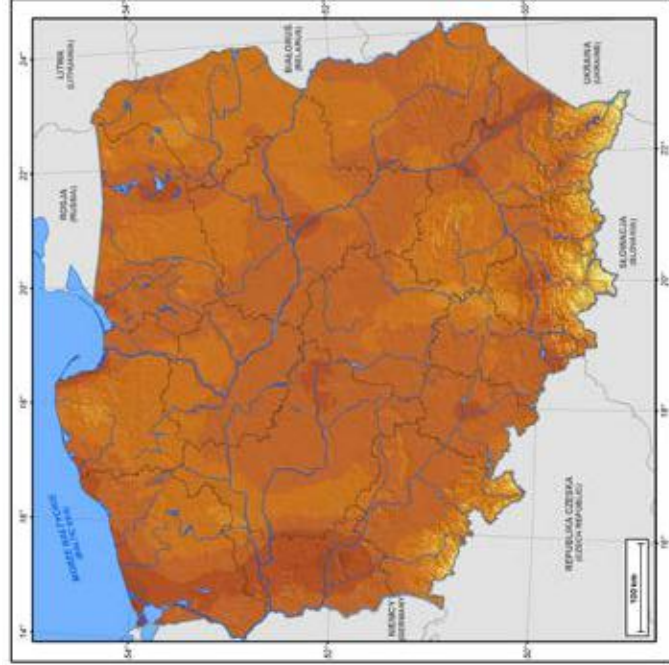




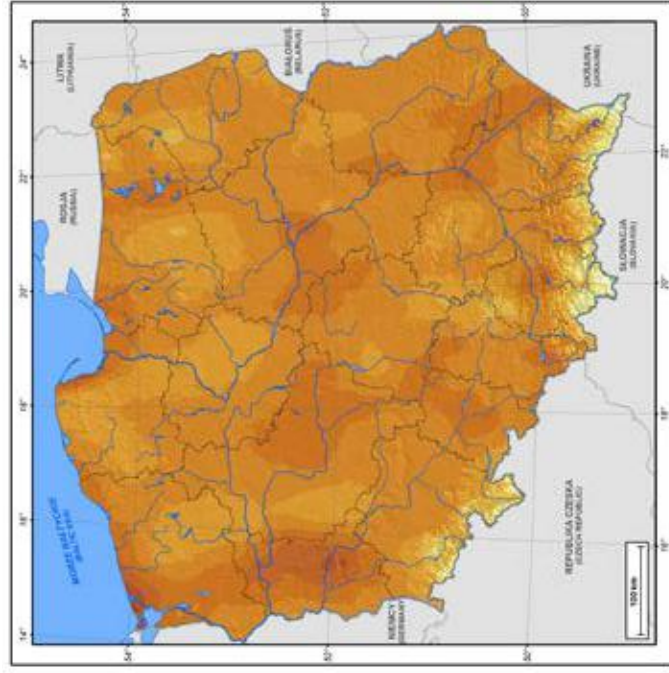
10%



5%

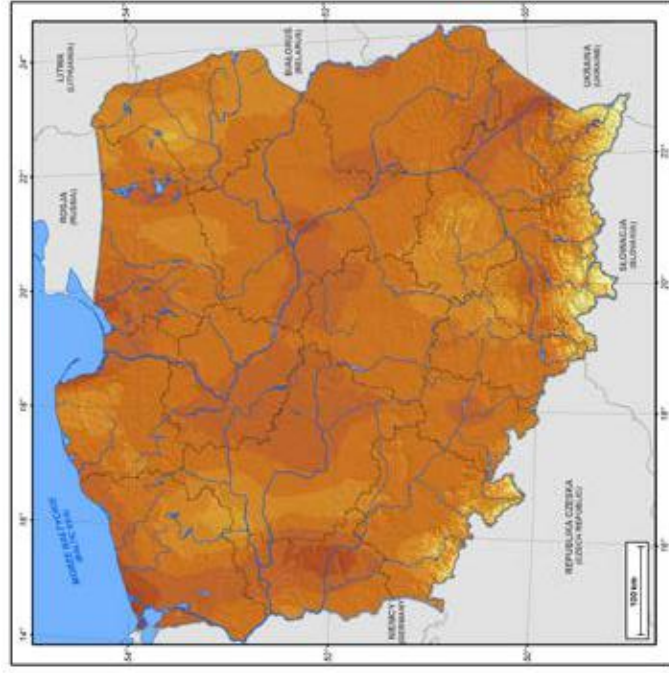
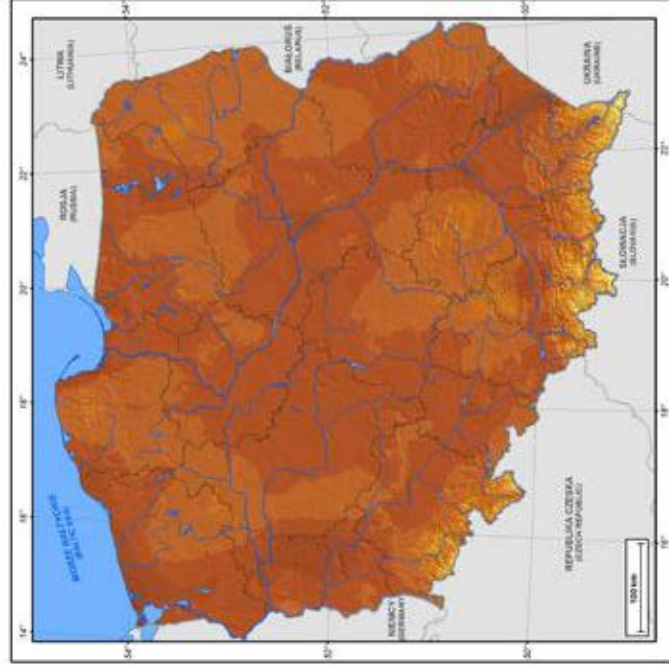
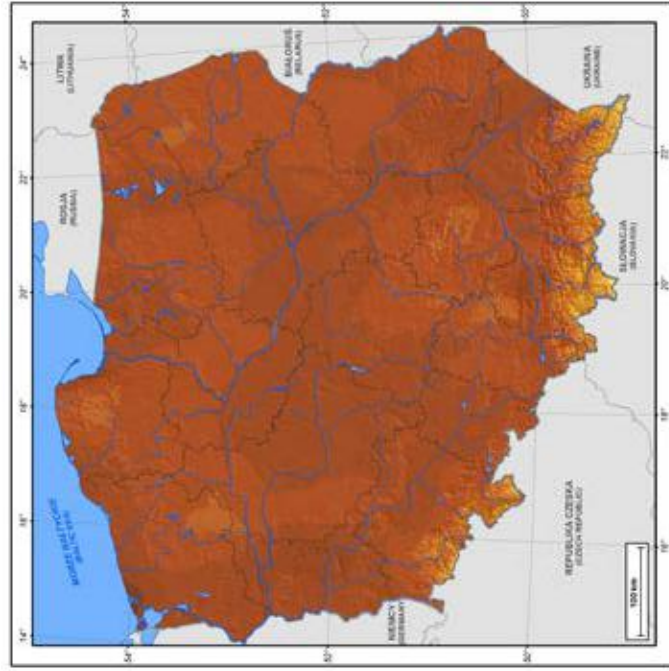


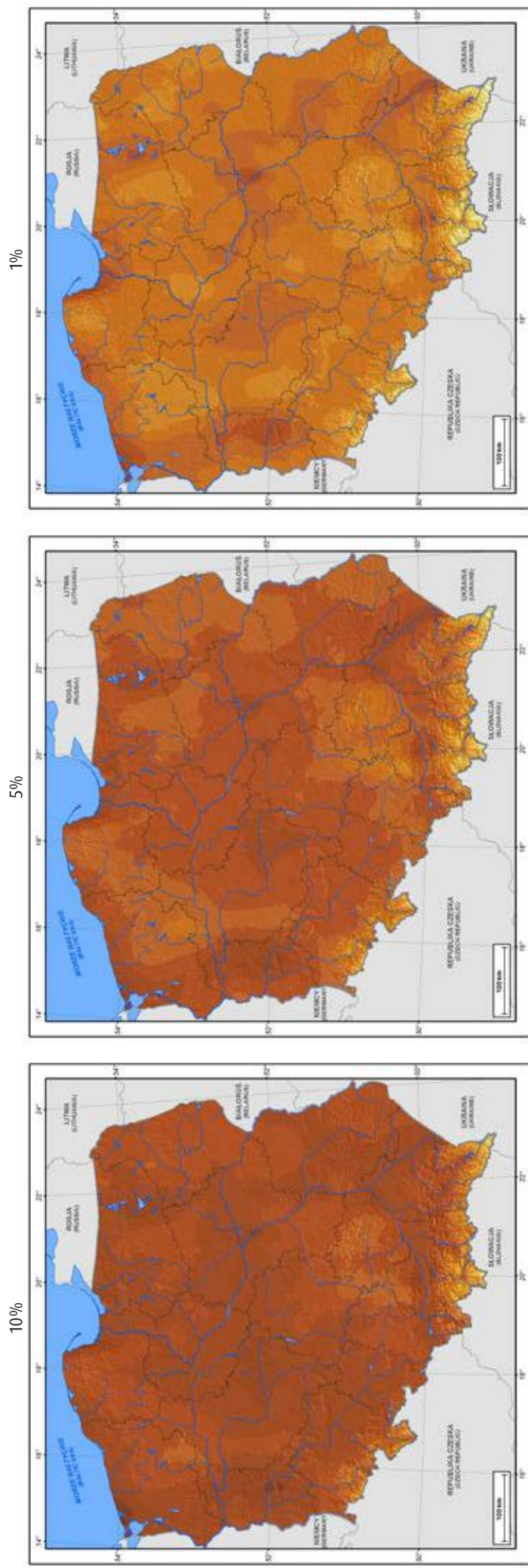
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





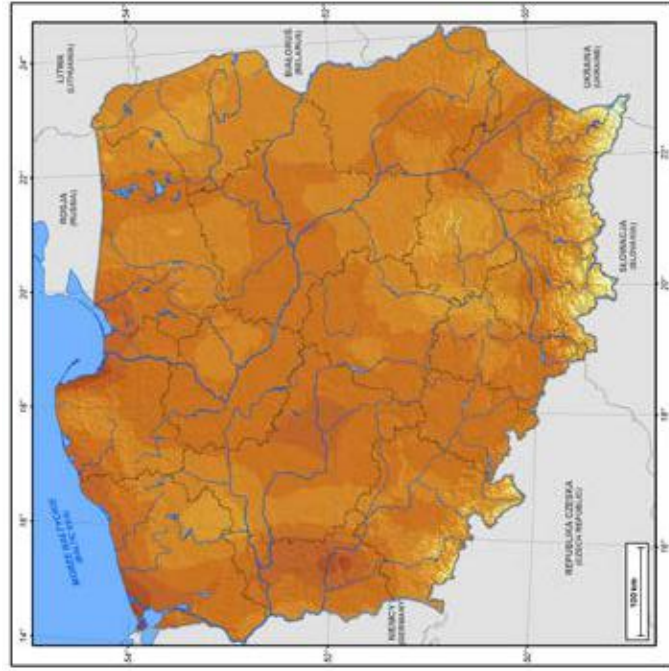
III dekada / 3rd ten-day period

18

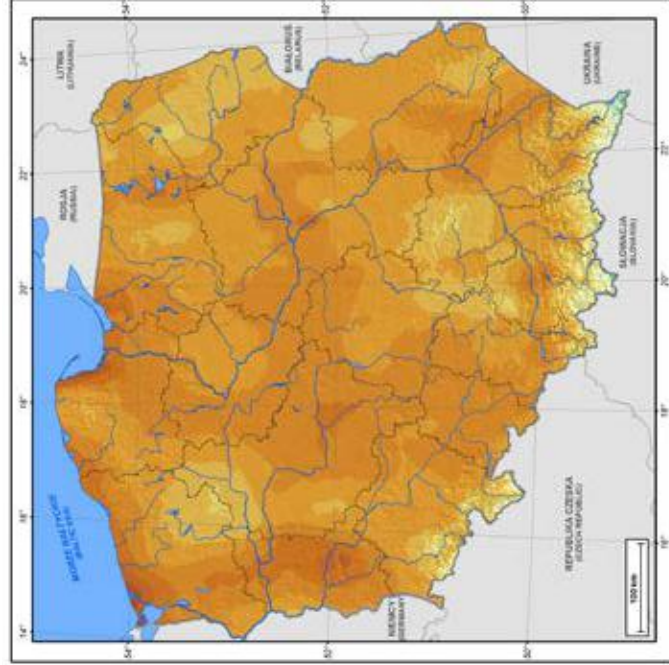
Minimalna dobowa temperatura powietrza w kolejnych dekadach lipca o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Daily minimum air temperature in each ten-day period in July with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



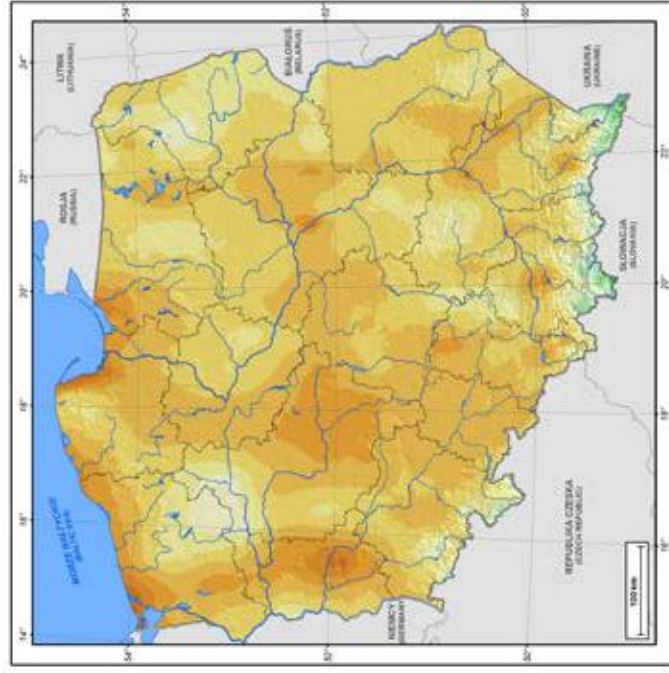
10%



5%

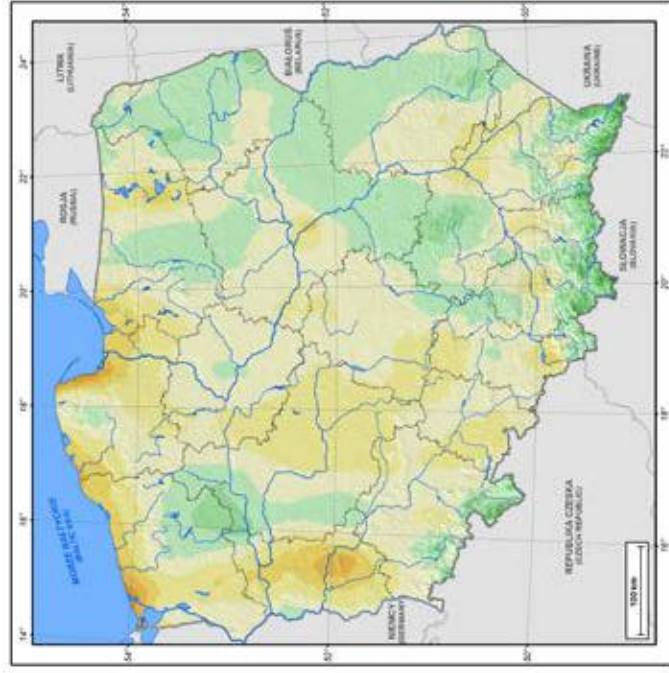
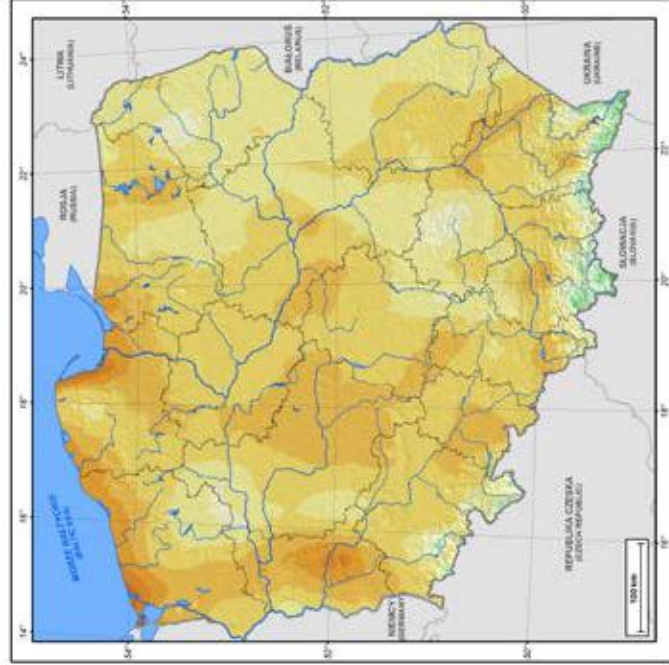
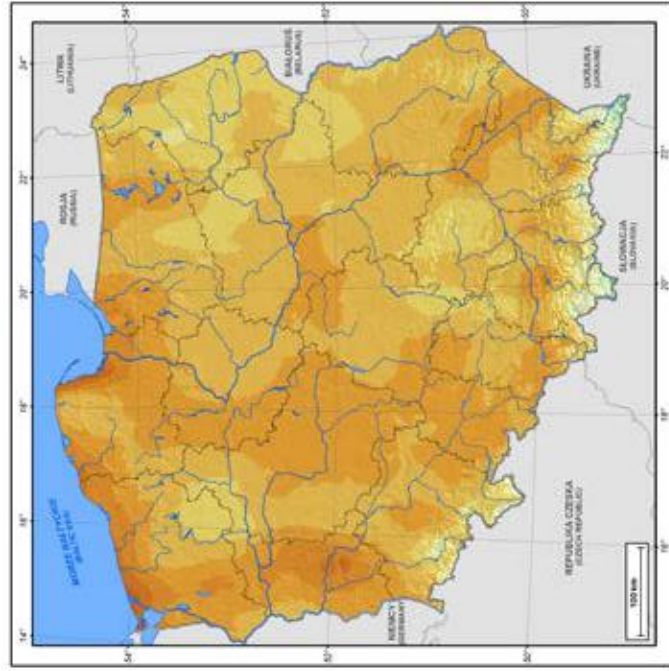


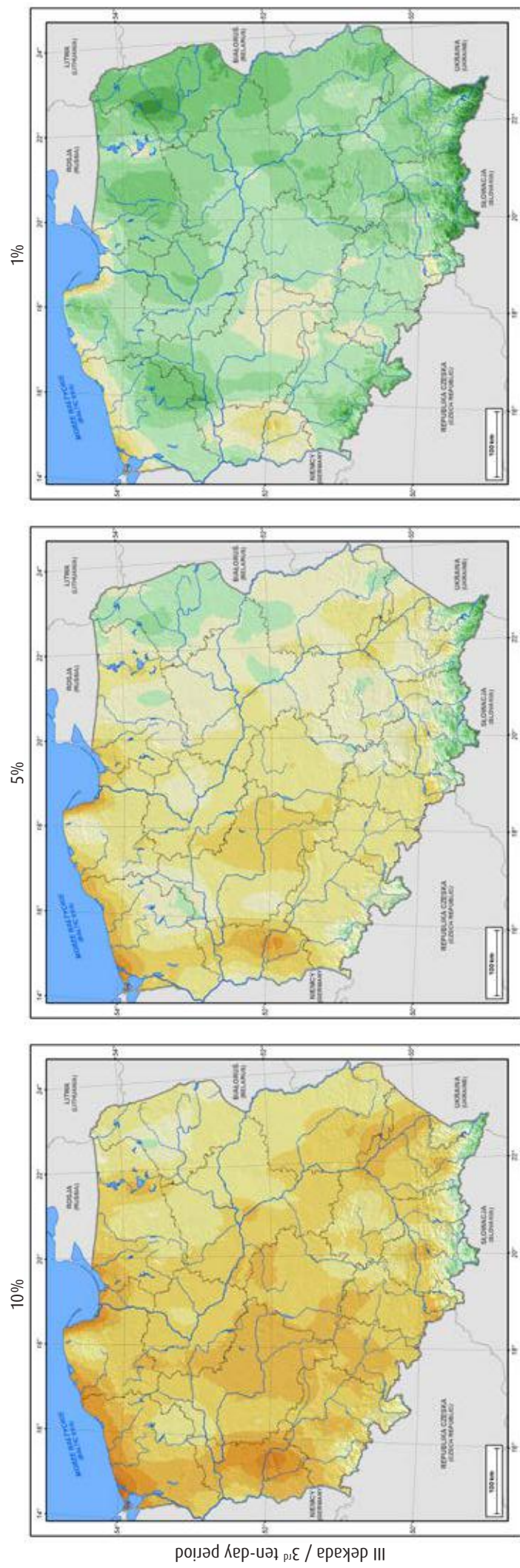
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





19

Minimalna dobowa temperatura powietrza w kolejnych dekadach września o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Daily minimum air temperature in each ten-day period in September with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



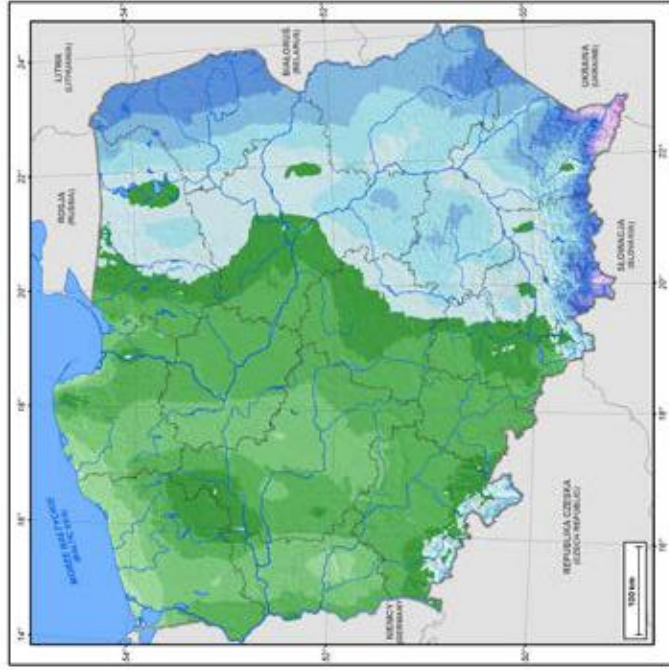
10%



5%

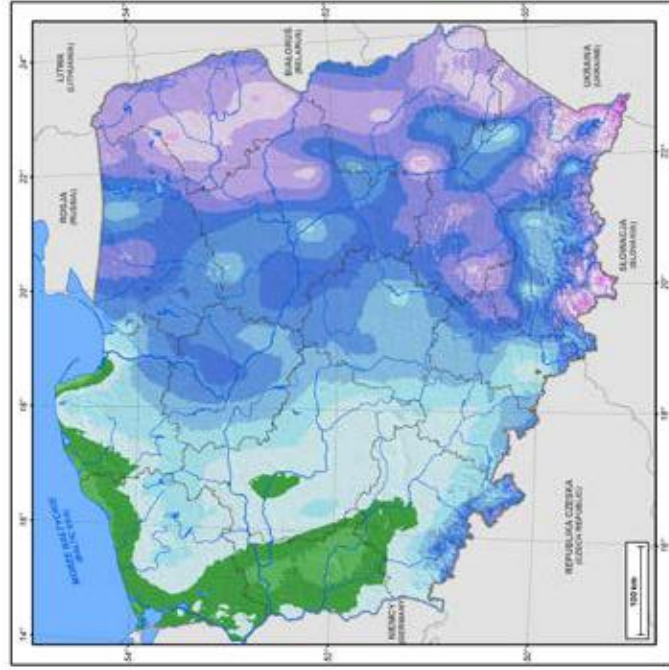
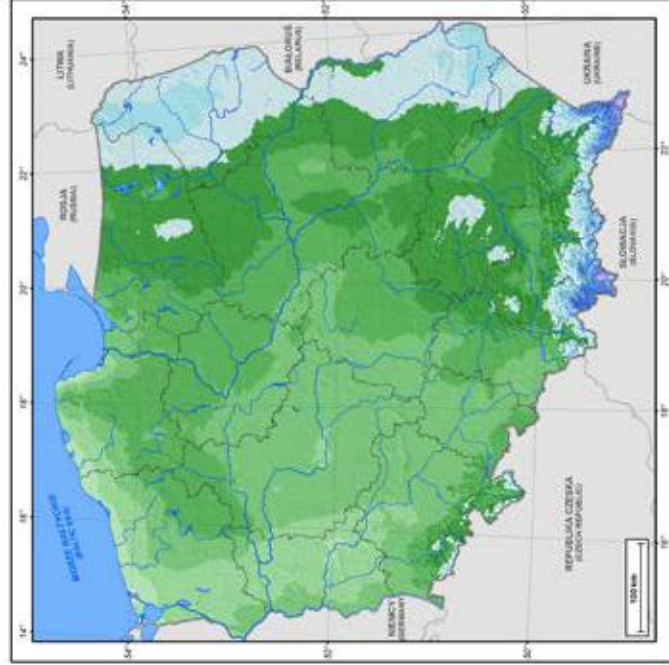
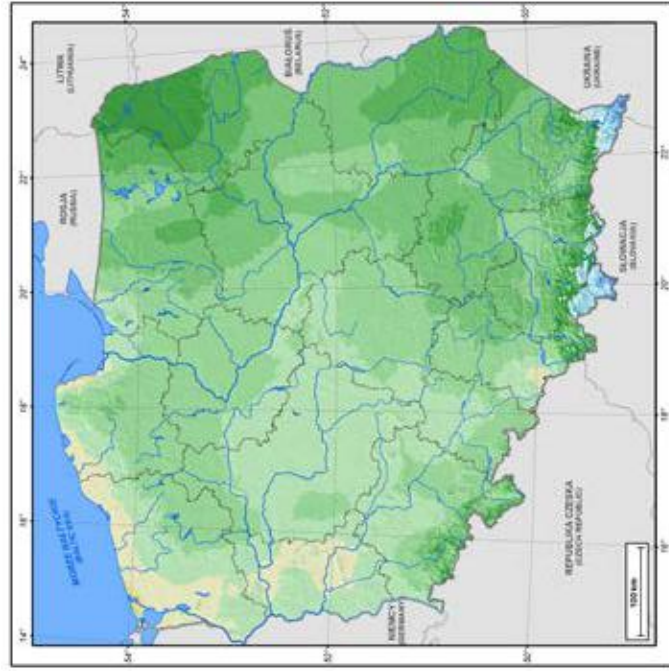


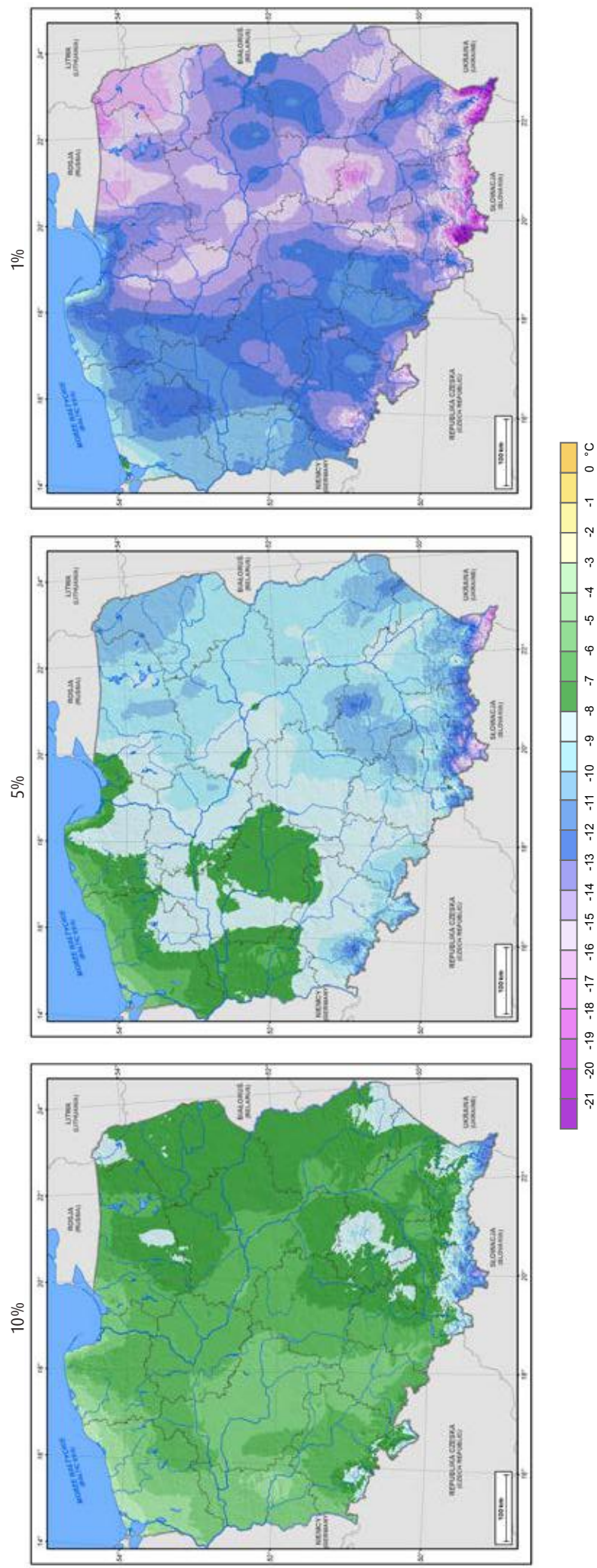
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





III dekada / 3rd ten-day period

20

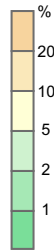
Minimalna dobowa temperatura powietrza w kolejnych dekadach listopada o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Daily minimum air temperature in each ten-day period in November with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%





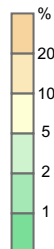
21

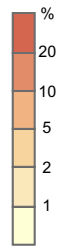
Prawdopodobieństwo wystąpienia dni gorących (Tmax ≥ 25°C) w II dekadzie maja
Occurrence probability of hot days (Tmax ≥ 25°C) in the 2nd ten-day period of May



22

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni gorących (Tmax ≥ 25°C) w II dekadzie września
Occurrence probability of hot days (Tmax ≥ 25°C) in the 2nd ten-day period of September

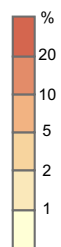
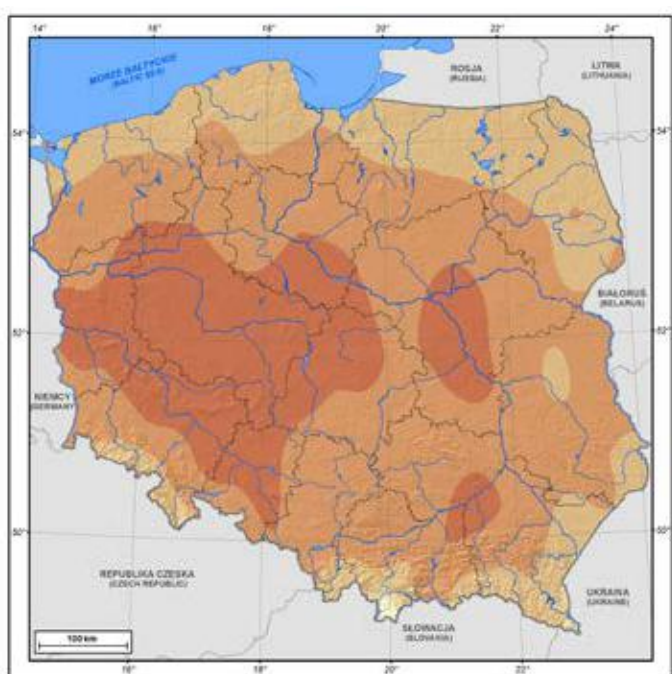




23

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni upalnych ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$) w II dekadzie czerwca

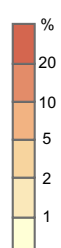
Occurrence probability of very hot days ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$) in the 2nd ten-day period of June



24

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni upalnych ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$) w II dekadzie lipca

Occurrence probability of very hot days ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$) in the 2nd ten-day period of July



25

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni upalnych ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$) w II dekadzie sierpnia

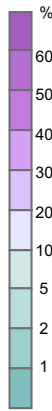
Occurrence probability of very hot days ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$) in the 2nd ten-day period of August



26

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni mroźnych (Tmax < 0°C) w II dekadzie listopada

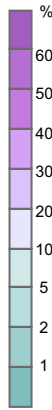
Occurrence probability of days with freezing temperatures (Tmax < 0°C) in the 2nd ten-day period of November



27

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni mroźnych (Tmax < 0°C) w II dekadzie grudnia

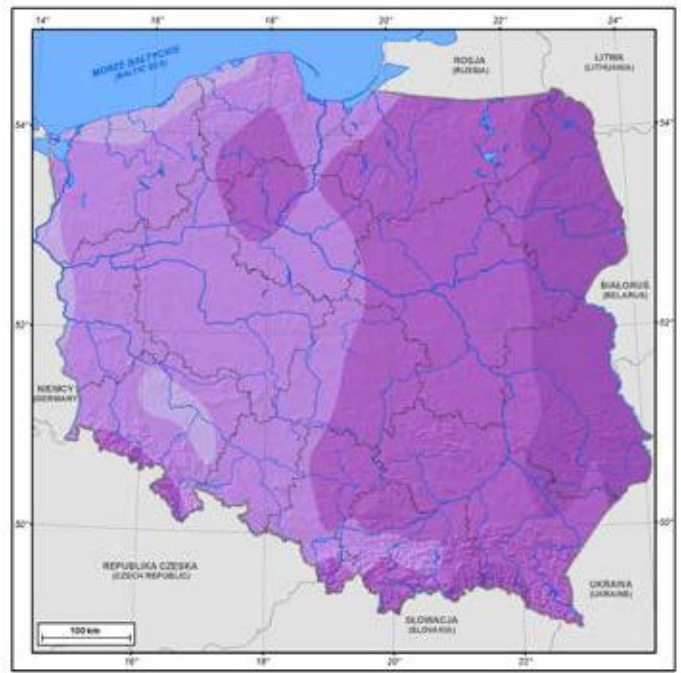
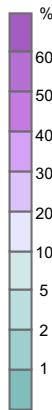
Occurrence probability of days with freezing temperatures (Tmax < 0°C) in the 2nd ten-day period of December

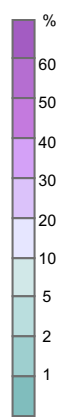
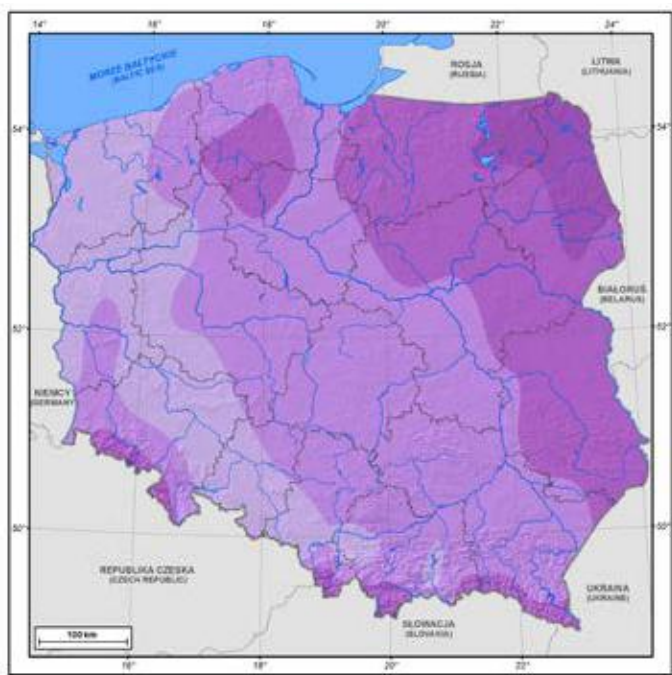


28

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni mroźnych (Tmax < 0°C) w II dekadzie stycznia

Occurrence probability of days with freezing temperatures (Tmax < 0°C) in the 2nd ten-day period of January

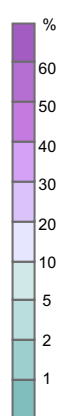




29

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni mroźnych ($T_{max} < 0^{\circ}C$) w II dekadzie lutego

Occurrence probability of days with freezing temperatures ($T_{max} < 0^{\circ}C$) in the 2nd ten-day period of February



30

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni mroźnych ($T_{max} < 0^{\circ}C$) w II dekadzie marca

Occurrence probability of days with freezing temperatures ($T_{max} < 0^{\circ}C$) in the 2nd ten-day period of March





31

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni z $T_{min} \leq -15^{\circ}C$ w II dekadzie listopada

Occurrence probability of days with minimum temperature at $T_{min} \leq -15^{\circ}C$ in the 2nd ten-day period of November

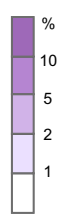


32

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni z $T_{min} \leq -15^{\circ}C$ w II dekadzie marca

Occurrence probability of days with minimum temperature at $T_{min} \leq -15^{\circ}C$ in the 2nd ten-day period of March





33

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni z $T_{min} \leq -20 \text{ }^\circ\text{C}$ w II dekadzie grudnia

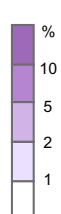
Occurrence probability of days with minimum temperature at $T_{min} \leq -20^\circ\text{C}$ in the 2nd ten-day period of December



34

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni z $T_{min} \leq -20 \text{ }^\circ\text{C}$ w II dekadzie stycznia

Occurrence probability of days with minimum temperature at $T_{min} \leq -20^\circ\text{C}$ in the 2nd ten-day period of January



35

Prawdopodobieństwo wystąpienia dni z $T_{min} \leq -20 \text{ }^\circ\text{C}$ w II dekadzie lutego

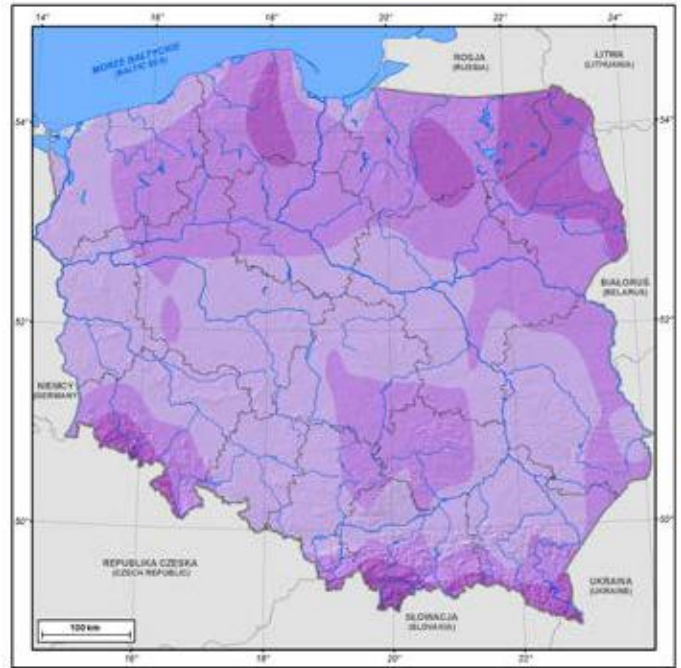
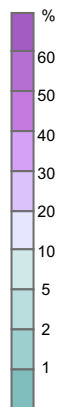
Occurrence probability of days with minimum temperature at $T_{min} \leq -20^\circ\text{C}$ in the 2nd ten-day period of February

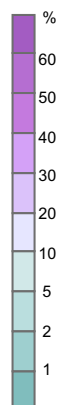
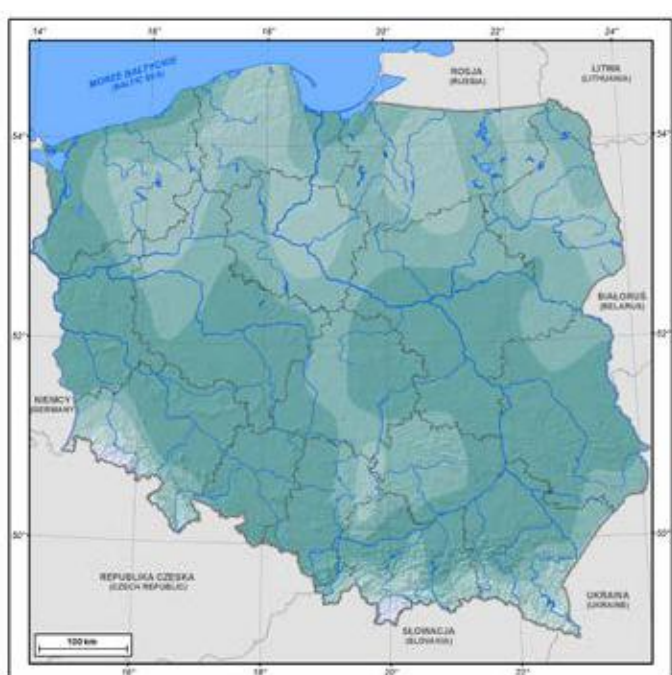
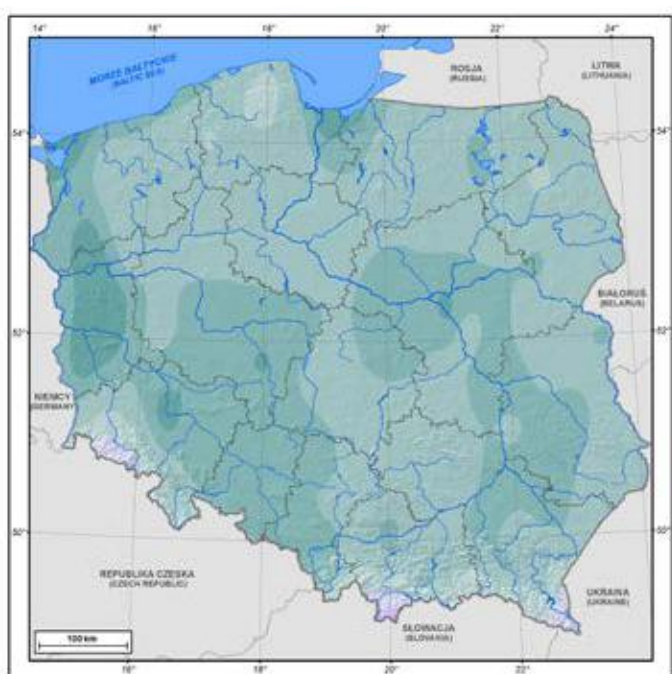


36

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z przymrozkiem ($T_{min} < 0^{\circ}C$) w kolejnych dekadach kwietnia

Occurrence probability of days with freezing temperatures ($T_{min} < 0^{\circ}C$) in each ten-day period of April





37

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z przymrozkiem (T_{min} < 0°C) w kolejnych dekadach maja

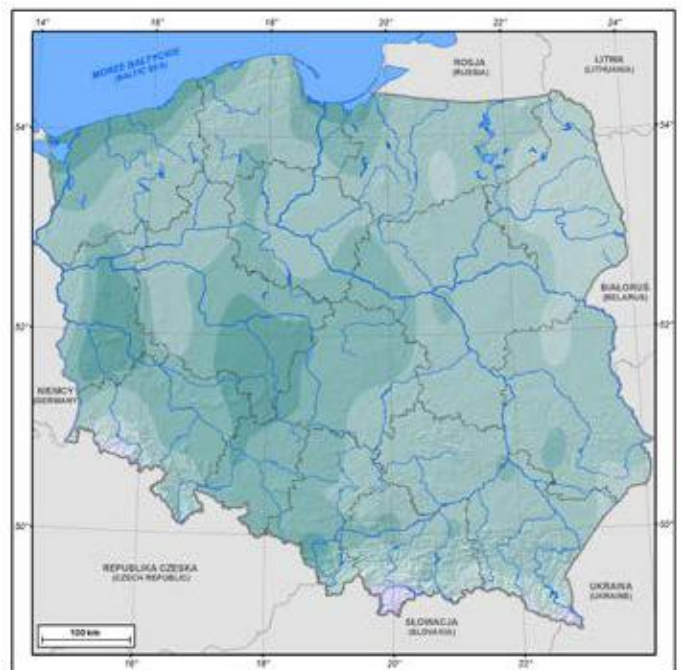
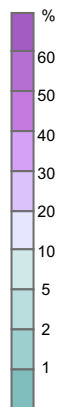
Occurrence probability of days with freezing temperatures (T_{min} < 0°C) in each ten-day period of May

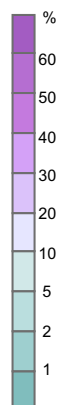
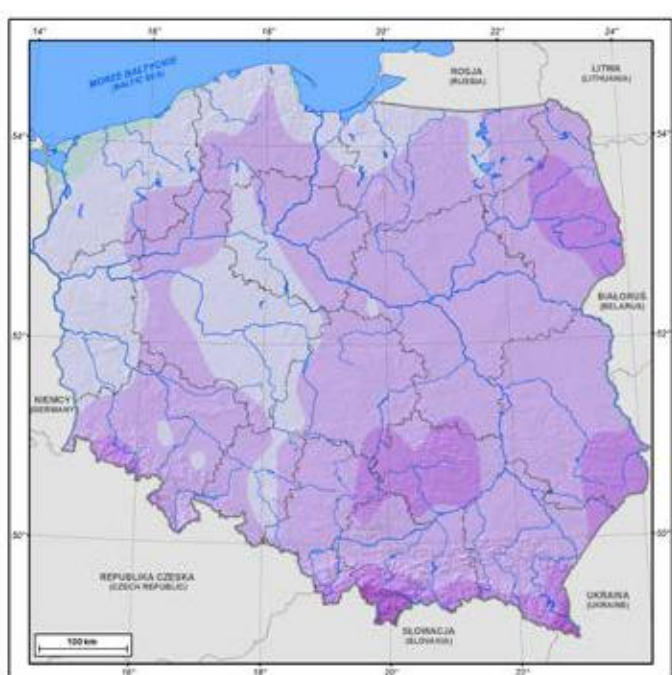


38

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z przymrozkiem ($T_{min} < 0^{\circ}C$) w kolejnych dekadach września

Occurrence probability of days with freezing temperatures ($T_{min} < 0^{\circ}C$) in each ten-day period of September





39

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z przymrozkiem ($T_{min} < 0^{\circ}C$) w kolejnych dekadach października

Occurrence probability of days with freezing temperatures ($T_{min} < 0^{\circ}C$) in each ten-day period of October





Intensywne opady atmosferyczne

Ze względu na znaczenie dla środowiska przyrodniczego opady atmosferyczne są jednym z najważniejszych elementów pogody i klimatu. Były one istotne nie tylko w przeszłości, jako czynnik rozwoju cywilizacji, lecz także obecnie odgrywają bardzo ważną rolę w gospodarce, planowaniu i w wielu innych dziedzinach życia.

W celu najlepszego uchwycenia zależności oraz zagrożeń stwarzanych przez opady atmosferyczne skupiono się przede wszystkim na maksymalnych sumach dobowych oraz prawdopodobieństwie wystąpienia ekstremalnie wysokich opadów atmosferycznych. Opady takie na ogół doprowadzają do wezbrań oraz powodzi; na terenie Polski i znacznej części Europy uważane są za najpoważniejsze zagrożenie meteorologiczne (Łupikasz 2013).

Na wstępie przedstawiono średnie wieloletnie zróżnicowanie sumy rocznej opadu na obszarze Polski w wieloletniu 1981-2010 (ryc. 40). Zmienność sum opadów atmosferycznych w Polsce nie wykazuje istotnych tendencji, stąd nie zamieszczono map porównujących je do innych okresów. Jednocześnie, podobnie jak w przypadku temperatur ekstremalnych, przedstawiono też mapę maksymalnego opadu dobowego na stacjach synoptycznych, zarejestrowanego w okresie 1951-2013 wraz z datą jego wystąpienia (ryc. 41).

Zasadniczą część map opadowych prezentuje prawdopodobieństwa przekroczenia wartości sum dobowych, które w historycznym ujęciu (w latach 1951-2010) wystąpiły na danym

Heavy rainfalls

Because of its importance for the natural environment, precipitation is one of the most significant elements of weather and climate. Not only was it a key factor for civilization's growth in the past, but it also plays central role in the economy, planning, and many other areas.

In order to encapsulate the relationships and threats posed by precipitation most precisely, special attention was paid to the daily maximum totals and the probability of occurrences of extremely high precipitation totals. Such cases generally lead to rising waters levels as well as floods and are regarded as the most serious weather hazards both in Poland and a great part of Europe (Łupikasz 2013).

The mean annual precipitation in Poland in the period of 1981-2010 is presented at the beginning (Fig. 40). The variability of precipitation totals in Poland does not exhibit significant trends, therefore there are no maps comparing them to other periods. At the same time, similarly to extreme temperatures, a map is presented with daily maximum precipitation recorded on synoptic stations in 1951-2013 as well as dates of occurrences (Fig. 41).

A quintessential part of precipitation maps shows the probability of exceeding the values of daily totals which, in an historical approach (in 1951-2010), occurred in a given area in subsequent ten-day periods of a year not more than once every 10 cases (probability of occurrence in a

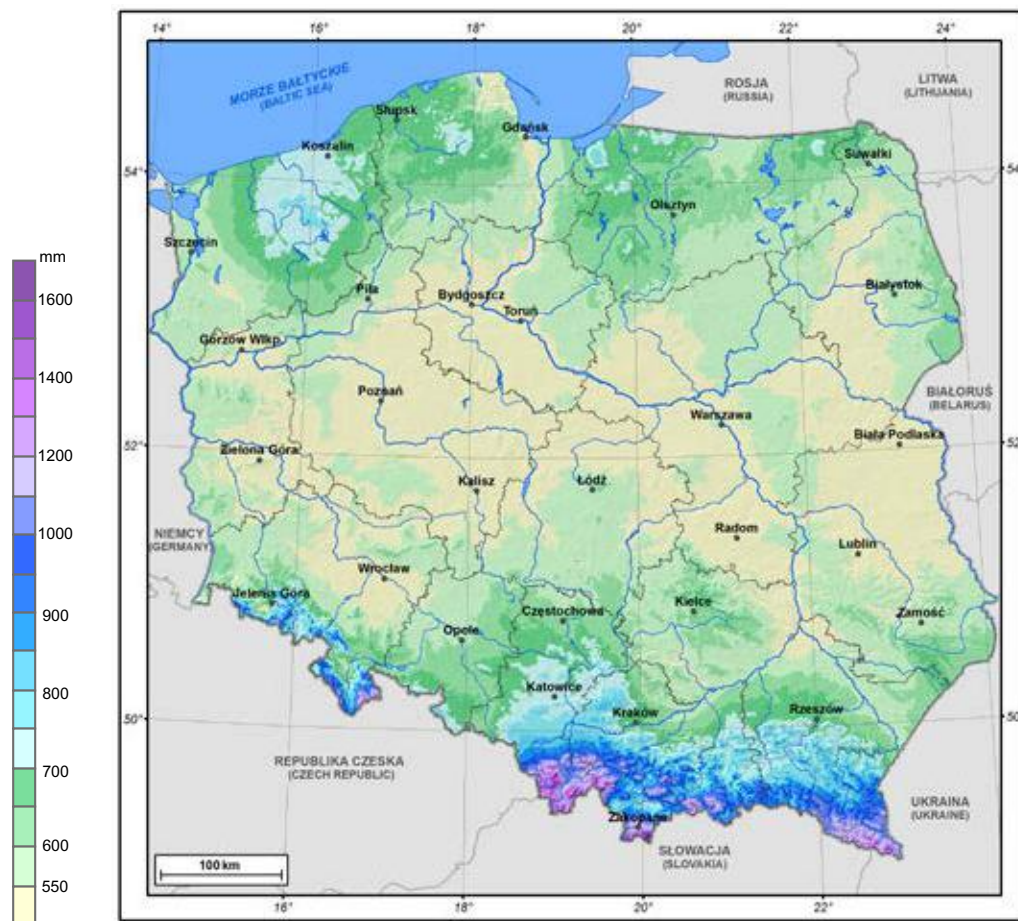
obszarze w kolejnych dekadach roku nie częściej niż raz na 10 przypadków (prawdopodobieństwo wystąpienia w dekadzie: 10%), raz na 20 przypadków (prawdopodobieństwo wystąpienia w dekadzie: 5%) i raz na 100 przypadków (prawdopodobieństwo wystąpienia w dekadzie: 1%), ryc. 42-53. Takie podejście pozwala na szczegółową przestrzenną analizę możliwości wystąpienia dużych sum opadów, równocześnie zaś bardzo dokładne określenie wielkości opadu, który w danym regionie może stwarzać zagrożenie w środowisku przyrodniczym i być rozpatrywany jako opad ekstremalny.

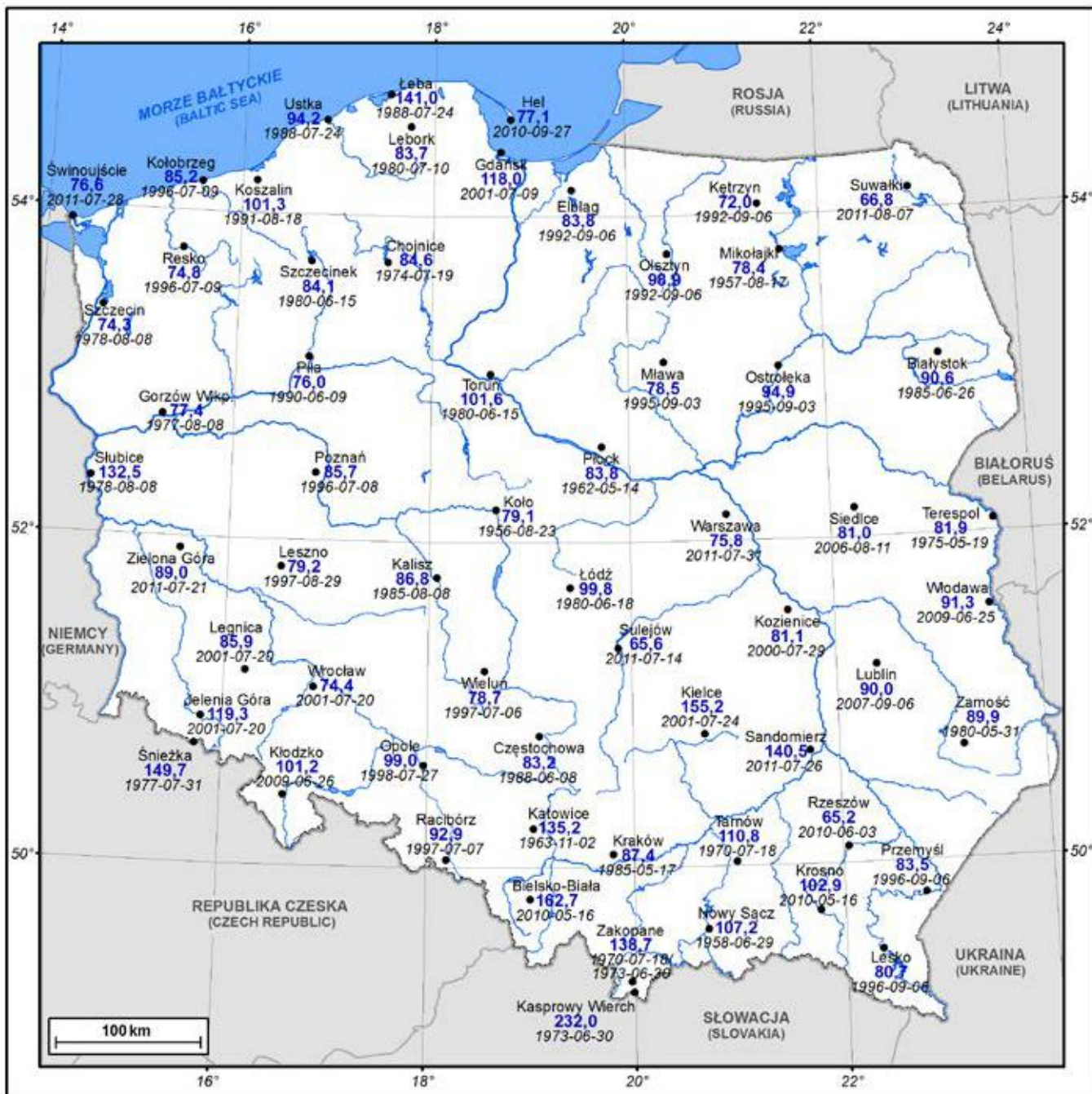
Oprócz map prezentujących maksymalne sumy dobowe opadów o określonym prawdopodobieństwie zaprezentowano też mapy o prawdopodobieństwie wystąpienia sumy powyżej 30 mm (ryc. 54-59). Przekroczenie tej wartości zostało empirycznie uznane za istotne, z hydrologicznego punktu widzenia, na obszarze Polski i znalazło się w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 22 sierpnia 2007 r. jako próg wyznaczający potencjalne zagrożenie intensywnymi opadami atmosferycznymi.

ten-day period: 10%), once every 20 cases (probability of occurrence in a ten-day period: 5%), and once every 100 cases (probability of occurrence in a ten-day period: 1%) (Fig. 42-53). This approach allows for a detailed spatial analysis of the possibility of high precipitation totals and, simultaneously, enables one to determine the amount of precipitation in a given region that can be dangerous for the natural environment and may be regarded as extreme rainfall.

Apart from the maps displaying the daily maximum precipitation totals of a given probability, other maps show the probability of precipitation totals exceeding 30 mm (Fig. 54-59). Surpassing these values was empirically determined to be significant from a hydrological point of view for Poland and can be found in the Regulation of the Ministry of the Environment from 22 August 2007 as a threshold, which defines the potential occurrence of threats associated with intensive precipitation.

40
Średnia roczna suma opadów atmosferycznych (1981-2010)
Mean annual precipitation totals (1981-2010)





41

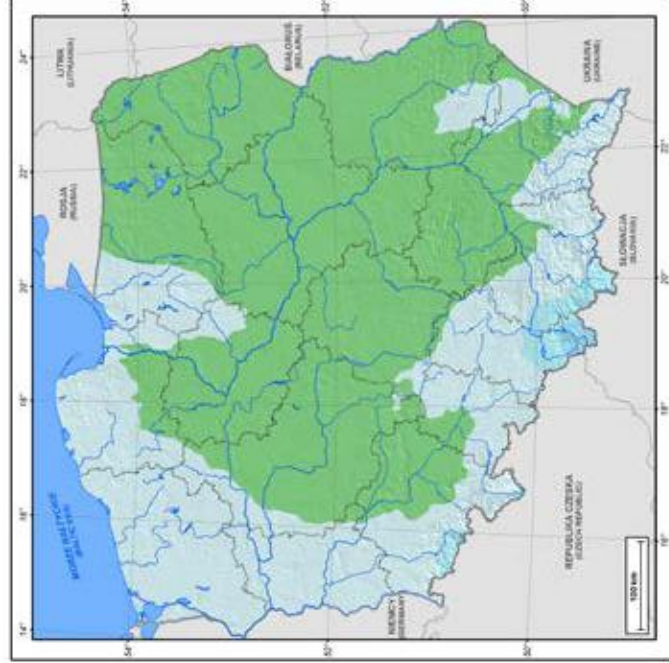
Maksymalny opad dobowy (mm) wraz z datą wystąpienia (1951-2013)

Maximum daily precipitation totals (mm) and the dates of their occurrence (1951-2013)

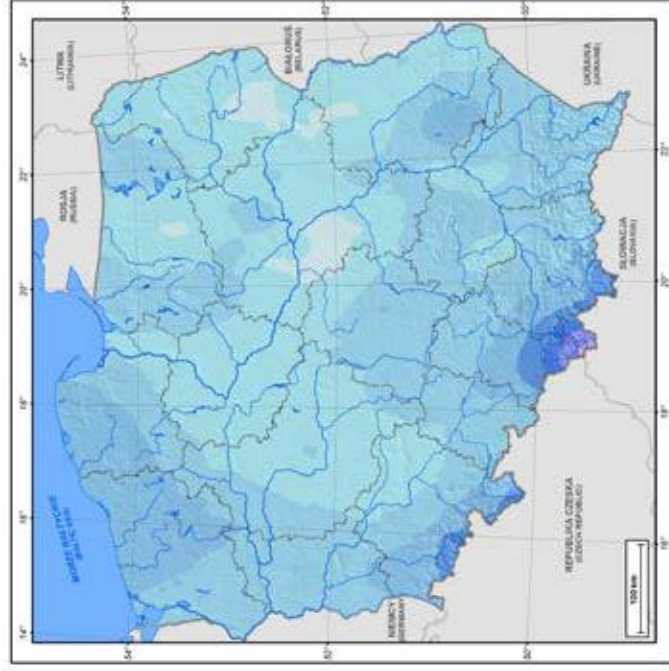
10%



5%

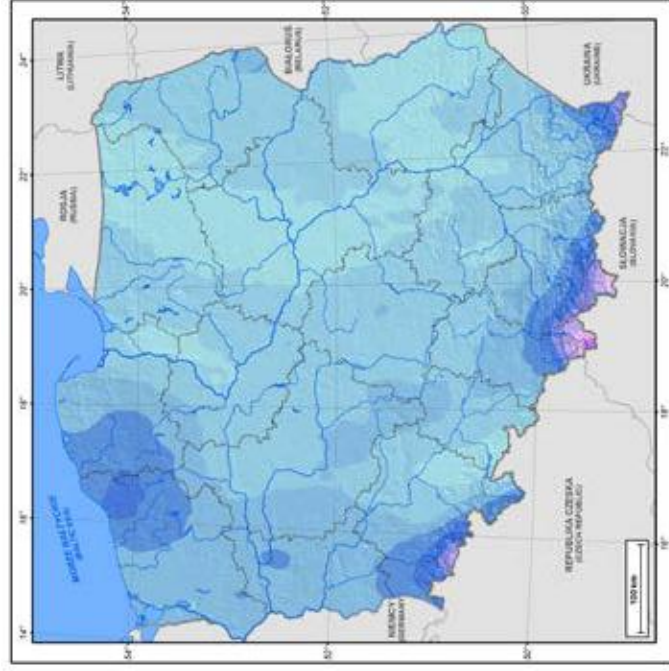
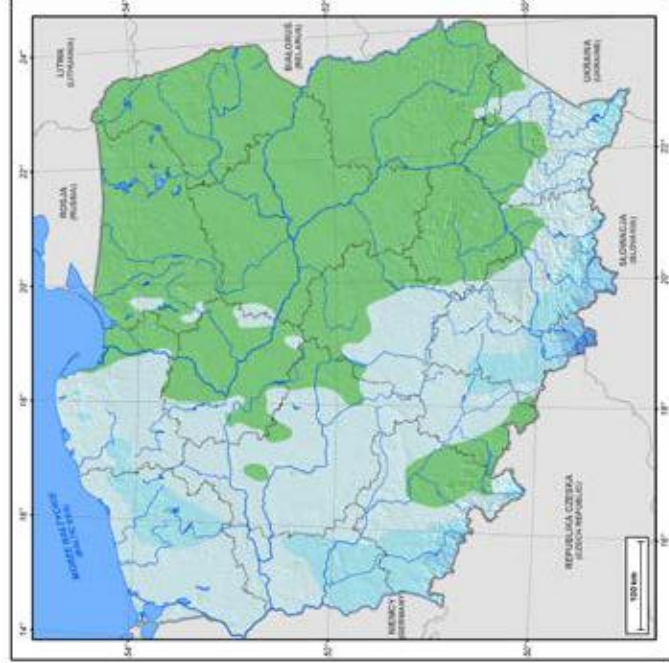


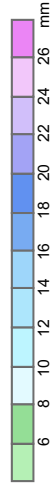
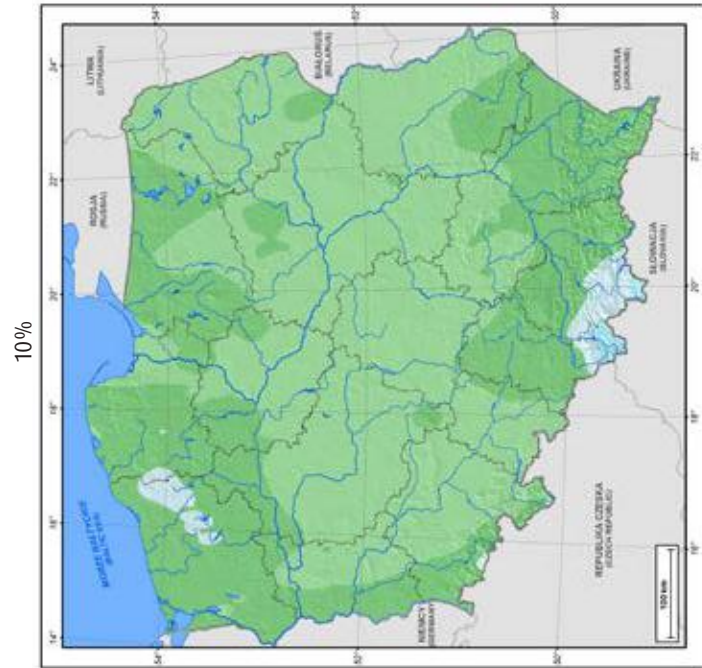
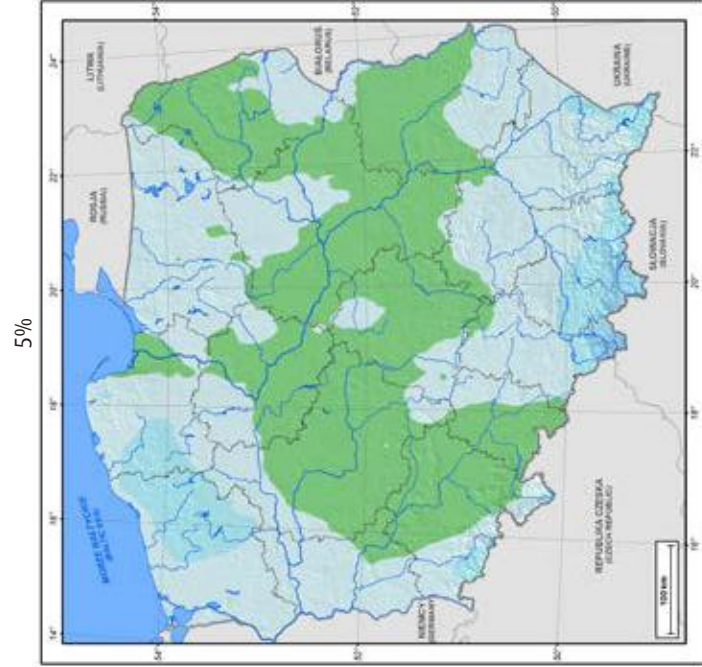
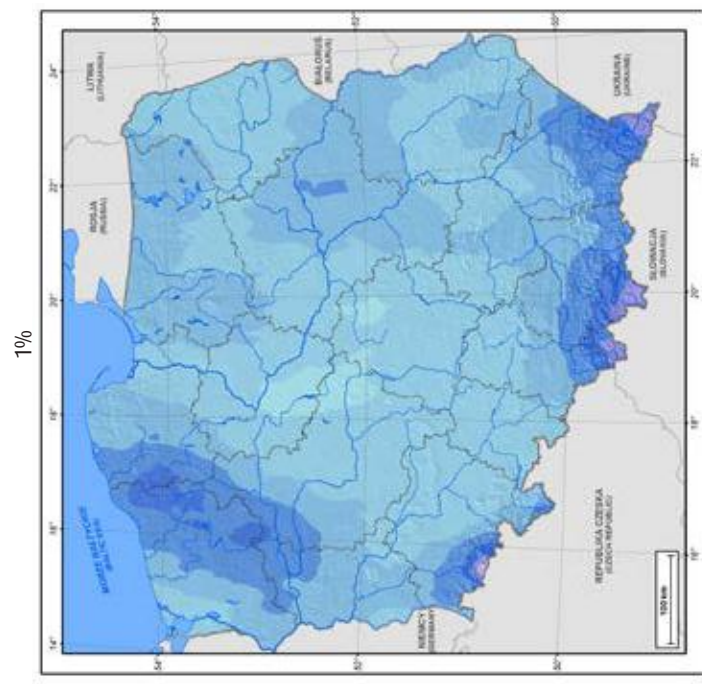
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





42

Maksymalna dobowa suma opadów atmosferycznych w kolejnych dekadach stycznia o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%

Maximum daily precipitation totals in each ten-day period of January with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%

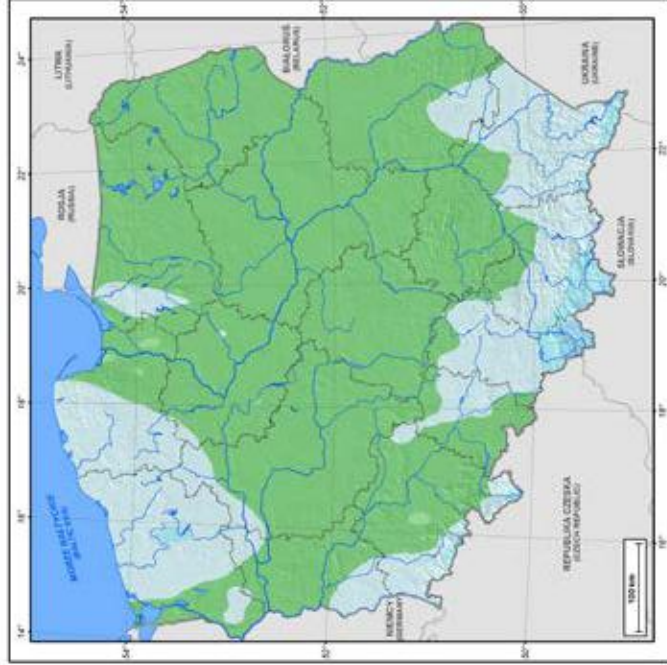


10%

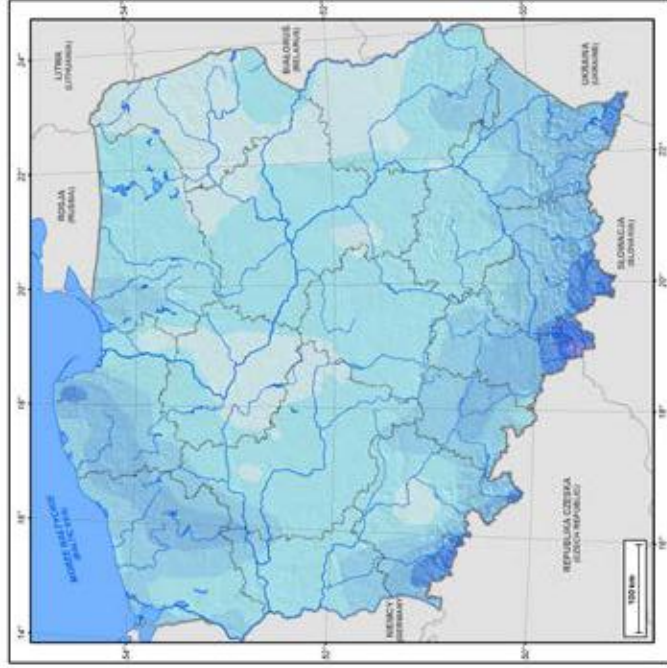


I dekada / 1st ten-day period

5%



1%



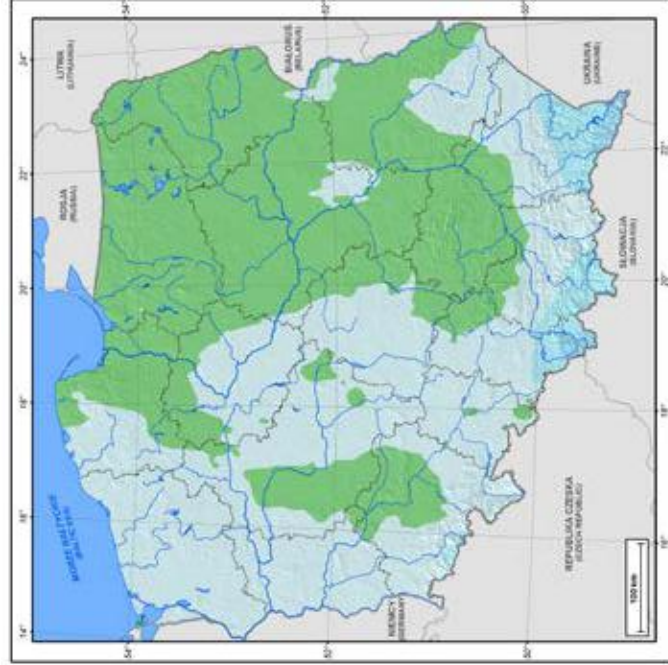
II dekada / 2nd ten-day period

10%

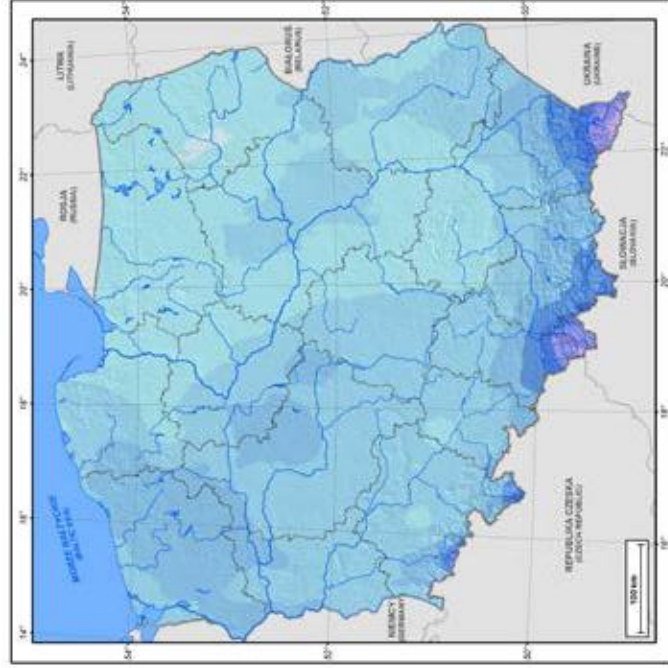


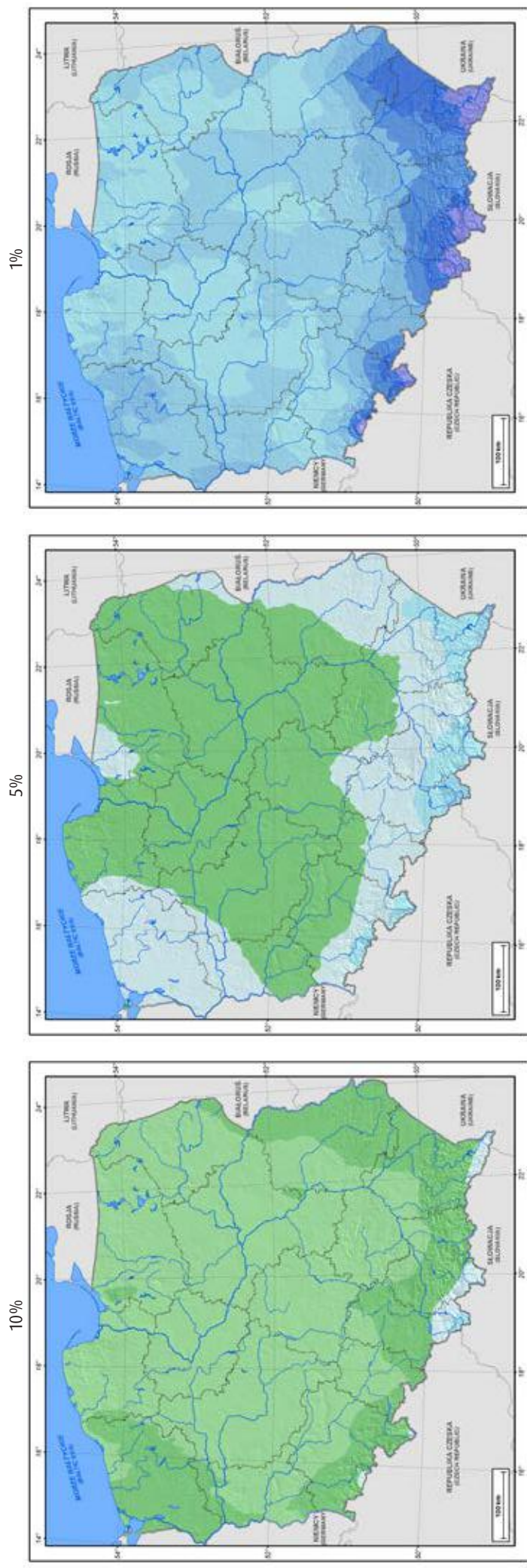
II dekada / 2nd ten-day period

5%



1%





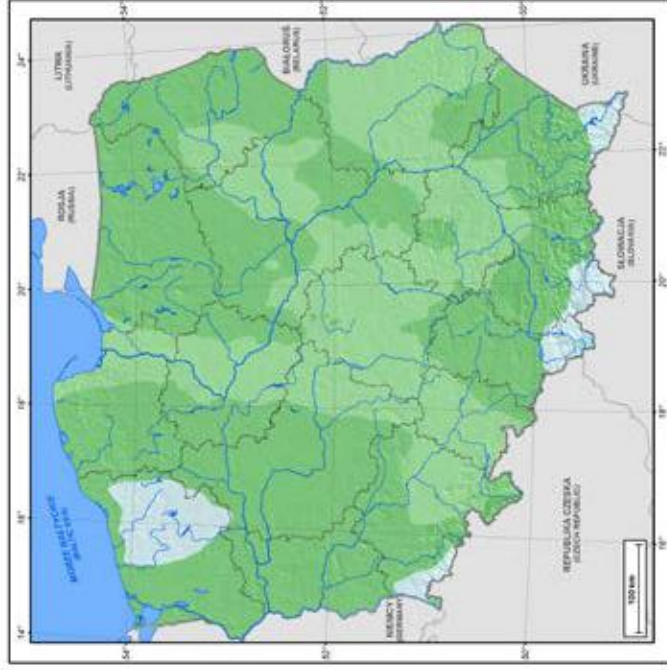
III dekada / 3rd ten-day period

43

Maksymalna dobowo suma opadów atmosferycznych w kolejnych dekadach lutego o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Maximum daily precipitation totals in each ten-day period of February with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%

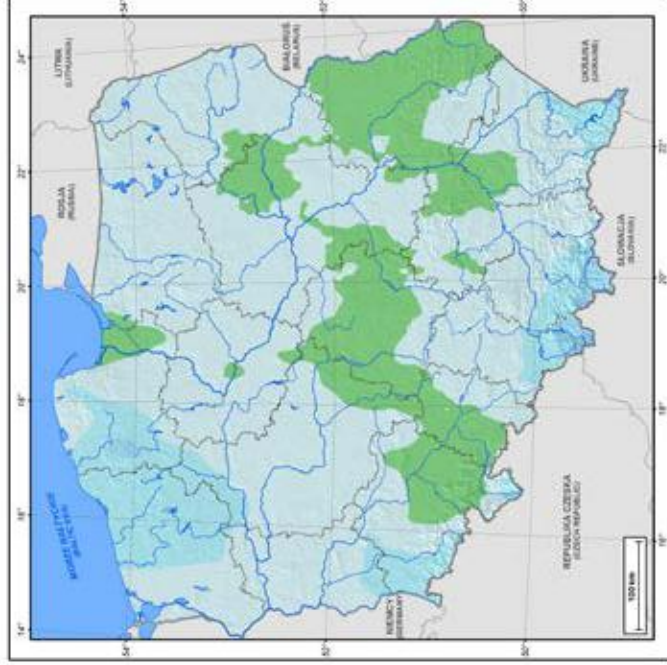


10%

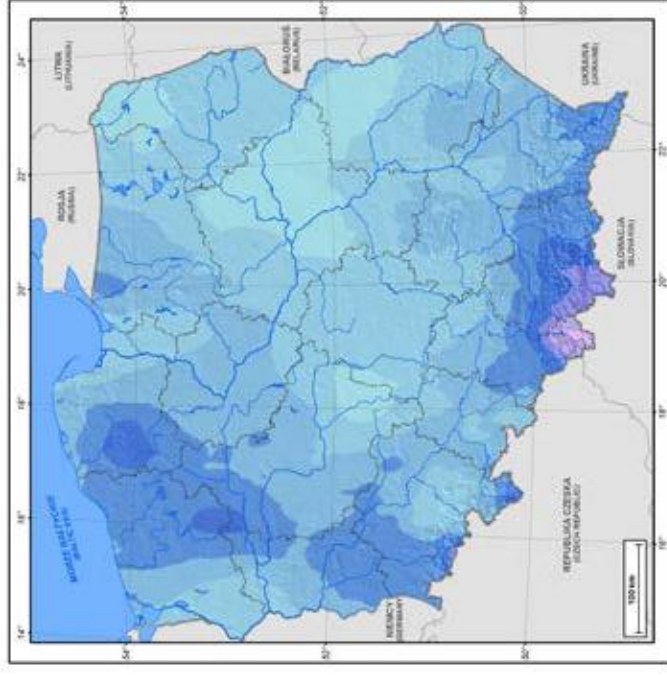


I dekada / 1st ten-day period

5%



1%

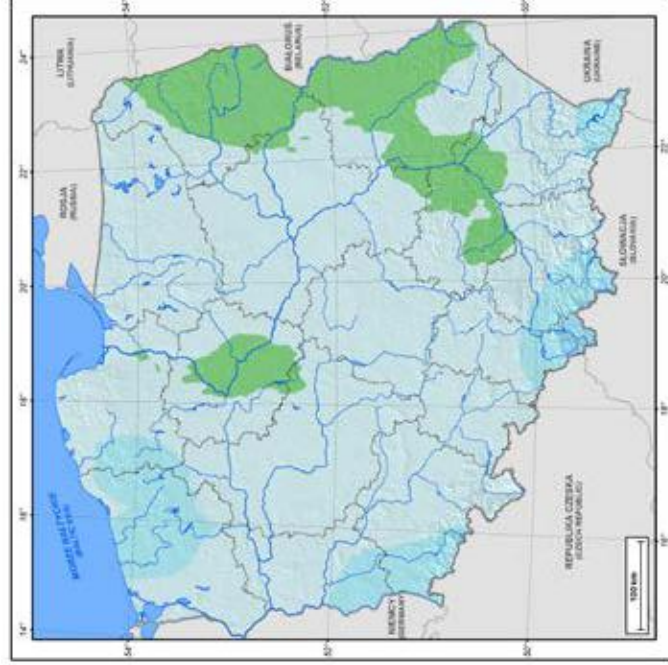


II dekada / 2nd ten-day period

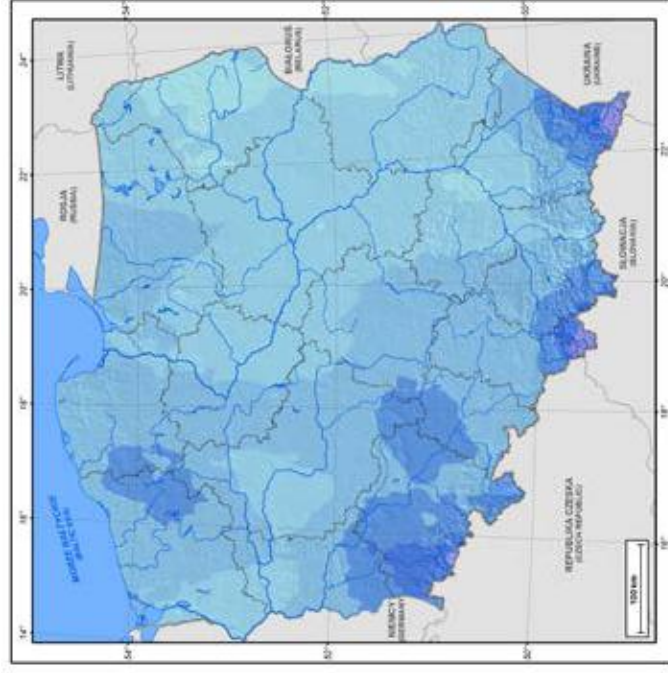
10%

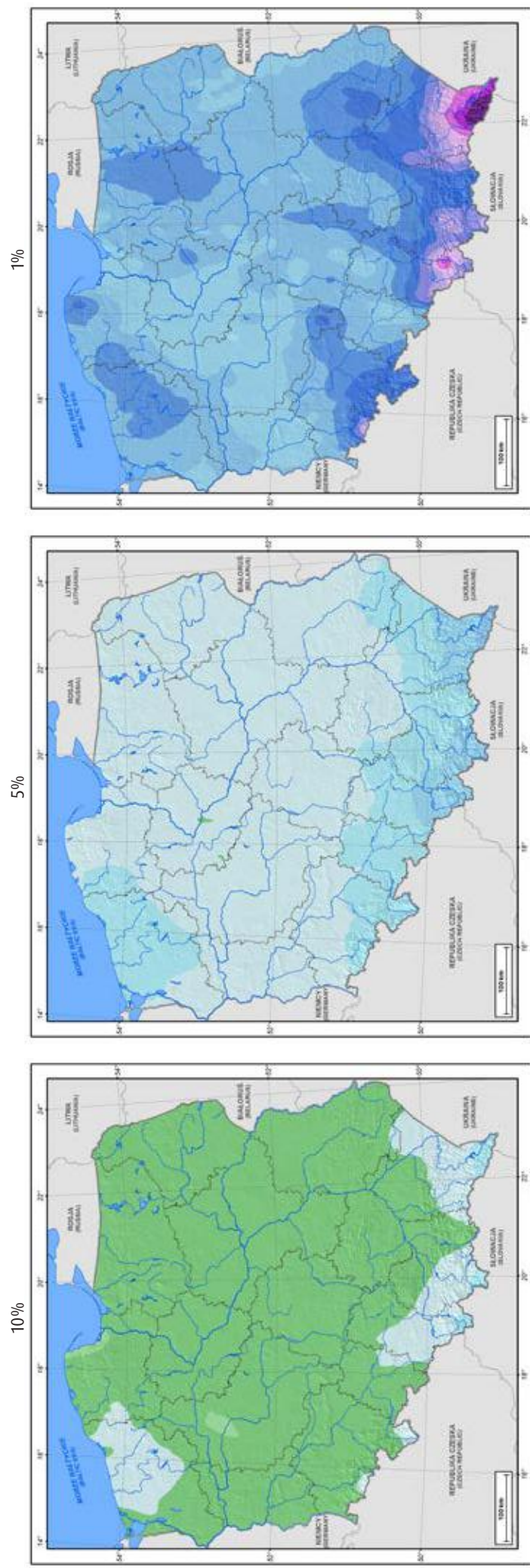


5%



1%



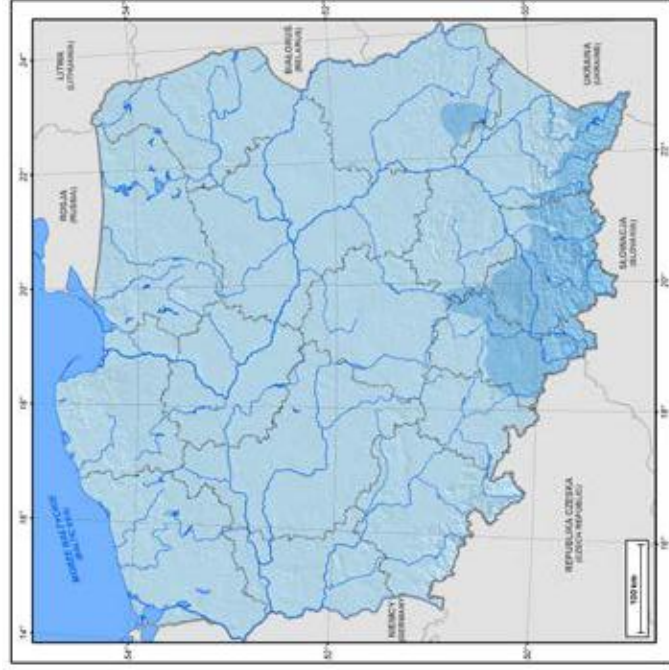


III dekada / 3rd ten-day period

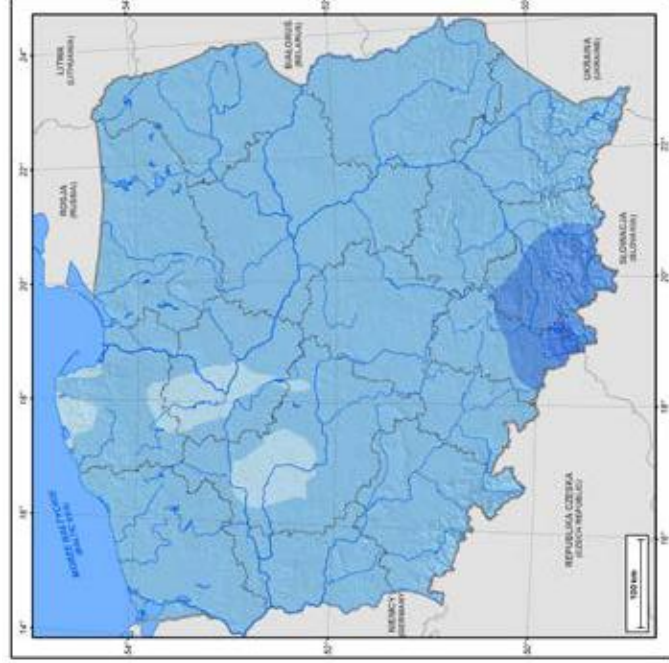
Maksymalna dobowo suma opadów atmosferycznych w kolejnych dekadach marca o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Maximum daily precipitation totals in each ten-day period of March with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



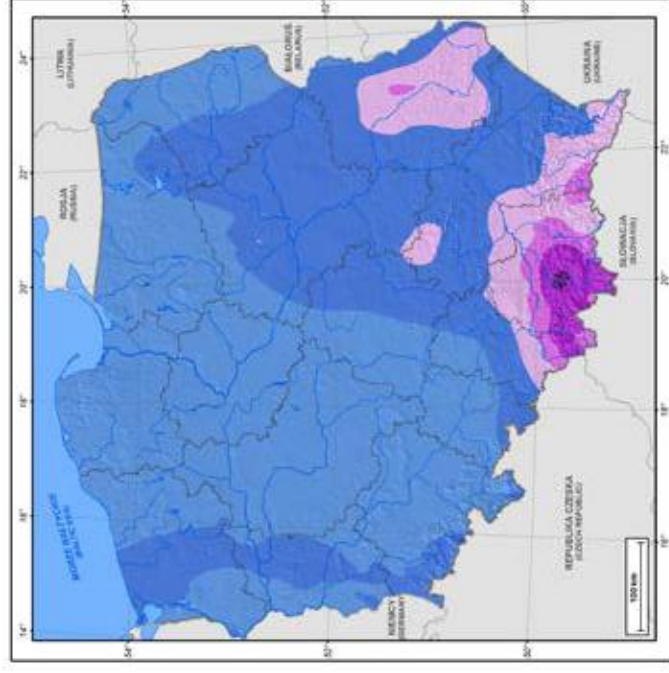
10%



5%

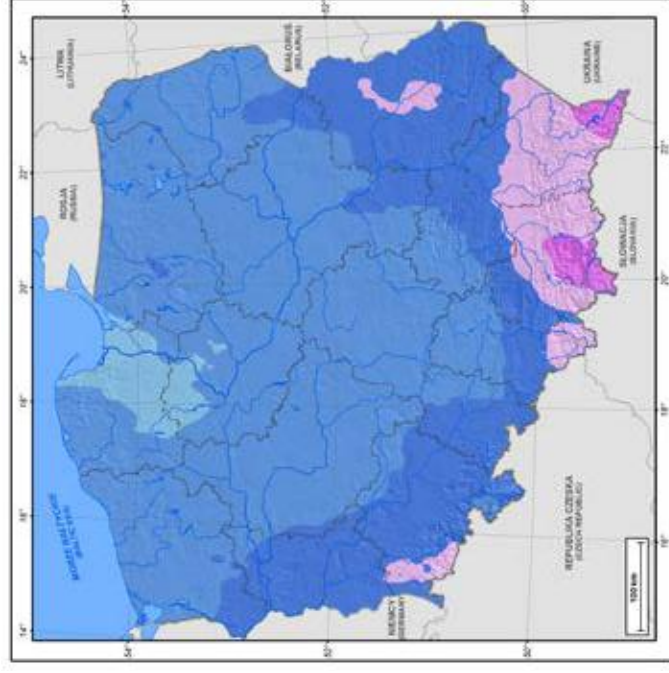
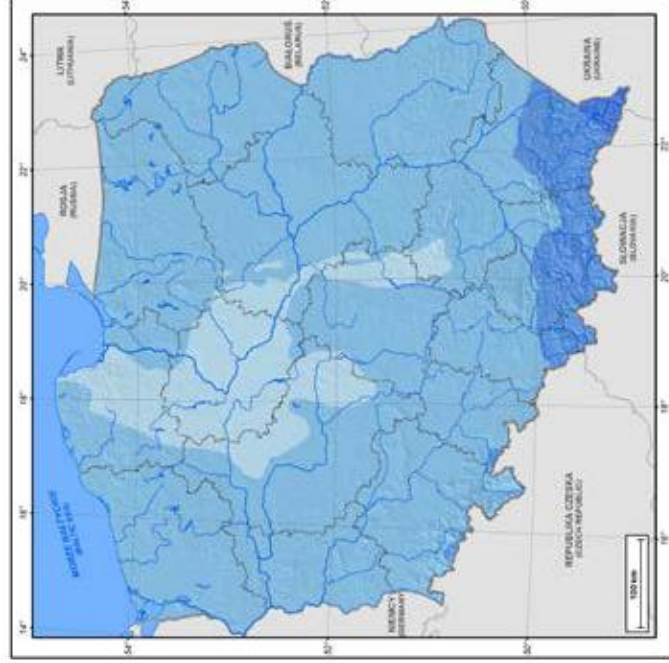
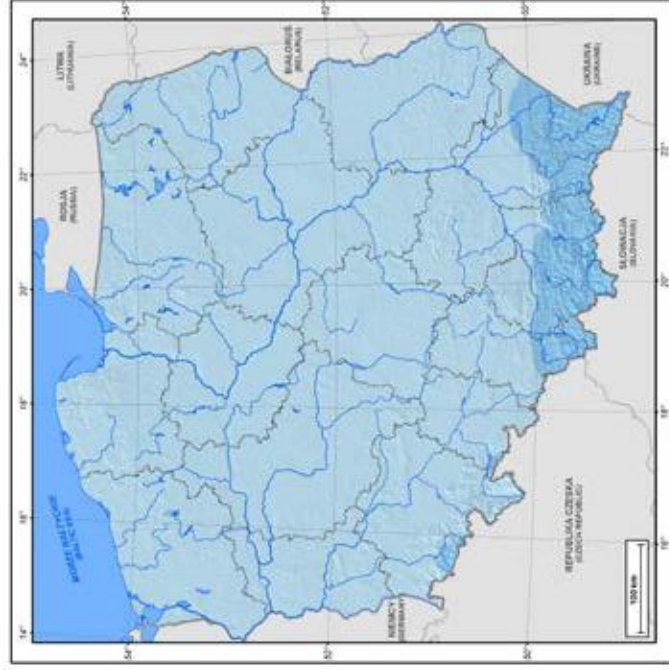


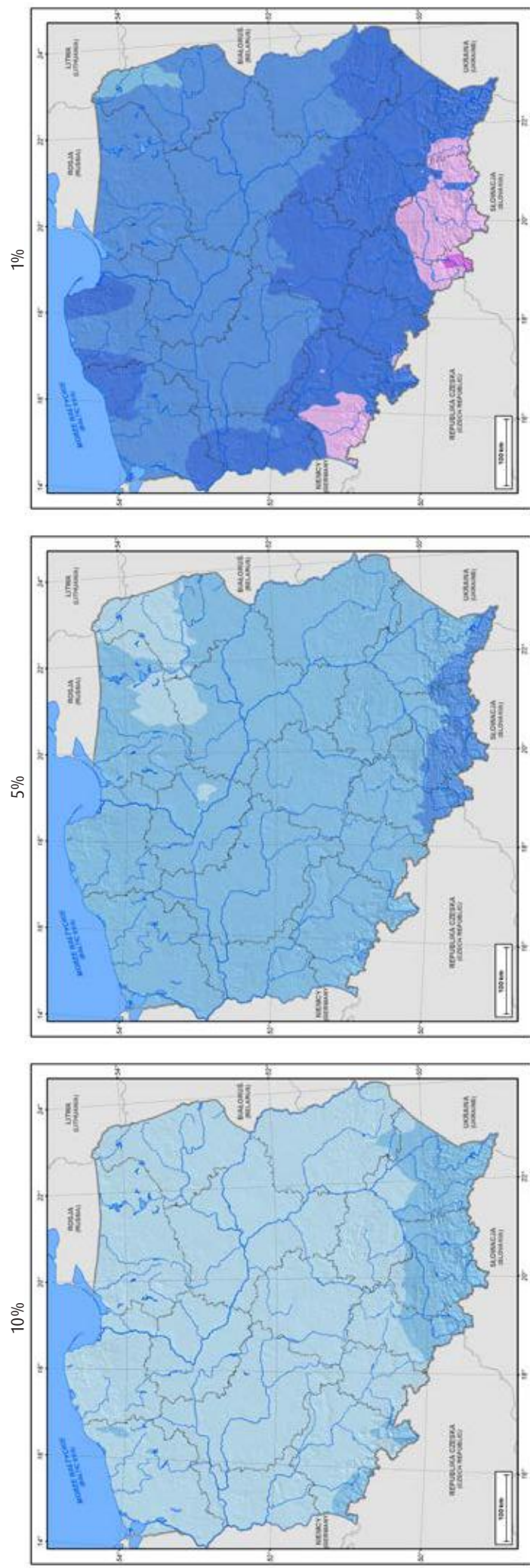
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





III dekada / 3rd ten-day period

45

Maksymalna dobowa suma opadów atmosferycznych w kolejnych dekadach kwietnia o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Maximum daily precipitation totals in each ten-day period of April with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%

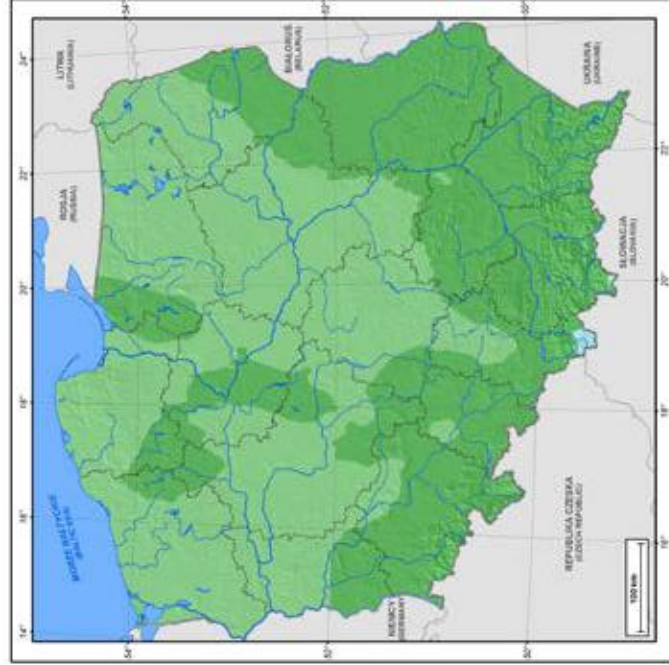


I dekada / 1st ten-day period

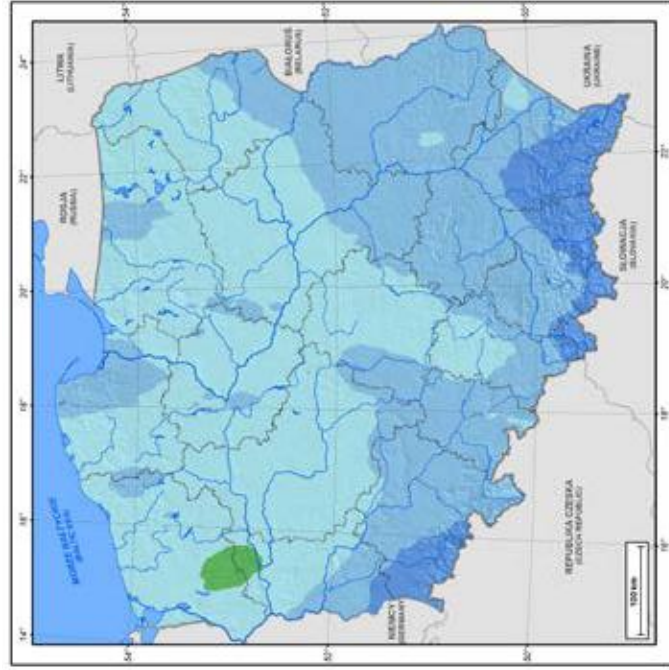
10%



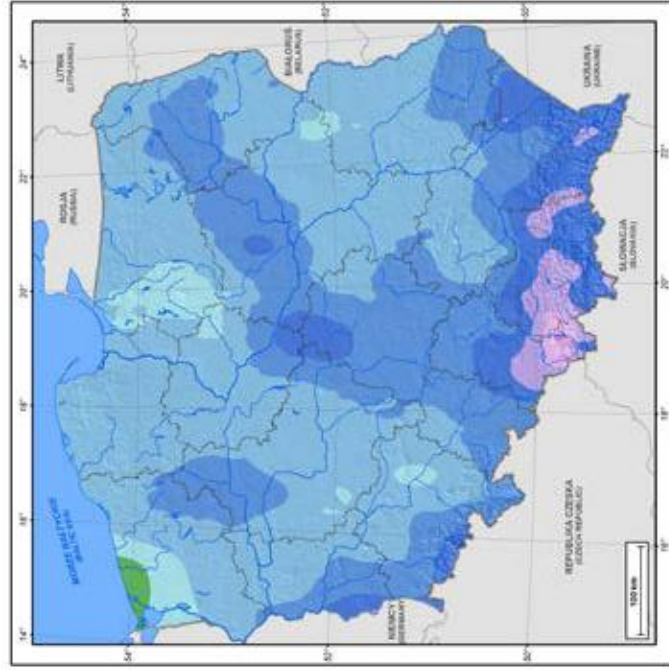
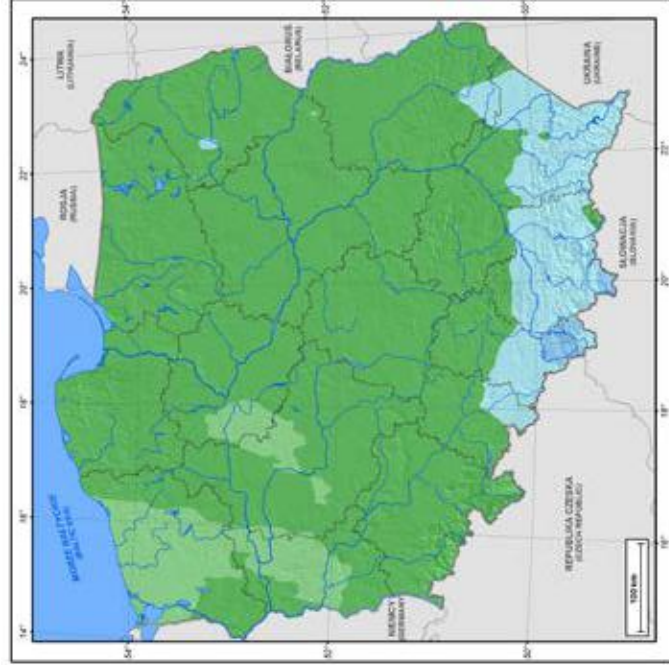
5%



1%



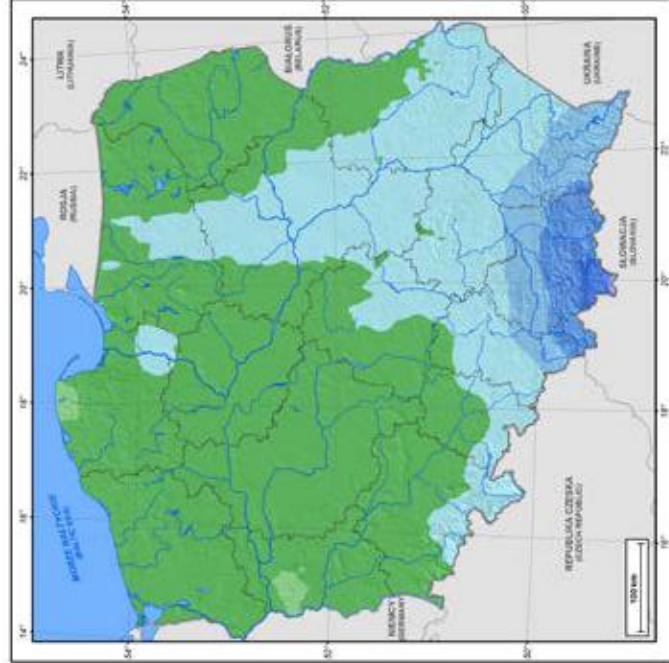
II dekada / 2nd ten-day period



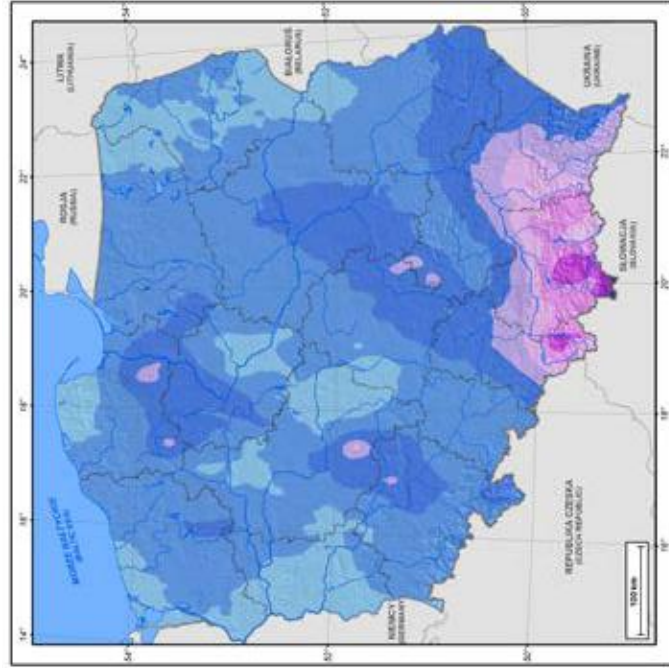
10%



5%

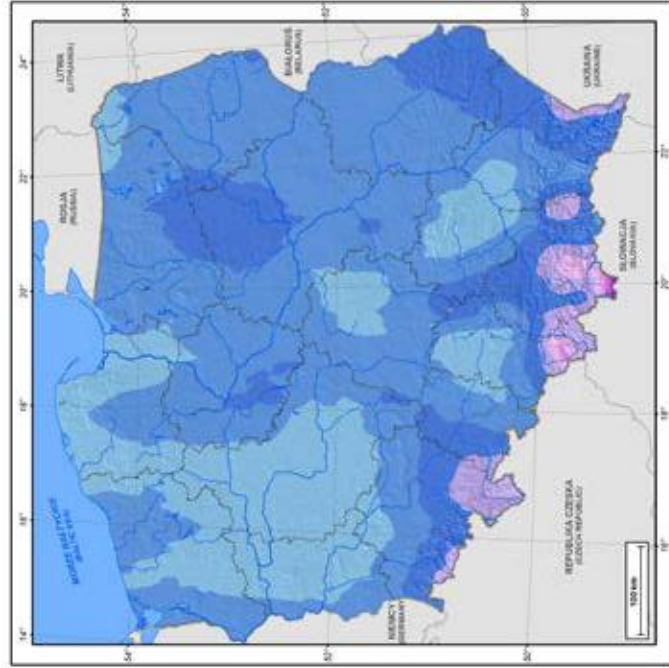
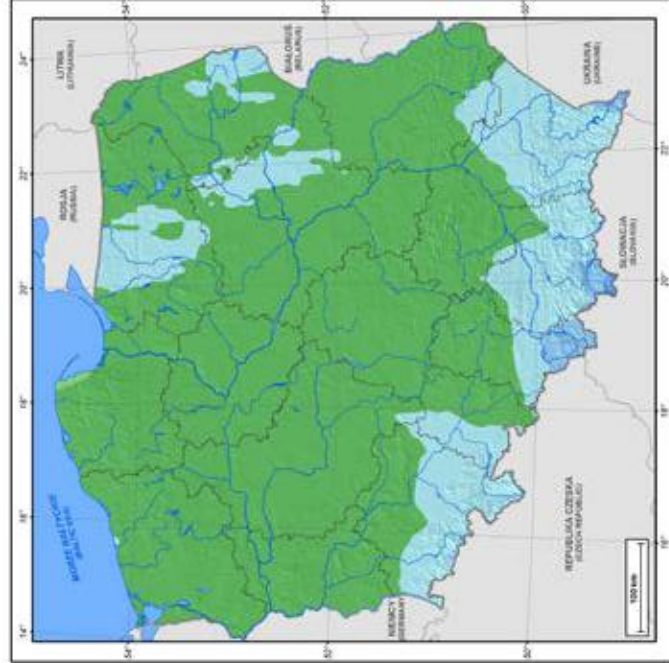


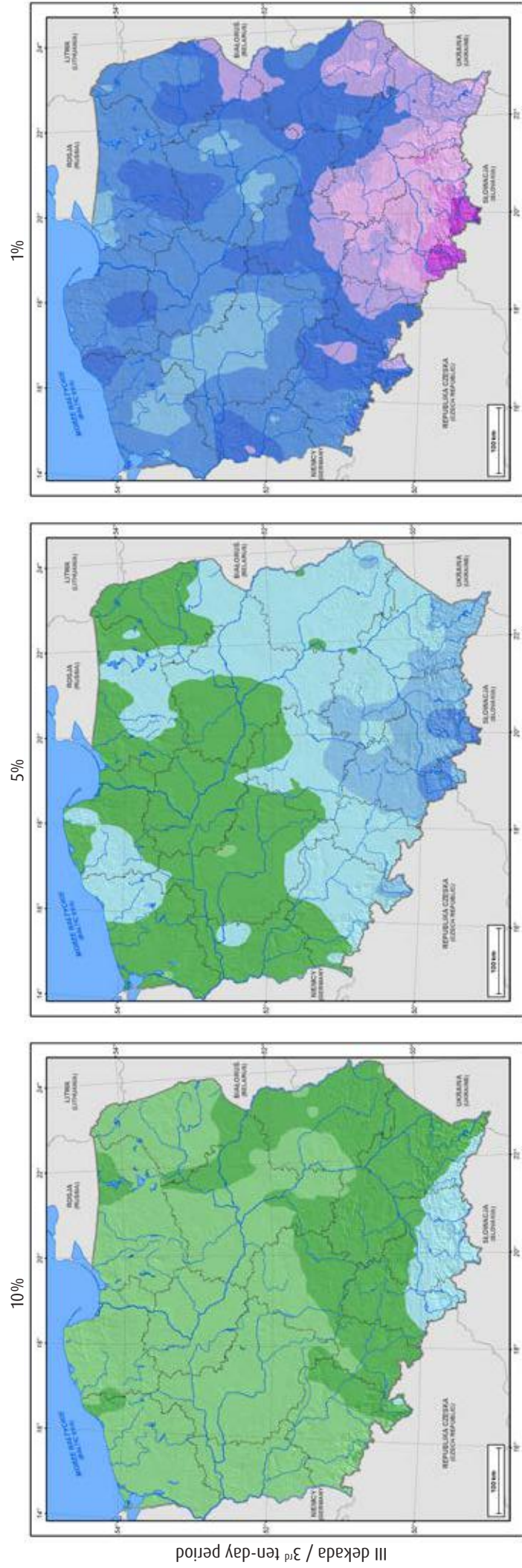
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





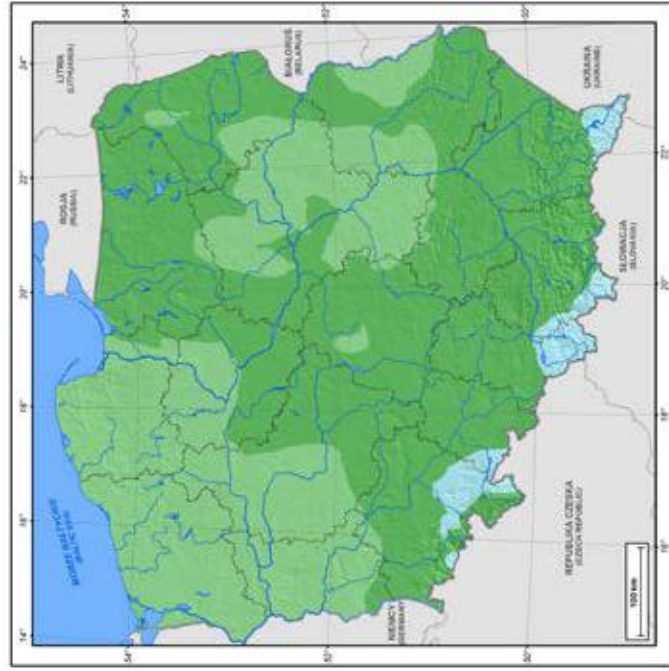
III dekada / 3rd ten-day period

47

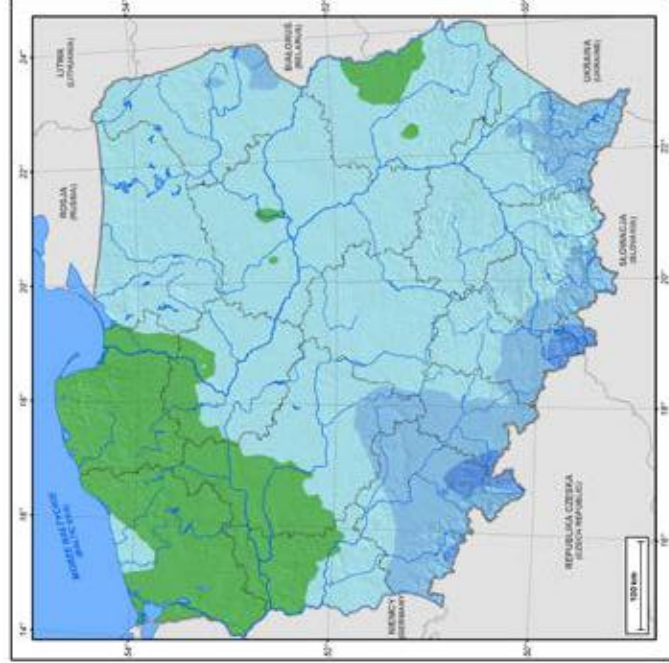
Maksymalna dobowo suma opadów atmosferycznych w kolejnych dekadach czerwca o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Maximum daily precipitation totals in each ten-day period of June with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



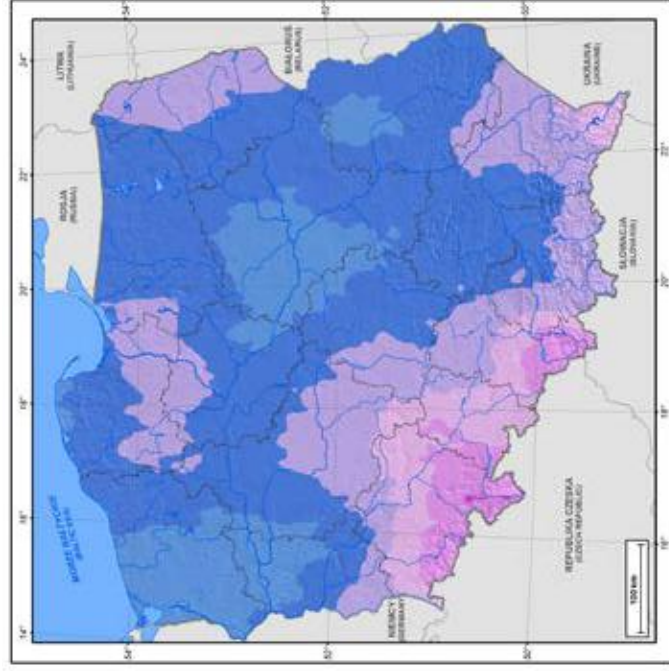
10%



5%

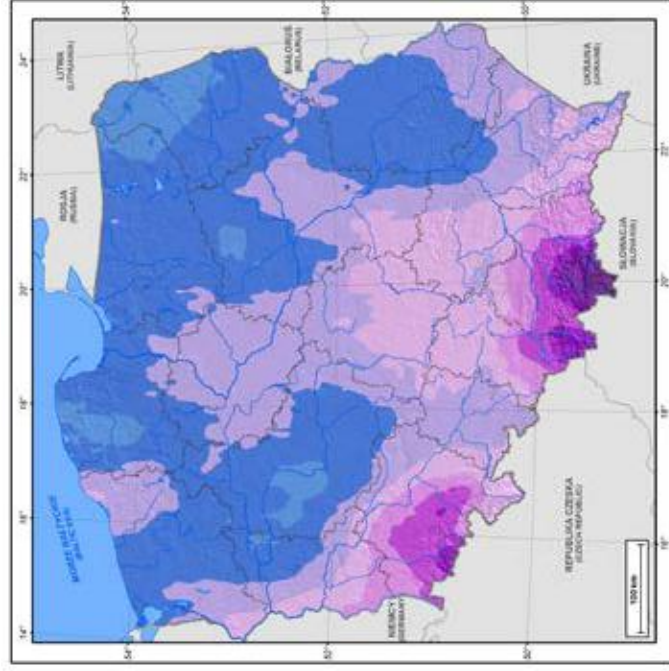
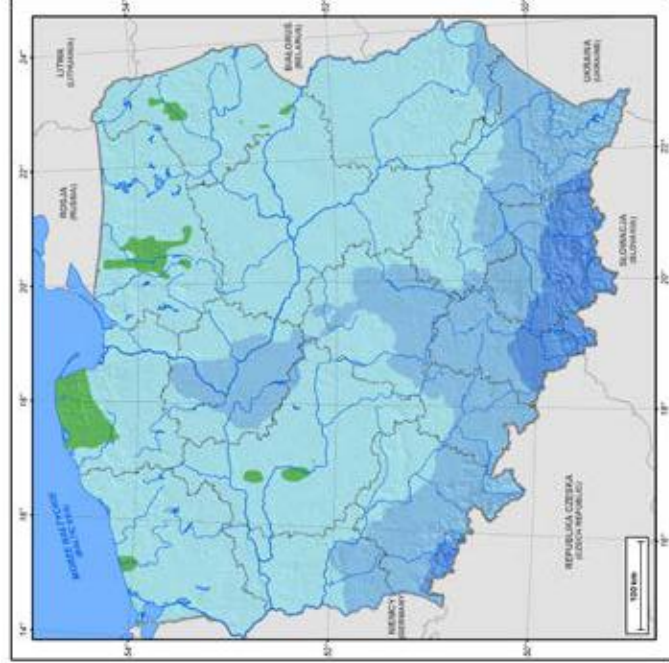
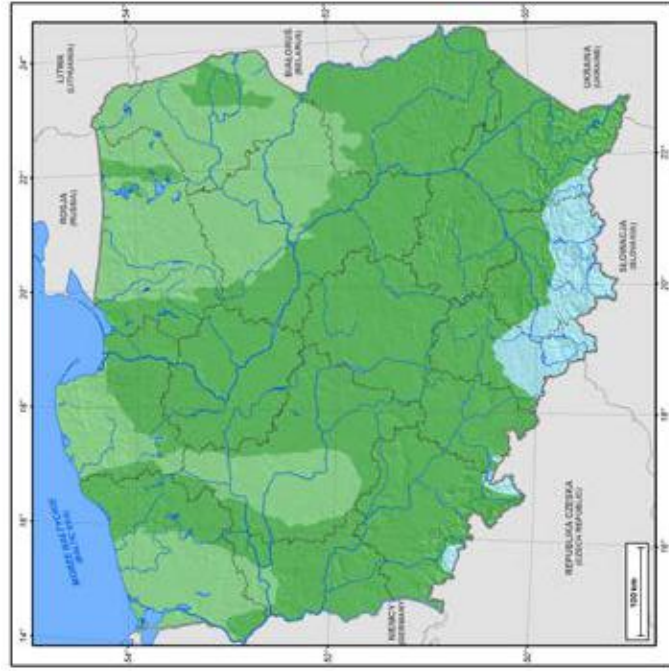


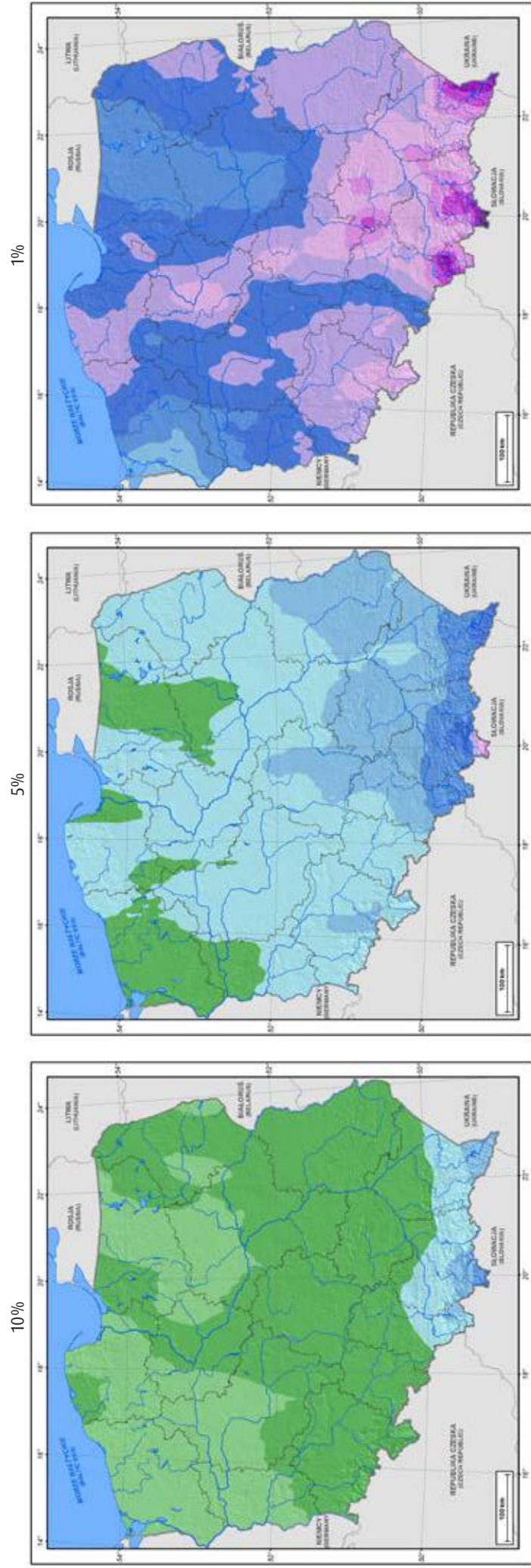
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





III dekada / 3rd ten-day period

Maksymalna dobowo suma opadów atmosferycznych w kolejnych dekadach lipca o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Maximum daily precipitation totals in each ten-day period of July with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%

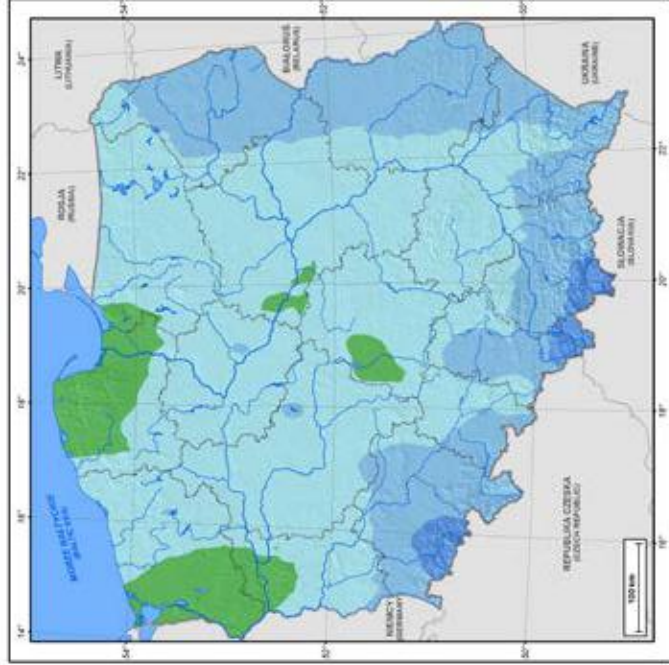


I dekada / 1st ten-day period

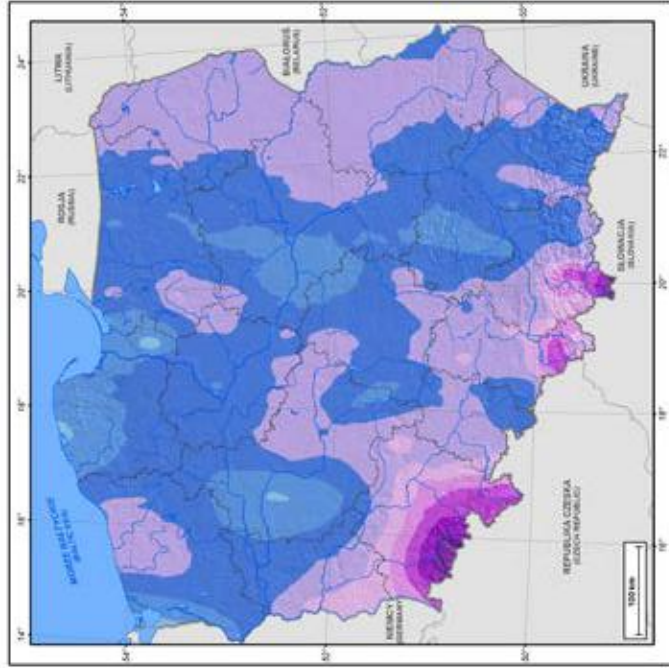
10%



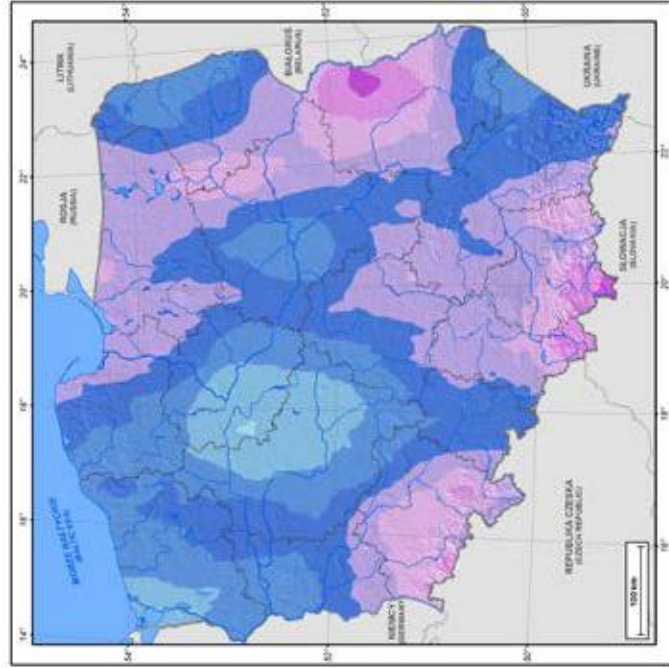
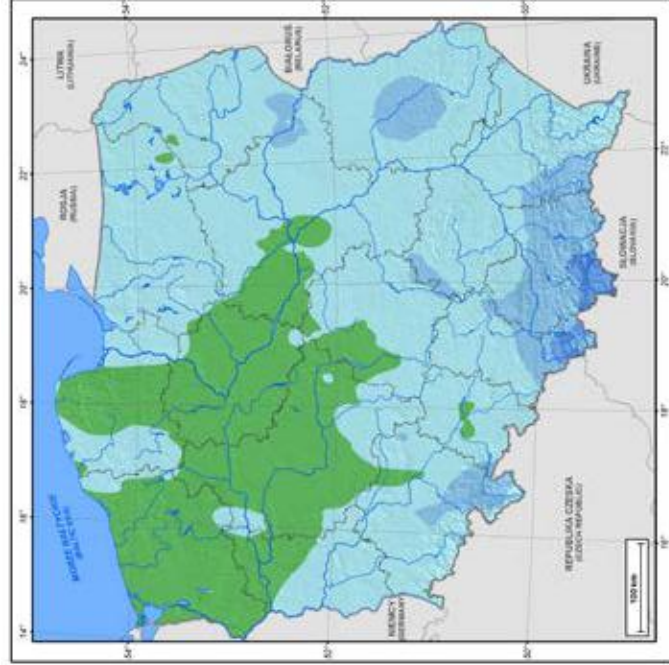
5%

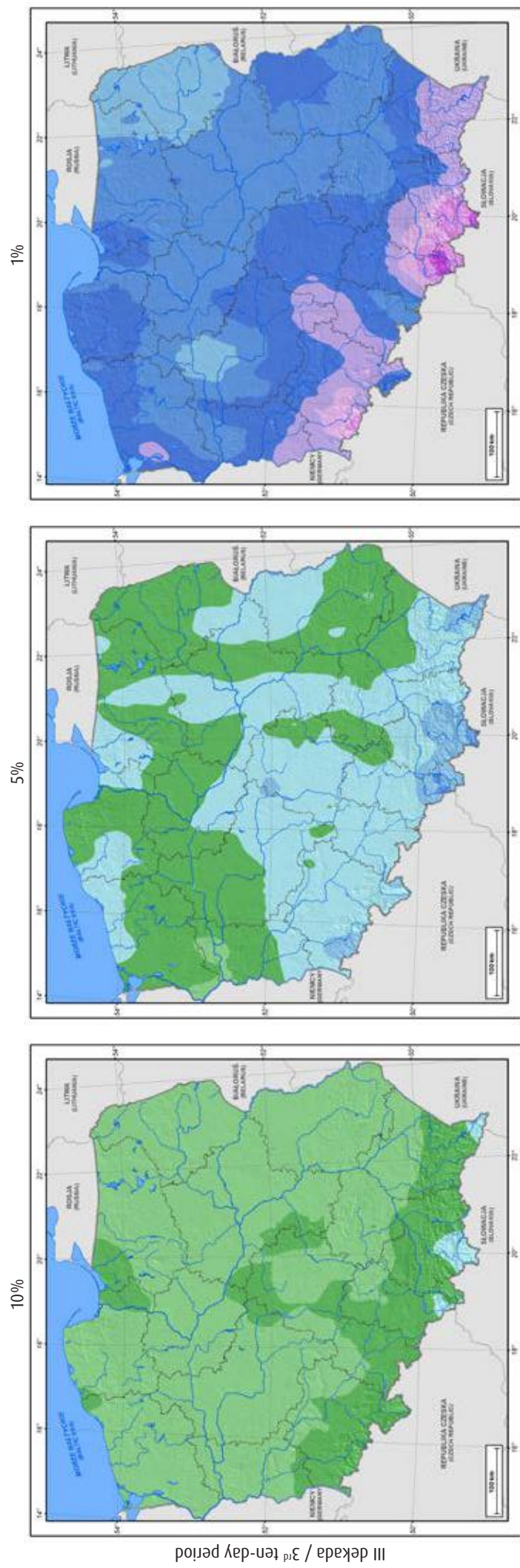


1%



II dekada / 2nd ten-day period





III dekada / 3rd ten-day period

49

Maksymalna dobowa suma opadów atmosferycznych w kolejnych dekadach sierpnia o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Maximum daily precipitation totals in each ten-day period of August with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%

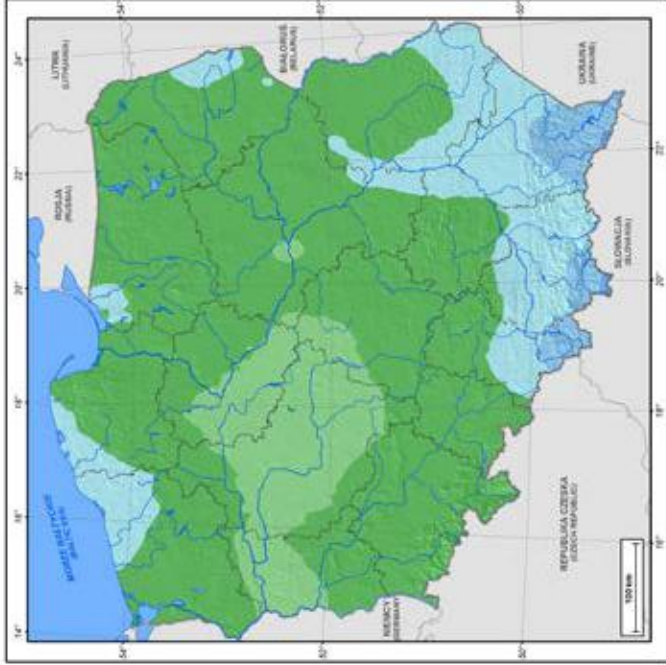


10%

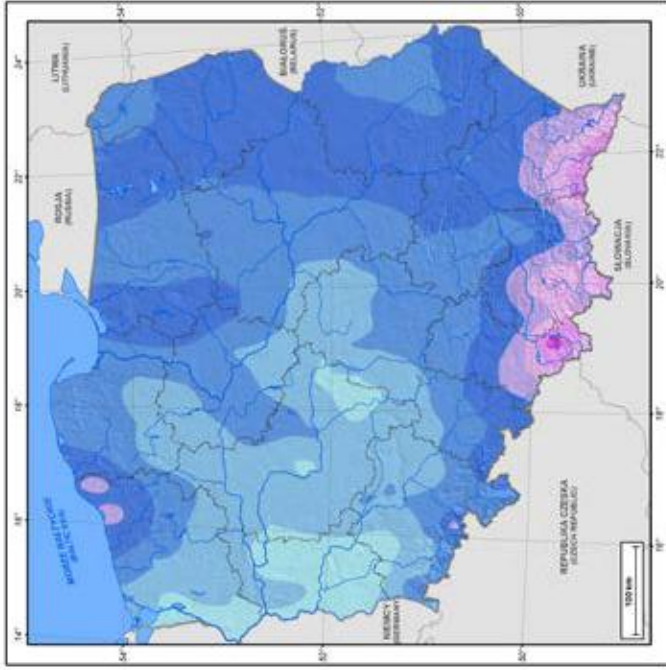


I dekada / 1st ten-day period

5%



1%

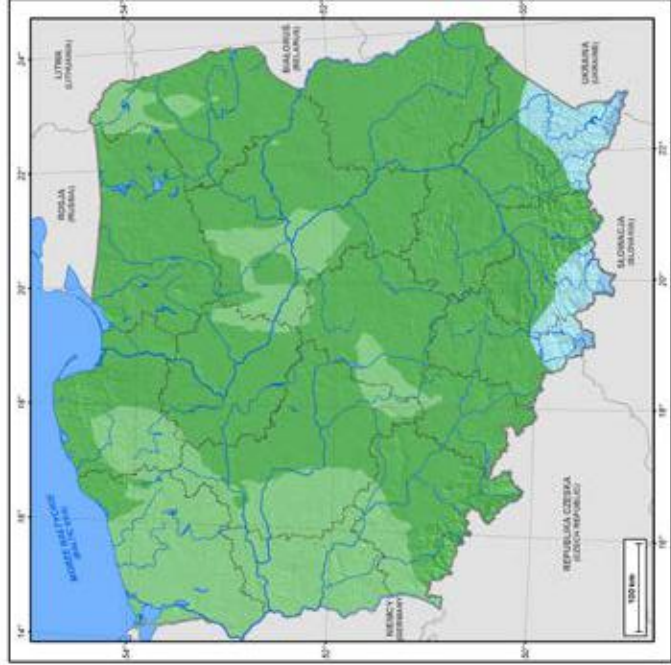


II dekada / 2nd ten-day period

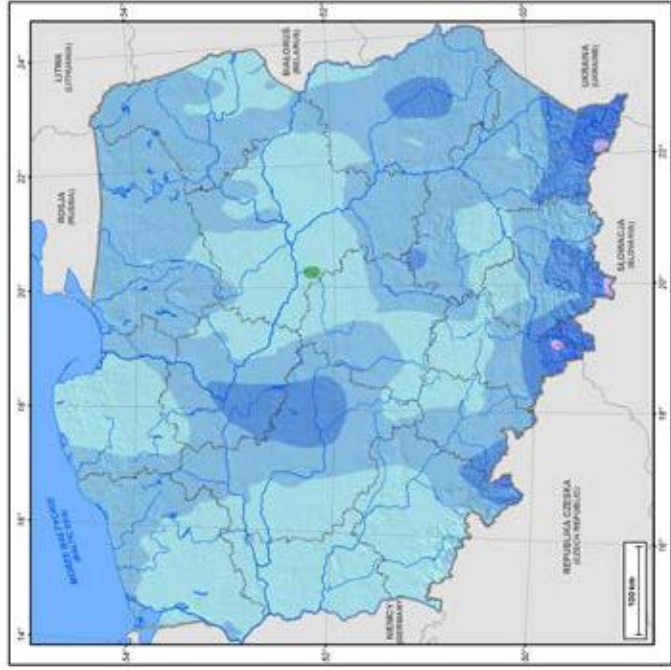
10%



5%



1%





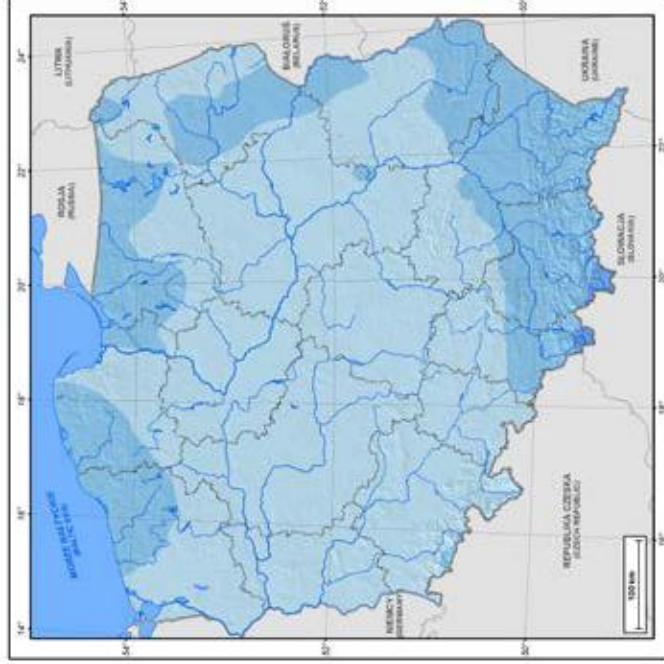
III dekada / 3rd ten-day period

50

Maksymalna dobowo suma opadów atmosferycznych w kolejnych dekadach września o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Maximum daily precipitation totals in each ten-day period of September with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%

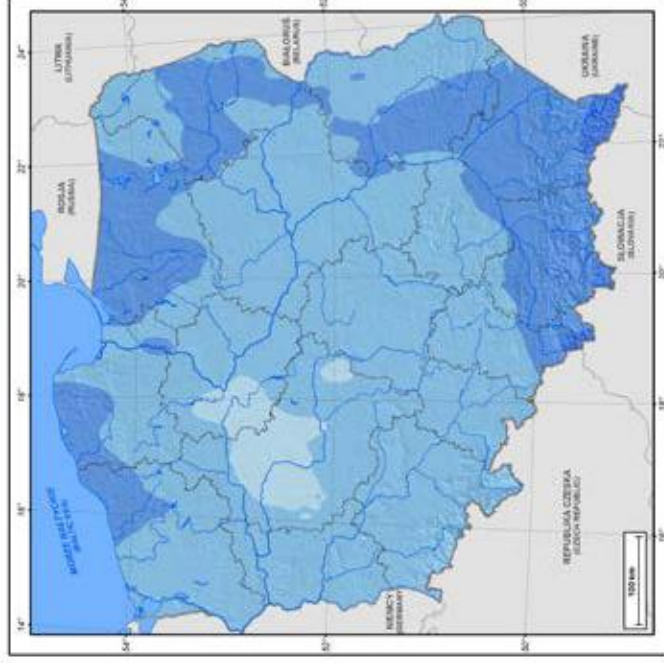


10%

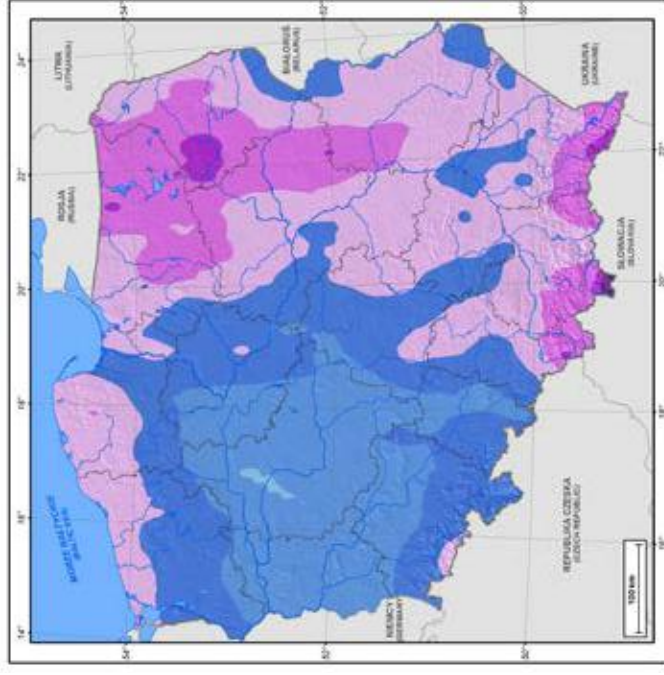


I dekada / 1st ten-day period

5%

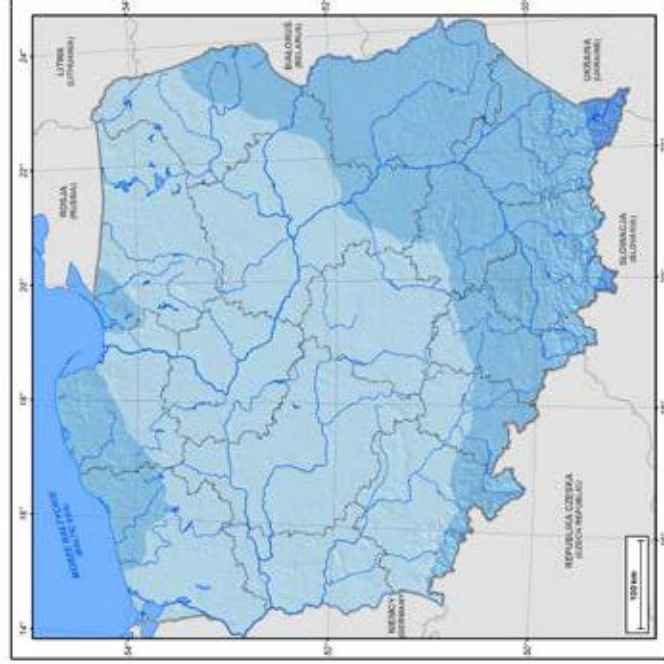


1%

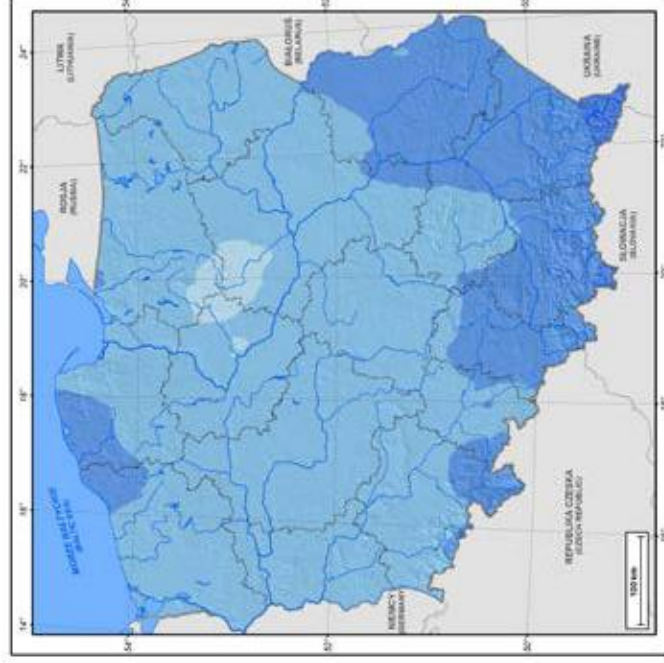


II dekada / 2nd ten-day period

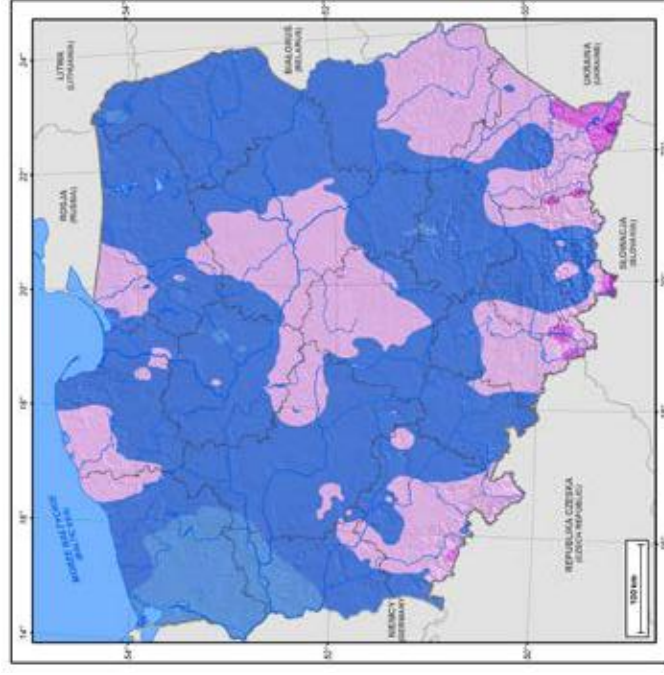
10%

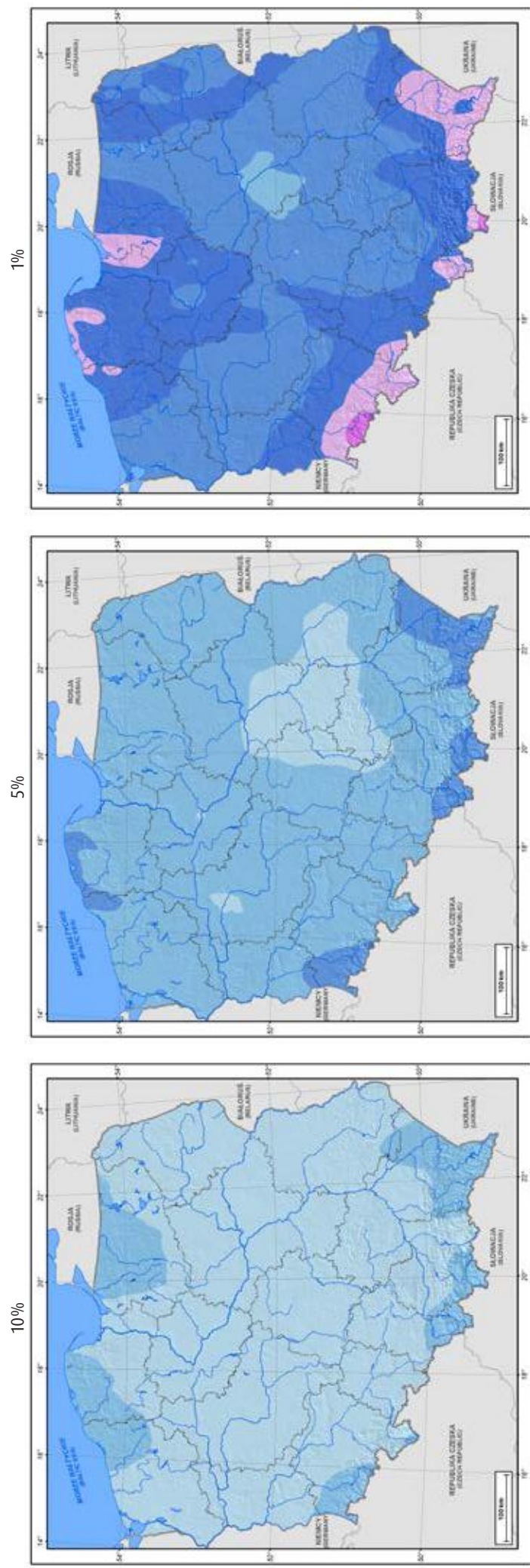


5%



1%





III dekada / 3rd ten-day period

51

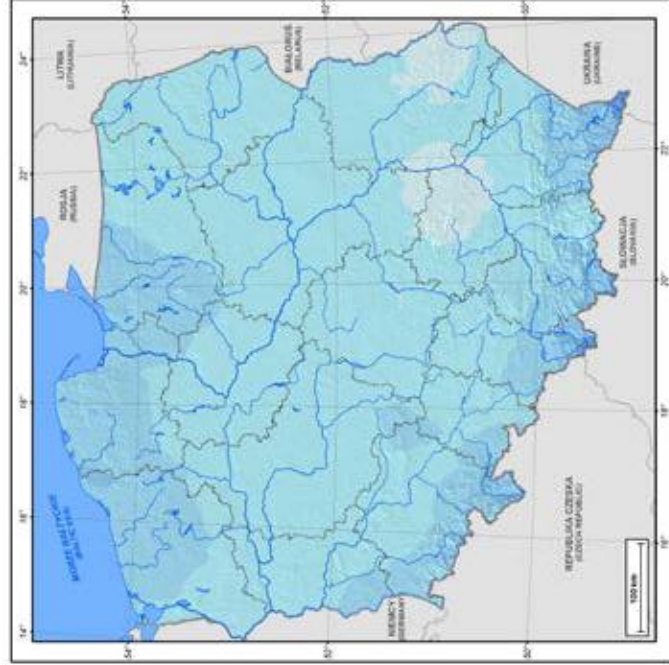
Maksymalna dobowa suma opadów atmosferycznych w kolejnych dekadach października o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Maximum daily precipitation totals in each ten-day period of October with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



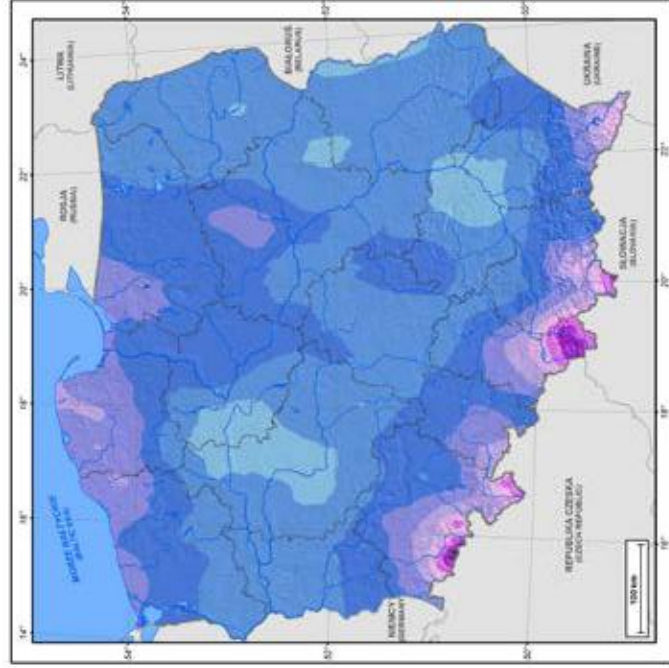
10%



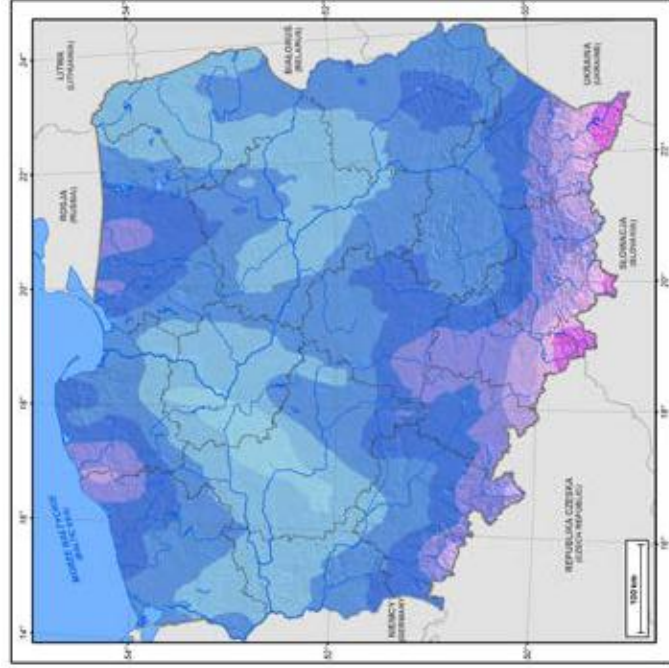
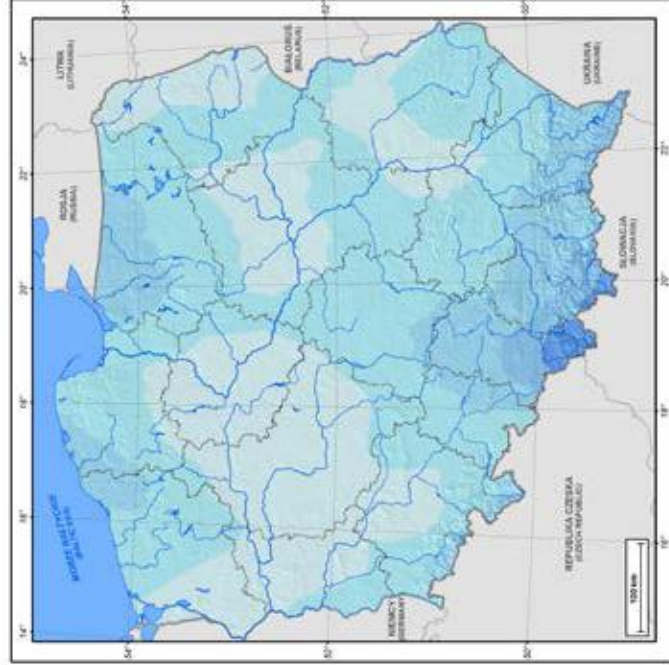
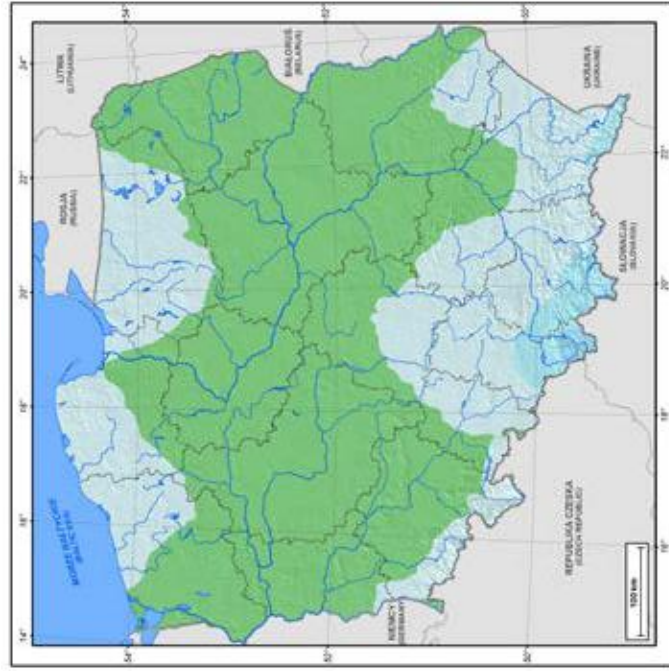
5%

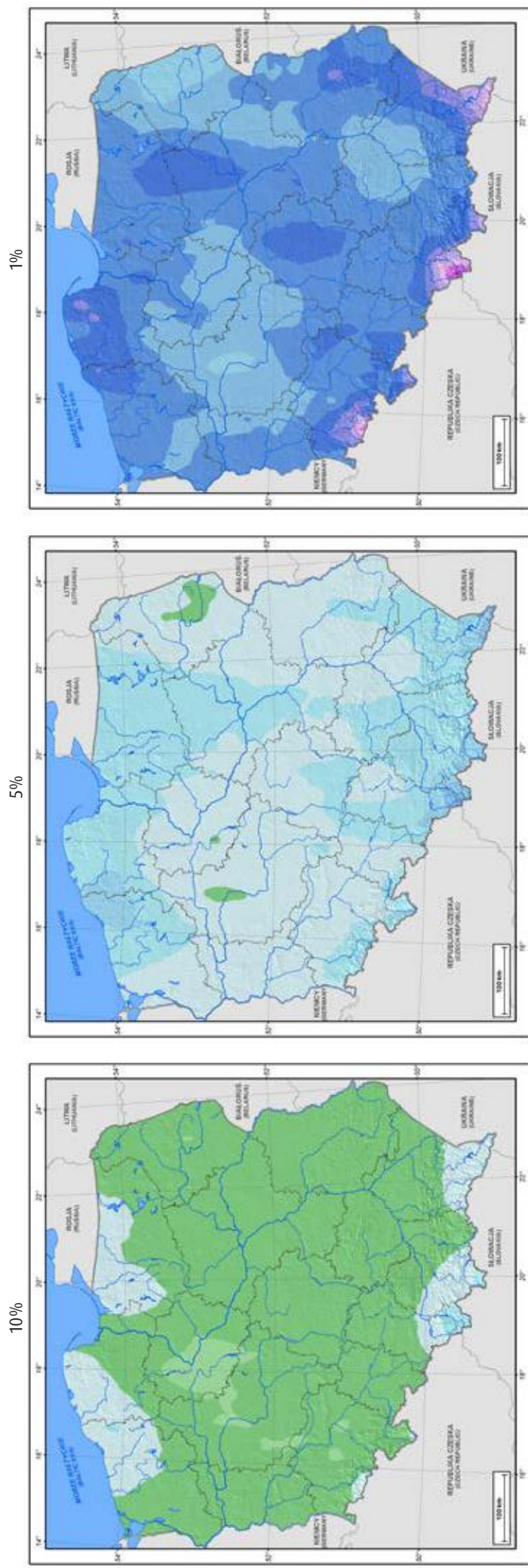


1%



II dekada / 2nd ten-day period





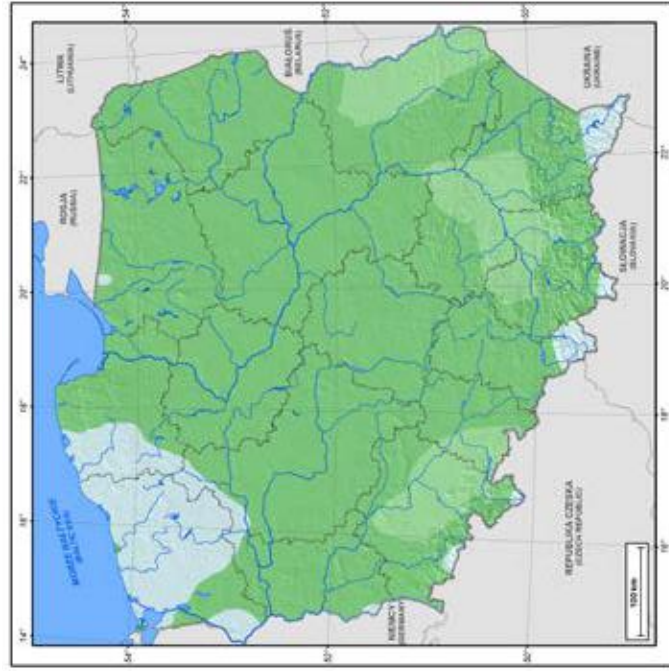
III dekada / 3rd ten-day period

52

Maksymalna dobowo suma opadów atmosferycznych w kolejnych dekadach listopada o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Maximum daily precipitation totals in each ten-day period of November with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%

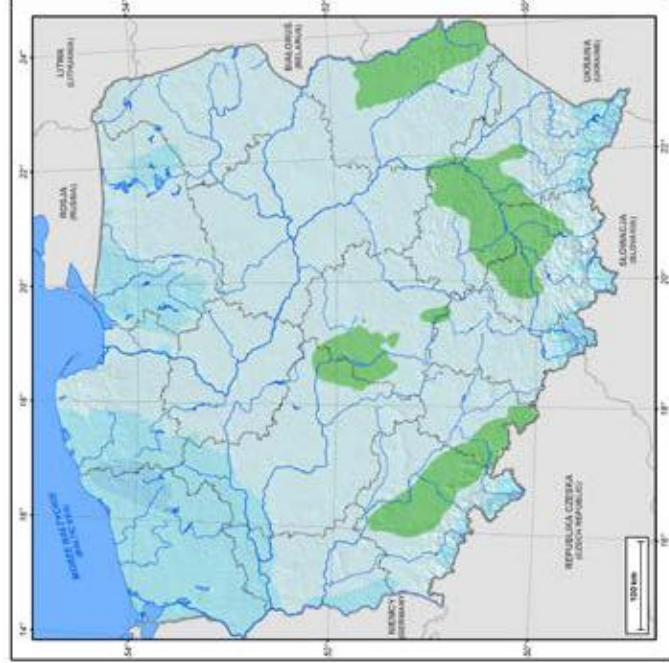


10%

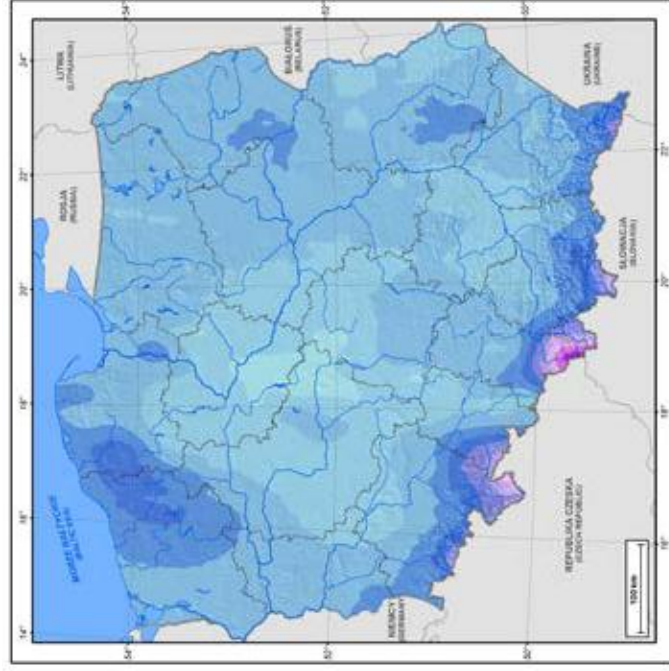


I dekada / 1st ten-day period

5%

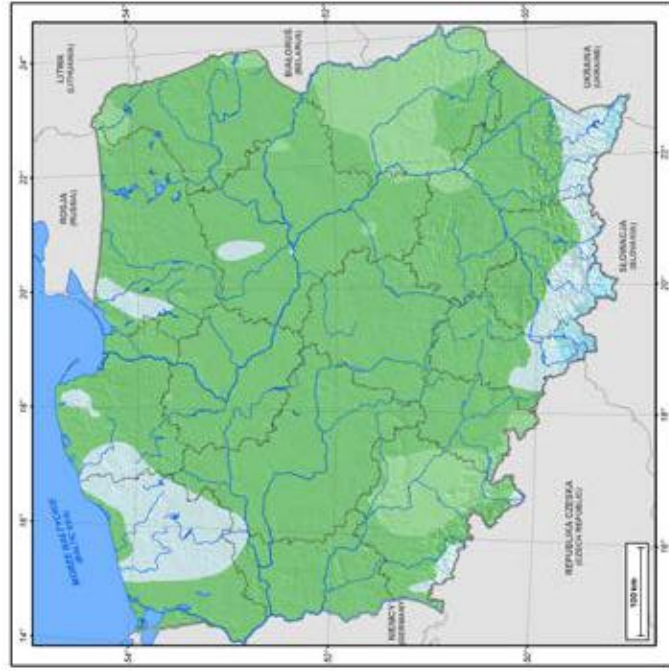


1%

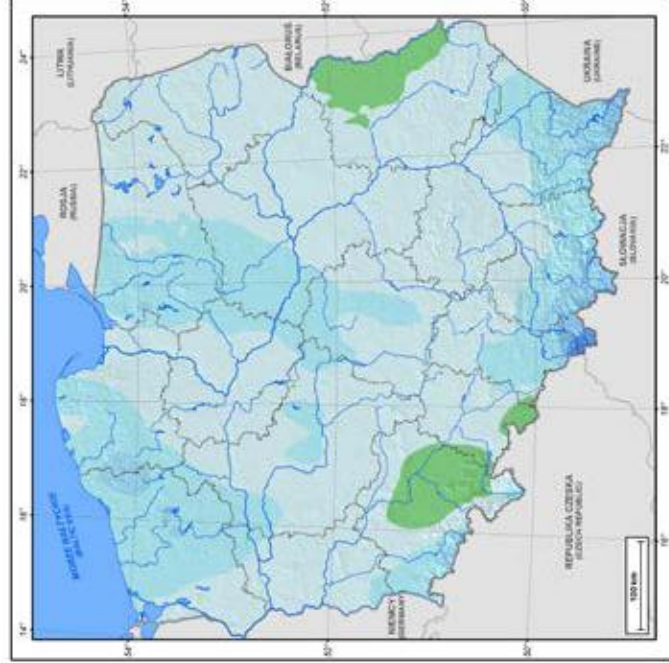


II dekada / 2nd ten-day period

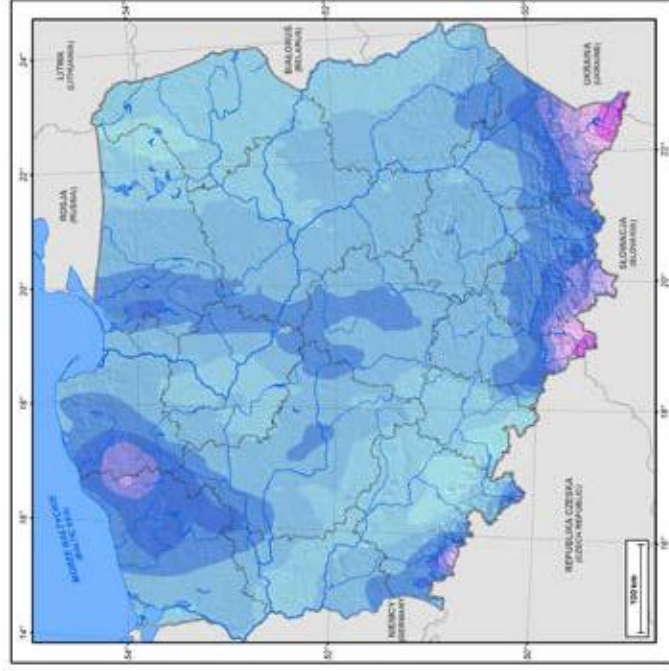
10%

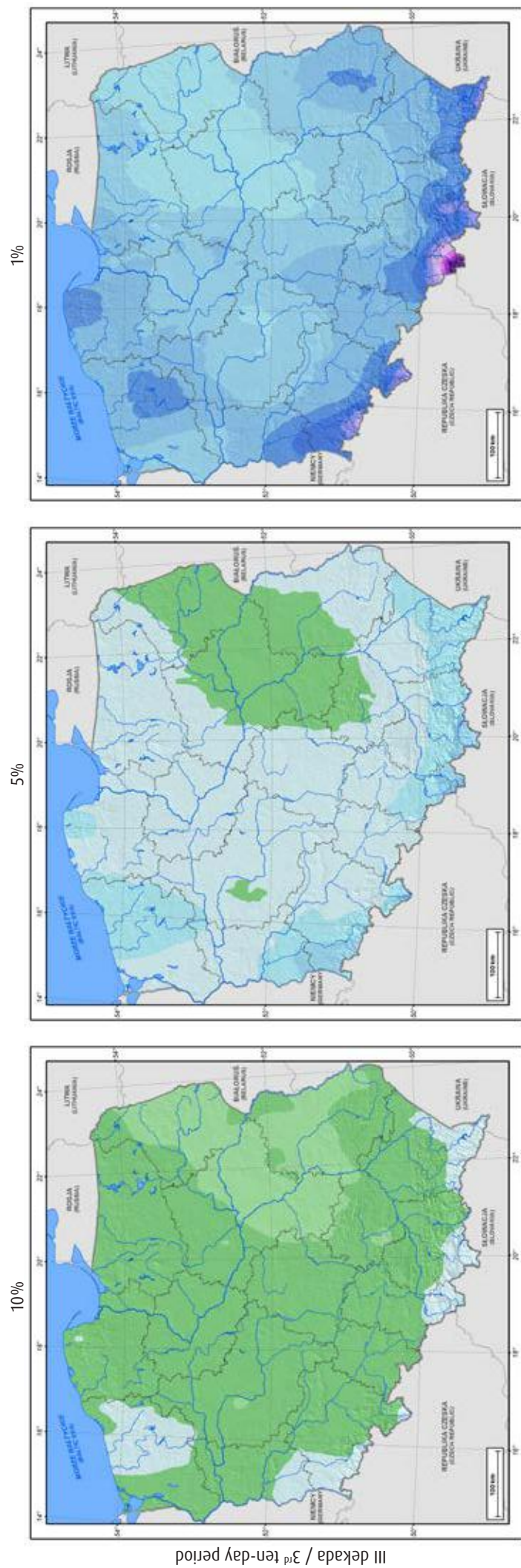


5%



1%





III dekada / 3rd ten-day period

53

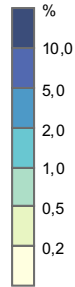
Maksymalna dobowo suma opadów atmosferycznych w kolejnych dekadach grudnia o prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, 5%, 1%
 Maximum daily precipitation totals in each ten-day period of December with an occurrence probability of 10%, 5%, 1%



54

Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów o sumie dobowej powyżej 30 mm w II dekadzie maja

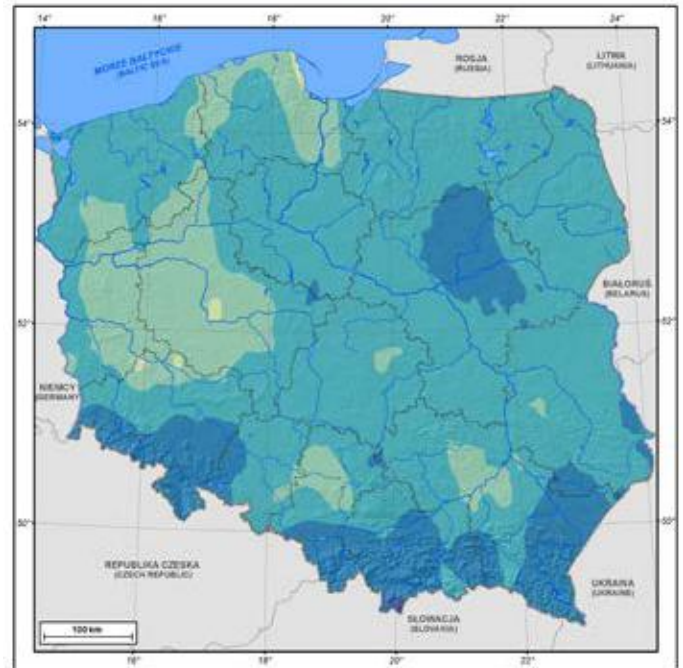
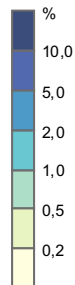
Occurrence probability of daily precipitation totals above 30 mm in the 2nd ten-day period of May



55

Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów o sumie dobowej powyżej 30 mm w II dekadzie czerwca

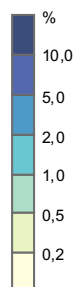
Occurrence probability of daily precipitation totals above 30 mm in the 2nd ten-day period of June

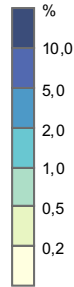
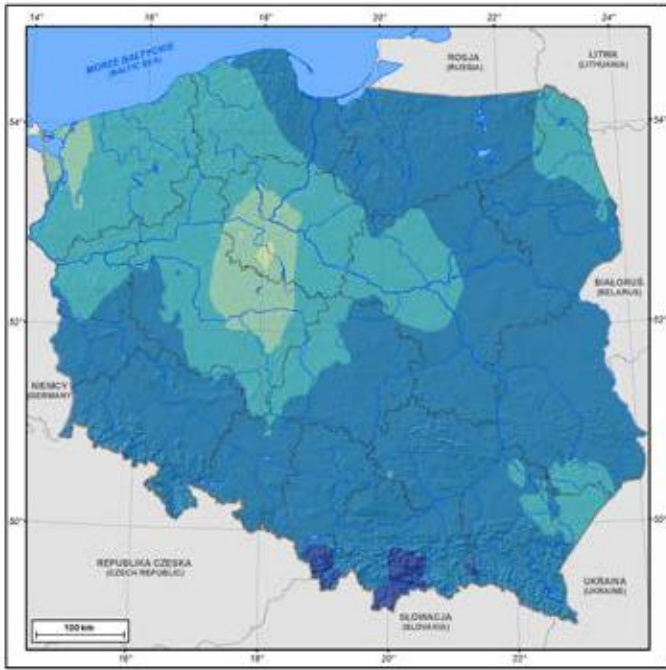


56

Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów o sumie dobowej powyżej 30 mm w II dekadzie lipca

Occurrence probability of daily precipitation totals above 30 mm in the 2nd ten-day period of July

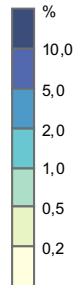
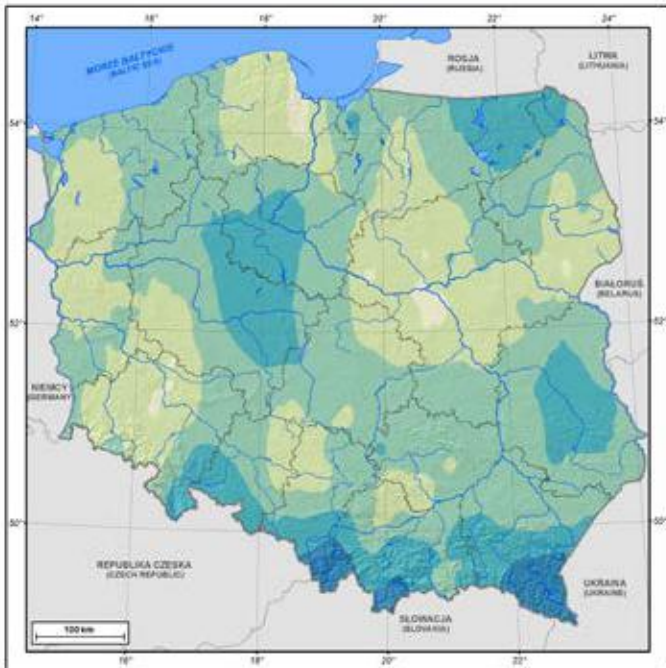




57

Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów o sumie dobowej powyżej 30 mm w II dekadzie sierpnia

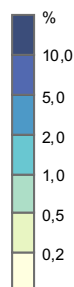
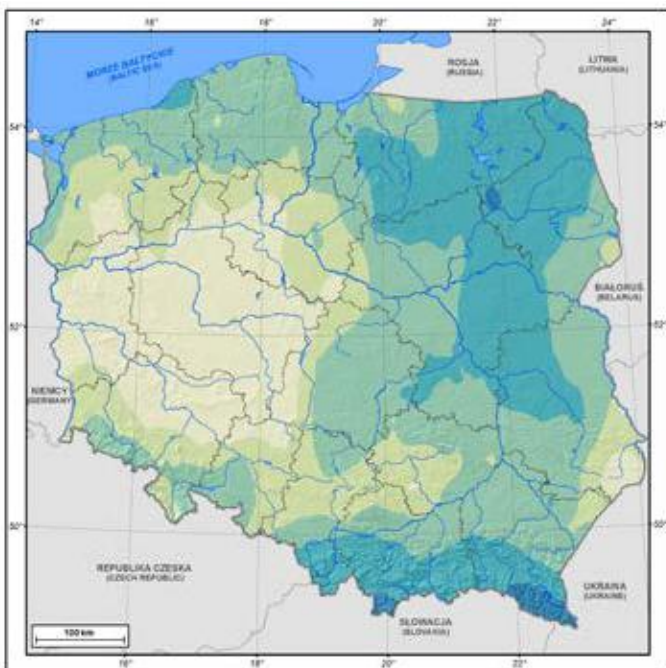
Occurrence probability of daily precipitation totals above 30 mm in the 2nd ten-day period of August



58

Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów o sumie dobowej powyżej 30 mm w II dekadzie września

Occurrence probability of daily precipitation totals above 30 mm in the 2nd ten-day period of September



59

Prawdopodobieństwo wystąpienia opadów o sumie dobowej powyżej 30 mm w II dekadzie października

Occurrence probability of daily precipitation totals above 30 mm in the 2nd ten-day period of October





Pokrywa śnieżna

Snow cover

Intensywne opady atmosferyczne w postaci stałej (opad śniegu) zostały wybrane jako stwarzające zagrożenie nie tyle ze względu na samo ich występowanie, ile na możliwość powstania w ich wyniku pokrywy śnieżnej. Najważniejszymi obszarami infrastruktury zagrożonymi tym zjawiskiem wydają się być transport (drogowy, kolejowy, lotniczy), budownictwo, energetyka, rolnictwo, leśnictwo i turystyka.

Rozwój i kształtowanie się pokrywy śnieżnej zależy od zespołu elementów środowiska geograficznego, z których najważniejsze oprócz opadów w postaci stałej ma wysokość nad poziomem morza, rzeźba i ekspozycja terenu, roślinność i stopień jej zwarcia, temperatura powietrza oraz intensywność oddziaływania wiatru na pokrywę śnieżną (McClung, Schaerer 2006). Opady śniegu i pokrywa śnieżna mogą występować na obszarze Polski w okresie od października do maja (Chrzanowski 1988; Falarz 2008), a w obszarach górskich nawet przez cały rok (ryc. 60-66).

Odkładanie się kolejnych opadów śniegu na wcześniej uformowanych warstwach doprowadza do wykształcenia się kolejnych poziomów pokrywy śnieżnej o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych. Ciężar objętościowy śniegu ulega zmianom w czasie i przestrzeni. Zwykle zwiększa się wraz z długością zalegania pokrywy śnieżnej i zależy ściśle od położenia regionu i typu jego klimatu oraz jego wyniesienia nad poziomem morza (McClung, Schaerer 2006).

Mapy poświęcone zagrożeniom związanym z zalegającą pokrywą śnieżną, obrazują rozkład przestrzenny maksymalnej grubości (ryc. 67-73) i maksymalnego przyrostu pokrywy śnież-

Intensive precipitation in solid form (snowfall) was categorized as hazardous not merely because of its occurrences, but because it causes snow cover. The elements of infrastructure most vulnerable to damages caused by this phenomenon are transportation (road, rail, and air transport), building construction, agriculture, forestry, and tourism.

The growth and formation of snow cover depends on various environmental components, out of which, in addition to solid-form precipitation, the most important is elevation, relief and exposition, vegetation and its density, air temperature, and the intensity of wind affecting snow cover (McClung, Schaerer 2006). Snowfall and snow cover can appear in Poland from October to May (Chrzanowski 1988; Falarz 2008) and, even throughout the entire year in mountainous areas (Fig. 60-66).

Accumulation of successive snowfalls results in the creation of layers with different physicochemical properties. The specific gravity of snow by volume changes in time and space. It often increases with the longer the duration of snow cover and is strictly affected by the location of the region, its climate, and elevation (McClung, Schaerer 2006).

The maps depicting the hazards of intensive snowfall describe the spatial distribution of maximum snow depth (Fig. 67-73) and maximum snow cover growth (Fig. 74-80) with a given probability of occurrence (Evans et al. 2000;

nej (ryc. 74-80) o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia (Evans i in. 2000; Castillo i in. 2005), w kolejnych dekadach roku. W postaci map sygnaturowych zaprezentowano również maksymalną gęstość śniegu (ryc. 81-85) oraz zapas wody w pokrywie śnieżnej (ryc. 86-90). Gęstość śniegu oznacza w praktyce jego masę, uważaną za najlepszy wskaźnik metamorfozy śniegu. Gęstość całkowita pokrywy śnieżnej zwiększa się między innymi na skutek osiadania śniegu, sprasowania jego warstw przez wiatr, topnienia i ponownego zamarzania powierzchniowych i dolnych warstw oraz wypełnienia porów śniegu wolną wodą. Opady śniegu powodują zatem zmniejszenie gęstości śniegu, a opady deszczu jej zwiększenie.

Śnieg i pokrywa śnieżna mogą naruszać normalną pracę systemów energetycznych i komunikacyjnych oraz zakładów przemysłowych. Stanowią również zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi narażonych na ich pośrednie i bezpośrednie oddziaływanie. Najważniejszymi obszarami infrastruktury zagrożonymi tym zjawiskiem są transport, budownictwo oraz energetyka.

W obszarach górskich z występowaniem pokrywy śnieżnej związane jest także zjawisko lawin śnieżnych, które obok innych zagrożeń naturalnych stanowi istotny element kształtowania środowiska przyrodniczego oraz życia człowieka w przestrzeni górskiej. Lawiny śnieżne wpływają na zarządzanie przemysłem turystycznym, transportowym, budowlanym, drzewnym, a przede wszystkim na bezpieczeństwo osób przebywających w zagrożonych obszarach.

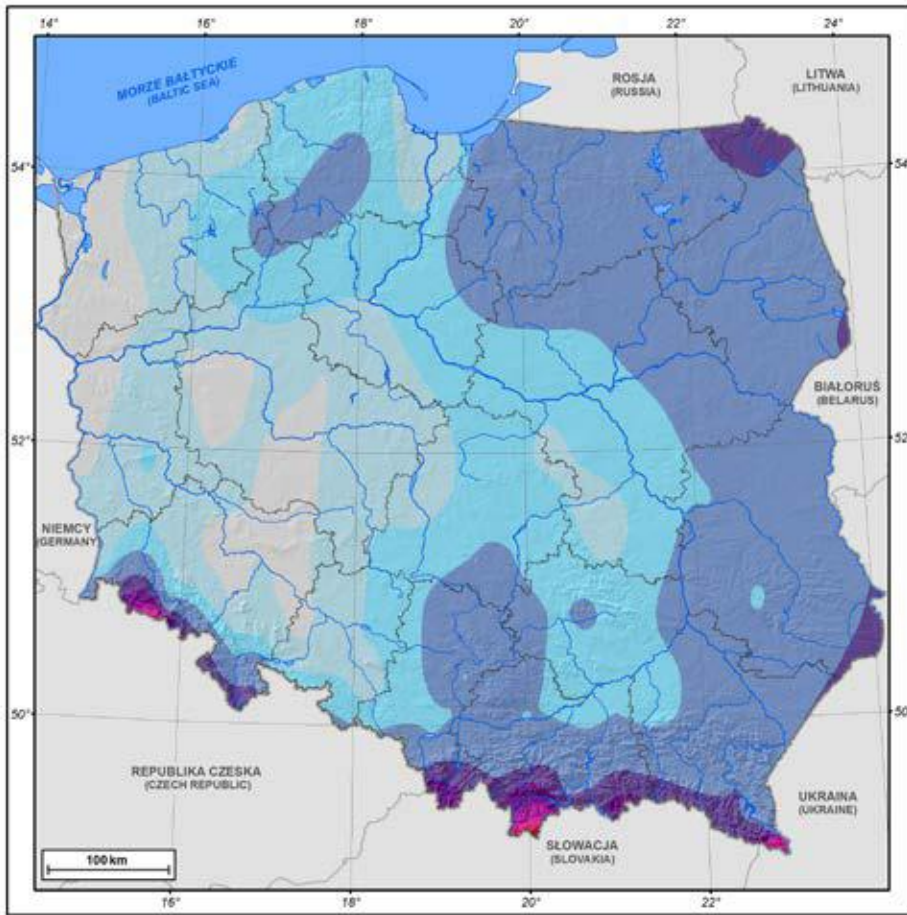
Typowymi obszarami zagrożenia lawinowego w Polsce są Tatry, Karkonosze, Bieszczady, masyw Babiej Góry i Pilska oraz Pieniny. Nietypowe lawiny występują również w pozostałych (także zalesionych) obszarach Karpat i Sudetów. Zjawisko lawin śnieżnych może dotyczyć też miesięcy poza okresem zimowym wskutek występowania nietypowych okresów intensywnych opadów śniegu.

Castillo et al. 2005) in subsequent ten-day periods of a year. The maximum density of snow (Fig. 81-85) and water content of the snow cover (Fig. 86-90) were presented in the form of signature maps. In a practical sense, snow density means its weight, which is recognized as the best index of snow transformation. Among other factors, total density of snow increases due to its subsiding, the compression of its layers by wind, melting and refreezing of its surface and lower layers as well as its pores being filled with water. Therefore, the occurrence of snowfall results in a lower density of snow cover, whereas rainfall makes it higher.

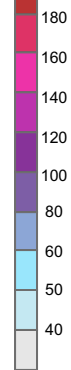
Snow and snow cover can affect the everyday operation of the energy and transport sectors as well as industrial plants. They are dangerous for the health of the people exposed to their direct and indirect impact. The areas of infrastructure most vulnerable to these phenomena are transportation, construction, and the power engineering industry.

In mountainous areas, collecting snow cover can result in avalanches which, in addition to other natural hazards, are an important factor shaping the natural environment and human existence in the mountains. Avalanches affect how various industries, such as tourism, transportation, building construction, and the timber industry are managed. Above all, they are dangerous for people in the areas of their occurrences.

Typical avalanche hazard areas in Poland are the Tatras, Karkonosze, Bieszczady, Babia Góra massif, Pilsko massif, and the Pieniny mountain range. Unusual avalanches occur in other parts of the Carpathians and Sudetes mountains (including forested areas). Avalanches may also occur outside of the winter season due to untypical periods of intense snowfall.



dni/days



60

Średnia roczna liczba dni z pokrywą śnieżną

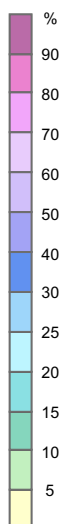
Mean annual number of days with snow cover



61

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z pokrywą śnieżną w II dekadzie listopada

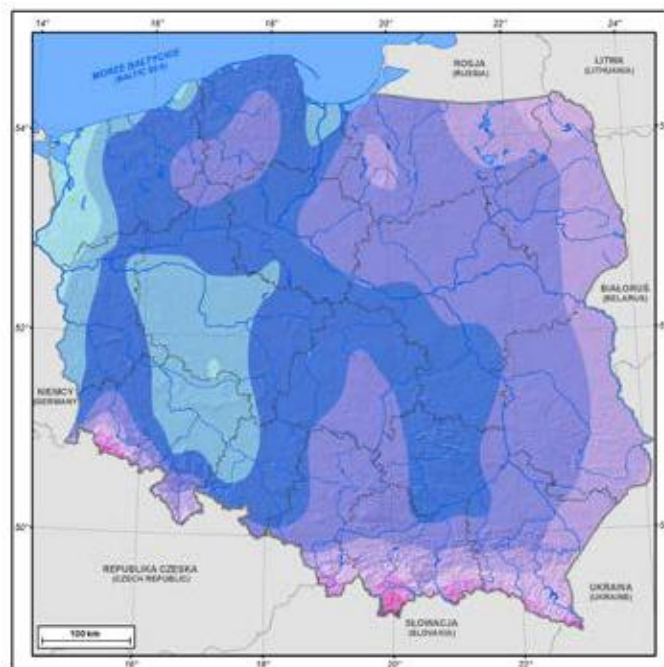
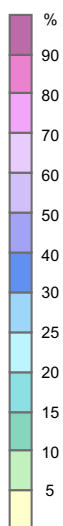
Occurrence probability of snow cover in the 2nd ten-day period of November



62

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z pokrywą śnieżną w II dekadzie grudnia

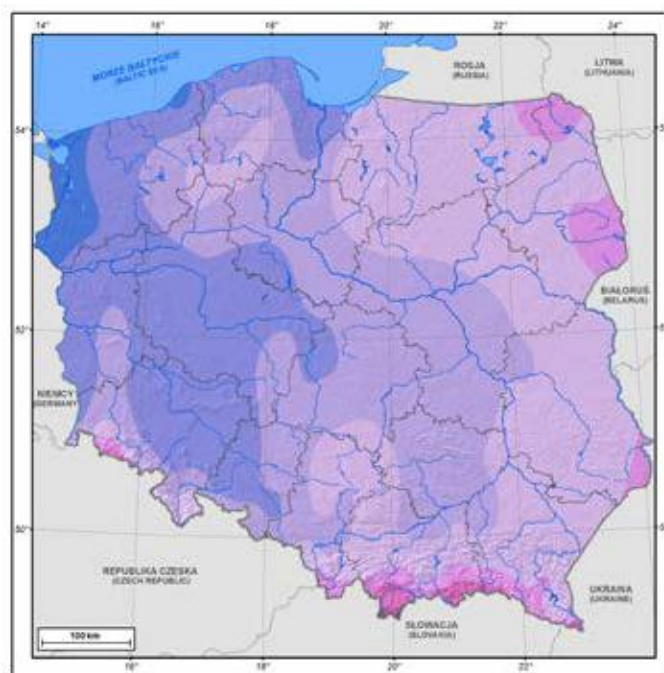
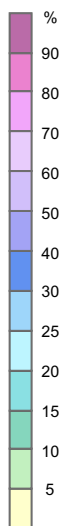
Occurrence probability of snow cover in the 2nd ten-day period of December

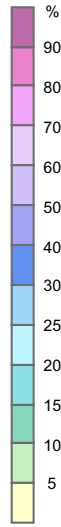
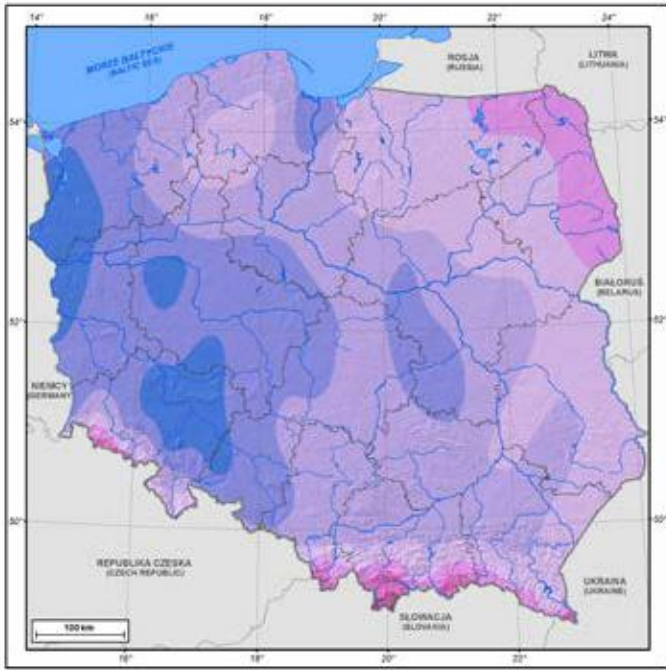


63

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z pokrywą śnieżną w II dekadzie stycznia

Occurrence probability of snow cover in the 2nd ten-day period of January

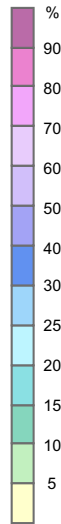
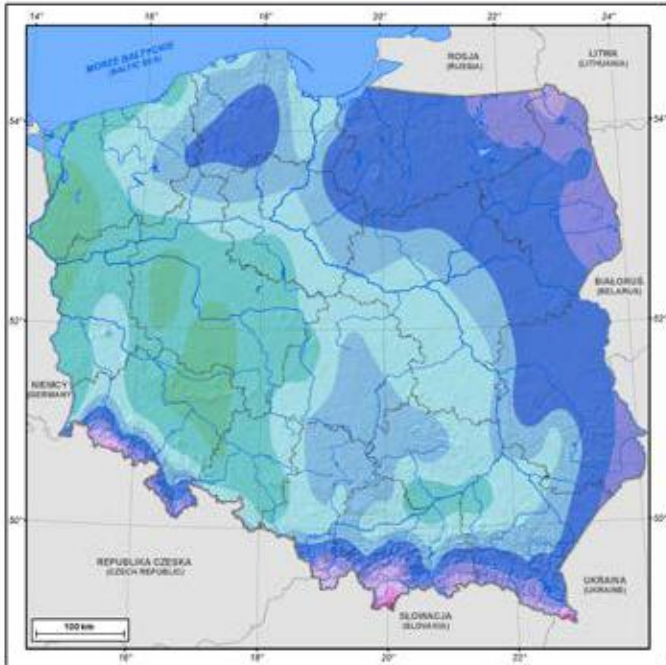




64

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z pokrywą śnieżną w II dekadzie lutego

Occurrence probability of snow cover in the 2nd ten-day period of February



65

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z pokrywą śnieżną w II dekadzie marca

Occurrence probability of snow cover in the 2nd ten-day period of March



66

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z pokrywą śnieżną w II dekadzie kwietnia

Occurrence probability of snow cover in the 2nd ten-day period of April

25%



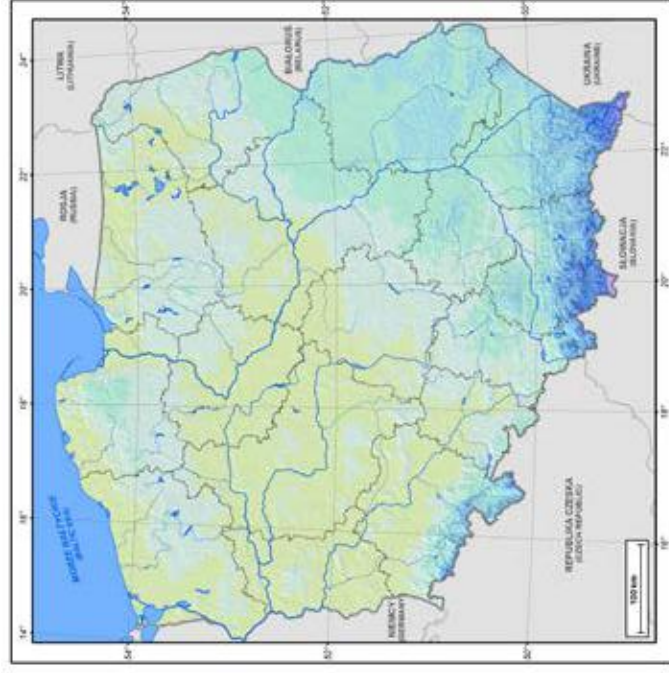
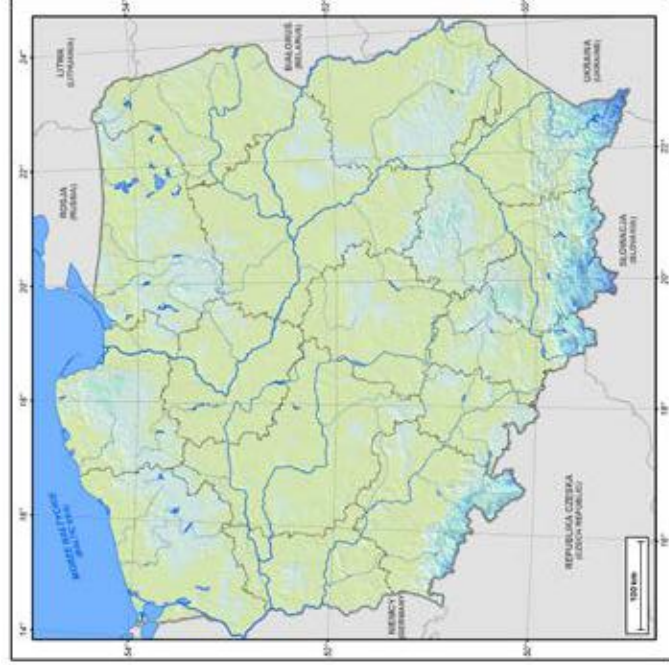
10%

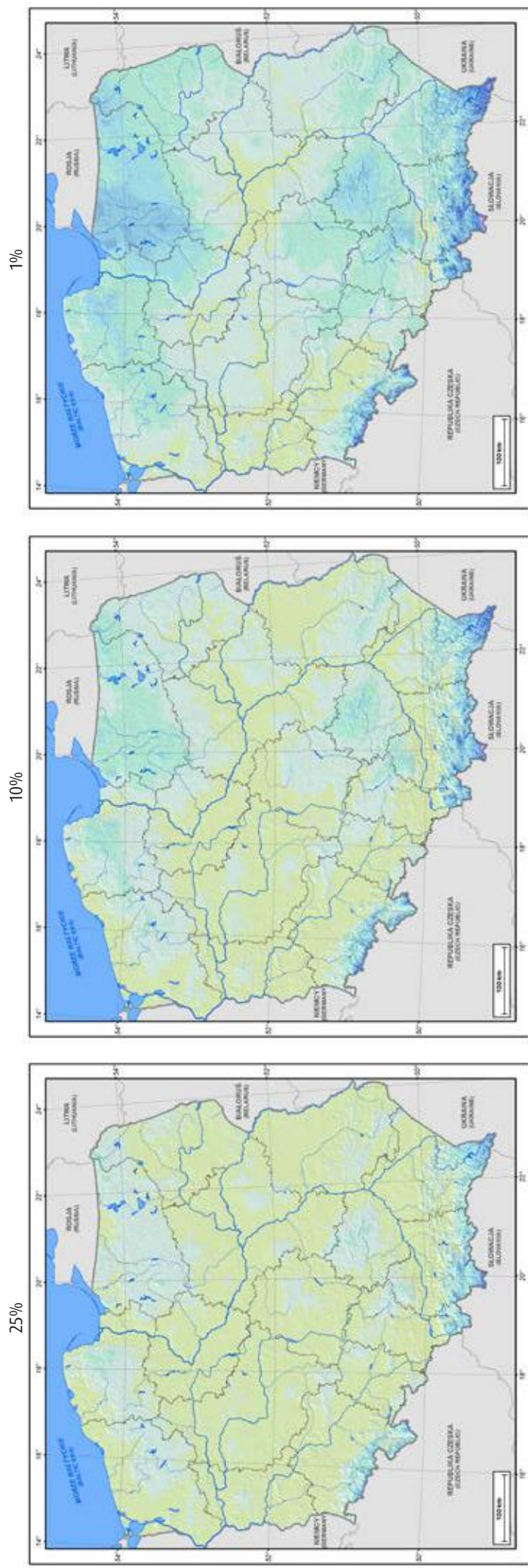


1%



II dekada / 2nd ten-day period





III dekada / 3rd ten-day period

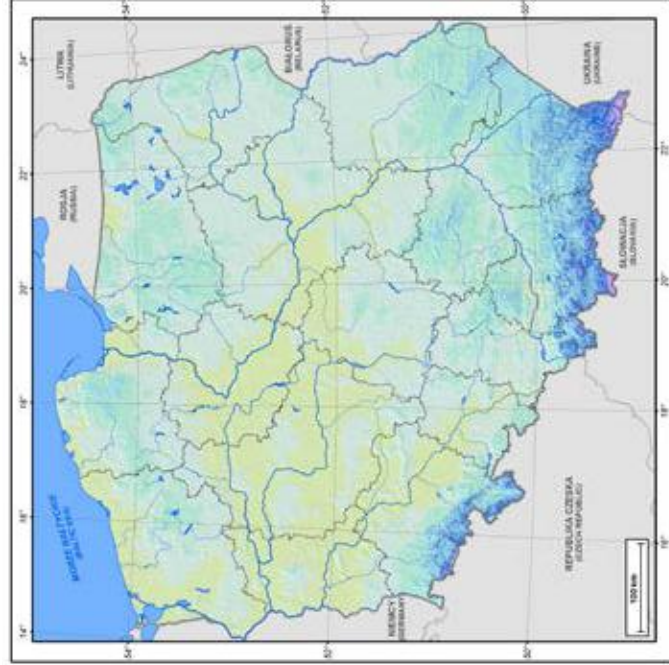
67

Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach października o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum snow cover depth in each ten-day period of October with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

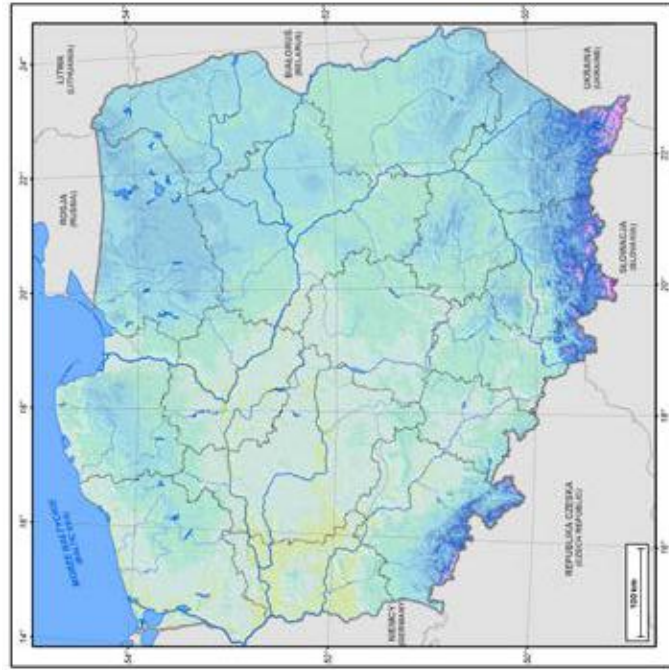
25%



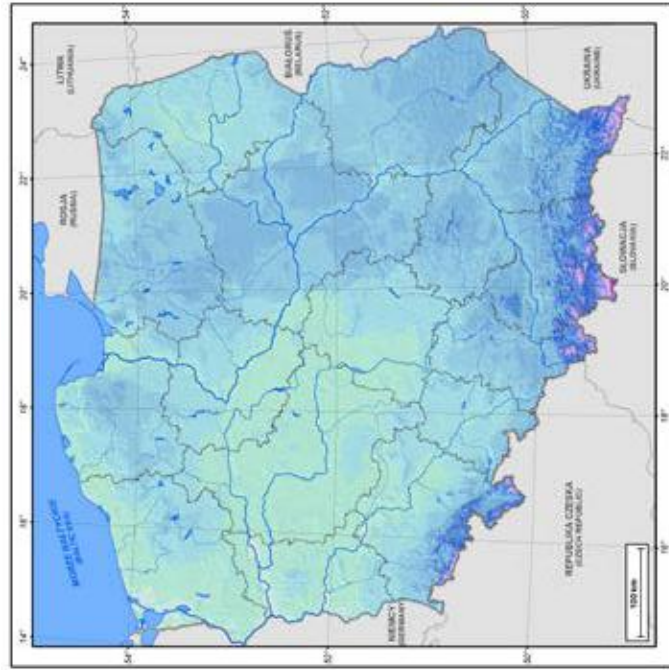
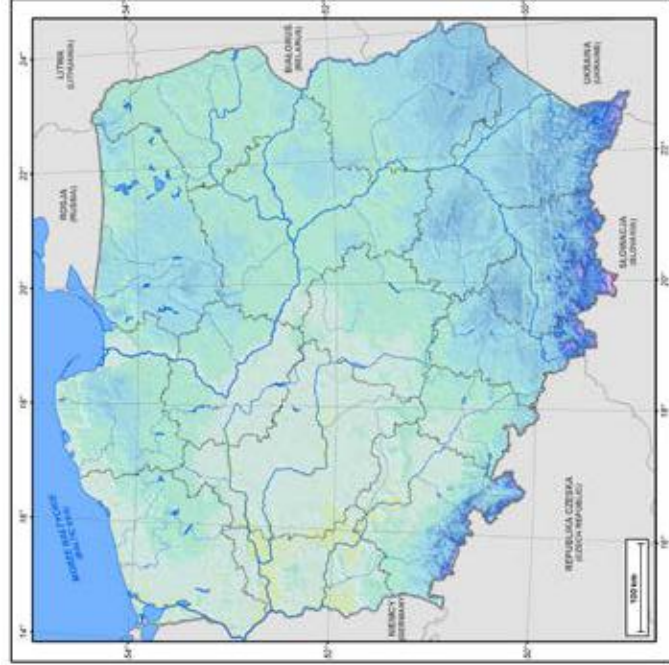
10%

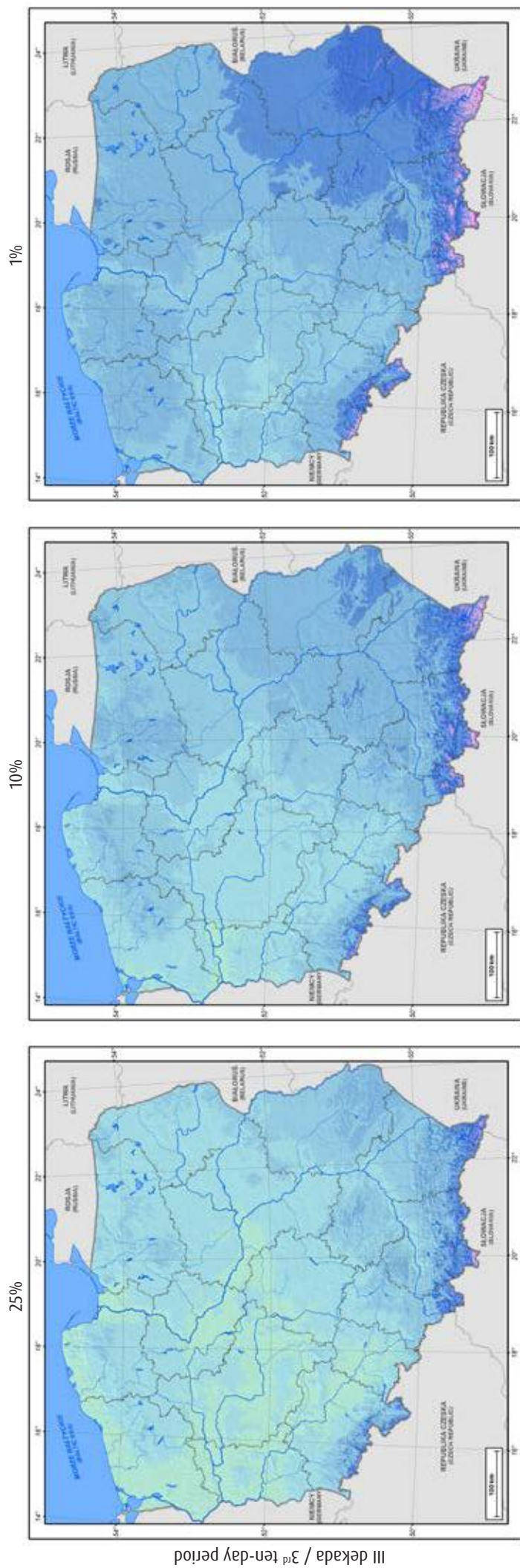


1%



II dekada / 2nd ten-day period



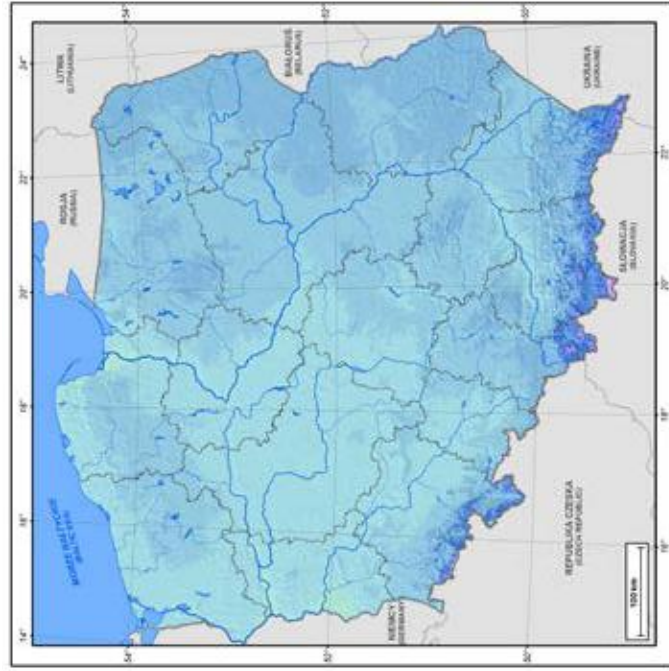


III dekada / 3rd ten-day period

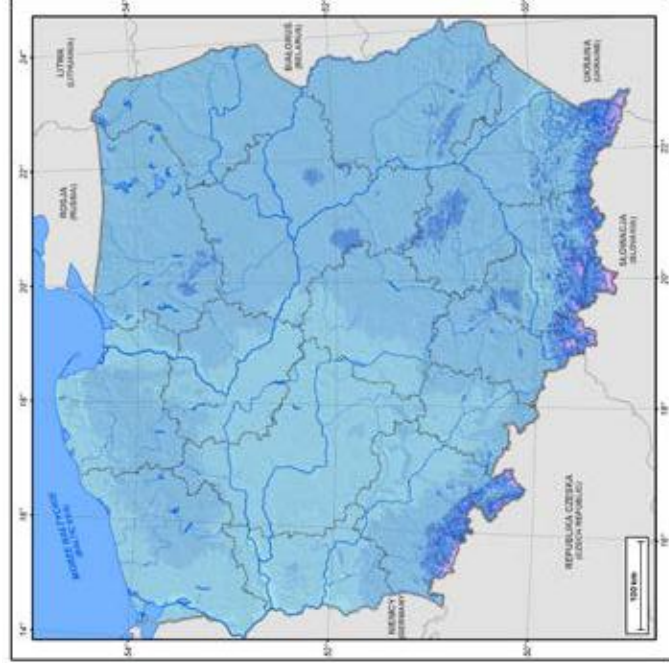
68

Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach listopada o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum snow cover depth in each ten-day period of November with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

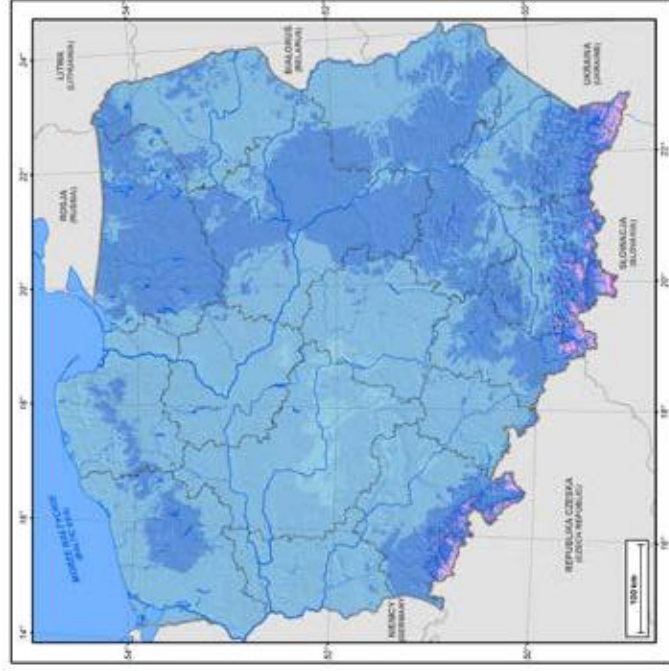
25%



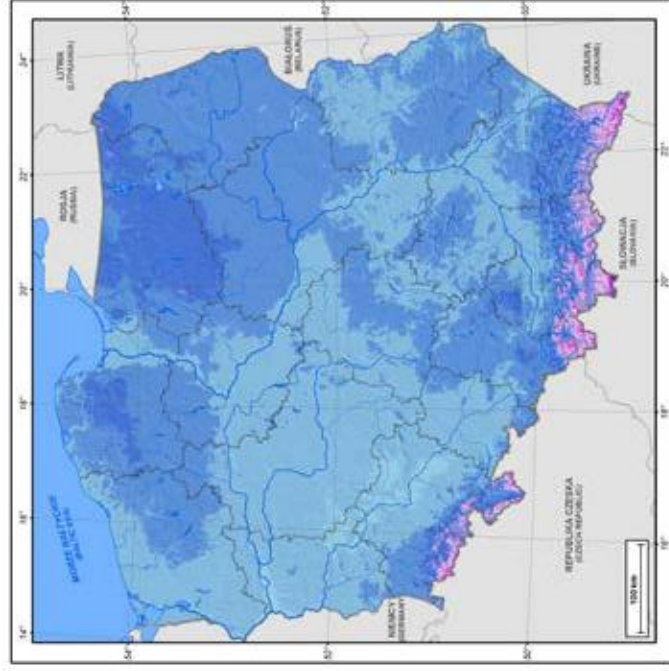
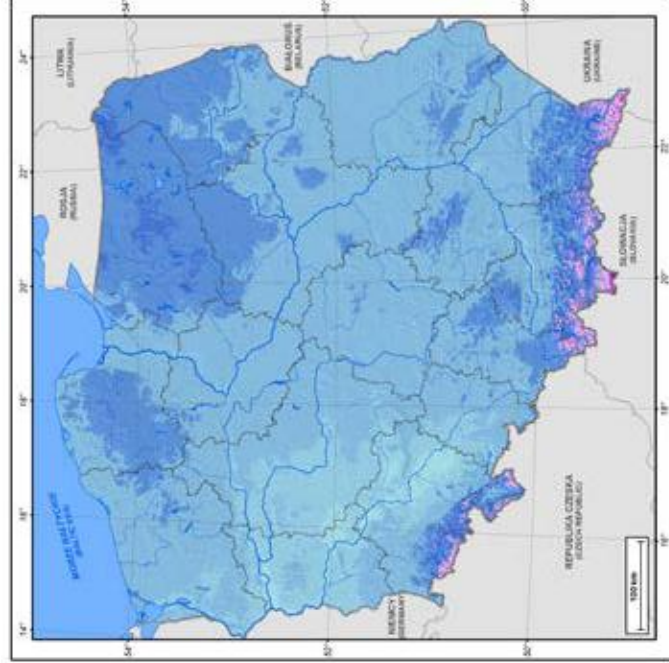
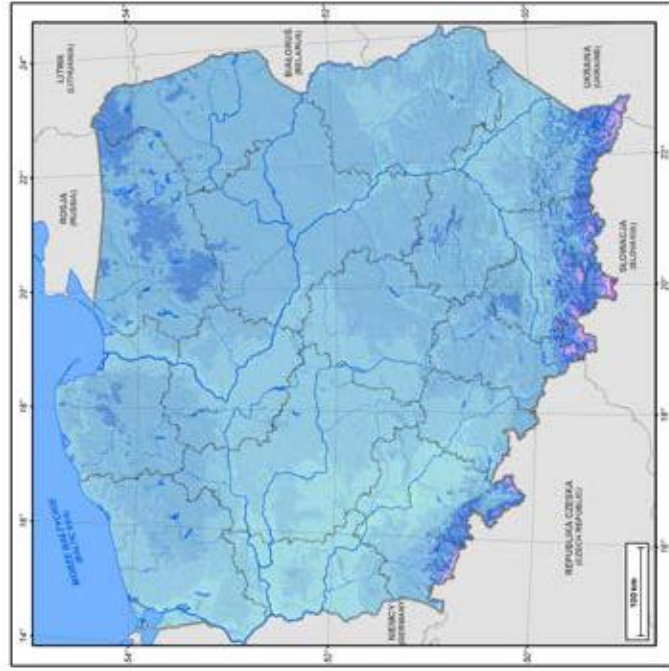
10%

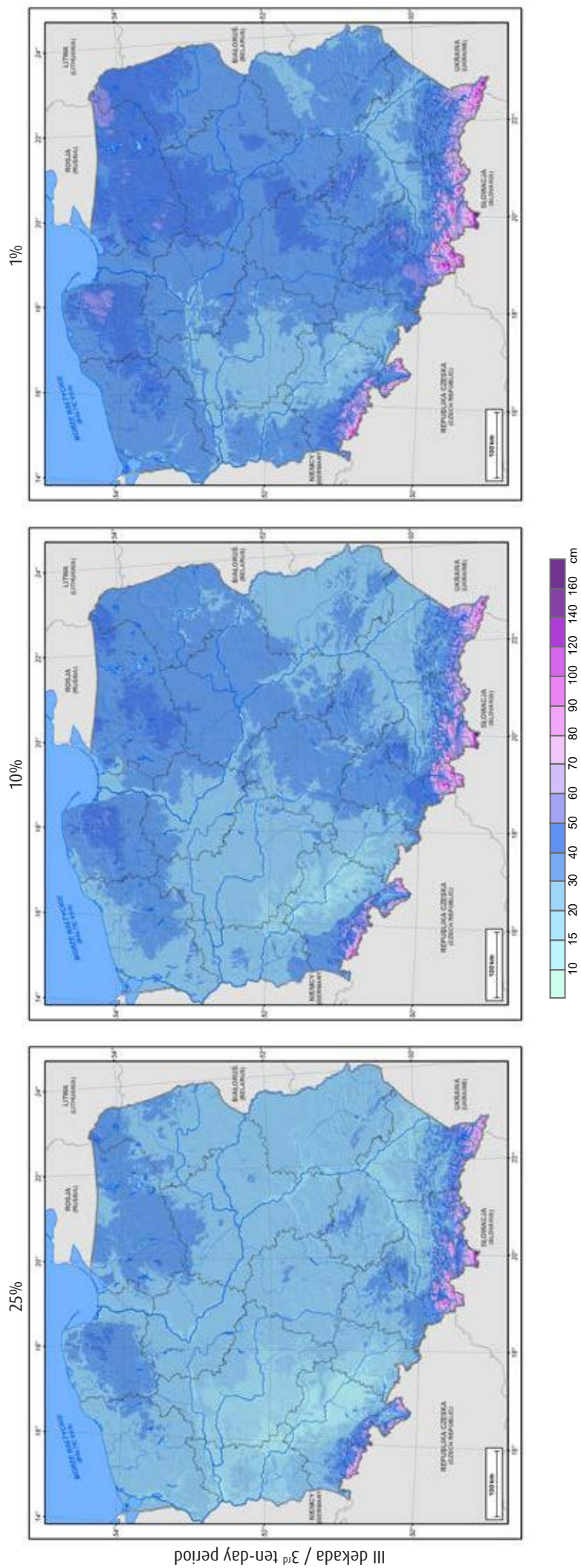


1%



II dekada / 2nd ten-day period



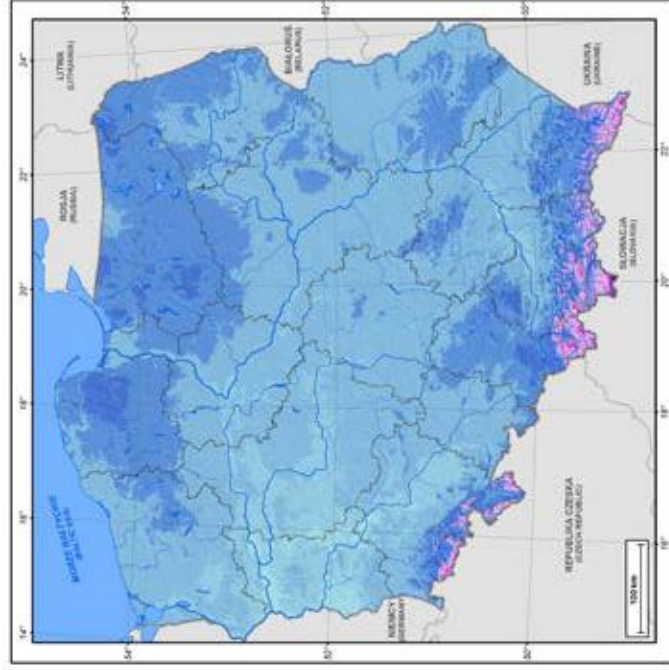


III dekada / 3rd ten-day period

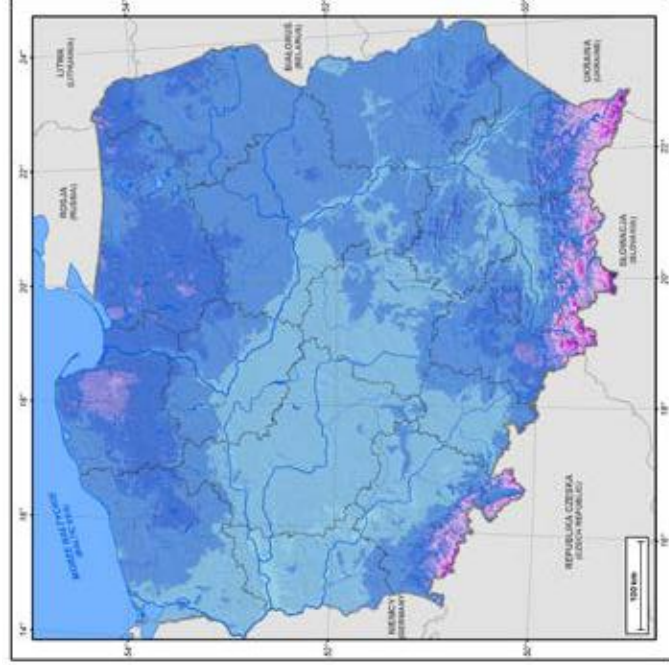
69

Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach grudnia o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum snow cover depth in each ten-day period of December with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

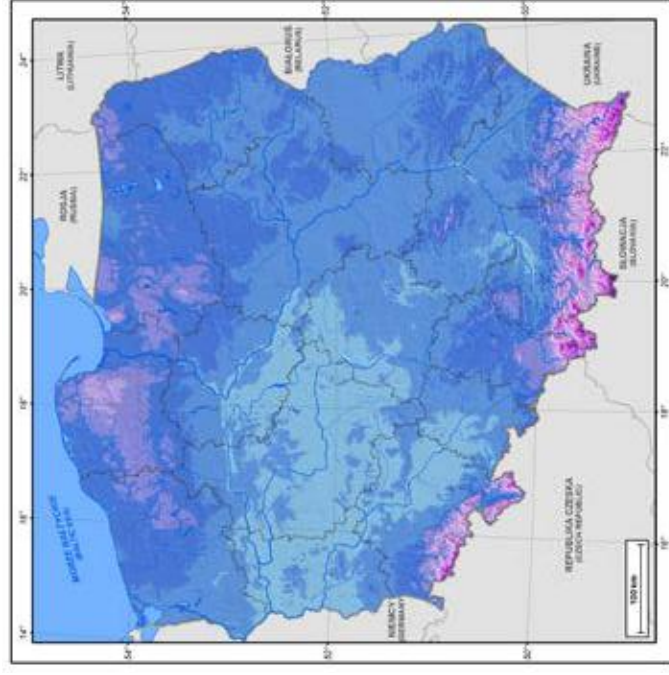
25%



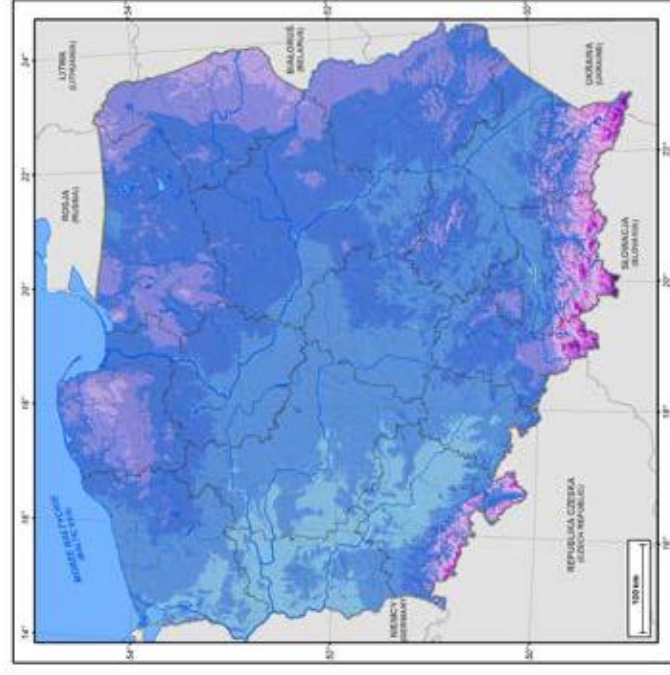
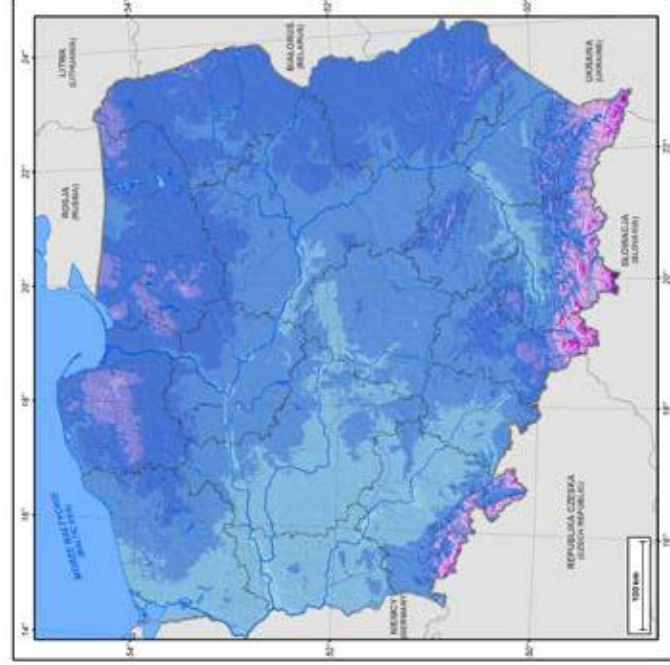
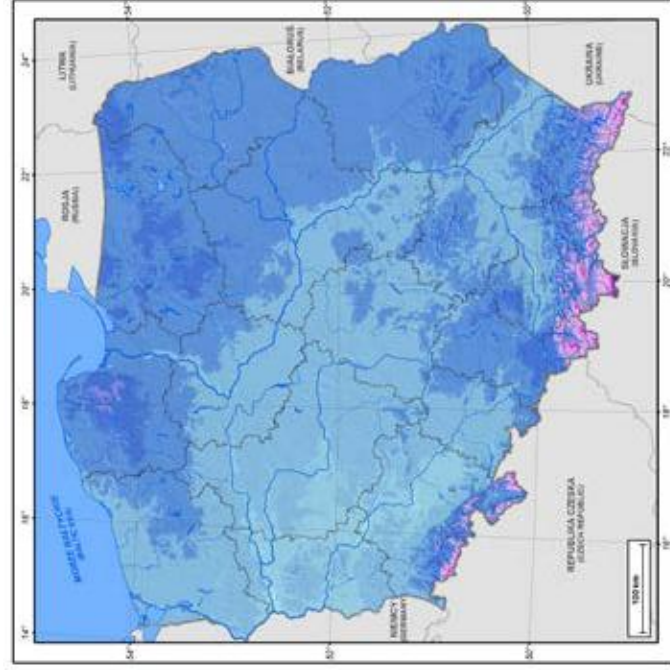
10%

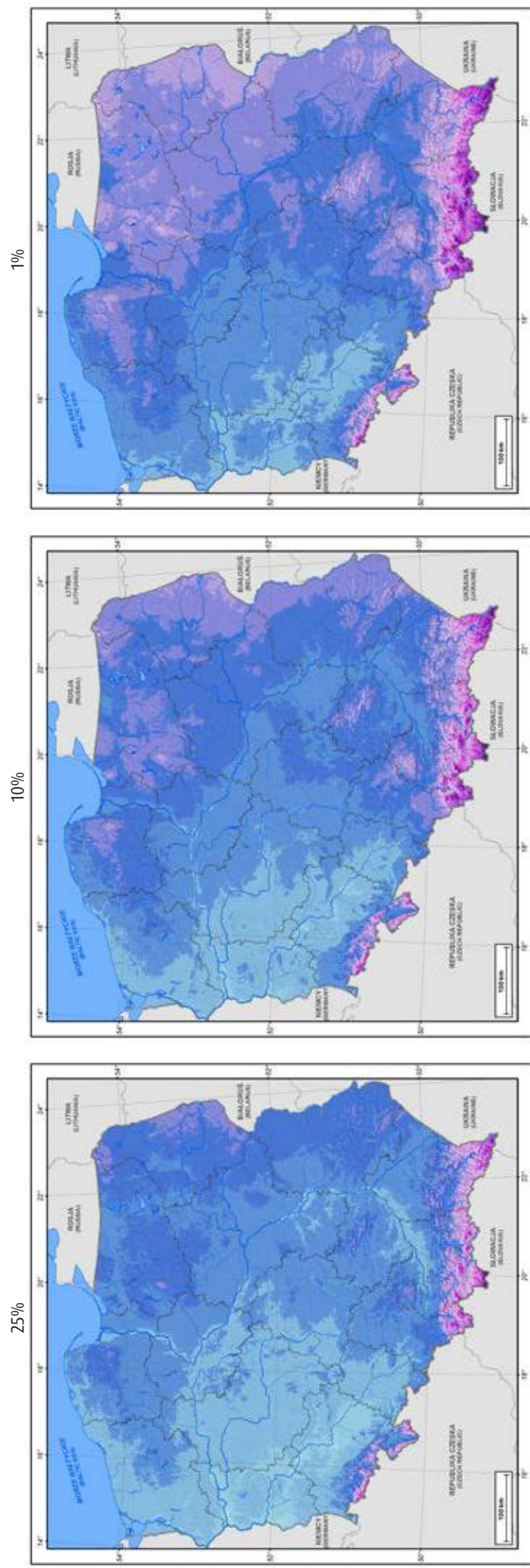


1%



II dekada / 2nd ten-day period



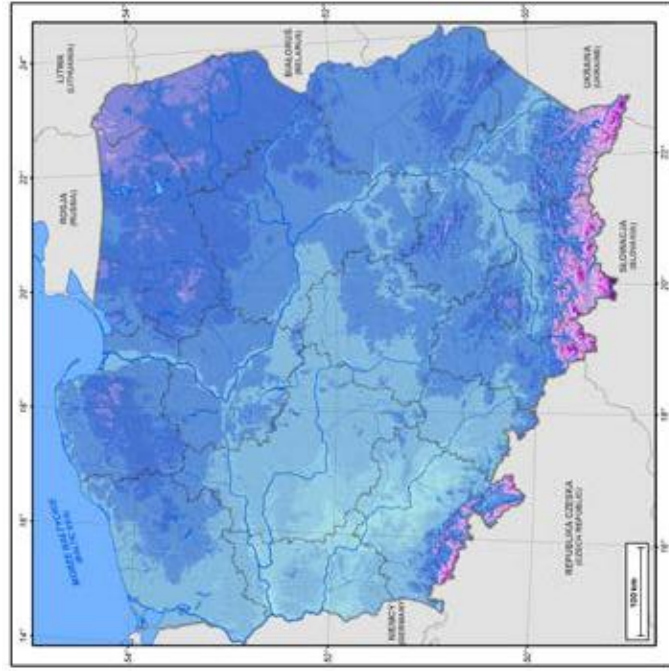


III dekada / 3rd ten-day period

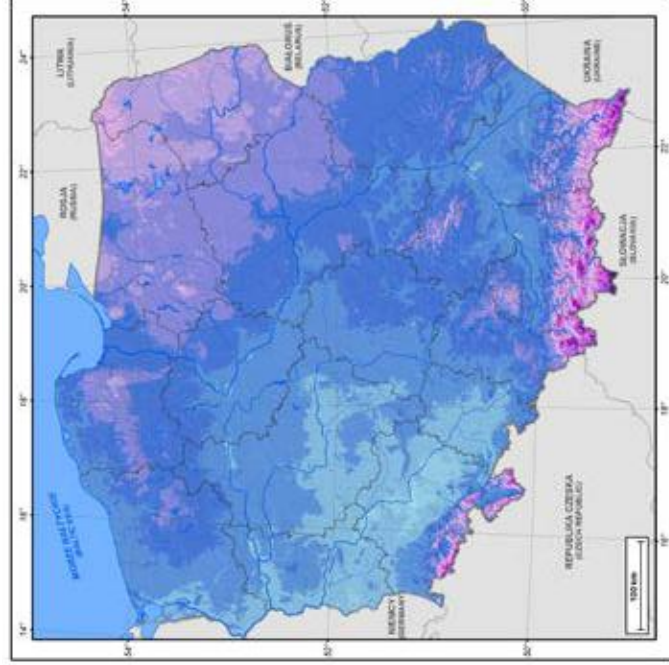
70

Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach stycznia o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum snow cover depth in each ten-day period of January with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

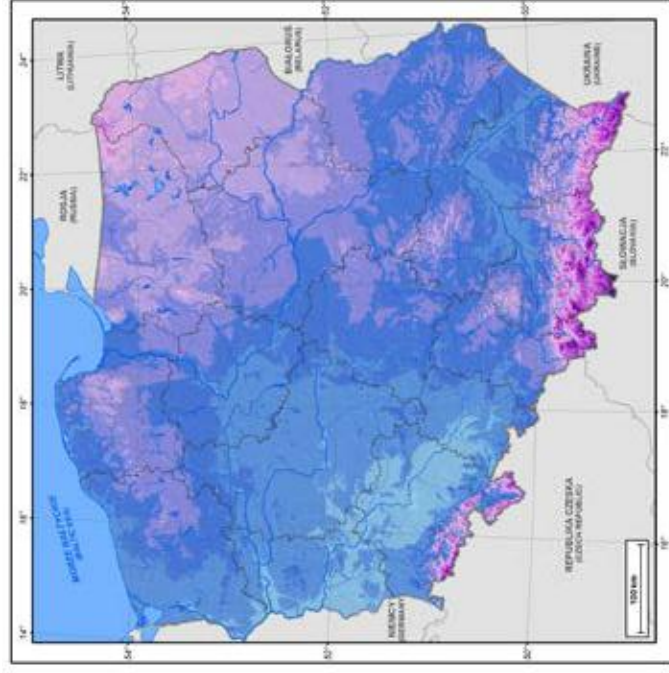
25%



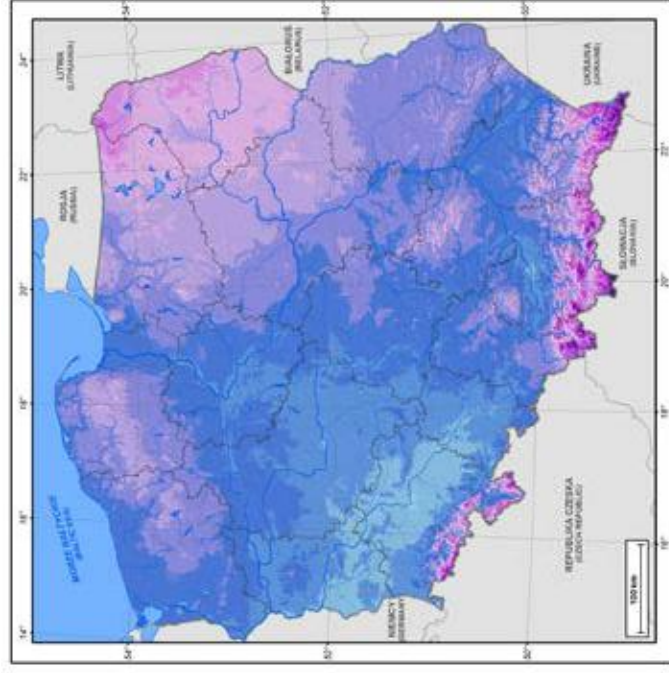
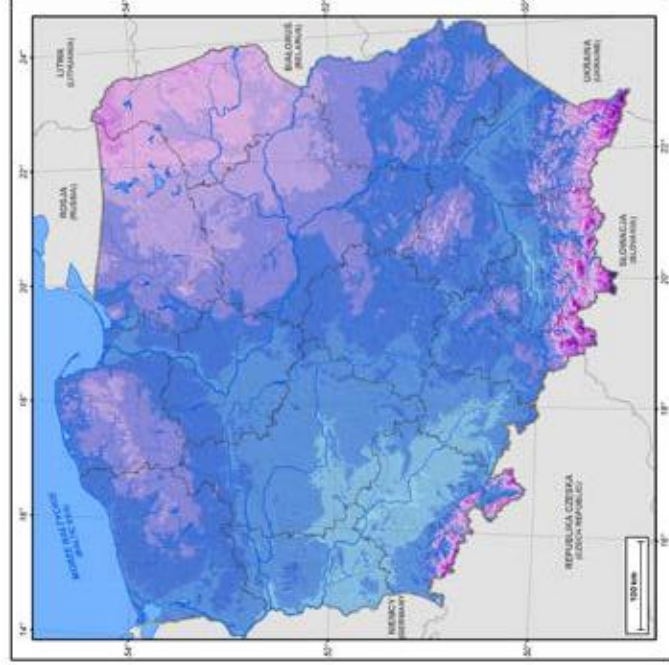
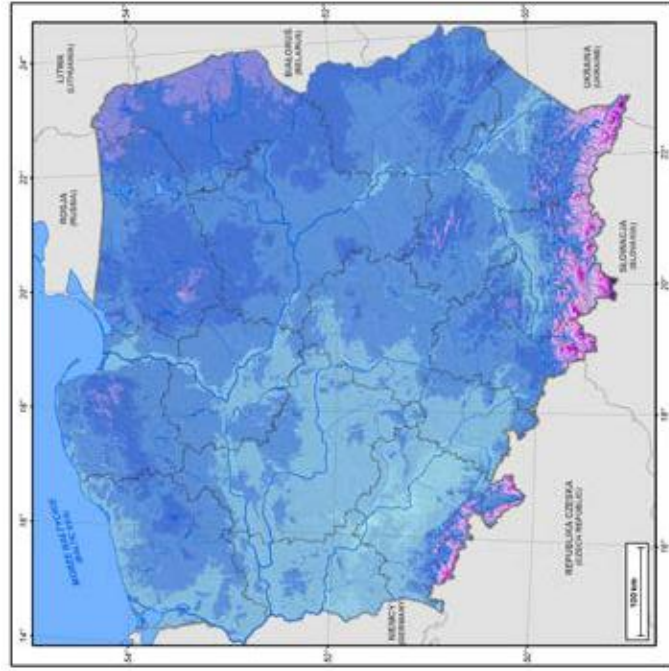
10%



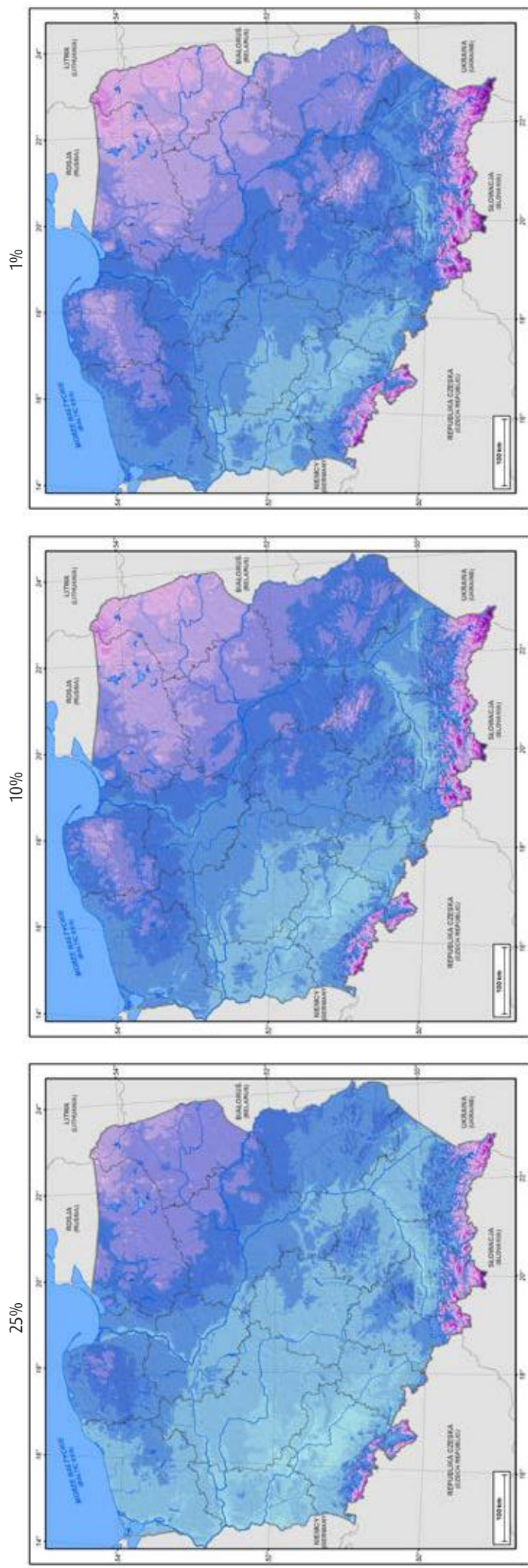
1%



II dekada / 2nd ten-day period



I dekada / 1st ten-day period

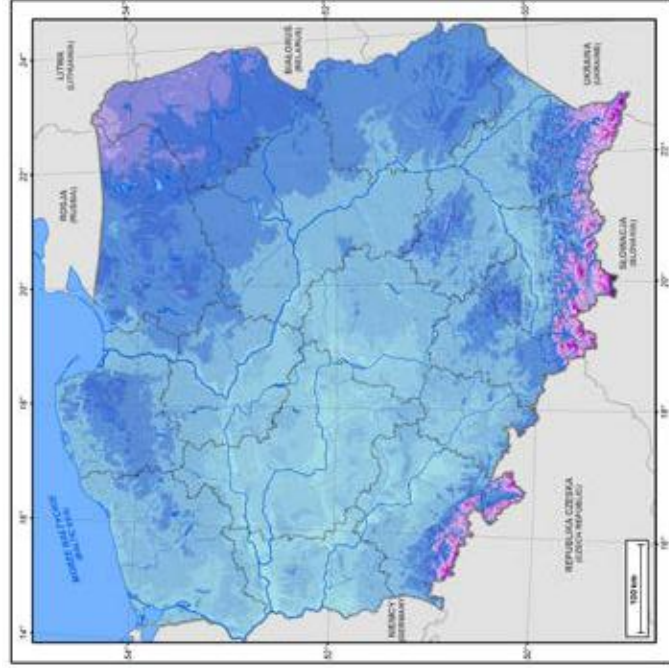


III dekada / 3rd ten-day period

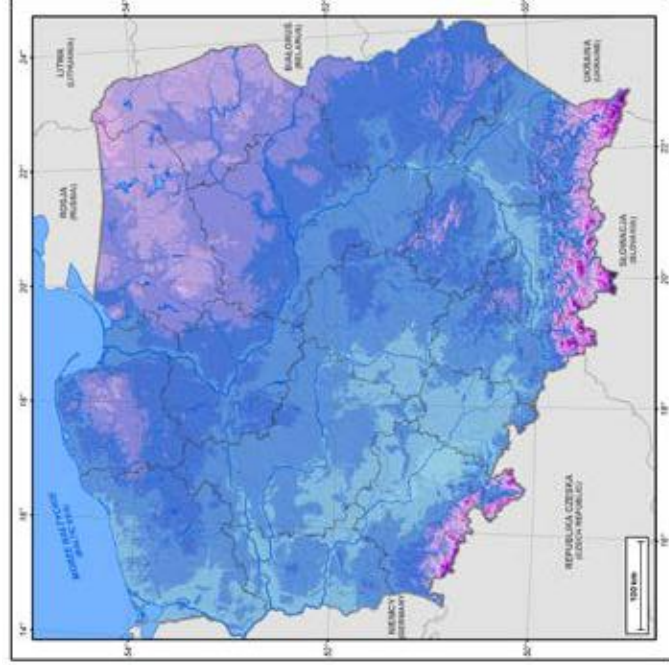
71

Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach lutego o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum snow cover depth in each ten-day period of February with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

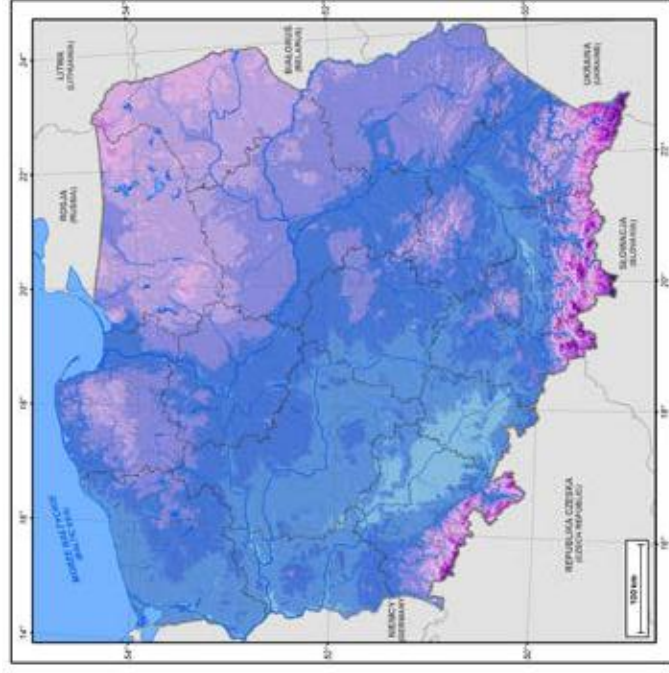
25%



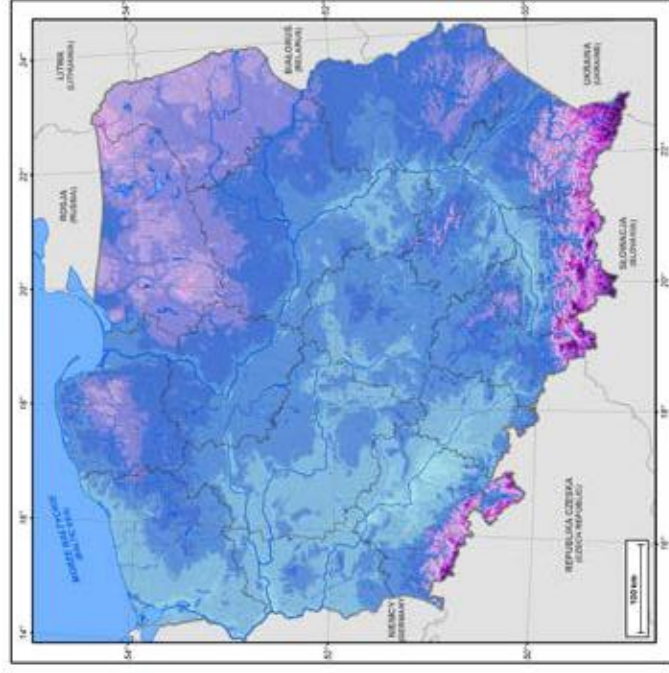
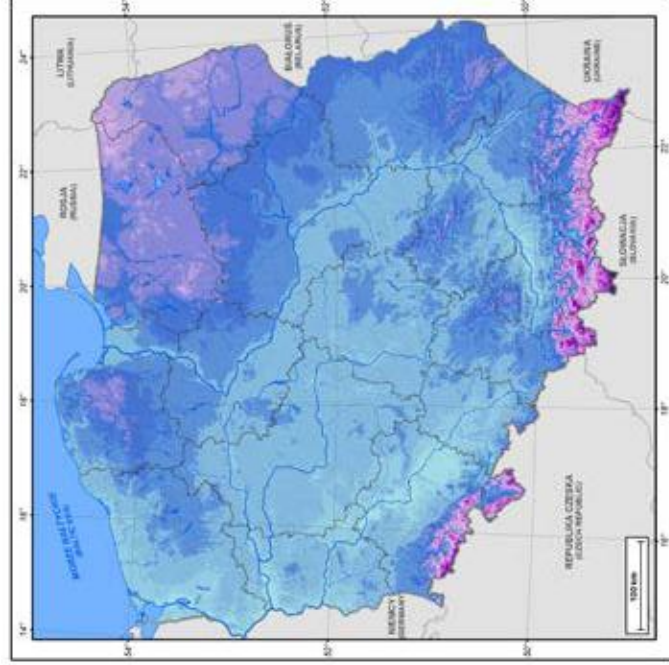
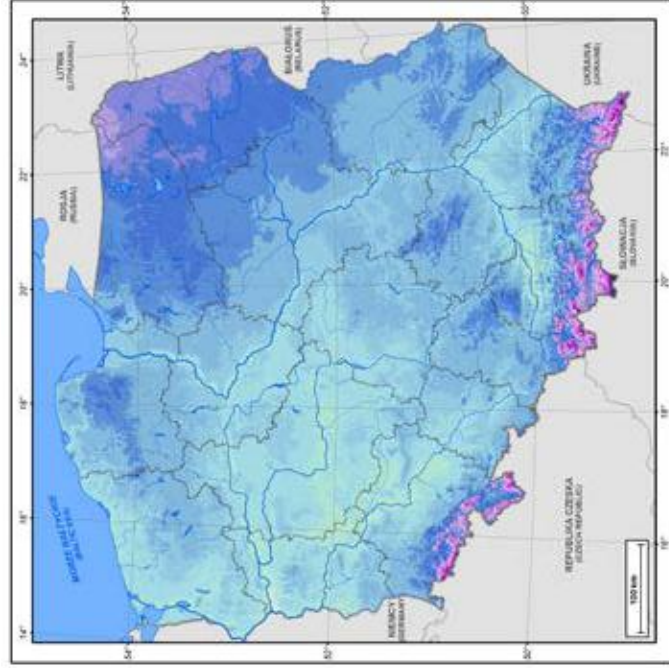
10%

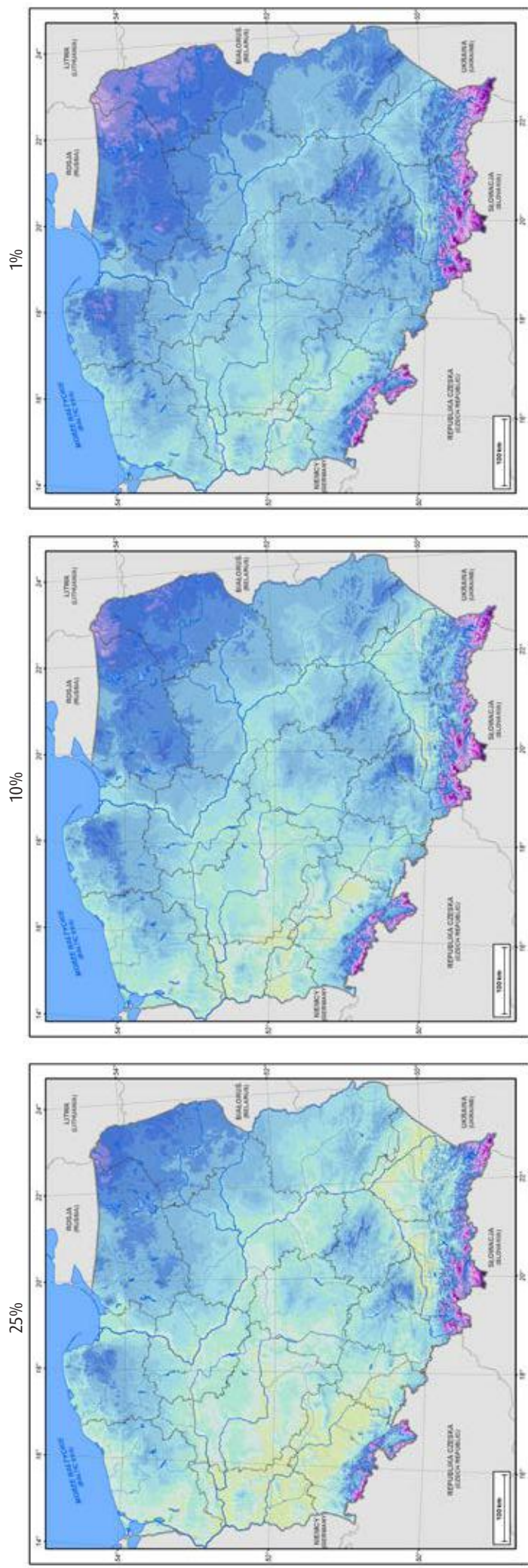


1%



II dekada / 2nd ten-day period



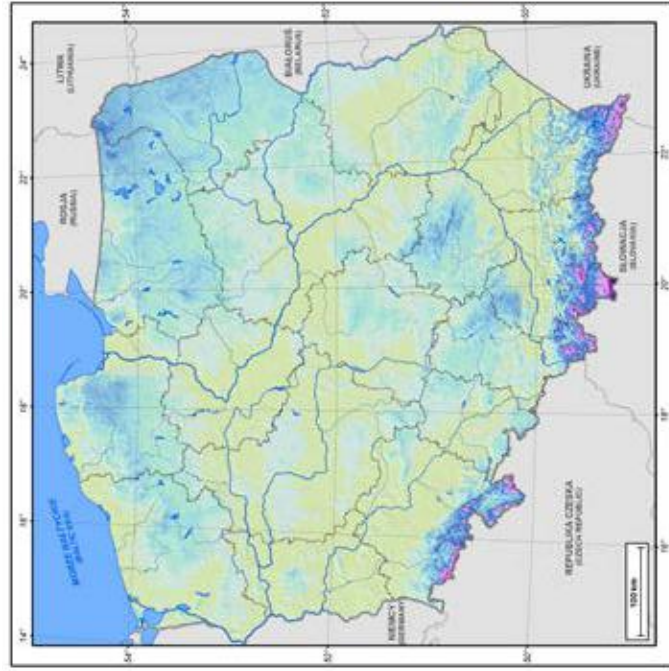


III dekada / 3rd ten-day period

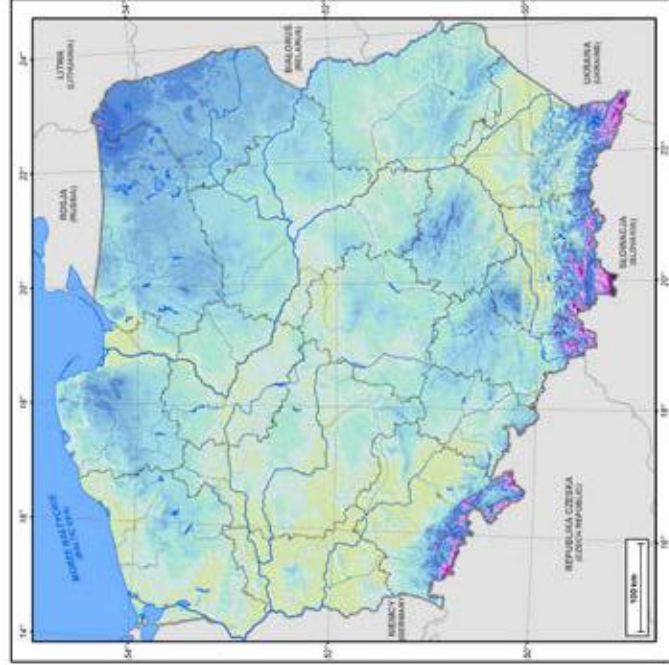
72

Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach marca o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum snow cover depth in each ten-day period of March with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

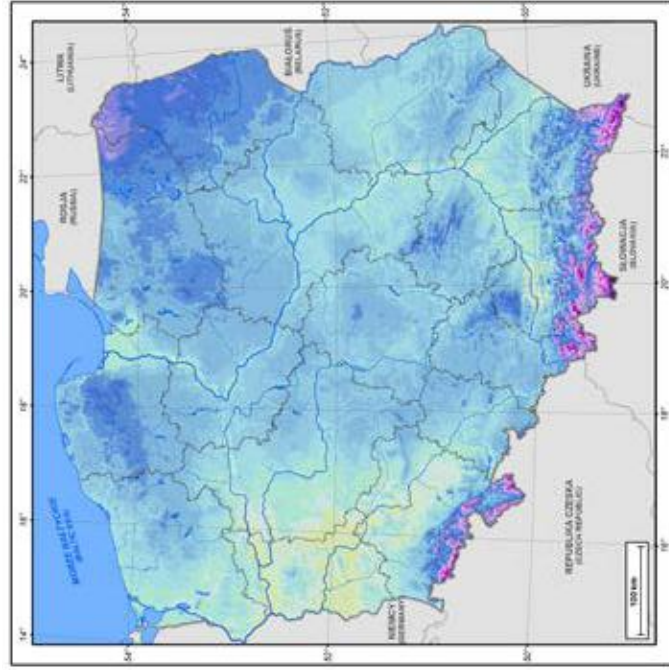
25%



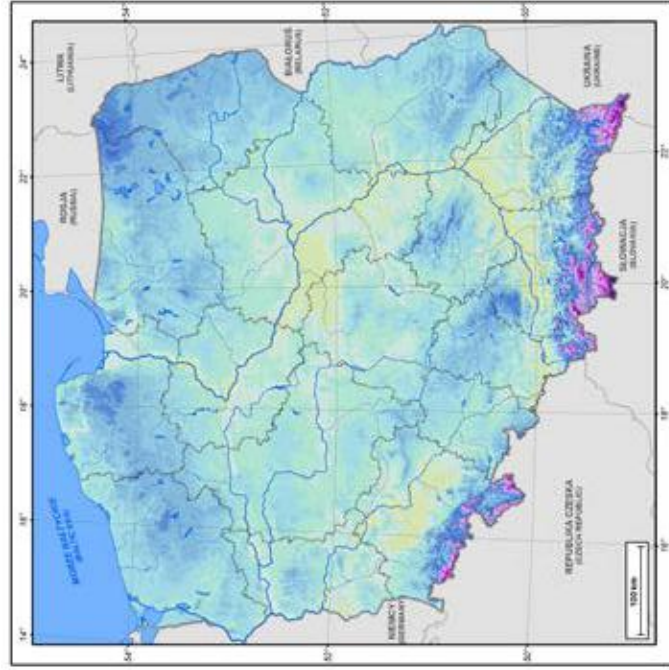
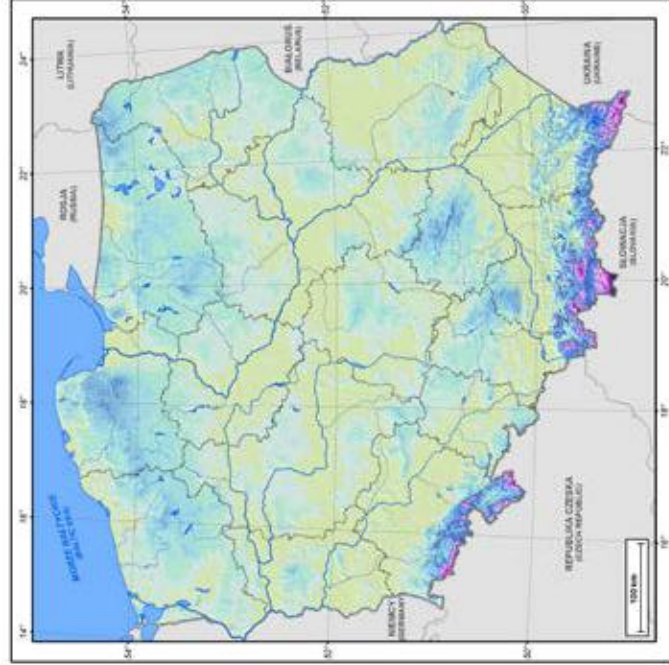
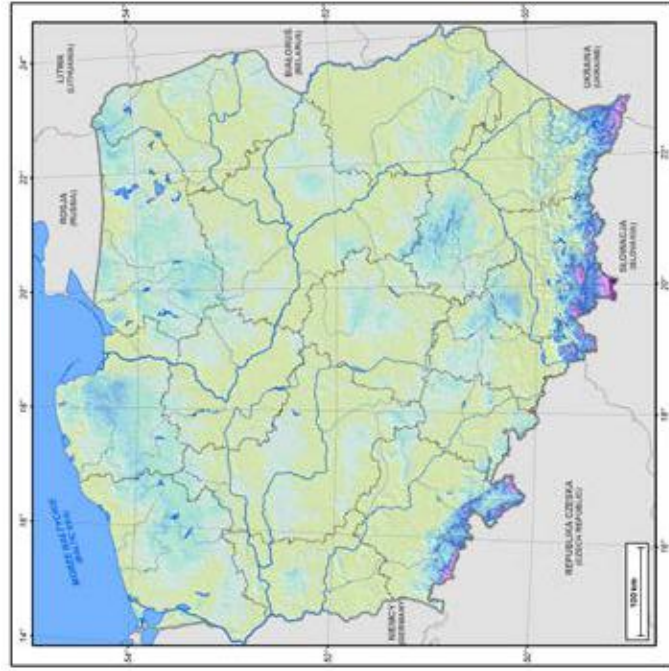
10%

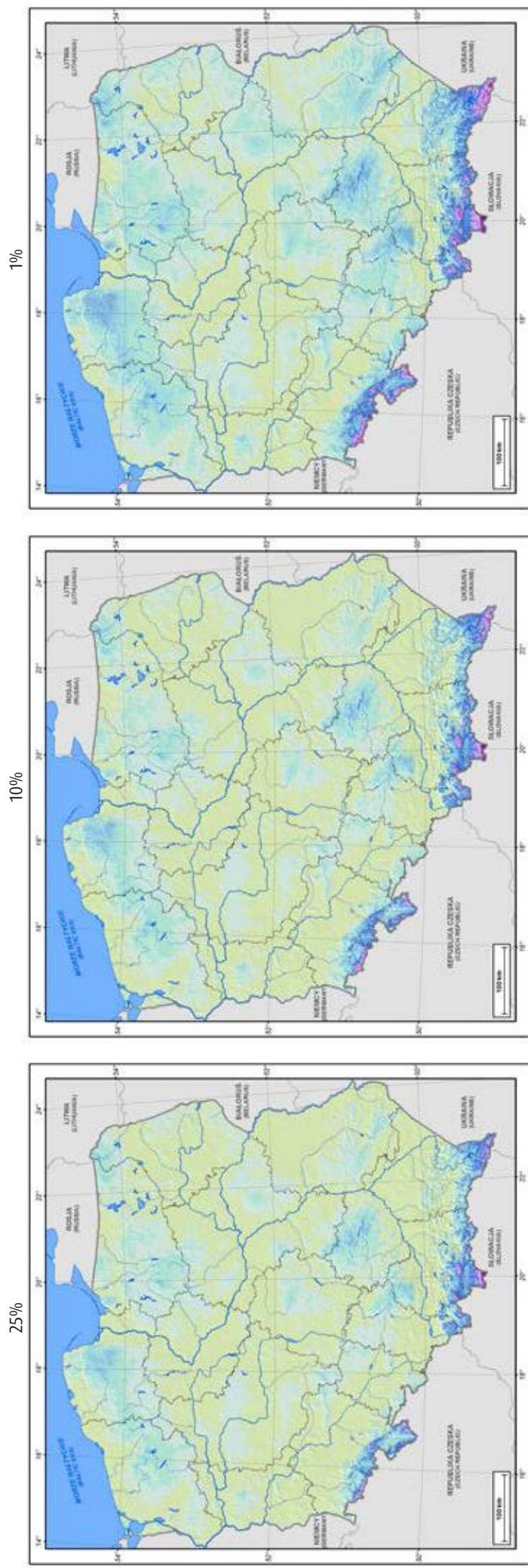


1%



II dekada / 2nd ten-day period





III dekada / 3rd ten-day period

73

Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach kwietnia o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum snow cover depth in each ten-day period of April with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

25%



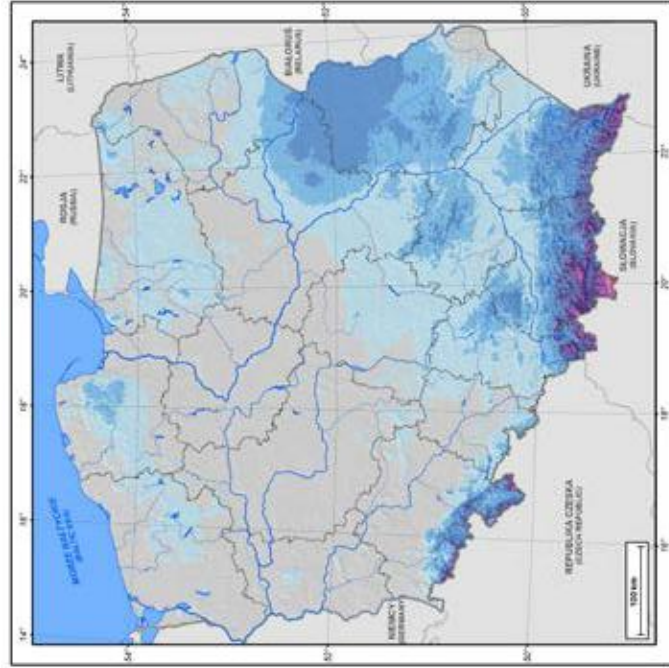
10%

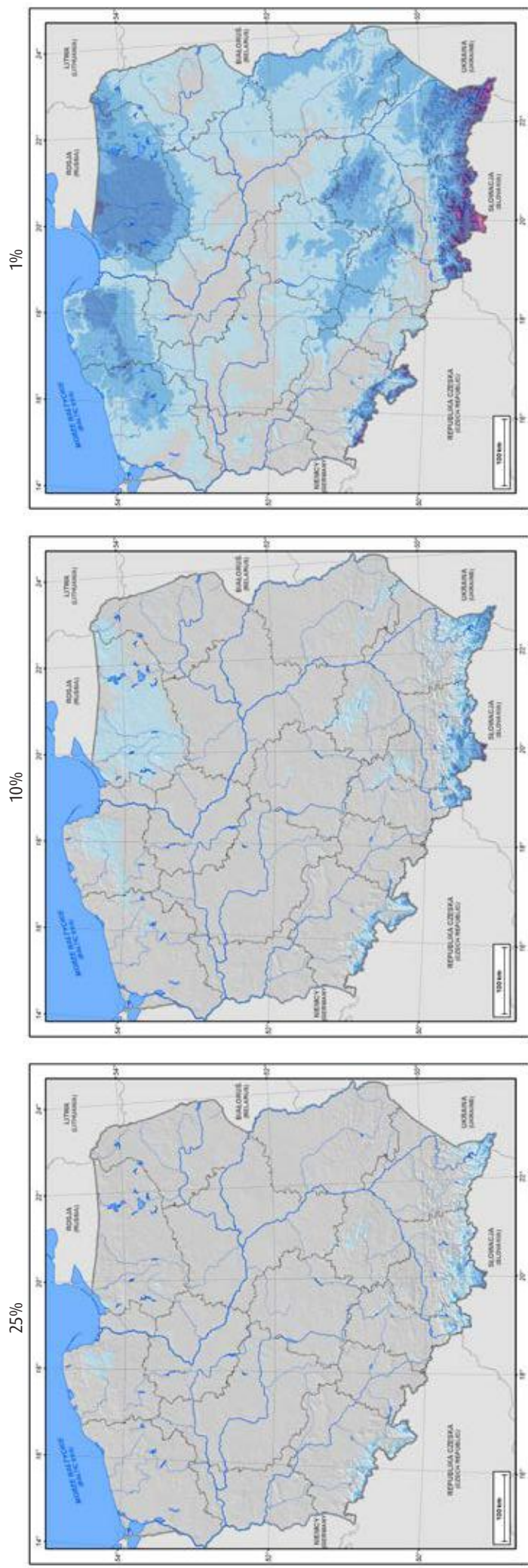


1%



II dekada / 2nd ten-day period





III dekada / 3rd ten-day period

74

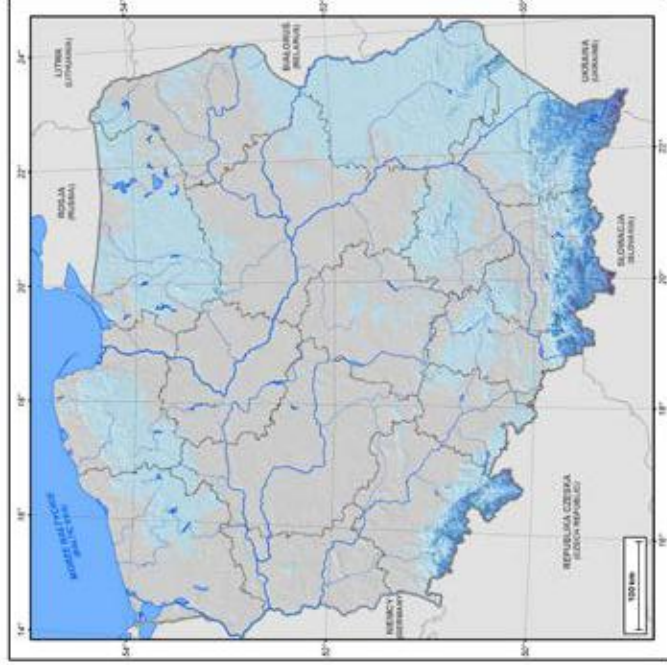
Maksymalny przyrost pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach października o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum growth in snow cover in each ten-day period of October with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

I dekada / 1st ten-day period

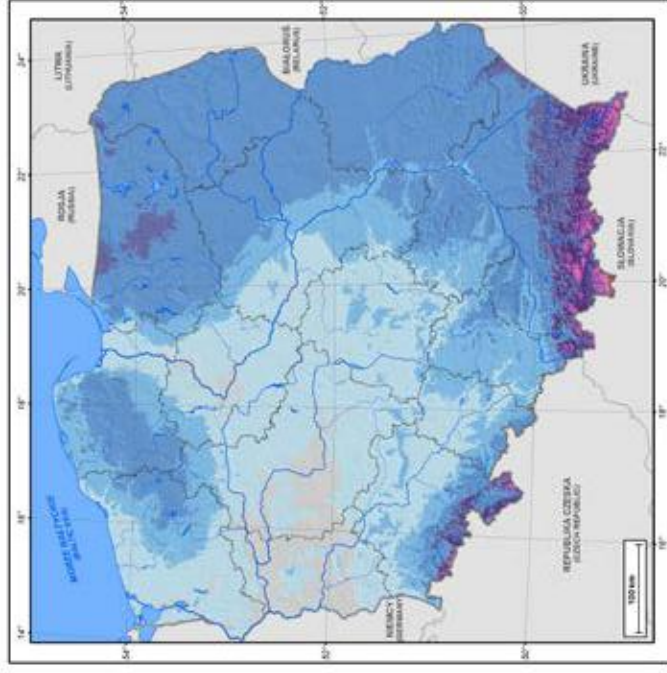
25%



10%

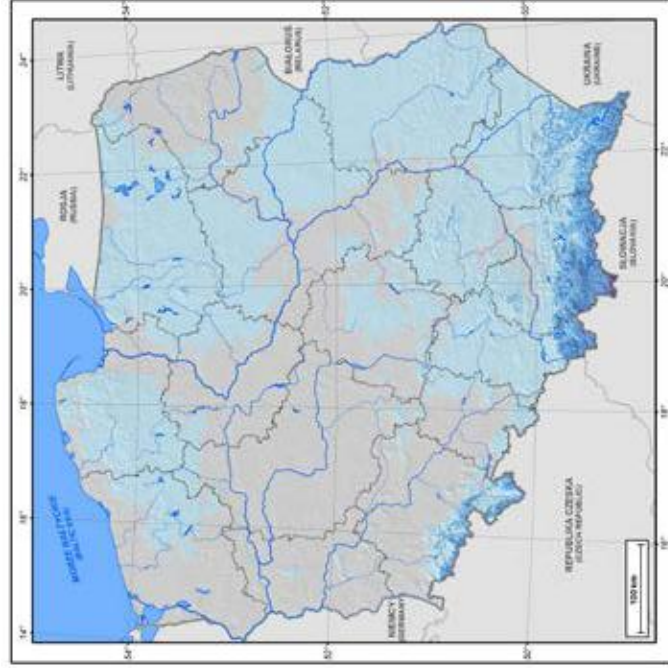


1%

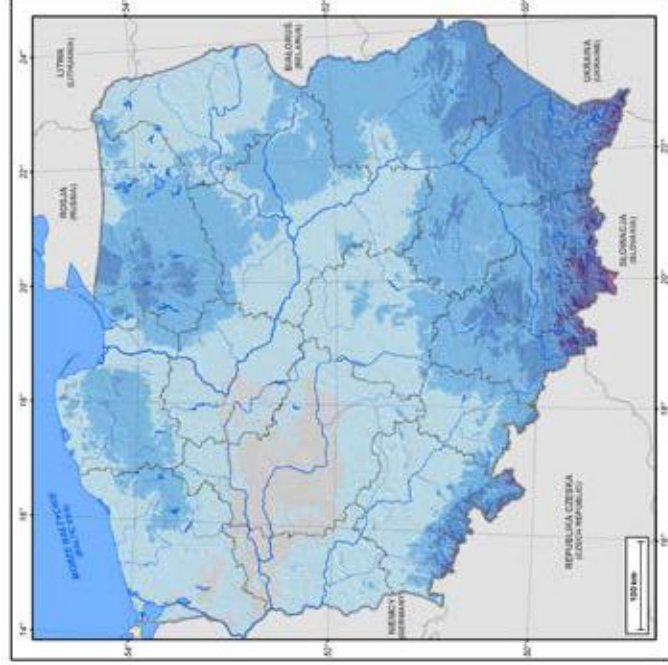


II dekada / 2nd ten-day period

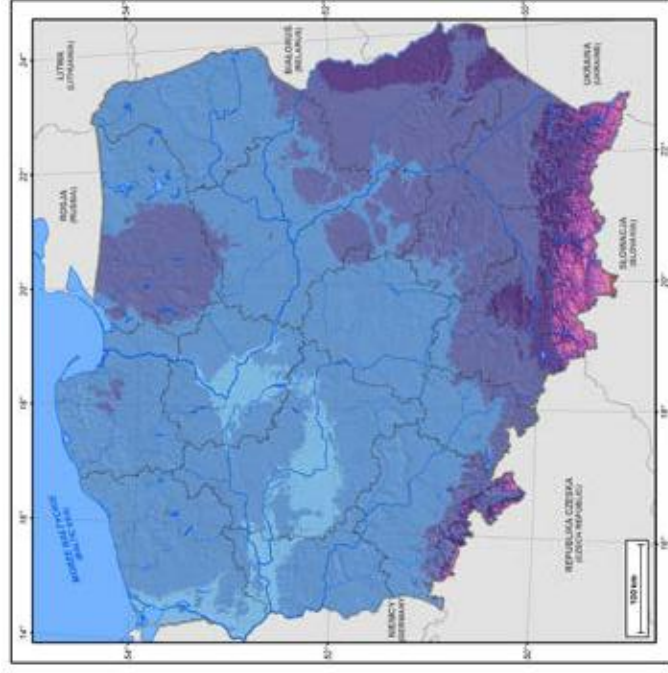
25%

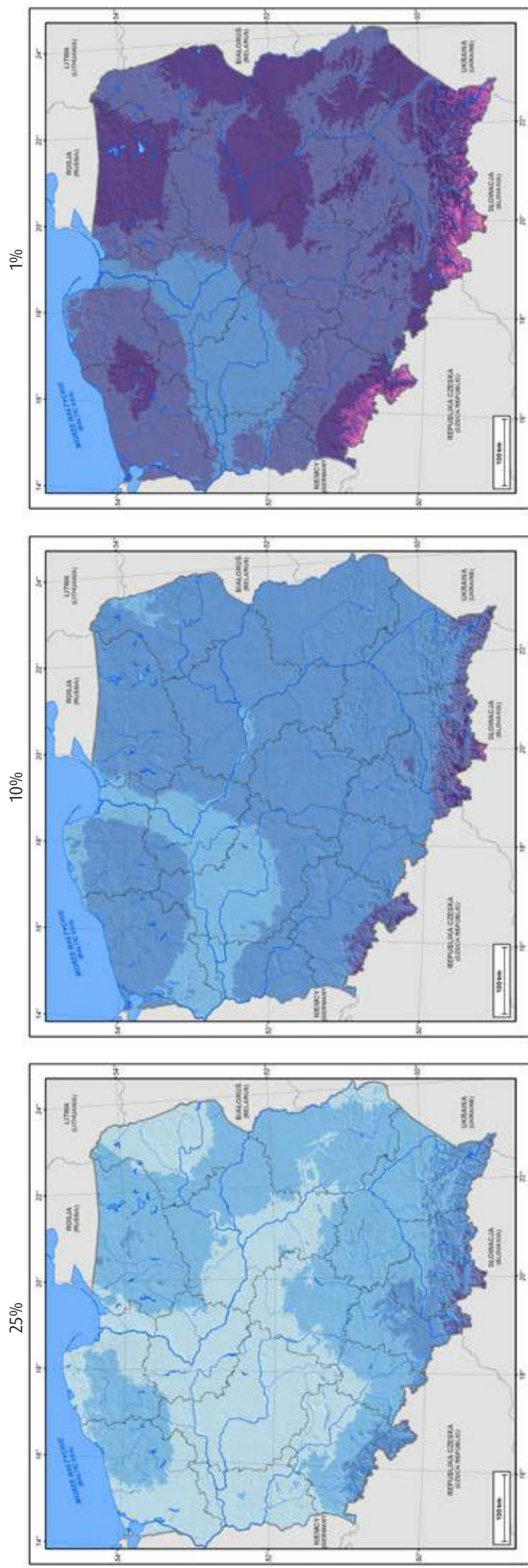


10%



1%



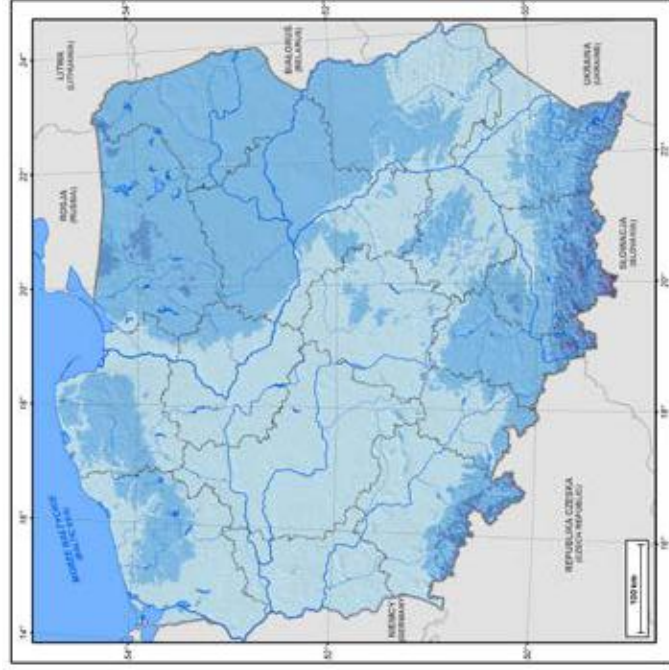


III dekada / 3rd ten-day period

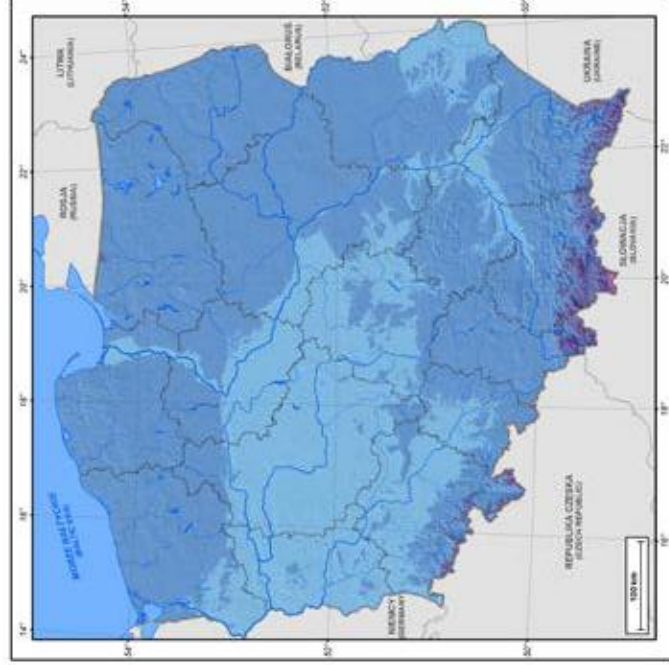
75

Maksymalny przyrost pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach listopada o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum growth in snow cover in each ten-day period of November with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

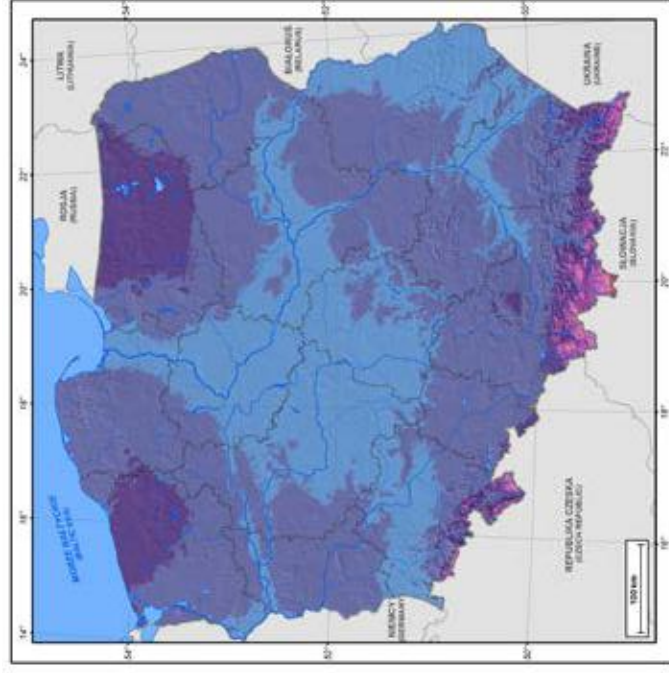
25%



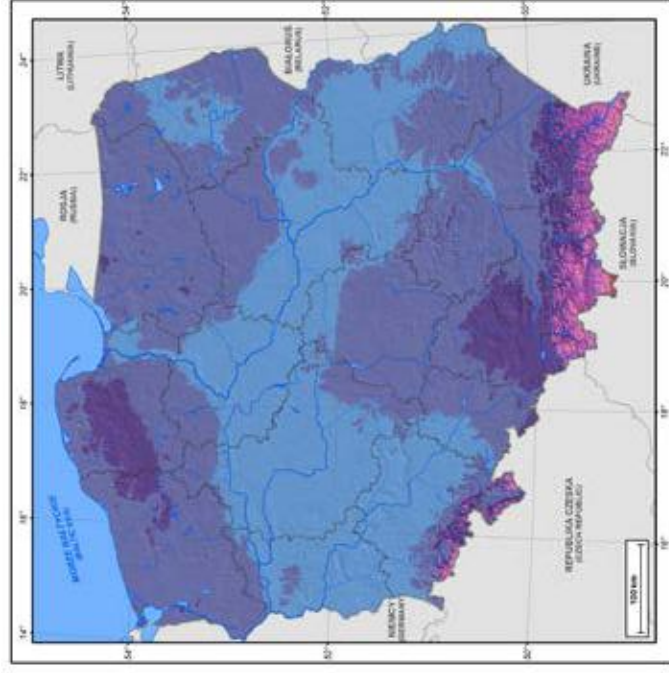
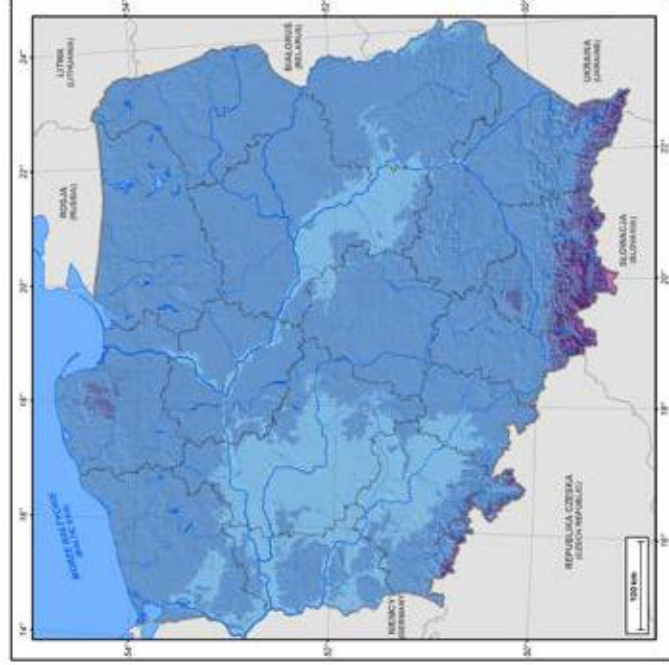
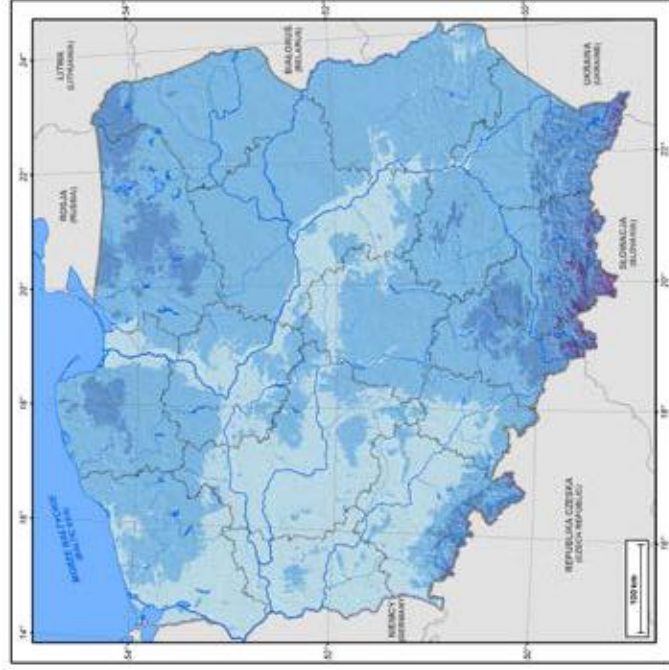
10%

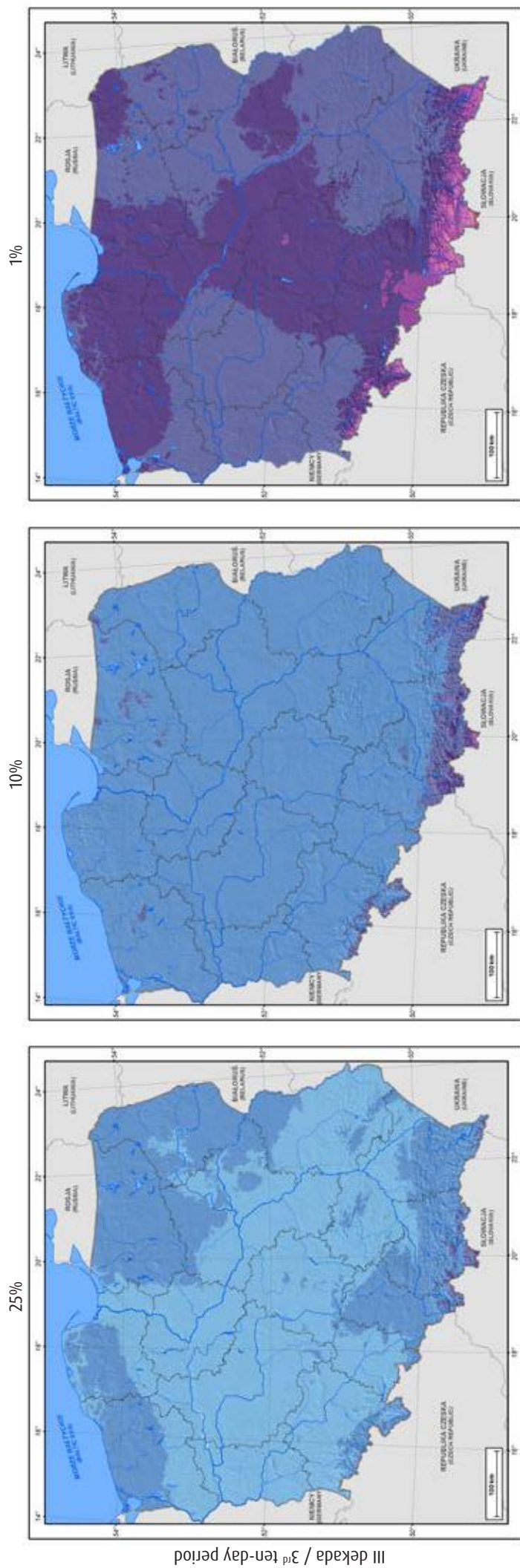


1%



II dekada / 2nd ten-day period



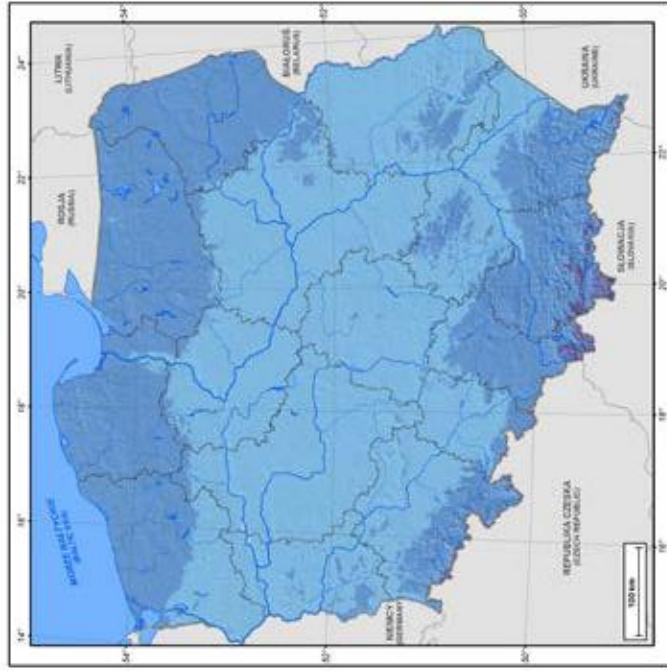


III dekada / 3rd ten-day period

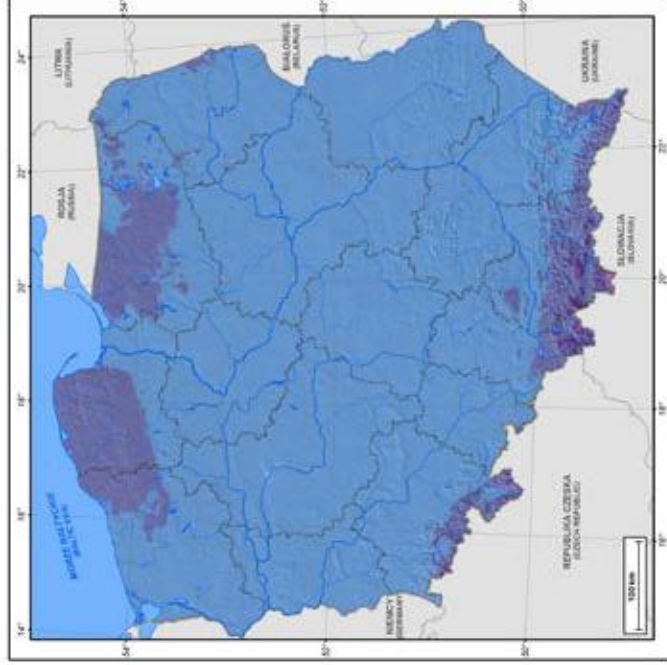
76

Maksymalny przyrost pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach grudnia o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum growth in snow cover in each ten-day period of December with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

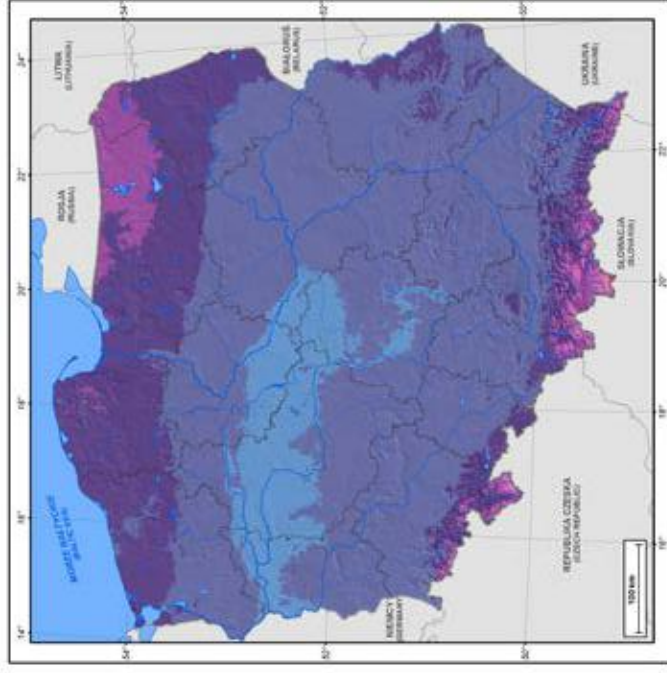
25%



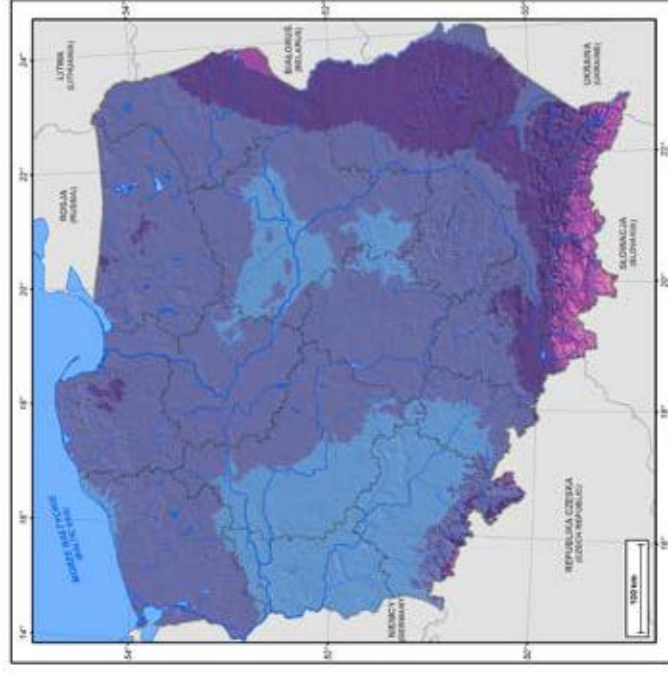
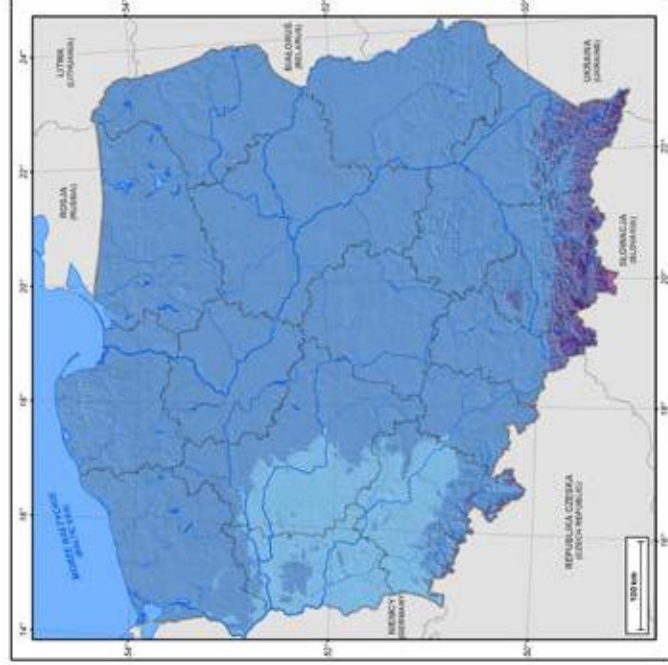
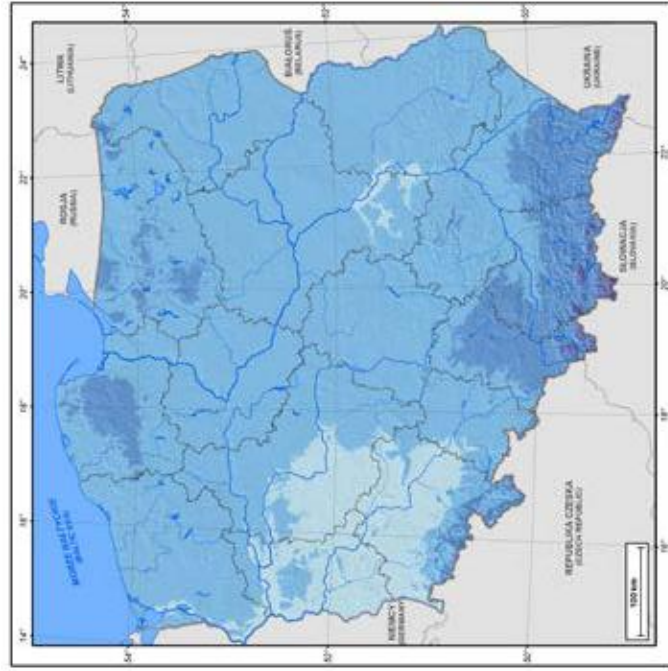
10%

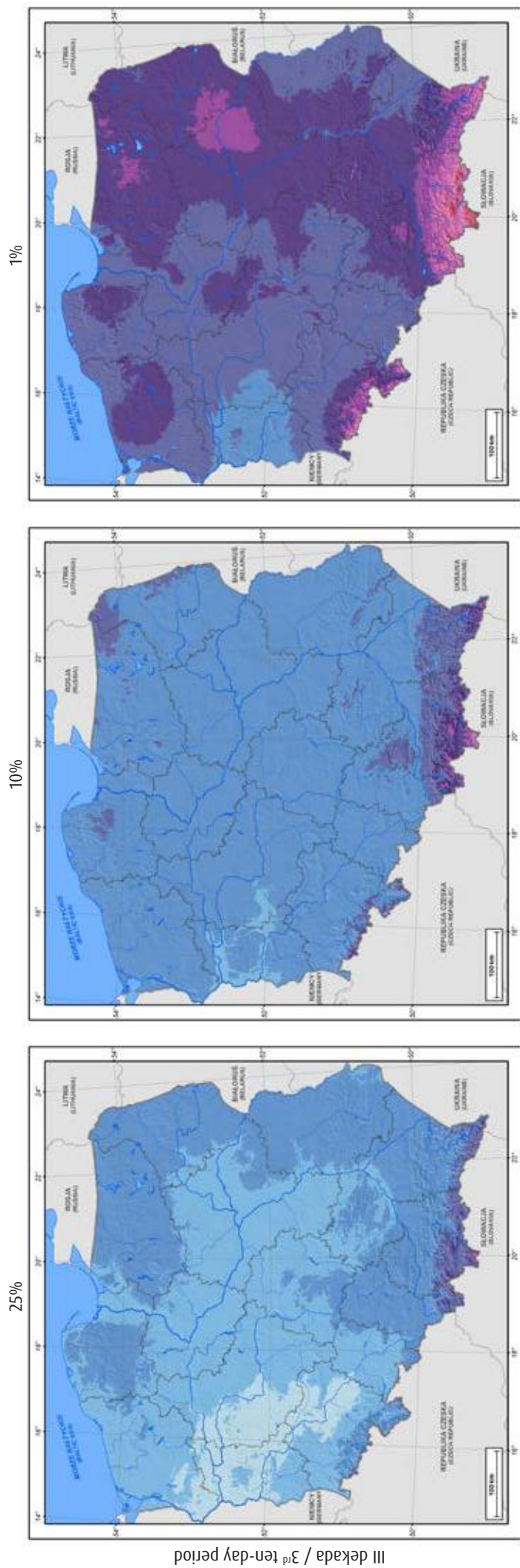


1%



II dekada / 2nd ten-day period

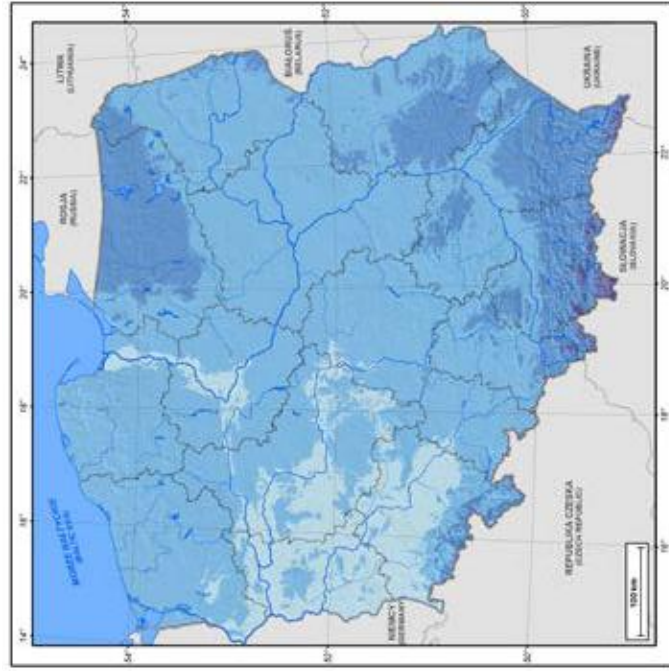




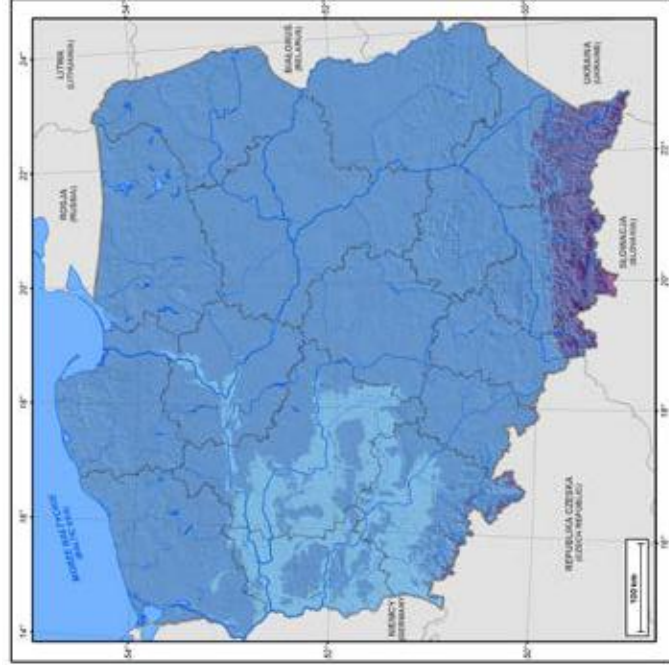
III dekada / 3rd ten-day period

Maksymalny przyrost pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach stycznia o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum growth in snow cover in each ten-day period of January with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

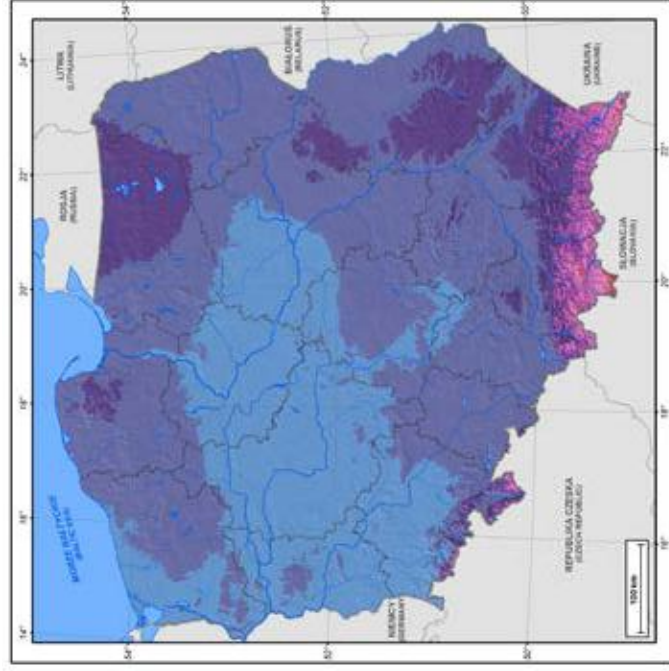
25%



10%

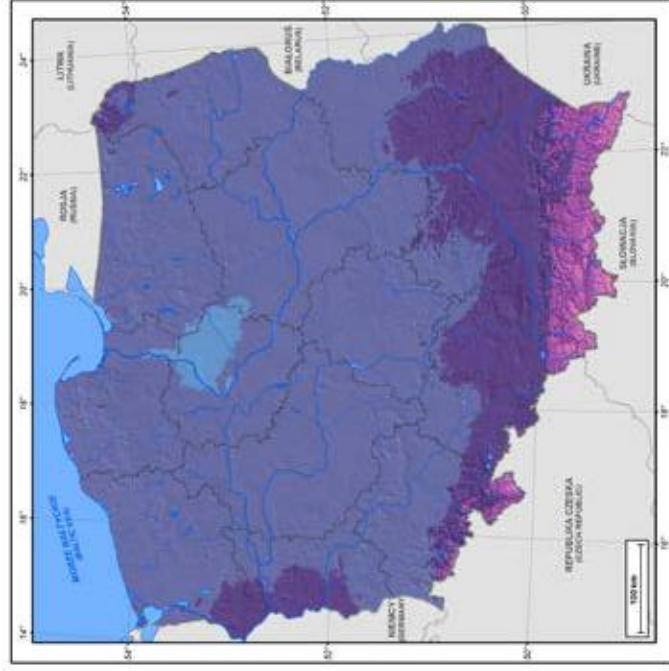
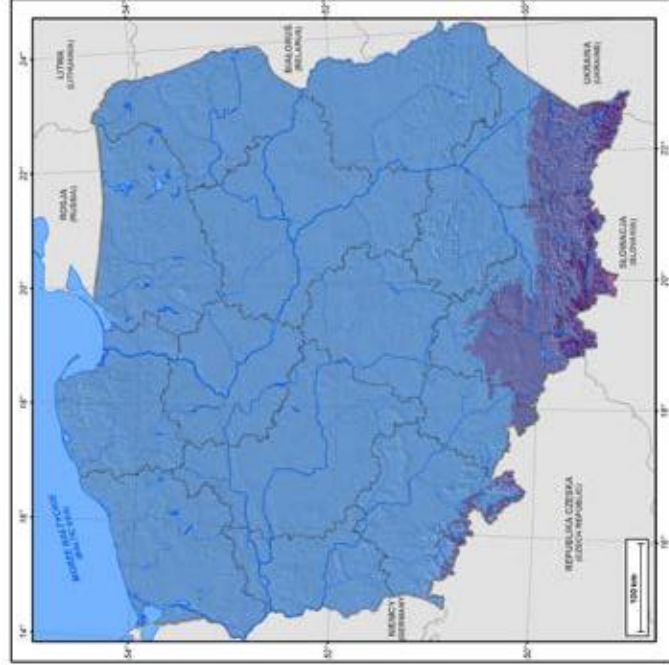
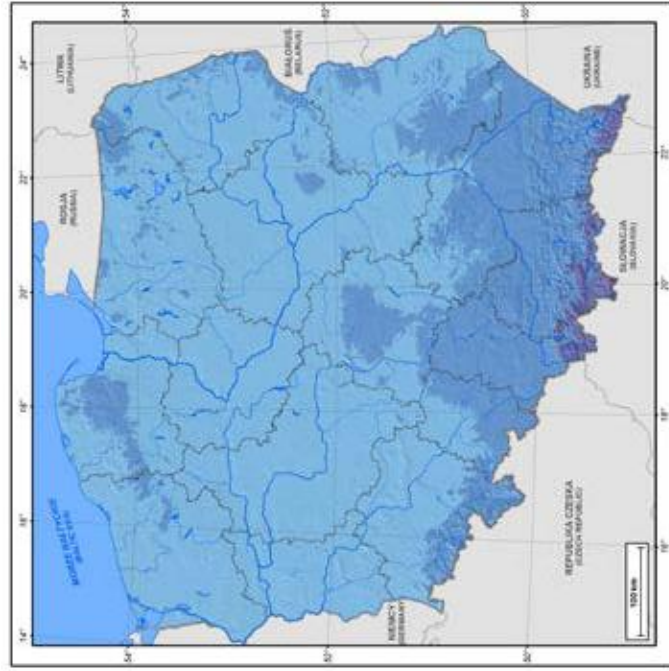


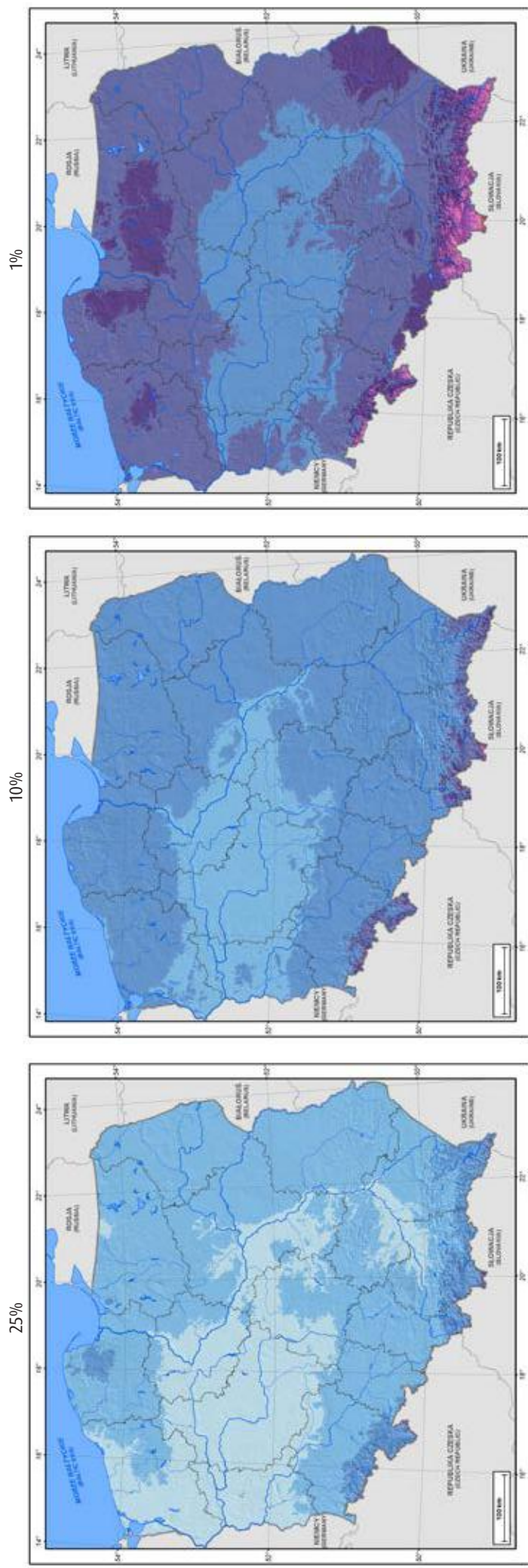
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period



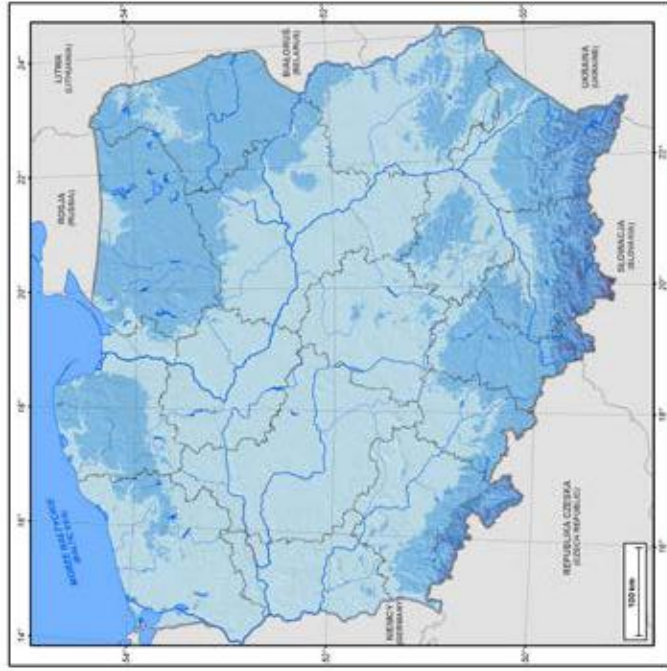


III dekada / 3rd ten-day period

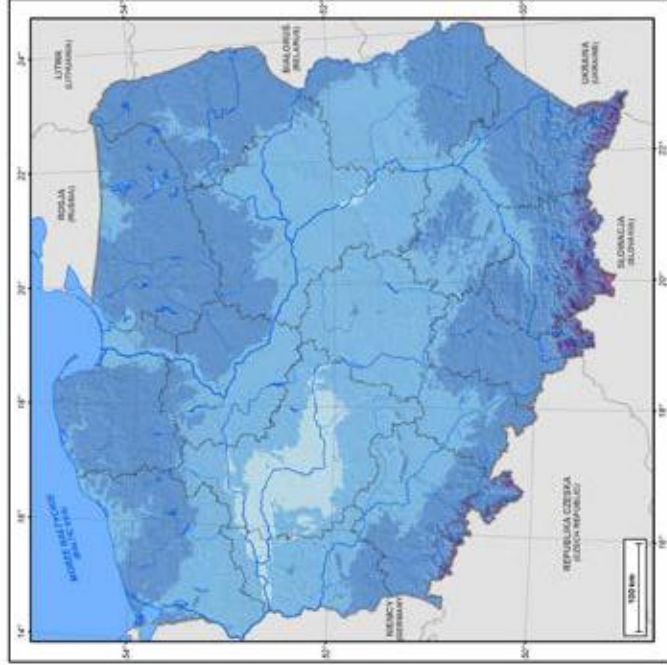
78

Maksymalny przyrost pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach lutego o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum growth in snow cover in each ten-day period of February with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

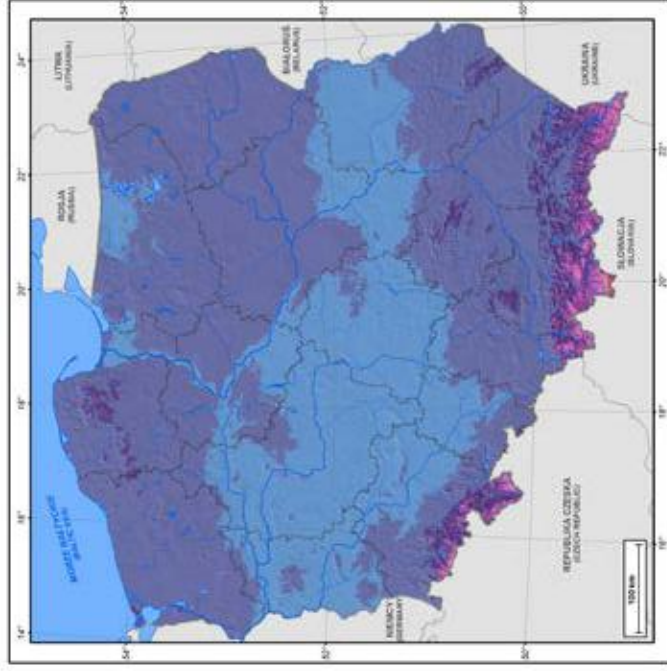
25%



10%

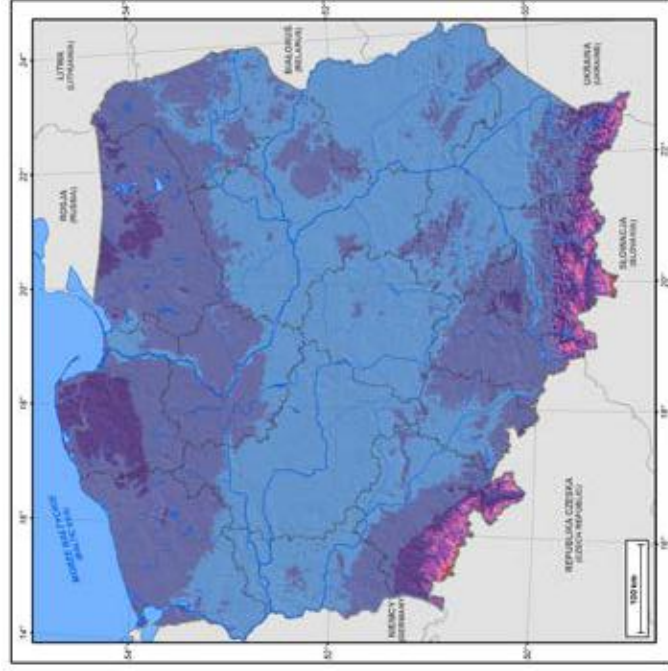
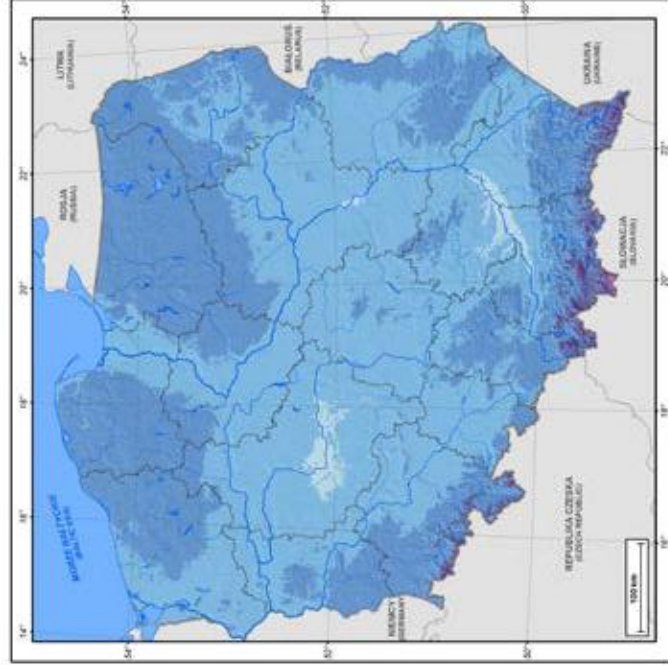
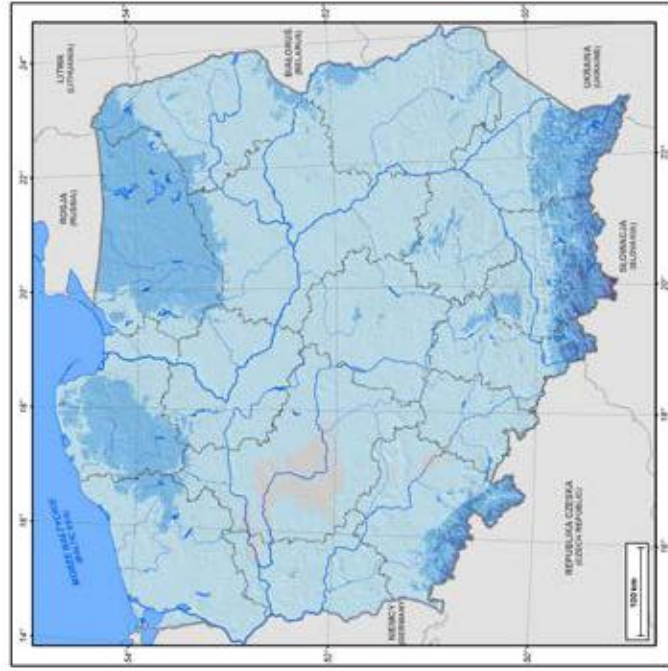


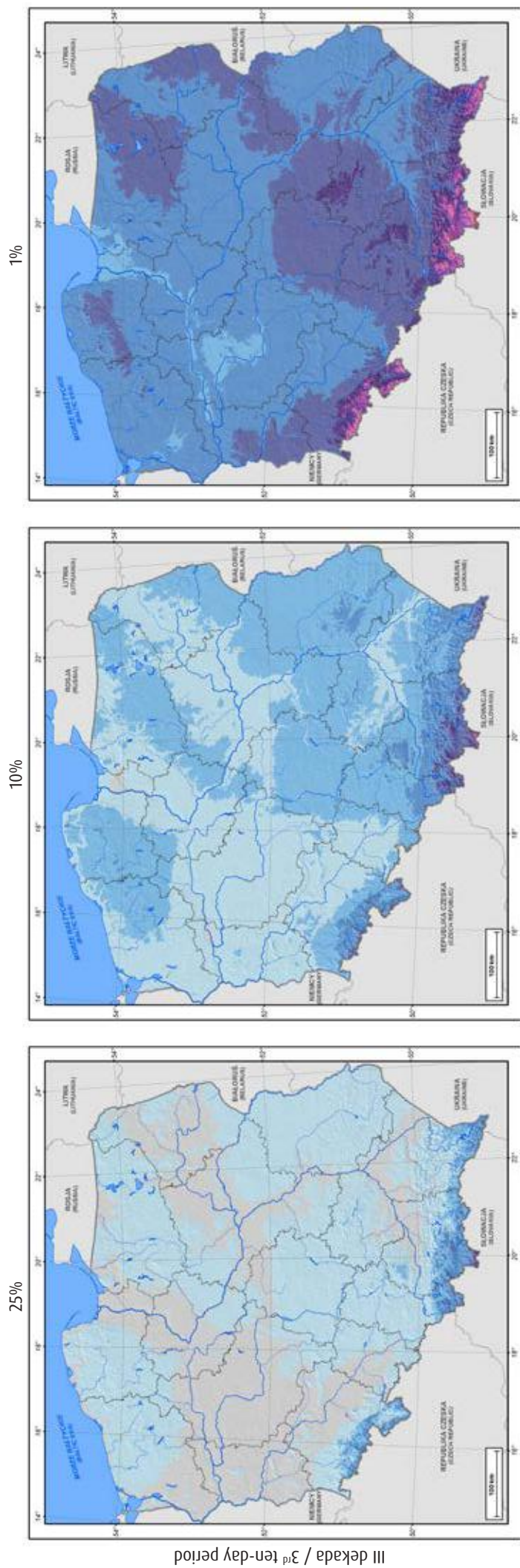
1%



I dekada / 1st ten-day period

II dekada / 2nd ten-day period





III dekada / 3rd ten-day period

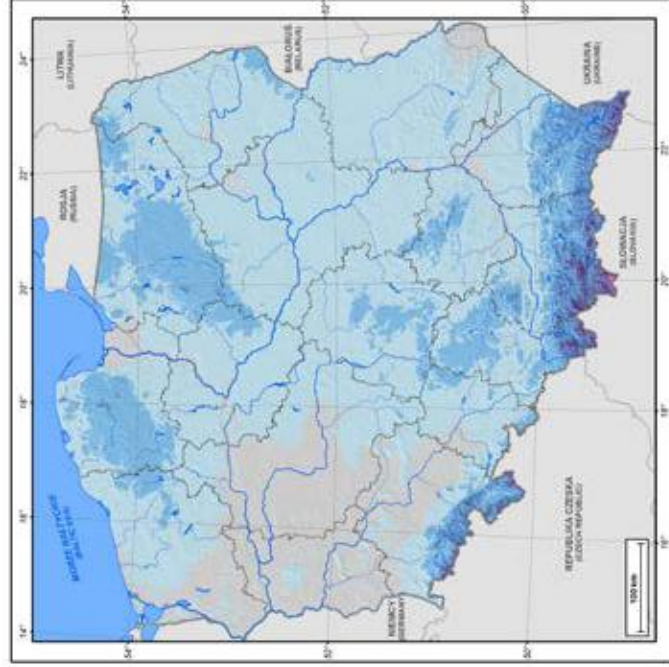
79

Maksymalny przyrost pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach marca o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum growth in snow cover in each ten-day period of March with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%

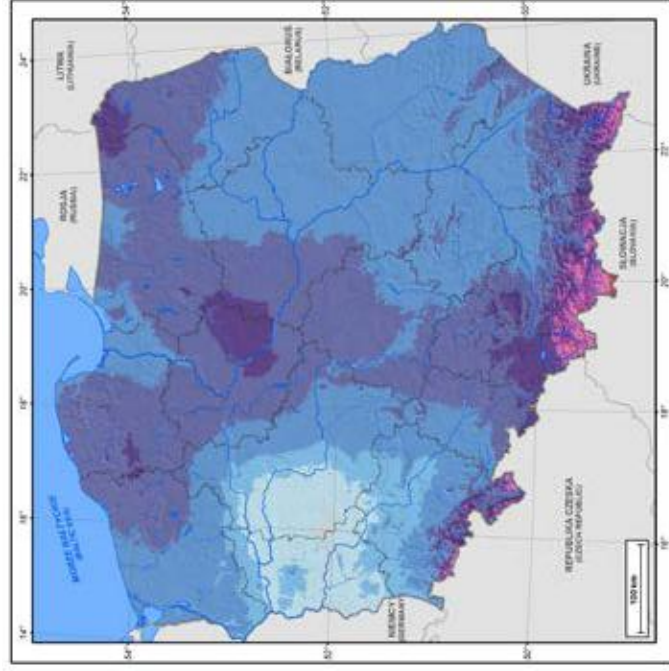
25%



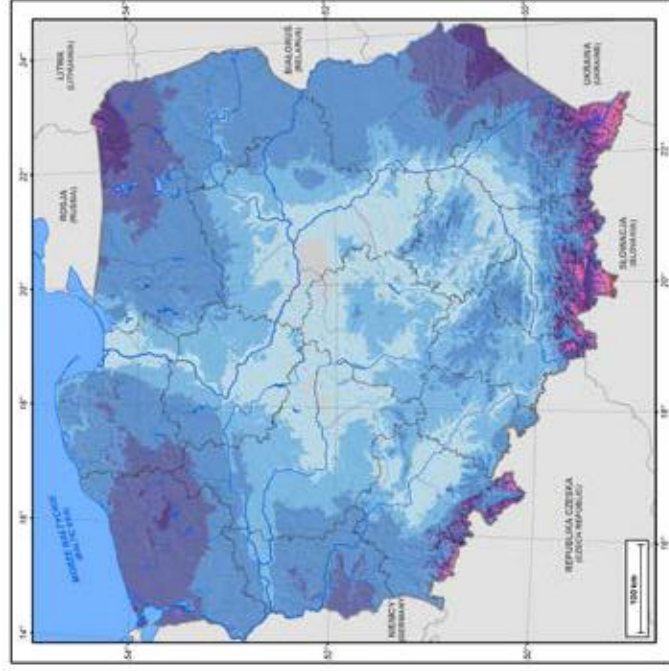
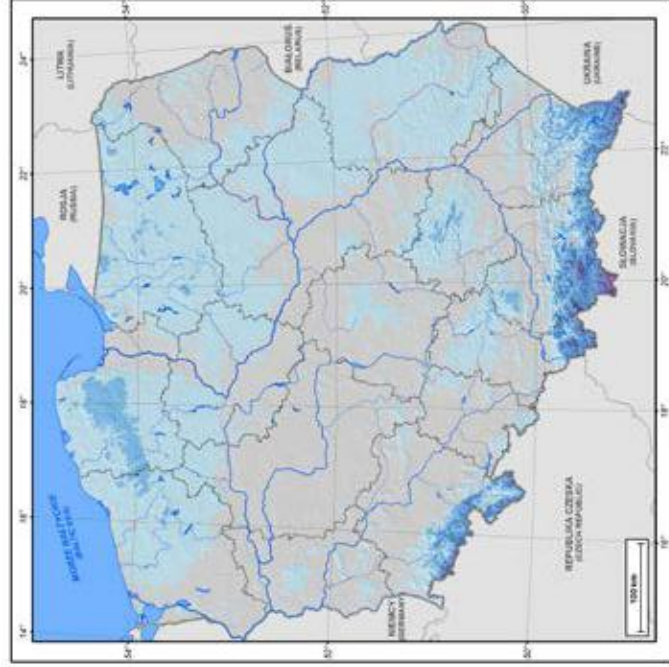
10%

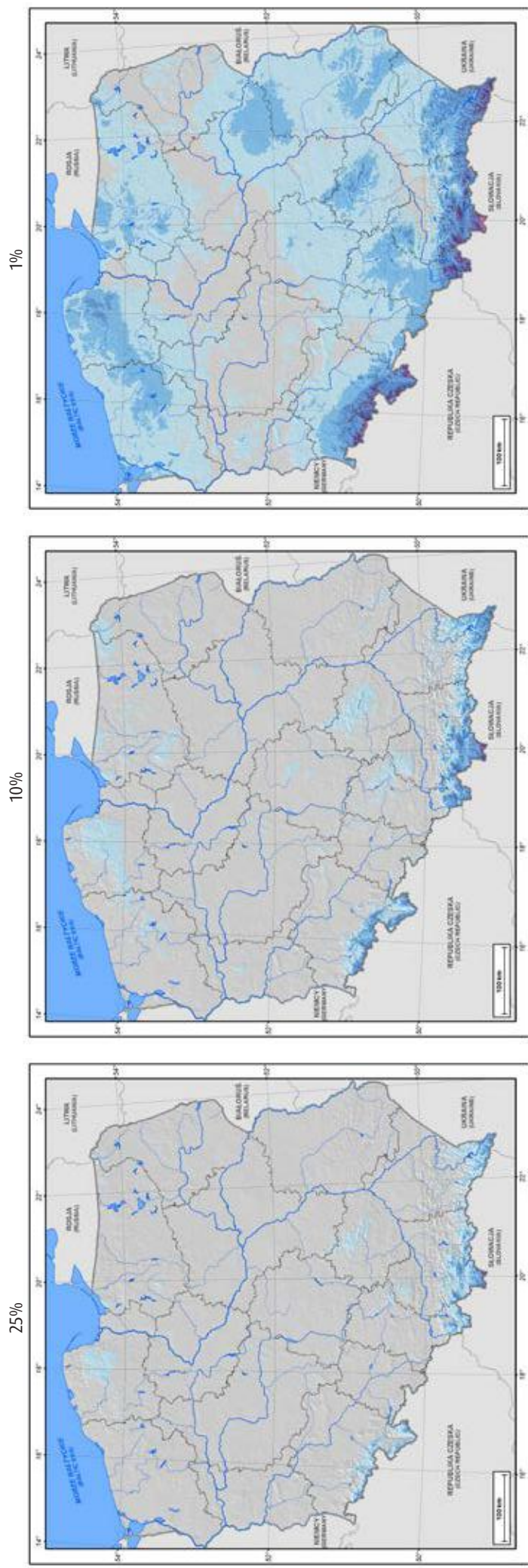


1%



II dekada / 2nd ten-day period

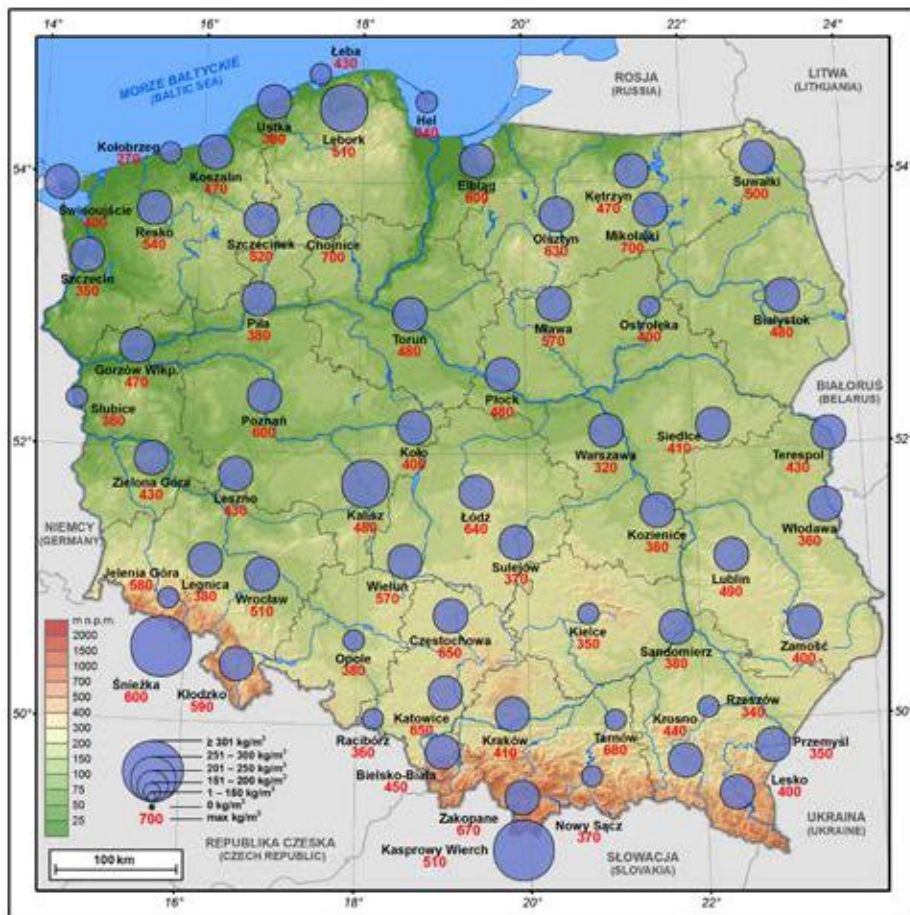




III dekada / 3rd ten-day period

80

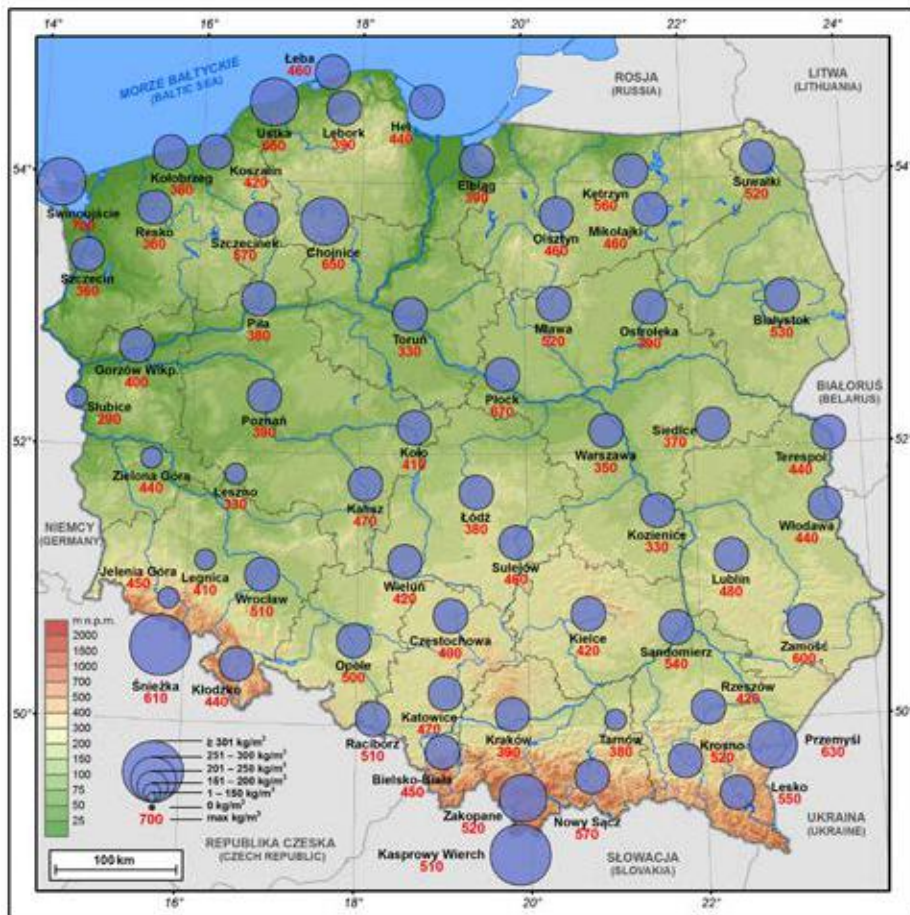
Maksymalny przyrost pokrywy śnieżnej w kolejnych dekadach kwietnia o prawdopodobieństwie wystąpienia 25%, 10%, 1%
 Maximum growth in snow cover in each ten-day period of April with an occurrence probability of 25%, 10%, 1%



83

Średnia i maksymalna gęstość sniegu w II dekadzie stycznia

Mean and maximum snow density in the 2nd ten-day period of January



84

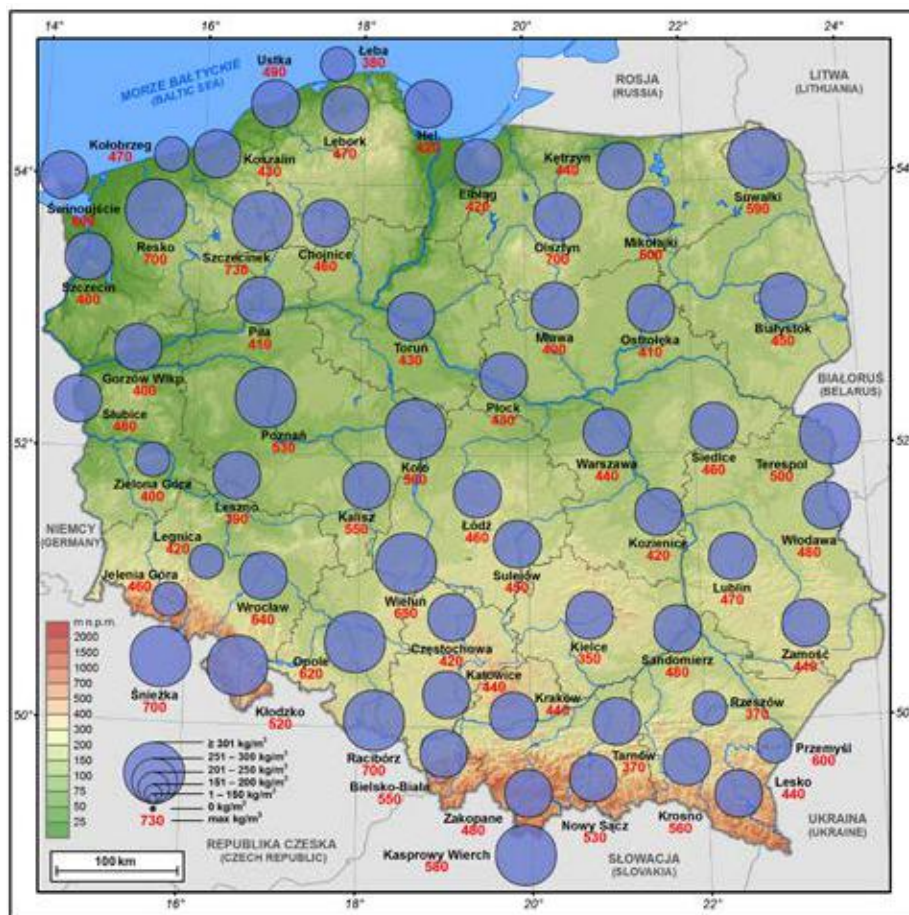
Średnia i maksymalna gęstość sniegu w II dekadzie lutego

Mean and maximum snow density in the 2nd ten-day period of February

85

Średnia i maksymalna gęstość śniegu w II dekadzie marca

Mean and maximum snow density in the 2nd ten-day period of March



86

Średni i maksymalny zapas wody w pokrywie śnieżnej w II dekadzie listopada

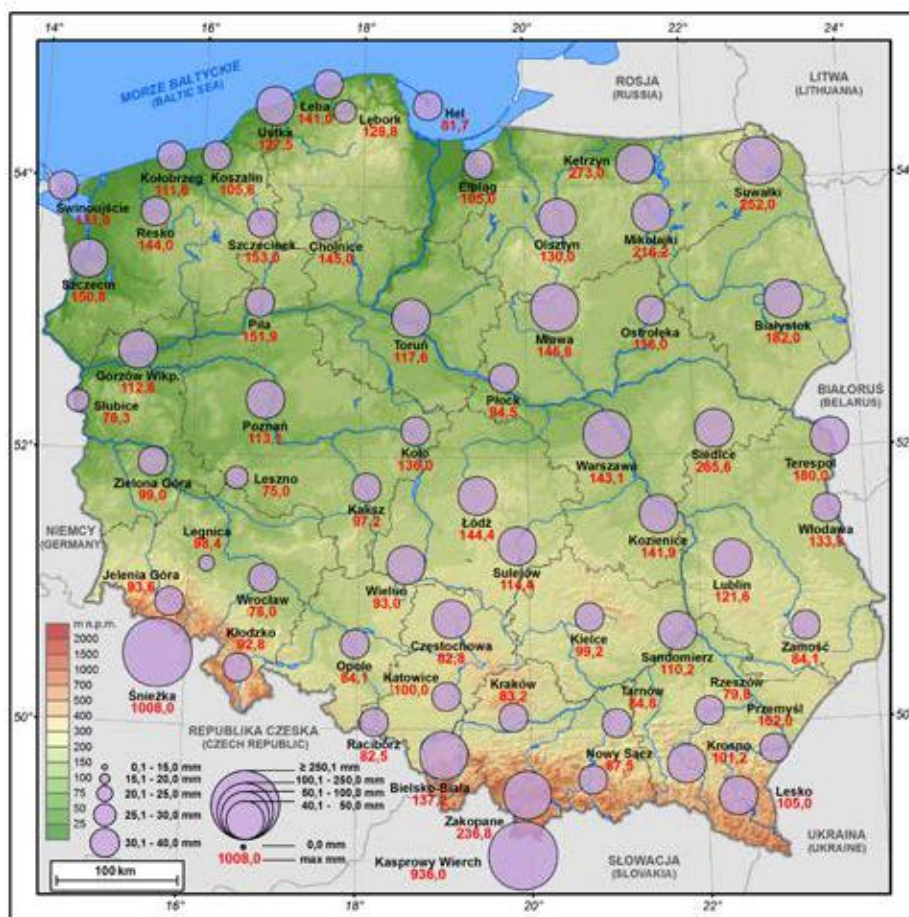
Mean and maximum water content of the snow cover in the 2nd ten-day period of November



89

Średni i maksymalny zapas wody w pokrywie śnieżnej w II dekadzie lutego

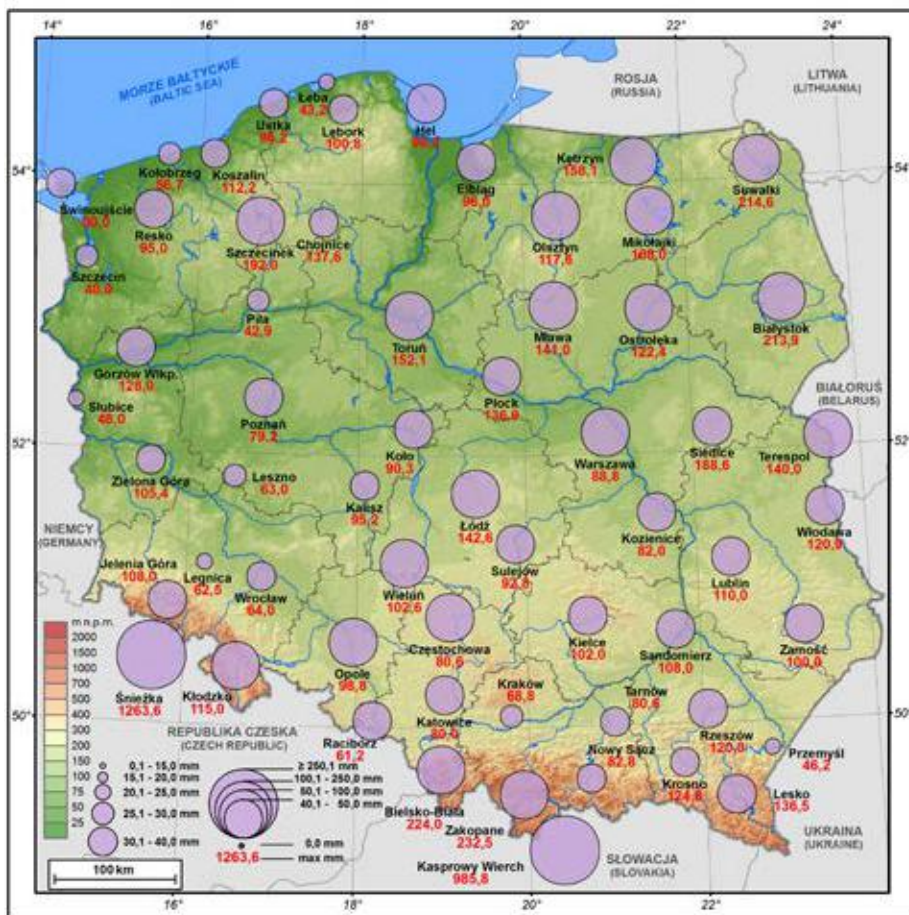
Mean and maximum water content of the snow cover in the 2nd ten-day period of February



90

Średni i maksymalny zapas wody w pokrywie śnieżnej w II dekadzie marca

Mean and maximum water content of the snow cover in the 2nd ten-day period of March





Silny wiatr

Strong wind

Definicja meteorologicznego zjawiska ekstremalnego odnosi się do wartości progowej tego zjawiska, po której przekroczeniu widoczne są niszczyielskie skutki zagrażające ludności i infrastrukturze technicznej obszaru dotkniętego jego zasięgiem (Lorenc 1996, 2012). W przypadku przytaczanych rekordowych prędkości wiatru zazwyczaj rozumie się przez nie prędkość wiatru w porywie (QNT). Jest to maksymalna, chwilowa (2-3 s) prędkość, przewyższająca o co najmniej 5 m/s 2-minutową prędkość wiatru średniego (WMO 2012). Najczęściej przyjmuje się, że pierwsze zauważalne zniszczenia powodowane oddziaływaniem siły wiatru mogą być widoczne już przy prędkości porywu powyżej 17 m/s (Lorenc 2012). Wymieniony próg prędkości wiatru stanowi jednocześnie dolne ograniczenie skali F0 (18-32 m/s) klasyfikacji Fujity-Pearsona, oceniającej skalę zniszczeń wywołanych dużymi prędkościami wiatru. W Polsce częściej stosowane jest jednak kryterium, w którym dolnym ograniczeniem niebezpiecznej średniej 10-minutowej prędkości wiatru jest wartość 15 m/s, a dla porywów wiatru (QNT) wartość ta wynosi 20 m/s. Są to empiryczne wartości, które uznano za stwarzające zagrożenie dla życia i mienia ludzkiego (ryc. 91-93). Warto jednak zaznaczyć, że nawet przy znacznie mniejszych wartościach średnich prędkości i porywów wiatru (zwłaszcza w połączeniu z innymi elementami meteorologicznymi) mogą one stwarzać zagrożenie dla zdrowia, życia i mienia człowieka (np. w transporcie, energetyce, budownictwie, leśnictwie, sadownictwie, turystyce, przy organizacji imprez masowych na otwartym powietrzu, itd.).

Mapy zagrożeń silnym wiatrem w ujęciu klimatologicznym prezentują w postaci sygnatur maksymalne prędkości wiatru w porywie, notowane na stacjach, oraz występujące z prawdopodobieństwem raz na 10 lat (ryc. 94-105) oraz ich zróżnicowanie w przestrzeni. W tym ostatnim przypadku jednak - ze względu na skąpą sieć pomiarową oraz znaczne zmiany w oprzyrządowaniu stacji - wykorzystano dane pochodzące z numerycznego modelu mezoskalowego WRF-ARW 3.2.1. (Soares i in. 2012) (ryc. 106).

The definition of an extreme meteorological phenomenon refers to its threshold value, which, when exceeded, effects destructive and hazardous to people and technical infrastructure are visible in the area affected (Lorenc 1996, 2012). In the case of the referenced record-breaking wind speed cases, they are generally understood as wind speed gust (QNT). It is a maximum momentary (2-3 seconds) wind speed that exceeds the 2-minute long average wind speed for at least 5 m/s (WMO 2012). Most often it is accepted that the first noticeable effects of wind force can be observed when gusts are higher than 17 m/s (Lorenc 2012). At the same time, this threshold is the lower limitation of the F0 (18-32 m/s) scale in the Fujita-Pearson classification, which rates damage caused by strong winds. In Poland, however, a criterion is used more often, which sets the lower limitation of the dangerous average 10-minute long wind speed to 15 m/s, and 20 m/s for gusts (QNT). These are the empirical values that are considered to be dangerous for both people and their property (Fig. 91-93). It is worth highlighting that even when the mean values of wind speed and gusts are significantly lower (especially when other meteorological elements are involved), they may become dangerous for human health, life, and property.

In a climatological approach, strong-wind hazard maps represent in the form of signatures, maximum wind speed in gusts recorded on stations with a probability of occurrence of one-in-ten years (Fig. 94-105) supplemented with the information on their spatial differentiation. In the last case, however, because of the scarce network of measurement sites and considerable changes in the equipment used, data from the WRF-ARW 3.2.1 mesoscale numerical model were used (Soares et al. 2012) (Fig. 106).

Lokalny charakter występowania silnego wiatru dotyczy przede wszystkim obszarów górskich, zwłaszcza w rejonie Sudetów oraz Tatr wraz z Podhalem, gdzie obserwuje się występowanie fenu (na Podhalu określanego wiatrem halnym). Rekordowe prędkości wiatru w szczytowych partiach gór mogą przekraczać w porywach 50 m/s (około 180 km/h), a na odizolowanych szczytach górskich – nawet 80 m/s (około 290 km/h). Do największych zagrożeń związanych z wystąpieniem zjawisk fenowych należy zaliczyć przede wszystkim wiatrołomy obejmujące duże powierzchnie lasów. Zimą i wiosną wiatr fenowy powoduje gwałtowne topnienie pokrywy śnieżnej, a tym samym lokalne podtopienia lub powodzie. Fen i zjawiska z nim związane niekorzystnie wpływają także na fizjologię człowieka, obniżając komfort psychiczny.

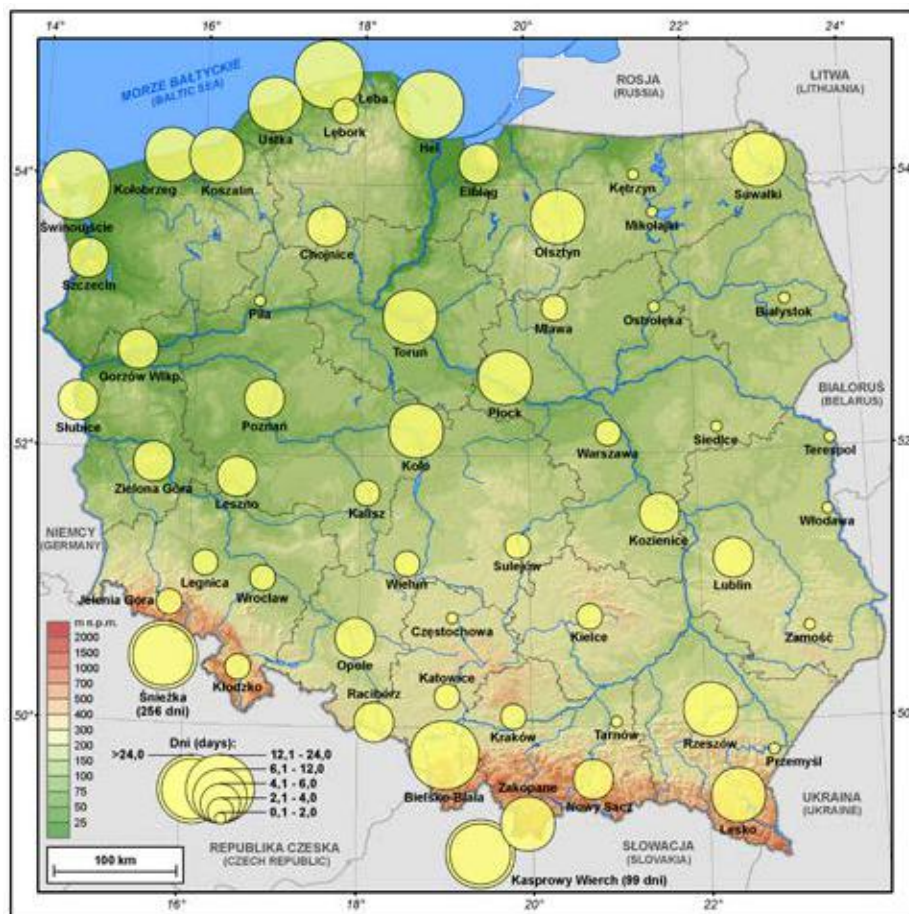
Należy jednak zauważyć, że w związku ze specyficznym charakterem przepływu mas powietrza, uzależnionym ściśle od konfiguracji terenu (rzeźby, rodzaju pokrycia terenu, osłonięcia przez przeszkody terenowe, itp.), prędkość wiatru podlega dużej zmienności czasowo-przestrzennej, co sprawia, że w dowolnym miejscu cechy wiatru lokalnego mogą się znacznie różnić od ogólnych charakterystyk wiatru w regionie. Mniejsza częstość występowania silnego wiatru jest typowa dla rozległych dolin i obniżeń terenu oraz na obszarach zurbanizowanych, natomiast większe prędkości występują w otoczeniu lokalnych, nieosłoniętych kulminacji terenu.

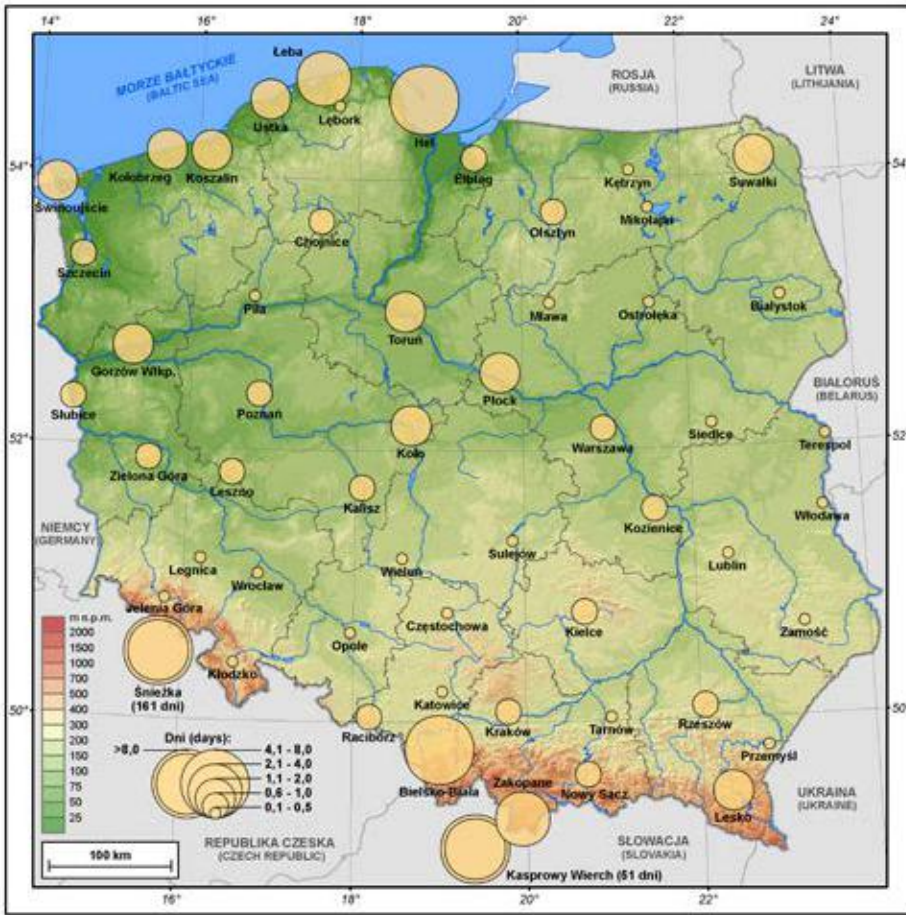
The local character of strong wind occurrence affects mainly mountainous areas: the Sudetes and Tatras with Podhale in particular, where foehn winds (referred to as halny in the Podhale region) are observed. At peak, wind gust velocities can exceed 50 m/s (approx. 180 km/h), and even 80 m/s (approx. 290 km/h) on isolated mountain tops. The most significant hazards associated with foehn winds are windfalls that affect large parts of forests. The winds during winter and spring lead to the rapid melting of snow and, consequently, local inundations and floods. Foehn winds and accompanying phenomena have a negative effect on human physiology by lowering mental comfort.

It is worth noting that because of the specific character of air mass flow, modified by the terrain (relief, land cover type, screening by various terrain objects, etc.), wind speed varies greatly in space and time. As a result, the characteristics of a local wind in a given place may be different than the general characteristics of wind in the region. Lower frequency of strong wind occurrence is typical for large valleys and lower areas as well as urban areas; in contrast, higher wind speeds are found in the vicinity of local, exposed terrain culminations.

91
Średnia liczba dni w roku z prędkościami wiatru powyżej I progu zagrożeń meteorologicznych ($15 \text{ m/s} < V_{\text{sr}} \leq 20 \text{ m/s}$ lub $20 \text{ m/s} < QNT \leq 25 \text{ m/s}$)

Mean annual number of days with wind speeds exceeding the 1st meteorological warning level ($15 \text{ m/s} < V_{\text{av}} \leq 20 \text{ m/s}$ or $20 \text{ m/s} < QNT \leq 25 \text{ m/s}$)

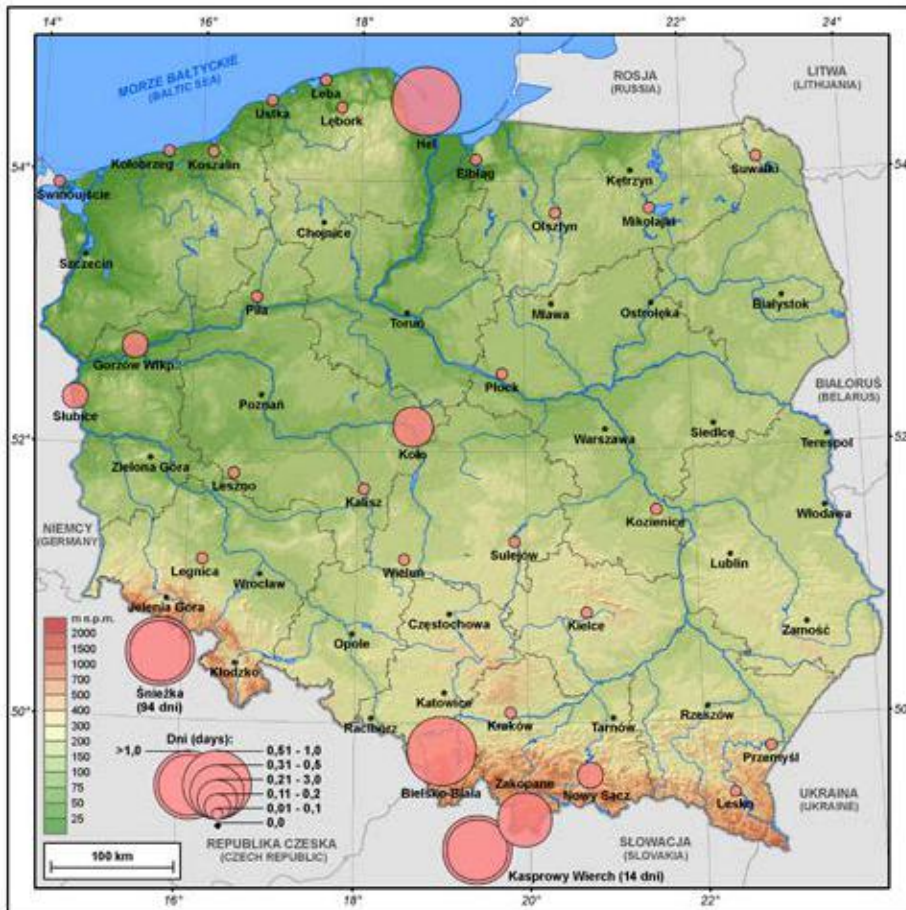




92

Średnia liczba dni w roku z prędkościami wiatru powyżej II progu zagrożeń meteorologicznych ($20 \text{ m/s} < V_{sr} \leq 25 \text{ m/s}$ lub $25 \text{ m/s} < QNT \leq 32 \text{ m/s}$)

Mean annual number of days with wind speeds exceeding the 2st meteorological warning level ($20 \text{ m/s} < V_{av} \leq 25 \text{ m/s}$ or $25 \text{ m/s} < QNT \leq 32 \text{ m/s}$)



93

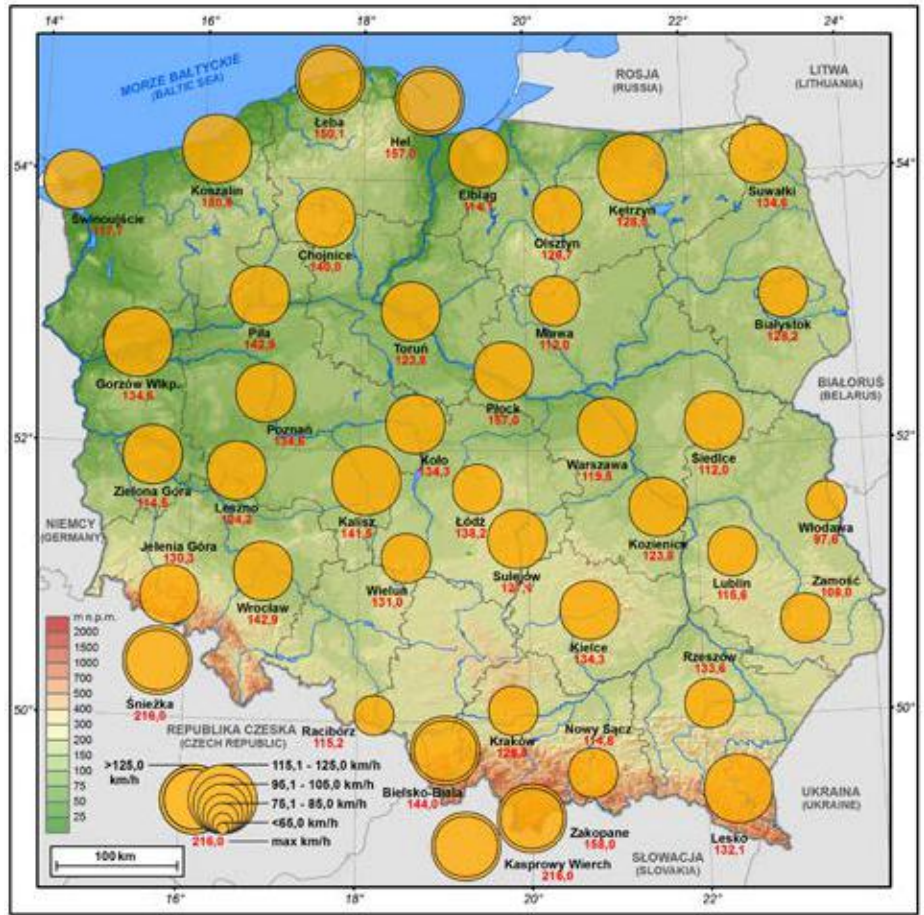
Średnia liczba dni w roku z prędkościami wiatru powyżej III progu zagrożeń meteorologicznych ($V_{sr} > 25 \text{ m/s}$ lub $QNT > 32 \text{ m/s}$)

Mean annual number of days with wind speeds exceeding the 3rd meteorological warning level ($V_{av} > 25 \text{ m/s}$ or $QNT > 32 \text{ m/s}$)

94

Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie w styczniu

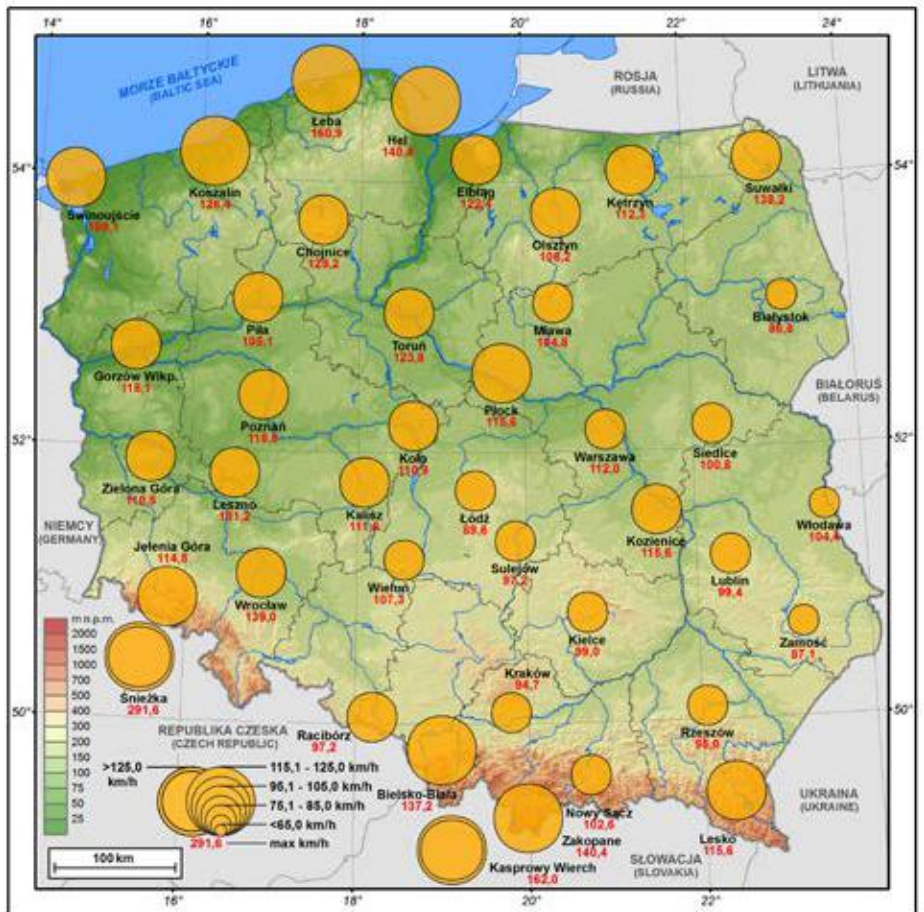
Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in January

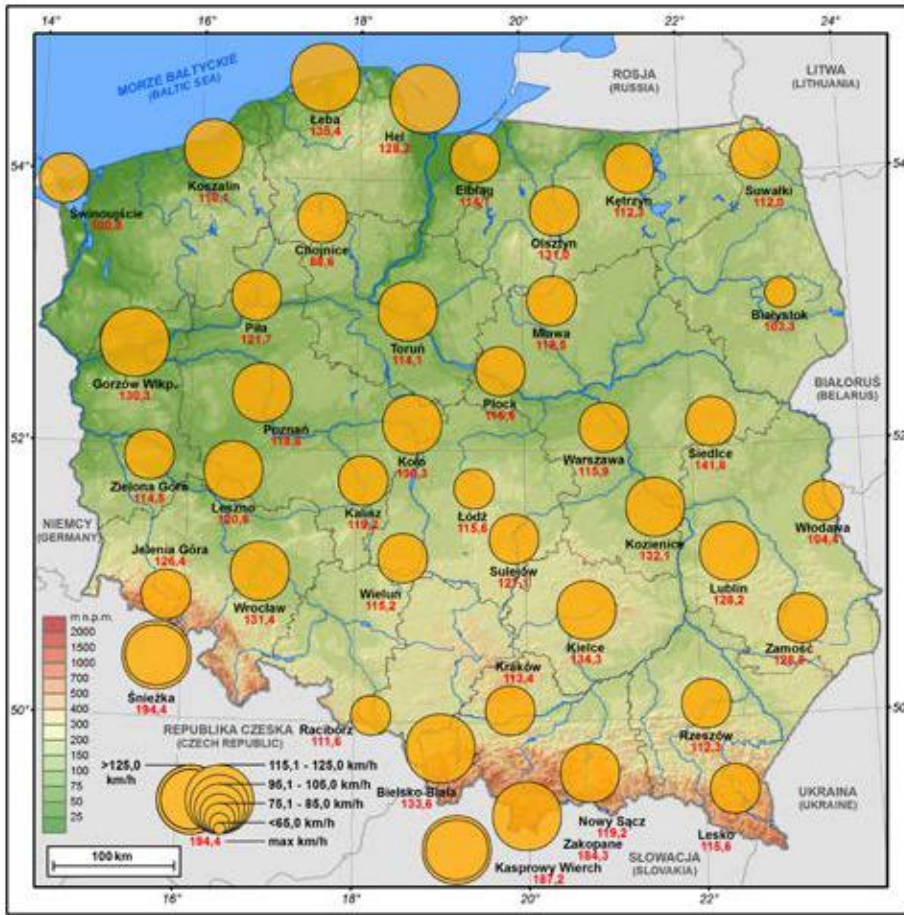


95

Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie w lutym

Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in February

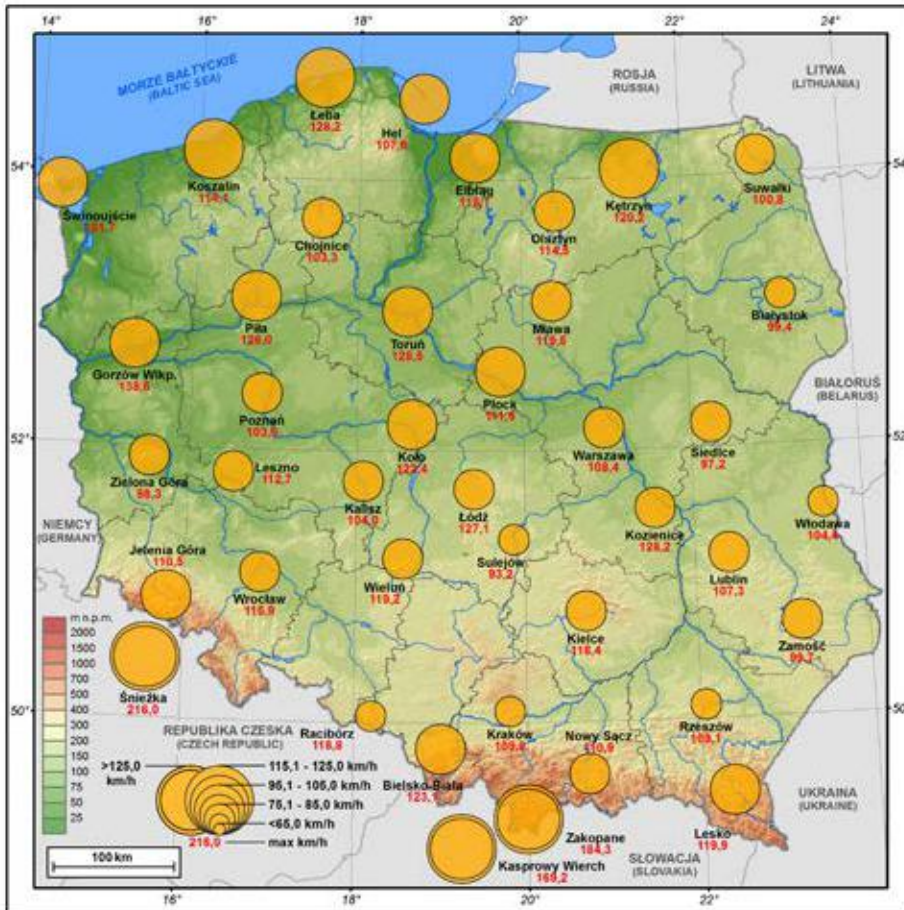




96

Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie w marcu

Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in March



97

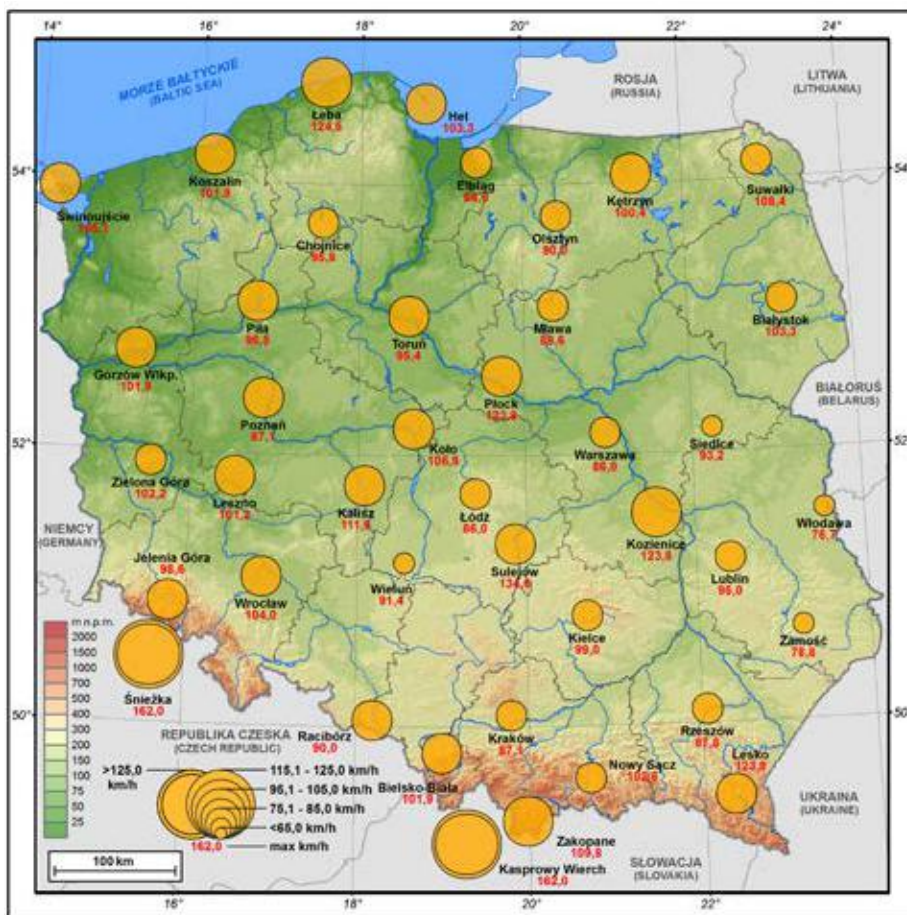
Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie w kwietniu

Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in April

98

Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie w maju

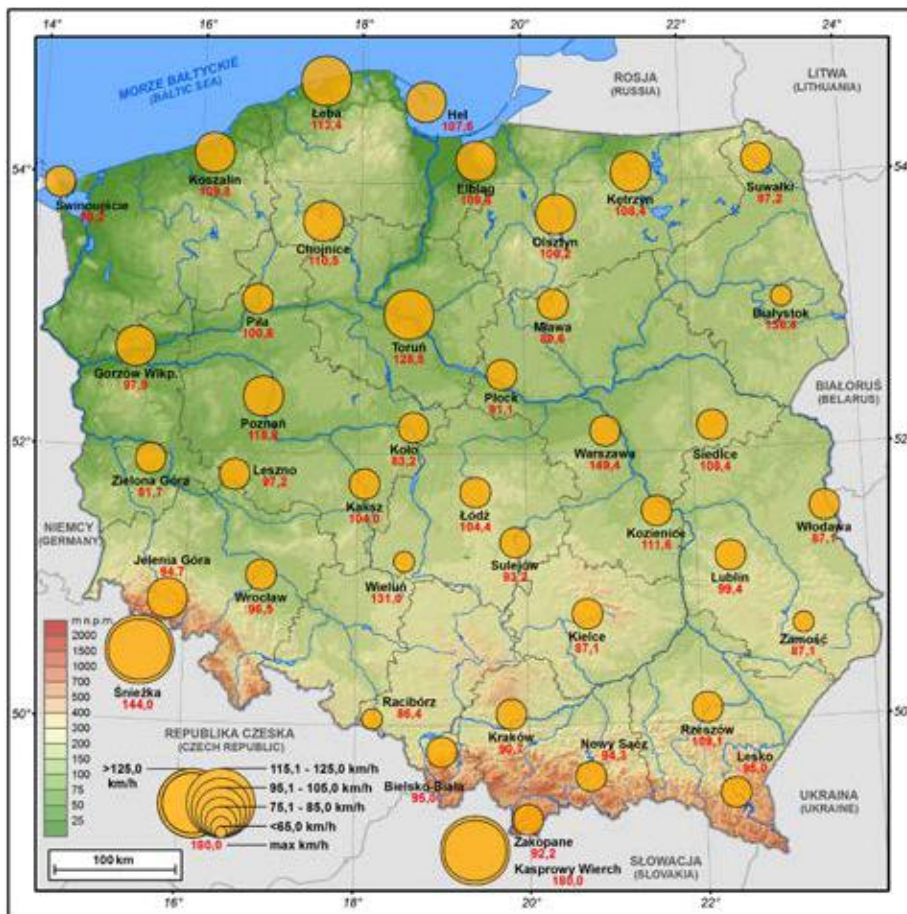
Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in May

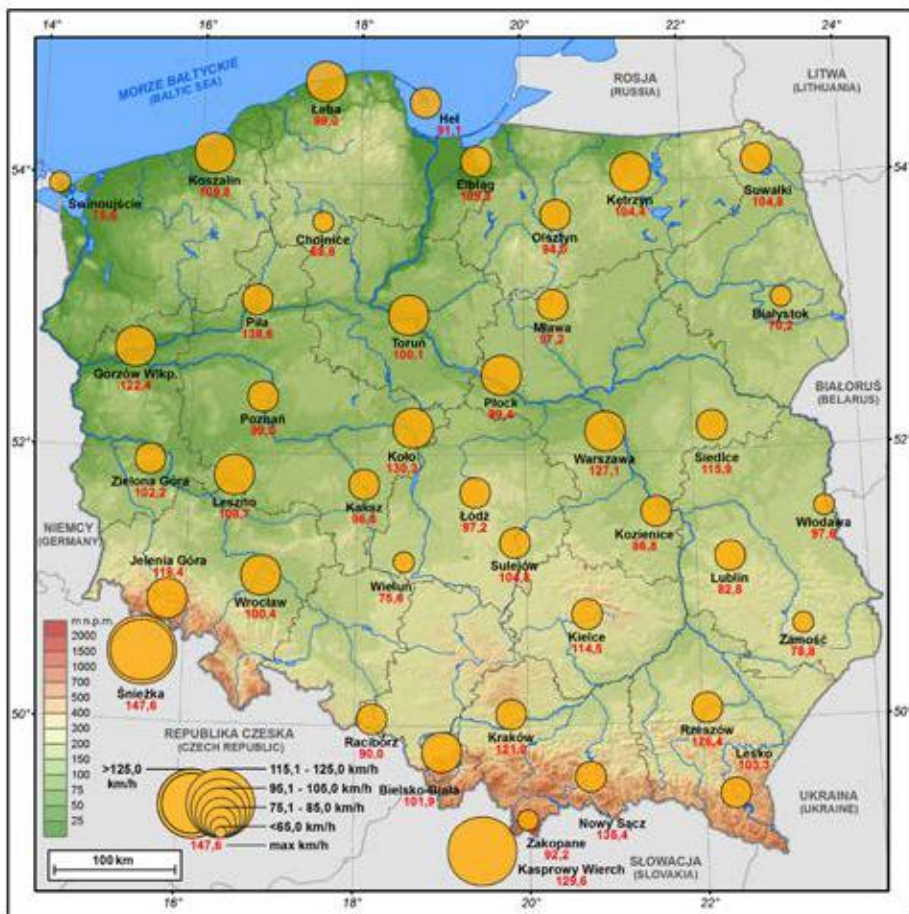


99

Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie w czerwcu

Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in June

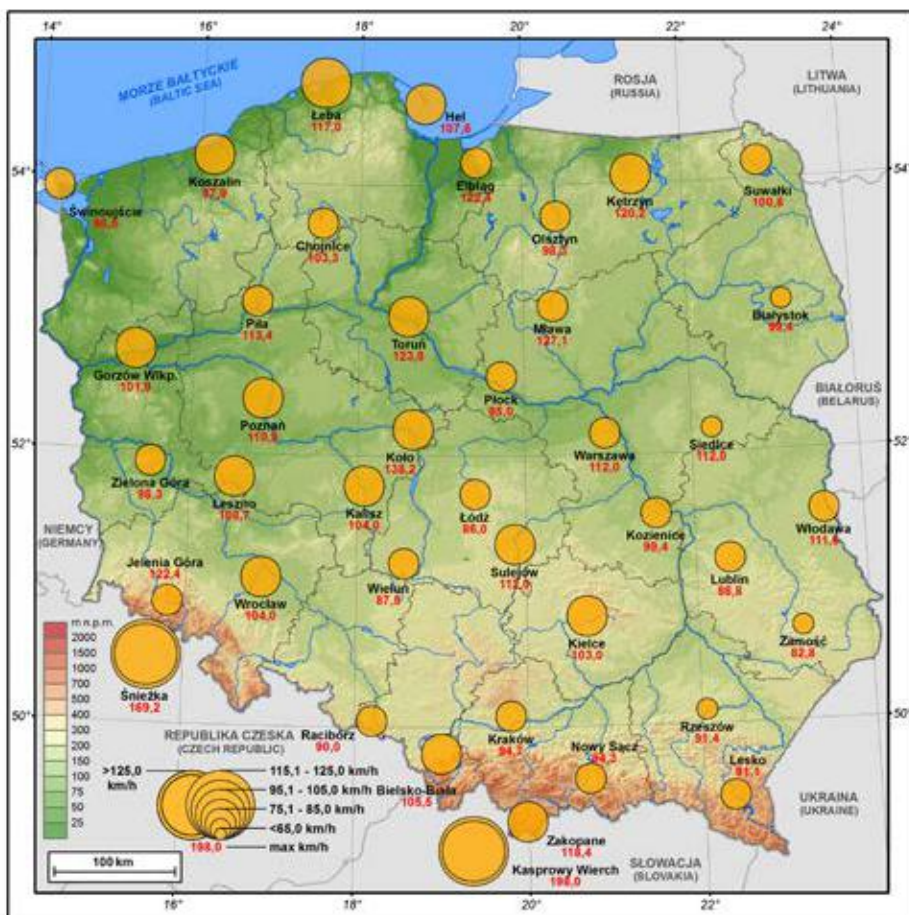




100

Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie w lipcu

Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in July



101

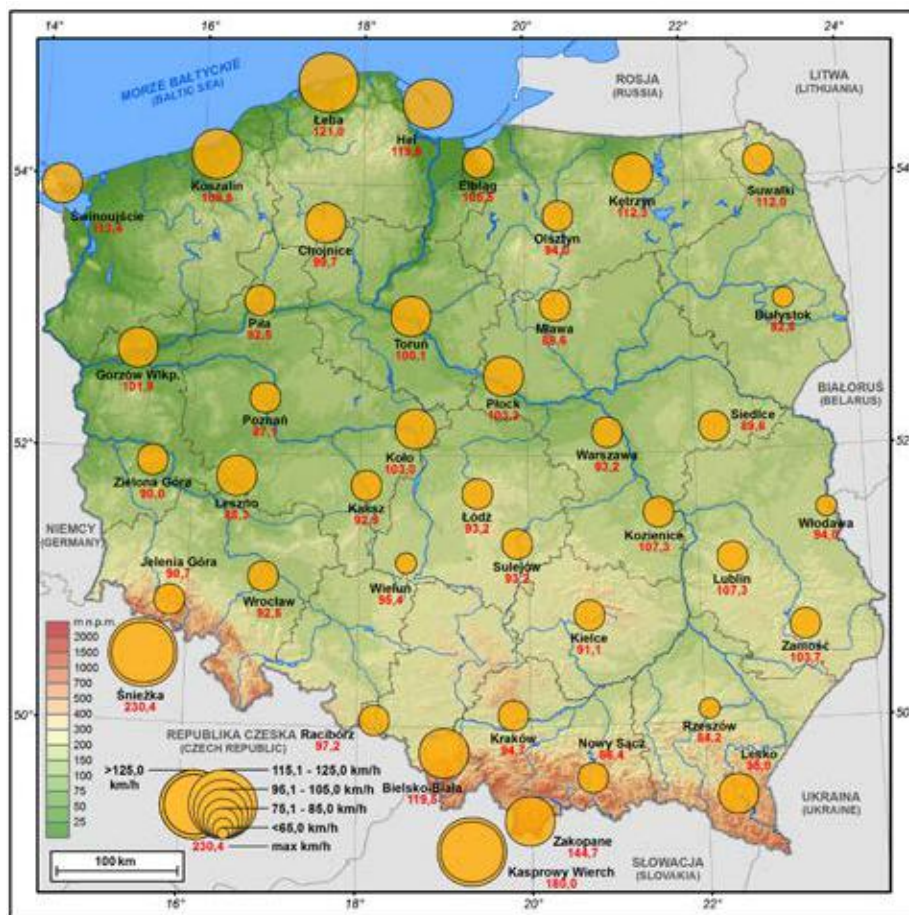
Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie w sierpniu

Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in August

102

Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie we wrześniu

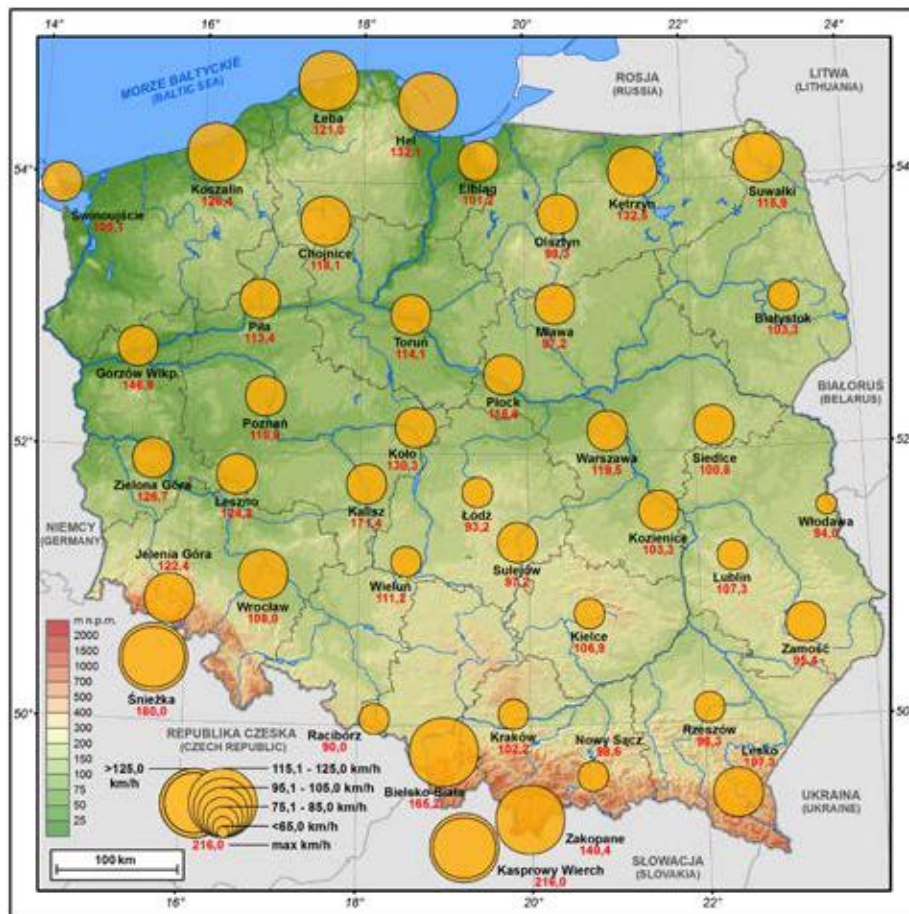
Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in September

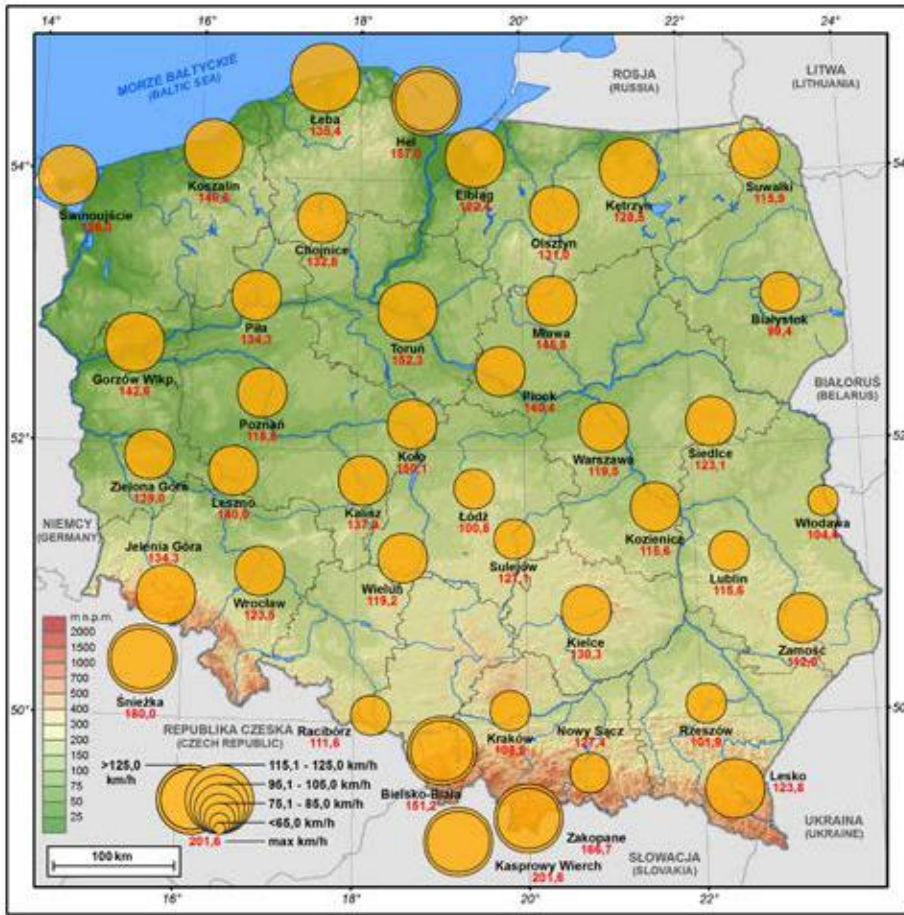


103

Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie w październiku

Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in October

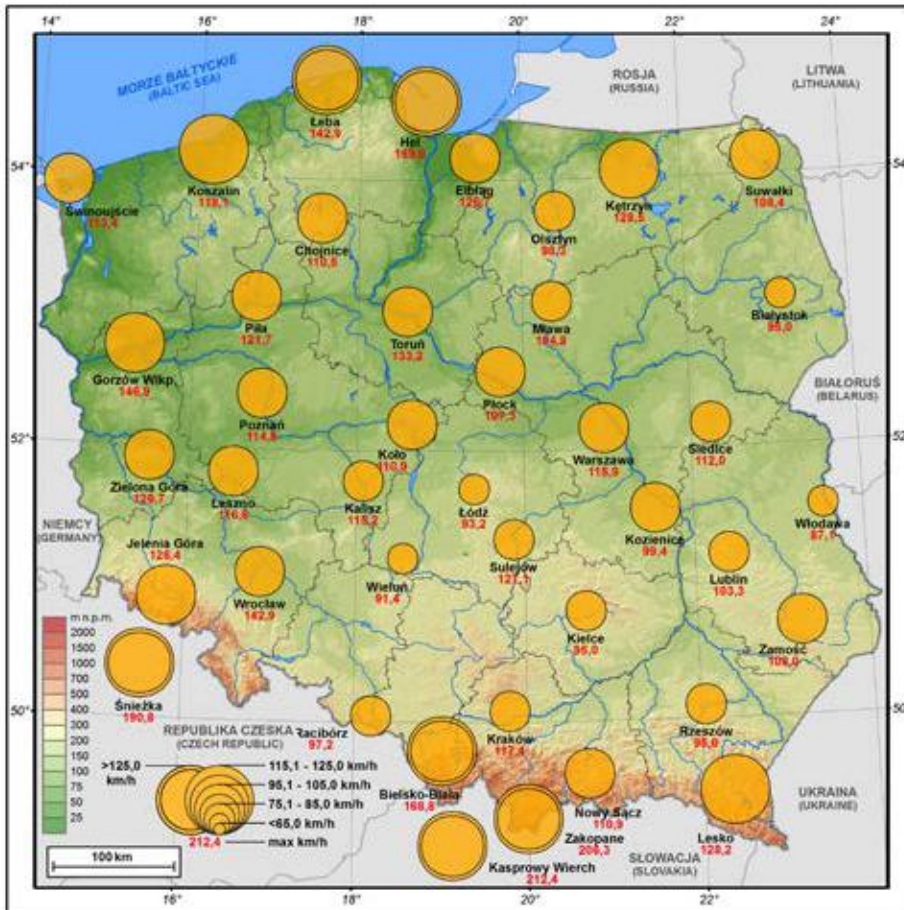




104

Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie w listopadzie

Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in November



105

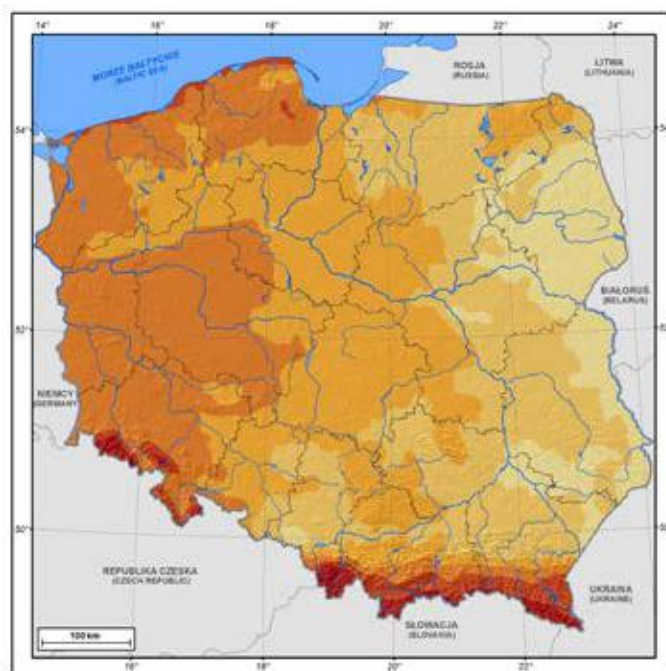
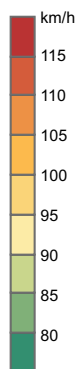
Prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 10 lat i maksymalne prędkości wiatru w porywie w grudniu

Wind gusts with a 10-year occurrence probability and maximum wind gusts in December

106

Modelowy rozkład prędkości wiatru w porywie o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 2, 5 i 10 lat w skali roku

Estimated spatial differentiation of wind gusts with a 2-, 5- and 10-year occurrence probability





Burza z gradem Mgła

Występowanie w Polsce burz i mgieł nie zawsze musi być utożsamiane z zagrożeniem meteorologicznym. Najczęściej bowiem zasięg przestrzenny i czas oddziaływania tych zjawisk jest niewielki. Ich występowania można się spodziewać w ciągu całego roku, choć z różnym prawdopodobieństwem i intensywnością. Z reguły jednak nie wyrządzają większych szkód.

Należy jednak pamiętać, że o ile burza wydaje się nie stanowić większego zagrożenia, o tyle kompleks zjawisk towarzyszących (silny wiatr, intensywny opad atmosferyczny, spadek ciśnienia i temperatury powietrza, a zwłaszcza gradobicie) uznawany jest za jedno z najbardziej gwałtownych i groźnych zjawisk w atmosferze (Ustrnul, Czekerda 2009; Bielec-Bąkowska 2013). Z kolei niebezpieczeństwo związane z występowaniem mgły łączy się z czasem trwania i intensywnością zjawiska. Mgły, zwłaszcza te uwarunkowane cyrkulacyjnie, powodują ogromne komplikacje społeczno-ekonomiczne związane z transportem zarówno powietrznym, jak i naziemnym.

Burza – jak wspomniano – jest elementem, któremu towarzyszy cały zespół zjawisk, takich jak wyładowania atmosferyczne, będące źródłem pożarów i przepięć w instalacjach elektrycznych, silne porywy wiatru dochodzące do 80 km/h, a także intensywne opady deszczu (o wysokości niejednokrotnie powyżej 30 mm), śniegu lub gradu, którego powstanie związane jest ściśle z chmurami burzowymi Cumulonimbus. Krople wody unoszone silnym prądem wstępującym docierają do tej części chmury, gdzie temperatura spada poniżej 0°C, zamieniają się w kryształki lodu, a następnie opadając, zderzają się z kolejnymi kroplami. Naprzemienna wędrownka grudek lodu powtarza się wielokrotnie, powodując narastanie gradzin do średnicy przekraczającej nawet 15 cm. Opad gradu może być bardzo groźny w skutkach dla zabudowań, samochodów, upraw,

Thunderstorm with hail Fog

The occurrence of thunderstorm and fog in Poland does not always have to be associated with meteorological hazards. Most often, their spatial range and duration are minor. One can expect their occurrence throughout the year, though with varied probability and intensity. In general, thunderstorms and fog do not result in very significant damage.

However, one must not forget that although a thunderstorm does not seem to pose any major threat, the complex of accompanying phenomena (strong winds, intensive precipitation, drop in air pressure and air temperature, and especially hail) is regarded as the most violent and dangerous in the atmosphere (Ustrnul, Czekerda 2009; Bielec-Bąkowska 2013). In the case of fog, the risk associated with its occurrence depends on its duration and intensity. Fog occurrences, especially those caused by circulation, result in huge social and economical complications linked to air and land transportation.

Thunderstorms, as previously mentioned, are a phenomenon accompanied by a whole complex of other phenomena such as lightning, which may cause fires and overvoltage in electrical installations; strong wind gusts reaching up to 80 km/h; and intensive rainfall (often >30 mm), snowfall, or hail, the formation of which is strictly connected with Cumulonimbus clouds, associated with thunderstorms. Water droplets, raised by a strong updraft, reach the parts of clouds where the temperature falls below 0°C and freeze into ice crystals. They later fall and collide with other droplets. Ice lumps make several back-and-forth trips and turn into hailstones, the diameter of which may even be greater than 15 cm. Falling hailstones may be very dangerous for buildings, vehicles, crops, and in extreme cases even human health and life. The highest number of hail cases as well as the

a w szczególnych przypadkach dla zdrowia i życia ludzi. Największa liczba przypadków gradu, a także udział burz z gradem w ogólnej liczbie burz, notowana jest wiosną i wczesnym latem (odpowiednio: ryc. 108, ryc. 109). Decydują o tym specyficzne warunki termiczne: podłoże nagrzewa się w związku ze zwiększającym się nasłonecznieniem, co wywołuje ruchy konwekcyjne i tworzenie się chmur Cumulonimbus. Równocześnie izoterma 0°C znajduje się na tyle nisko, że łatwo dochodzi do procesu powstawania gradu.

W średnich szerokościach geograficznych (w tym w Polsce) najwięcej burz przypada na miesiące ciepłej pory roku – od maja do sierpnia (Dai 2001a; Dai 2001b; Bielec-Bąkowska 2013), co stanowi do 25% wszystkich dni (ryc. 107, ryc. 111-122). Ma to związek z silną konwekcją spowodowaną intensywnym nagrzewaniem się powierzchni ziemi, dlatego też występowanie burz związane jest z obszarami wzmożonych pionowych ruchów powietrza, m.in. w obszarach górskich (ryc. 110).

Mgła z kolei tworzy się, gdy powietrze jest nasycone parą wodną i następuje jej kondensacja, a zawieszane krople wody powodują zmniejszenie widzialności poniżej 1000 m. Powstanie mgły jest w dużej mierze zależne od właściwości podłoża: od tego, czy mgła powstaje nad wodą czy nad lądem, nad obszarami piaszczystymi czy nad glebami mającymi duże możliwości retencyjne (Toth i in. 2010). Zasoby wilgoci, a co za tym idzie wielkość parowania, zależą od sposobu użytkowania danego obszaru. Duże znaczenie ma również rzeźba terenu. Występowanie kotlin ma znaczny wpływ na powstawanie zastoisk chłodnego powietrza, a układ dolin – na prędkość wiatru przyziemnego, co warunkuje lokalizację mgieł na terenie zróżnicowanym wysokościowo.

Znakomita większość przypadków wystąpienia mgły na obszarze Polski ma genezę złożoną. Zwykle są to mgły rozwijające się, gdy po napływie ciepłego powietrza nad chłodniejsze podłoże w nocy następują roz pogodzenia i w konsekwencji wypromieniowanie ciepła z powierzchni ziemi. Najlepsze warunki do powstania mgły występują w chłodnej porze roku (zwłaszcza w nocy), gdy ciepłe i wilgotne powietrze napływa z południa, kierowane przez niżę znajdującą się nad Atlantykiem. Najwięcej dni z mgłą notowanych jest w październiku i listopadzie, najmniej – od maja do lipca (ryc. 125-136).

Powstawanie mgieł w obszarach o zróżnicowanej rzeźbie terenu (zwłaszcza na południu kraju – w pasie wyżyn i gór, oraz na północy – w pasie wzniesień na pojezierzach) dodatkowo wspomagane jest procesami adiabaticznymi podczas powolnego unoszenia się napływającego powietrza po stokach nawietrznych (ryc. 124). W wyniku oddziaływania warunków lokalnych inny przebieg liczby dni z mgłą w ciągu roku ma część stacji leżących na północy Polski i w kotlinach górskich (ryc. 123).

Mgła jest zjawiskiem meteorologicznym mającym duży wpływ na bardzo ważny dział gospodarki, jakim jest transport. Zakłócenia w procedurach startów i lądowań statków powietrznych, problemy manewrowania w portach morskich i śródlądowych oraz utrudnienia w transporcie kołowym wywołane wystąpieniem mgły mogą powodować straty materialne oraz zagrożenie dla życia ludzi.

percentage of thunderstorms with hail in the total number of thunderstorms is recorded in spring and early summer (Fig. 108, Fig. 109, respectively). Specific thermal conditions determine this situation, namely the heating of the surface as a result of increasing insolation, which initiates convection and Cumulonimbus cloud formation. At the same time, the 0°C isotherm is low enough to result in easy hailstone formation.

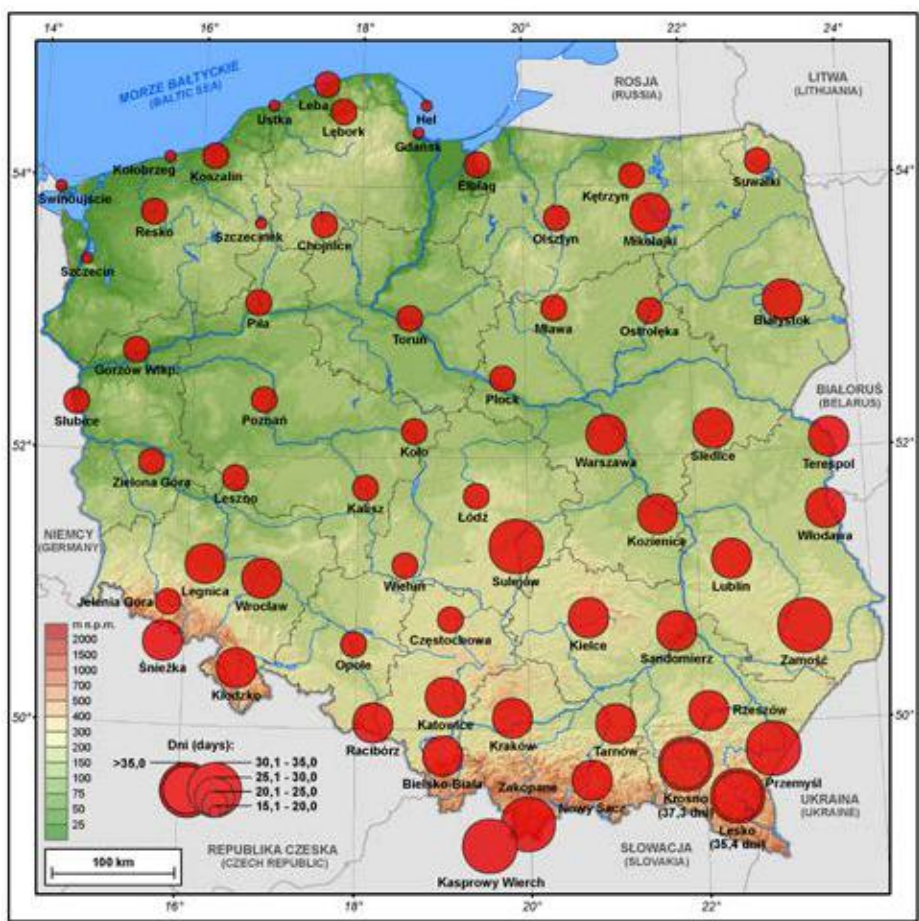
In the middle latitudes (including Poland), thunderstorms occur most frequently in the warm season from May to August (Dai 2001a; Dai 2001b; Bielec-Bąkowska 2013), which constitutes up to 25% of all days (Fig. 107, Fig. 111-122). It is associated with strong convection caused by intensive surface heating, therefore thunderstorm occurrences are strongly connected with the areas of increased vertical movements of air such as mountains, among others (Fig. 110).

Fog, on the other hand, forms when the air is saturated with water vapor that condensate to water droplets which, floating in the air, limit visibility to 1000 m. Fog formation is strongly linked to the characteristics of the surface: whether it appears over water or land, sandy areas or soil having great retention capabilities (Toth et al. 2010). Water resources, and consequently their evaporation abilities, also depend on the land use of a given area. Fog formation is also greatly affected by relief. The presence of valleys has a large impact on the development of isolated cold air layers, and their configuration affects ground wind velocity, which conditions the location of fog in a terrain with varied elevation.

The great majority of cases of fog in Poland has a complex origin. This generally means fog developing after advection of a warm air mass over colder surfaces, the weather clears up at night, which in consequence leads to heat emission from the ground. The best conditions favoring the formation of fog are found during the cold season (especially at night), when warm and humid air flows from the south and is directed by the lows over the Atlantic. The greatest number of days with recorded fog is in October and November; the smallest – from May to July (Fig. 125-136).

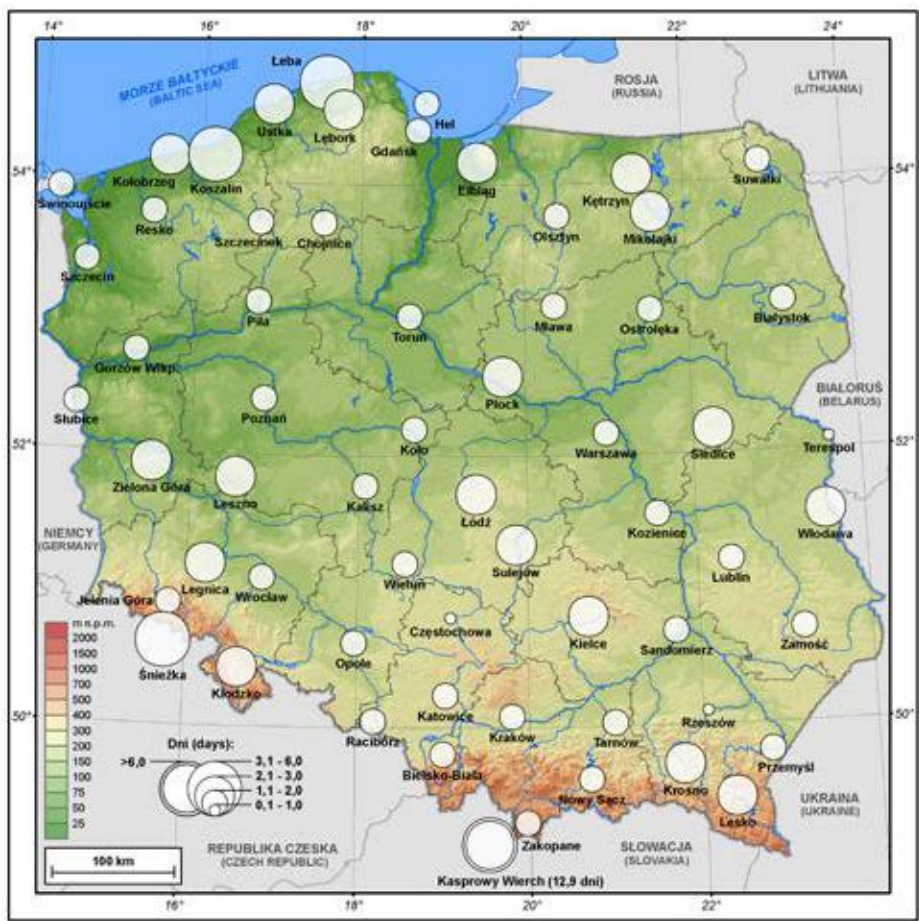
Occurrences of fog over terrains with varied relief (especially in the southern part of the country, in the highland belt and mountains as well as in the north, in the hill belt of the lake-lands) is additionally encouraged through adiabatic processes as air slowly rises flowing over windward slopes (Fig. 124). Due to the influence of local conditions, a different course for the number of days with fog in a year is recorded on stations located in the northern part of Poland and in the mountain valleys (Fig. 123).

Fog is a meteorological phenomenon that has a huge effect on a very important section of the economy, namely transportation. Disturbances in airplane departures and arrivals, difficulties in maneuvering in seaports and inland ports as well as problems in road transport caused by fog may result in material losses and pose a threat to human life.



107

Średnia liczba dni z burzą w roku
Mean annual number of days with thunderstorms



108

Średnia liczba dni z gradem w roku
Mean annual number of days with hail



109

Średnia liczba dni z burzą i z gradem w roku

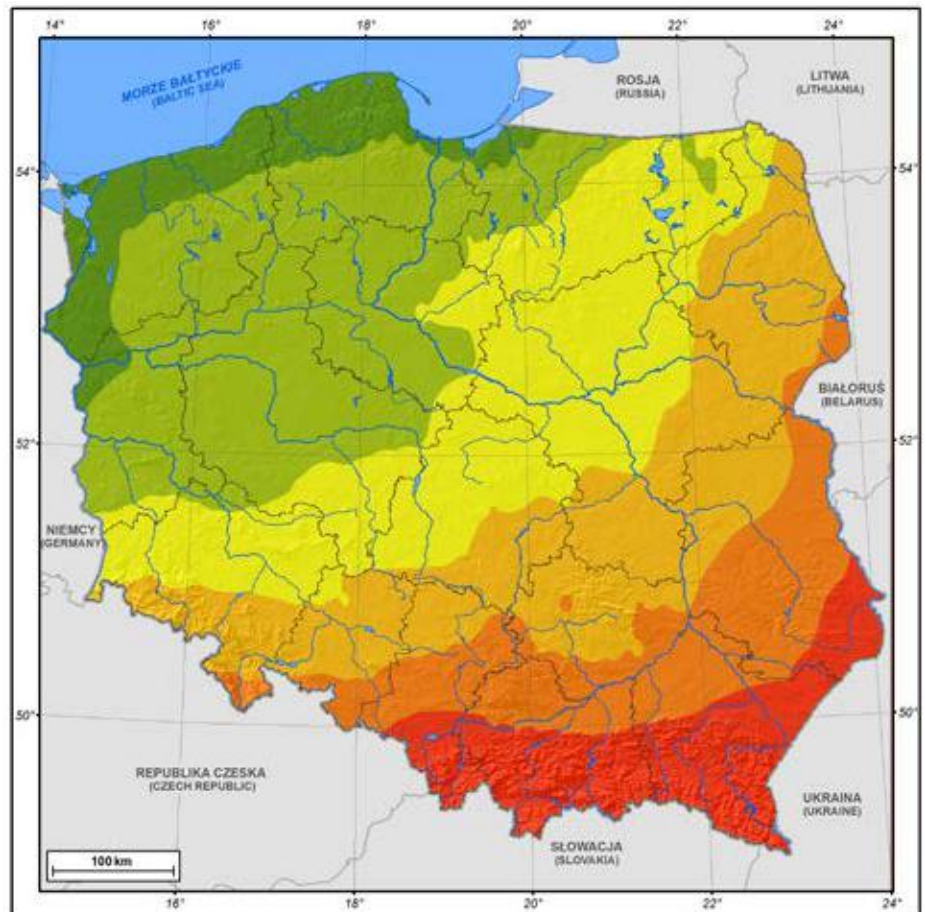
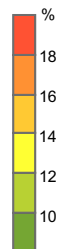
Mean annual number of days with thunderstorms and hail



110

Prawdopodobieństwo występowania warunków sprzyjających burzy w okresie: kwiecień - wrzesień

Occurrence probability of conditions favoring thunderstorms (April - September)





111

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą w styczniu

Occurrence probability of a day with thunderstorms in January



112

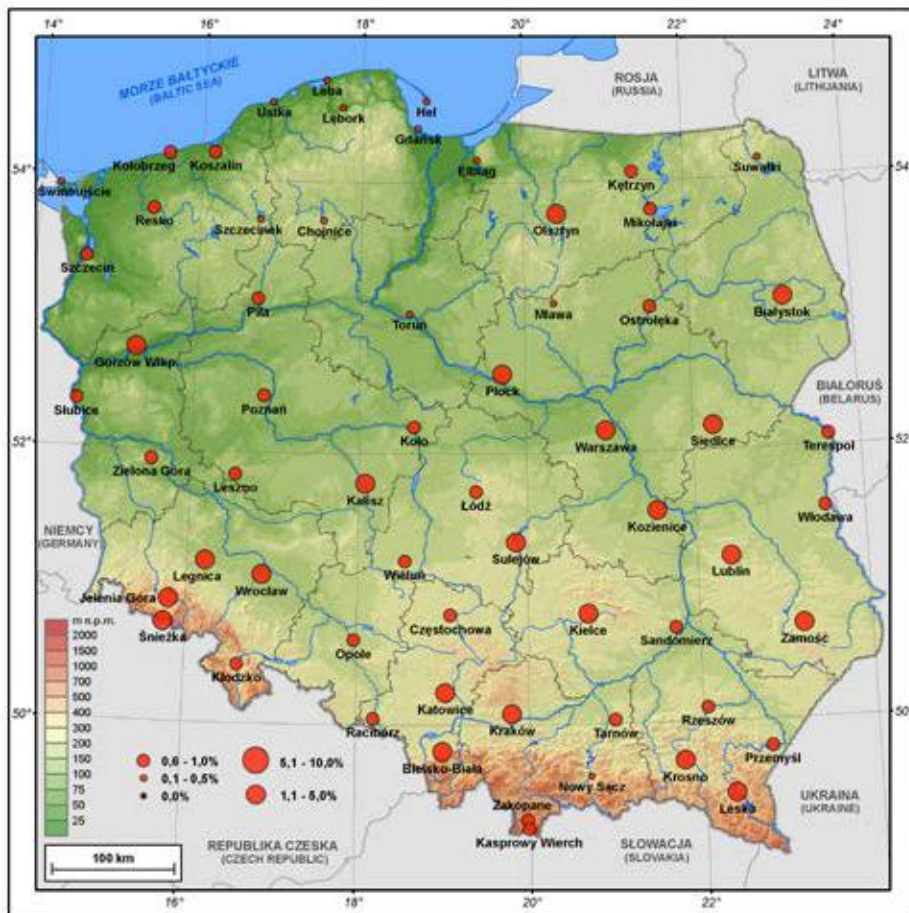
Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą w lutym

Occurrence probability of a day with thunderstorms in February



113

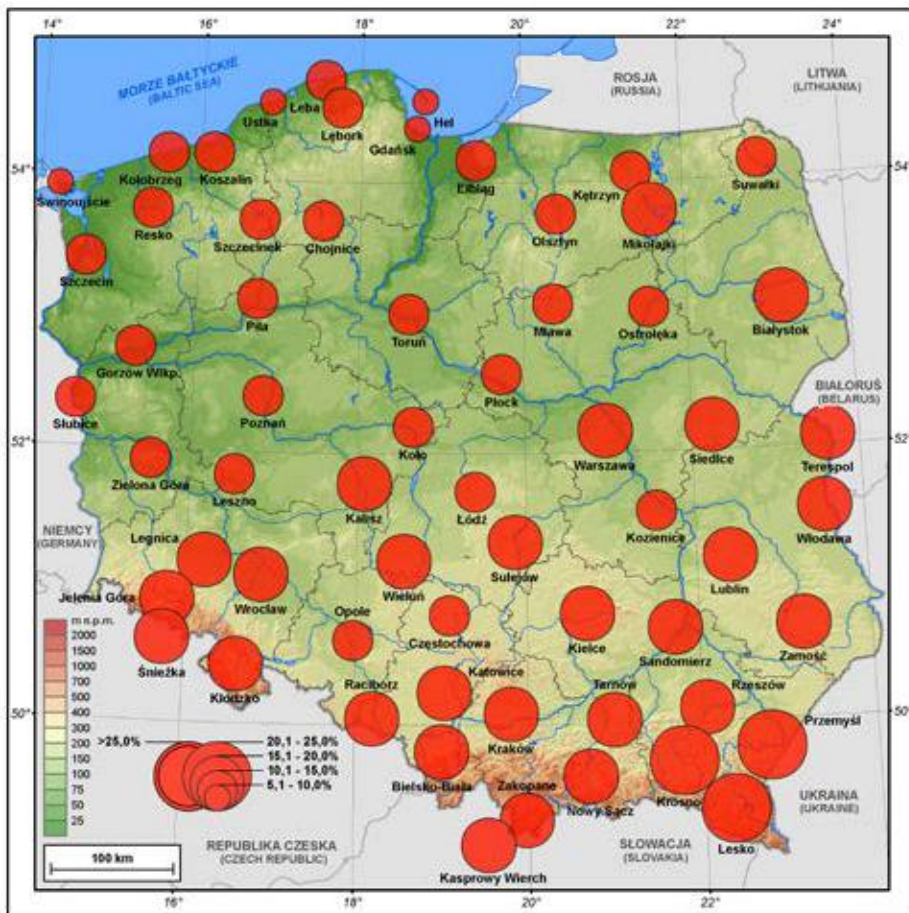
Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą w marcu
Occurrence probability of a day with thunderstorms in March



114

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą w kwietniu
Occurrence probability of a day with thunderstorms in April

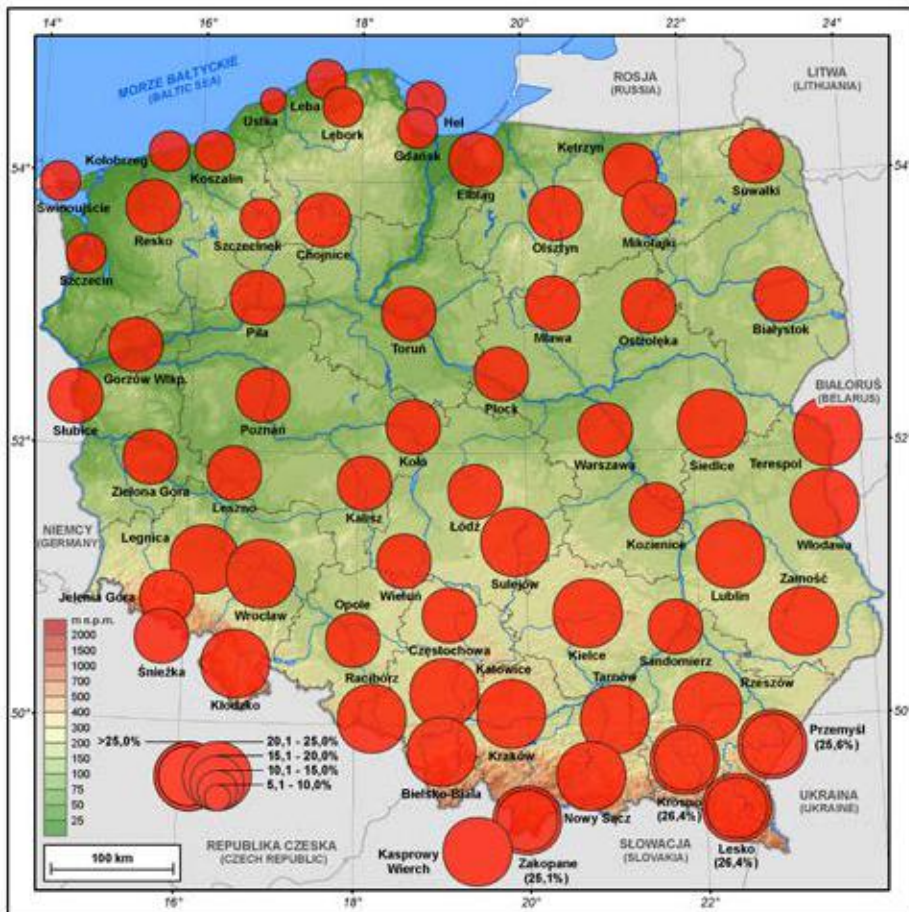




115

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą w maju

Occurrence probability of a day with thunderstorms in May



116

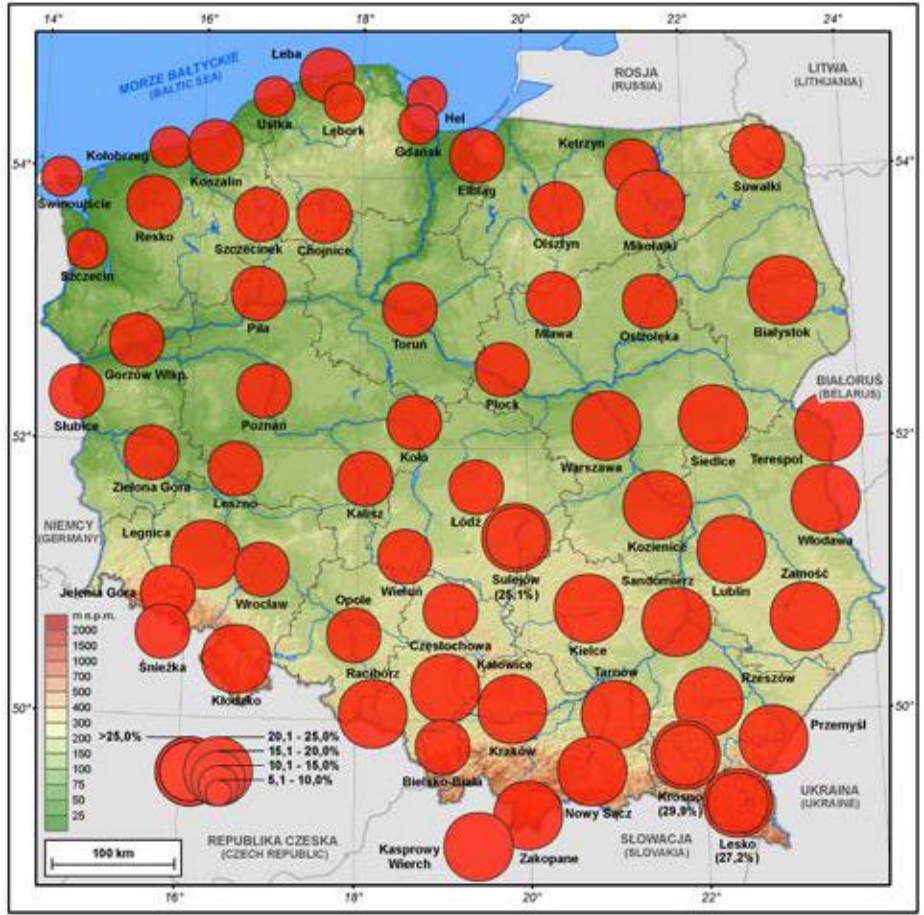
Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą w czerwcu

Occurrence probability of a day with thunderstorms in June



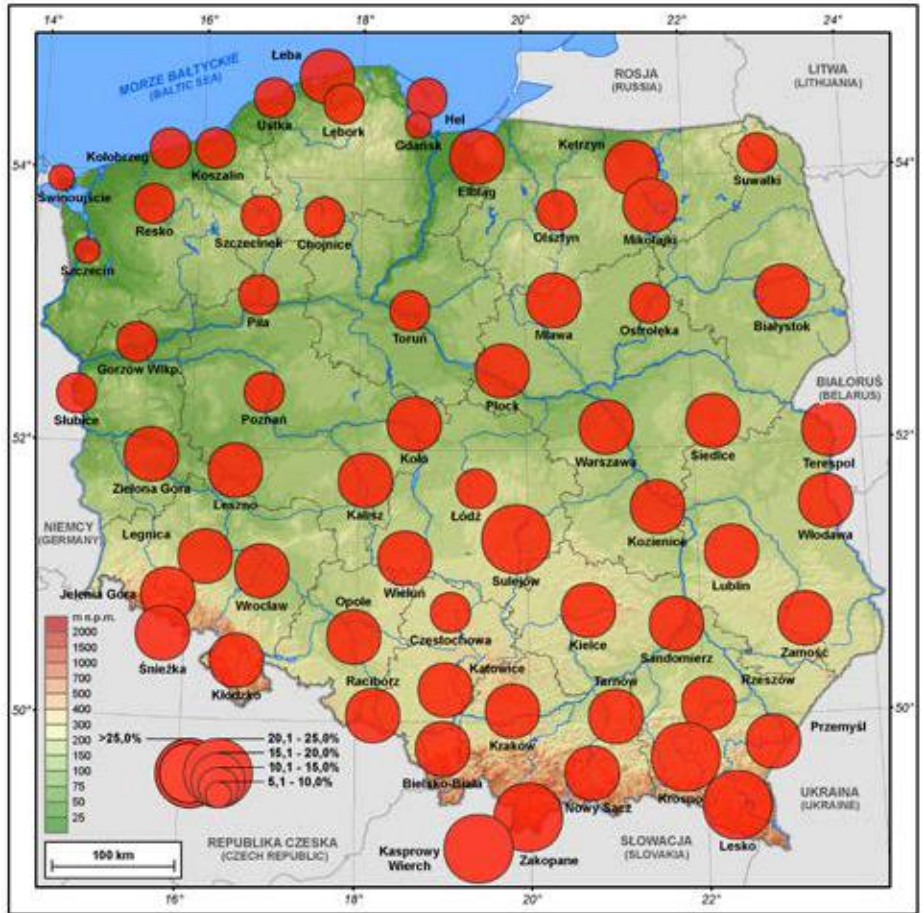
117

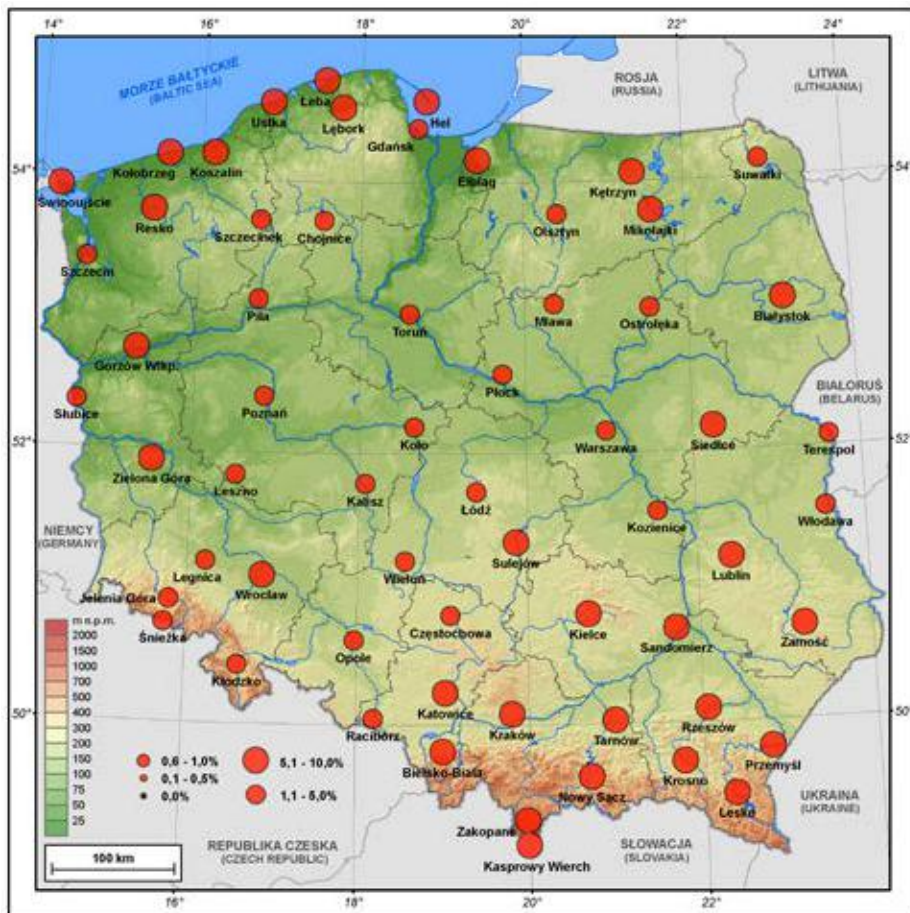
Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą w lipcu
Occurrence probability of a day with thunderstorms in July



118

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą w sierpniu
Occurrence probability of a day with thunderstorms in August

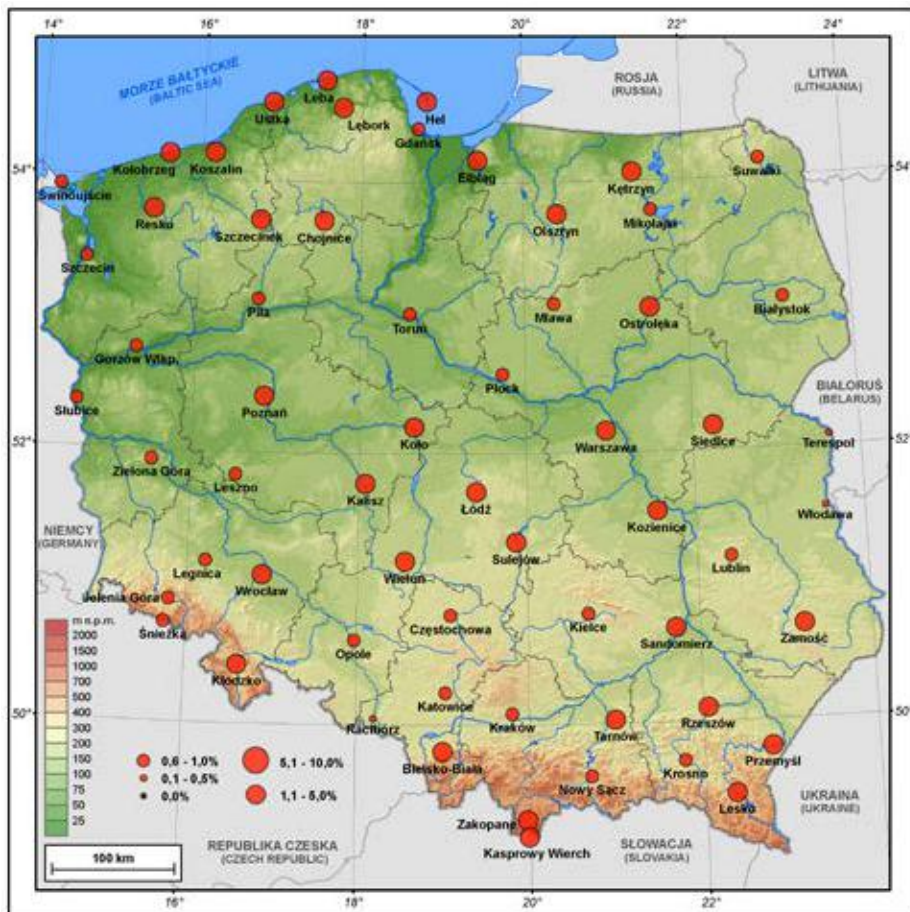




119

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą we wrześniu

Occurrence probability of a day with thunderstorms in September



120

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą w październiku

Occurrence probability of a day with thunderstorms in October



121

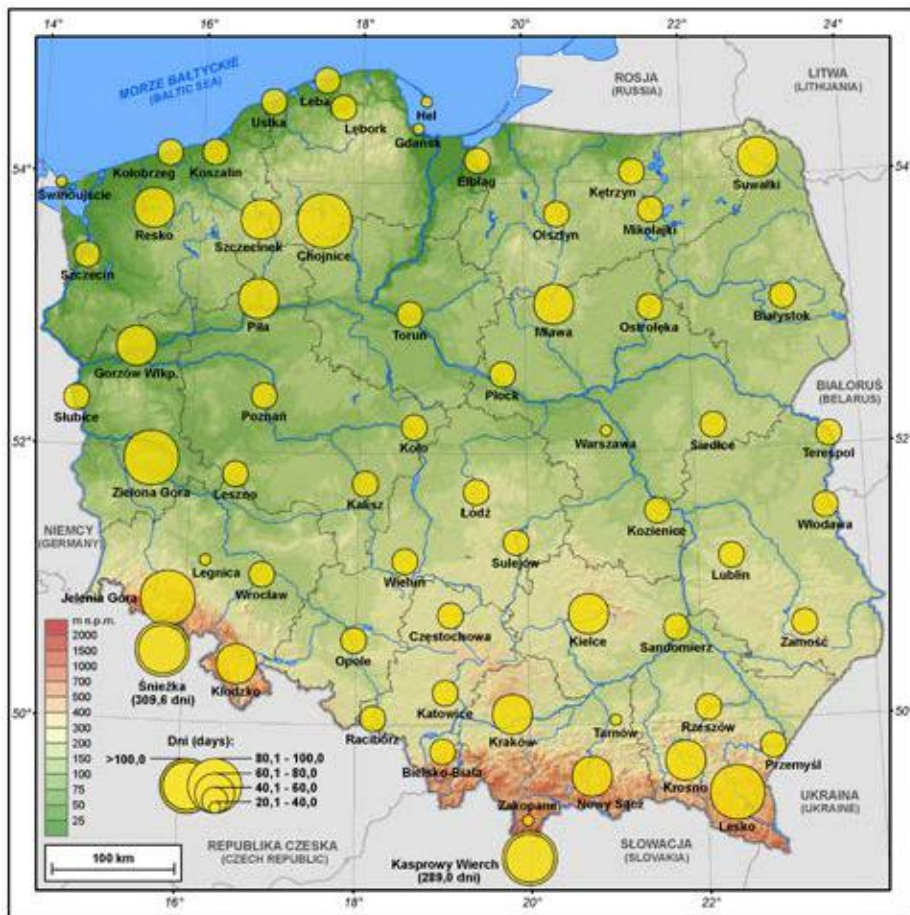
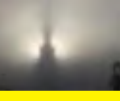
Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą w listopadzie
Occurrence probability of a day with thunderstorms in November



122

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z burzą w grudniu
Occurrence probability of a day with thunderstorms in December

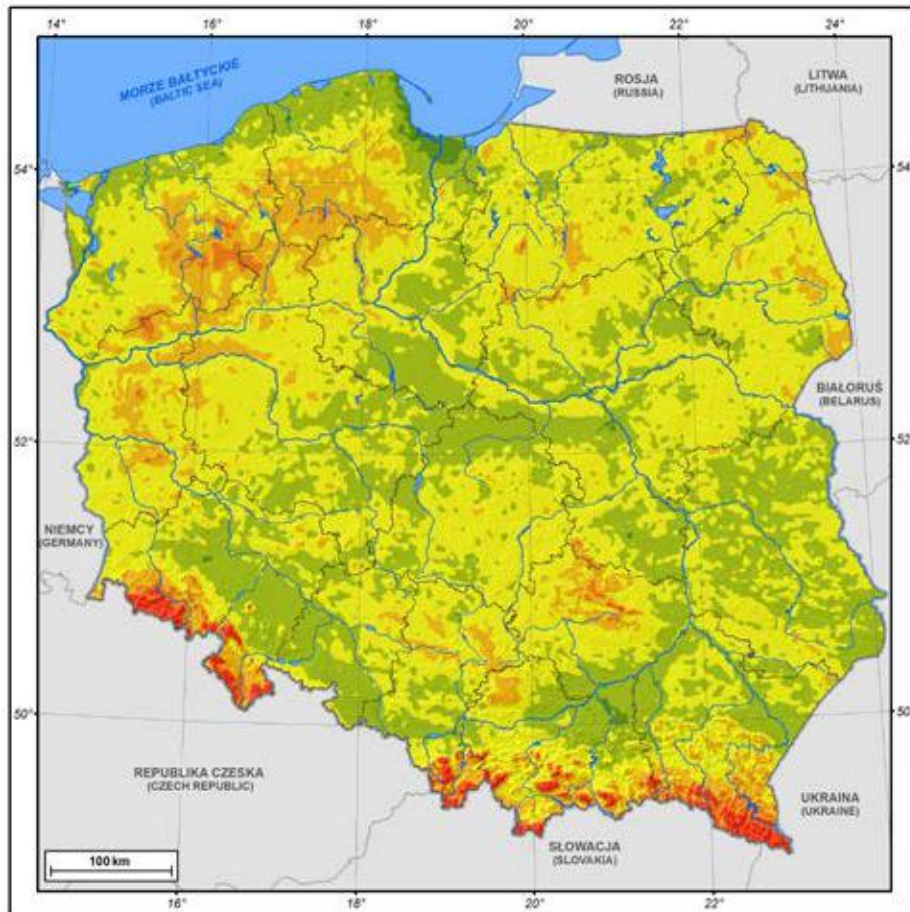




123

Średnia liczba dni z mgłą w roku

Mean annual number of days with fog



124

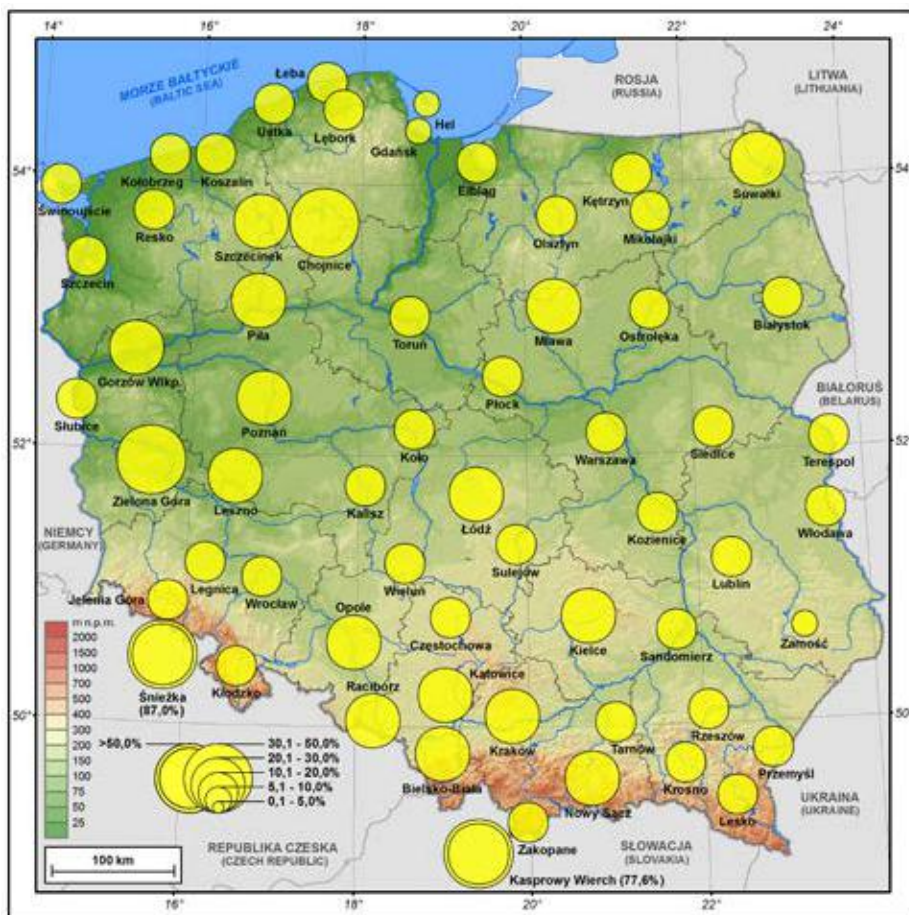
Prawdopodobieństwo występowania warunków sprzyjających tworzeniu się mgły w roku

Annual occurrence probability of conditions favoring fog

125

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w styczniu

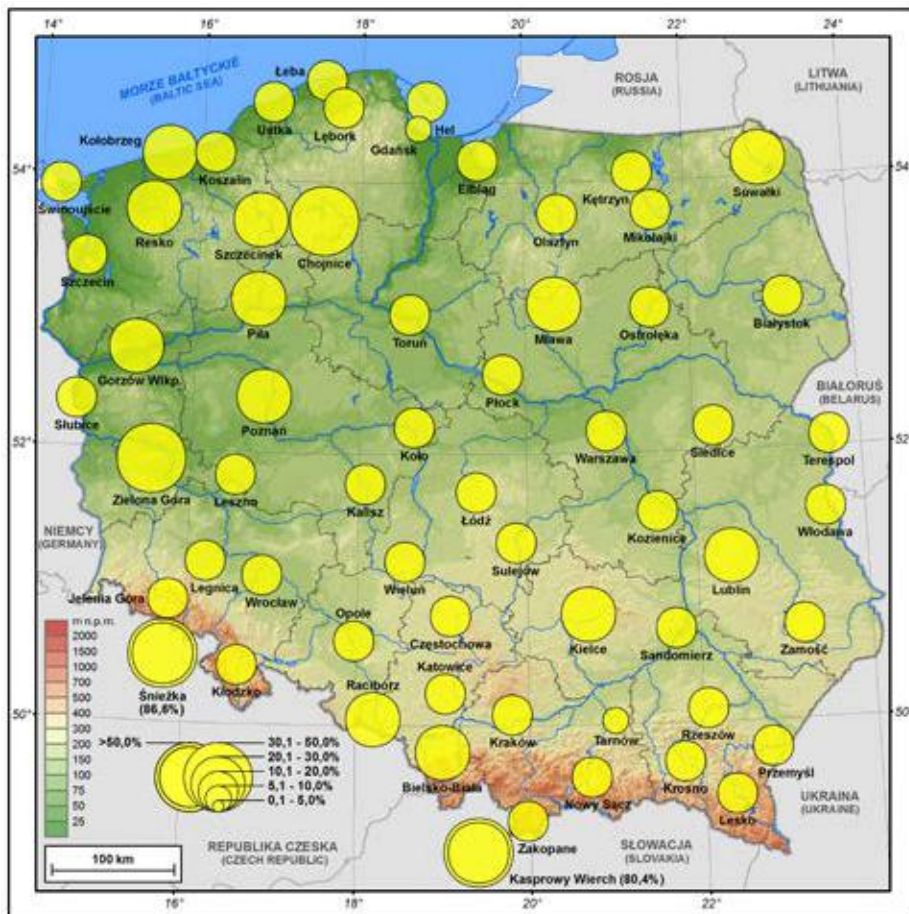
Occurrence probability of a day with fog in January

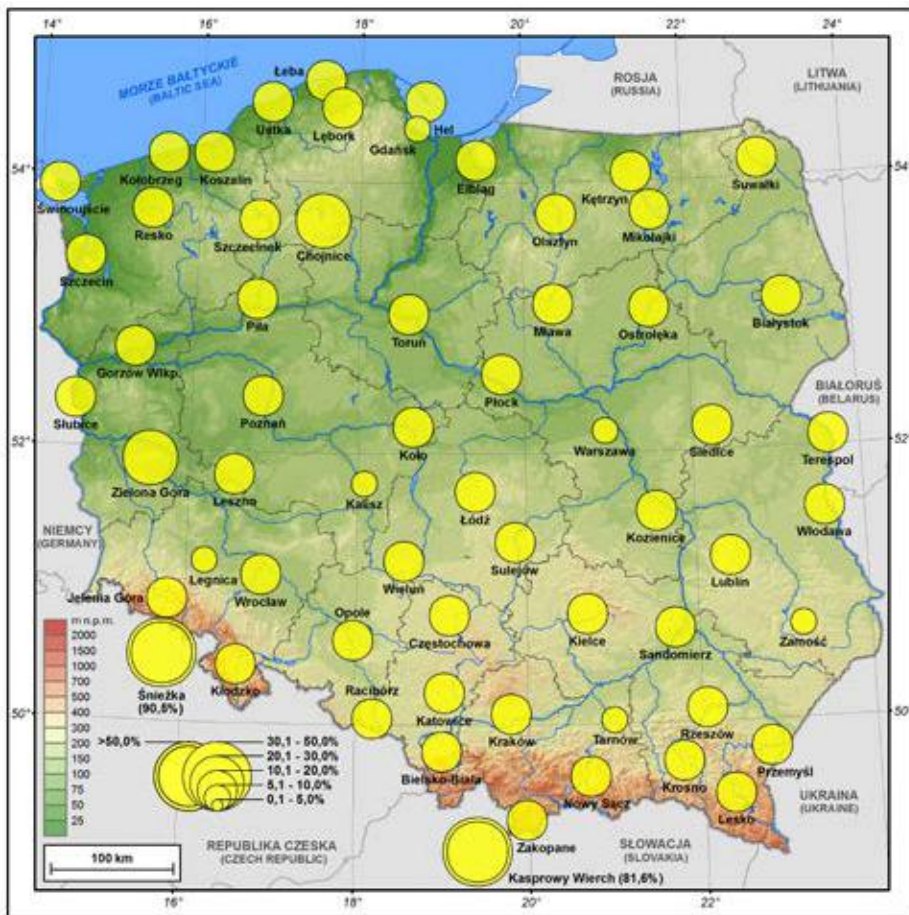


126

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w lutym

Occurrence probability of a day with fog in February

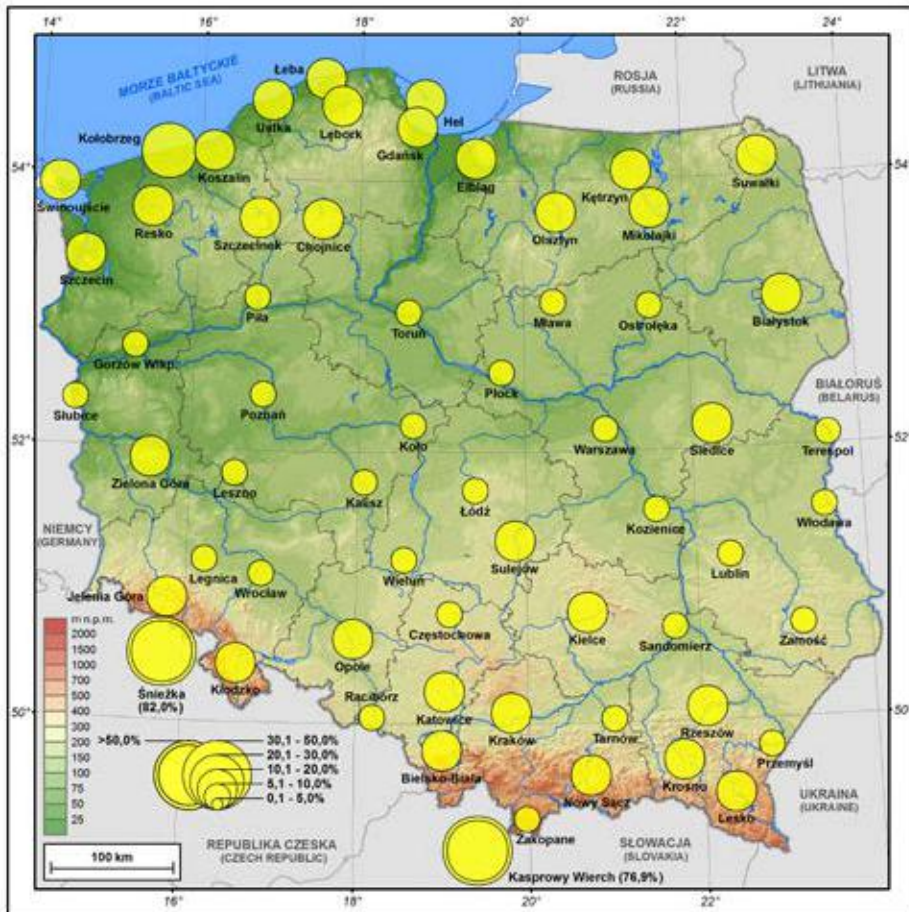




127

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w marcu

Occurrence probability of a day with fog in March



128

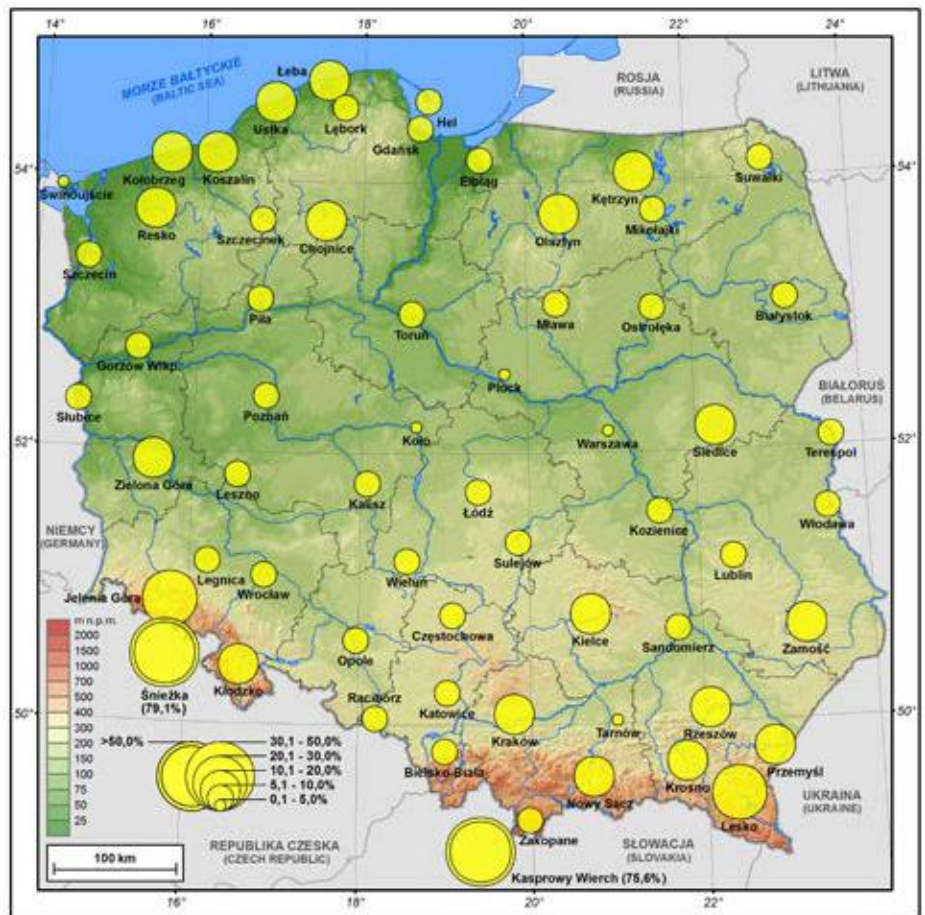
Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w kwietniu

Occurrence probability of a day with fog in April

129

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w maju

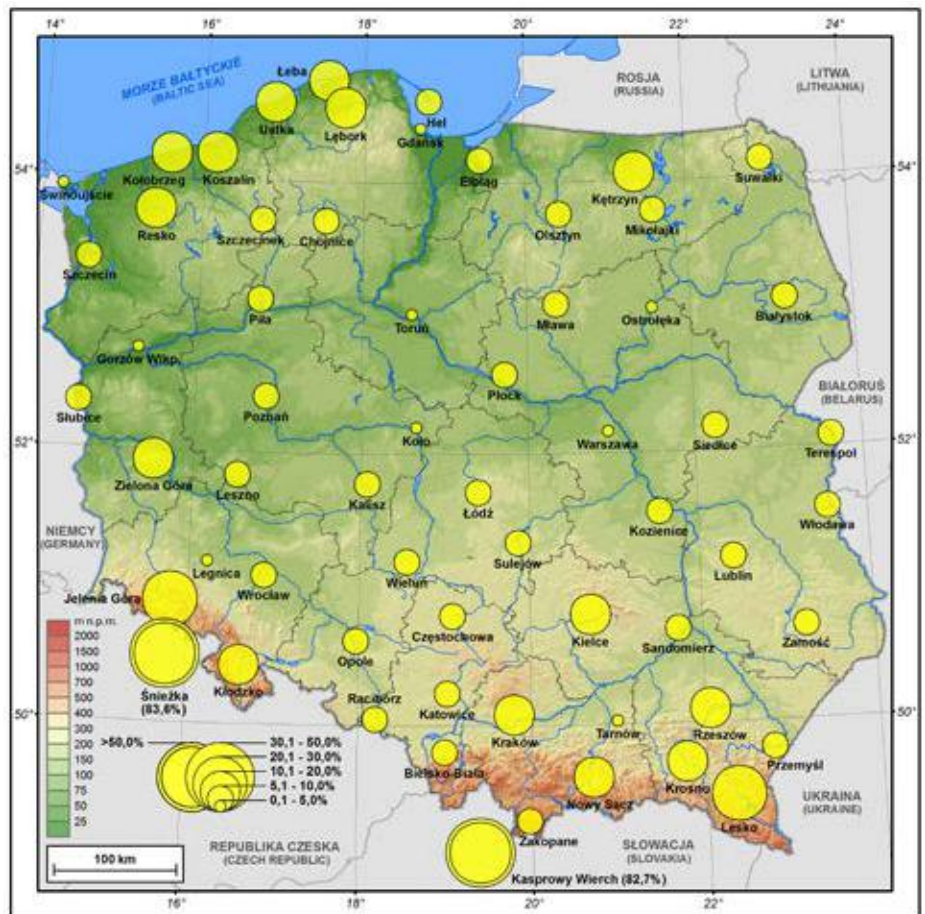
Occurrence probability of a day with fog in May

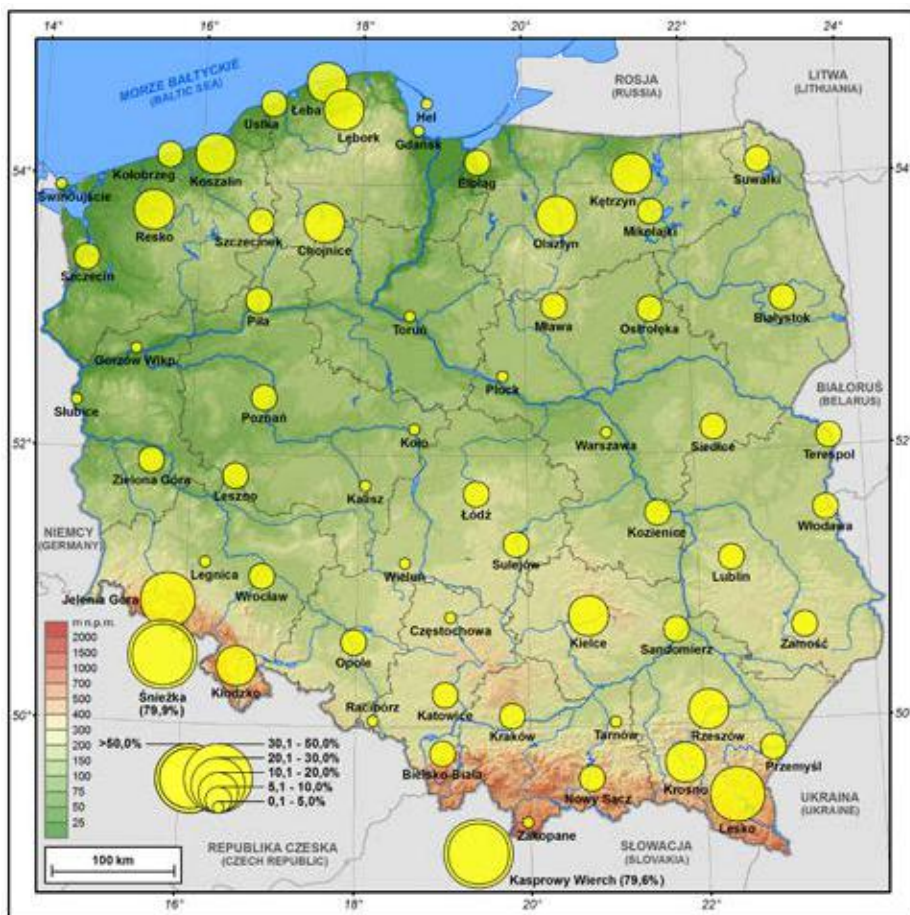


130

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w czerwcu

Occurrence probability of a day with fog in June

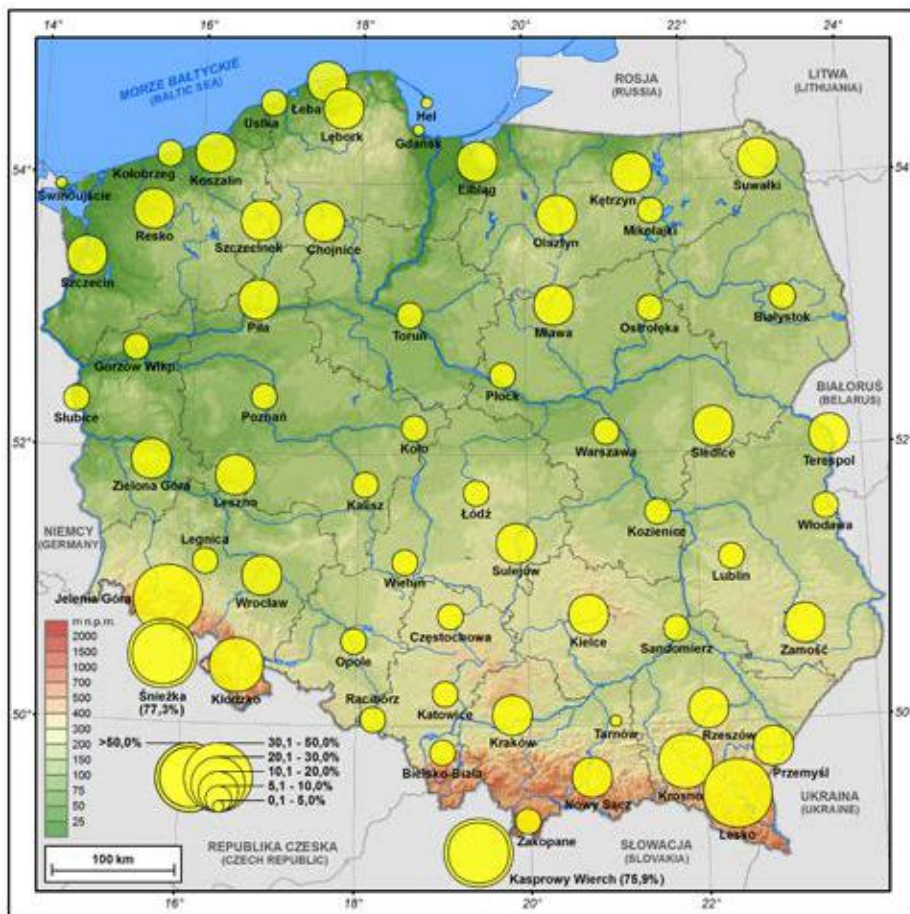




131

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w lipcu

Occurrence probability of a day with fog in July



132

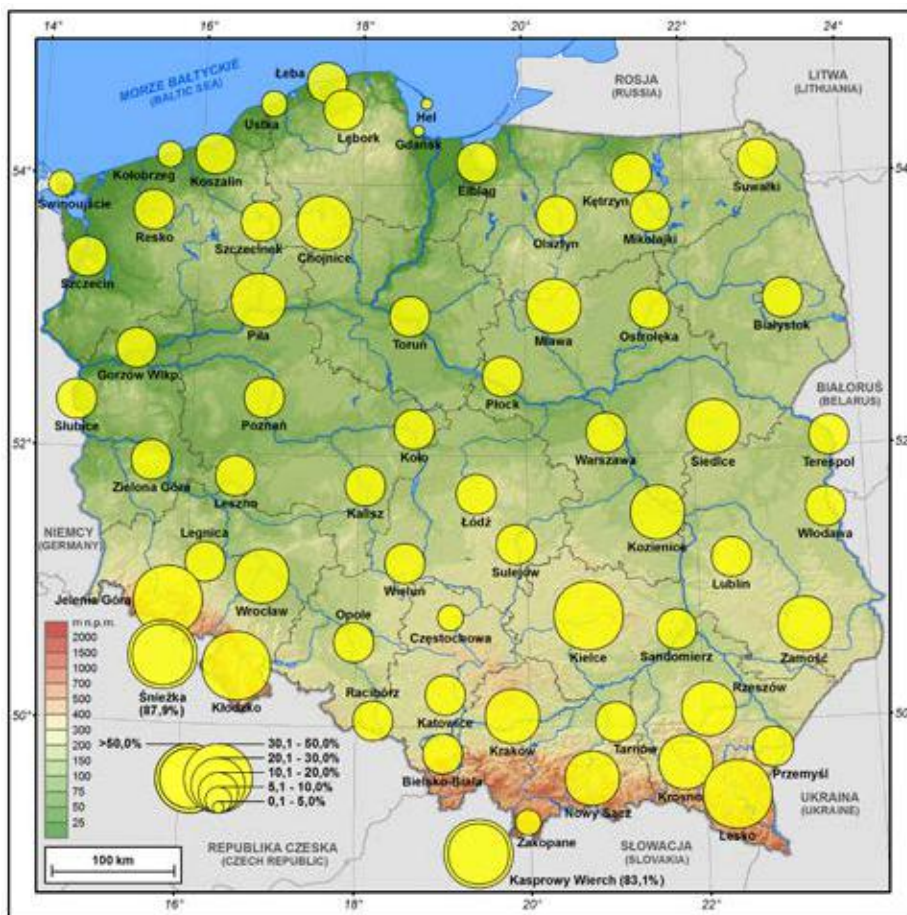
Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w sierpniu

Occurrence probability of a day with fog in August

133

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą we wrześniu

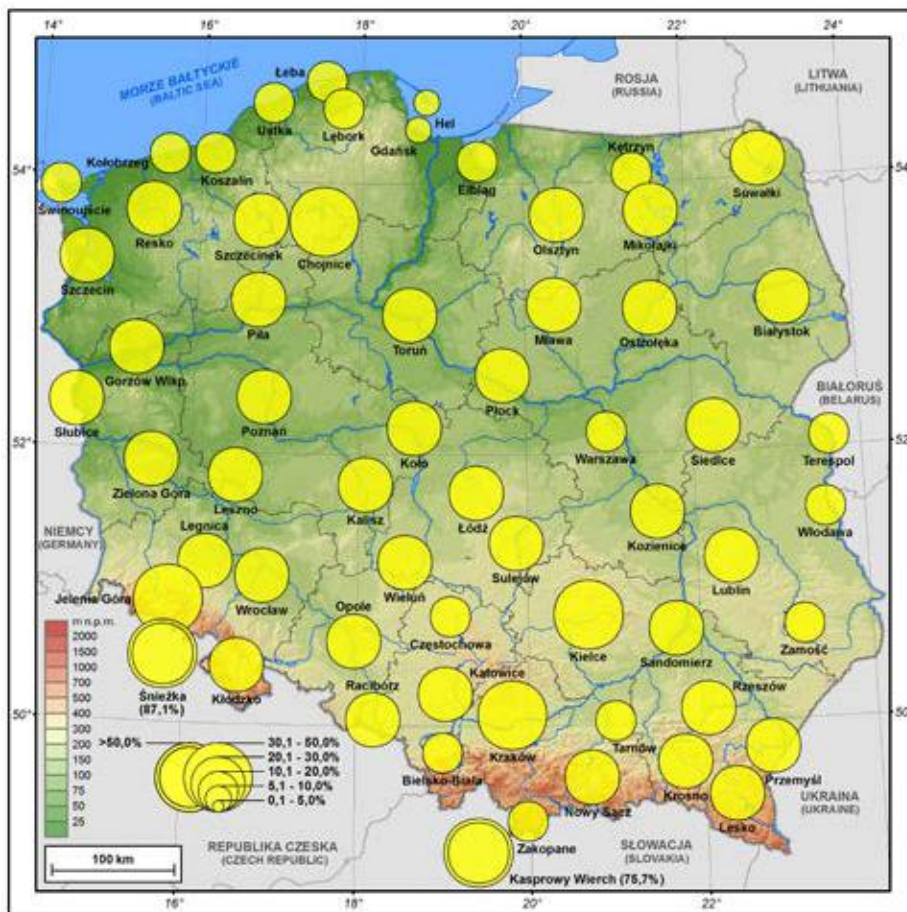
Occurrence probability of a day with fog in September

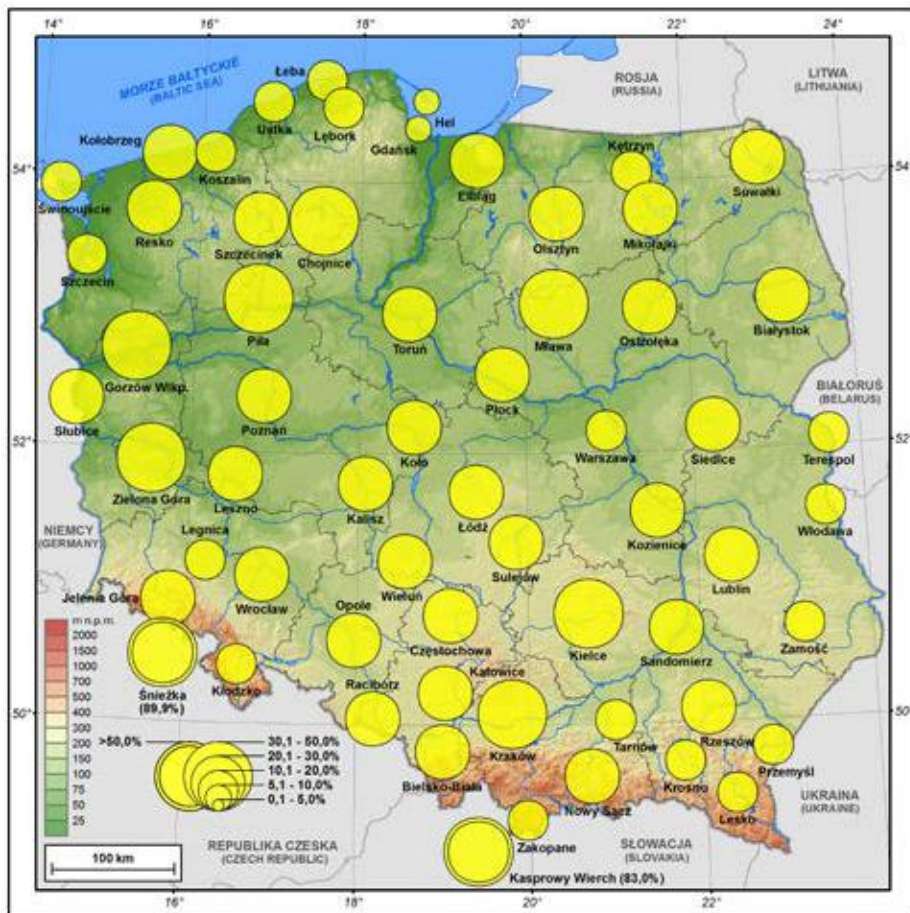


134

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w październiku

Occurrence probability of a day with fog in October

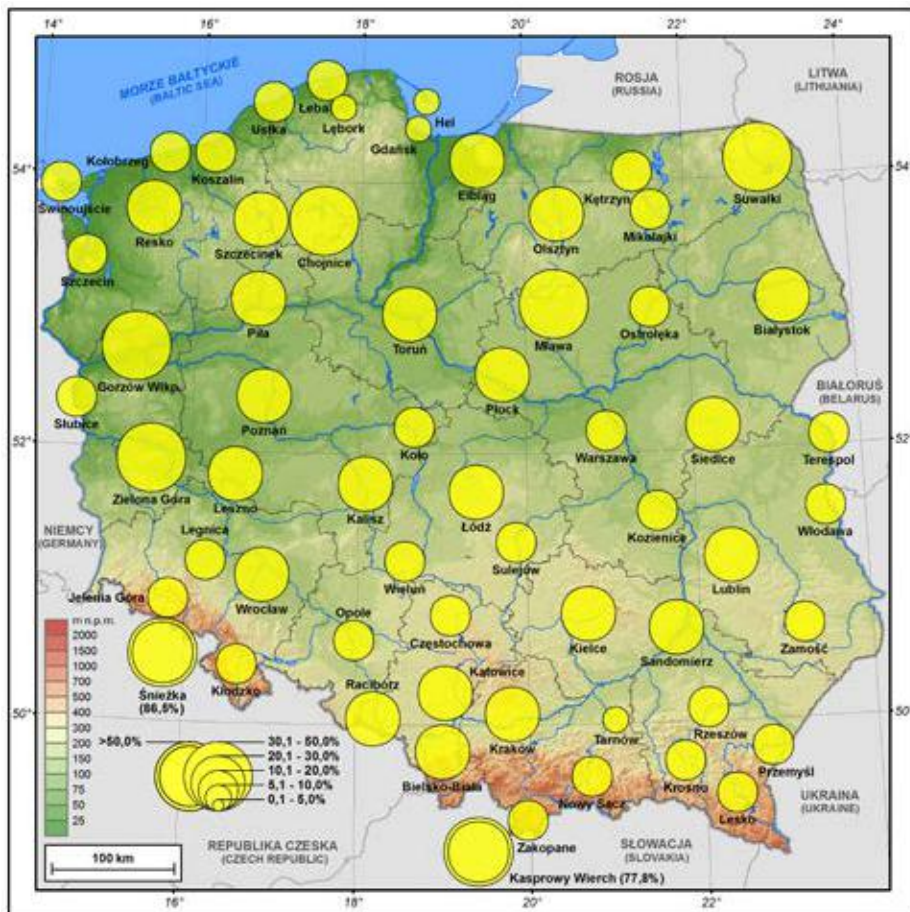




135

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w listopadzie

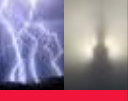
Occurrence probability of a day with fog in November



136

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą w grudniu

Occurrence probability of a day with fog in December





Szadź Gołoledź

Szadź i gołoledź to zjawiska występujące w Polsce sezonowo: od października do kwietnia (odpowiednio: ryc. 137, ryc. 146). Stanowią zagrożenie głównie dla energetyki i transportu, utrudniają lub wręcz uniemożliwiają funkcjonowanie całego regionu, zwłaszcza gdy wydłużeniu ulega czas ich występowania lub, co więcej, następują po sobie.

Szadź jest osadem atmosferycznym, który występuje w postaci kryształków lodu (Słownik... 2003). Depozycja szadzi najczęściej wiąże się z wystąpieniem mgły lub niskich chmur warstwowych w warunkach ujemnej temperatury powietrza. Osad tworzy się na wyziębionych powierzchniach gałęzi drzew, przewodach telekomunikacyjnych, ogrodzeniach po ich dowietrznej stronie. Intensywność narastania szadzi wzmacnia lokalnie szereg czynników środowiskowych. Szczególne znaczenie mają: wysokość n.p.m., wysokość względna, ekspozycja, forma oraz użytkowanie terenu (Klimaszewska i in. 2008). Częściej zatem zaobserwujemy szadź na obszarze odsoniętych wzniesień oraz we wklęsłych formach terenu (obniżenia dolin rzecznych, kotliny śródgórskie itp.), w terenie o dużej lesistości czy bliskości zbiorników wodnych (ryc. 138). Zjawisko występuje sporadycznie w centrum dużych miast pośród zwartej zabudowy: regionami zdecydowanie najbardziej sprzyjającymi częstej depozycji osadu są obszary wyższych partii gór. W Tatrach (Kasprowy Wierch) i Sudetach (Śnieżka) szadź występuje

Rime ice Glaze ice

Rime ice and glaze ice are kinds of phenomena that occur seasonally in Poland: from October to April (Fig. 137, Fig. 146, respectively). They are dangerous mainly for the energy industry and transportation, making it difficult or even completely impossible for the whole region to function, especially when their duration is extended or when they appear one after another.

Rime ice is a meteorological deposit that appears in the form of ice crystals (Słownik... 2003). Deposition of rime ice is often associated with the occurrence of fog or low stratus clouds when air temperature falls below 0°C. The sediment collects on windward sides of chilled surfaces of tree branches, telecommunications cables, and fences. The intensity of rime growth is increased locally by a number of environmental factors, especially by height above sea level, relative height, exposition, land form and land use (Klimaszewska et al. 2008). Rime, therefore can be more frequently observed on exposed hills and in relatively lower areas (valleys, valleys surrounded by mountain ranges, etc.), in densely forested areas or near reservoirs (Fig. 138). The phenomenon can be sporadically observed in the centers of large cities, in high-density housing, and the regions where it occurs most frequently are the higher parts of mountains. In the Tatras (Kasprowy Wierch) and Sudetes (Śnieżka), rime is exceptionally

szczególnie obficie – średnio aż 170-180 dni w roku (Migała i in. 2002) (ryc. 137, ryc. 139-145).

Zagrożenie związane z osadzaniem się szadzi dotyczy obciążenia powstałą masą lodową, na co wpływa czas utrzymywania się warunków sprzyjających występowaniu szadzi czy też powodujących zaleganie już narosłego osadu, wystąpienie czynników powodujących wzrost intensywności narastania szadzi oraz jej rodzaj (większe zagrożenie stanowi szadź twarda, wyglądem przypominająca gołoledź, mająca bardziej trwałą i zwartą, ziarnistą strukturę). Ryzyko wzrasta, jeżeli po depozycji szadzi następuje opad, ponieważ osad zwiększa powierzchnię recepcyjną gałęzi drzew czy linii energetycznych, ułatwiając gromadzenie się na nich świeżo spadłego, często mokrego śniegu. W przypadku opadu deszczu zagrożenie może być jeszcze większe, gdyż przy odpowiednio niskiej temperaturze powietrza nastąpi przyrost warstwy oblodzenia, a tym samym ciężaru całego osadu.

Gołoledź jest osadem lodu, na ogół jednorodnym i przezroczystym. Powstaje wskutek zamarznięcia przechłodzonych kropeł mżawki lub deszczu na powierzchniach o temperaturze niższej lub nieco wyższej od 0°C lub gdy nieprzechłodzone krople deszczu zamarzną bezpośrednio po zderzeniu się z powierzchniami o temperaturze niższej od 0°C (Słownik... 2003). Utworzona warstwa lodu jest niezwykle twarda i ciężka, a tym samym trwałą i niebezpieczną.

Czynniki decydujące o stopniu zagrożenia gołoledzią są złożone (Zerr 1997). Należą do nich: intensywność opadu marznącego, długość jego trwania, temperatura powietrza oraz, w niektórych przypadkach, kierunek i prędkość wiatru (ryc. 147).

Dodatkowy wpływ mają też warunki lokalne, takie jak wysokość, ukształtowanie terenu i ekspozycja, bliskość zbiorników wodnych, jak również położenie w terenie zurbanizowanym lub w rejonie pozamiejskim (ryc. 146, ryc. 148-154).

Gołoledź jest jednym ze zjawisk meteorologicznych niosących ze sobą zagrożenia w wielu sektorach gospodarki oraz powodujących utrudnienia w działalności ludzkiej. Podstawowe zagrożenia i zniszczenia to oblodzenie dróg oraz chodników, uszkodzenia drzewostanu i linii napowietrznych oraz oblodzenie statków powietrznych w locie i na powierzchni ziemi.

Zniszczenia mogą być spotęgowane przez uprzednio występujące zjawisko szadzi lub opady śniegu, które poprzez gromadzenie się na liniach napowietrznych i słupach zwiększają ich powierzchnię i powodują dodatkowe osadzanie marznącego opadu.

frequent – it appears, on average, 170-180 days a year (Migała et al. 2002) (Fig. 137, Fig. 139-145).

The danger of rime ice deposition is associated with the increased weight of the ice mass, which is affected by the growing duration of conditions favoring rime formation or leading to the preservation of the previously formed coating; the existence of factors that increase the intensity of rime sediment; or the type of rime itself (hard rime, which is similar to glaze in its appearance and has a more permanent and solid grainy structure, is more dangerous). Risk increases when precipitation occurs after rime deposition as the coating increases the receptive surface of branches or power lines and allows for easier collection of fresh, often wet snow. The danger may be even greater during rainfall as ice accumulates and, as a result, weight increases when the temperature is sufficiently low.

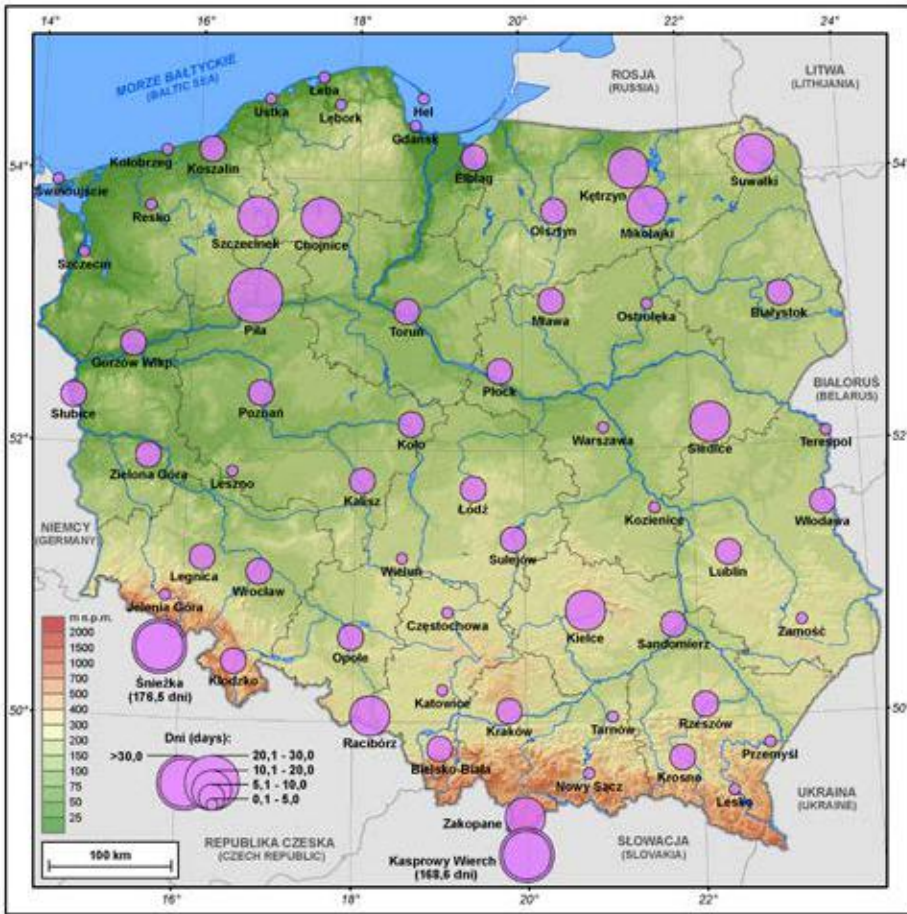
Glaze ice is a coating of ice that is generally clear and transparent. It forms when supercooled droplets of drizzle or rain freeze on objects with a temperature lower or slightly higher than 0°C, or when non-supercooled droplets freeze directly after impacting surfaces with a temperature below 0°C (Słownik... 2003). The coating is exceptionally hard and heavy and, therefore, solid and dangerous.

Factors deciding the scale of a glaze hazard are complex (Zeer 1997). They include the intensity of freezing precipitation, its duration, air temperature, and, in some cases, wind speed and direction (Fig. 147).

Local conditions, height above sea level, relief and exposition, proximity to reservoirs as well as location in urban or rural areas have additional influence (Fig. 146, Fig. 148-154).

Glaze ice is one of the meteorological phenomena that is dangerous for many economic sectors and that obstructs human activity. The primary dangers and damage caused by rime are road and pavement icing, destruction of tree stands and overhead lines as well as aircraft icing both in-flight and on the ground.

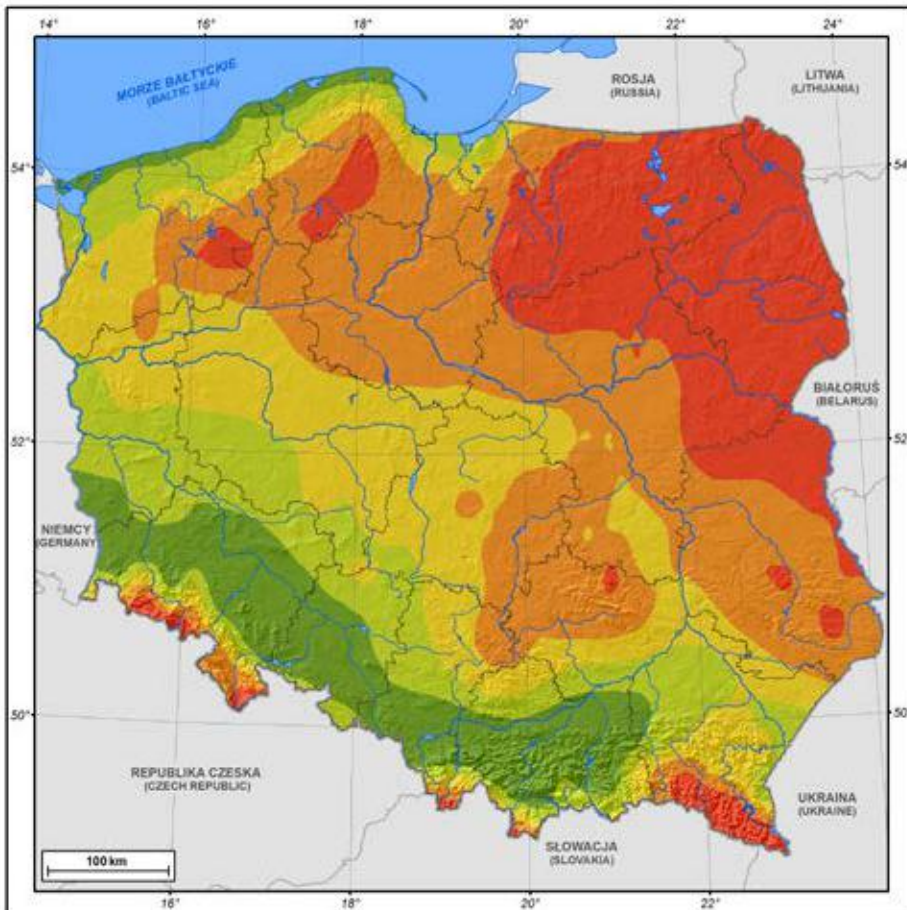
The damage may be intensified by previously occurring rime or snowfall which, having collected on overhead lines and poles, increase their surfaces and lead to higher accumulation of freezing precipitation.



137

Średnia roczna liczba dni z obserwacją szadzi

Mean annual number of days with rime ice



138

Prawdopodobieństwo wystąpienia warunków sprzyjających tworzeniu się szadzi w okresie: październik – kwiecień

Occurrence probability of conditions favoring rime ice (October – April)

139

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z obserwacją szadzi w październiku

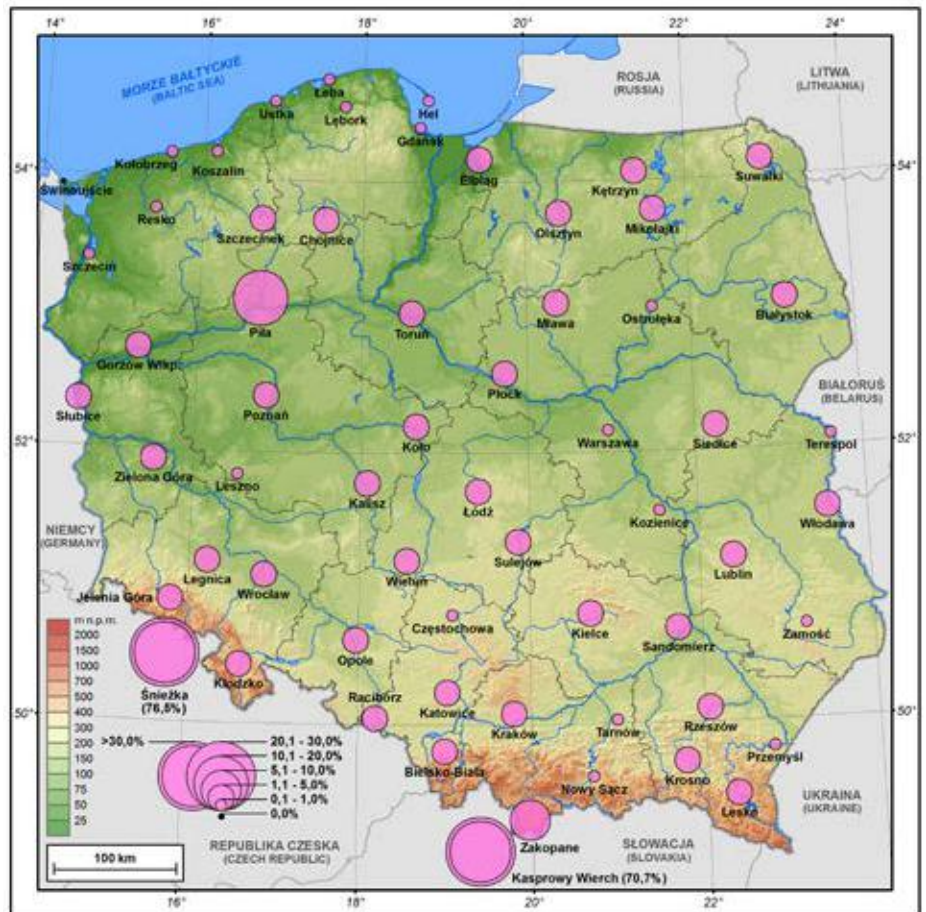
Occurrence probability of a day with rime ice in October

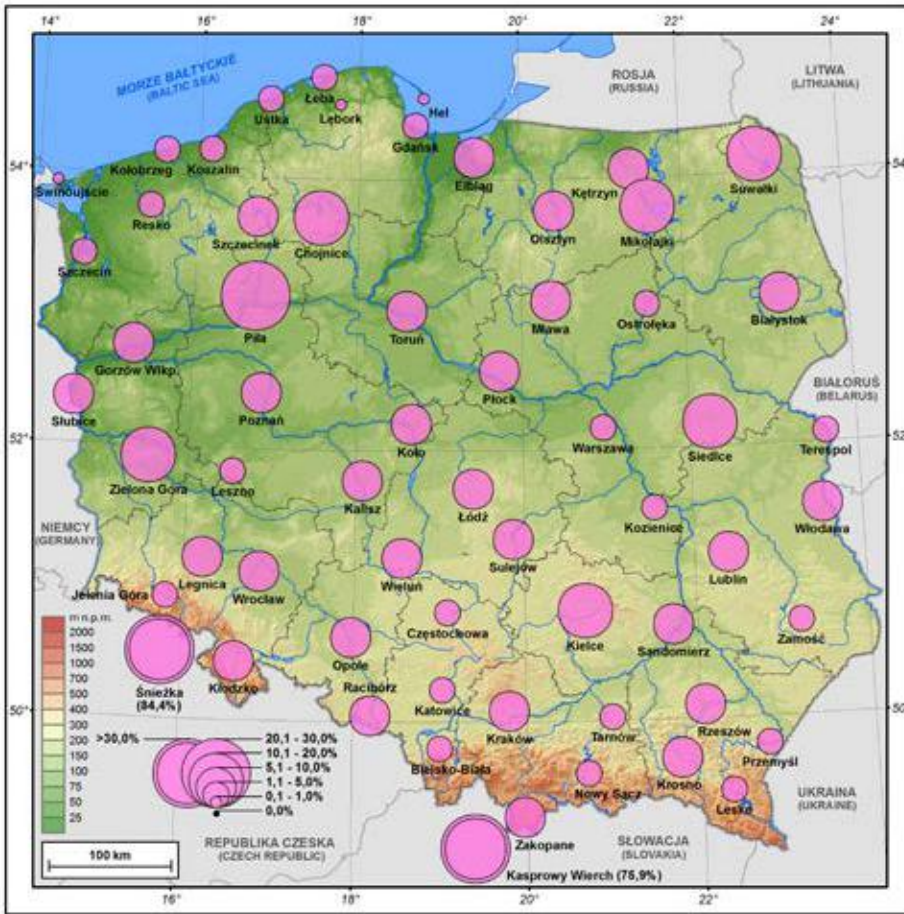


140

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z obserwacją szadzi w listopadzie

Occurrence probability of a day with rime ice in November

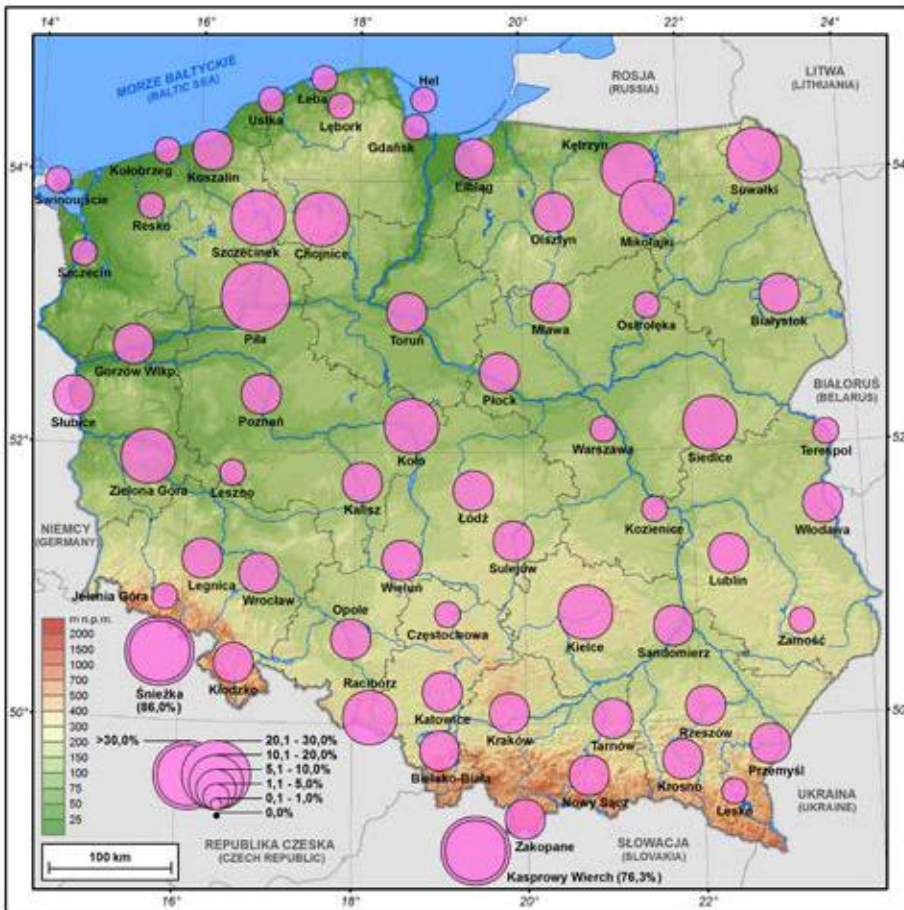




141

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z obserwacją szadzi w grudniu

Occurrence probability of a day with rime ice in December



142

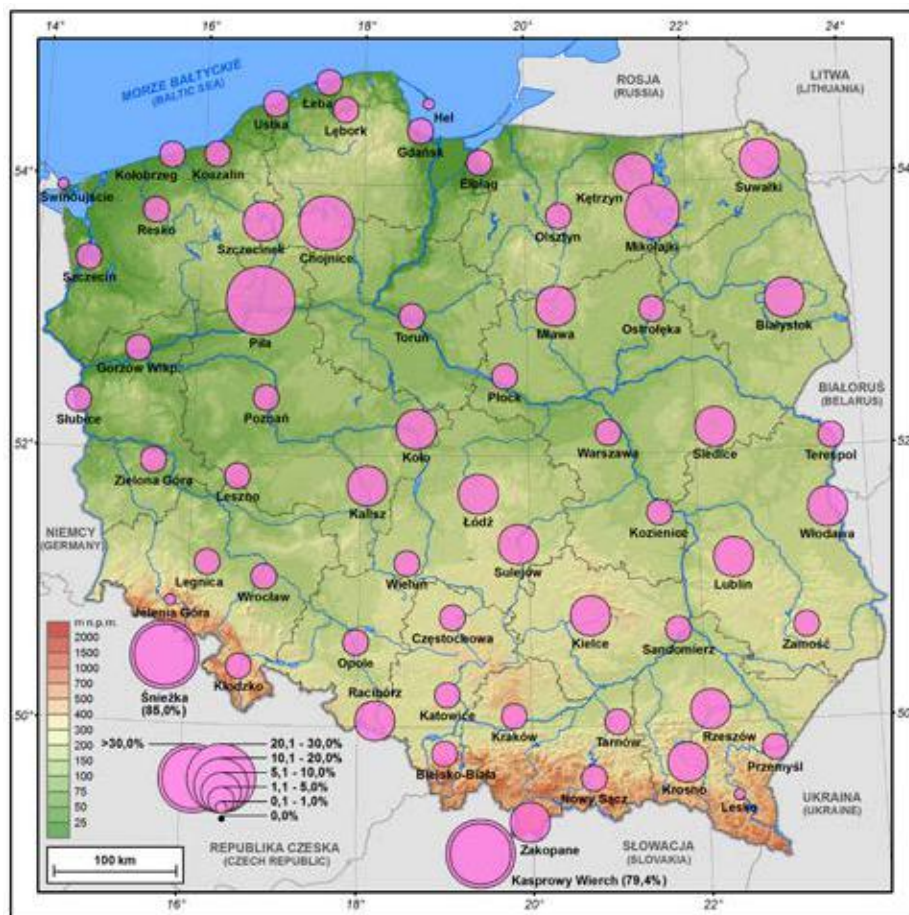
Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z obserwacją szadzi w styczniu

Occurrence probability of a day with rime ice in January

143

Prawdopodobieństwo wystąpienia
dnia z obserwacją szadzi w lutym

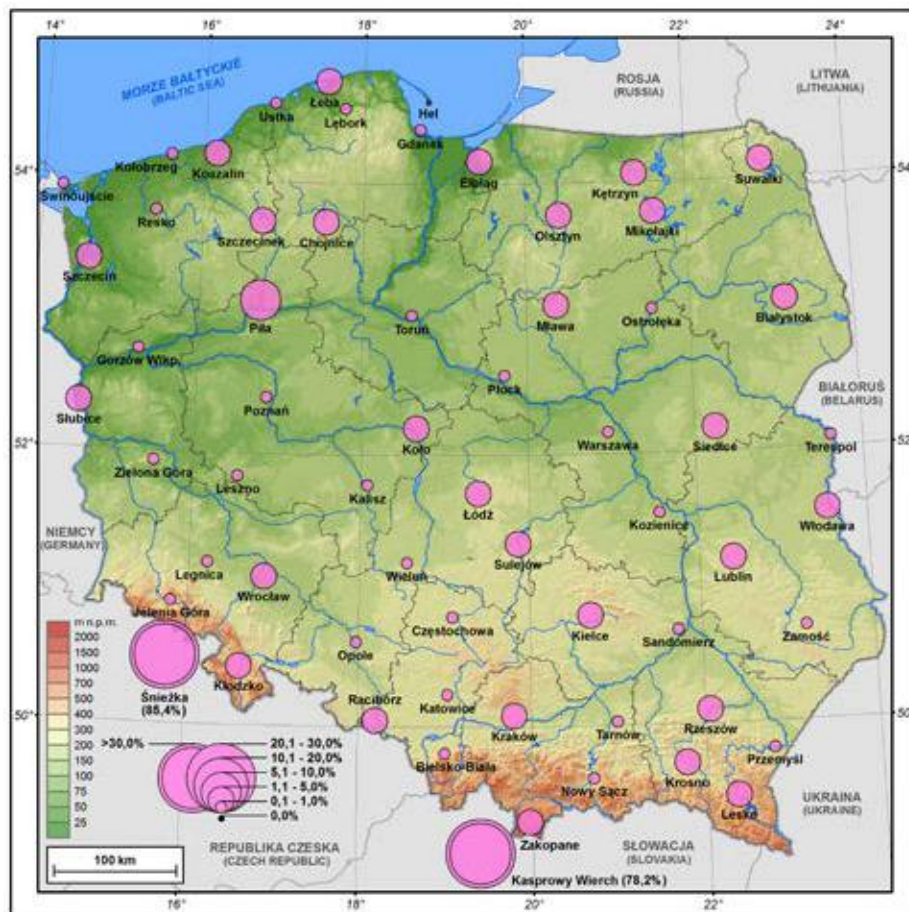
Occurrence probability of a day with rime ice
in February



144

Prawdopodobieństwo wystąpienia
dnia z obserwacją szadzi w marcu

Occurrence probability of a day with rime ice
in March





145

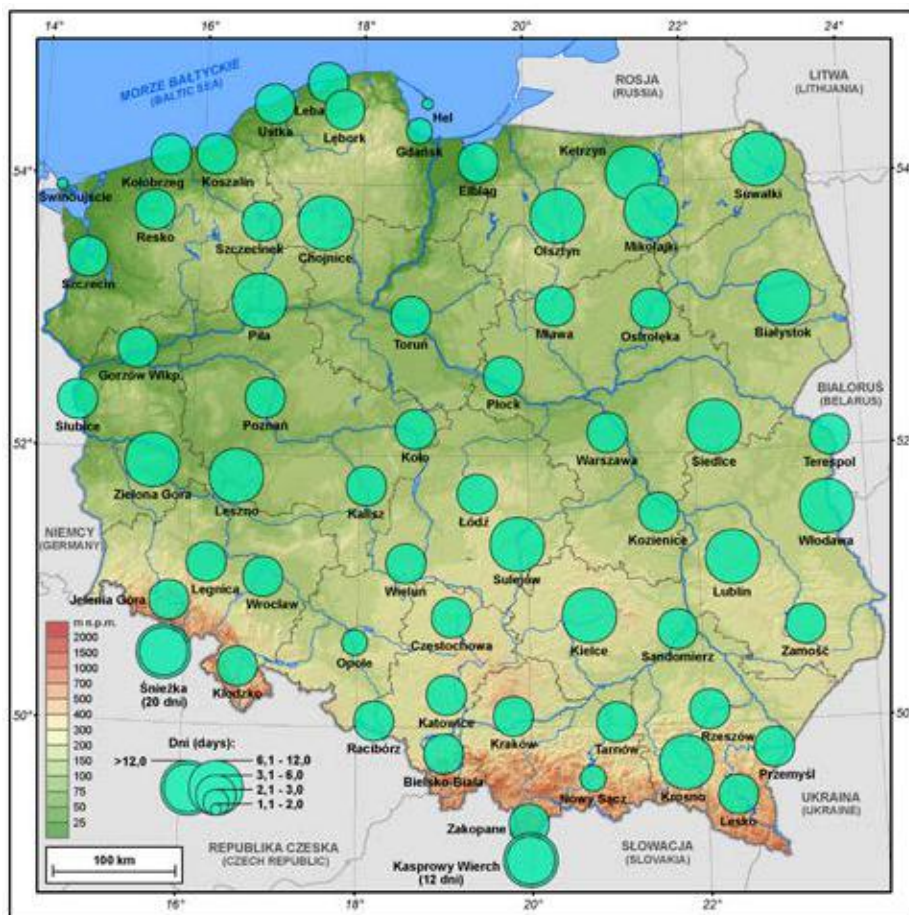
Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z obserwacją szadzi w kwietniu

Occurrence probability of a day with rime ice in April



146

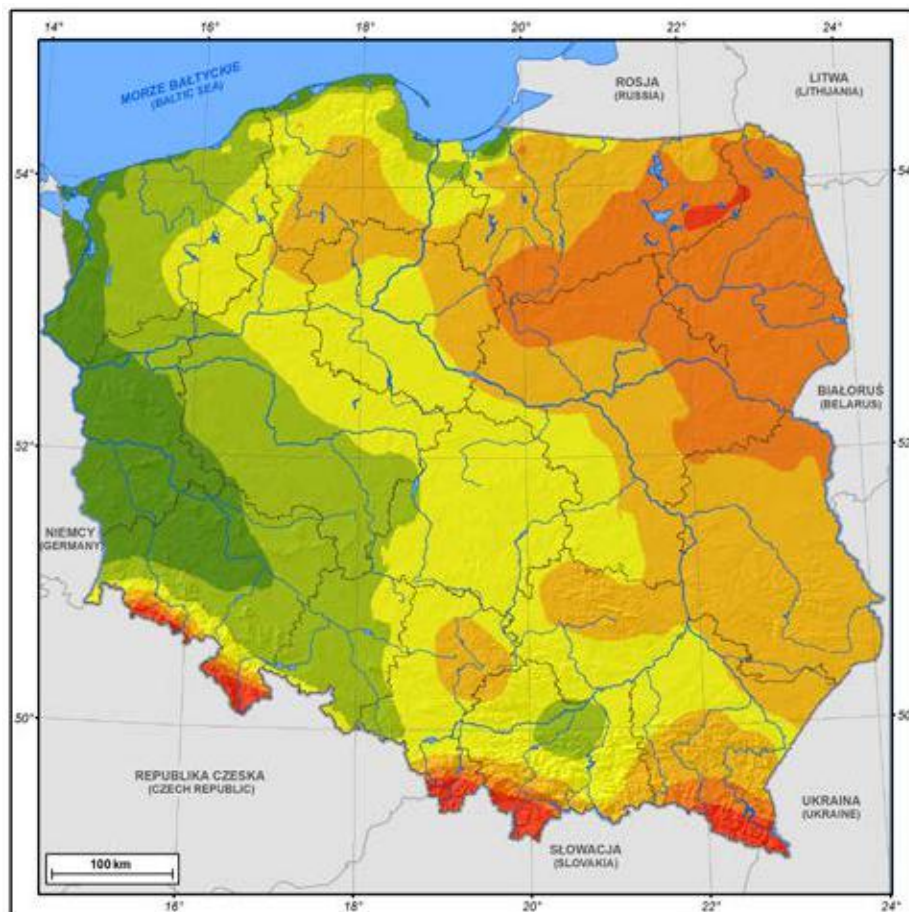
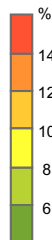
Średnia liczba dni z gołoledzią w roku
 Mean annual number of days with glaze ice



147

Prawdopodobieństwo wystąpienia warunków sprzyjających tworzeniu się gołoledzi w okresie: październik - kwiecień

Occurrence probability of conditions favoring glaze ice (October - April)

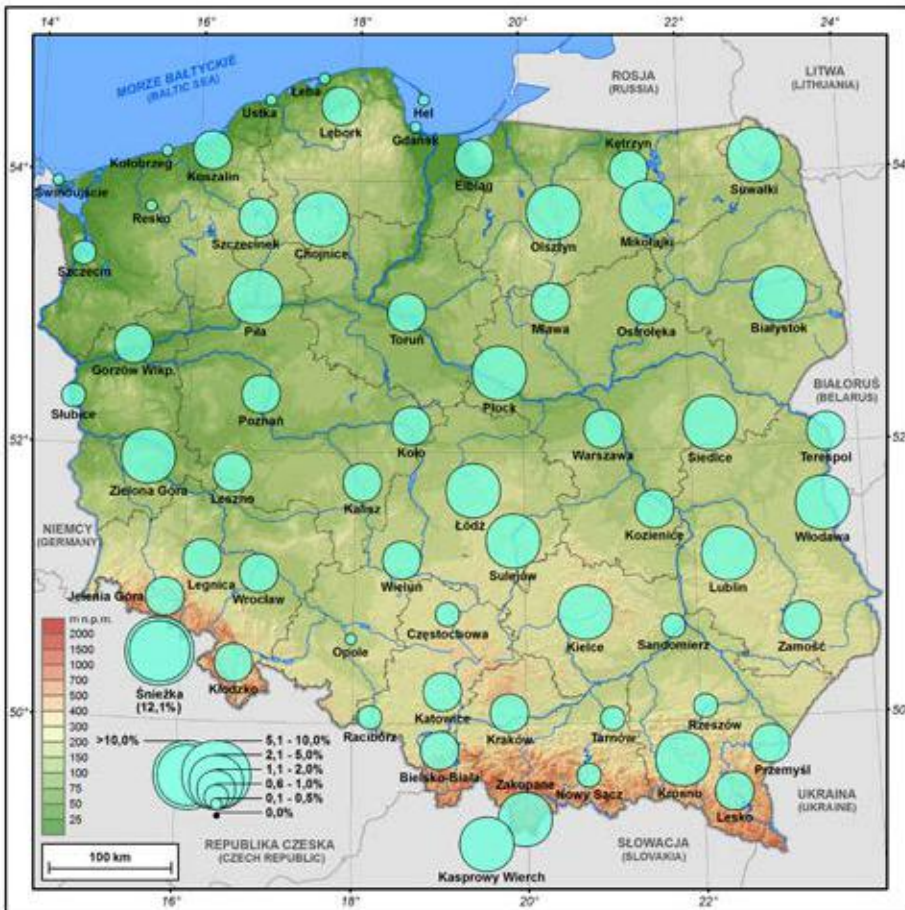




148

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z gołoledzią w październiku

Occurrence probability of a day with glaze ice in October



149

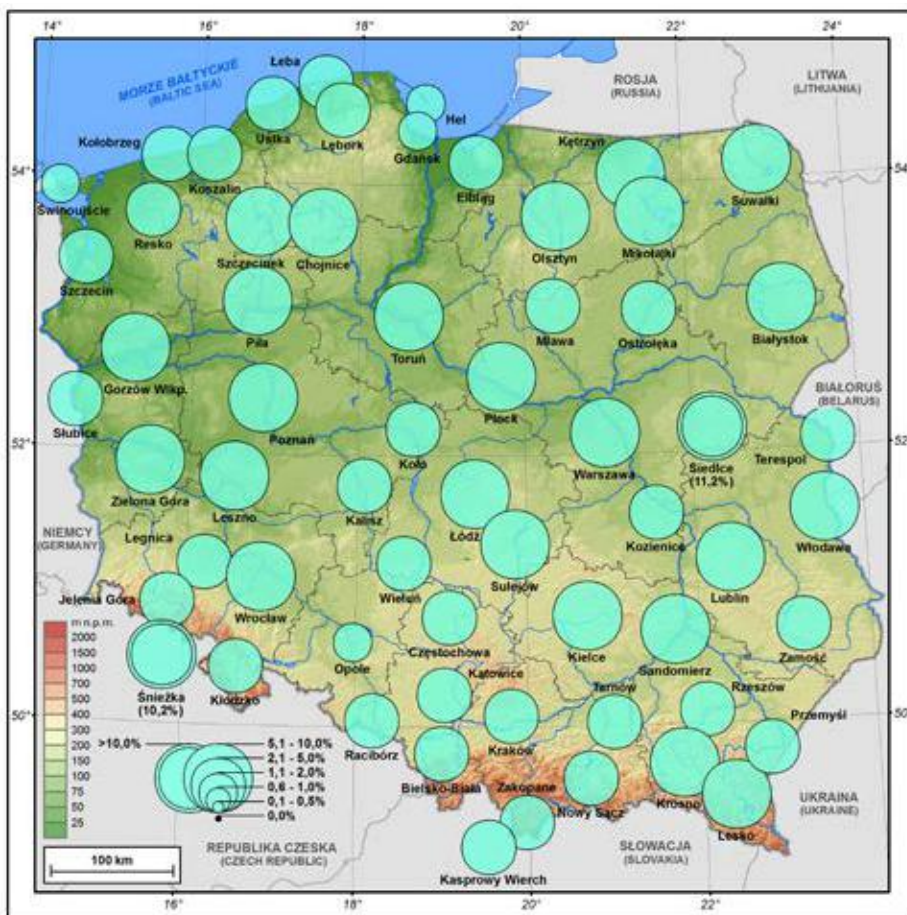
Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z gołoledzią w listopadzie

Occurrence probability of a day with glaze ice in November

150

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z gołoledzią w grudniu

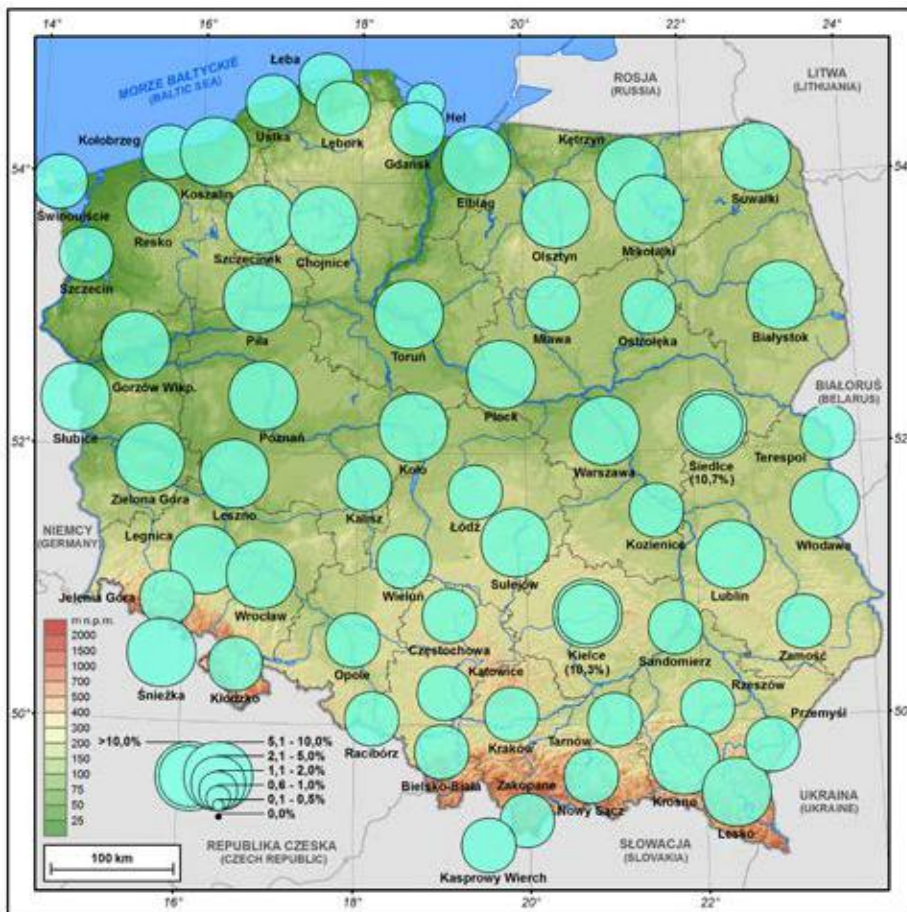
Occurrence probability of a day with glaze ice in December

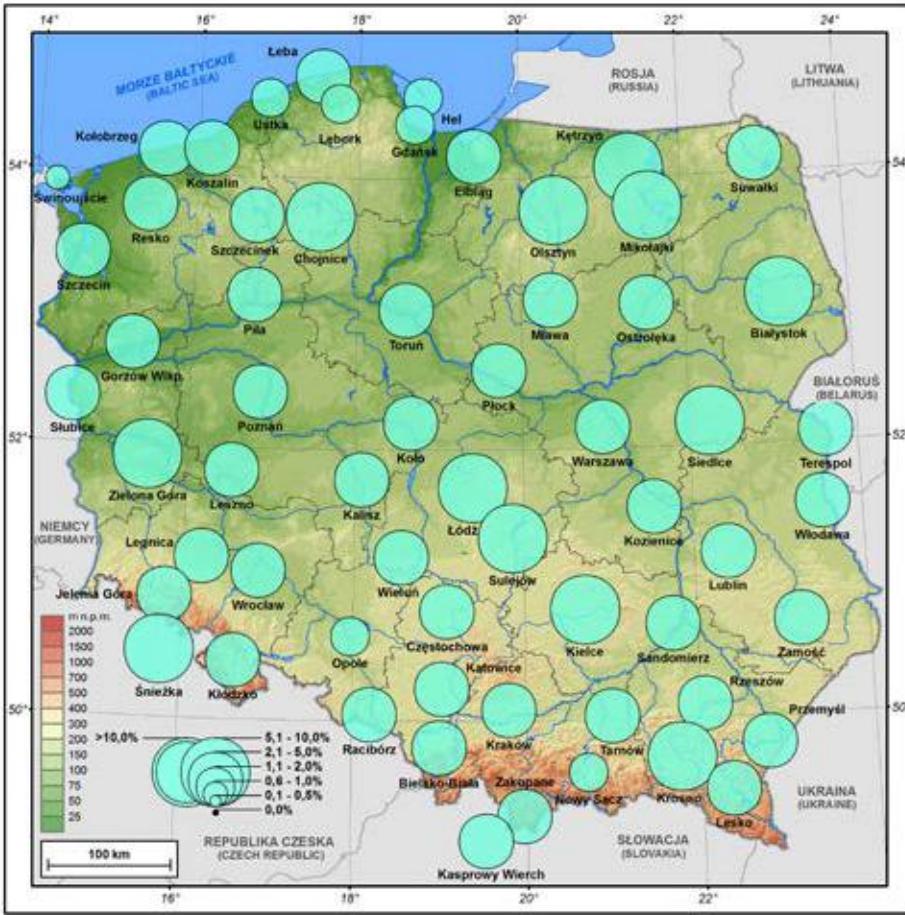


151

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z gołoledzią w styczniu

Occurrence probability of a day with glaze ice in January

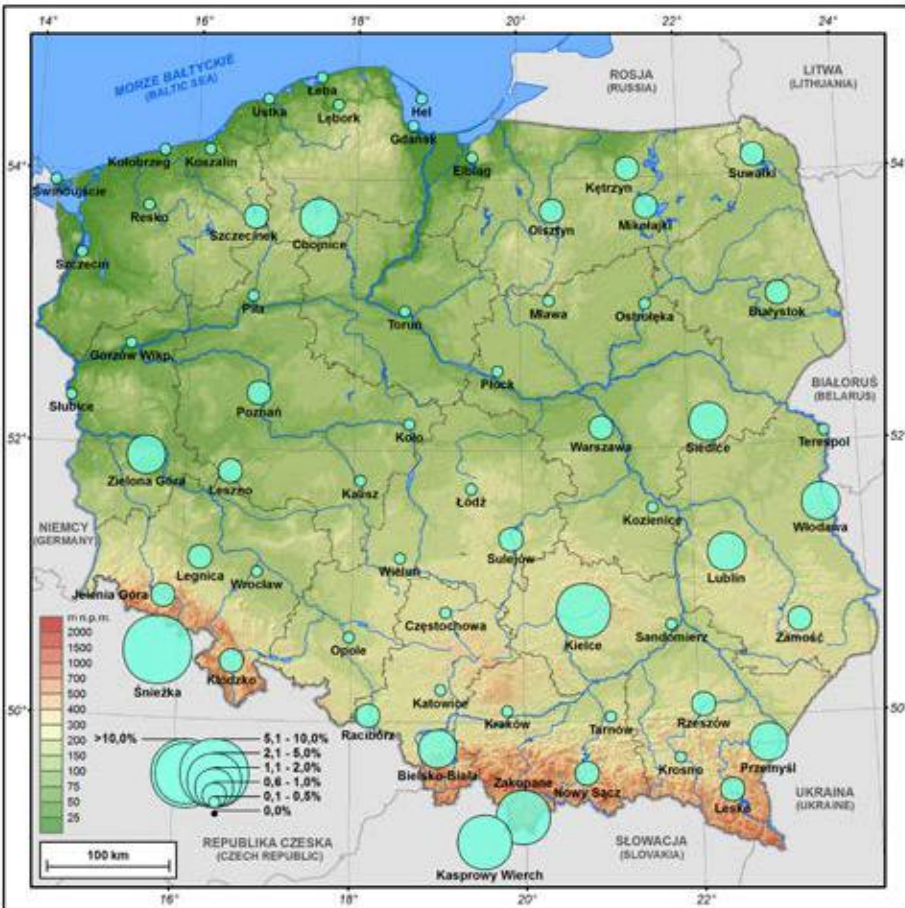




152

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z gołoledzią w lutym

Occurrence probability of a day with glaze ice in February



153

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z gołoledzią w marcu

Occurrence probability of a day with glaze ice in March

154

Prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z gołoledzią w kwietniu
 Occurrence probability of a day with glaze ice in April



Literatura

- Bielec-Bąkowska Z., 2013, *Burze i grady w Polsce*. Zeszyty Naukowe UJ Prace Geograficzne, 132, 99-132.
- Brönnimann S., Luterbacher J., Ewen T., Diaz H.F., Stolarski R.S., Neu U. (red.), 2008, *Climate variability and extremes during the past 100 years* (Advances in Global Change Research 33). Springer Science + Business Media B.V.
- Castillo E., Hadi A.S., Balakrishnan N., Sarabia J.M., 2005, *Extreme value and related models with applications in engineering and science*. A John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Chrzanowski J., 1988, *Pokrywa śnieżna w Polsce, klasyfikacja jej grubości i regionalizacja*. Materiały Badawcze IMGW, s: Meteorologia, 15, Warszawa.
- Dai A., 2001a, *Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part I: Seasonal and interannual variations*. Journal of Climate, 14, 1092-1111.
- Dai A., 2001b, *Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part II: diurnal variations*. Journal of Climate, 14, 1112-1128.
- Dobesch H., Dumolard P., Dyras I. (red.), 2007, *Spatial interpolation for climate data: the use of GIS in climatology and meteorology*. ISTE, London.
- Elguindi N., Bi X., Giorgi F., Nagarajan B., Pal J., Solmon F., Rauscher S., Zakey A., Giuliani G., 2011, *Climatic model RegCM user manual - Version 4.1*. Trieste, Italy.
- Evans M., Hastings N., Peacock B., 2000, *Statistical distributions*. A John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Falarz M., 2008, *Changes in extreme nival conditions in Poland during the second half of the 20th century*. Meteorologische Zeitschrift, 17, 3, 339-344.
- Finnegan W.G., Chai S.K., Detwiler A., 2004, *Enhanced and oriented riming of growing ice crystals*. Journal of the Atmospheric Sciences, 61, 15, 1976-1981.
- Golnaraghi M. (red.), 2012, *Institutional partnerships in multi-hazard early warning systems: a compilation of seven national good practices and guiding principles*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

Literature

- Haklander A.J., Van Delden A., 2003, *Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands*. Atmospheric Research, 67-68, 273-299.
- Hengl T., 2007, *A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables*. EUR 22904 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Hengl T., Bajat B., Blagojevic D., Reuter H., 2008, *Geostatistical modeling of topography using auxiliary maps*. Computers & Geosciences, 34, 1886-1899.
- IPCC, 2001, *Climate Change 2001. The scientific basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- IPCC, 2013, *Climate Change 2013: The physical science basis. IPCC Working Group I Contribution to Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- Klein Tank A.M.G., Zwiers F.W., Zhang X., 2009, *Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. Climate Data and Monitoring Rep. WCDMP 72, WMO-TD 1500.
- Klimaszewska K., Sârbu C., Polkowska Ż., Błaś M., Sobik M., Namieśnik J., 2008, *Rime samples characterization and comparison using classical and fuzzy principal components analysis*. Central European Journal of Chemistry, 6, 2, 208-215.
- Kundzewicz Z.W. (red.), 2012, *Changes in flood risk in Europe*. IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire.
- Lorenc H., 1996, *Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce*. Materiały Badawcze IMGW, s: Meteorologia, 25, Warszawa.
- Lorenc H., 2012, *Maksymalne prędkości wiatru w Polsce*. IMGW -PIB, Warszawa.
- Łupikasza E., 2013, *Typy genetyczne opadów ekstremalnych w Europie oraz ich uwarunkowania synoptyczne (1951-2008)*. Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, 81, Katowice.

- Makkonen L., 1998, *Modeling power line icing in freezing precipitation*. Atmospheric Research, 46, 131-142.
- McClung D.M., Schaerer P., 2006, *The avalanche handbook 3rd Edition*. The Mountaineers, Seattle – Washington.
- Migała K., Liebersbach J., Sobik M., 2002, *Rime in the Giant Mts. (The Sudetes, Poland)*. Atmospheric Research, 64, 63-73.
- Słownik meteorologiczny* (red. T. Niedźwiedź), 2003, PTGeofiz. IMGW, Warszawa.
- Soares P. M.M., Cardoso R.M., Miranda P.M.A., de Medeiros J., Belo-Pereira M., Espirito-Santo F., 2012, *WRF high resolution dynamical downscaling of ERA-Interim for Portugal*. Climate Dynamics 39, 9-10, 2497-2522.
- Toth G., Gultepe I., Milbrandt J., Hansen B., Pearson G., Fogarty C., Burrows W., 2010, *The Environmental Canada Handbook on fog and fog forecasting*. Environment Canada, Quebec.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2009, *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce / Atlas of extreme meteorological phenomena and synoptic situations in Poland*. IMGW, Warszawa.
- Ustrnul Z., Wypych A., Kosowski M., 2012, *Extreme temperature and precipitation in Poland – an evaluation attempt*. Meteorologische Zeitschrift, 21, 37-47.
- Wibig J., 2000/2001, *The methods of analysis of extreme temperature events*. Annales UMCS Sec. B, 55/56, 369-375.
- WMO, 2009, *Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. WMO/TD No. 1500.
- WMO, 2010, *Guidelines on early warning systems and application of nowcasting and warning operations*. WMO/TD No. 1559.
- WMO, 2012, *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. WMO-No. 8.
- Wypych A., Ustrnul Z., Henek E., 2014, *Meteorological hazards – visualization system for national protection against extreme hazards for Poland*. Meteorology Hydrology and Water Management, 2(1), 37-42.
- Zerr J. R., 1997, *Freezing rain: observational and theoretical study*. Journal of Applied Meteorology, 36, 1647-1661.

„ATLAS ZAGROŻEŃ METEOROLOGICZNYCH POLSKI”

... jest nowoczesnym opracowaniem przedstawiającym po raz pierwszy w Polsce dokładną strukturę przestrzenną najważniejszych ekstremalnych zjawisk meteorologicznych w Polsce, opracowaną w sposób obiektywny na podstawie długich i jednorodnych serii danych ...

... do oceny zagrożeń wykorzystano charakterystyki probabilistyczne ich wystąpienia w poszczególnych miesiącach, a przy najgroźniejszych zjawiskach z rozdzielczością dekadową. Tak dokładna rozdzielczość czasowa była do tej pory rzadko stosowana w Europie ...

... pozycja przedstawia nowoczesną i obiektywną charakterystykę zmienności przestrzennej ekstremalnych zjawisk meteorologicznych Polski mogących stanowić zagrożenie dla gospodarki i ludności ...

... poza wartością naukową praca jest cenna także pod względem metodycznym. Najważniejsze jest jednak jej zastosowanie praktyczne jako podstawowego źródła informacji o zagrożeniach meteorologicznych poszczególnych regionów Polski ...

[*Profesor Tadeusz Niedźwiedź*]

INTENSYWNE OPADY ATMOSFERYCZNE
TEMPERATURA POWIETRZA
SZADŹ I GOŁOŁEŹ
POKRYWA ŚNIEŻNA
BURZE I MGŁA
WIATR

