Agnieszka Kowalczyk, Magdalena Szydło,
Izabela Stępińska-Drygała, Piotr Wesołowski,
Małgorzata Bejger, Marcin Gołębiewski

INFORMATOR **PSH**

NIŻÓWKI HYDROGEOLOGICZNE W POLSCE W LATACH 1981–2015

Recenzent: prof. dr hab. Andrzej Sadurski

KZGW Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej

PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY – MENTE ET MALLEO – 1919 – PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Wykonano na zamówienie
Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej
za środki wypłacone przez Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2017

Skład i opracowanie typograficzne: Brygida Grodzicka, Ewelina Leśniak
Projekt okładki: Barbara Ruszkiewicz
Zdjęcie na okładce: pixabay.com / 189852 „Plukje"

Akceptowała do druku dnia 31.03.2017 r.
Zastępca dyrektora ds. służby geologicznej PIG-PIB
Edyta Majer

© Copyright by Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2017

ISBN 978-83-7863-722-6

Adres redakcji:
Dział Wydawnictw
Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; tel. 22 4592 480

Nakład: 400 egz.
Druk: Drukarnia Braci Grodzickich Sp. J., ul. Geodetów 47a, 05-500 Piaseczno

SPIS TREŚCI

Wstęp 5

Cel pracy 5

Przegląd literatury 5

Ogólne informacje o zjawisku wahań zwierciadła wody podziemnej 7

Czym jest niżówka hydrogeologiczna? 9

Metodyka i dane wejściowe 12

Przebieg zjawiska w czasie – cykliczność wahań,
serie lat największej liczby wystąpień niżówek hydrogeologicznych 20

Analiza przestrzenno-czasowa 31

Czas trwania niżówek 102

Obszary o najdłuższym czasie trwania niżówek 107

Sezonowość zjawiska 107

Częstość przekraczania stanu granicznego niżówki 113

Zależności między występowaniem niżówek a parametrami warstwy wodonośnej 114

Podsumowanie 118

Literatura 119

WSTĘP

Informator państwowej służby hydrogeologicznej został opracowany w Programie Zagrożenia i Ochrona Wód Podziemnych w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) na zamówienie Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej (KZGW). Przedstawiono w nim część zagadnień opracowanych w latach 2015–2016 na potrzeby realizacji zadania państwowej służby hydrogeologicznej (PSH) pt. „Wyznaczenie ekstremalnych stanów wód podziemnych w Polsce w zapisie stacjonarnych obserwacji wahań położenia zwierciadła wody" (Raport z zadania nr 29 PSH, 2017). Prace i publikacja wyników w formie *Informatora PSH* były finansowane ze środków NFOŚiGW zgodnie z zapisami umowy nr 521/2015/Wn-07/FG-HG-DN/D zawartej w dniu 24.11.2015 r.

CEL PRACY

Celem pracy jest przeanalizowanie występowania niżówek hydrogeologicznych w Polsce (w ujęciu lat hydrologicznych) w wieloleciu 1981–2015. Temat wydaje się interesujący nie tylko ze względów badawczych, lecz także gospodarczych. Prześledzenie zmienności wieloletniej niskich stanów wód podziemnych jest ciekawe w kontekście poznawczym samego zjawiska wahań zwierciadła tych wód oraz zachodzących zmian klimatu. Długotrwałe, naturalne obniżenia zwierciadła wód podziemnych na obszarach niezwodociągowanych mogą powodować skutki socjalne i finansowe. Z tego względu analiza dotycząca występowania niżówek hydrogeologicznych może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne.

PRZEGLĄD LITERATURY

Długotrwały deficyt opadów atmosferycznych może skutkować suszą hydrologiczną, która przejawia się obniżeniem wielkości przepływów w rzekach i położenia zwierciadła wód podziemnych. Stosunkowo często w różnego rodzaju opracowaniach jest podejmowana kwestia niżówek płynących wód powierzchniowych, natomiast rzadko analizuje się suszę w aspekcie wód podziemnych. Niewiele jest w literaturze opracowań, w których podano wyniki badań dotyczących wieloletniej zmienności występowania niskich stanów wód podziemnych w skali kraju. W ramach działalności PSH od 2004 r. są publikowane komunikaty o sytuacji hydrogeologicznej w Polsce, w których analizuje się zjawisko niżówki hydrogeologicznej. Jednak, ze względu na charakter opracowania, przedstawia się w nich analizę sytuacji z ostatnich bieżących miesięcy, a nie wieloleci (Komunikaty...1–12a/2016). Również *Biuletyn* i *Rocznik hydrogeologiczny PSH* nie dostarczają tego typu informacji (Cabalska i in., 2016, 2017).

Tematyką wieloletnich zmian położenia zwierciadła wód podziemnych na podstawie danych ze świeżo zorganizowanej sieci obserwacyjnej wód gruntowych w badanym 8-letnim okresie zajmował się Skibniewski (1957). Stwierdził on tendencje do obniżania zwierciadła wód podziemnych na terenie Polski. Kolejnymi publikacjami, w których zawarto wyniki analiz wieloletnich wahań wód podziemnych na terenie całego kraju były prace Chełmickiego. Pierwszą z nich był artykuł z 1986 r. oparty na danych ze 156 posterunków Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) z lat 1951–1978. Na podstawie średnich arytmetycznych wyliczonych przez siebie wskaźników Chełmicki dokonał próby oceny generalnej tendencji zmian pierwszego poziomu wodonośnego. Następnie w monografii z 1991 r. opisał naturalny reżim płytkich wód podziemnych, wykorzystując pomiary z lat 1961–1980 z 264 posterunków obserwacyjnych IMGW. Dodatnią tendencję w wieloletnim położeniu zwierciadła stwierdził w przypadku 61% badanych punktów, co wiąże

ze wzrostem opadów w przeważającej części kraju w badanym okresie. Podnoszenie się zwierciadła wód podziemnych zidentyfikował głównie na obszarze północno-wschodniej części kraju. Z kolei tendencja ujemna dominowała na terenie części wybrzeża i w zachodniej Polsce. W sumie trend obniżania się zwierciadła wystąpił w 12% punktów. Natomiast 27% badanych punktów nie wykazywało wyraźnego kierunku zmian. Następną pracą, w której analizą objęto obszar całego kraju, były badania stanów ekstremalnych wód podziemnych w wieloleciu 2010–2015 (Kowalczyk i in., 2016), czyli od roku, w którym wystąpiła powódź (2010) do czasu suszy (2015). Na bazie analizy pomiarów z 398 punktów obserwacyjnych PIG-PIB stwierdzono zróżnicowaną reakcję wód podziemnych na sytuację hydrologiczno-meteorologiczną w badanych trzech systemach wodonośnych, wyznaczonych na podstawie wielkości ciśnienia piezometrycznego i głębokości występowania stropu warstwy wodonośnej.

Poza wspomnianymi publikacjami istnieją również opracowania dotyczące wieloletnich zmian stanów wód podziemnych, ograniczone do wybranych obszarów kraju. Zdecydowana większość z nich bazuje na wynikach obserwacji z sieci wód podziemnych IMGW. Do tego typu prac należy zaliczyć artykuł Paszczyka (1973) oparty na materiałach z wybranych posterunków północno-wschodniej Polski, w którym autor sugeruje występowanie wahań zwierciadła w cyklach od 5 do 12 lat. Kolejną cenną publikacją jest praca Dynowskiej i Pietrygowej (1978), traktująca o wodach podziemnych dorzecza górnej Wisły. Autorki na podstawie analizy 20-letniej serii pomiarów stwierdzają występowanie rytmów wieloletnich w wahaniach wód podziemnych i piszą o dominującym wzroście położenia zwierciadła płytkich wód podziemnych w badanym okresie. Również Siemonow i in. (1978), analizując wielolecie 1949–1975 w północno-wschodniej Polsce na podstawie 23 posterunków IMGW, stwierdzają, że dominuje dodatni trend w podnoszeniu zwierciadła wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego. W rejonie Łodzi wieloletnią zmienność zwierciadła wód analizował Jeż (1986). Wykazał on w okresie 1960–1980 istnienie dwóch dziedzin punktów o odmiennych tendencjach wahań. Z kolei Małecka i Witkowski (1981) prowadzili badania na obszarze Podhala, wskazując na różnice w reżimie tych wód a wód typowych dla obszarów nizinnych. Tomaszewski (1990) w monografii dotyczącej charakteru wahań zwierciadła pierwszego poziomu wodonośnego opisuje wieloletnią cykliczność zmian położenia zwierciadła wód podziemnych w dorzeczu górnej i środkowej Odry. Na podstawie ciągów pomiarów z 25 posterunków IMGW z lat 1945–1979 przeanalizował m.in. średnie roczne położenie zwierciadła wód podziemnych i roczne amplitudy wahań. Według jego badań przeciętnie głębokie obniżenie zwierciadła wody zaznaczyło się od lat 40. do 50. XX w. Po tym okresie nastąpił wydatny wzrost stanów wody. W następnych dwóch dziesięcioleciach (lata 60. i 70. XX w.) oscylacje były na ogół umiarkowane. Jednocześnie w wielu przypadkach stany utrzymywały się powyżej wartości średniej wieloletniej. Kolejne prace poruszające problematykę zmienności wieloletniej położenia zwierciadła wód podziemnych dotyczą względnie niewielkich obszarów i dokumentują najczęściej serie lat wzrostu lub spadków zwierciadła wody albo w okresach dłuższych naprzemianległość występowania przeciwnych tendencji (Dąbrowski, 1997; Somorowska, 2001; Krogulec, 2004; Buczyński, Staśko, 2004; Buczyński i in., 2005; Kachnic, 2007; Lenartowicz, 2007; Graf, 2010; Tomalski, 2011; Kowalczyk i in., 2015). Są też autorzy, którzy w większości rozpatrywanych punktów obserwacyjnych stwierdzili brak istotnych liniowych trendów długookresowych (Tarka, 1997; Tomalski, 2011). Znaczną cześć kraju obejmują badaniami Afelt i Oksiuta (2009), analizując stany ekstremalne płytkich wód podziemnych na zbiorze danych z 49 posterunków IMGW położonych w 21 zlewniach (północne i północno-wschodnie części kraju oraz w mniejszym stopniu obszary górskie na południu). W analizowanym wieloleciu 1961–2000 nie stwierdzają istotnej statystycznie zmiany w przebiegu stanów ekstremalnych, podkreślają natomiast cykliczność odzwierciedlającą okresy wzmożonego zasilania opadowego lub jego deficytu. Wskazują na asynchroniczność w występowaniu stanów ekstremalnych II rzędu w dokładniej analizowanym 20-leciu 1971–1990. Zwracają też uwagę, że w przeważającej liczbie przypadków terminy wystąpienia ekstremalnych stanów niskich są współzmienne z występowaniem okresów najdłużej trwających stanów niskich. Interesująca jest także praca Tarko i Staśki (2010), w której przedstawiono analizę występowania niskich stanów wód podziemnych w latach 1985–2005 na obszarze Sudetów. Analizując dane z 5 źródeł i 5 otworów hydrogeologicznych PIG-PIB zwrócono uwagę na odmienny przebieg zjawiska obniżania zwierciadła wody w płytkich i głębokich poziomach wodonośnych. W głębokich poziomach wodonośnych przy długotrwałym deficycie opadów dochodzi do trwałego obniżenia zwierciadła, podczas gdy w płytkich poziomach niżówki nie są ciągłe i towarzyszą im okresy wzrostu zwierciadła. We wszystkich badanych poziomach najniższe stany wód wystąpiły na początku lat 90. XX w. Autorzy wnioskują, że na badanym obszarze do wywołania suszy w głębszych poziomach wodonośnych niezbędne jest utrzymywanie się opadów poniżej średniej rocznej z wielolecia przez co najmniej 3 lata. Natomiast w wodach płytszych skraca się reakcja zwierciadła na opad atmosferyczny i dominują wahania sezonowe, a niżówki hydrogeologiczne występują głównie w okresach zimowych.

Obecnie KZGW przygotowuje plany przeciwdziałania skutkom suszy w regionach wodnych kraju, które mają być gotowe pod koniec 2017 r. Z poddanych konsultacjom społecznym projektów tych planów wynika, że będą zawierać one m.in. analizę zjawiska suszy w wodach podziemnych, czego efektem ma być wskazanie obszarów o największym stopniu wrażliwości na wystąpienie suszy hydrogeologicznej w poszczególnych regionach wodnych. Metodyka projektów zakłada analizowanie wszystkich poziomów wodonośnych razem na podstawie ciągów pomiarowych głębokości zwierciadła wody o różnej długości obserwacji. Tego typu podejście może przełożyć się na trudność w interpretowaniu końcowych wyników prac.

OGÓLNE INFORMACJE O ZJAWISKU WAHAŃ ZWIERCIADŁA WODY PODZIEMNEJ

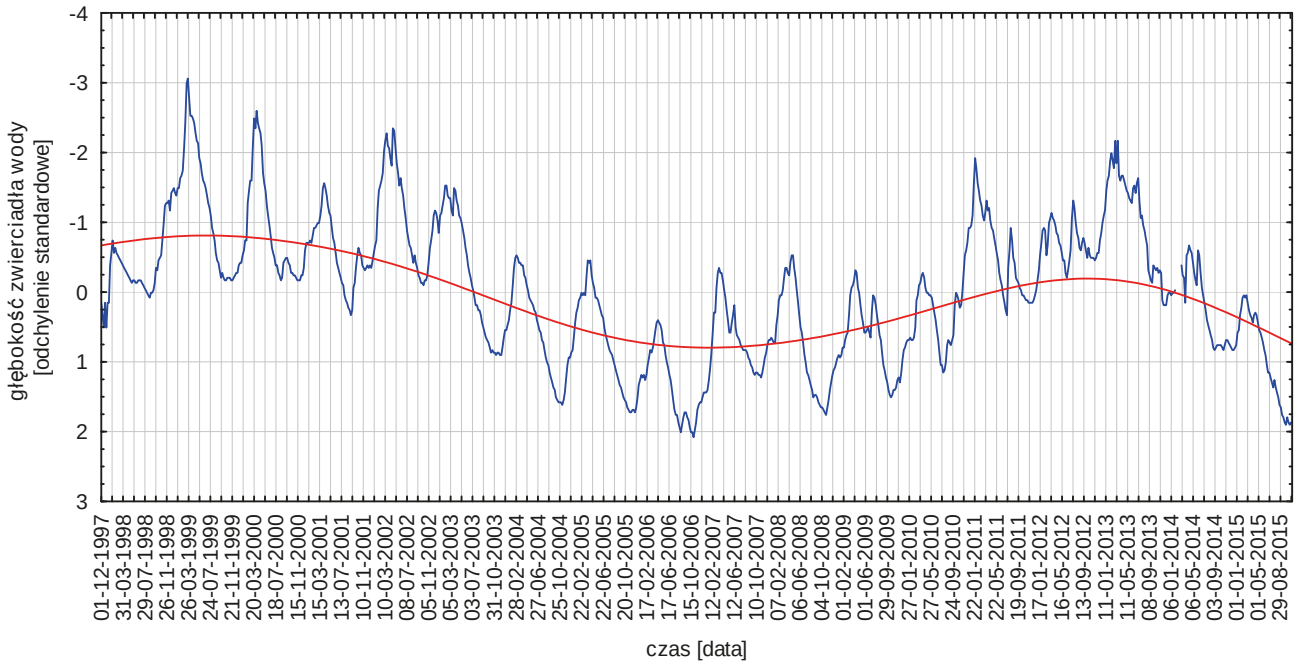
Pod powierzchnią terenu w porach lub szczelinach warstw wodonośnych, zbudowanych z różnych utworów geologicznych, znajdują się wolne wody podziemne, które podlegają sile ciężkości. Położenie zwierciadła tych wód ulega w czasie naturalnym fluktuacjom. Jest ono wypadkową zasilania i odpływu wody z warstwy wodonośnej – składowych, których wzajemne proporcje nie są stałe. O zachodzących zmianach dowiadujemy się dzięki systematycznym pomiarom głębokości położenia zwierciadła wody w otworach hydrogeologicznych, którymi najczęściej są specjalnie w tym celu wykonane piezometry lub studnie kopane. W ostatnich czasach rozwija się również analiza pozyskiwanych danych satelitarnych, np. dotyczących siły ciężkości. Nie jest wykluczone, że te pomiary, odpowiednio zinterpretowane, będą dostarczały w przyszłości informacji na temat regionalnej zmienności położenia zwierciadła wód podziemnych.

W porównaniu z powierzchniowymi wodami płynącymi, zachodzące zmiany położenia zwierciadła wód podziemnych przebiegają znacznie wolniej. Ze względu na przyjętą skalę czasową można wyróżnić dobowe, sezonowe, wieloletnie oraz wiekowe (sekularne) fluktuacje stanu zwierciadła wody podziemnej (Pazdro, 1990; Tomaszewski, 1990). Wszystkie mogą współistnieć i nakładać się. Na rycinie 1 przedstawiono zapis położenia zwierciadła wód podziemnych w czasie, w jednym z piezometrów należących do sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych (SOBWP) PIG-PIB. Na wykresie widać wyraźnie interferujące wahania sezonowe i wieloletnie. Fenomen nakładania się wahań o różnej długości okresu jest odzwierciedleniem złożoności rozpatrywanego zjawiska.

Fluktuacje głębokości zwierciadła mogą być wypadkową wielu czynników, wśród których można wyróżnić te o genezie naturalnej, jak również antropogeniczne. Do czynników naturalnych należą: opad atmosferyczny, ewapotranspiracja, temperatura powietrza, czas trwania i grubość pokrywy śnieżnej (pokrywa śnieżna o dużej miąższości, poza zasilaniem w czasie roztopów – retencja śniegowa, może mieć znaczenie ze względu na nacisk wywierany na podłoże) oraz głębokość przemarzania gruntu, ciśnienie atmosferyczne, cyrkulacja powietrza, warunki hydrogeologiczne i geomorfologiczne, naturalne stosunki wodne, hydrografia, aktywność słoneczna, grawitacja Słońca i Księżyca, fale oceaniczne oraz trzęsienia ziemi. Czynnikami antropogenicznymi mogą być np.: eksploatacja wód podziemnych, odwodnienia (w tym melioracje), górnictwo, zmiany zagospodarowania powierzchni terenu, budowle hydrotechniczne, wszelkie ingerencje i zmiany stosunków wodnych.

Niektóre z czynników powodują relatywnie wolną reakcję w zmianie położenia zwierciadła wody, lecz mogą powodować długookresowe skutki. Inne wywołują względnie szybką reakcję.

Zmienność stanów wód podziemnych zależy od wielkości infiltracji efektywnej, czyli ilości opadu docierającego do warstwy wodonośnej. Wielkość ta jest uwarunkowana wieloma parametrami, m.in. charakterystykami opadu atmosferycznego, takimi jak: natężenie, wodność opadu i czas jego



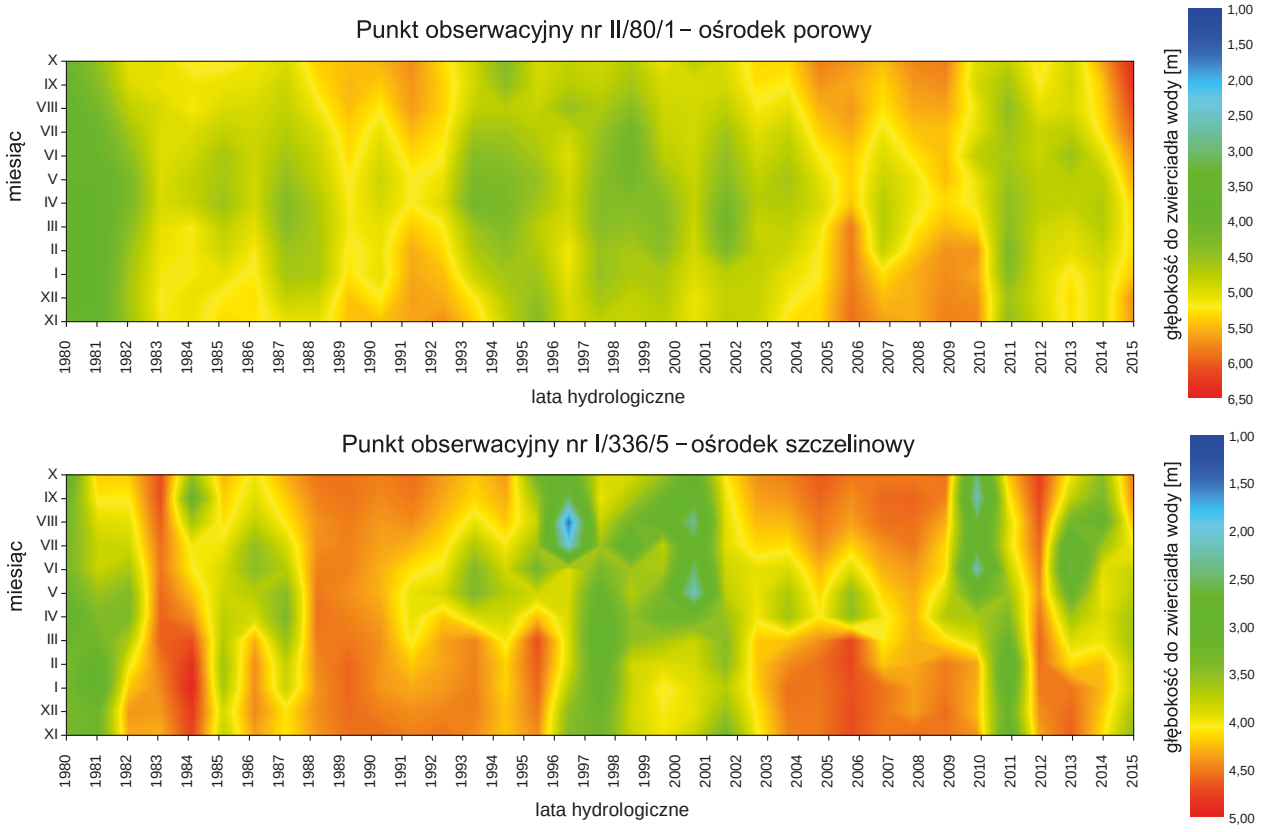
Ryc. 1. Interferencja wahań sezonowych i wieloletnich położenia zwierciadła wód podziemnych na przykładzie cotygodniowych pomiarów prowadzonych w punkcie sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych PIG-PIB nr II/741/1

trwania. Znaczenie ma, czy deszcz jest rozlewny i wykazuje niewielkie zmiany intensywności w czasie, czy też ulewny – odznacza się nagłymi i szybkimi zmianami natężenia oraz względnie krótkim, rzędu jednej godziny, czasem trwania. W zasilaniu warstwy wodonośnej ważny jest stan wilgotności strefy aeracji przed opadem (dopiero, kiedy grunt osiągnie polową pojemność wodną możliwe jest grawitacyjne przesiąkanie wody wolnej – gdy tzw. front zwilżania, tworzący granicę między wodą wsiąkającą a przesiąkającą, dotrze do zwierciadła wód podziemnych zaczyna się proces infiltracji efektywnej) (Eagelson, 1978; Soczyńska, 1989; Tomaszewski, 2012; Kowalczyk, 2016). Temperatura powietrza jest również istotna – wysoka sprzyja parowaniu, a niska może utrudniać infiltrację przez zamarzanie gleby.

Wielkość opadu efektywnego jest również kształtowana przez wielkość ewapotranspiracji. W okresach wzmożonej wegetacji opad może ulec całkowitemu parowaniu oraz być zużyty na procesy życiowe roślin i nie dotrzeć w ogóle do warstwy wodonośnej.

W warunkach naturalnych głównym czynnikiem wywołującym zmiany położenia zwierciadła wód podziemnych jest opad atmosferyczny. Jednak to, w jaki sposób następuje reakcja na opad, poza jego parametrami i wilgotnością strefy aeracji, uzależnione jest również od specyficznych parametrów lokalizacji punktu obserwacyjnego – warunków geomorfologicznych i hydrogeologicznych, m.in. wykształcenia i typu ośrodka strefy aeracji i warstwy wodonośnej. Te ostatnie czynniki warunkują lokalne zdolności infiltracyjne i retencyjne (Sawicki, 1986) oraz skutkują tym, że ten sam opad w różnych lokalizacjach może wywoływać zróżnicowane reakcje w wahaniach zwierciadła wód podziemnych. Amplitudy wahań są zależne od pojemności wodnej skał zbiornikowych (Tarka, Staśko, 2010). Biorąc to pod uwagę, czynniki działające na zwierciadło wód podziemnych można podzielić na niestacjonarne (opad, temperatura, ewapotranspiracja, wilgotność gleby w strefie aeracji itp.) i względnie stacjonarne (warunki geomorfologiczne i budowa hydrogeologiczna, hydrografia), wynikające ze specyficznego usytuowania danego punktu pomiarowego w środowisku (Pleczyński, 1981). Ogół stacjonarnych czynników kształtuje specyficzne pole hydrodynamiczne, w którym znajduje się punkt obserwacyjny. Ponieważ wszystkie czynniki oddziałują z różnym natężeniem, niemal w każdym punkcie obserwacyjnym wahania wykazują indywidualność w rytmice – zarówno w ciągu roku hydrologicznego, jak i w okresach wieloletnich (Pazdro, 1990). Z tego powodu niektóre obszary są bardziej predysponowane na długotrwałe obniżenia zwierciadła wód podziemnych niż inne.

Na rycinie 2 zobrazowano za pomocą wykresów konturowych zmienność sezonową i wieloletnią wahań wód podziemnych na podstawie pomiarów w dwóch różnych stacjach sieci obserwacyjnej PIG-PIB. Punkty są oddalone od siebie



Ryc. 2. Średnie miesięczne stany zwierciadła wód podziemnych w poszczególnych latach wielolecia hydrologicznego 1981–2015 w punktach obserwacyjno-badawczych PIG-PIB II/80/1 i I/336/5

o ok. 260 km, należą do jednego regionu hydrogeologicznego, lecz znajdują się w różnych jego subregionach – nizinnym (punkt II/80/1) i wyżynnym (punkt I/336/5). Oba charakteryzuje swobodne zwierciadło, które układa się na podobnych głębokościach. Reprezentują one jednak różne typy ośrodka warstwy wodonośnej – porowy w czwartorzędowych piaskach (punkt II/80/1) i szczelinowy w kredowych marglach (punkt I/336/5). Wykresy w badanym wieloleciu ukazują podobieństwo, ale również różnice fluktuacji zwierciadła wód podziemnych. Amplitudy wahań w ośrodku porowym są mniejsze niż w szczelinowym. Ogólnie im lepsze są parametry hydrogeologiczne warstwy wodonośnej i jednocześnie im większa jest pojemność wodna skał zbiornikowych, tym amplitudy wahań są mniejsze.

Często, szczególnie w płytkich poziomach wodonośnych, mocno zaznaczają się wahania sezonowe, które swoją powtarzalnością nawiązują do cyklu rocznego i zmian pór roku. Konsekwencją tego, że w Polsce występuje klimat przejściowy między kontynentalnym a oceanicznym, charakteryzujący się dużą zmiennością, są niejednorodne sezonowe wahania wód podziemnych (Pazdro, 1990). Pospolitym typem wahań na obszarze kraju jest ten, w którym najwyższe stany wód osiągane są na wiosnę, a minimalne w okresie jesiennym. Ponadto stwierdzona regularność sezonowa w danym punkcie obserwacyjnym nie musi być zachowana w każdym roku. Odstępstwa mogą w szczególności występować w latach o specyficznym rozkładzie sum opadów atmosferycznych lub/i anomalnych temperatur powietrza.

CZYM JEST NIŻÓWKA HYDROGEOLOGICZNA?

Pojęcie niżówki hydrogeologicznej nie ma ściśle określonej definicji. Jest to naturalne zjawisko występujące w przyrodzie związane z okresami posusznymi. Na ogół przyjmuje się, że jest to okres (nie chwilowe zdarzenie), w którym położenie zwierciadła wód gruntowych jest niższe od pewnej umownej wartości granicznej. Definicja ta była przez lata stosowana w pracach IMGW. Na potrzeby opracowywania prognoz i komunikatów PSH zmodyfikowano pojęcie niżówki hydrogeologicznej. Oprócz wód gruntowych w analizie zjawiska uwzględnia się cały pierwszy system wodonośny, przez który rozumie się wody podziemne o swobodnym zwierciadle oraz również te, które są pod niewielkim ciśnieniem piezometrycznym. Przy czym napięte zwierciadło wód w pierwszym systemie wodonośnym dopuszcza się tylko, gdy ma ono charakter lokalny.

Należy zwrócić uwagę, że od tego jaką wartość graniczną przyjmiemy, która nie jest narzucona w przytoczonej definicji, będzie zależeć jakiej wielkości deficyt wody będzie utożsamiany z niżówką (Kowalczyk, 2016).

W praktyce na ogół za wartość progową niżówki przyjmuje się pewną stałą wartość wyznaczoną na podstawie wieloletnich serii danych pomiarowych położenia zwierciadła wód podziemnych. Warto zwrócić uwagę, że dobór tej wartości z założenia determinuje częstość występowania niżówki. Na przykład przyjęcie wartości najwyższego stanu z minimalnych stanów rocznych w wieloleciu spowoduje, że niżówka będzie występowała w danym punkcie co najmniej raz w każdym roku. Z kolei, jeśli uznamy za progową wartość np. średnią z minimów rocznych, to wówczas niżówka będzie identyfikowana znacznie rzadziej niż w poprzednim przypadku. W prognozach i komunikatach PSH stanem granicznym niżówki jest stan średni z minimalnych stanów rocznych, ale tylko tych, które są niższe od stanu średniego niskiego (Prognoza...12b/2016; Komunikat...12a/2016). Jest to zaostrzenie kryterium w stosunku do wartości granicznej ze średniej liczonej z minimów rocznych ze wszystkich lat.

Na wartościach średnich z wielolecia oparty jest też stosowany w *Rocznikach hydrogeologicznych* i *Biuletynach PSH* wskaźnik niżówki hydrogeologicznej, obliczany według wzoru:

$$k_n = 1 - (G / SNG)$$

gdzie:

G – stan aktualny, określany jako głębokość położenia zwierciadła wody [m], przyjmowany umownie za pierwszy pomiar w rozpatrywanym miesiącu;

SNG – średni niski stan (zwierciadła) wody [m] z okresu wielolecia, określany jako średni z minimalnych rocznych stanów wód podziemnych w okresie wielolecia.

Interpretacja wskaźnika jest taka, że jeśli wartość k_n jest mniejsza bądź równa –0,1, to wystąpi niżówka hydrogeologiczna (Kazimierski i in., 2009; Cabalska i in., 2016, 2017).

Innym powszechnie stosowanym sposobem wyznaczenia wartości progowej niżówki jest wykorzystanie pewnego arbitralnie określonego rzędu percentyla, czyli wartości stanu wód podziemnych o jakimś określonym prawdopodobieństwie nieosiągnięcia. Stosunkowo często wartość brzegową przyjmuje się na poziomie prawdopodobieństwa 90% (Strzebońska-Ratomska, 1994; Zdralewicz, Lejcuś, 2008) lub 95% albo 98% – jeśli chodzi o określenie zdarzenia epizodycznego. Wymienione poziomy prawdopodobieństwa będą odpowiadać percentylom rzędu: 90/100, 95/100 i 98/100.

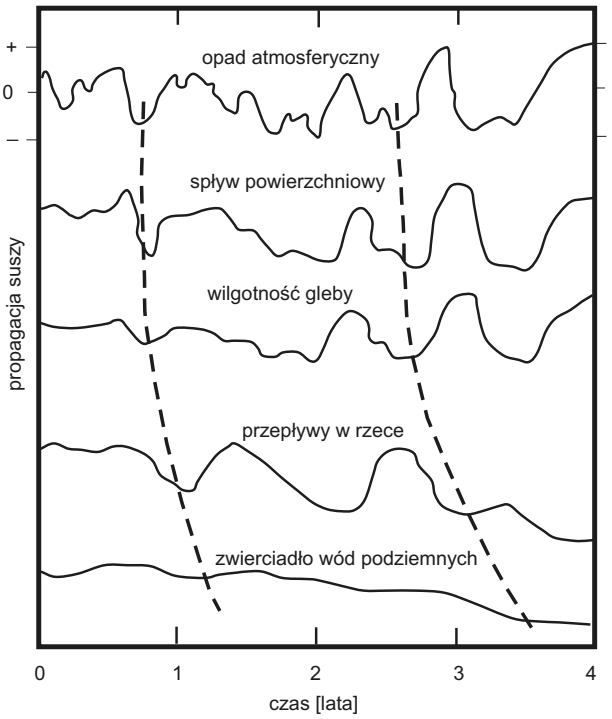
Istnieją także inne, mniej arbitralne sposoby określenia niżówki, jednak nie są one powszechnie stosowane (Kowalczyk, 2016).

Genezy okresowo występujących niskich stanów wód, skutkujących niżówką hydrogeologiczną, należy upatrywać w długotrwałym deficycie opadów atmosferycznych powodującym ograniczenie lub zanik infiltracji efektywnej. Można sformułować stwierdzenie, że niżówka hydrogeologiczna jest najgłębszym przejawem suszy (Kowalczyk, 2016), w której rozwoju obserwuje się proces sekwencyjnego przenoszenia deficytu opadu w czasie na kolejne elementy cyklu hydrologicznego. Zgodnie z tym co zostało zobrazowane na

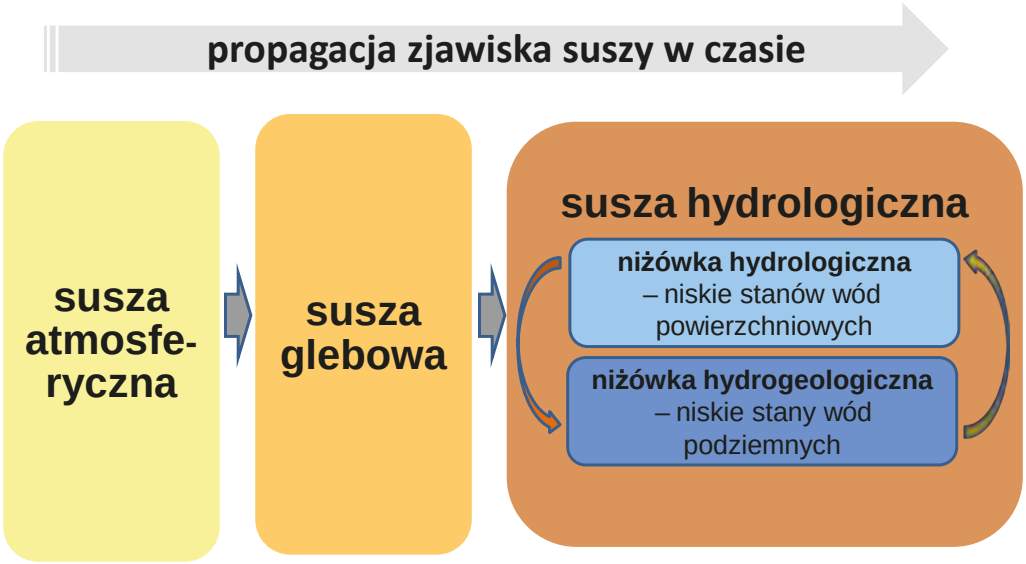
rycinie 3 reakcja na niekorzystne warunki meteorologiczne w wodach podziemnych następuje z opóźnieniem. Jest również odpowiedzią „wygładzoną" w stosunku do tego, co dzieje się nad powierzchnią ziemi.

W zjawisku suszy wyróżnia się następujące fazy (ryc. 4): suszę atmosferyczną, suszę glebową oraz suszę hydrologiczną, która skutkuje niżówką hydrologiczną (niżówką wód powierzchniowych) i niżówką hydrogeologiczną (niżówką wód podziemnych) (Farat i in., 1995; Hisdal i in., 2001; Stahl, 2001; Tallaksen, Lanen, 2004; Tomaszewski, 2012; Kowalczyk, 2016). Wymieniając kolejne fazy suszy należy zwrócić uwagę na fakt, że najczęściej susza atmosferyczna ustępuje przed rozwinięciem się suszy glebowej, a susza glebowa zanika nie przechodząc w fazę suszy hydrologicznej. Stąd stosunkowo nie często dochodzi do rozwoju zjawiska z wszystkimi fazami i najrzadziej występuje susza hydrologiczna z niżówką hydrogeologiczną. Jednak im dalszy etap suszy wystąpi, tym trudniej jest on odwracalny (Kowalczyk, 2016).

Często niżówka hydrologiczna współwystępuje z niżówką hydrogeologiczną. Obniżenie wód podziemnych i powierzchniowych zachodzi równolegle i procesy te „napędzają się" wzajemnie.



Ryc. 3. Inercja zwierciadła wód podziemnych w odpowiedzi na deficyt opadów (Stanley, Changnon, 1987)



Ryc. 4. Fazy suszy

Zamieszczone zdjęcie (ryc. 5) przedstawia rzekę Czarną (lewobrzeżny dopływ Wisły) w przekroju wodowskazowym Chynów w czasie suszy hydrologicznej ze współwystępującymi niżówkami – hydrologiczną i hydrogeologiczną. W górnym biegu rzeka jest zasilana z pierwszego poziomu wodonośnego, wykształconego w piaskach i żwirach lokalnie nieciągłych, leżących na glinach o znacznej miąższości.

Z reguły niżówka hydrologiczna ustępuje względnie szybko po pierwszym okresie obfitszych opadów, natomiast niskie stany wód podziemnych utrzymują się znacznie dłużej. Niżówka hydrogeologiczna jest procesem o powolnym, względem innych faz suszy, rozwoju i zaniku. Niskie stany wód podziemnych wykazują bardzo silną autokorelację (Kowalczyk i in., 2015).

Odbudowa podziemnych zasobów wodnych wymaga obfitych i długotrwałych opadów atmosferycznych. Z tego też względu nie utożsamia się z niżówką krótkotrwałych, pojedynczych obniżeń zwierciadła wody poniżej stanu granicznego. Niżówka wód podziemnych może trwać od kilku tygodni do kilku lat, a w szczególnych przypadkach nawet dłużej. Czas jej trwania jest bardzo ważnym parametrem i przekłada się na wywołane skutki. Długotrwałe obniżenie płytkich wód podziemnych oddziałuje na ekosystemy lądowe bezpośrednio od nich zależne (ekosystemy zaopatrywane w wodę z wód podziemnych i strefy wzniosu kapilarnego) oraz płytkie ujęcia wód podziemnych (głównie studnie kopane lub wbijane, czy wwiercane – tzw. abisynki). Duża rozpiętość czasu trwania powoduje, że zjawisko przebiega z różnym natężeniem, a obszar objęty jego zasięgiem może się zmieniać. W procesie rozwoju niżówki istotne jest od jakiego poziomu retencji w zlewni rozpoczyna się okres posuszny (Tomaszewski, 2012), co zazwyczaj jest zdeterminowane sytuacją hydrogeologiczną roku poprzedniego (Pich, Płochniewski, 1984). W rozwoju obszarowym niżówki w skali zlewni rysuje się zazwyczaj pewna zależność – wpierw następuje obniżenie poziomu płytkich wód podziemnych w strefach zasilania, w górnych partiach zlewni, a następnie rozprzestrzenia się ono przez strefę tranzytu w dół zlewni, w obszary drenażu w dolinach rzecznych (Kowalczyk, 2016).

Mimo że niżówki hydrogeologiczne są zjawiskiem naturalnym, to w ich inicjacji i rozwoju istotne znaczenie może mieć czynnik ludzki. Długotrwałym okresom posusznym często towarzyszy wzmożony pobór wód podziemnych, gdyż rolnicy próbują przeciwdziałać stratom w uprawach, nawadniając pola. Jeżeli pobór następuje z płytkich wód podziemnych, może to prowadzić do pogłębienia naturalnie występującego zjawiska niżówki hydrogeologicznej, jak również jego przyspieszonej inicjacji (Kowalczyk, 2016).

Można sobie zadać pytanie, dlaczego niżówkę hydrogeologiczną łączy się z sytuacją niskich stanów w płytkich wodach podziemnych. Przecież naturalne zjawisko okresowego obniżenia zwierciadła wód ma miejsce również w głębszych poziomach wodonośnych. Przyczyną są skutki jakie może pociągać za sobą naturalne okresowe obniżenie zwierciadła wody w najpłytszym systemie wodonośnym. Eksploatacja płytkich ujęć jest utrudniona lub wręcz niemożliwa w czasie

Ryc. 5. Wyschnięte koryto rzeki Czarnej (lewobrzeżny dopływ Wisły w okolicy Czerska) w czasie suszy hydrologicznej w 2015 r. (fot. P. Herbich)

niżówki. Problem ten nie występuje w przypadku głębszych poziomów wodonośnych o napiętym zwierciadle. Tam naturalne wahania stanów wody z reguły nie przekładają się na trudności w eksploatowaniu tych wód. Jeśli ze względu na naturalną zmienność zwierciadło obniży się w naporowym, głębszym poziomie wodonośnym, to jednak nadal kształtuje się ponad stropem warstwy wodonośnej. Następnym aspektem są ekosystemy zależne od wód podziemnych – reagują one przede wszystkim na to, co dzieje się w pierwszym systemie wodonośnym, z którym są w bezpośredniej relacji.

Inaczej przebiega reakcja na deficyt opadów w pierwszym systemie wodonośnym w stosunku do głębszych poziomów, co pokazano na przykładzie analizy stanów ekstremalnych wód podziemnych w różnych systemach (Kowalczyk i in., 2016) i poziomach wodonośnych (Tarka, Staśko, 2010). Jednocześnie płytko położony pierwszy poziom wodonośny, najmniej izolowany od powierzchni terenu, jest najbardziej narażony na ekstremalne zjawiska meteorologiczne. Tarka i Staśko (2010) dokumentują w płytkich wodach podziemnych w Sudetach okresy obniżonego zwierciadła wód podziemnych, które nie zaznaczyły się w głębszych poziomach wodonośnych.

Analizując zagadnienia, na które zwrócono uwagę w dwóch powyższych akapitach, zasadne jest, żeby niskie stany wód podziemnych w pierwszym poziomie wodonośnym traktować w sposób szczególny.

METODYKA I DANE WEJŚCIOWE

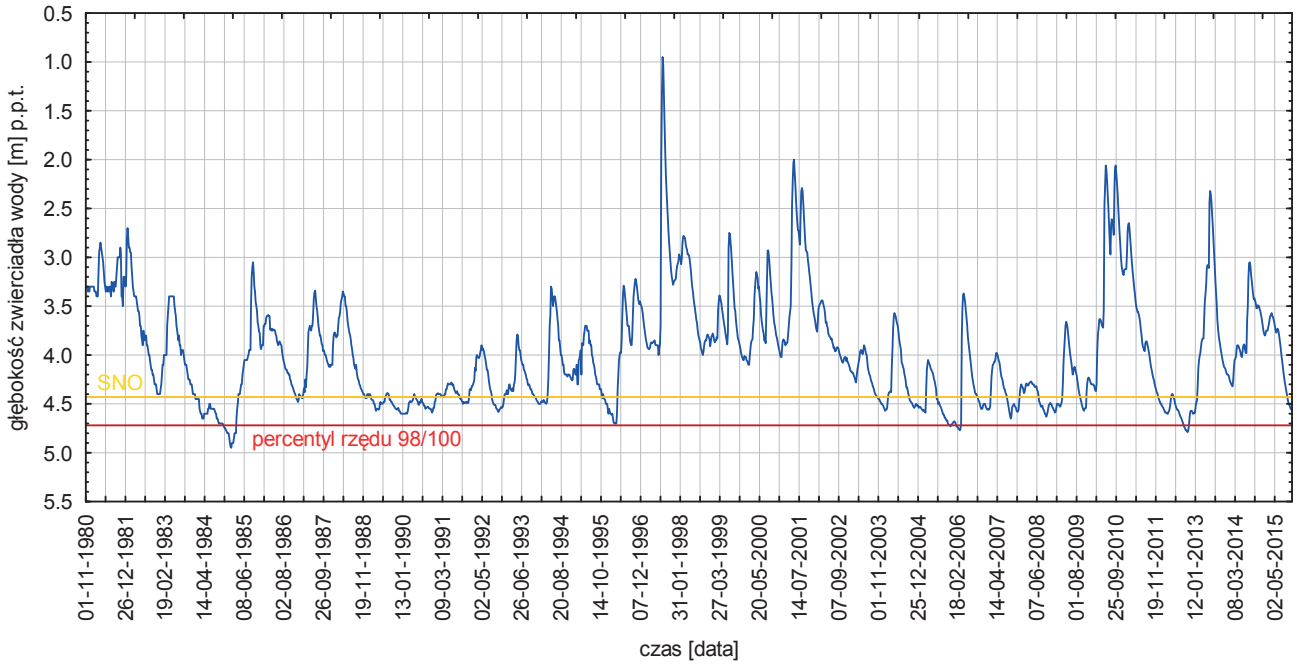
Zgodnie z prowadzonymi wcześniej pracami PSH, dotyczącymi prognoz i komunikatów o sytuacji hydrogeologicznej w kraju, w metodyce pracy przyjęto definicję niżówki hydrogeologicznej, według której jest to okres, w którym położenie zwierciadła wód pierwszego sytemu wodonośnego jest niższe od pewnej przyjętej wartości granicznej. Przy czym:

1. Przez pierwszy system wodonośny rozumie się poziom wodonośny o swobodnym zwierciadle wody podziemnej lub w którym zwierciadło znajduje się pod lokalnym, niewielkim ciśnieniem (wody pozostające pod ciśnieniem piezometrycznym, sięgającym ponad strop warstwy wodonośnej do 10 m). Zwierciadło wód podziemnych w pierwszym systemie podlega zmianom czynników atmosferycznych, których wpływ słabnie wraz ze wzrostem głębokości. Napięte zwierciadło w pierwszym systemie wodonośnym dopuszcza się jedynie wówczas, kiedy ma ono charakter lokalny. Definicję pierwszego systemu wodonośnego oparto na koncepcji przedstawionej w pracy Mitręgi (2013) (Kowalczyk i in., 2016).
2. Dane zdarzenie traktowano jako niżówkę hydrogeologiczną, jeżeli trwało dłużej niż 3 tygodnie. Tym samym zdarzenie krótsze i równe 3 tygodniom nie było uważane za niżówkę. Ponadto, jeśli czas między zdarzeniami (poziom zwierciadła wody poniżej wartości granicznej niżówki) wyniósł 3 tygodnie lub mniej, to traktowano je jako jedną niżówkę.
3. Za wartość graniczną niżówki przyjęto niezależnie dwie wartości. Analizę przeprowadzono równolegle z wykorzystaniem dwóch różnych sposobów wyznaczania wartości granicznej niżówki hydrogeologicznej. Pierwszy sposób polega na przyjęciu wartości granicznej jako wartości średniej z minimalnych rocznych stanów położenia zwierciadła wody. Wyliczoną na tej podstawie wartość graniczną oznaczono w pracy jako SNO, czyli stan niski ostrzegawczy wystąpienia zjawiska (ryc. 6). Zwraca się jednak uwagę na różnicę przyjętego sposobu wyliczenia wartości SNO w odniesieniu do wartości stanu granicznego wystąpienia niżówki w obecnych prognozach i komunikatach PSH, gdzie wartość ta jest liczona jako średnia z minimalnych rocznych stanów położenia zwierciadła wody, charakteryzujących się wartościami niższymi niż stanu średniego niskiego (Prognoza... 12b/2016, Komunikat...12a/2016).

   Drugi sposób jest oparty na wyznaczeniu wartości granicznej przez percentyl rzędu 98/100 (ryc. 6). Przy wyborze rzędu percentyla dążono do tego, żeby wartości SNO i wartości odpowiadające przyjętemu percentylowi się nie pokrywały, jednocześnie, aby za pomocą wartości percentyla wyodrębnić zjawiska bardziej wyjątkowe niż w przypadku metody SNO. W ten sposób poszerzono analizę zjawiska o nowe aspekty. Zidentyfikowane niżówki na poziomie wartości progowej równej przyjętemu percentylowi podczas interpretacji wyników pracy uznano za ekstremalnie niskie stany wód podziemnych i jednocześnie za głębokie niżówki hydrogeologiczne.

Dane wejściowe. Autorzy mieli dostęp do danych o głębokości położenia zwierciadła wody podziemnej z dwóch źródeł:

1. Bazy danych Monitoringu Wód Podziemnych, w której są zgromadzone wyniki pomiarów ze stacji hydrogeologicznych, należących do sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych PIG-PIB. Zebrane informacje dotyczą głębokości zwierciadła, zarówno w pierwszym, jak i w głębszych poziomach wodonośnych. Pomiary są dokonywane z częstotliwością raz na tydzień lub częściej. Sieć działa od 1972 r. i obecnie liczy ok. 1200 punktów (w tym reprezentujące pierwszy poziom wodonośny o swobodnym zwierciadle – ok. 500 punktów), jednak tylko niewielka część z nich ma okres pomiarów dłuższy niż 25 lat. Najstarsze pomiary zgromadzone w bazie dla pojedynczych punktów pochodzą z 1965 r.



Ryc. 6. Stan niski ostrzegawczy (SNO) na wykresie wahań zwierciadła wód podziemnych wyznaczony według przyjętej w pracy metodyki – jako średnia wartość z najniższych rocznych stanów wód oraz wartość graniczna percentyla rzędu 98 /100 przyjęta za wartość graniczną głębokiej niżówki hydrogeologicznej

2. Bazy danych stanów wód gruntowych z lat 1951–2000, która była prowadzona w Ośrodku Technicznej Kontroli Zapór IMGW. W bazie gromadzono wyniki pomiarów z wybranych, zweryfikowanych punktów sieci wód gruntowych IMGW, dla których dane opracowane w oddziałach IMGW przesyłano do Centralnego Banku Danych Hydrogeologicznych w formie cyfrowej i które uznano za reprezentatywne dla regionalnego zasilania podziemnego. Zebrane w bazie informacje o cotygodniowych pomiarach głębokości wód podziemnych pochodzą z 733 posterunków, które różnią się miedzy sobą okresem obserwacji (tab. 1). Pomiary pochodzą z lat 1951–2000, przy czym tylko 37 punktów posiada pełen okres obserwacji. W 2000 r. nastąpił kres prowadzenia pomiarów (Opis..., 2001).

Zasobność wymienionych wyżej baz jest odzwierciedleniem losów sieci IMGW i PIG-PIB. W badanym w tej pracy wieloleciu 1981–2015 zmieniała się liczba obserwowanych punktów oraz okresy ich obserwacji w obu wymienionych wyżej sieciach. W sieci PIG od chwili założenia (1972 r.) zwiększano co pewien czas w ogólnym bilansie liczbę punktów i jej rozbudowa trwa do dzisiaj. Natomiast sieć IMGW od połowy lat 70. XX w. zaczęto uszczuplać, poza „chwilowym" znacznym wzrostem liczby punktów w 1991 r., a w 2013 r. zlikwidowano ją całkowicie. Ostatnie 13 lat pomiarów dotyczyło ok. 40 posterunków, z których wyniki nie zostały zweryfikowane i wprowadzone do bazy wód gruntowych OTKZ-IMGW.

Sieciami obserwacyjnymi obejmowano wody podziemne, jednak w nieco różnych celach prowadzono pomiary położenia zwierciadła wód. W sieci IMGW wiele punktów było usytuowanych w dolinach rzecznych, w przeciwieństwie do sieci PIG, gdzie punkty te do dziś są mniej liczne. Pod względem badań hydrologicznych bardzo istotne były

Tabela 1

Liczebność punktów w poszczególnych wieloleciach zgromadzonych w bazie stanów wód gruntowych z lat 1951–2000 (źródło: OTKZ-IMGW, 2001)

Pomiary w latach (stan na lata)	Ogółem	Pomiary zakończone	
		2000	1990–1999
1951–1960	175	140	35
1961–1970	96	81	15
1971–1980	77	67	10
1981–1990	69	58	11
1991–2000	316	270	46
Razem	733	616	117

relacje z wodami powierzchniowymi. Sieć PIG, szczególnie w pierwszych latach istnienia, nastawiona była przede wszystkim na obserwacje głębszych i użytkowych poziomów wodonośnych oraz na badanie odnawialności zgromadzonych w nich zasobów wodnych w celu niedopuszczenia do ich przeeksploatowania.

Sieć wód gruntowych IMGW miała wiele mankamentów. Wchodzące w jej skład posterunki składały się głównie ze studni gospodarskich eksploatowanych z nieznaną wydajnością. Ponadto wiele posterunków nie miało miarodajnej dokumentacji dotyczącej warunków hydrogeologicznych. Pełniejszy opis problemów sieci IMGW znajduje się w pracy Tomaszewskiego (1990). Należy jednak podkreślić, że w bazie wód gruntowych gromadzono tylko pomiary z wybranych reprezentatywnych względem zasilania podziemnego posterunków, których dane weryfikowano. W efekcie w bazie nie zbierano informacji nawet z połowy wszystkich posterunków wchodzących w skład sieci.

Wymaga wyjaśnienia jeszcze kwestia nazwy bazy IMGW, która może być nieco myląca. Otóż nie gromadziła ona wyłącznie pomiarów z posterunków wód gruntowych, przynajmniej nie w tradycyjnym znaczeniu tego terminu, ponieważ w wielu punktów sieci IMGW wystąpił napięty charakter zwierciadła wody.

Na ogół głównym problemem w wykonywaniu badań obejmujących analizą okresy wieloletnie jest stosunkowo mała liczba punktów o długich ciągłych ciągach pomiarowych. Tak było i w przypadku tej pracy. Ze względnie dużej liczby punktów Bazy danych Monitoringu Wód Podziemnych i Bazy danych stanów wód gruntowych tylko niewielka część z nich dysponowała ciągami obserwacji o odpowiedniej długości w badanym 35-leciu. Biorąc pod uwagę zmienną liczebność punktów w obu wymienionych bazach w różnych latach badanego okresu (1981–2015), analizę prowadzono równolegle dla różnych zestawień punktów A i B′ oraz B″.

Zbiór punktów A. W zbiorze tym znalazły się wszystkie punkty z bazy PIG-PIB spełniające następujące kryteria:

1) należały do pierwszego systemu wodonośnego;
2) istniały dla nich cotygodniowe pomiary głębokości zwierciadła wód podziemnych w całym badanym w pracy wieloleciu 1981–2015 (dopuszczano jedynie względnie niewielkie braki w obserwacjach);
3) wykresy głębokości zwierciadła wód w czasie dla tych punktów nie przedstawiały niewyjaśnionych raptownych skoków zwierciadła, budzących wątpliwości co do wiarygodności obrazowanych wyników pomiarowych.

Wyselekcjonowano w ten sposób 60 punktów. Następnie zbiór A poszerzono o kolejne 9 punktów z bazy PIG-PIB. Punkty te spełniały kryteria pierwsze i trzecie, ale miały kilkuletnie braki w pomiarach w przyjętym wieloleciu. Znaleziono dla nich jednak punkty analogi w sieci PIG-PIB, które wykazywały we wspólnych długoletnich okresach obserwacji (co najmniej dziesięcioletnich) podobieństwo wahań zwierciadła wód podziemnych, zarówno w osiąganiu stanów ekstremalnych, jak i w ogólnej tendencji wahań. Na podstawie analogów uzupełniono informacje w ciągach pomiarowych tych punktów. Wykorzystano w tym celu przekształcenie liniowe, którym jest standaryzacja danych położenia zwierciadła wód podziemnych. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że w pary analogów łączono wyłącznie punkty spełniające, poza kryterium podstawowym podobieństwa przebiegu wahań, także inne warunki. Rozpatrywano charakterystyki hydrogeologiczne i geomorfologiczne położenia tych punktów. Między innymi brano pod uwagę lokalizację w danych jednostkach hydrogeologicznych i w strefach hydrodynamicznych oraz litologię warstwy wodonośnej. Punkty dobierano w analogi tylko w przypadku zbieżności analizowanych cech.

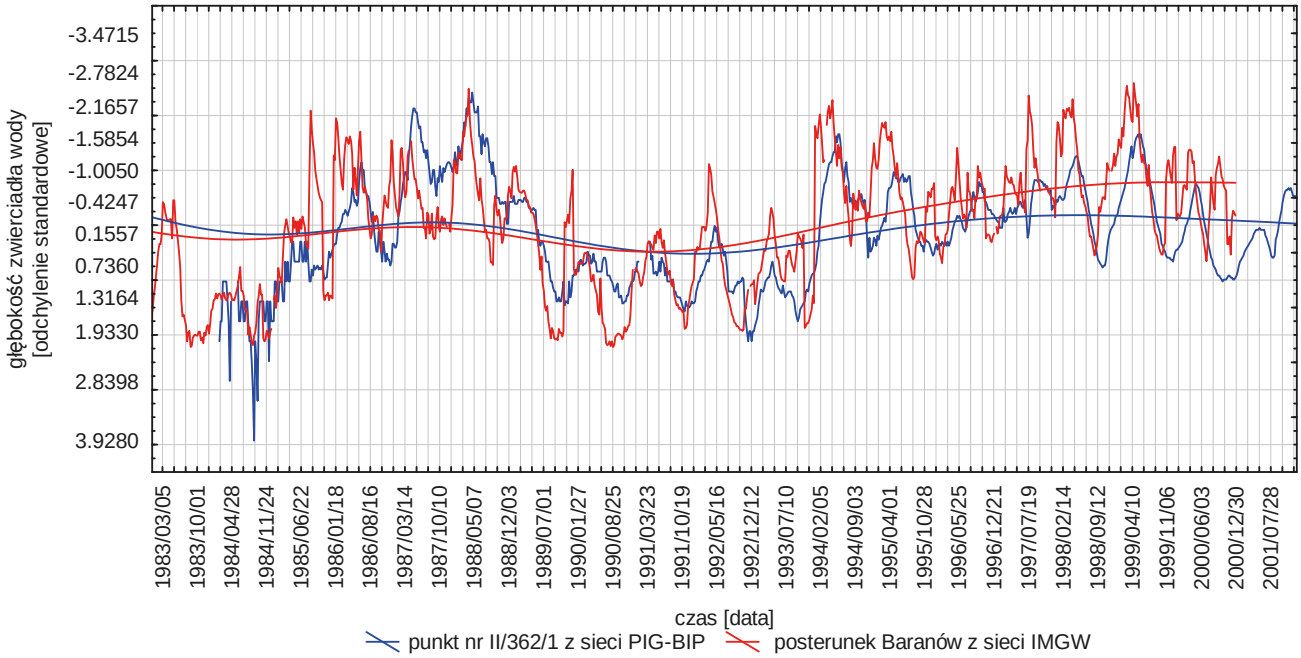
Następnie powstały zbiór poszerzono jeszcze o 11 punktów z bazy IMGW. Punkty te wytypowano po przeanalizowaniu wykresów wahań zwierciadła wód w czasie z 296 posterunków IMGW, dla których istniały pomiary w latach 1981–2000 i wykresów z 60 punktów PIG-PIB z pierwszego systemu wodonośnego, dla których istniały pomiary w latach 1991–2015. W analogiczny sposób, biorąc pod uwagę położenie punktów i dostępne informacje o warstwie wodonośnej, udało się na bazie podobieństwa wahań zwierciadła wody dla 11 punktów z sieci IMGW wytypować ich analogi w sieci PIG-PIB. Na podstawie analogów „ekstrapolowano" ciągi pomiarów w punktach IMGW na lata 2000–2015.

Na wykresie przedstawiono przykład wahań zwierciadła wody w dwóch punktach, które zostały wytypowane jako analogi, w celu uzyskania ciągłej informacji (w cotygodniowym kroku czasowym) o wahaniach zwierciadła wód podziemnych w wieloleciu 1981–2015 (ryc. 7).

Ostatecznie zbiór punktów, dla których istniały lub udało się uzupełnić wartości pomiarów zwierciadła wody w latach 1981–2015, dając ciągłe ciągi obserwacji wynosił 80 punktów. Ich rozmieszczenie przedstawiono na rycinie 8. Zbiór A nie pokrywa w sposób równomierny obszaru kraju, między innymi są widoczne regiony hydrogeologiczne dolnej Odry, środkowej Odry oraz subregiony w regionie górnej Wisły i regionie Bugu (Sadurski, Paczyński, 2007), w których nie ma żadnego punktu należącego do zbioru A. Dla tego zbioru analizę prowadzono w wieloleciu 1981–2015.

Zbiory punktów B′ i B″. Ze względu na brak informacji w zbiorze A dla niektórych całych regionów hydrogeologicznych, które obszarowo obejmują znaczną część kraju (ryc. 8), i chcąc poszerzyć pulę punktów uwzględnionych w analizie, pełniej wykorzystując potencjał informacji zgromadzonych w dwóch dostępnych bazach, postanowiono wielolecie 1981–2015 podzielić na dwa okresy: 15-lecie (1981–1995) i 20-lecie (1996–2015). Niezależnie od zbioru A, dla którego badania prowadzono w 35-leciu, prowadzono równolegle analizy dla każdego z wydzielonych dwóch krótszych okresów. Żeby wyselekcjonować punkty do tych analiz z obu baz (IMGW i PIG-PIB) przyjęto następujące kryteria doboru:

1) przynależność do pierwszego systemu wodonośnego (ze względu na niewielkie głębokości uznano, że wszystkie punkty z bazy wód gruntowych IMGW należą do pierwszego systemu wodonośnego, dzięki czemu spełniają to kryterium);



Ryc. 7. Wahania zwierciadła z dwóch punktów obserwacyjnych wód podziemnych, które uznano w pracy za analogi

2) istnienie dla tych punktów względnie ciągłych (dopuszczano jedynie niewielkie braki w pomiarach, które nie przekraczały roku) cotygodniowych pomiarów głębokości zwierciadła wód podziemnych w okresie lat hydrologicznych:
   a) 1981–1995
      lub
   b) 1996–2015;
3) wykresy głębokości zwierciadła wód w czasie dla tych punktów nie przedstawiają niewyjaśnionych raptownych skoków zwierciadła, budzących wątpliwości co do wiarygodności obrazowanych wyników pomiarowych.

Na podstawie zastosowanych kryteriów wybrano punkty, z których utworzono dwa zbiory. Jeden z punktami spełniającymi kryterium 2a i drugi z punktami spełniającymi kryterium 2b.

Oba zbiory, podobnie jak w przypadku zbioru A, wzbogacono punktami, w których braki pomiarów udało się odtworzyć na podstawie dobranych punktów analogów. Ostatecznie powstał zbiór punktów B′ – z 281 punktami o pomiarach w okresie 1981–1995 i mniej liczny B″ – ze 178 punktami o pomiarach w kolejnym okresie – 1996–2015 (ryc. 9–11). W zbiorze B′ znalazły się głównie punkty z IMGW (215 na 281 punktów), a w zbiorze B″ – punkty z sieci PIG-PIB (167 na 178 punktów) (ryc. 12).

W sumie w trzech zbiorach punktów (A, B′, B″) znalazło się 386 różnych obiektów (ryc. 13).

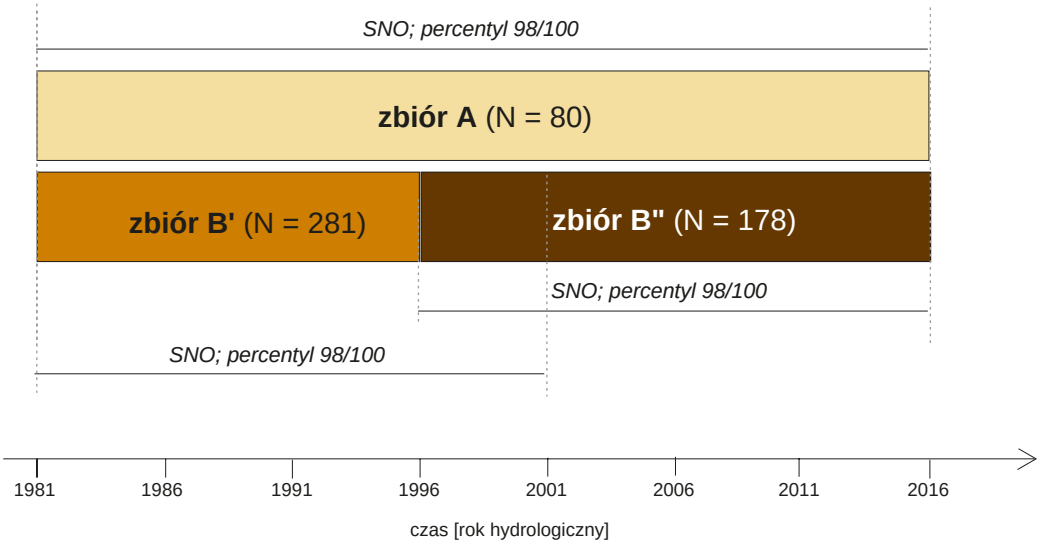
W celu ujednolicenia analizy w zbiorach B′ i B″ wyliczenia wartości granicznej niżówki (zarówno metodą SNO, jak i percentyla rzędu 98/100) prowadzono dla obu zbiorów opierając się na tej samej długości czasu – 20 lat (tab. 2). Było to możliwe, gdyż wszystkie punkty znajdujące się w zbiorze B′ dysponowały także obserwacjami w latach 1996–2000. Tym samym dla zbioru B′ wartości graniczne niżówki wyliczono na podstawie lat 1981–2000, a dla zbioru B″ – odpowiednio na podstawie lat 1996–2015. W ten sposób wyniki ze zbiorów B′ i B″, mimo że

Tabela 2

Informacje o liczebnościach i wieloleciach objętych analizą zbiorów punktów A, B′ i B″

Nazwa zbioru	Analizowane wielolecie, dla którego wyniki przedstawiono w pracy (lata hydrologiczne)	Liczba punktów (w tym liczba analogów)	Wielolecie, na podstawie którego wyliczano wartości graniczne niżówki
A	1981–2015	80 (20)	1981–2015 (35-lecie)
B′	1981–1995	281 (8)	1981–2000 (20-lecie)
B″	1996–2015	178 (12)	1996–2015 (20-lecie)

Ryc. 8. Punkty obserwacyjne wód podziemnych należące do zbioru A



Ryc. 9. Zbiory danych i odpowiadające im wielolecia, dla których wyniki analizy są opisywane w pracy

były liczone na podstawie różnych wieloleci, stały się bardziej porównywalne.

Na diagramach kołowych przestawiono charakterystykę zbiorów A, B′ i B″ w zakresie litologii, typu ośródka i stratygrafii warstwy wodonośnej (ryc. 14). Głębokość stropu warstwy wodonośnej względem powierzchni terenu w każdym z trzech zbiorów dla większości punktów nie przekraczała 10 m. W pojedynczych przypadkach (w liczbie w zbiorze A: 4, w zbiorze B′: 4 i w zbiorze B″: 9) strop zalegał na głębokości większej niż 30 m. Zwierciadło wód we wszystkich objętych analizą punktach z sieci PIG-PIB miało charakter swobodny lub znajdowało się pod niewielkim ciśnieniem piezometrycznym nieprzekraczającym 10 m (zgodnie z definicją pierwszego systemu wodonośnego).

Analizę w pracy oparto wyłącznie na pomiarach cotygodniowych. Pomiarów o większej częstotliwości nie brano pod uwagę. Powodem tego z jednej strony była niewielka liczba punktów, w których prowadzono takie pomiary w rozpatrywanym okresie, z drugiej – dane cotygodniowe w zupełności są wystarczające do analizy zjawiska niżówki, dla którego przyjęto, że próg wystąpienia zdarzenia wynosi 3 tygodnie jego trwania.

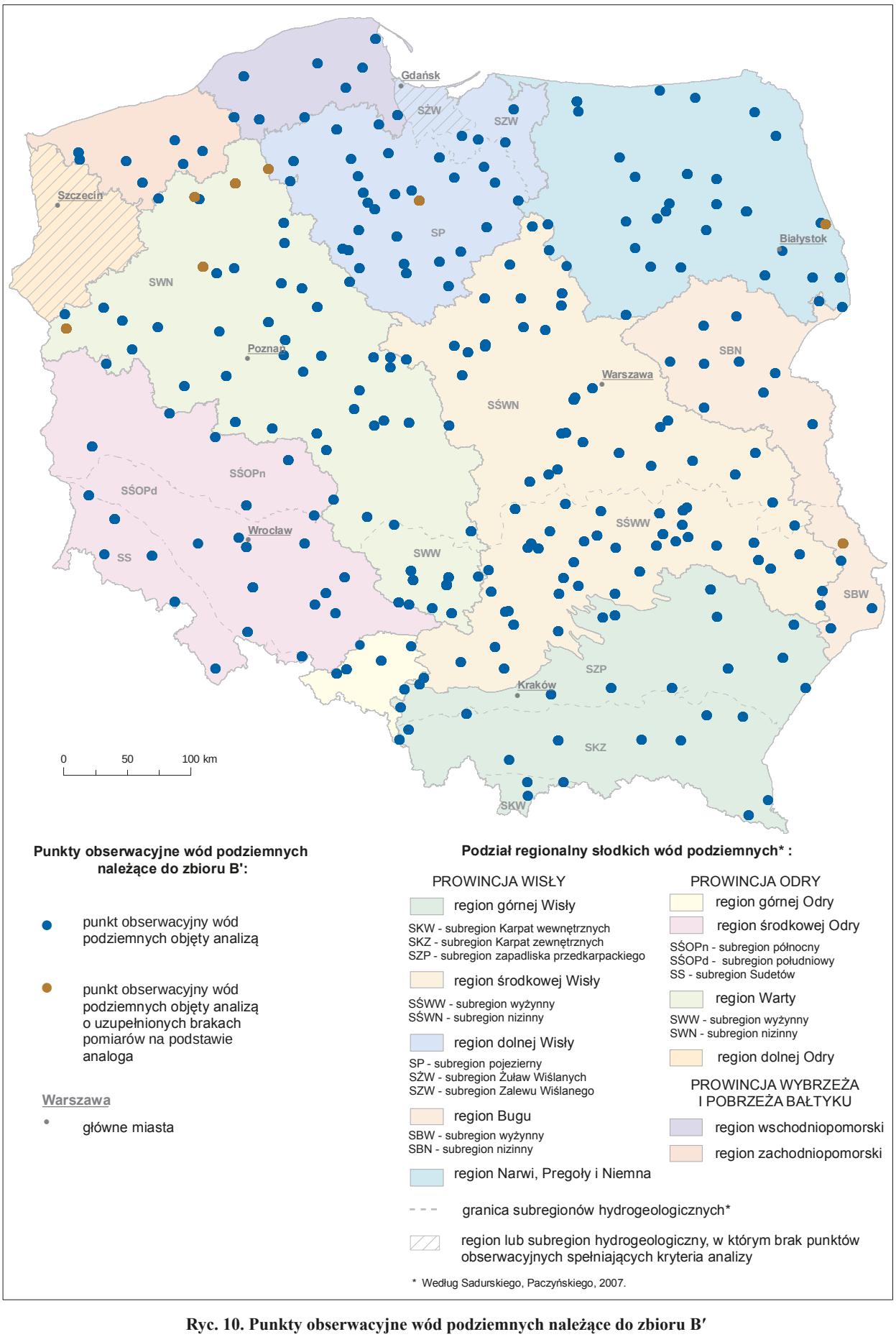
W pracy zrezygnowano z wykorzystania danych pomiarowych ze źródeł wchodzących w skład sieci PIG-PIB. Źródła, szczególnie na obszarach górskich (a właśnie takie głównie są objęte obserwacjami PIG-PIB), mają często skomplikowany i do końca nierozpoznany system zasilania. Zdarza się też, że drenują więcej niż jeden poziom wodonośny. Trudne, a w zasadzie niemożliwe w wielu przypadkach, byłoby odseparowanie informacji o badanym w pracy pierwszym systemie wodonośnym od informacji z głębszych poziomów.

Wszystkie wymieniane okresy i lata w opracowaniu odnoszą się do lat hydrologicznych. Dotyczy to zarówno prowadzonych analiz, jak i przedstawianych wyników.

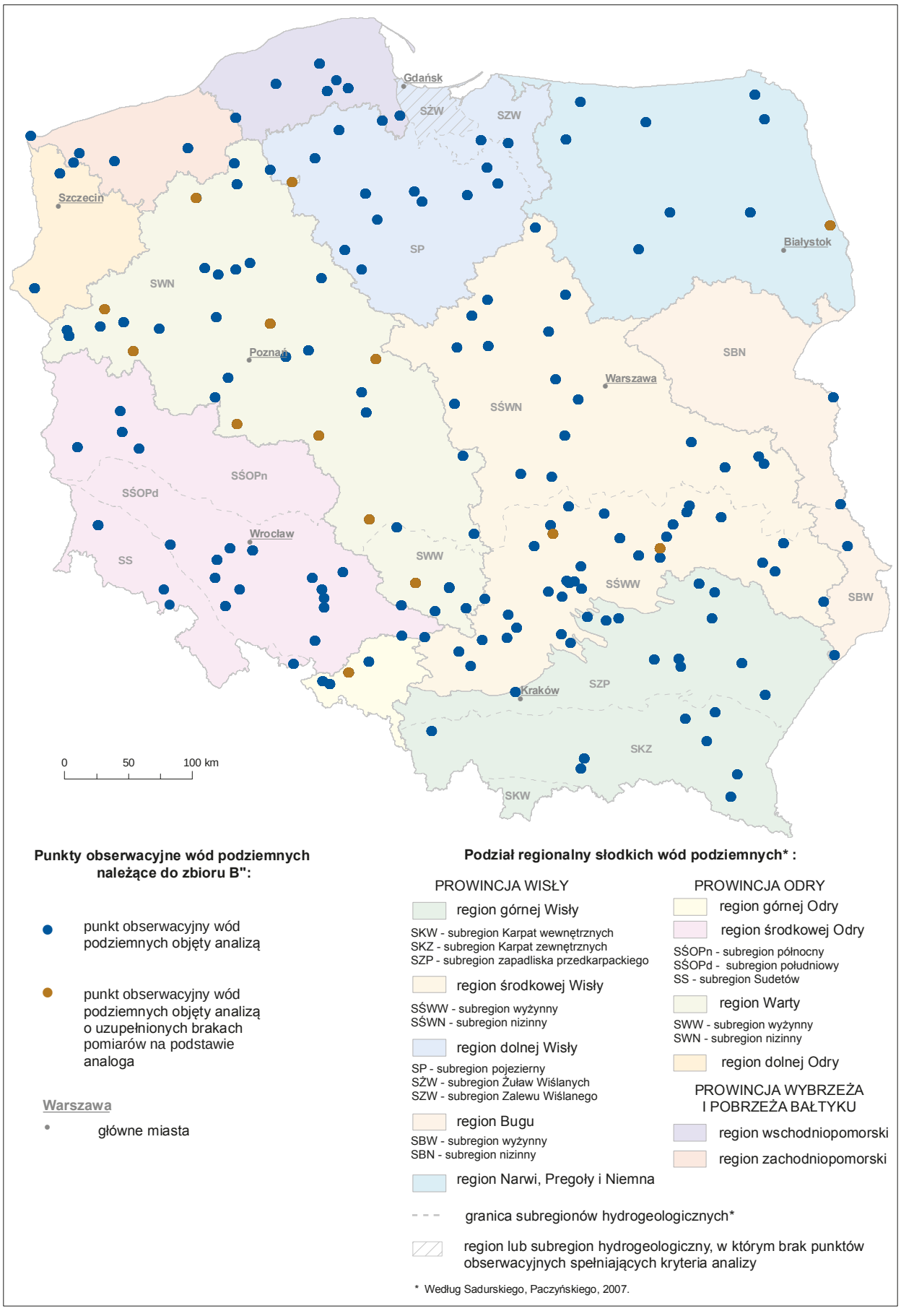
Żeby dokładniej zbadać niżówki hydrogeologiczne częstości występowania zjawiska w poszczególnych latach analizowanych wielololeci prowadzono w podziale na zdarzenia o różnym czasie trwania. Rozpatrywane klasy trwania niżówki wynosiły odpowiednio:

- powyżej 3 tygodni,
- powyżej 3 miesięcy,
- powyżej 6 miesięcy,
- powyżej roku,
- powyżej 2 lat.

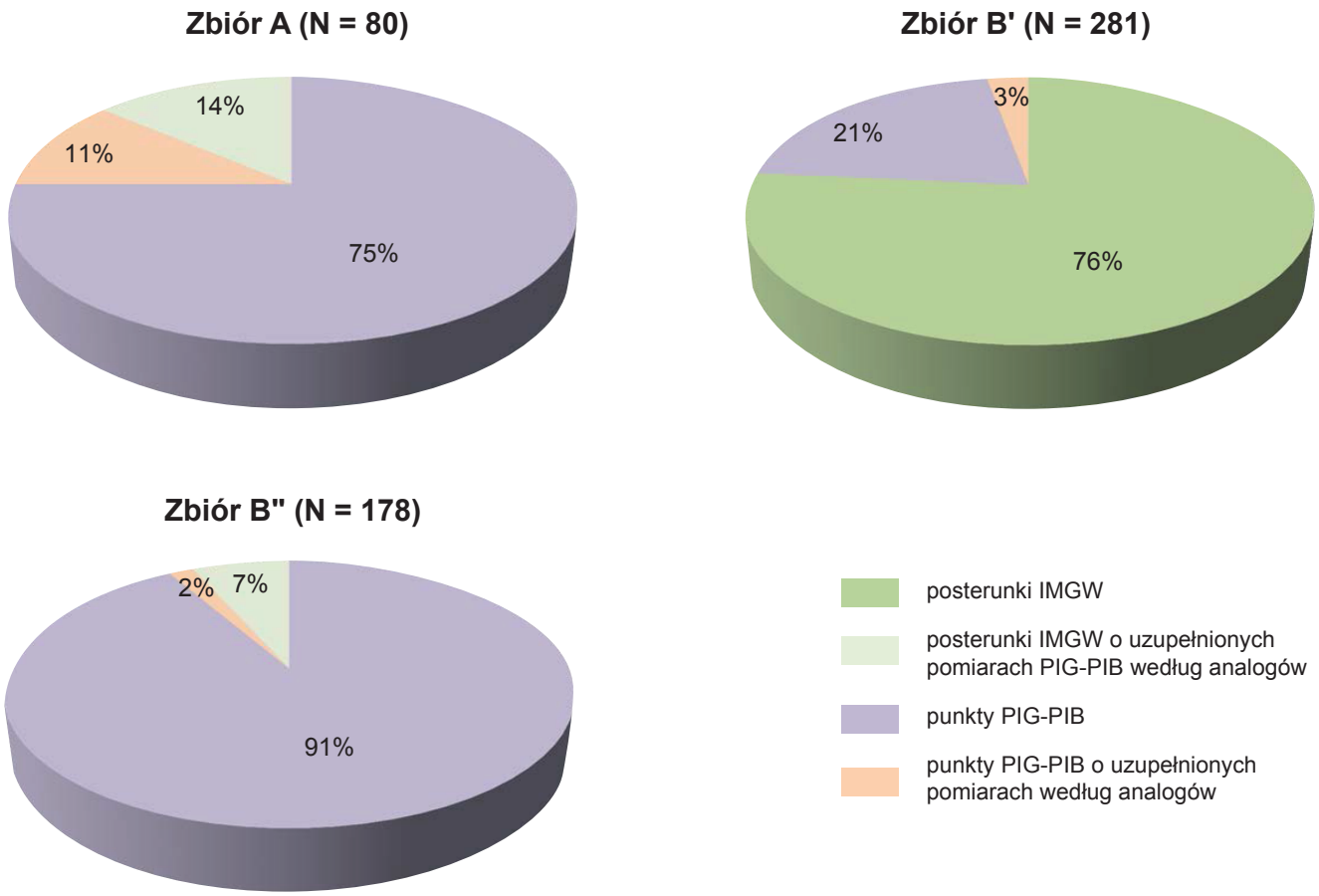
W analizie poszczególnych lat hydrologicznych przy identyfikacji niżówek trwających dłużej niż 1 rok (lub 2 lata) uwzględniano zarówno rok poprzedzający rok rozpatrywany, jak i rok po nim następujący. Uzyskane wyniki prac przedstawiono w kolejnych rozdziałach.



Ryc. 10. Punkty obserwacyjne wód podziemnych należące do zbioru B′



Ryc. 11. Punkty obserwacyjne wód podziemnych należące do zbioru B''



Ryc. 12. Struktura zbiorów punktów A, B′ i B″

PRZEBIEG ZJAWISKA W CZASIE – CYKLICZNOŚĆ WAHAŃ, SERIE LAT NAJWIĘKSZEJ LICZBY WYSTĄPIEŃ NIŻÓWEK HYDROGEOLOGICZNYCH

W ujęciu wieloletniej zmienności wahań wód podziemnych zarysowują się wyraźnie okresy „suche" i „mokre", które się przeplatają. Biorąc pod uwagę wyniki przeprowadzonej analizy w zbiorach A, B′ i B″ metodą SNO stwierdzono, że najbardziej suchymi okresami w skali kraju w badanym 35-leciu w odniesieniu do pierwszego sytemu wodonośnego były lata hydrologiczne: 1983–1985, 1990–1993 i 2004–2007 oraz rok 2015. W okresach tych wystąpiła największa liczba niżówek hydrogeologicznych, niezależnie od rozpatrywanej długości ich trwania (ryc. 15, 17, 19, 21, 23, 25). Natomiast w latach 1981–1982 i 1998–2002 niżówek było najmniej. W przypadku metody SNO, w odniesieniu do całego badanego okresu w skali kraju nie było takiej sytuacji, żeby w którymś roku nie odnotowano w ogóle żadnych niżówek, wręcz przeciwnie, w każdym roku występował cały ich wachlarz, począwszy od krótkich (poniżej 3 miesięcy) do długich zdarzeń (powyżej 2 lat – tzn. w danym roku był obserwowany początek lub kontynuacja długich niżówek). Poszczególne lata różnią się natomiast znacznie liczebnością danych obserwacji.

Wśród wymienionych okresów suchych najwięcej niżówek odnotowano w zbiorach A i B′ w latach 90. XX w. (ryc. 15, 19, 21, 23). Lata 1992–1993 dominują w ujęciu całego 35-lecia pod względem zdarzeń, które nie trwały dłużej niż rok. Natomiast najwięcej niżówek o czasie trwania przekraczających 1 rok w zbiorze B′ zanotowano w okresie 1991–1992, w przeciwieństwie do zbioru A, w którym był to rok 2015. W niżówki trwające ponad 2 lata najbardziej obfity jest okres 1990–1992 (zbiory A i B′). Przy identyfikacji niżówek trwających dłużej niż 1 rok (lub 2 lata) uwzględniano rok poprzedzający dany okres, jak i rok po nim następujący.

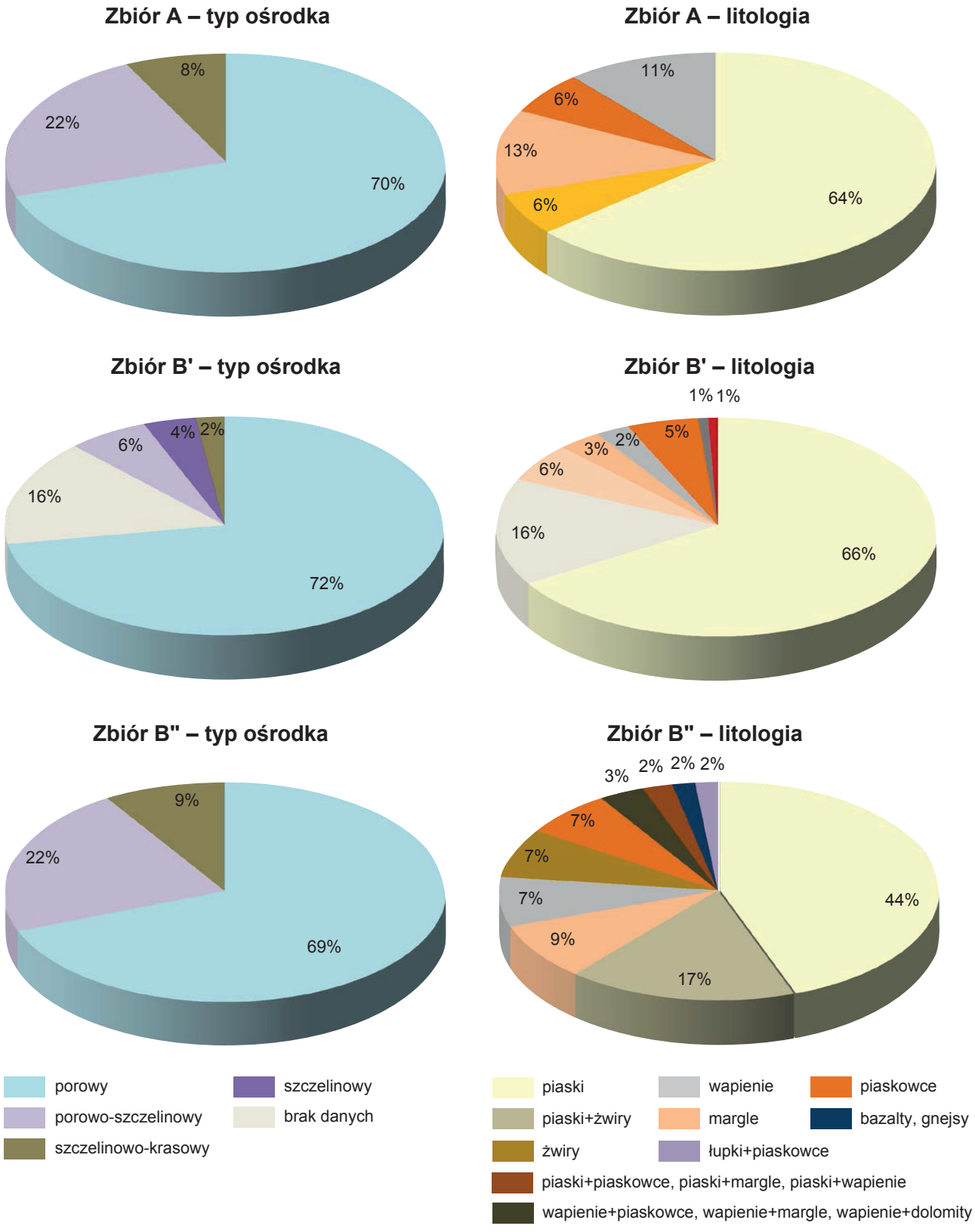
Podobnie przedstawiają się wyniki uzyskane metodą percentyla rzędu 98/100 – okresy wyróżnione jako najbardziej suche: 1983–1985, 1990–1993 i 2004–2007 oraz rok 2015

Ryc. 13. Lokalizacja wszystkich punktów objętych analizą (logiczna suma zbiorów A, B′ i B″)

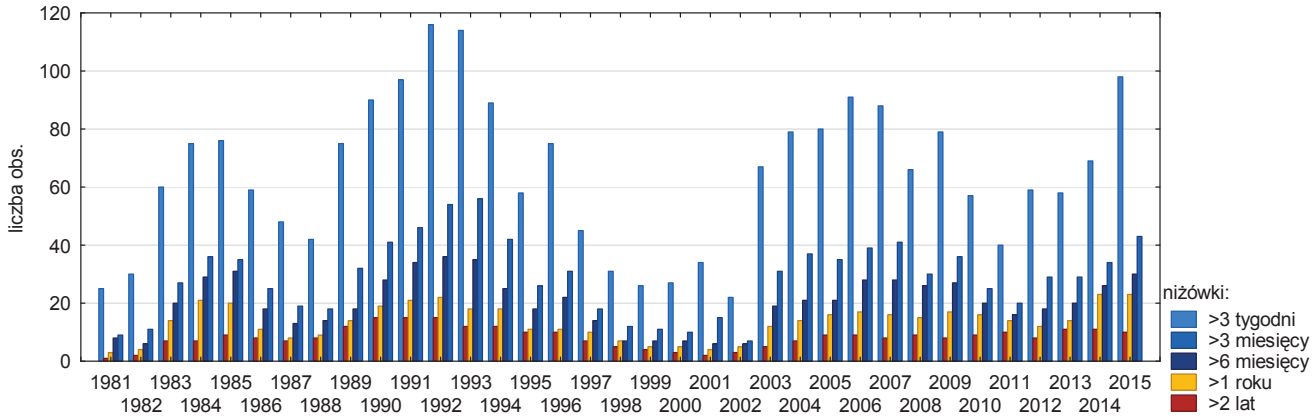
pozostają te same co w metodzie SNO (ryc. 16, 18, 20, 22, 24, 26). Jednak określenie, w których latach doszło do największej liczby ekstremalnie niskich stanów wód w skali kraju jest trudne. Pod tym względem wyróżniają się lata 1991–1993, na co wskazują przede wszystkim wyniki ze zbioru B′ i 2015 r., dominujący w zbiorze A, a także ze względu na rezultaty analizy zbioru B″ – okres 2005–2007 (ryc. 24).

Należy zaznaczyć, że otrzymane wyniki dotyczące liczby niżówek trwających dłużej niż rok i dłużej niż 2 lata dla 2015 r. są zaniżone. Stało się tak z tego powodu, że w wielu punktach niskie stany wód z tego okresu utrzymywały się również w roku następnym (2016), który nie został objęty okresem analizy.

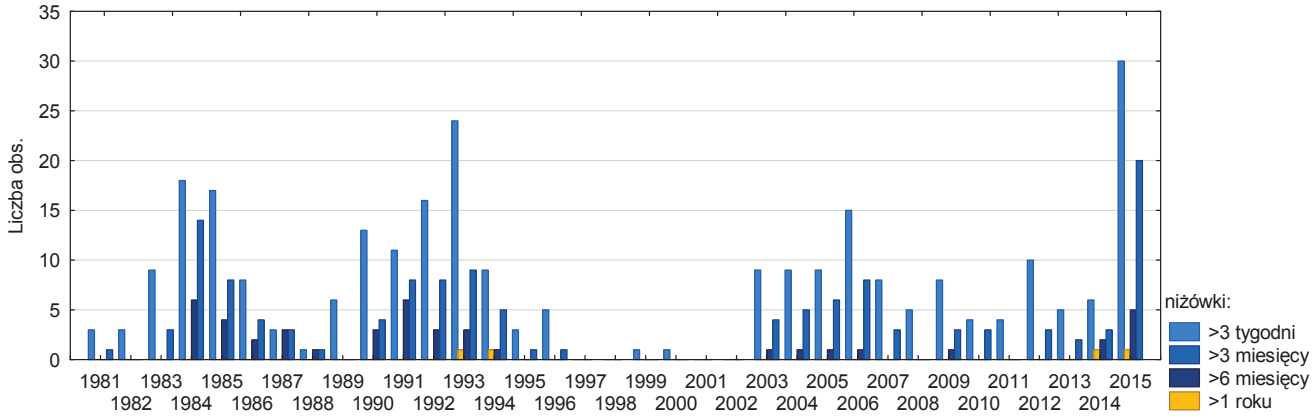
Zwraca uwagę cykliczność występowania niskich stanów wód podziemnych. Jest ona wprawdzie dość nieregularna – kolejne cykle nie są ani identyczne w długości okresu wahań, ani w wielkości amplitudy. Przyczyny niskich stanów wód podziemnych należy upatrywać w zmienności warunków klimatycznych, w tym przede wszystkim opadów atmosferycznych. Jednak wpływ zmian klimatycznych nie jest jednorodny. Skomplikowane zależności cech hydrogeologicznych i fizjogeograficznych różnicują odpowiedź zwierciadła wód podziemnych. Niektóre typy poziomów wodonośnych (wydzielone przez rodzaj i wielkość miąższości nadkładu warstwy wodonośnej oraz przynależność do określonej strefy hydrodynamicznej) reagują z dużym



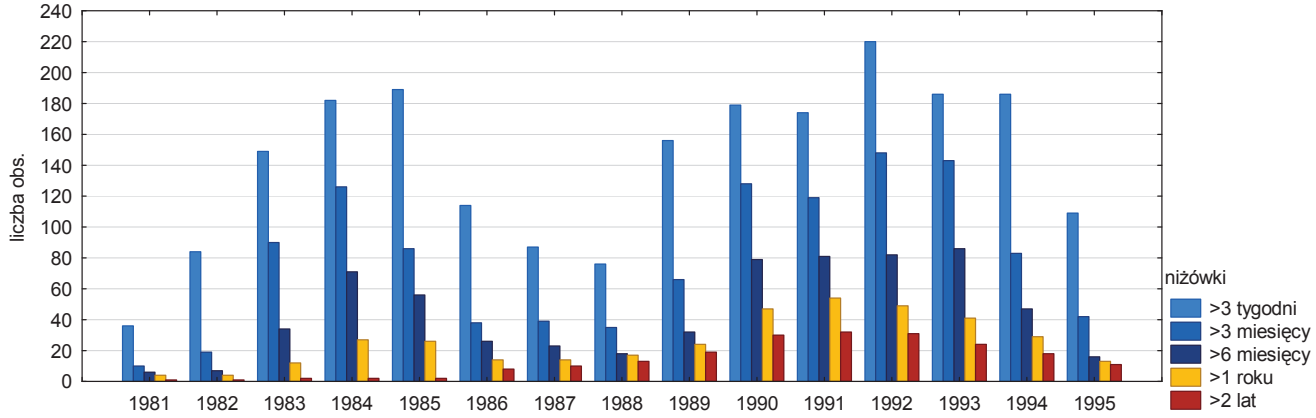
Ryc. 14. Charakterystyka zbiorów A, B′ i B″ – litologia i typ ośrodka warstwy wodonośnej



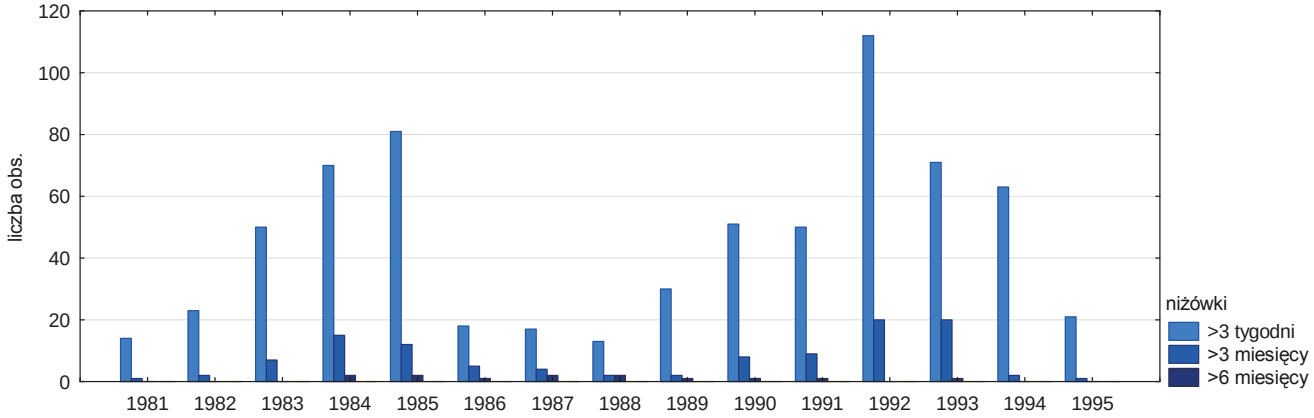
Ryc. 15. Częstość występowania niżówek o różnym czasie trwania wyznaczonych metodą SNO w kolejnych latach hydrologicznych badanego wielolecia na podstawie analizy zbioru A



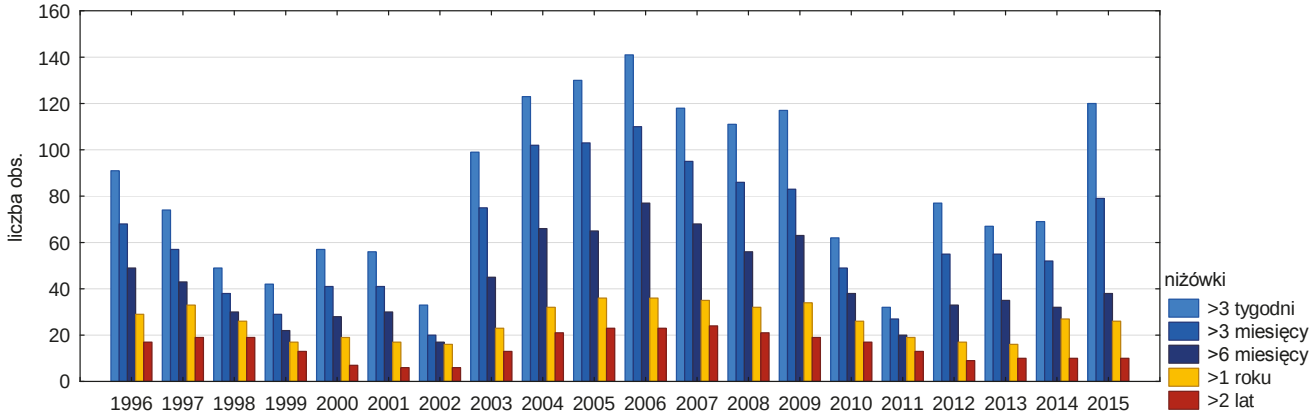
Ryc. 16. Częstość występowania niżówek o różnym czasie trwania wyznaczonych metodą percentyla rzędu 98/100 na podstawie analizy zbioru A



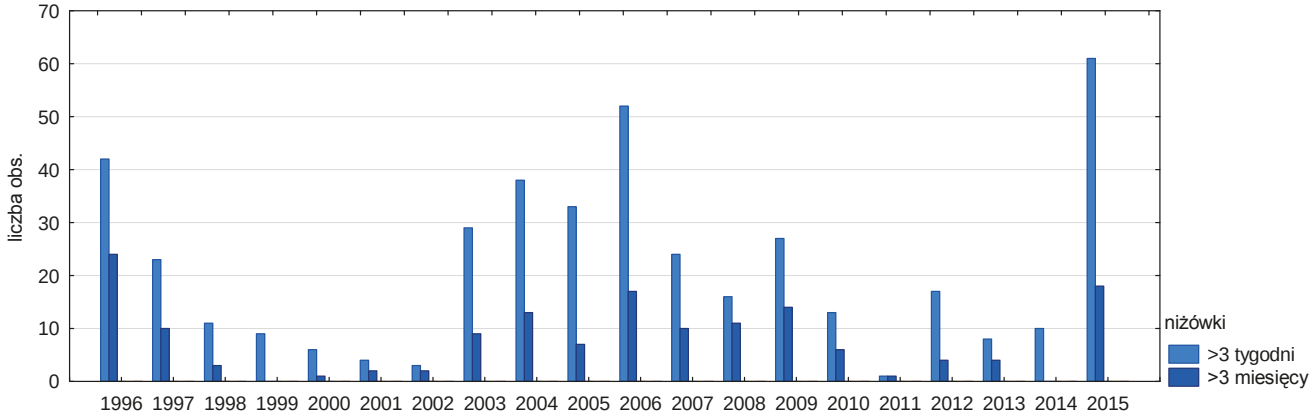
Ryc. 17. Częstość występowania niżówek o różnym czasie trwania wyznaczonych metodą SNO na podstawie analizy zbioru B′



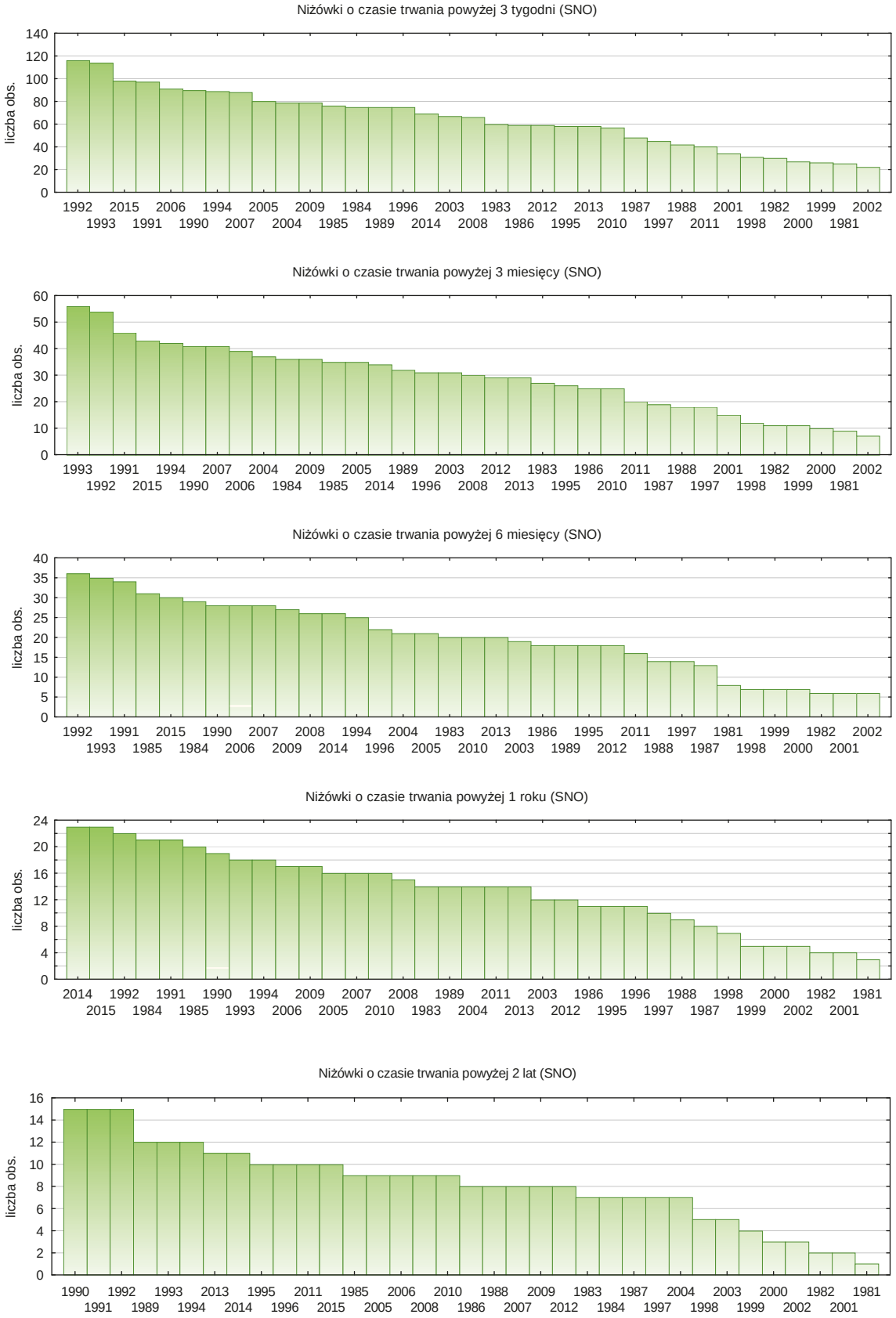
Ryc. 18. Częstość występowania niżówek o różnym czasie trwania wyznaczonych metodą percentyla rzędu 98/100 na podstawie analizy zbioru B′



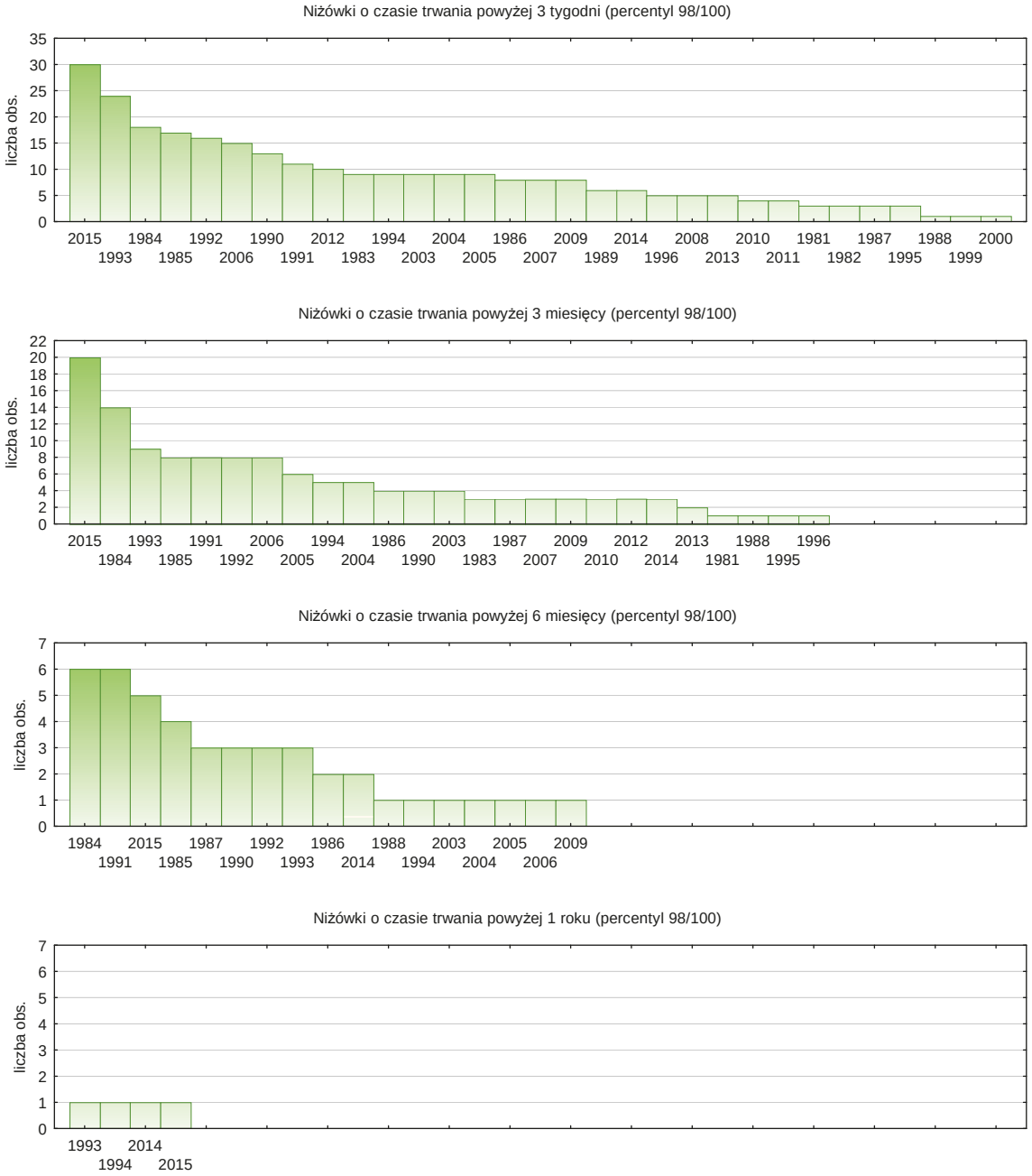
Ryc. 19. Częstość występowania niżówek o różnym czasie trwania wyznaczonych metodą SNO na podstawie analizy zbioru B″



Ryc. 20. Częstość występowania niżówek o różnym czasie trwania wyznaczonych metodą percentyla rzędu 98/100 na podstawie analizy zbioru B″



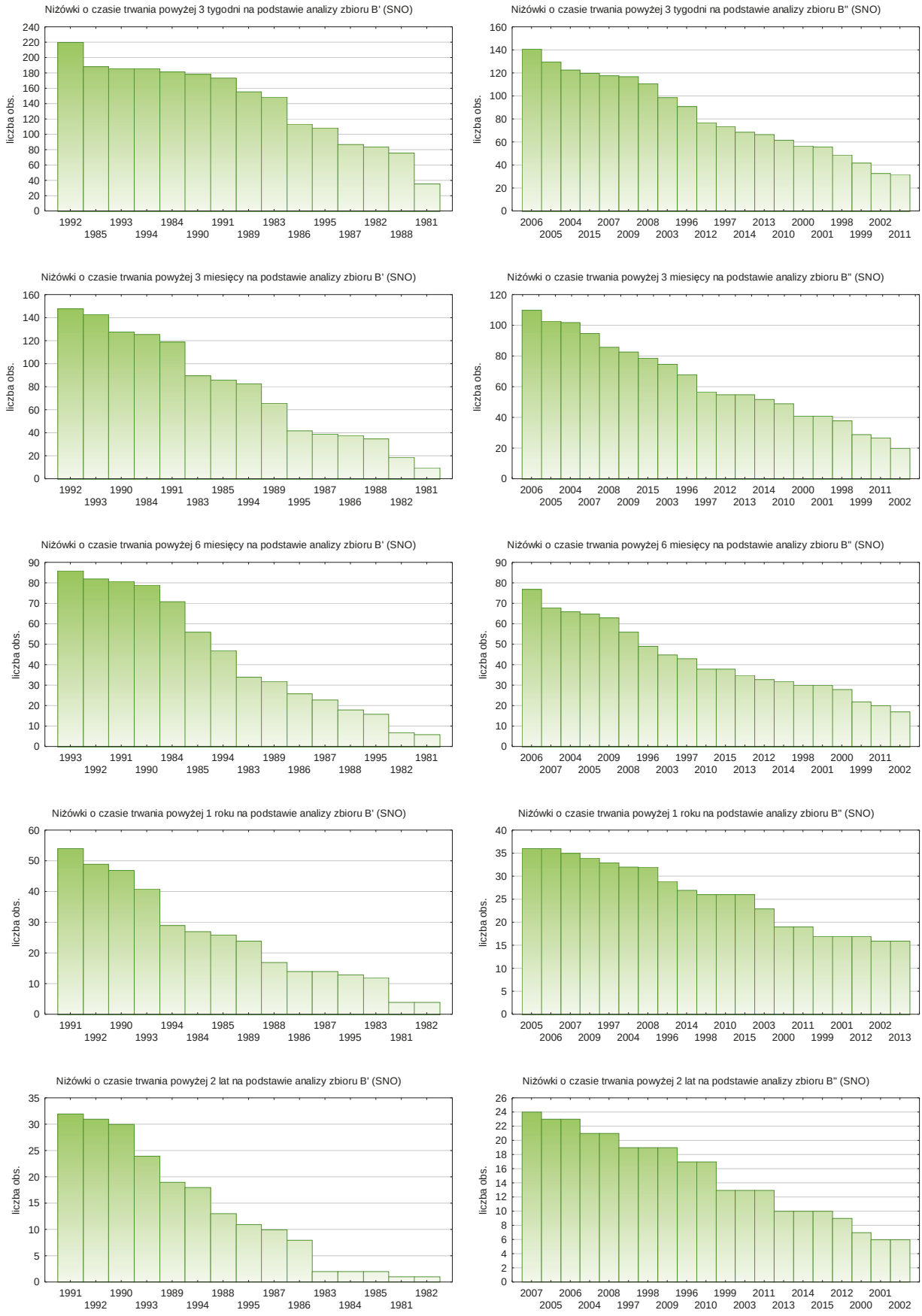
Ryc. 21. Wykres Pareto na podstawie analizy zbioru A – lata w kolejności największej liczby odnotowanych niżówek – wyniki uzyskane metodą SNO



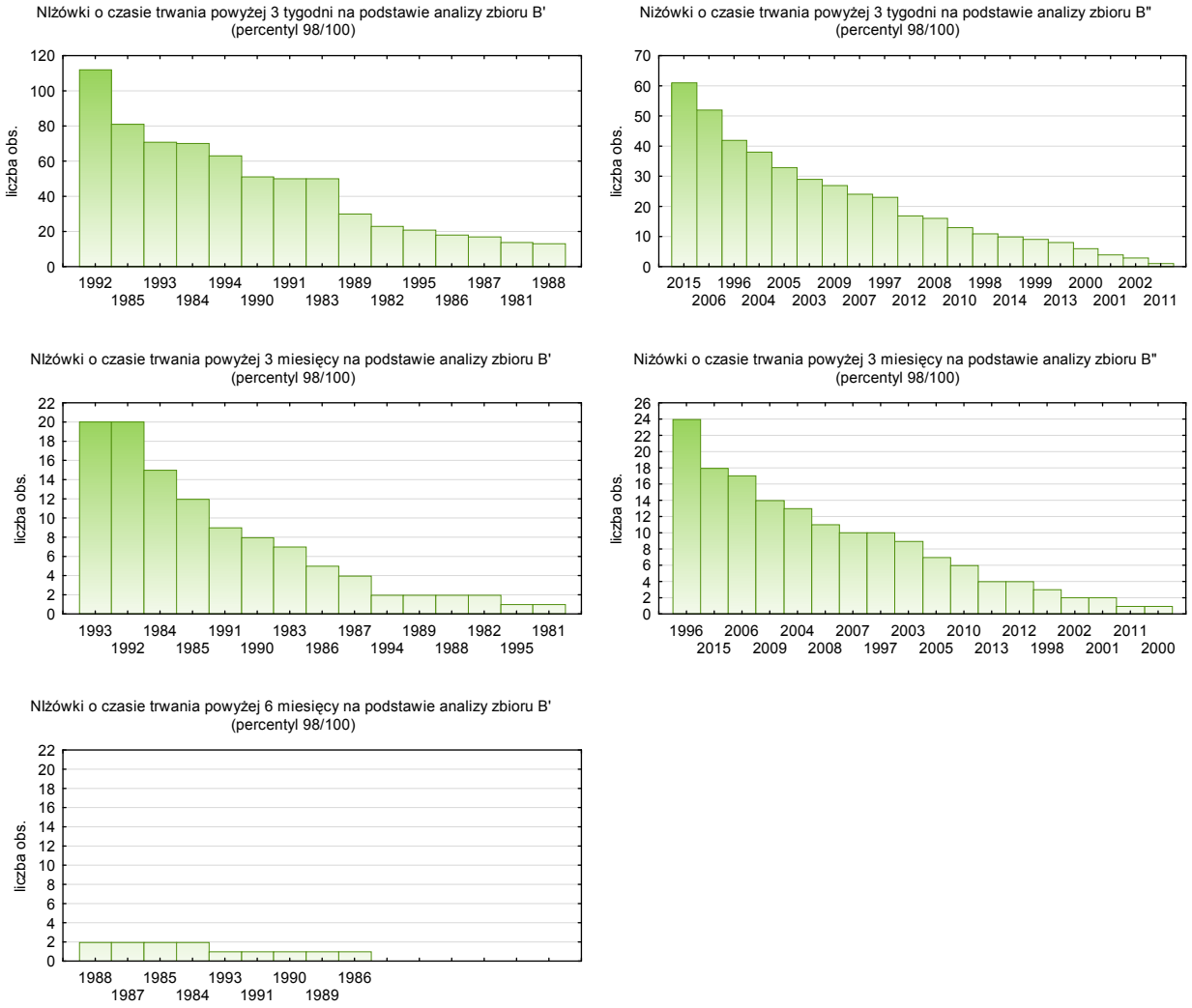
Ryc. 22. Wykres Pareto na podstawie analizy zbioru A – lata w kolejności największej liczby odnotowanych niżówek – wyniki uzyskane metodą percentyli

opóźnieniem lub mogą utrzymywać nawet odmienną od pozostałych tendencję. Wiąże się z tym także duża bezwładność stanów wód podziemnych. Wysokie autokorelacje utrzymujące się latami są bardzo często ich cechą charakterystyczną.

Uzyskane w pracy wyniki zestawiono z sumami opadów, jako głównym czynnikiem naturalnym wpływającym na zmienność stanów wód podziemnych. Uśrednione dla obszaru całego kraju roczne sumy opadów w okresie 1971–2000 zostały przedstawione w pracy Ziernickiej-Wojtaszek (2006). W wieloleciu 1981–2000 opady poniżej wartości średniej z 30-lecia występowały w latach: 1982–1984, 1986, 1988–1993, 1996, przy czym rok 1982 był najsuchszy pośród wymienionych powyżej. Jeżeli okresy te porówna się z okresami największej liczebności niżówek hydrogeologicznych w skali kraju do roku 2000, czyli z latami: 1983–1985



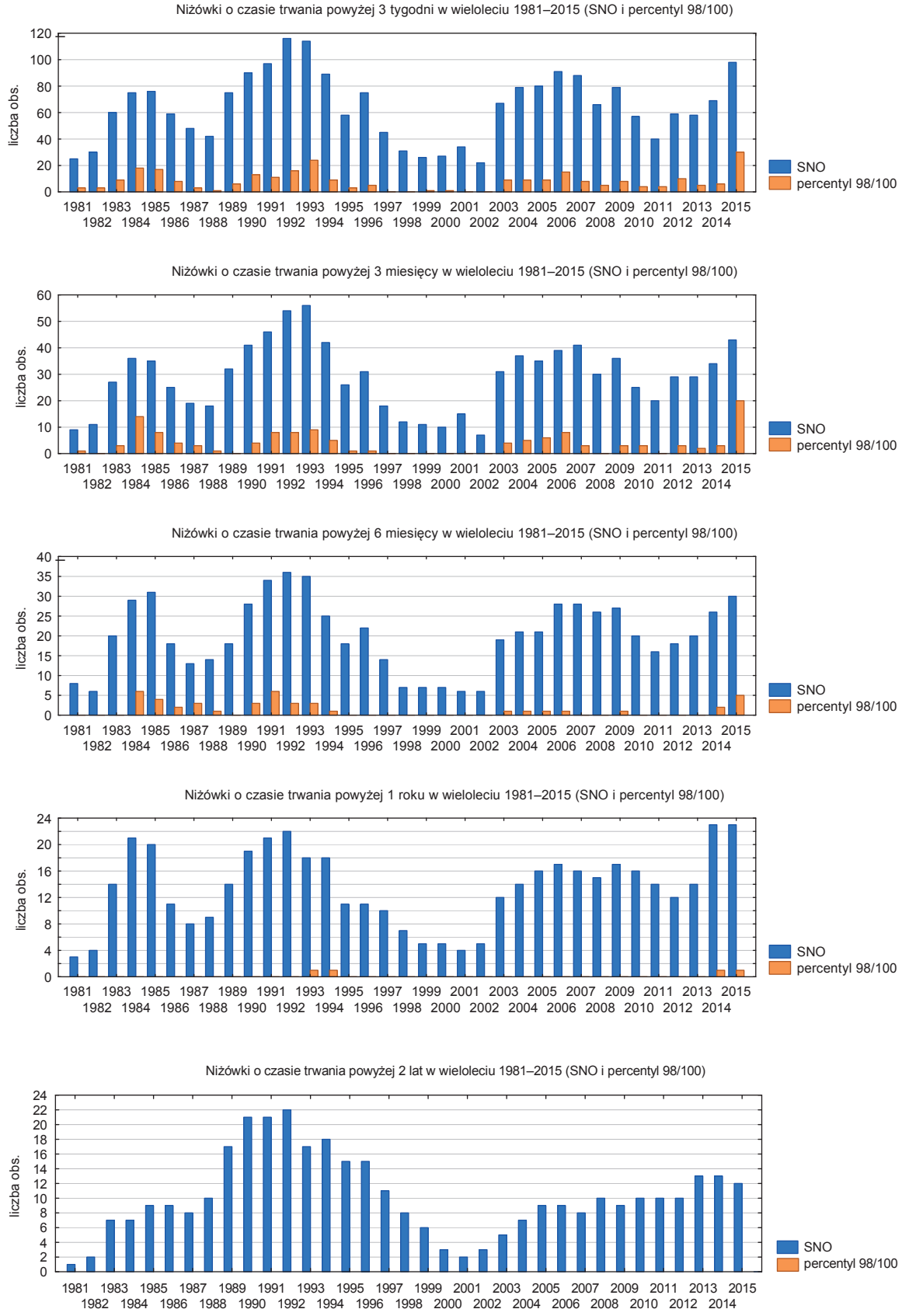
Ryc. 23. Wykresy Pareto na podstawie analizy zbioru B′ i B″ – lata w kolejności największej liczby odnotowanych niżówek – wyniki uzyskane metodą SNO



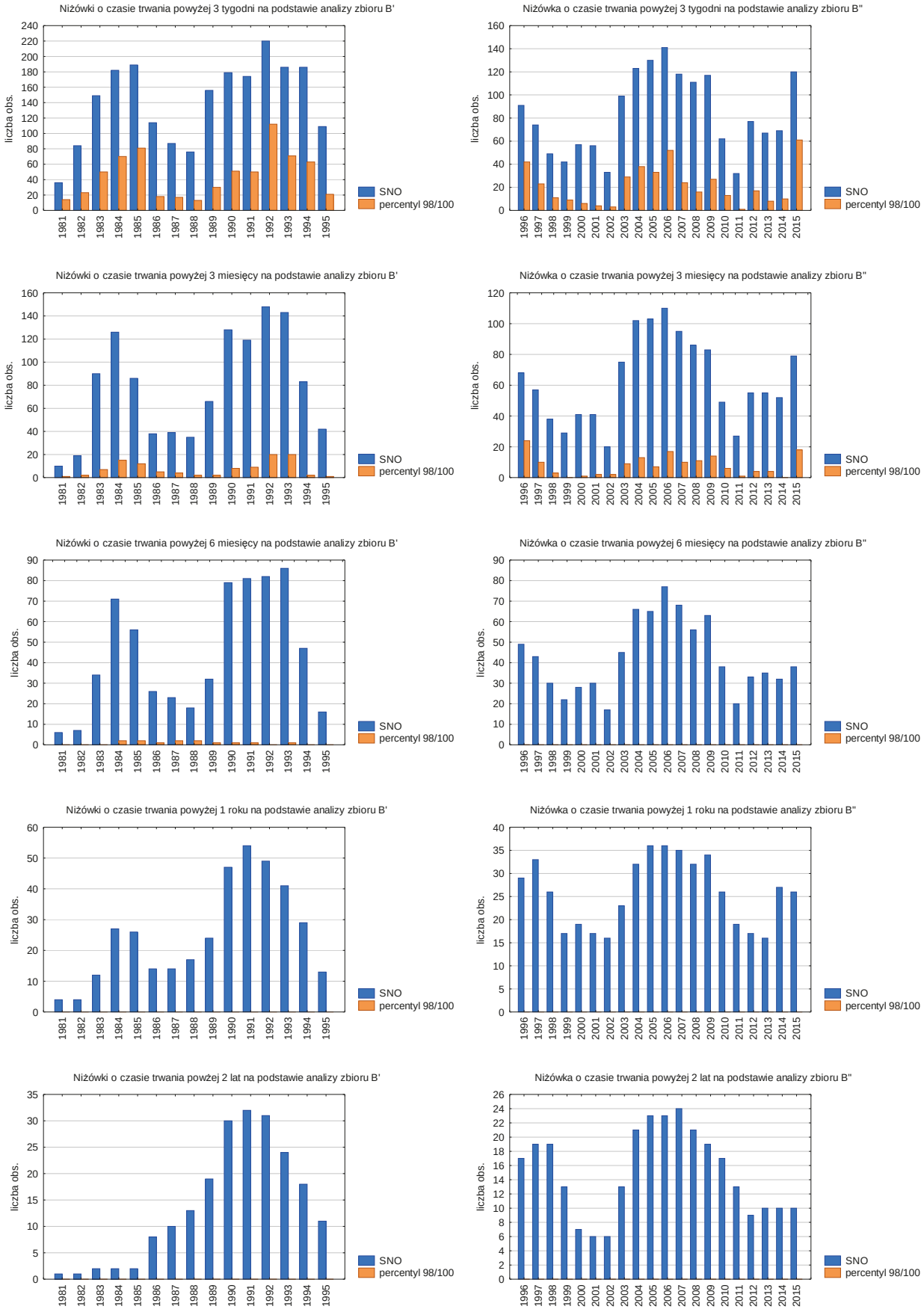
Ryc. 24. Wykresy Pareto na podstawie analizy zbioru B′ i B″ – lata w kolejności największej liczby odnotowanych niżówek – wyniki uzyskane metodą percentyla rzędu 98/100

i 1990–1993, widzimy że są one przesunięte („opóźnione") o jeden rok w stosunku do okresów niskich opadów. Rok 1982 był szczególnie ubogi w opady, jednak ze względu na to, że wystąpił po wyjątkowo mokrym roku 1981 i biorąc pod uwagę opóźnioną reakcję wód podziemnych, łatwo wytłumaczyć fakt, że lata 1983–1985 nie są najbardziej ekstremalnymi w liczbie głębokich niżówek w całym wieloleciu i ustępują pod tym względem latom 90. XX w.

Odnosząc się do rezultatów innych badań poruszających tematykę suszy w Polsce, porównano wyniki uzyskane metodą percentyla rzędu 98/100 z liczebnością ekstremalnych wartości wybranych parametrów letnio-jesiennych niżówek hydrologicznych w wieloleciu 1951–2000. Analiza wartości ekstremalnych pozwala na wskazanie tych lat, w których najczęściej występowały głębokie niżówki hydrologiczne letnio-jesienne. Z badań hydrologicznych wynika, że głębokimi letnio-jesiennymi niżówkami hydrologicznymi charakteryzował się początek lat 90., a zwłaszcza rok 1992, w mniejszym zakresie lata 1982–1986 (Kępińska-Kasprzak, 2015). Wymienione okresy porywają się z latami wyznaczonymi w tej pracy jako dominującymi w liczbie niżówek hydrogeologicznych. Warto jednak podkreślić, że głębokie niżówki hydrogeologiczne w sąsiadujących ze sobą latach wykazują bardziej równomierny rozkład liczby zdarzeń niż ma to miejsce w wodach powierzchniowych, gdzie wartości zmieniają się „skokowo". Widać to szczególnie wyraźnie na przykładzie lat 90. XX w. (ryc. 16).



Ryc. 25. Częstość występowania niżówek o różnym czasie trwania na podstawie analizy zbioru A – porównanie wyników uzyskanych metodą SNO i percentyla rzędu 98/100



Ryc. 26. Częstość występowania niżówek o różnym czasie trwania na podstawie analizy zbioru B′ i B″ – porównanie wyników uzyskanych metodą SNO i percentyla rzędu 98/100

ANALIZA PRZESTRZENNO-CZASOWA

Na podstawie wyników pomiarów w punktach obserwacyjnych wód podziemnych przeanalizowano zasięg występowania niżówki hydrogeologicznej w wieloleciu 1981–2015. Opis obszarowego rozwoju niżówki hydrogeologicznej przedstawiono na podstawie wyników badań trzech zbiorów punktów – A, B′ i B″, z zastosowaniem jako wartości granicznej zjawiska średniej z minimów rocznych (SNO).

Pierwszym okresem w badanym wieloleciu, w którym obserwowano występowanie niskich stanów wód podziemnych na dużą skalę są lata 1983–1985. Po względnie spokojnym pod tym względem okresie 1981–1982, kiedy niskie stany wód pojawiały się lokalnie (głównie w regionie górnej Wisły i na pobrzeżach Polski), w 1983 r. w wielu punktach obserwacyjnych w różnych regionach rozpoczęła się niżówka hydrogeologiczna, która bardzo szybko rozprzestrzeniła się na obszar całego kraju. W latach 1983–1985 jedynie lokalnie stany wód układały się ponad poziomem SNO. Sytuacja taka utrzymywała się aż do roku 1986, w którym niżówka zaczęła powoli zanikać głównie w zachodniej części kraju.

Następnie w latach 1987–1988 punkty, w których obserwowano niżówkę hydrogeologiczną koncentrowały się głównie we wschodniej Polsce.

W 1989 r. niżówka hydrogeologiczna powiększyła swój zasięg, a w latach 1990–1993 obejmowała już obszar całego kraju, przy czym najsłabiej rozwijała się w zachodniej części regionu górnej Wisły. W kolejnych latach (1994–1995) zjawisko zaczęło powoli ustępować i liczba punktów, w których odnotowano niskie stany wód podziemnych zmniejszyła się.

W 1996 i 1997 r. niżówka hydrogeologiczna występowała głównie w północnej i centralnej oraz południowej części kraju, z wyjątkiem zachodniej części regionu górnej Wisły. W 1998 r. zjawisko zaczęło ustępować, głównie w regionie środkowej Odry i w subregionie wyżynnym Warty. W 1999 r. liczba punktów z niżówką nadal się zmniejszała.

W latach 2000–2001 zjawisko nieznacznie przybrało na sile i wzrosła liczba punktów o niskim położeniu zwierciadła wód podziemnych, głównie w regionie Narwi, Pregoły i Niemna, w regionie Warty oraz w regionie środkowej Odry. Natomiast w 2002 r. zjawisko się cofnęło i ustąpiło z centralnych regionów kraju. Utrzymywało się jedynie lokalnie na obrzeżach Polski.

W 2003 r. niżówka znów objęła swym zasięgiem znaczny obszar. Przy czym zjawisko prawie nie występowało w subregionie pojeziernym regionu dolnej Wisły i w centralnej części subregionu wyżynnego regionu środkowej Wisły. Podobna sytuacja wystąpiła w kolejnych latach, z tym, że w 2004 r. niżówka zaczęła również zajmować centralną część subregionu wyżynnego regionu Wisły, a w 2006 r. – subregion pojezierny. W 2008 r. wolne od opisywanego zjawiska były w dużej mierze obszary regionu Narwi, Pregoły i Niemna oraz subregion Karpat zewnętrznych. W roku 2010 liczba punktów z niżówką zmniejszyła się znacznie w centralnej Polsce i w regionie środkowej Odry. W kolejnym roku zjawisko nadal ustępowało w skali całego kraju, z wyjątkiem północnej i centralnej części Polski oraz regionu środkowej Wisły.

W 2012 r. niżówka nieznacznie zwiększyła swój obszar i zaczęła rozwijać się także we wschodniej części regionu środkowej Odry, w regionie górnej Wisły oraz południowej części regionu Bugu. W 2013 r. obszar występowania niżówki pozostawał bez zmian.

W 2014 r. sytuacja się zmieniła. Zjawisko było obserwowane głównie w północno-zachodniej i centralnej Polsce, natomiast w południowo-wschodniej części kraju występowało lokalnie.

W 2015 r. niżówka rozwijała się i pogłębiła w północnej i centralno-zachodniej Polsce. Wzrosła również znacznie liczba punktów, w których odnotowano opisywane zjawisko, w subregionach wyżynnych Warty i środkowej Wisły. Ponadto niżówka wystąpiła w regionie Bugu. W rezultacie niskie stany wód obserwowano na przeważającym obszarze kraju.

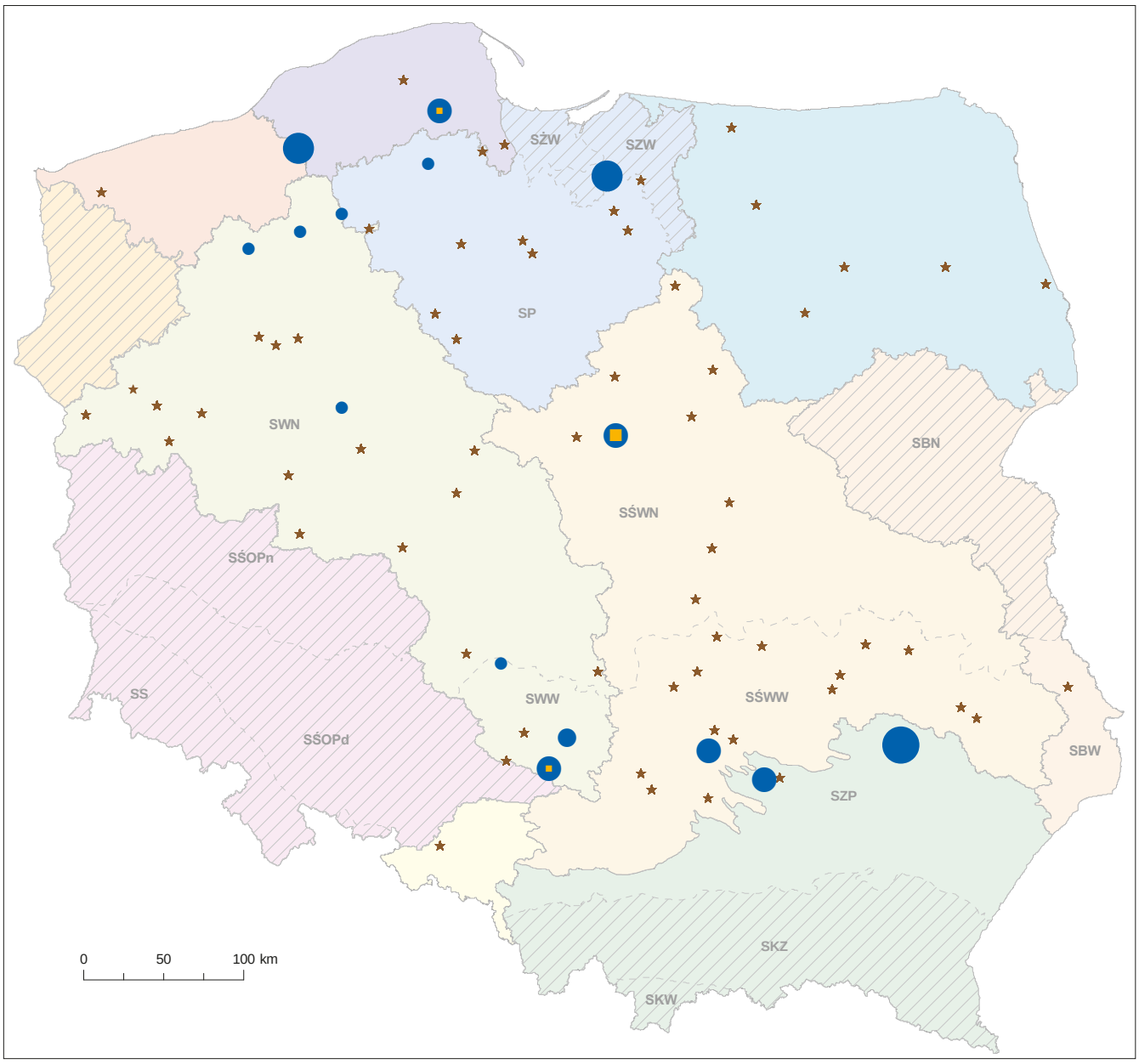
W dalszej części rozdziału na rycinach przedstawiono przebieg zjawiska niżówki hydrogeologicznej w poszczególnych, kolejnych latach okresu 1981–2015 na zbiorze punktów A (ryc. 27–61), B′ (lata 1981–1995) (ryc. 62–76) oraz B″ (lata 1996–2015) (ryc. 77–96). Podczas interpretacji rycin należy zwrócić uwagę, że przedstawione na nich obrazy dla tego samego roku w przypadku dwóch zbiorów – A i B′ (1981–1995) oraz A i B″ (1996–2015) najczęściej nieco różnią się od siebie, co wynika z różnych wieloleci uwzględnionych w analizie danych zbiorów.

OPIS NA PODSTAWIE ANALIZY ZBIORU A (WIELOLECIE 1981–2015)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1981

W 1981 r. niżówka hydrogeologiczna na obszarach, w których były zlokalizowane punkty zbioru A, miała bardzo ograniczony zasięg. Zjawisko występowało jedynie lokalnie – głównie na północy (region wschodniopomorski, region dolnej Wisły i północna część regionu Warty) i na południu kraju (subregiony wyżynne regionu Warty i regionu środkowej Wisły oraz północna część subregionu zapadliska przedkarpackiego).

W centralnej części Polski niżówkę odnotowano tylko w dwóch punktach, tym niemniej w jednym z nich wystąpiła głęboka niżówka, trwająca ponad 3 miesiące.

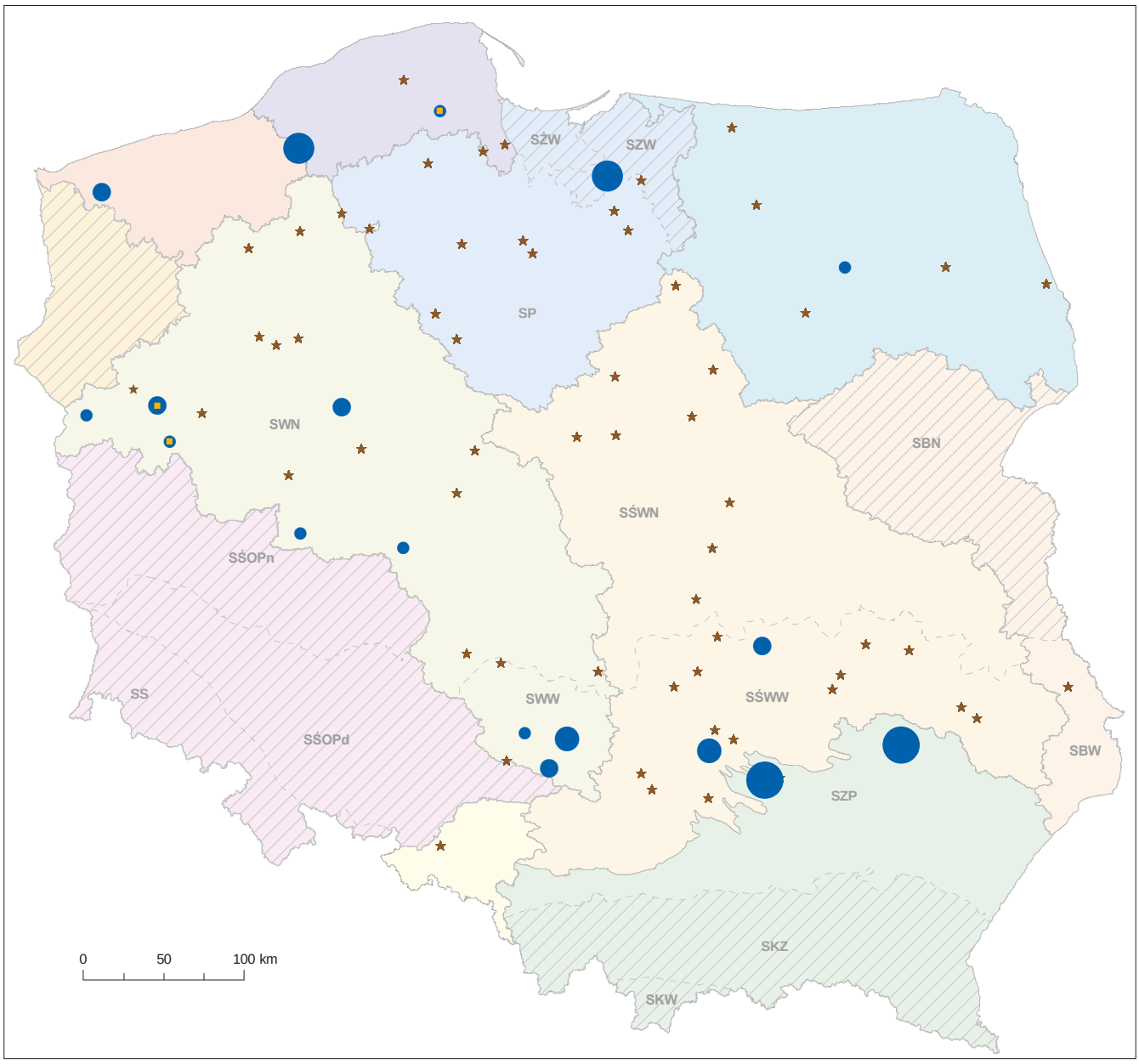


Ryc. 27. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1981 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1982

W 1982 r. niżówka hydrogeologiczna występowała nadal lokalnie. Pojedyncze zdarzenia odnotowano w regionie zachodniopomorskim, w regionie wschodniopomorskim, w regionie Narwi, Pregoły i Niemna, w subregionie Zalewu Wiślanego oraz w południowej części regionu środkowej Wisły i północnej części subregionu zapadliska przedkarpackiego. Ponadto krótkotrwałe niżówki wystąpiły również w regionie Warty. Na pozostałych obszarach, w których są zlokalizowane punkty ze zbioru A, nie zaobserwowano niskich stanów wód pierwszego systemu wodonośnego.

Głębokie niżówki występowały sporadycznie w regionie wschodniopomorskim i w zachodniej części regionu Warty.

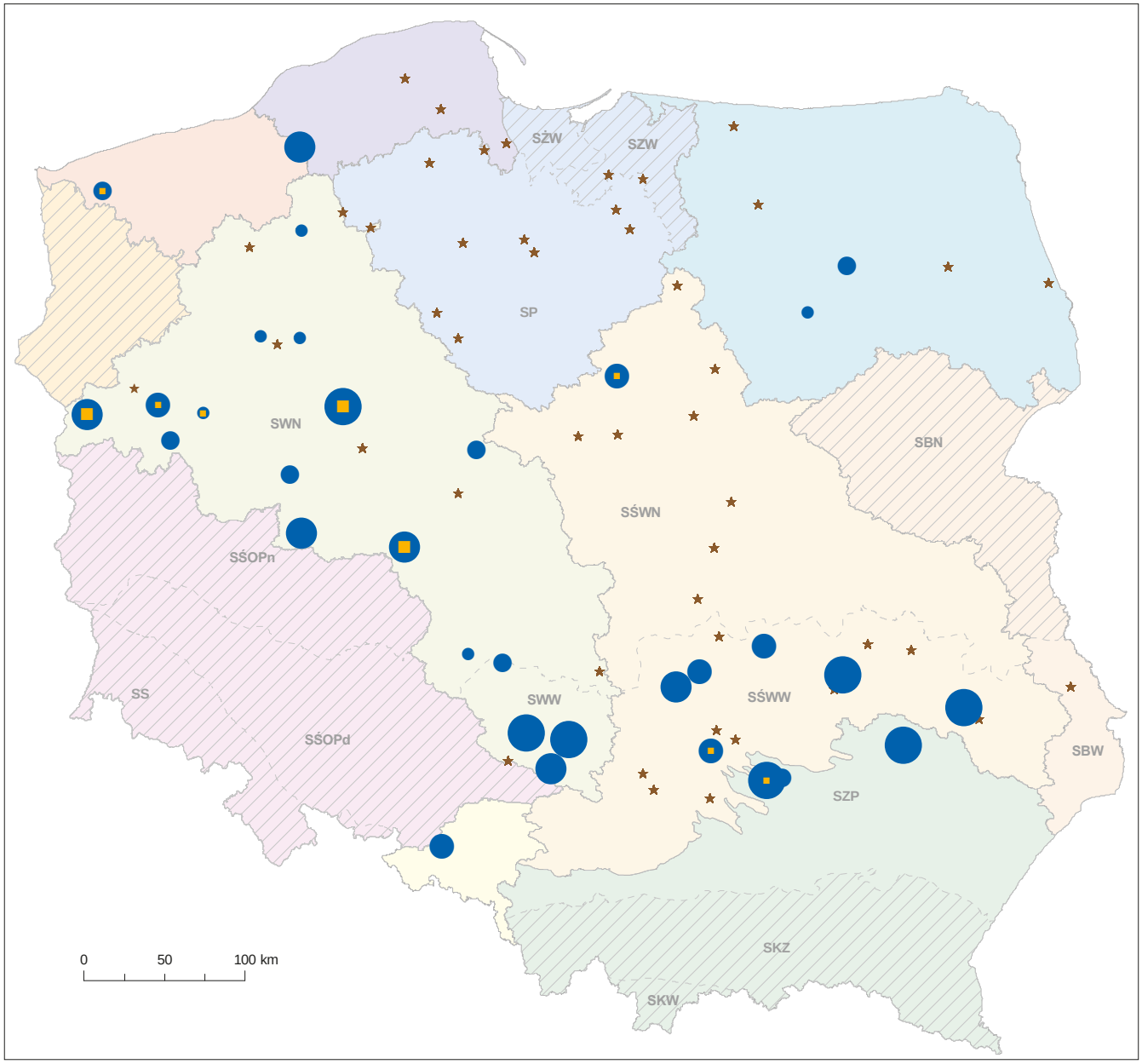


Ryc. 28. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1982 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1983

W 1983 r. niżówka hydrogeologiczna pogłębiła się i zwiększyła swój zasięg głównie w regionie Warty i subregionie wyżynnym środkowej Wisły. W znacznej liczbie punktów zjawisko to trwało ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1983 lub kontynuowało się w roku następnym).

W kilku punktach (najliczniej w regionie Warty) wystąpiły głębokie niżówki, czas ich trwania nie przekraczał 6 miesięcy.

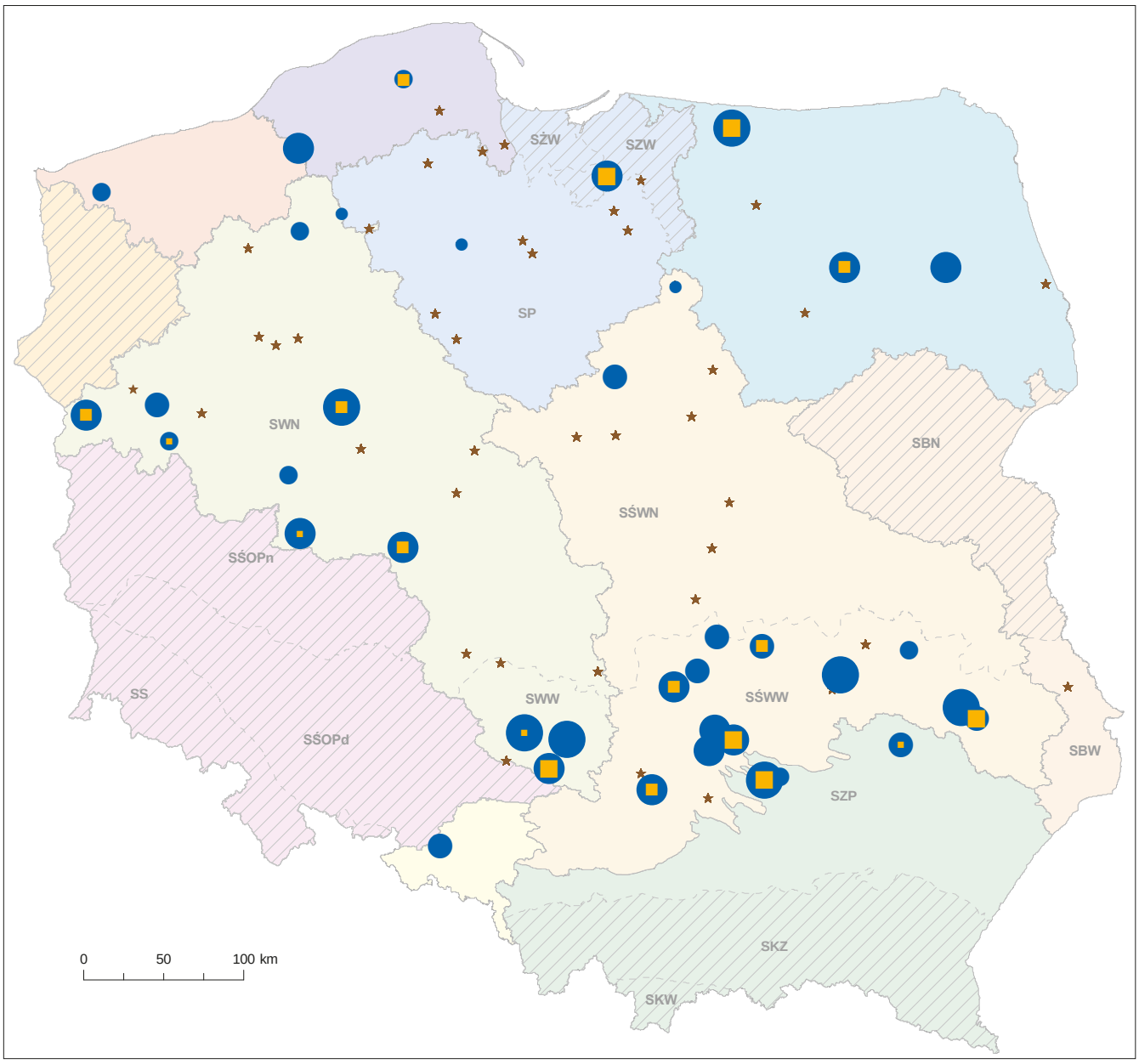


Ryc. 29. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1983 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1984

W 1984 r. zjawisko niżówki hydrogeologicznej kontynuowało się w regionie zachodniopomorskim, w regionie wschodniopomorskim, w regionie Warty, subregionie wyżynnym środkowej Wisły, północnej części subregionu zapadliska przedkarpackiego oraz w regionie górnej Odry. Niskie stany wód odnotowano również w regionie Narwi, Pregoły i Niemna oraz subregionie Zalewu Wiślanego. W większości punktów były to niżówki trwające ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1984 lub kontynuowało się w roku następnym).

W wymienionych regionach i subregionach w wielu miejscach pojawiły się głębokie niżówki trwające w znacznej liczbie punktów ponad 6 miesięcy.

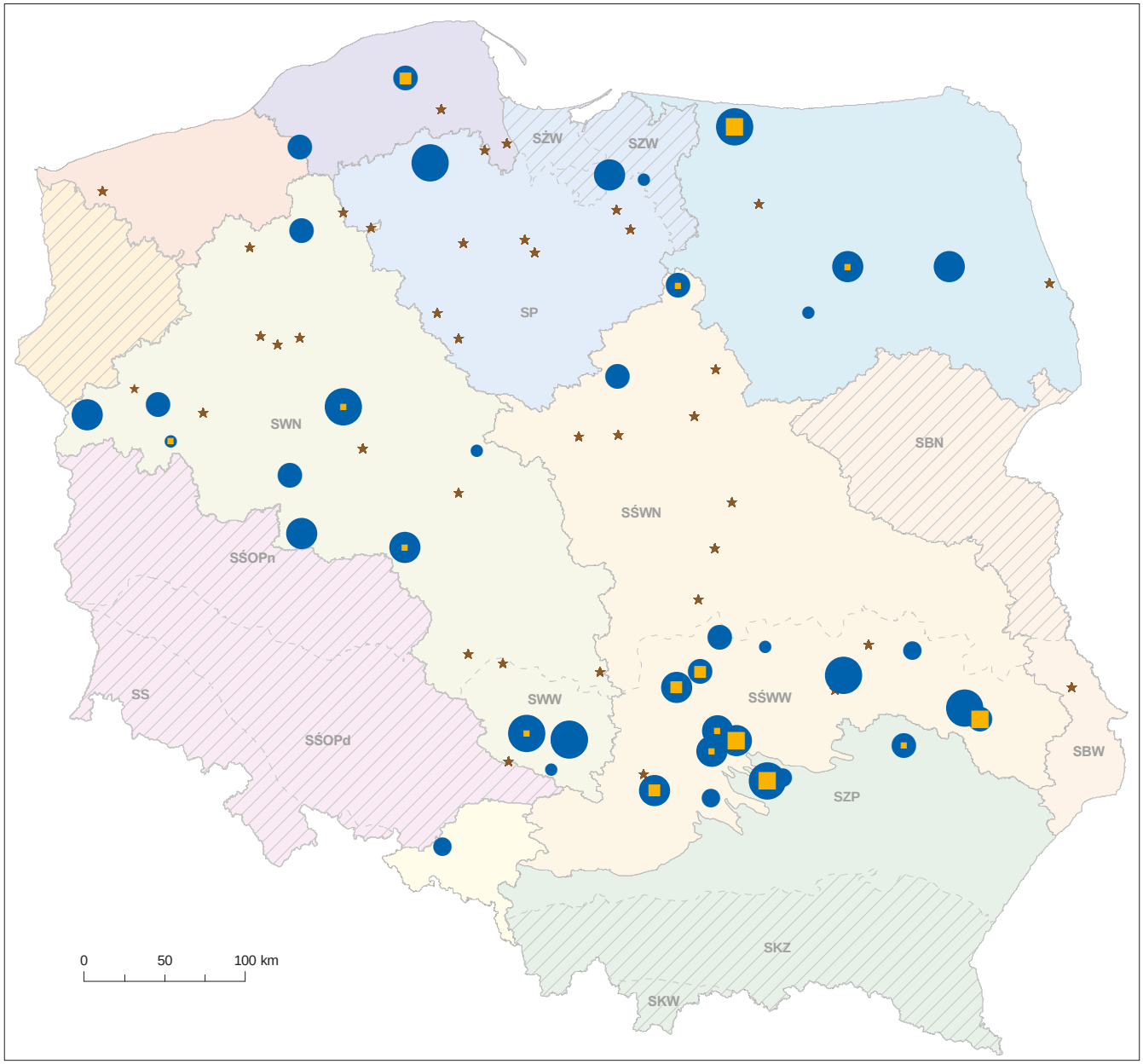


Ryc. 30. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1984 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1985

W 1985 r. niżówka hydrogeologiczna nieznacznie zmniejszyła swój zasięg w stosunku do roku poprzedniego. Zjawiska nie obserwowano już w regionie zachodniopomorskim. Dominowały punkty, w których niskie stany wód pierwszego systemu wodonośnego utrzymywały się ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1985 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głębokie niżówki odnotowano głównie w subregionie wyżynnym środkowej Wisły oraz w północnej części regionu górnej Wisły.

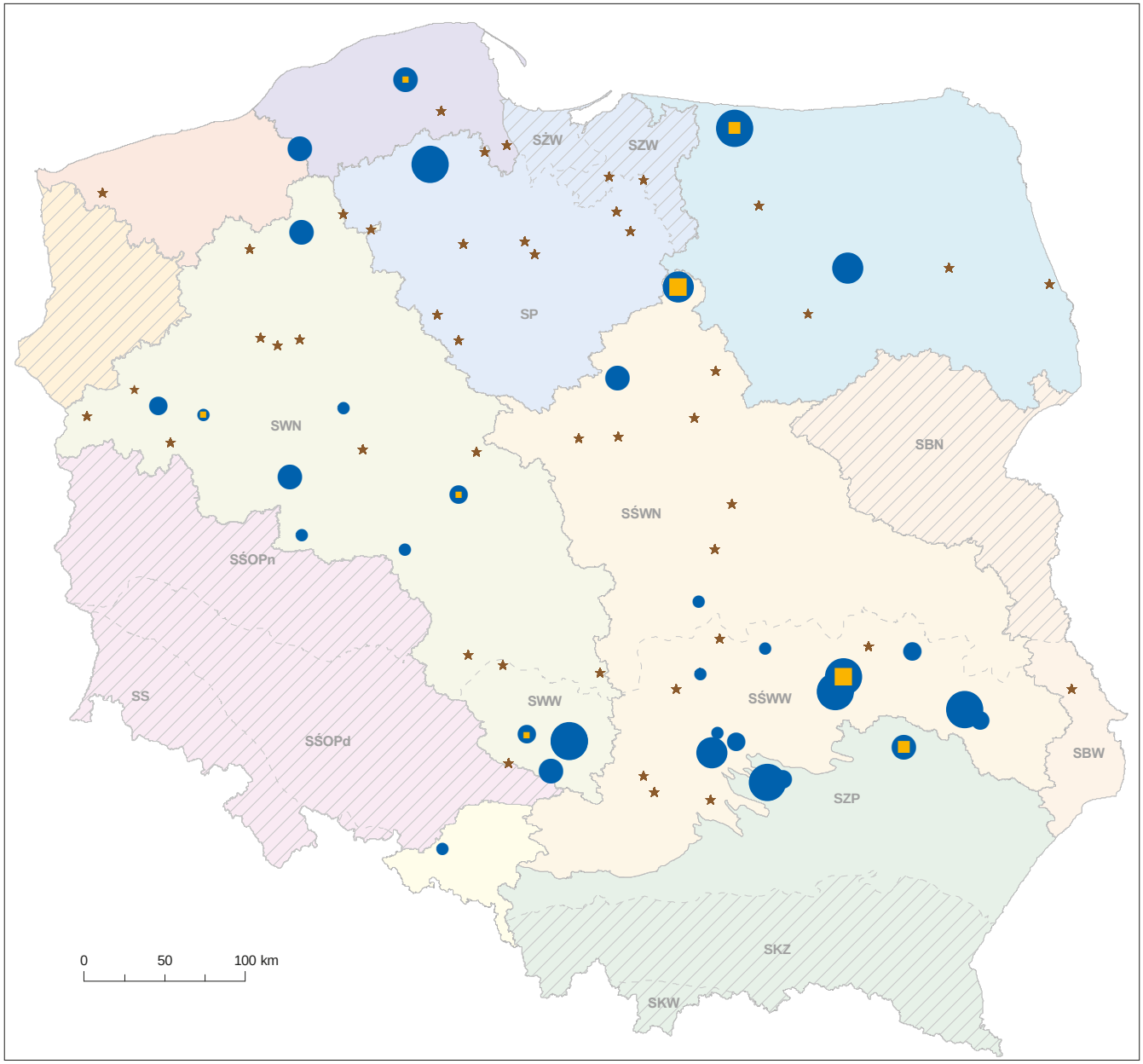


Ryc. 31. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1985 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1986

W 1986 r. niżówka hydrogeologiczna zaczęła ustępować. Punkty, w których zjawisko trwało ponad rok obserwowano lokalnie w północnej części kraju oraz w subregionie wyżynnym Warty, subregionie wyżynnym środkowej Wisły i w północnej części subregionu zapadliska przedkarpackiego.

Głęboka niżówka wystąpiła tylko w pojedynczych punktach na opisywanym obszarze.

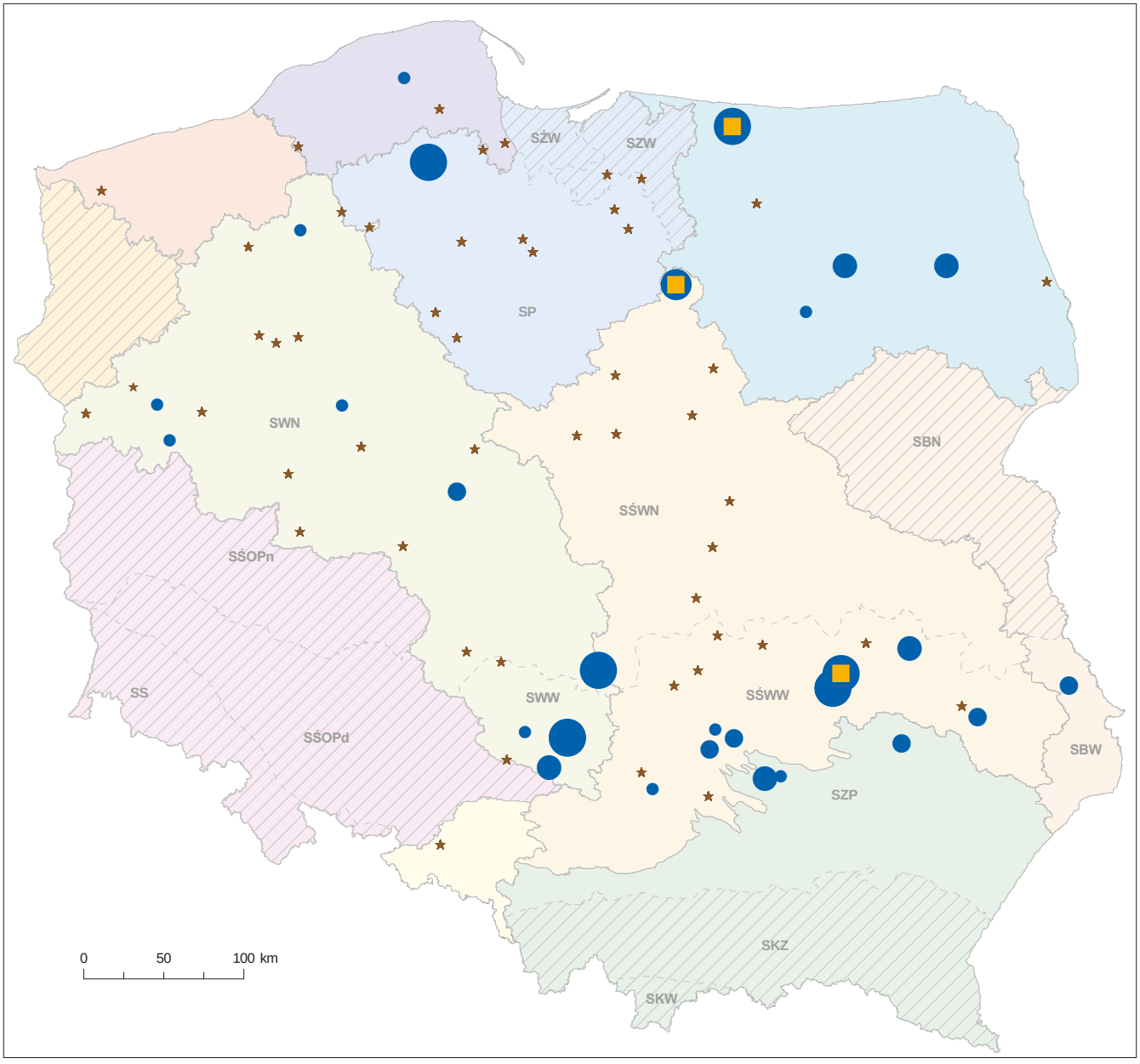


Ryc. 32. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1986 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1987

W 1987 r. zjawisko niżówki hydrogeologicznej występowało tylko lokalnie. Najwięcej punktów o niskim stanie wód zaobserwowano w południowej części regionu Warty oraz w subregionie wyżynnym Wisły.

Głęboka niżówka wystąpiła tylko w trzech punktach, a jej czas trwania przekraczał 6 miesięcy.

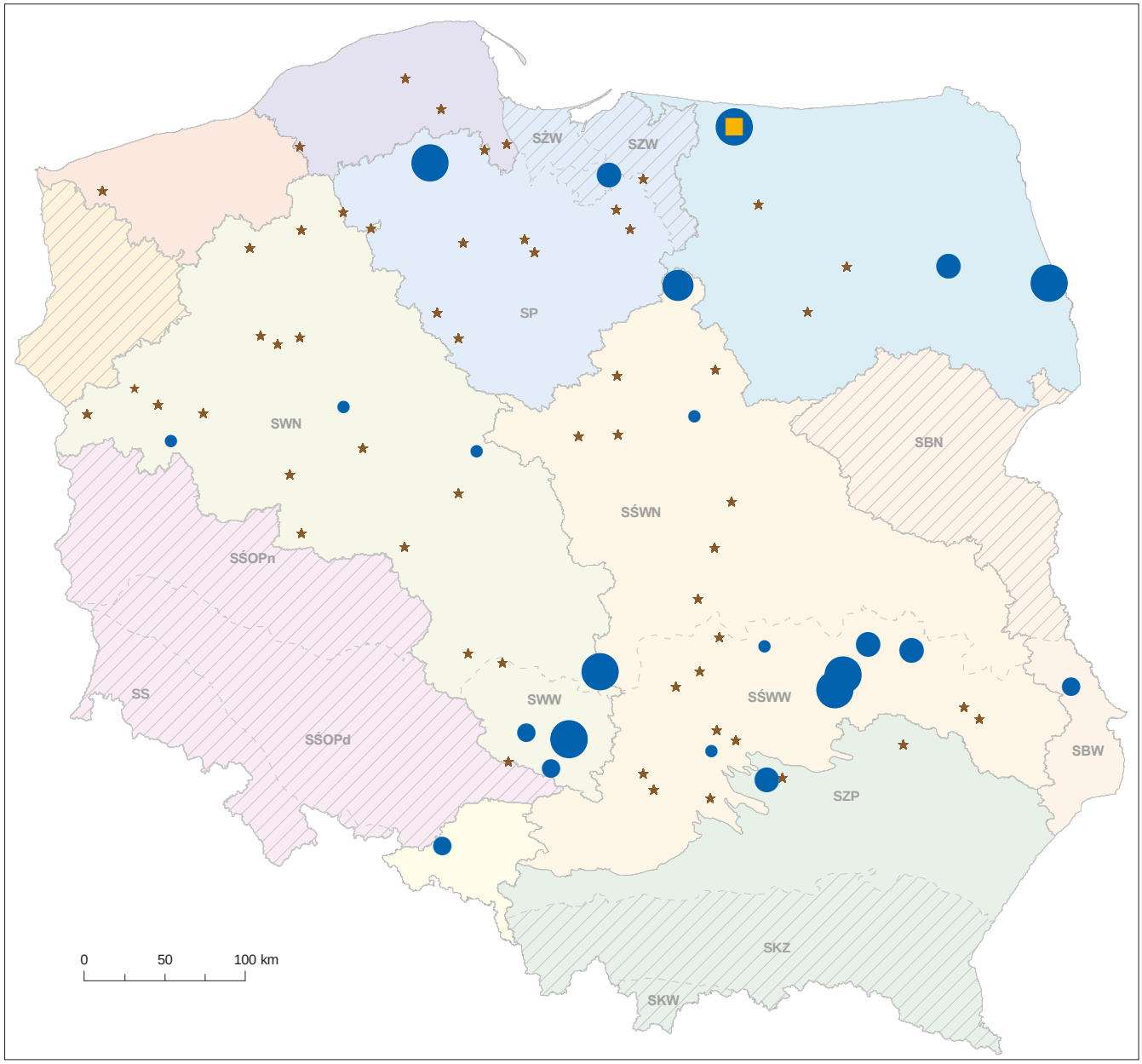


Ryc. 33. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1987 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1988

W 1988 r. niżówka nadal występowała lokalnie. Zjawisko o najdłuższym czasie trwania obserwowano w regionie dolnej Wisły, w regionie Narwi, Pregoły i Niemna, subregionie wyżynnym Warty i subregionie wyżynnym środkowej Wisły.

Głęboka niżówka hydrogeologiczna wystąpiła tylko w jednym punkcie w regionie Narwi, Pregoły i Niemna, a jej czas trwania wynosił ponad 6 miesięcy.

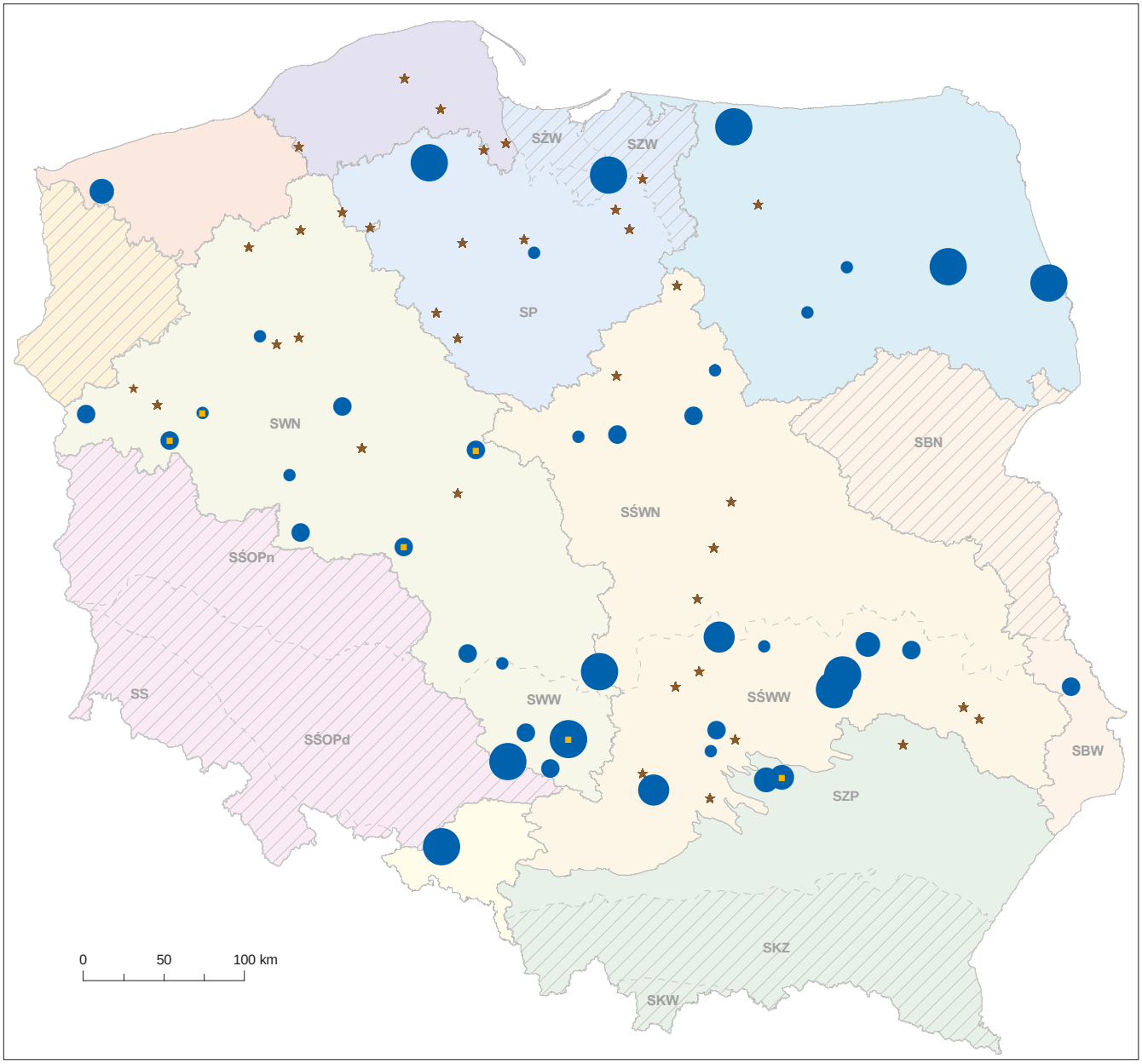


Ryc. 34. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1988 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1989

W 1989 r. zjawisko niżówki hydrogeologicznej zwiększyło swój zasięg, głównie w regionie Warty i w regionie środkowej Wisły oraz pojawiło się w regionie zachodniopomorskim.

Głębokie niżówki były krótkotrwałe (poniżej 3 miesięcy) i obserwowano je w regionie Warty oraz w jednym punkcie w regionie górnej Wisły.

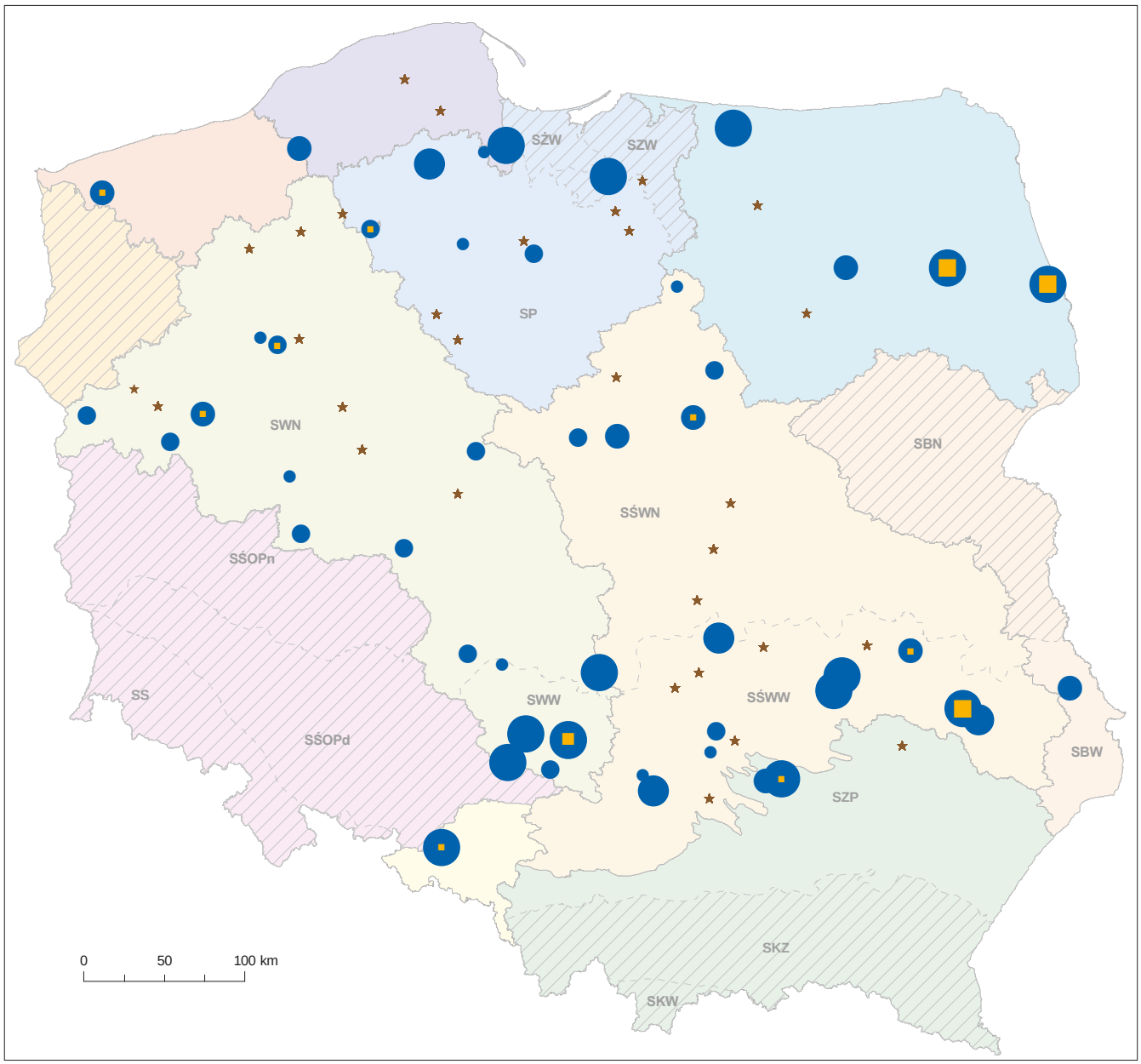


Ryc. 35. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1989 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1990

W 1990 r. zjawisko niżówki hydrogeologicznej kontynuowało się na całym opisywanym obszarze. Punkty, w których niskie stany wód utrzymywały się ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1990 lub kontynuowało się w roku następnym) występowały głównie w północnej części regionu dolnej Wisły, w regionie Narwi, Pregoły i Niemna oraz w subregionie wyżynnym Warty i subregionie wyżynnym środkowej Wisły.

Głęboka niżówka występowała tylko w pojedynczych punktach. Najdłużej obserwowano ją w regionie Narwi, Pregoły i Niemna oraz subregionie wyżynnym środkowej Wisły.

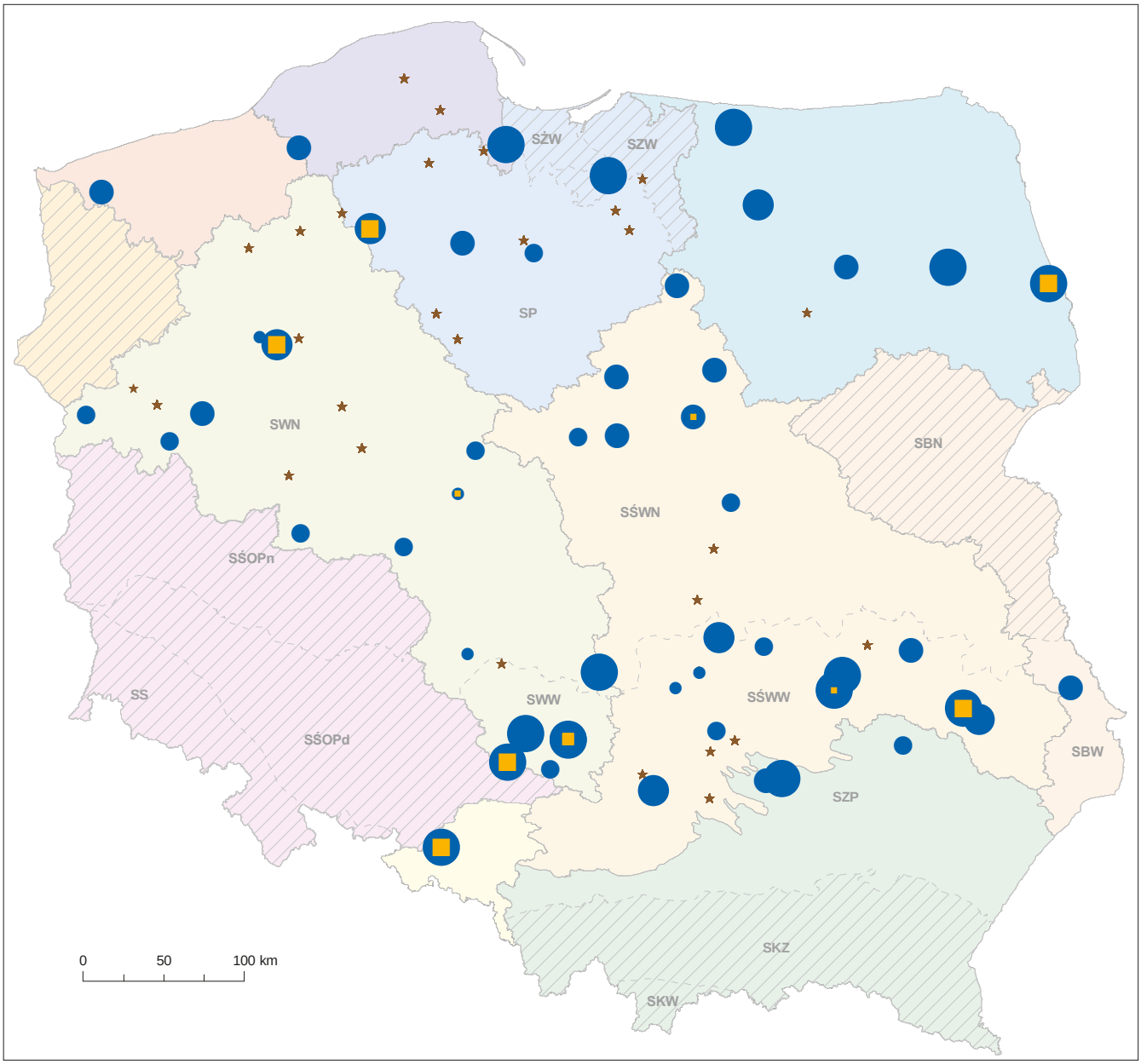


Ryc. 36. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1990 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1991

W 1991 r. niżówka hydrogeologiczna nie zwiększyła znacząco swego zasięgu w stosunku do roku poprzedniego. Północno-wschodnia Polska, subregion wyżynny Warty i subregion wyżynny środkowej Wisły oraz region górnej Odry to, podobnie jak w 1990 r., obszary występowania długotrwałych niżówek, utrzymujących się często już ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1991 lub kontynuowało się w roku następnym). W pozostałych regionach kraju zjawisko było krótkotrwałe.

Głębokie niżówki obserwowano tylko lokalnie, jednak czas trwania większości z nich wynosił ponad 6 miesięcy.

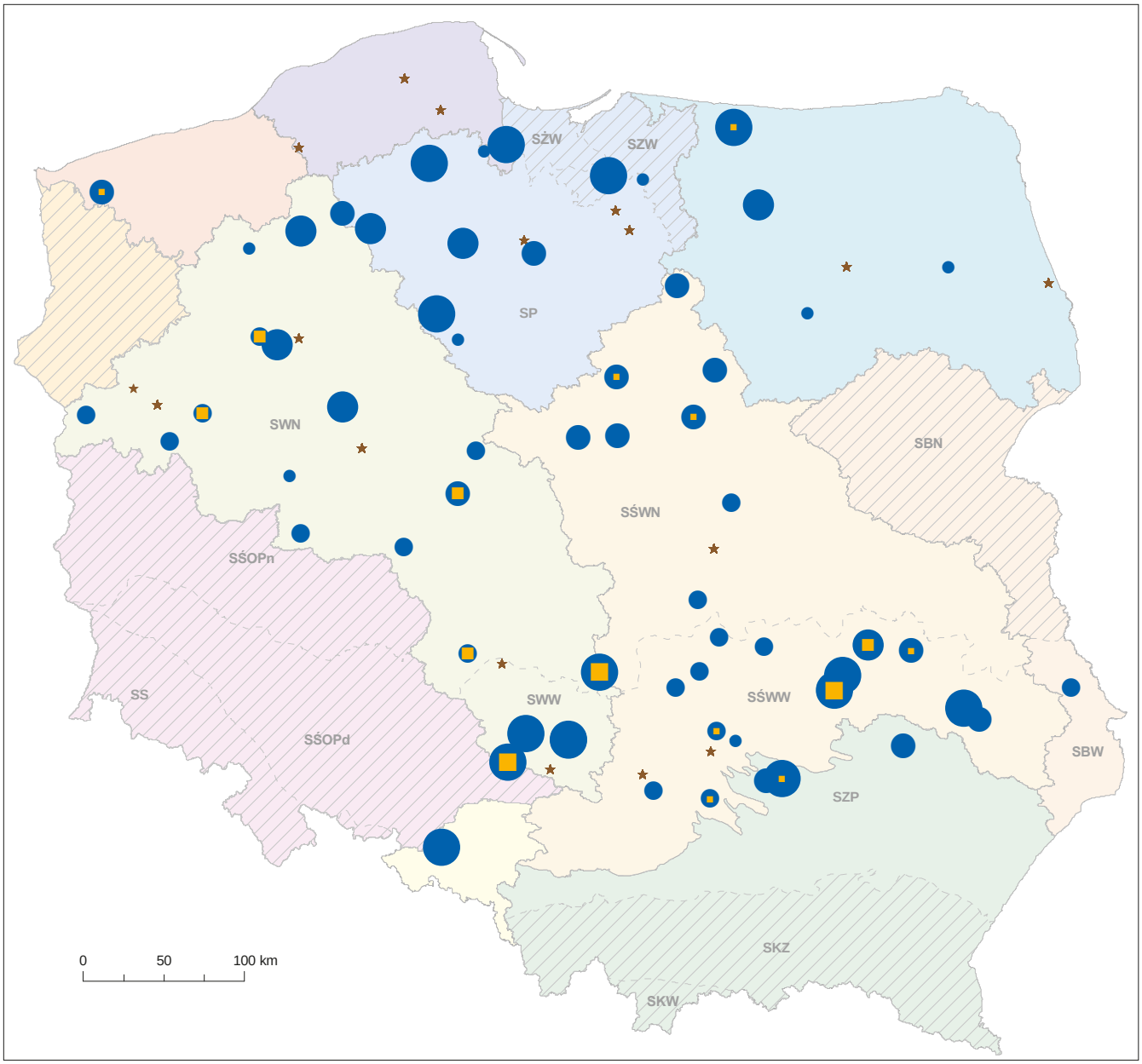


Ryc. 37. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1991 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1992

W 1992 r. niżówka hydrogeologiczna zwiększyła swój zasięg głównie w regionie dolnej Wisły oraz w północnej części regionu Warty. Zmniejszyła się natomiast liczba punktów, w których zjawisko było obserwowane, w regionie Narwi, Pregoły i Niemna.

Głęboka niżówka występowała głównie w regionie Warty i w regionie środkowej Wisły.

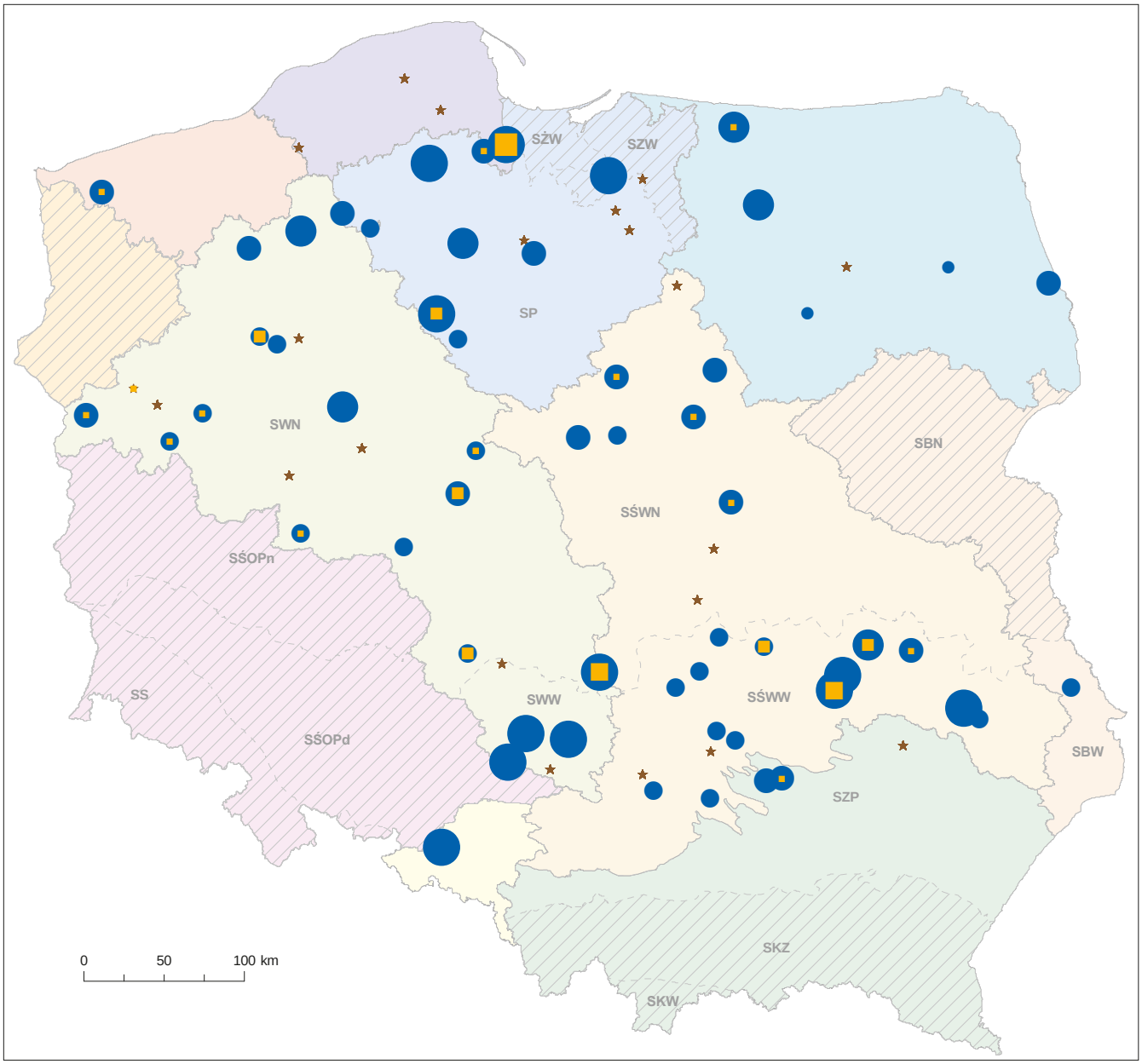


Ryc. 38. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1992 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1993

W 1993 r. niżówka hydrogeologiczna kontynuowała się na tym samym obszarze co w roku poprzednim. Najwięcej punktów z długotrwałą niżówką obserwowano w regionie dolnej Wisły, subregionie wyżynnym Warty, we wschodniej części subregionu wyżynnego środkowej Wisły oraz w regionie górnej Odry.

Głęboka niżówka występowała głównie w regionie Warty, w subregionie wyżynnym środkowej Wisły oraz w regionie dolnej Wisły.

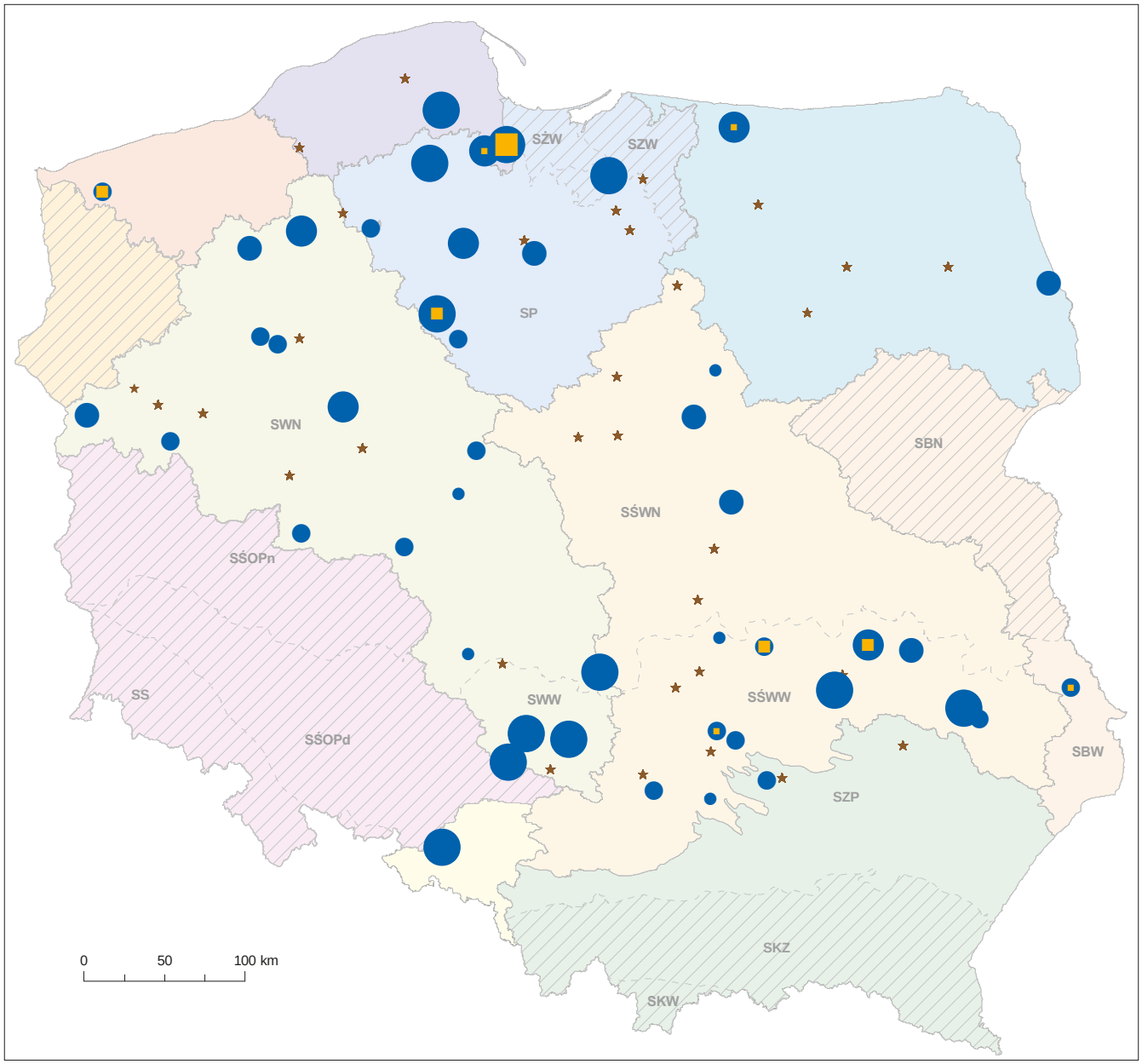


Ryc. 39. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1993 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1994

W 1994 r. zmniejszyła się liczba punktów, w których zaobserwowano niżówkę hydrogeologiczną, jednak zjawisko występowało w tych samych regionach co w roku poprzednim. W wielu przypadkach niskie stany wód utrzymywały się od roku 1993.

Głęboka niżówka zaznaczyła się tylko w kilku punktach na terenie kraju, głównie w regionie dolnej Wisły i subregionie wyżynnym środkowej Wisły. Czas trwania zjawiska był zróżnicowany – od kilku tygodni do ponad roku (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1994 lub kontynuowało się w roku następnym).

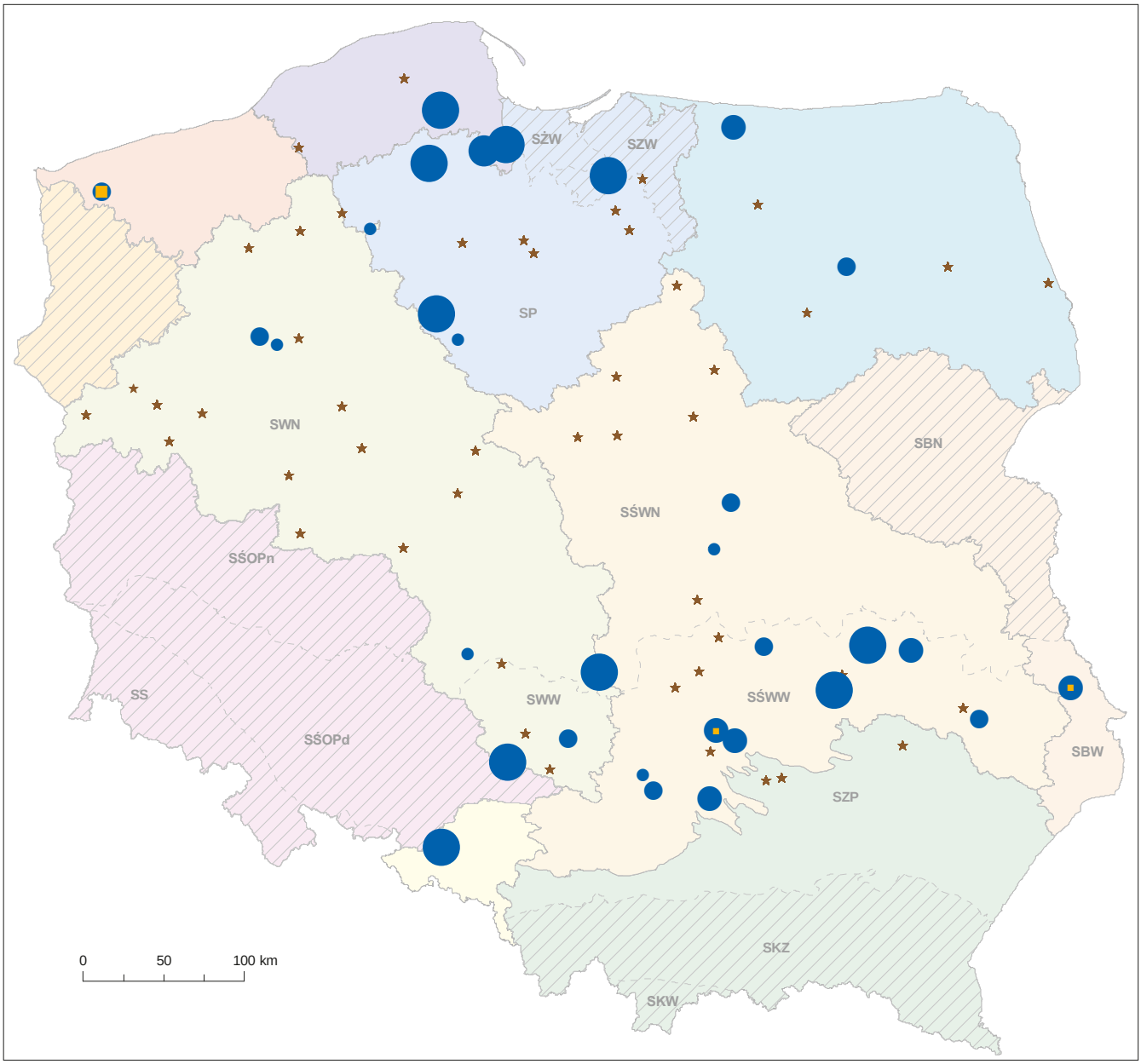


Ryc. 40. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1994 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1995

W 1995 r. zmniejszył się obszar występowania niżówki hydrogeologicznej. Niskie stany wód zaobserwowano głównie w północno-centralnej części kraju oraz w regionie górnej Odry, w subregionie wyżynnym Warty, w subregionie wyżynnym środkowej Wisły i w regionie Bugu. Czas trwania niżówki w znacznej liczbie przypadków wynosił ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1995 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głębokie niżówki odnotowano tylko w 3 punktach – w regionie zachodniopomorskim (1 punkt), w subregionie wyżynnym środkowej Wisły (1 punkt) i w subregionie wyżynnym Bugu (1 punkt). Ich czas trwania był krótki i nie przekraczał 6 miesięcy.

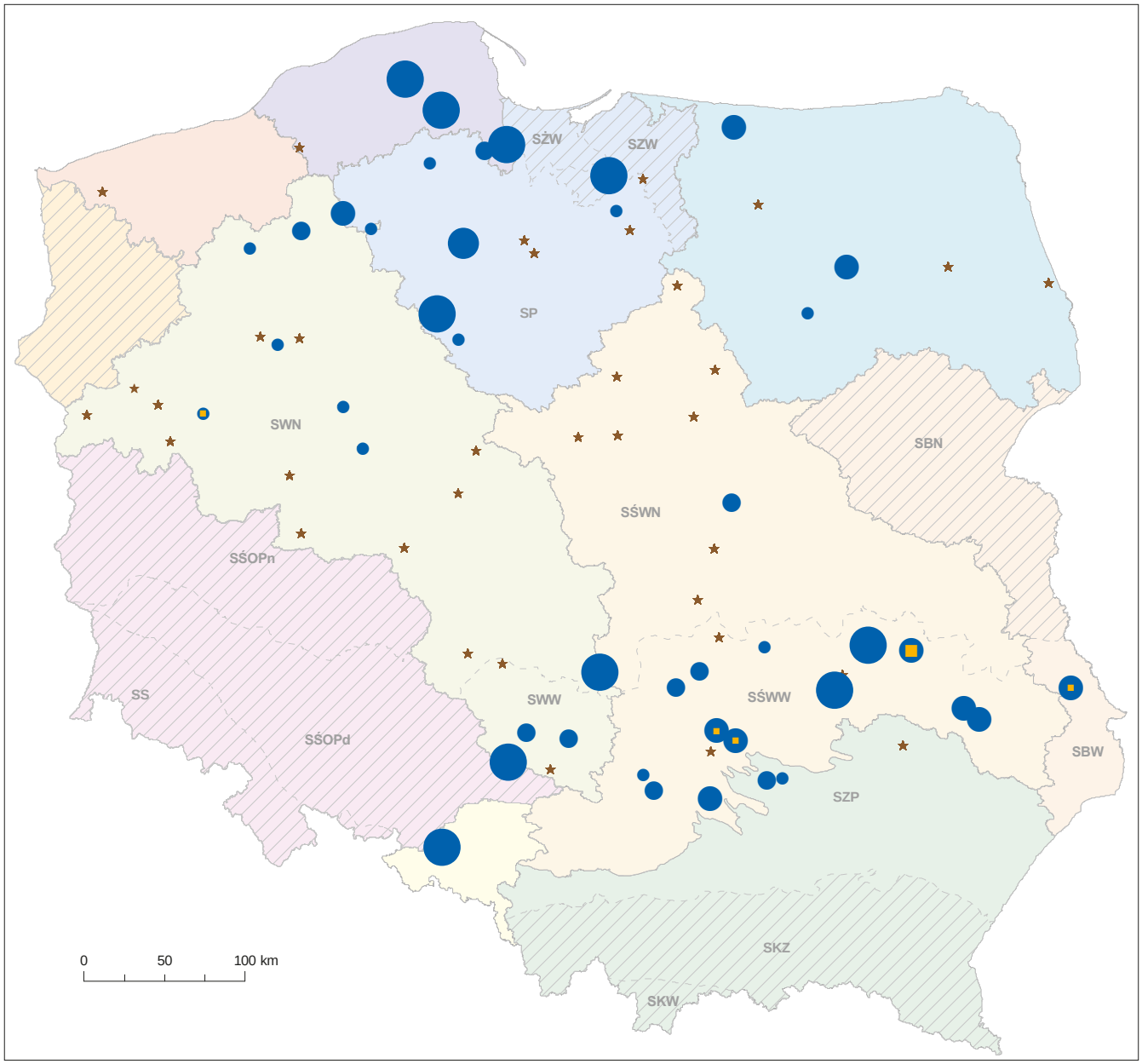


Ryc. 41. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1995 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1996

W 1996 r. obszar występowania niżówki hydrogeologicznej nie zmienił się znacząco w stosunku do roku poprzedniego. Zjawiska nie obserwowano już w regionie zachodniopomorskim, natomiast niskie stany wód dodatkowo odnotowano w regionie górnej Wisły. W pozostałych regionach nieznacznie zwiększyła się liczba punktów z niżówką, głównie w regionie Warty.

Głęboka niżówka była krótkotrwała i występowała jedynie w subregionie wyżynnym środkowej Wisły (3 punkty), w regionie Warty (1 punkt) i w regionie Bugu (1 punkt).

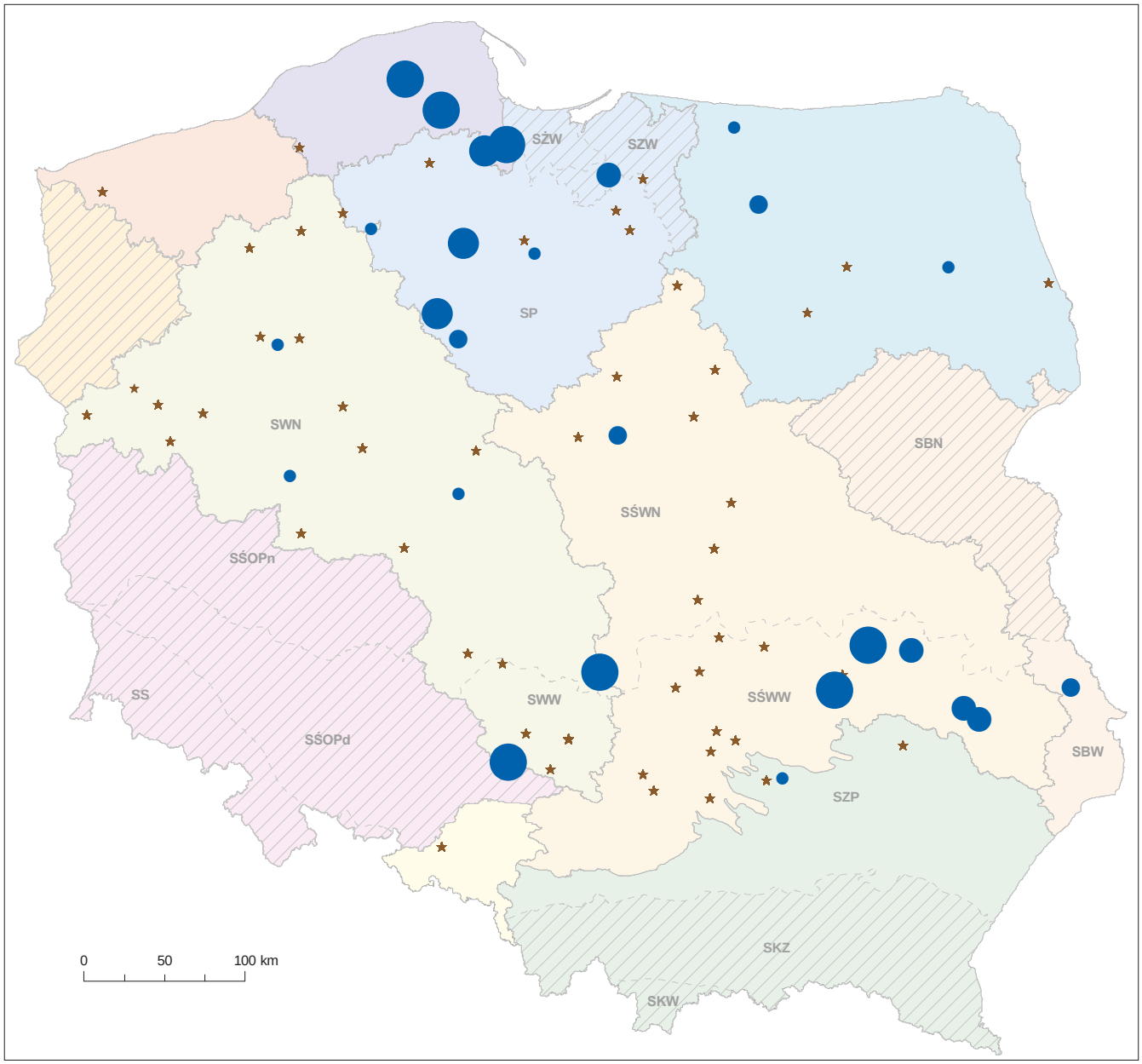


Ryc. 42. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1996 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1997

W 1997 r. obszar występowania niżówki hydrogeologicznej zmniejszył się w stosunku do roku poprzedniego. Zjawisko obserwowano głównie w północno-centralnej części kraju oraz we wschodniej części subregionu wyżynnego środkowej Wisły. Na pozostałym obszarze niskie stany wód odnotowano tylko w pojedynczych punktach.

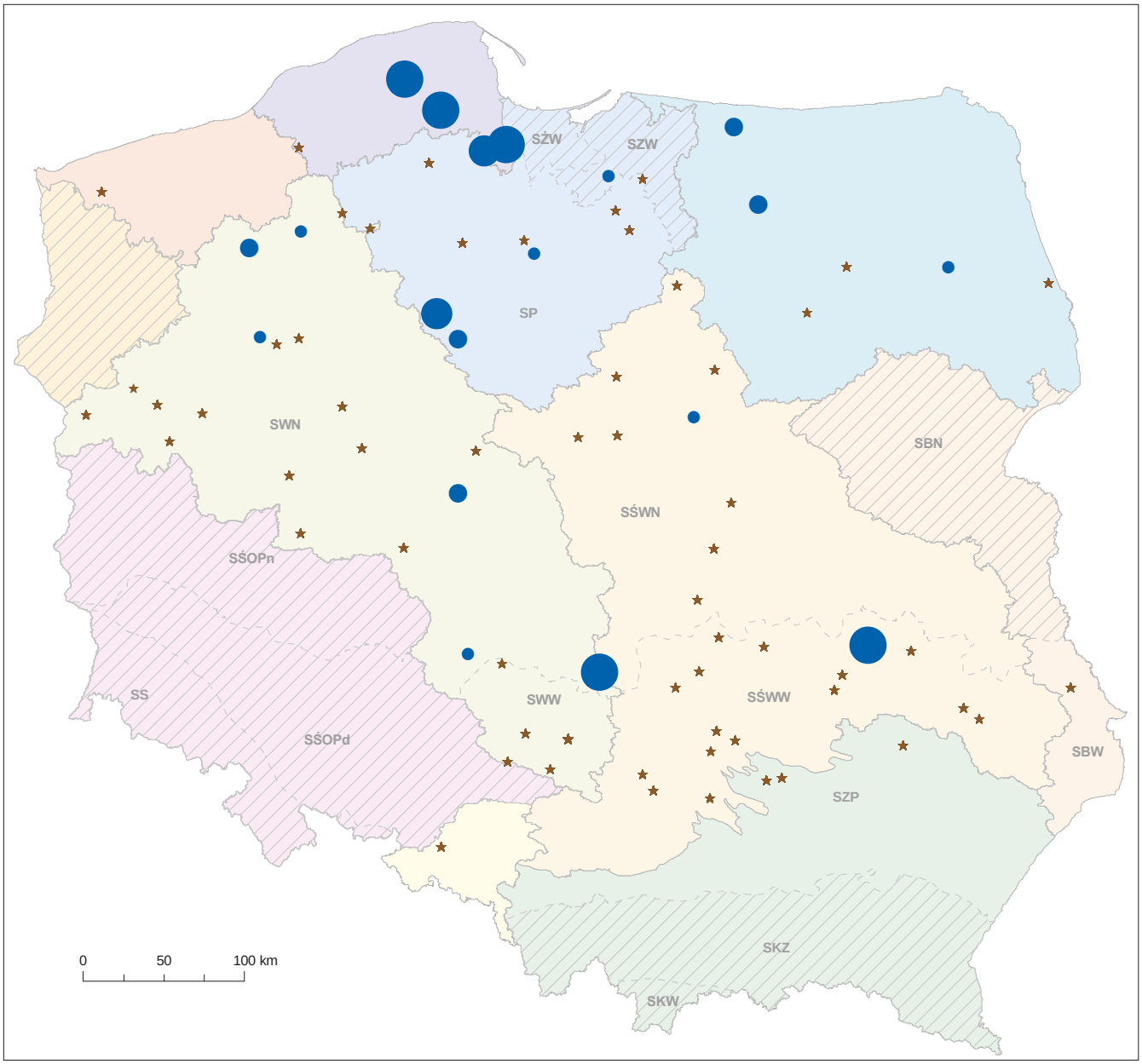
Głębokiej niżówki nie odnotowano w żadnym z obserwowanych punktów.



Ryc. 43. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1997 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1998

W 1998 r. niżówkę hydrogeologiczną obserwowano tylko lokalnie. Największe skupisko punktów, w których odnotowano niskie stany wód było zlokalizowane w regionie wschodniopomorskim i w subregionie Żuław Wiślanych. W większości punktów zjawisko trwało ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1998 lub kontynuowało się w roku następnym). Głębokiej niżówki nie odnotowano.

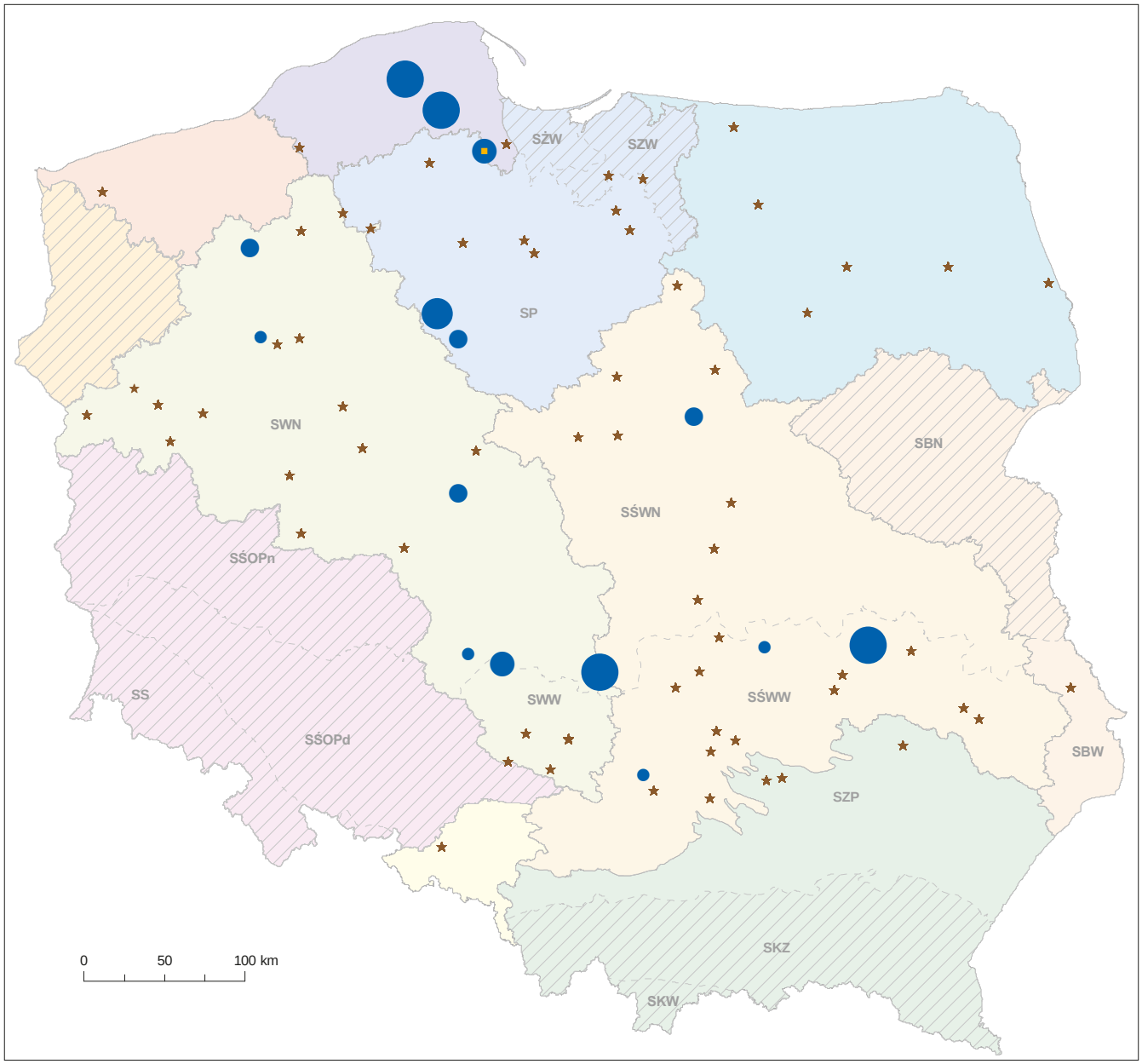


Ryc. 44. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1998 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1999

W 1999 r. niżówka hydrogeologiczna była obserwowana w regionie wschodniopomorskim oraz lokalnie w regionie Warty, w regionie dolnej Wisły i w regionie środkowej Wisły. Jej czas trwania był zróżnicowany – od kilku tygodni do ponad roku (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1999 lub kontynuowało się w roku następnym). Zjawisko ustąpiło w regionie Narwi, Pregoły i Niemna.

Głęboką niżówkę, trwającą krócej niż 3 miesiące, odnotowano tylko w jednym punkcie w północnej Polsce.

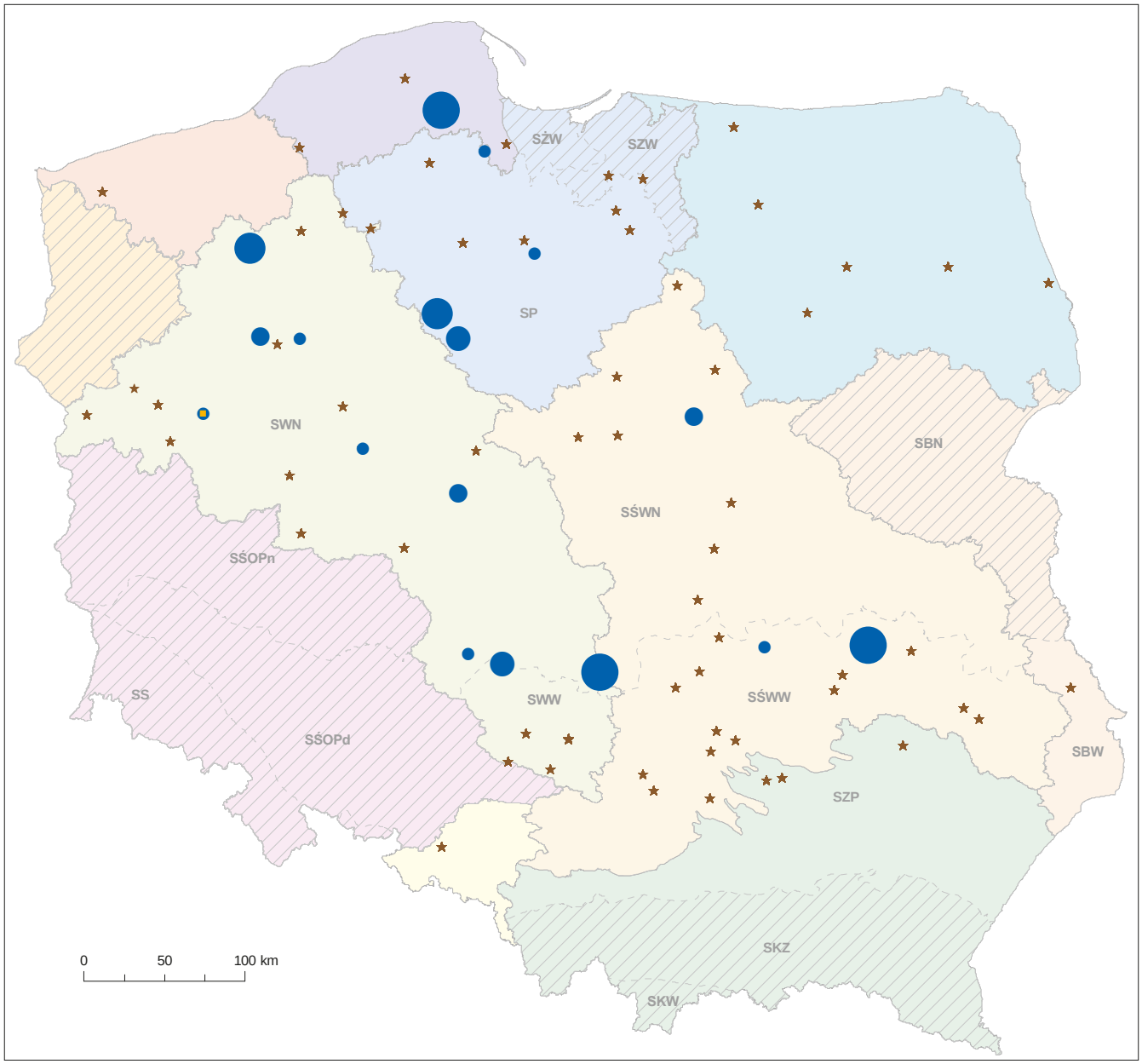


Ryc. 45. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1999 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2000

W 2000 roku zjawisko niżówki hydrogeologicznej było obserwowane lokalnie w regionie wschodniopomorskim, w regionie Warty, w regionie dolnej Wisły i w regionie środkowej Wisły.

Głęboką niżówkę odnotowano tylko w jednym punkcie w regionie Warty. Było to krótkotrwałe zdarzenie, które nie trwało dłużej niż 3 miesiące.

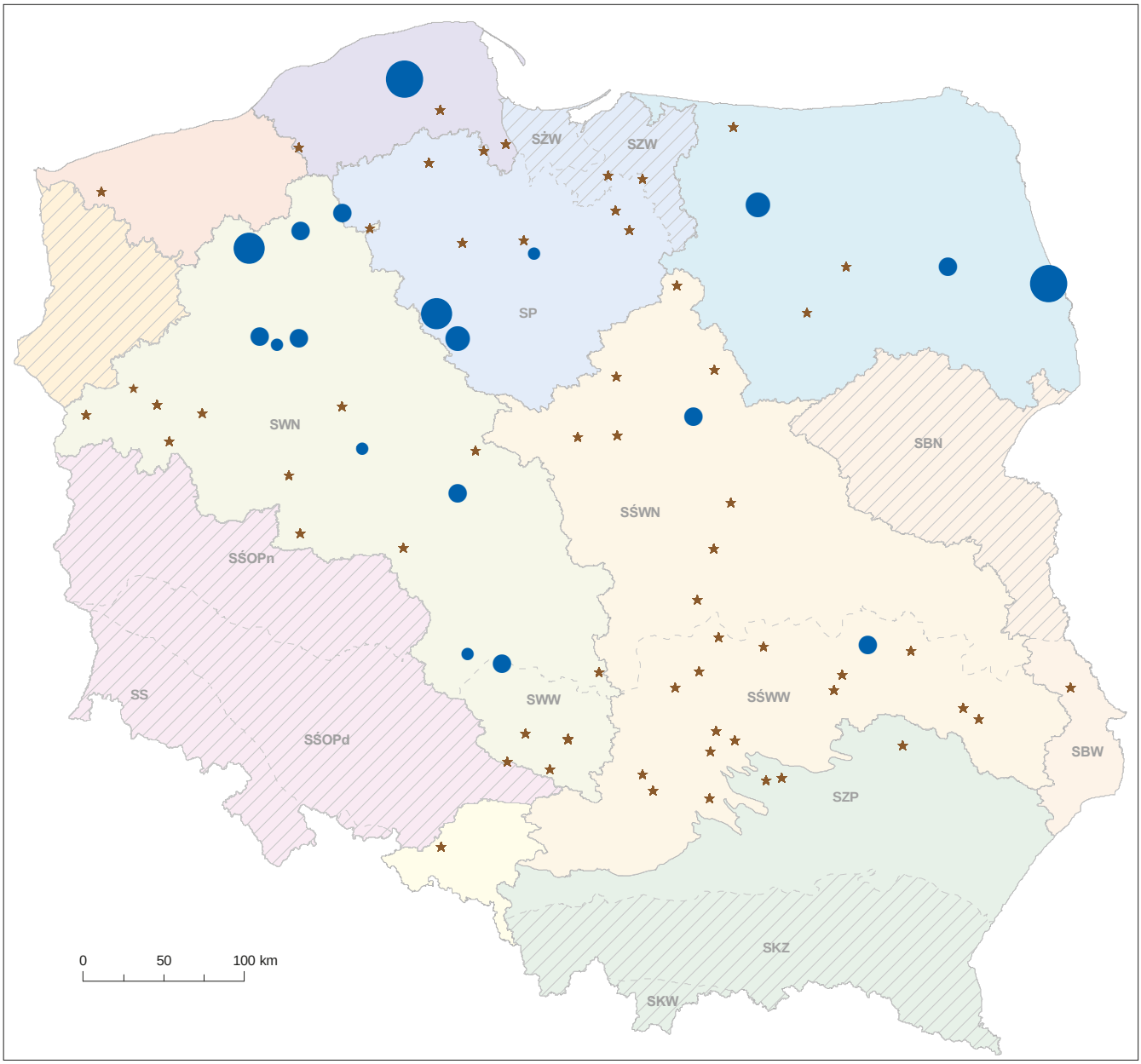


Ryc. 46. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2000 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2001

W 2001 r. zwiększył się obszar, w stosunku do roku poprzedniego, na którym obserwowano punkty z niżówką hydrogeologiczną. Zjawisko dodatkowo wystąpiło w regionie Narwi, Pregoły i Niemna.

Głębokiej niżówki nie odnotowano.

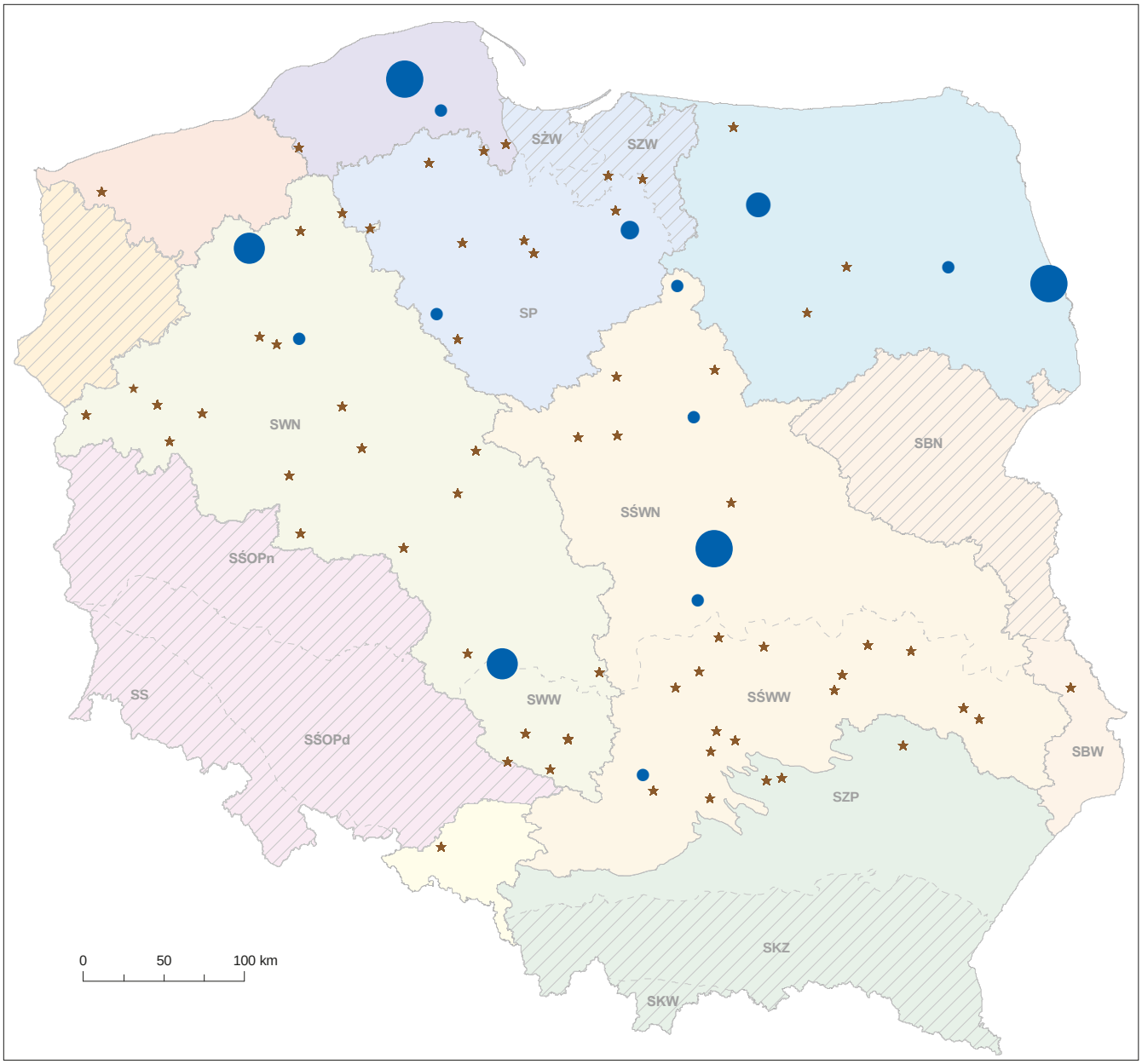


Ryc. 47. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2001 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2002

W 2002 r. niżówka hydrogeologiczna występowała tylko w kilku punktach na analizowanym obszarze. Jej czas trwania wynosił przeważnie ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2002 lub kontynuowało się w roku następnym).

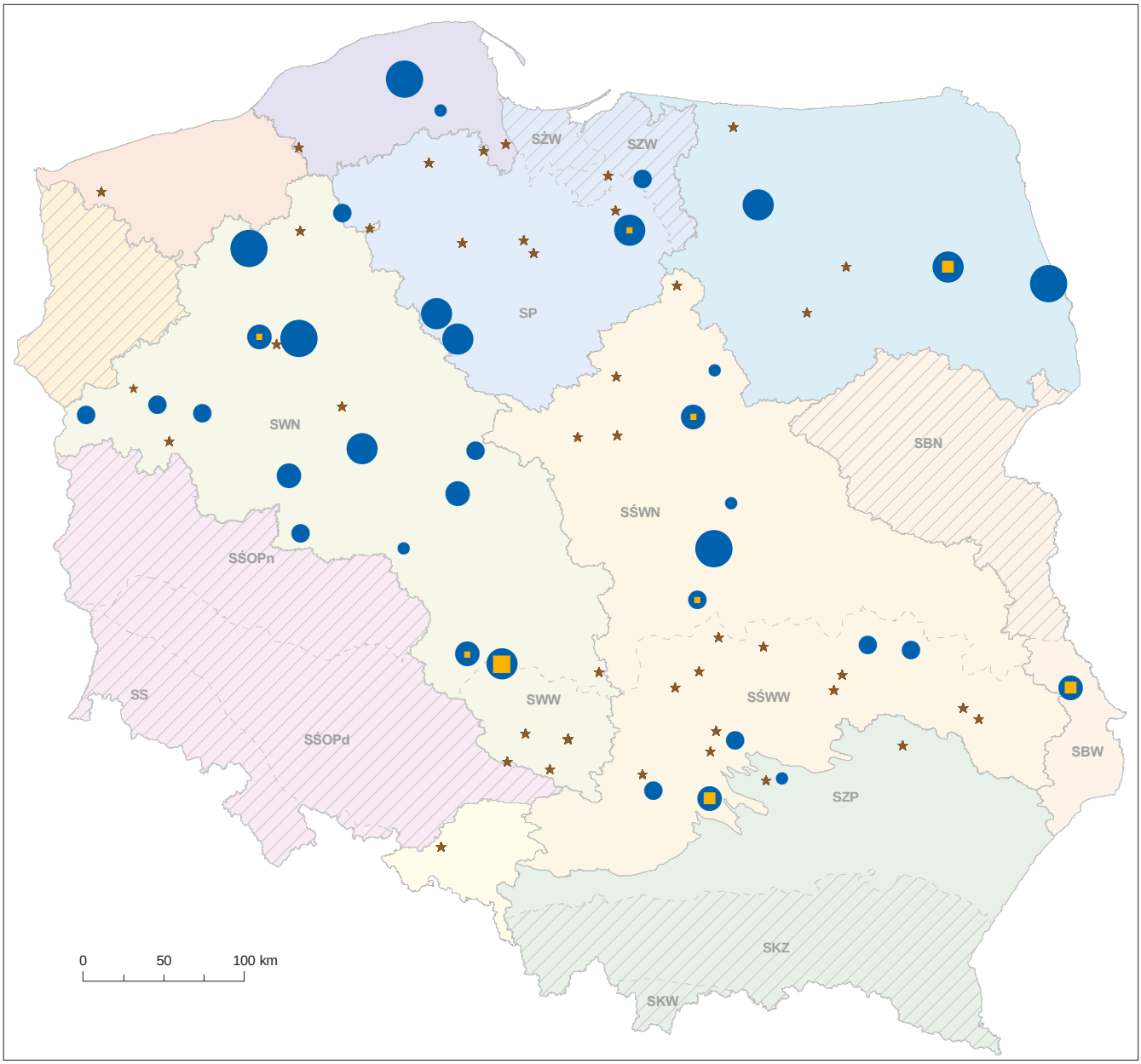
Głęboka niżówka, podobnie jak w roku poprzednim, nie została odnotowana.



Ryc. 48. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2002 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2003

W 2003 r. niżówka hydrogeologiczna zwiększyła swój zasięg i obserwowana była na znacznym obszarze kraju. Zjawisko występowało we wszystkich regionach, w których zlokalizowane były punkty ze zbioru A, z wyjątkiem regionu zachodniopomorskiego i regionu górnej Odry. Na znacznym obszarze kraju występowały niżówki trwające ponad 6 miesięcy. Głęboka niżówka występowała tylko w pojedynczych punktach, a jej czas trwania był zwykle krótszy niż 6 miesięcy.

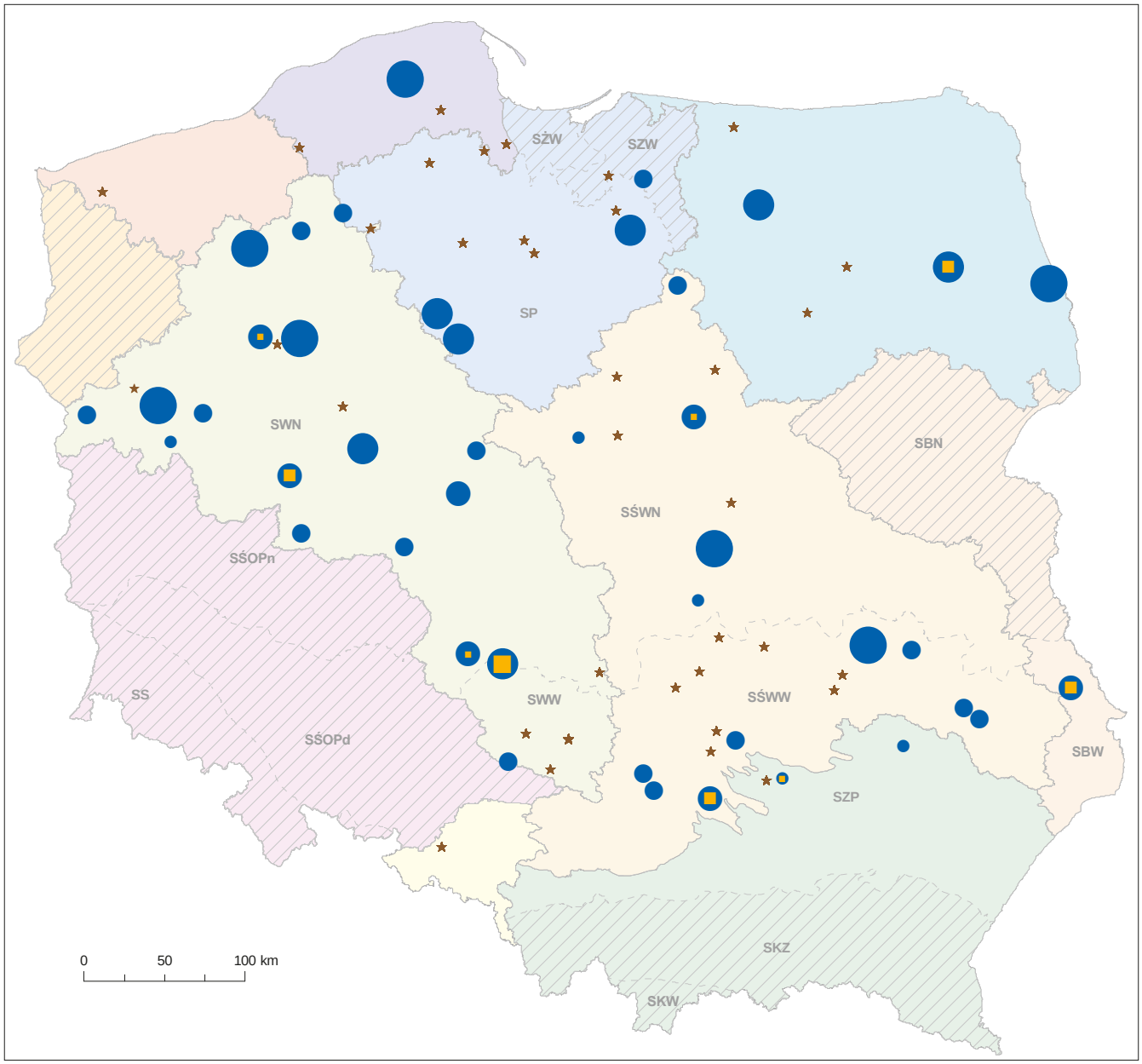


Ryc. 49. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2003 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2004

W 2004 r. obszar występowania niżówki hydrogeologicznej nie zmienił zasięgu w stosunku do roku poprzedniego. Dominowały punkty, w których zjawisko trwało ponad 6 miesięcy.

Głęboką niżówkę odnotowano w niewielkiej liczbie punktów w regionie Warty (4 punkty), w regionie Narwi, Pregoły i Niemna (1 punkt), w regionie środkowej Wisły (2 punkty), w regionie górnej Wisły (1 punkt) oraz w regionie Bugu (1 punkt).

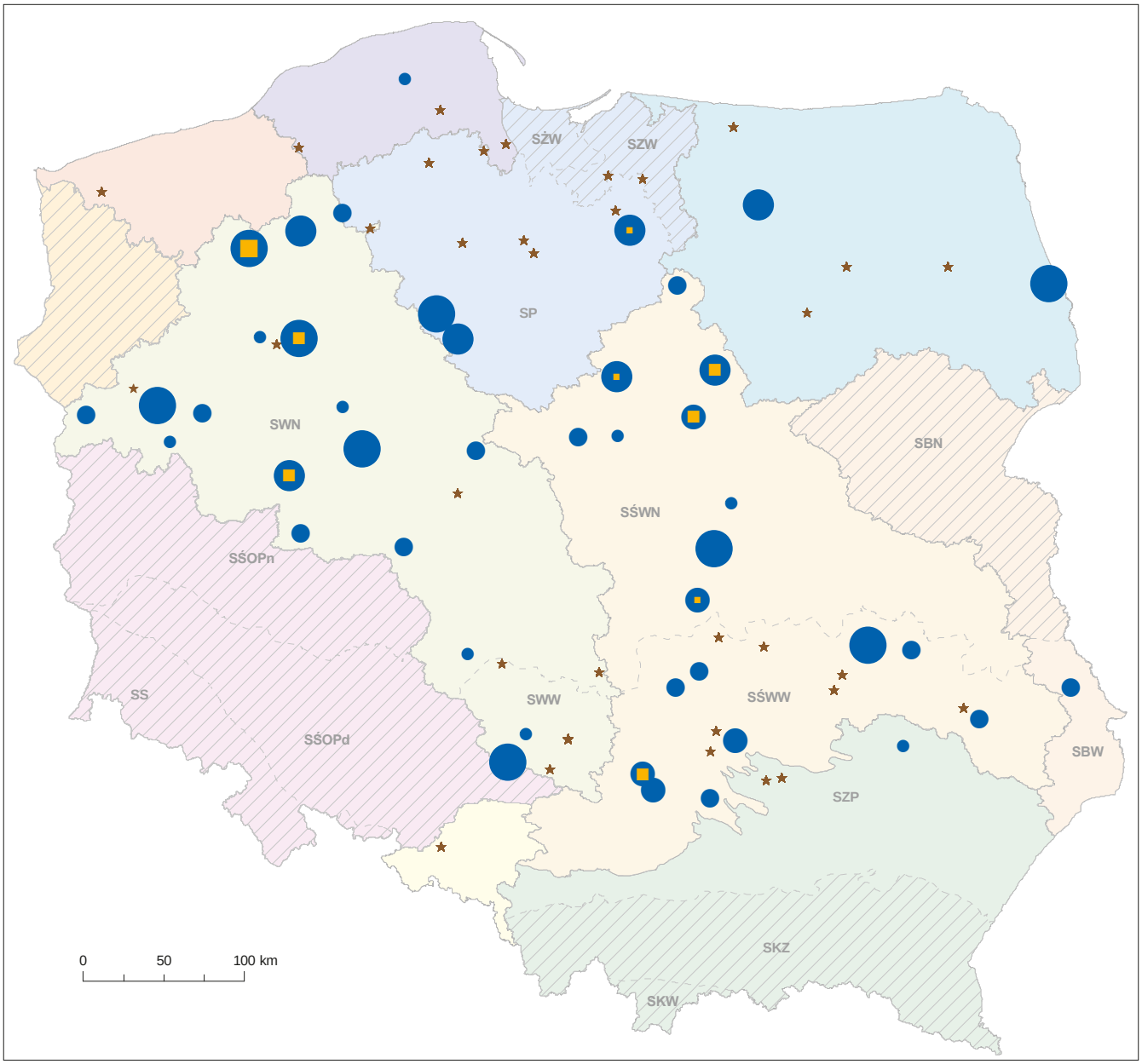


Ryc. 50. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2004 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2005

W 2005 r. niżówka hydrogeologiczna występowała na tym samym obszarze co w roku poprzednim. Czas trwania zjawiska był zróżnicowany – od kilku tygodni do ponad roku (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2005 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głęboka niżówka występowała w regionie Warty i w regionie środkowej Wisły oraz w jednym punkcie w regionie dolnej Wisły.

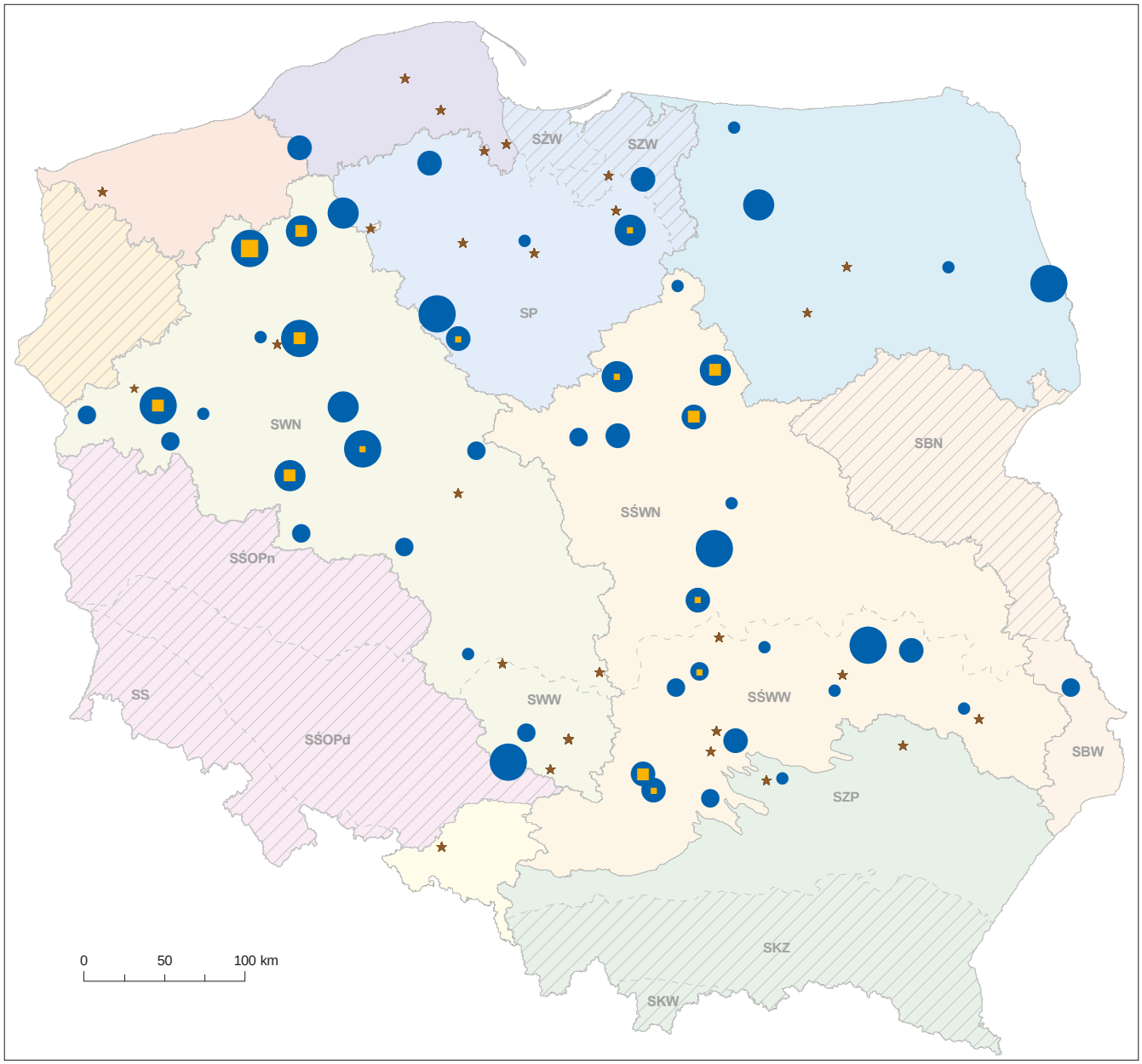


Ryc. 51. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2005 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2006

W 2006 r. zjawisko niżówki hydrogeologicznej kontynuowało się na tym samym obszarze co w roku poprzednim. Zwiększyła się jednak, głównie w północnej części regionu Warty, liczba punktów, w których zjawisko trwało ponad 6 miesięcy.

Głęboka niżówka była obserwowana głównie w północnej części regionu Warty i w regionie środkowej Wisły.

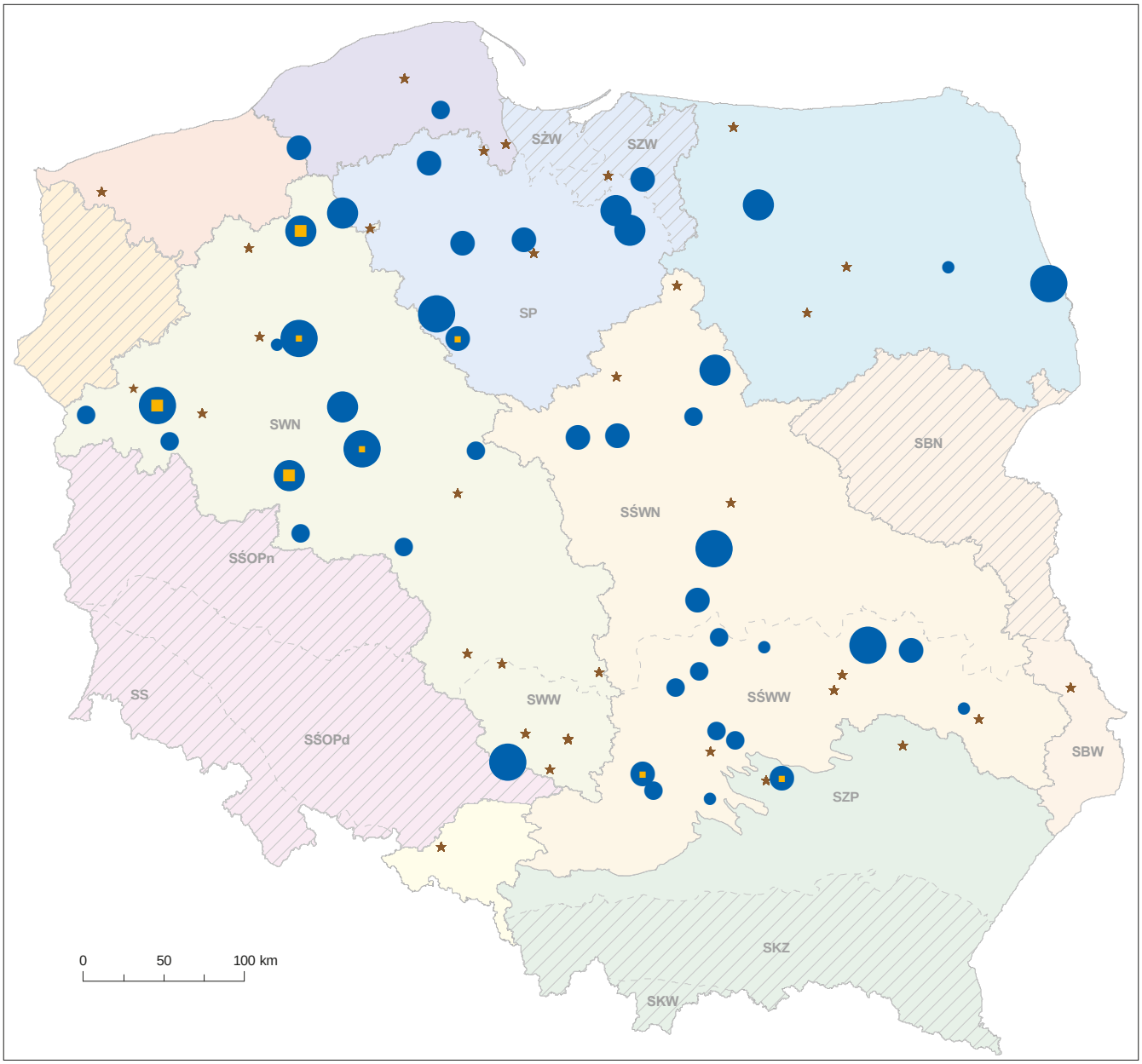


Ryc. 52. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2006 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2007

W 2007 r. niżówka hydrogeologiczna nie zmieniła znacząco swojego zasięgu w stosunku do roku poprzedniego. Niskie stany wód, utrzymujące się ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2007 lub kontynuowało się w roku następnym), występowały głównie w północnej części regionu Warty i w regionie dolnej Wisły.

Głęboka niżówka została zaobserwowana głównie w północnej części regionu Warty.

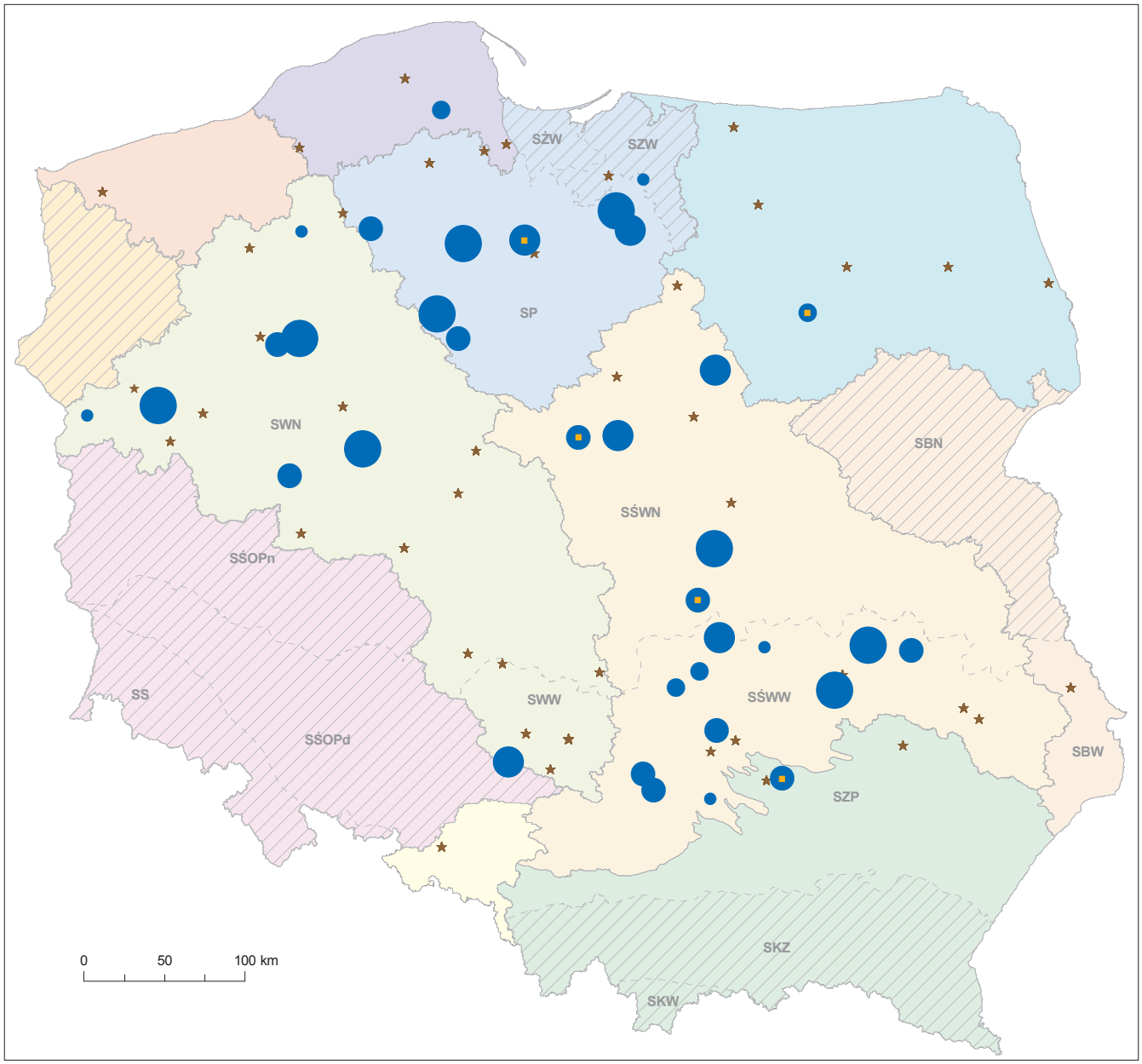


Ryc. 53. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2007 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – 97)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2008

W 2008 r. niżówka hydrogeologiczna nadal utrzymywała się w regionie dolnej Wisły, w regionie środkowej Wisły i w regionie Warty, a sporadycznie także w regionie wschodniopomorskim, w regionie Narwi, Pregoły i Niemna oraz w północnej część regionu górnej Wisły. Niżówka nie występowała w regionie zachodniopomorskim, w regionie Bugu i w regionie górnej Odry.

Głęboka niżówka pojawiła się tylko w kilku punktach, a jej czas trwania nie przekroczył 3 miesięcy.

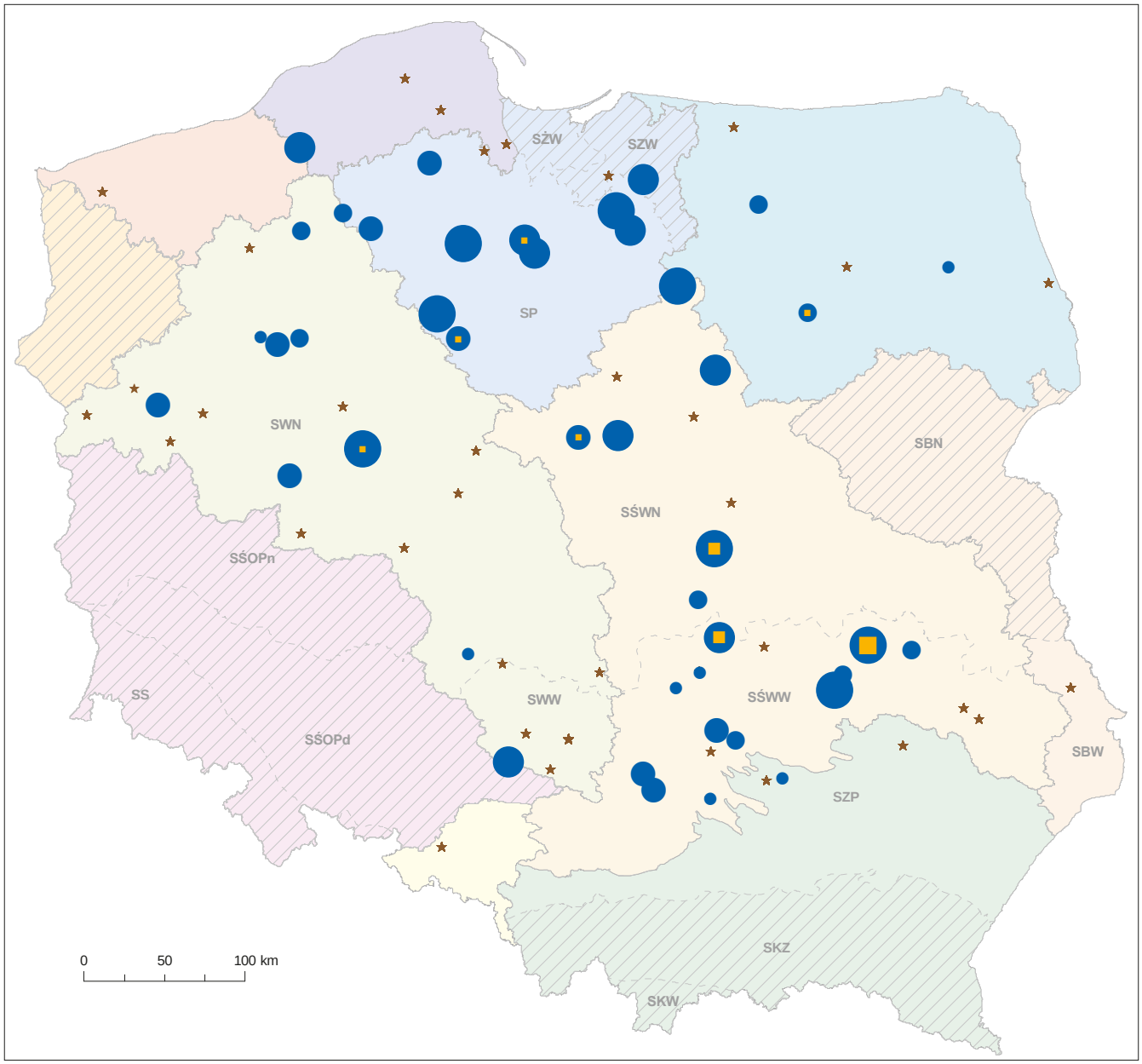


Ryc. 54. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2008 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2009

W 2009 r. niżówką hydrogeologiczną był objęty, podobnie jak w roku poprzednim, głównie region dolnej Wisły, region środkowej Wisły oraz północna część regionu Warty. W większości przypadków zjawisko trwało ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2009 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głęboka niżówka była obserwowana tylko w kilku punktach. W regionie środkowej Wisły zjawisko trwało ponad 6 miesięcy.

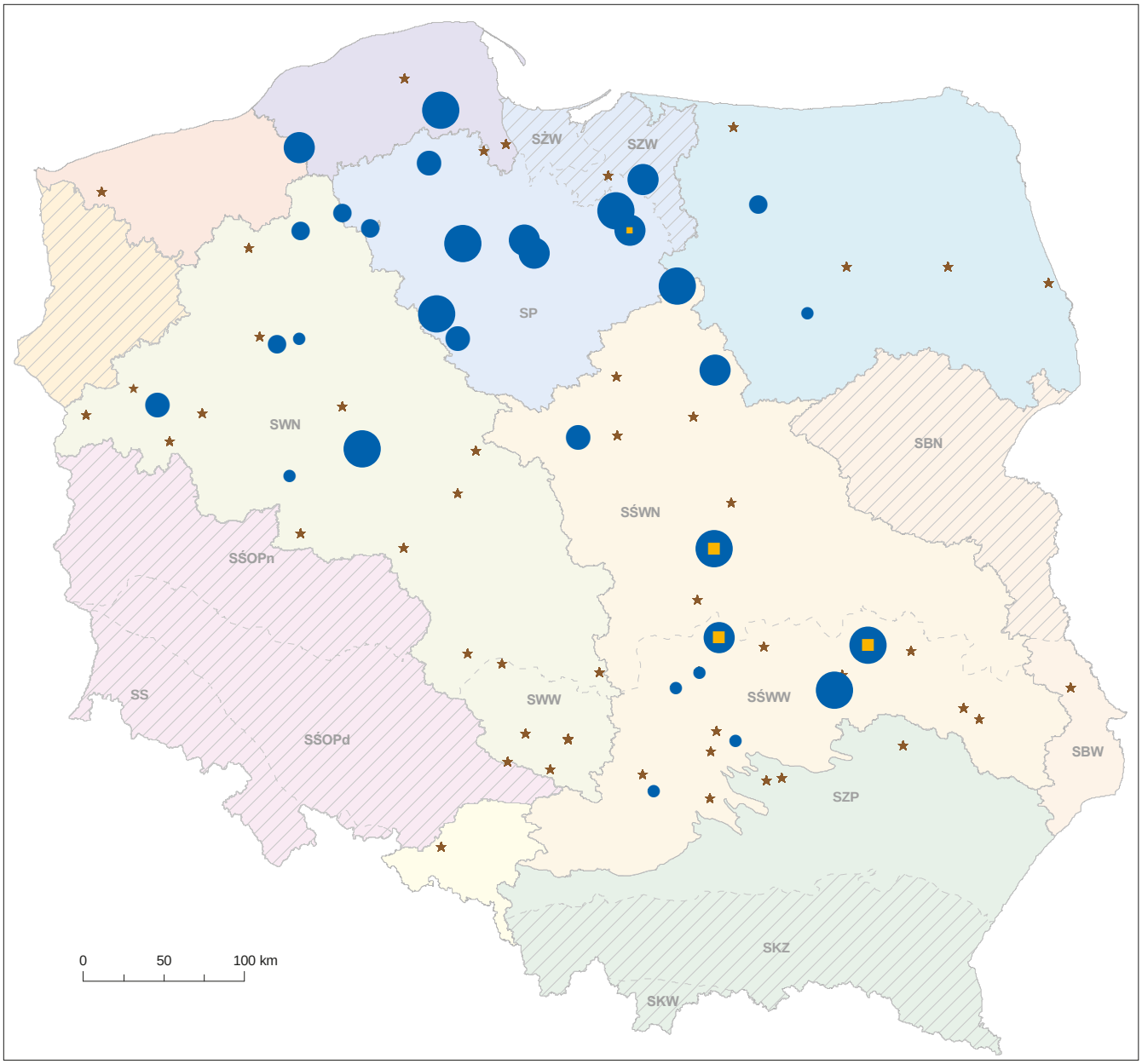


Ryc. 55. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2009 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2010

W 2010 r. zmniejszyła się, w stosunku do roku poprzedniego, liczba punktów z niżówką hydrogeologiczną w regionie Warty i w regionie środkowej Wisły. Zjawisko było obserwowane głównie w północno-centralnej części Polski.

Głęboka niżówka występowała w pojedynczych punktach – w regionie środkowej Wisły (3 punkty) i w regionie dolnej Wisły (1 punkt).

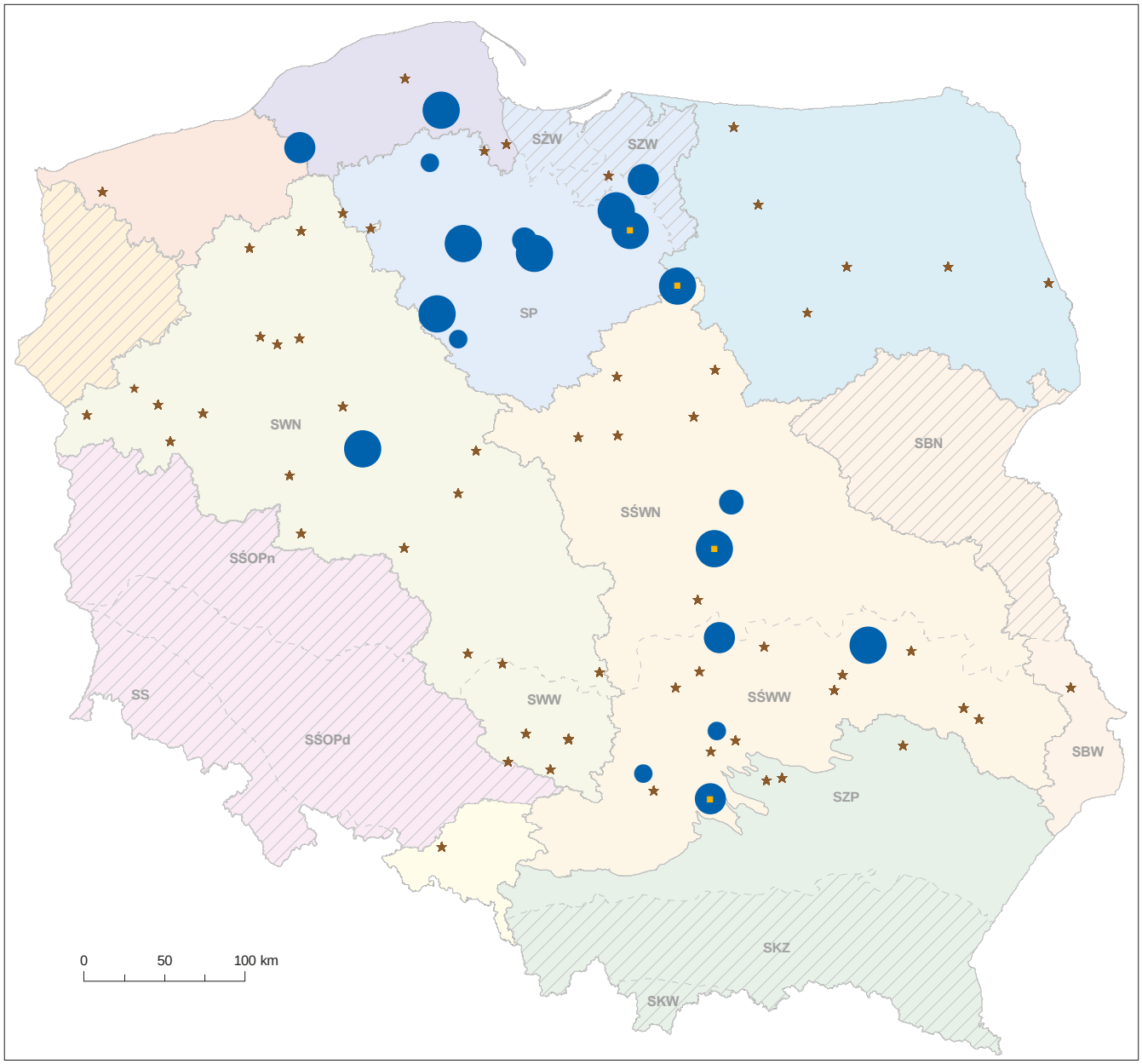


Ryc. 56. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2010 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2011

W 2011 r. zmniejszył się zasięg występowania niżówki hydrogeologicznej. Zjawisko było obserwowane w regionie wschodniopomorskim, w regionie dolnej Wisły i w regionie środkowej Wisły oraz w jednym punkcie w regionie Warty. W wymienionych regionach w wielu przypadkach niskie stany wód utrzymywały się ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2011 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głęboka niżówka była krótkotrwała i wystąpiła tylko w regionie dolnej Wisły (1 punkt) i w regionie środkowej Wisły (3 punkty).

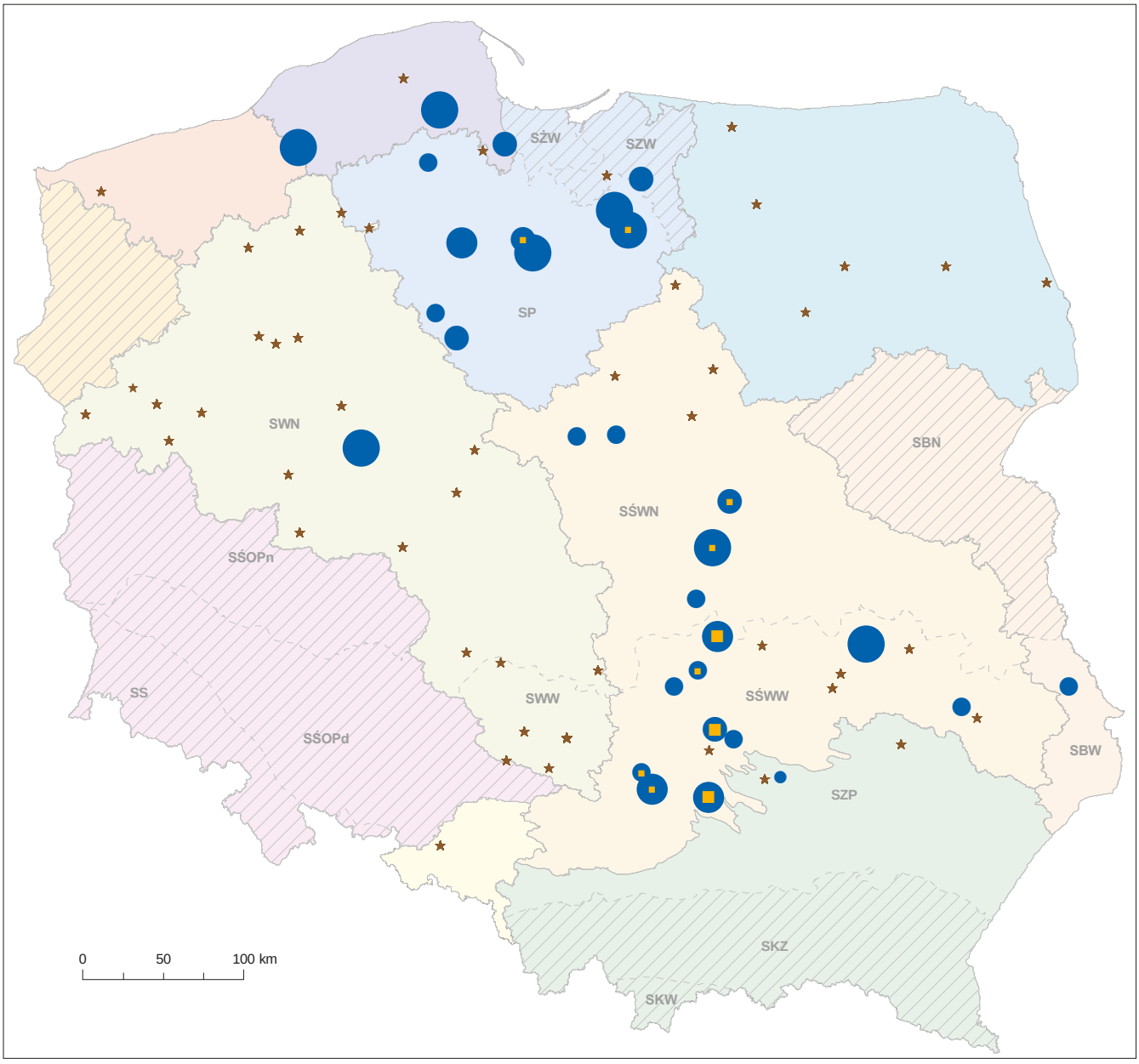


Ryc. 57. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2011 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2012

W 2012 r. obszar występowania niżówki hydrogeologicznej nieznacznie się powiększył. Zjawisko było obserwowane, podobnie jak w roku poprzednim, w regionie wschodniopomorskim, w regionie dolnej Wisły, w regionie środkowej Wisły i w jednym punkcie w regionie Warty. Niskie stany wód odnotowano również w subregionie wyżynnym Bugu i w północnej części subregionu zapadliska przedkarpackiego.

Głęboka niżówka była obserwowana w regionie środkowej Wisły oraz w dwóch punktach w regionie dolnej Wisły.

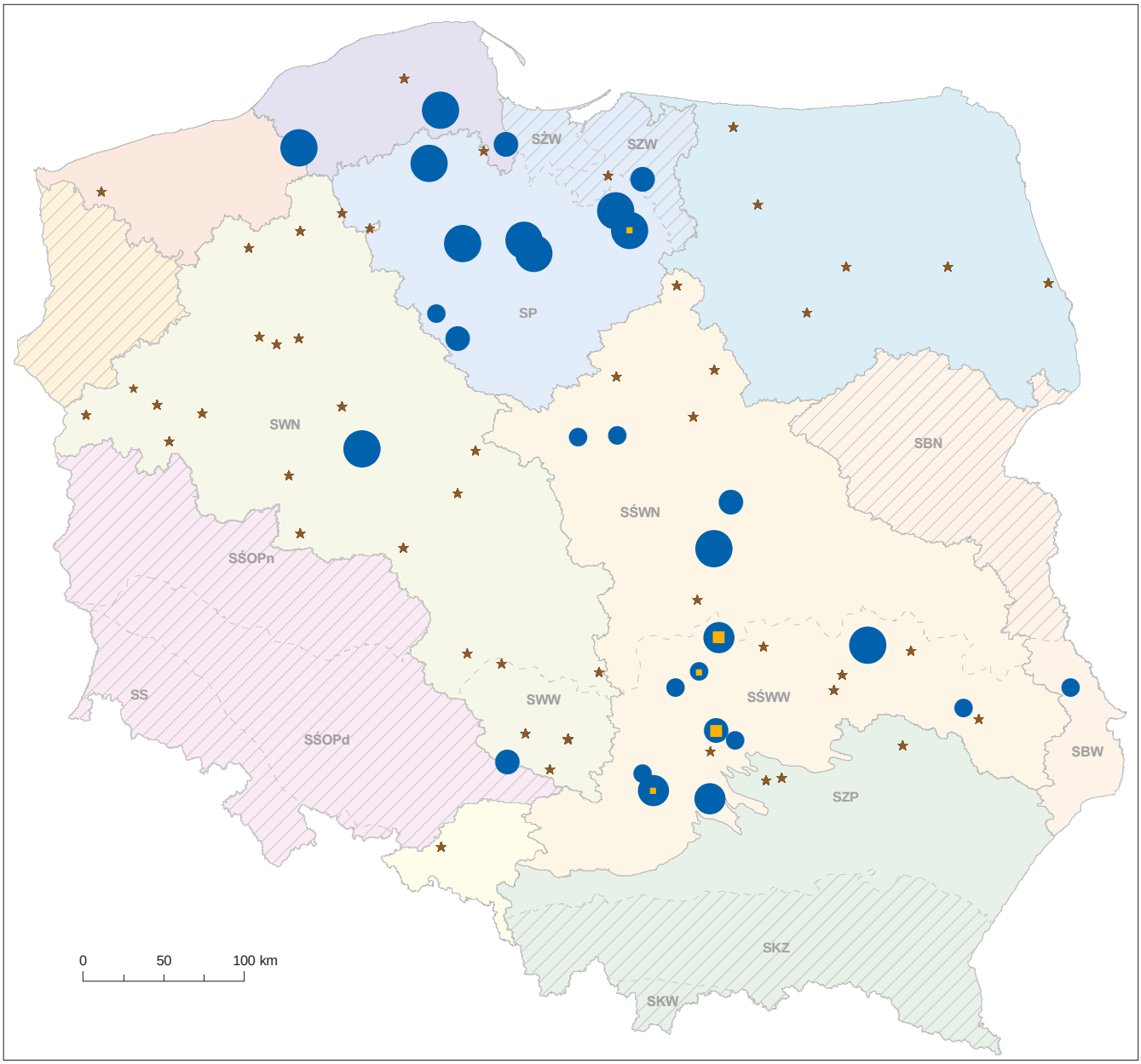


Ryc. 58. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2012 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2013

W 2013 r. obszar występowania niżówki hydrogeologicznej nie uległ większej zmianie w stosunku do roku poprzedniego. Czas trwania zjawiska, głównie na północy kraju, wynosił ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2013 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głęboką niżówkę zaobserwowano w subregionie wyżynnym środkowej Wisły oraz w jednym punkcie w regionie dolnej Wisły.

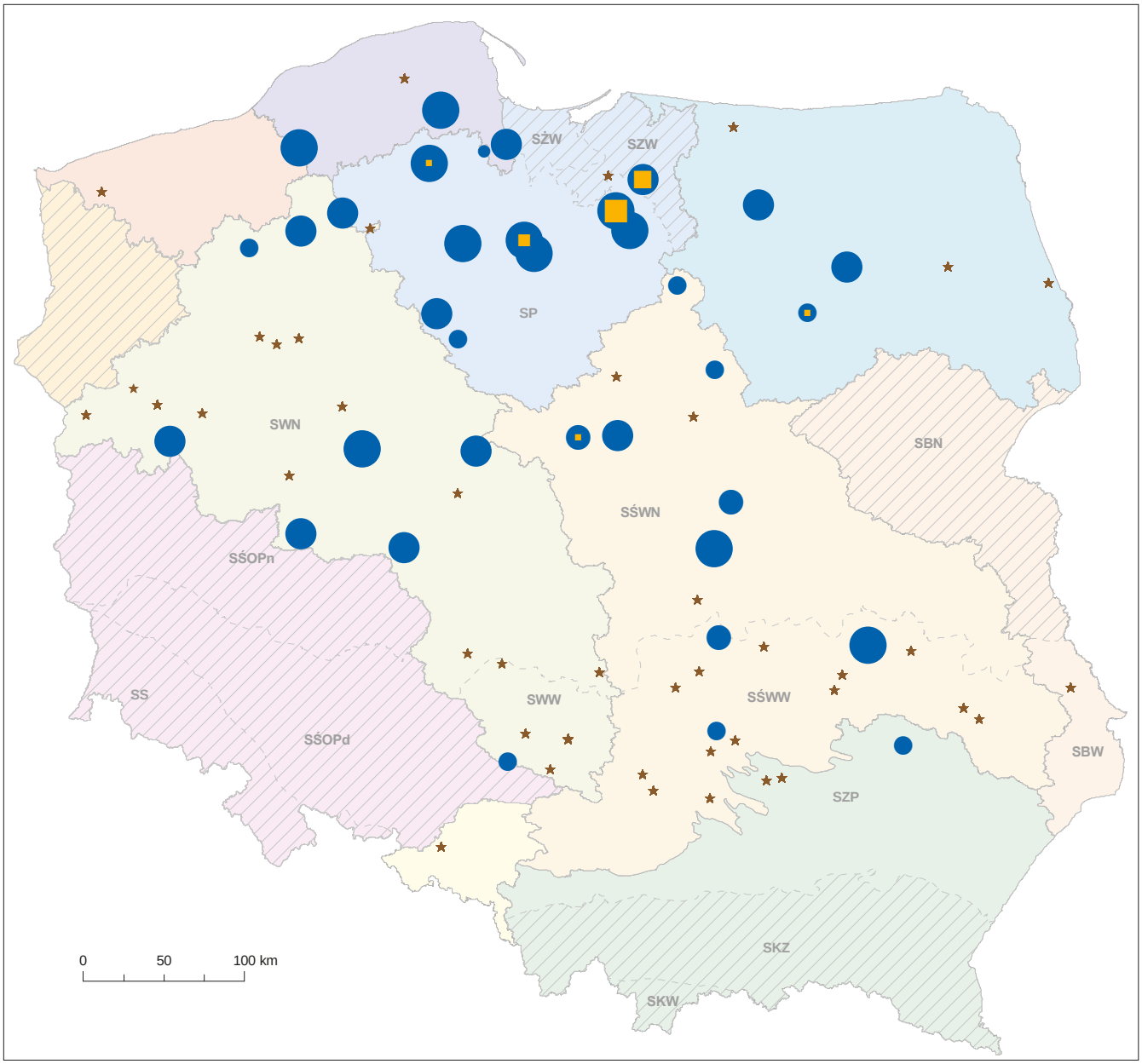


Ryc. 59. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2013 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2014

W 2014 r. niżówka hydrogeologiczna zwiększyła swój zasięg w stosunku do roku poprzedniego. Obserwowana była w regionie wschodniopomorskim, w regionie Narwi, Pregoły i Niemna, w regionie dolnej Wisły, w regionie środkowej Wisły, w regionie górnej Wisły oraz w regionie Warty. Czas jej trwania w znacznej liczbie punktów wynosił ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2014 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głęboka niżówka występowała głównie w regionie dolnej Wisły, a jej czas trwania był zróżnicowany – od kilku tygodni do ponad roku.

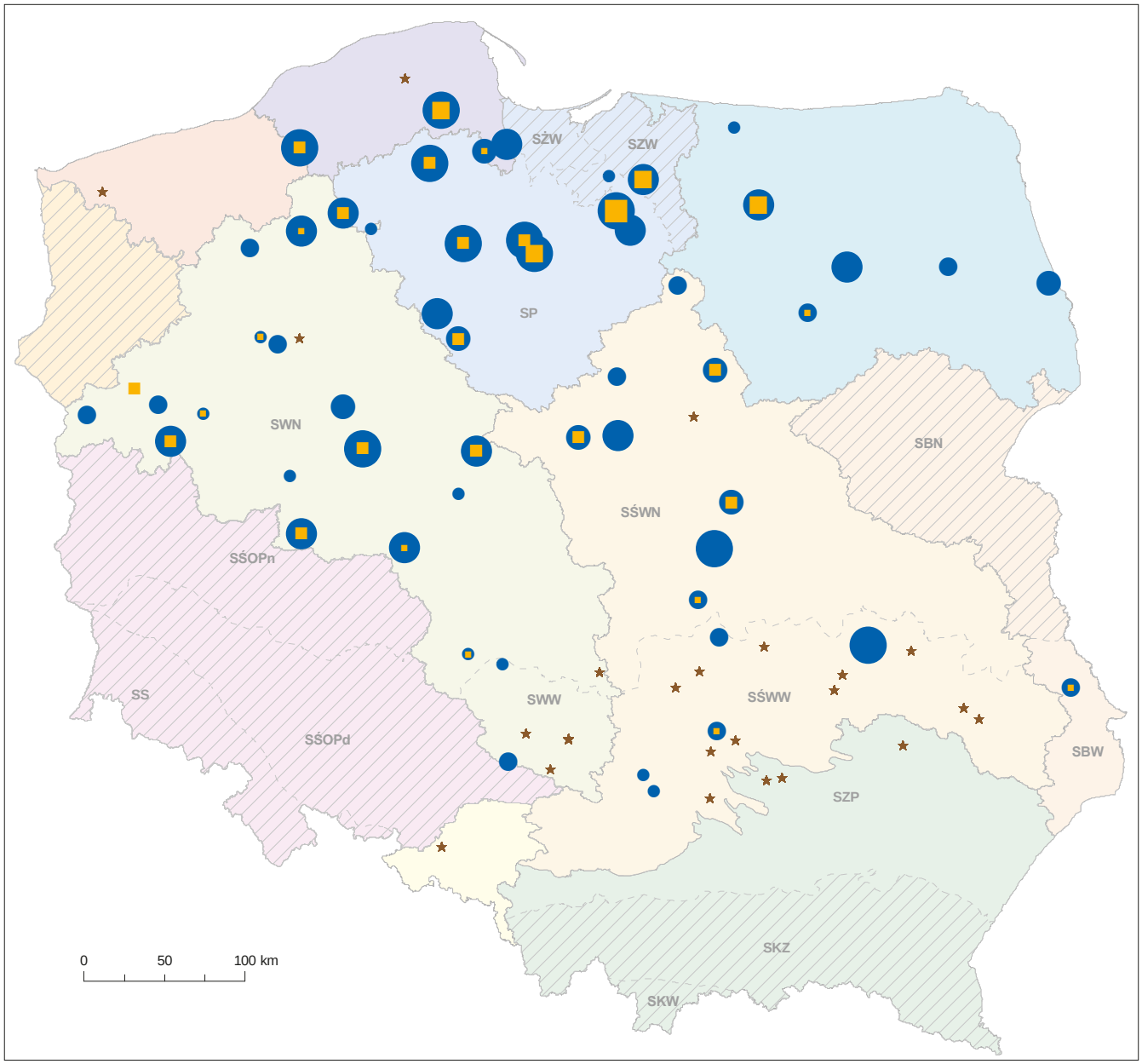


Ryc. 60. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2014 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2015

W 2015 r. obszar występowania niżówki hydrogeologicznej zwiększył swój zasięg, w stosunku do roku poprzedniego, o subregion wyżynny Bugu, natomiast w regionie górnej Wisły zjawisko nie było już obserwowane.W większości punktów niskie stany wód pierwszego systemu wodonośnego utrzymywały się ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2015).

Znacznie zwiększył się również obszar występowania głębokiej niżówki. Zjawisko obserwowano głównie w północnej i centralnej Polsce.

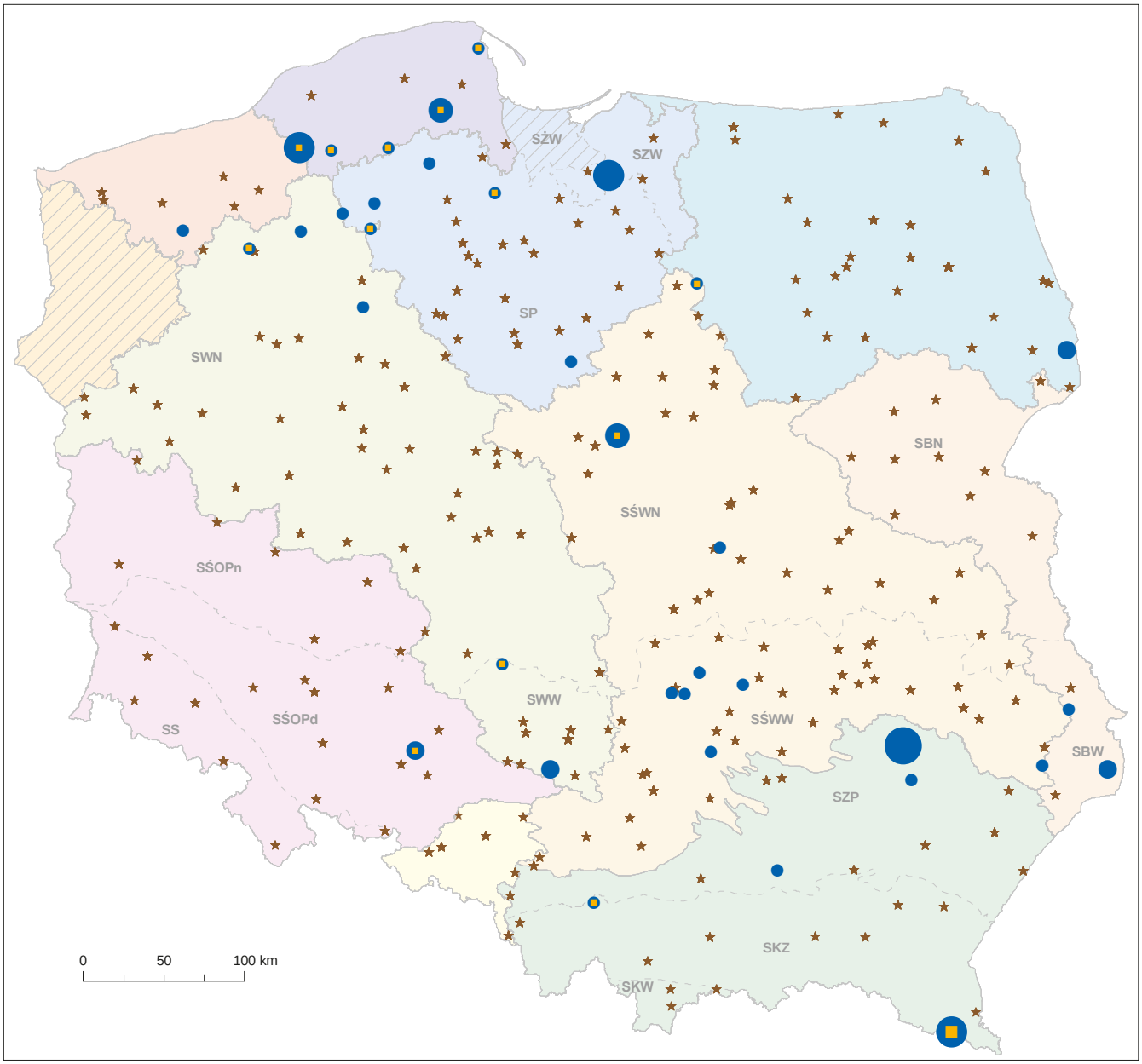


Ryc. 61. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2015 r. w punktach objętych analizą – zbiór A (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1981

W 1981 r. zjawisko niżówki hydrogeologicznej występowało jedynie lokalnie w północno-centralnej części kraju oraz w centrum i na południowym-wschodzie. W większości były to zdarzenia względnie szybko przemijające, które nie przekraczały 3 miesięcy. Sporadycznie obserwowano zjawiska trwające dłużej. Wolne od niżówki były znaczne obszary w południowo-zachodniej i północno-wschodniej części kraju.

Głęboką niżówkę odnotowano głównie w regionie wschodniopomorskim oraz w pojedynczych punktach w regionie dolnej Wisły, w regionie Warty, w regionie środkowej Odry oraz w regionie górnej Wisły.

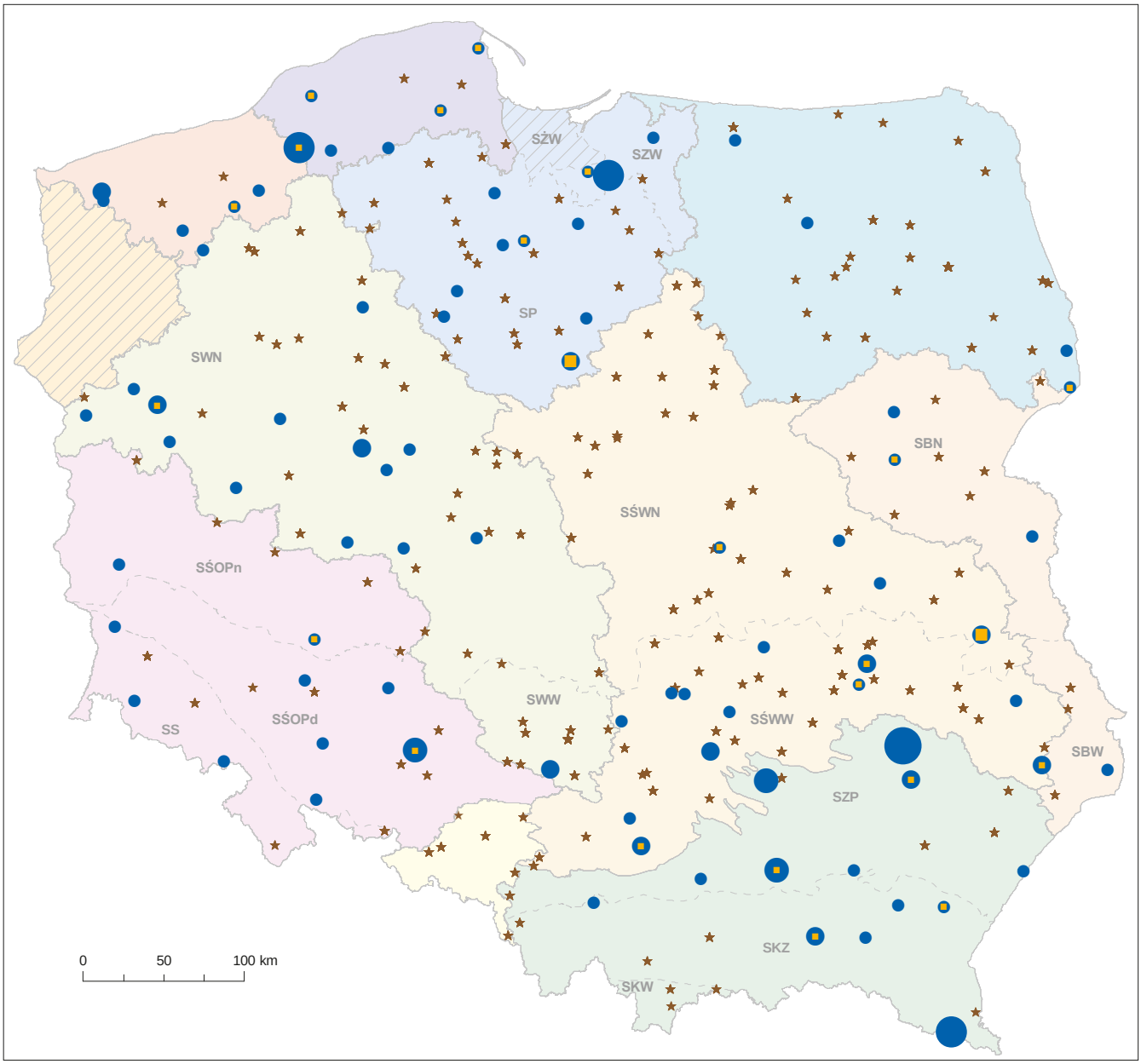


Ryc. 62. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1981 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1982

W 1982 r. niżówki hydrogeologiczne występowały lokalnie na obszarze kraju. Czas trwania większości z nich nie przekraczał 3 miesięcy.

W wielu punktach zaobserwowano głębokie niżówki, które, poza pojedynczymi przypadkami, nie trwały dłużej niż 3 miesiące.

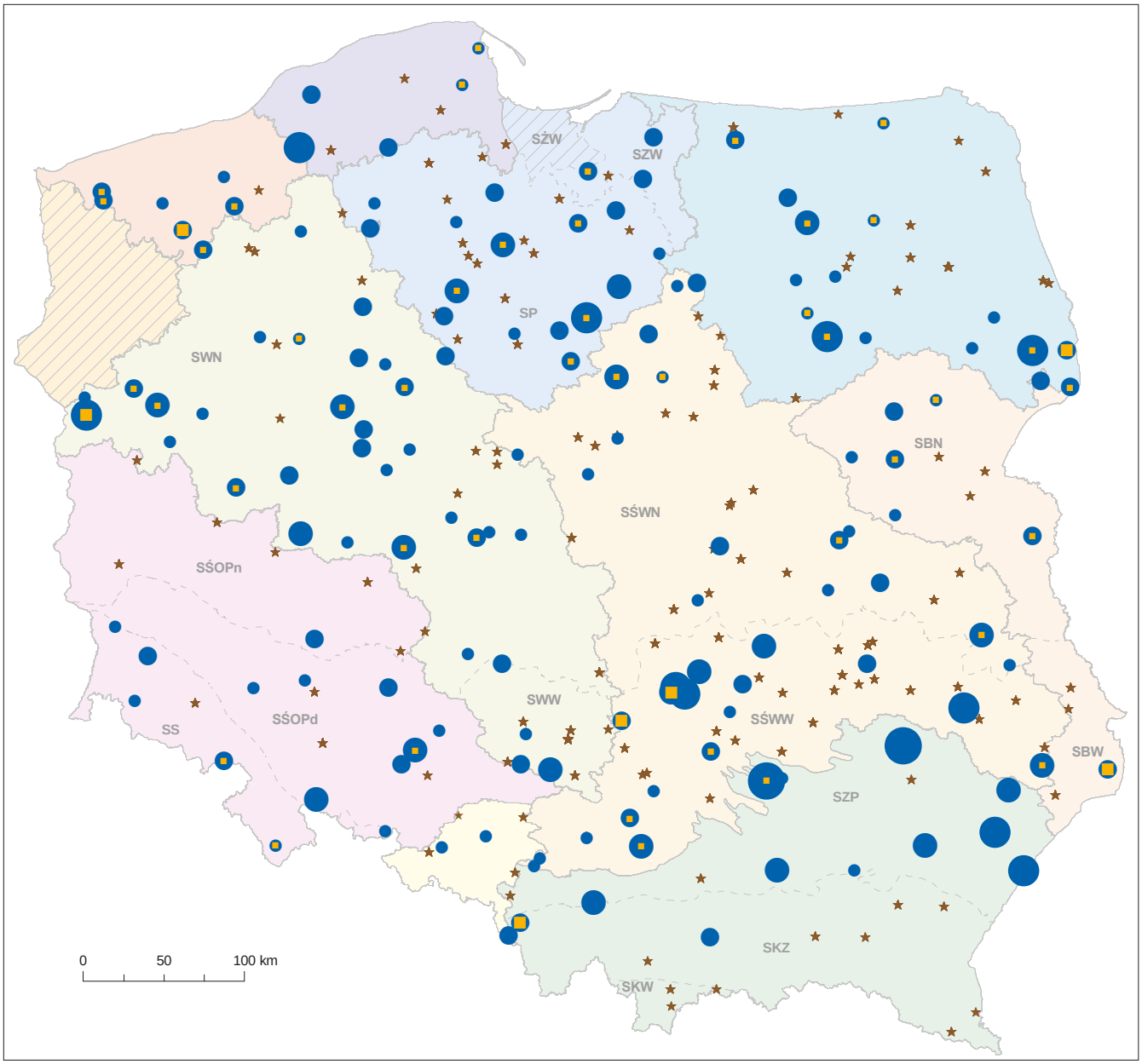


Ryc. 63. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1982 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1983

W 1983 r. zjawisko niżówki hydrogeologicznej zwiększyło swój zasięg. W większości punktów obserwowano niżówki, które nie trwały dłużej niż 6 miesięcy. Długotrwałe niskie stany wód odnotowano tylko lokalnie.

Głębokie niżówki obserwowano dość często na terenie kraju, a czas ich trwania w większości punktów nie przekraczał 3 miesięcy.

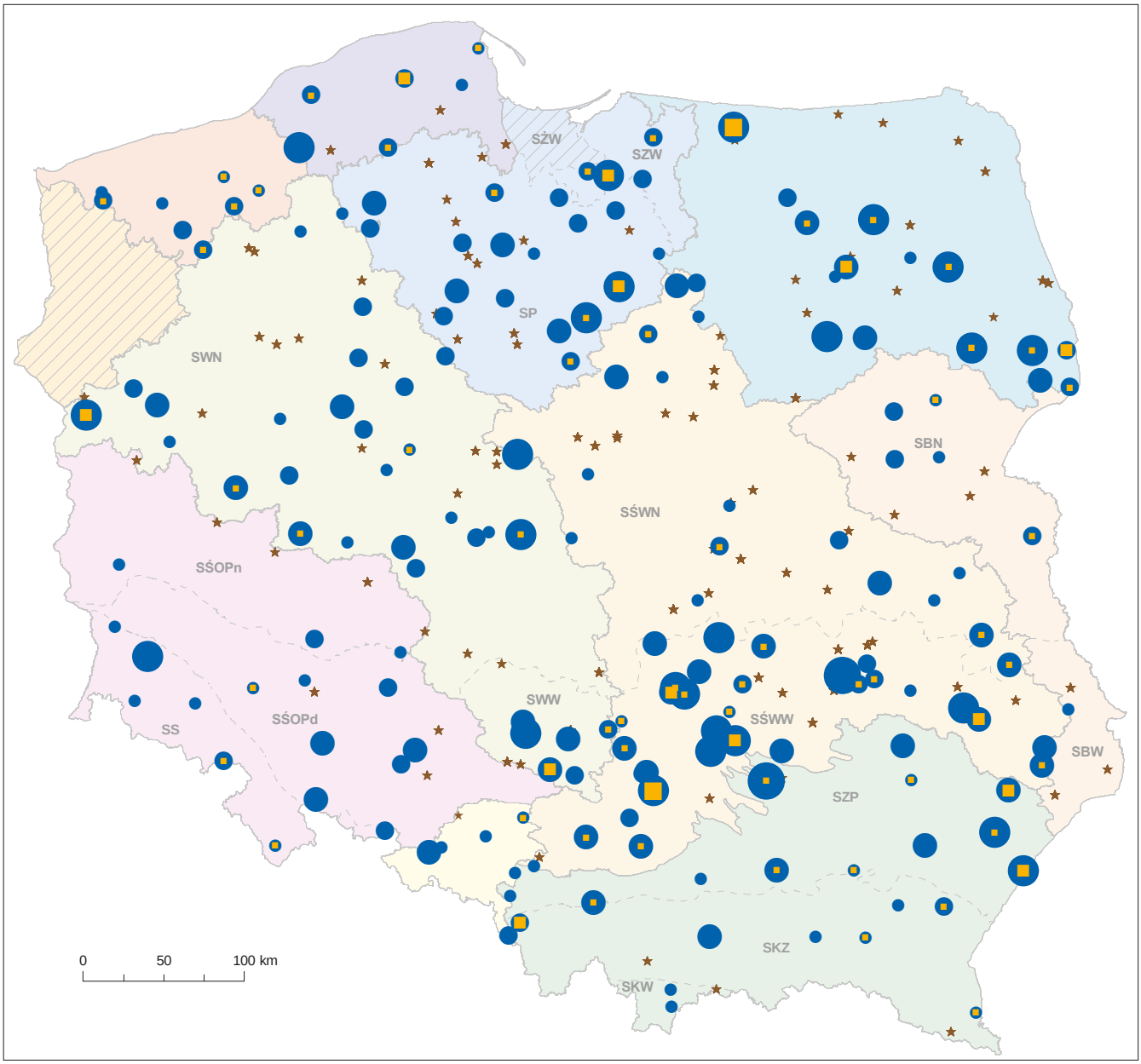


Ryc. 64. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1983 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′
(objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1984

W 1984 r. niżówka hydrogeologiczna kontynuowała się na obszarze całego kraju. W większości punktów czas jej trwania nie przekraczał roku. Niskie stany wód utrzymujące się dłużej niż rok zaobserwowano głównie w północno-wschodniej części Polski oraz w subregionie wyżynnym środkowej Wisły.

Zwiększyła się również liczba punktów z głęboką niżówką. W większości odnotowanych przypadków nie trwała ona dłużej niż 6 miesięcy.

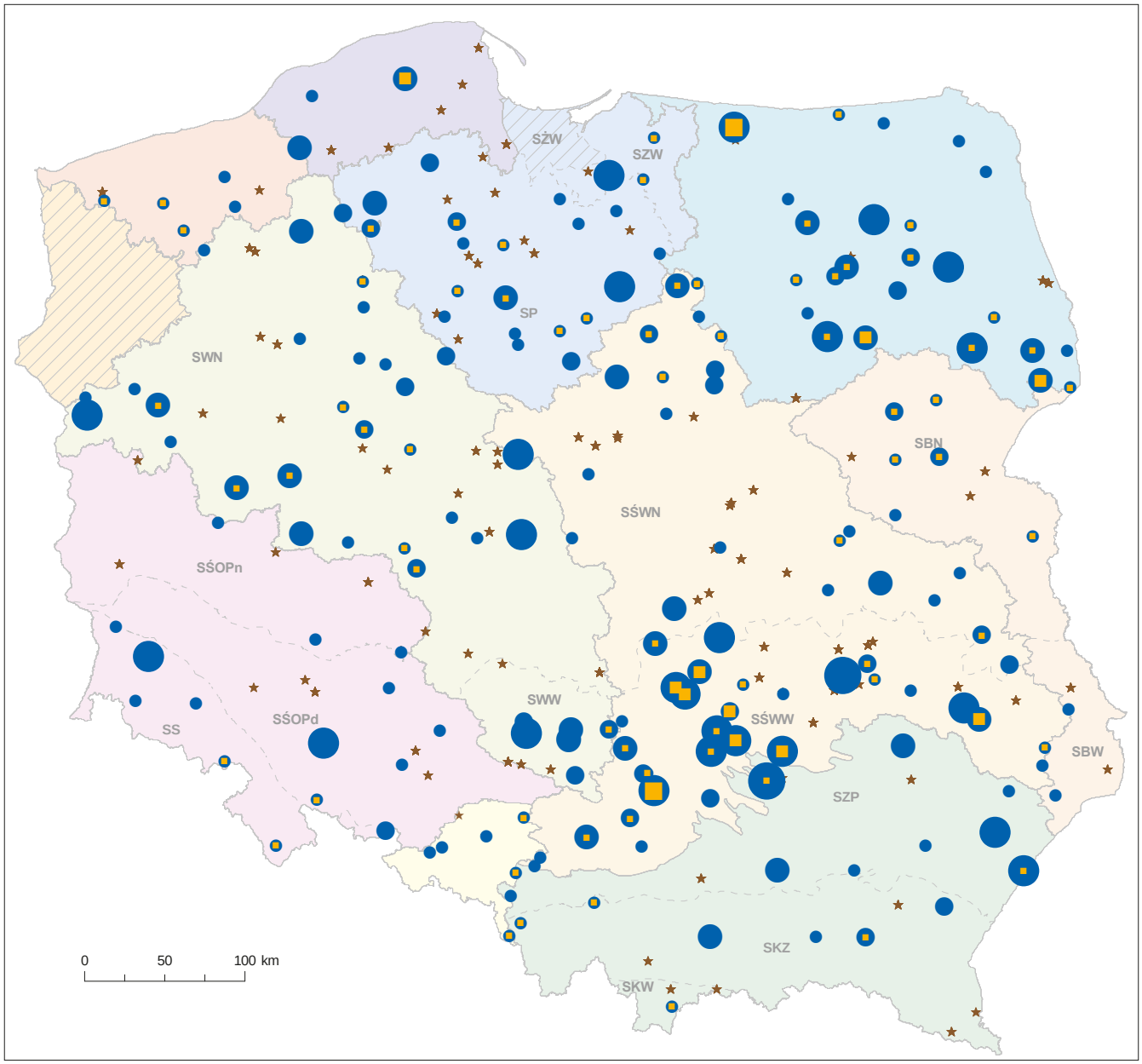


Ryc. 65. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1984 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1985

W 1985 r. niżówka hydrogeologiczna występowała nadal na obszarze całego kraju. Zjawisko o najdłuższym czasie trwania obserwowano, tak jak w roku poprzednim, głównie w północno-wschodniej części kraju oraz w subregionie wyżynnym środkowej Wisły.

Głęboką niżówkę trwającą ponad 6 miesięcy odnotowano tylko w pojedynczych punktach w regionie Narwi, Pregoły i Niemna oraz w subregionie wyżynnym środkowej Wisły.

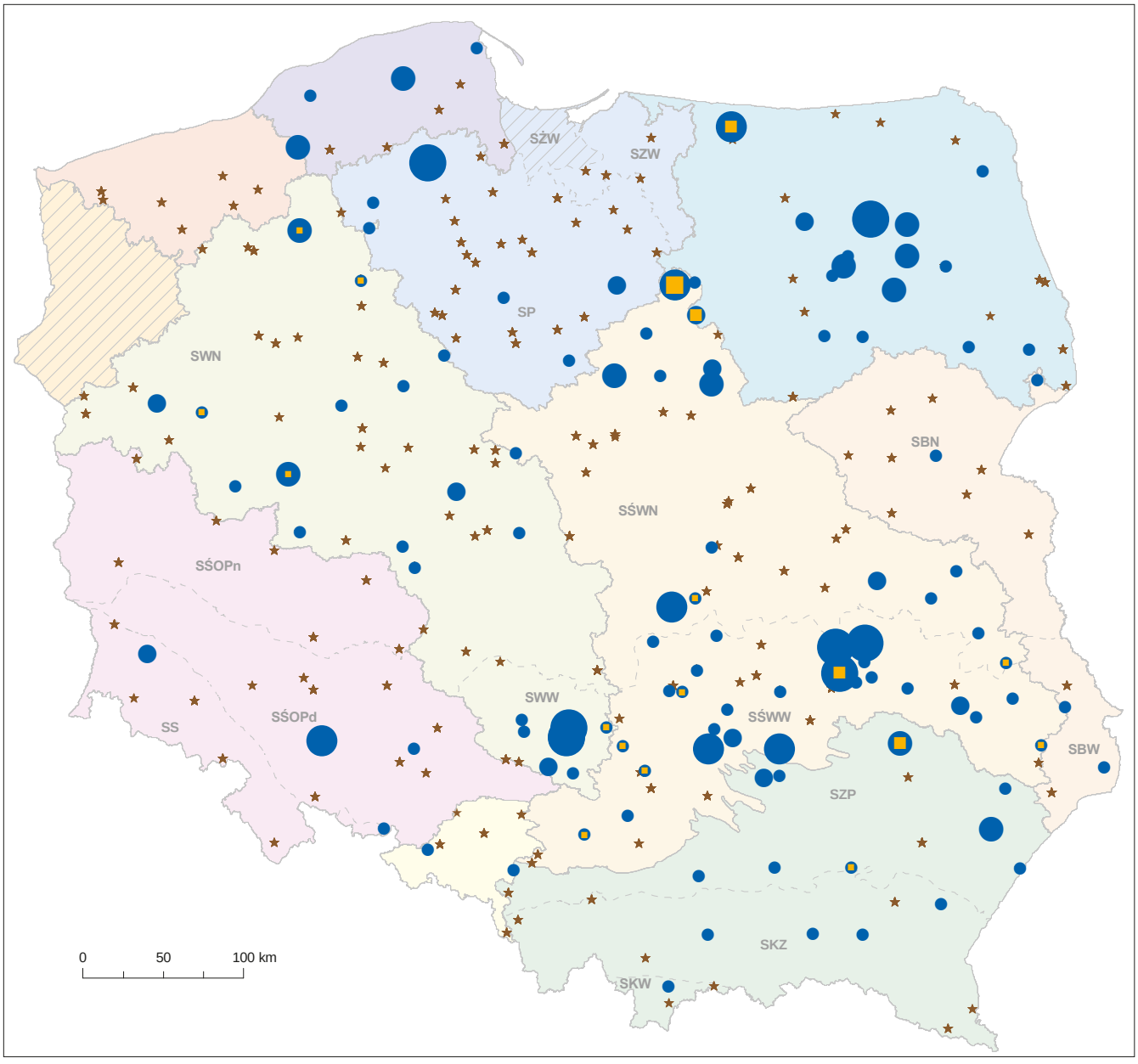


Ryc. 66. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1985 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1986

W 1986 r. niżówka hydrogeologiczna zaczęła ustępować. Zwiększyła się liczba punktów, w których zjawisko nie zostało odnotowane. Niskie położenie zwierciadła wody pierwszego systemu wodonośnego obserwowano najdłużej głównie w północno-wschodniej Polsce oraz w subregionie wyżynnym Warty i w subregionie wyżynnym środkowej Wisły.

Głęboka niżówka występowała tylko lokalnie. Czas jej trwania był zróżnicowany – od kilku tygodni do ponad 6 miesięcy.

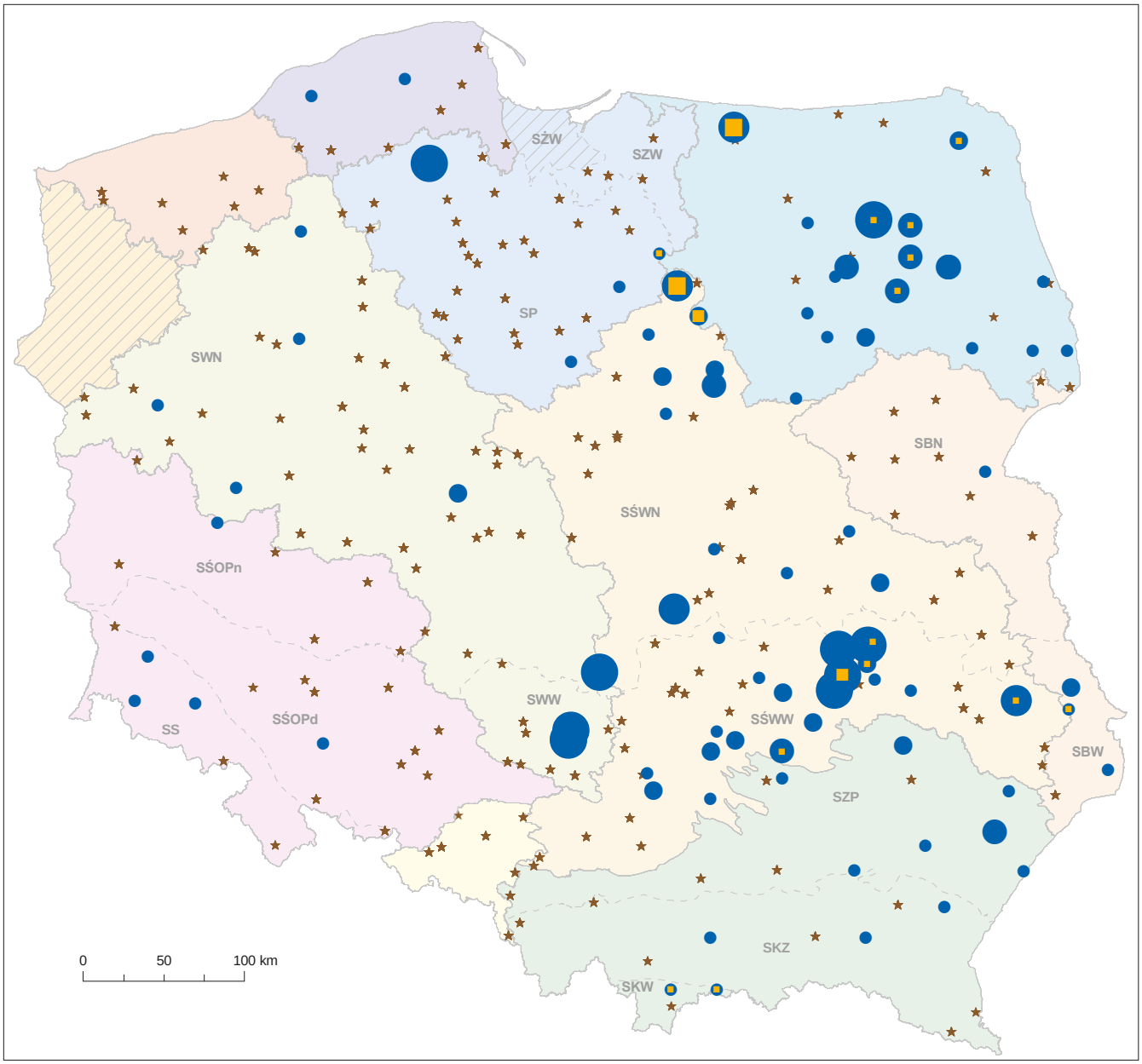


Ryc. 67. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1986 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′
(objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1987

W 1987 r. nadal zmniejszał się zasięg występowania niżówki hydrogeologicznej. Niskie stany wód, utrzymujące się ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1987 lub kontynuowało się w roku następnym), występowały głównie w północno-wschodniej Polsce oraz w subregionie wyżynnym Warty i w subregionie wyżynnym środkowej Wisły.

Głęboka niżówka była obserwowana tylko w północno-wschodniej części kraju oraz w subregionie wyżynnym środkowej Wisły.

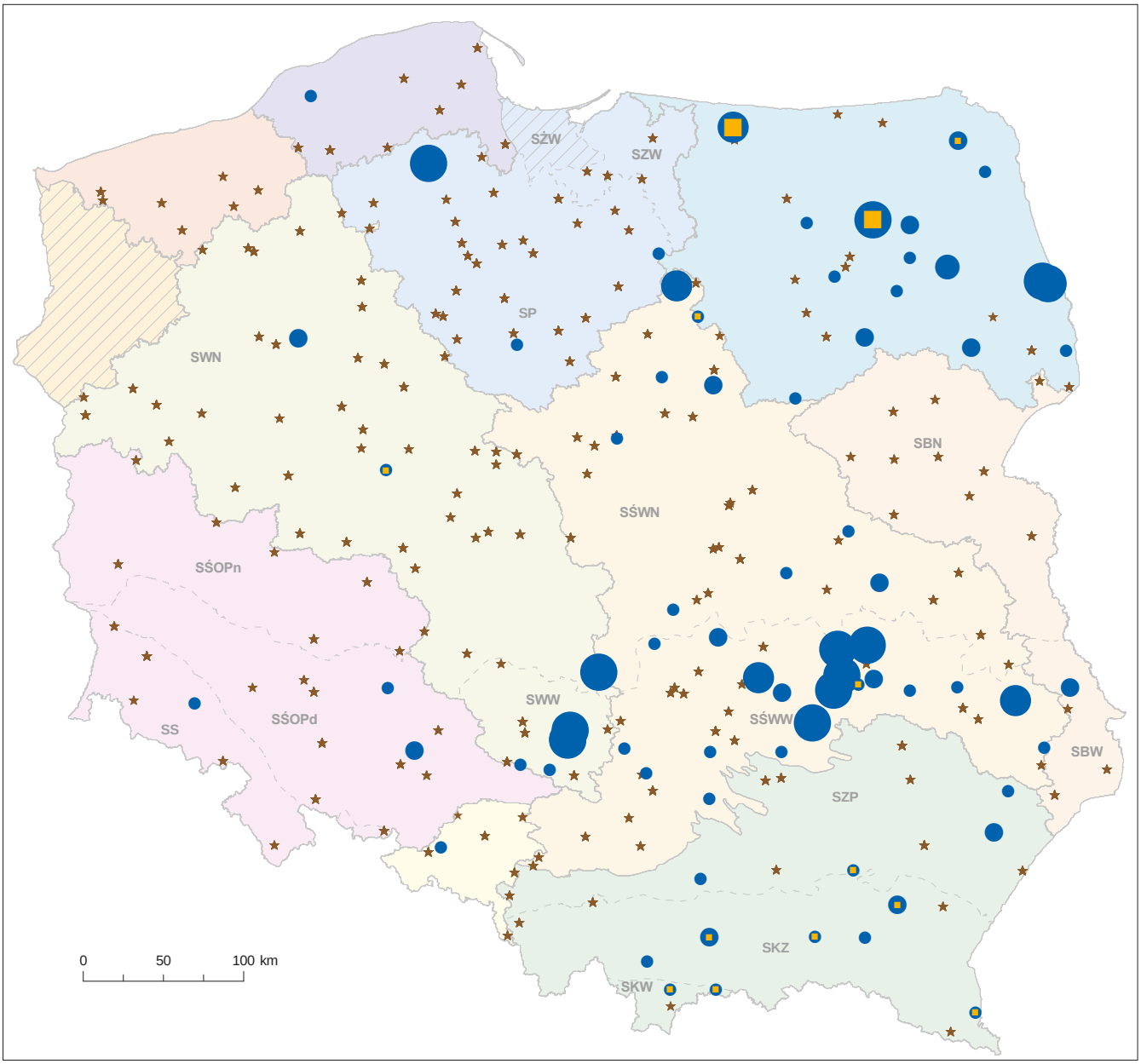


Ryc. 68. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1987 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1988

W 1988 r. niżówką hydrogeologiczną była objęta niewielka część kraju. Zjawisko obserwowano głównie w regionie Narwi, Pregoły i Niemna, w południowej części regionu Warty oraz w subregionie wyżynnym środkowej Wisły. Czas jego trwania w znacznej liczbie punktów przekraczał rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1988 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głęboka niżówka występowała głównie w regionie Narwi, Pregoły i Niemna oraz w regionie górnej Wisły. Niskie stany wód pierwszego systemu wodonośnego, trwające ponad 6 miesięcy, zaobserwowano tylko w dwóch punktach w regionie Narwi, Pregoły i Niemna.

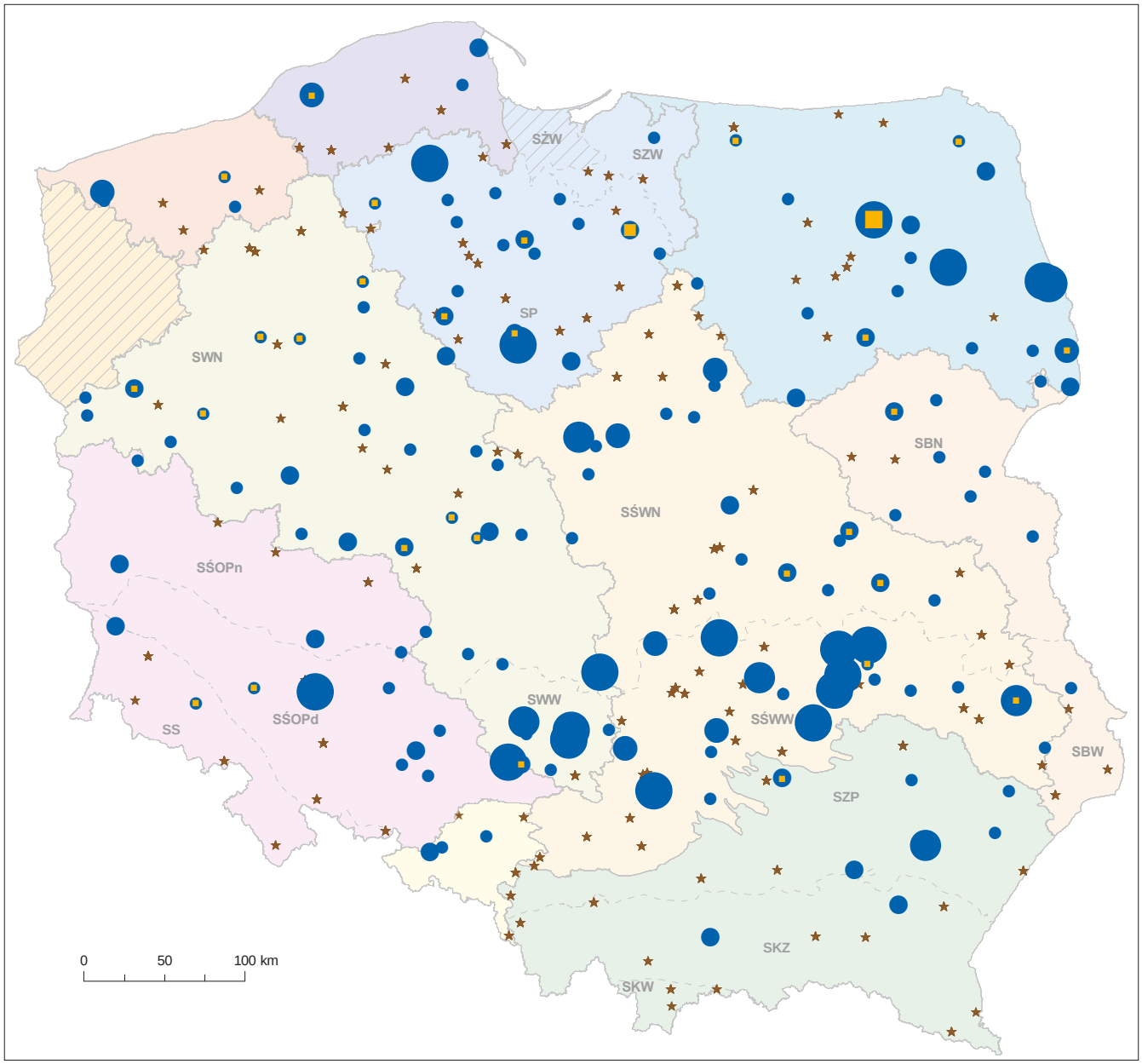


Ryc. 69. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1988 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1989

W 1989 r. zjawisko niżówki hydrogeologicznej zwiększyło swój zasięg w stosunku do roku poprzedniego i objęło cały obszar kraju. Niskie stany wód trwające ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1989 lub kontynuowało się w roku następnym) odnotowano głównie w subregionie wyżynnym Warty i w subregionie wyżynnym środkowej Wisły. Pojedyncze punkty o tak długim czasie trwania zjawiska odnotowano również w regionie dolnej Wisły, w regionie Narwi, Pregoły i Niemna oraz w subregionie południowym środkowej Odry.

Głębokie niżówki występowały lokalnie i w większości przypadków nie przekraczały 3 miesięcy. Tylko w jednym punkcie w regionie Narwi, Pregoły i Niemna głęboka niżówka trwała ponad 6 miesięcy.

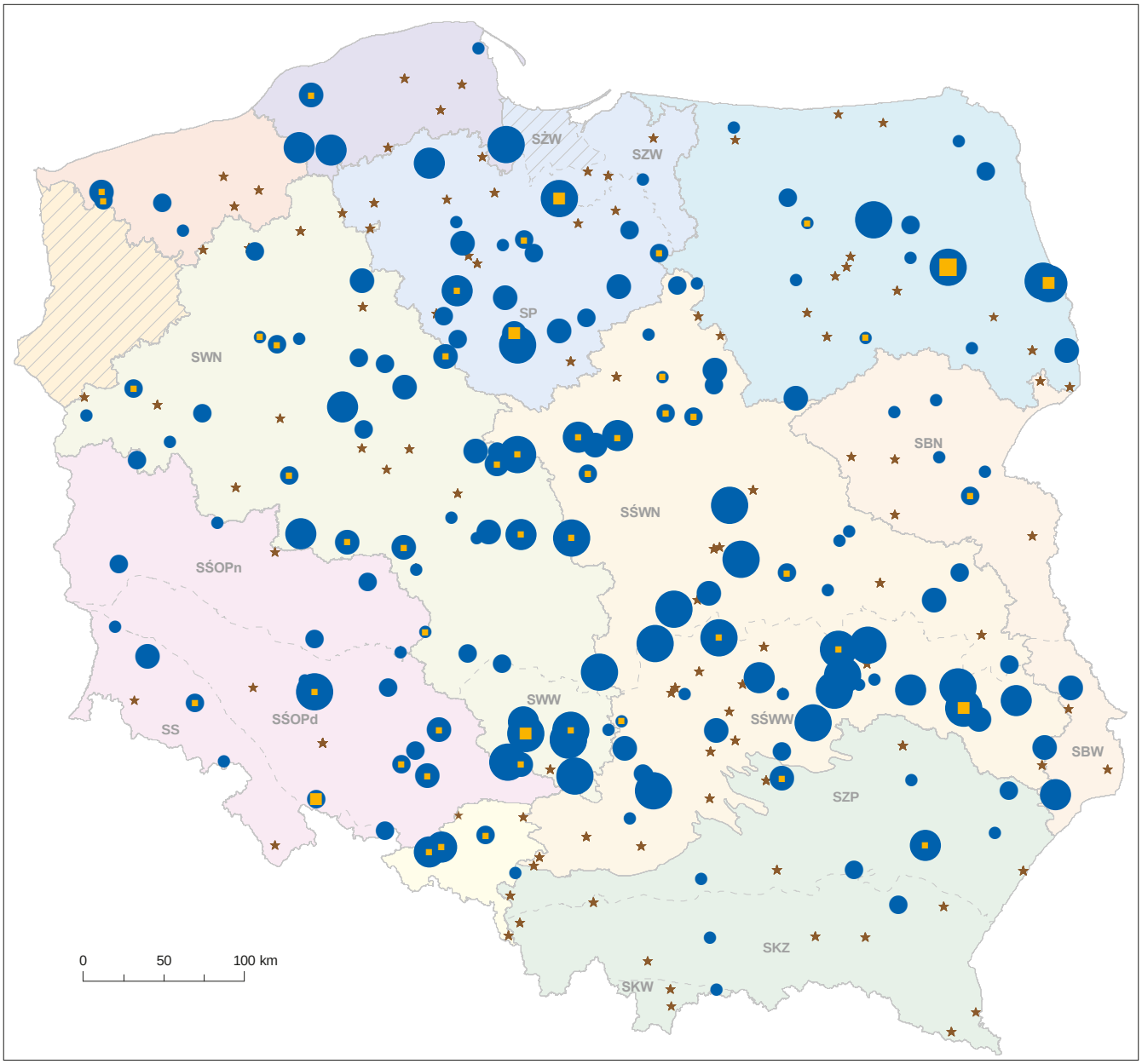


Ryc. 70. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1989 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1990

W 1990 r. niżówka hydrogeologiczna kontynuowała się na obszarze całego kraju. Obszarem o najmniejszej intensywności zjawiska był region górnej Wisły. W znacznej liczbie punktów czas trwania niżówki przekraczał 6 miesięcy.

W analizowanym roku wzrosła również liczba punktów z głęboką niżówką. Czas trwania zjawiska był zróżnicowany – od kilku tygodni do ponad 6 miesięcy.

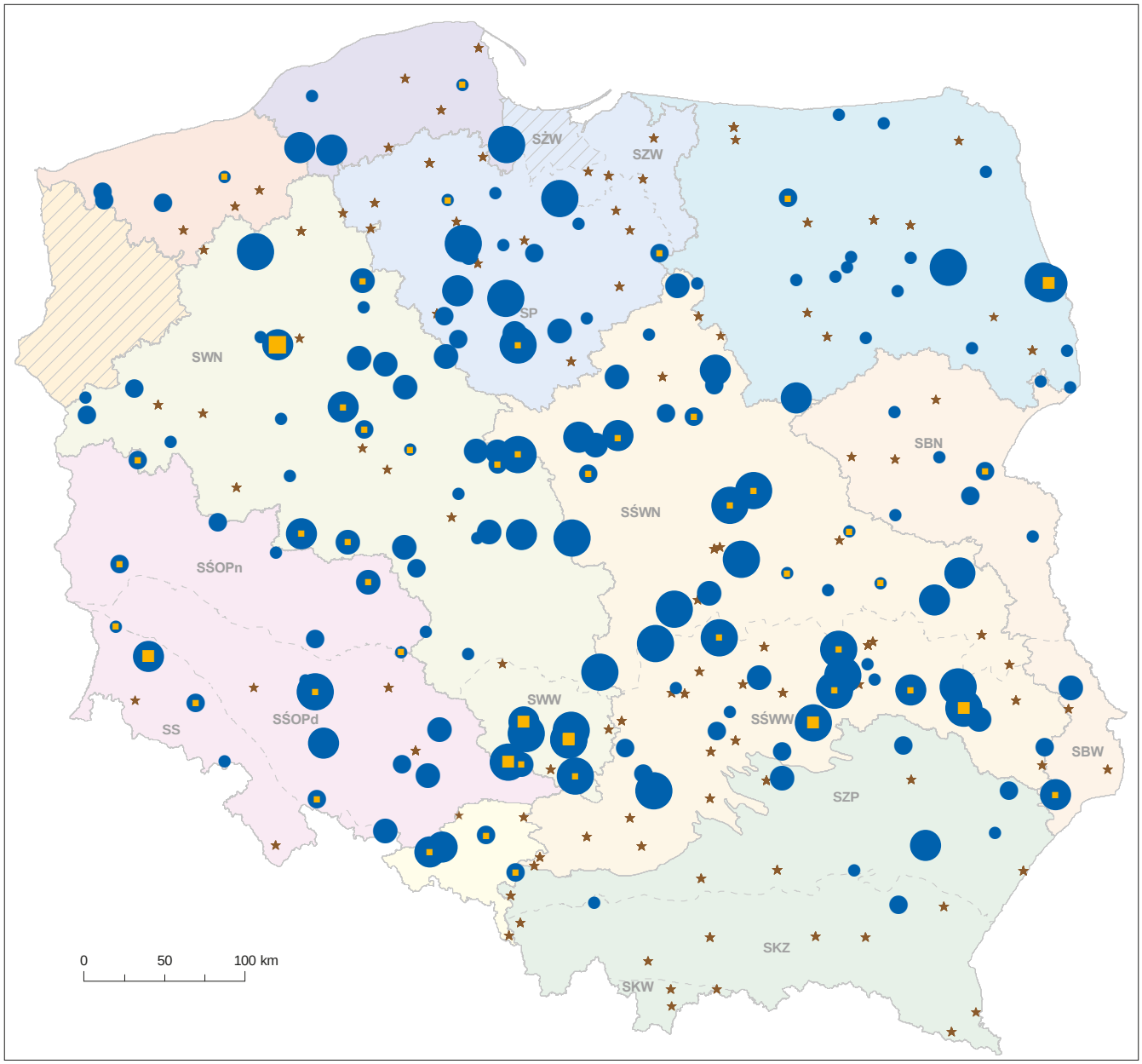


Ryc. 71. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1990 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′
(objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1991

W 1991 r. niżówka hydrogeologiczna nadal utrzymywała się na obszarze całego kraju. W znacznej liczbie przypadków zjawisko trwało ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1991 lub kontynuowało się w roku następnym). Najmniejszą liczbę punktów, w których odnotowano niskie stany wód, obserwowano w regionie górnej Wisły.

Głębokie niżówki odnotowano na obszarze całego kraju z wyjątkiem regionu górnej Wisły.



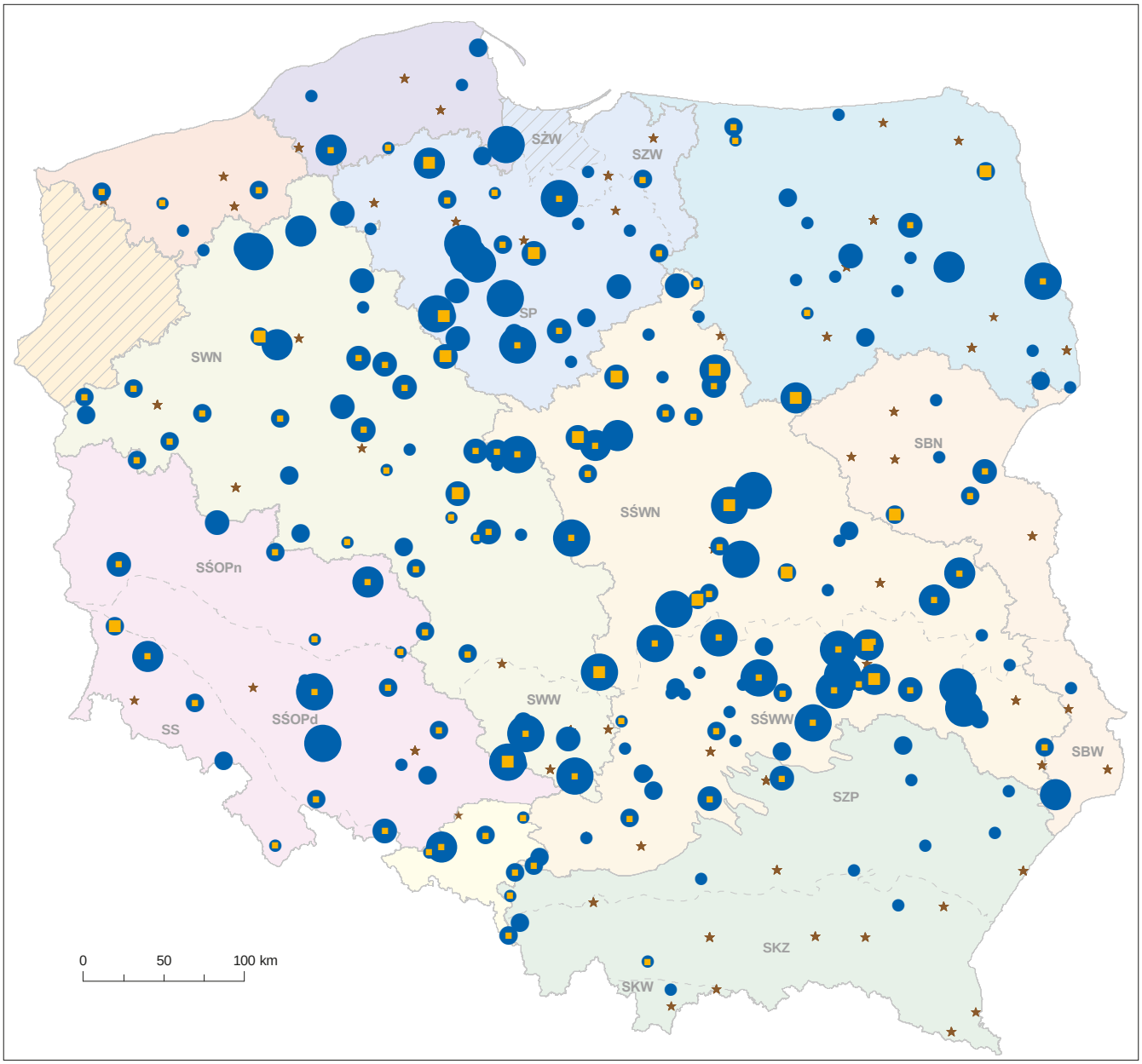
Ryc. 72. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1991 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1992

W 1992 r. niżówka hydrogeologiczna nadal obejmowała obszar całego kraju. Zjawisko najbardziej przybrało na sile w centralnej i północnej Polsce – region dolnej Wisły, region środkowej Wisły i region Warty, a najsłabiej rozwinęło się w regionie górnej Wisły. W wielu przypadkach niżówka utrzymywała się ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1992 lub kontynuowało się w roku następnym).

W opisywanym roku, na tle badanego wielolecia 1981–1995, zjawisko występowało w największej liczbie obserwowanych punktów.

Głębokie niżówki odnotowano na terenie całego kraju, z wyjątkiem południowo-wschodniej części Polski. Ich czas trwania nie przekraczał 6 miesięcy.

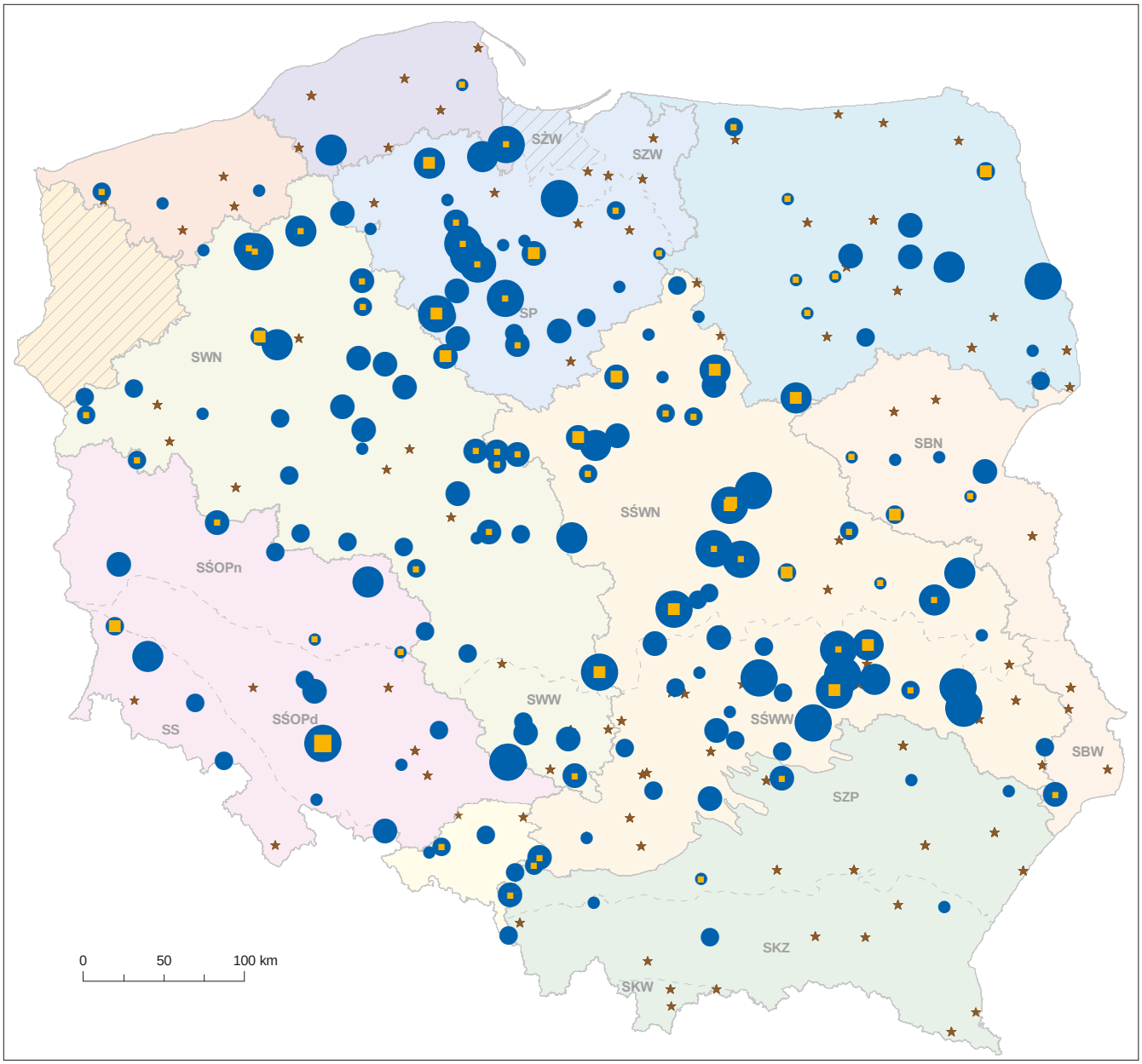


Ryc. 73. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1992 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′
(objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1993

W 1993 r. niżówka hydrogeologiczna obejmowała swym zasięgiem ten sam obszar co w roku poprzednim. Czas trwania zjawiska był zróżnicowany – od kilku tygodni do ponad roku (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1993 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głębokie niżówki obserwowane były na znacznym obszarze kraju. Ich czas trwania, poza jednym punktem w regionie środkowej Odry, nie przekraczał 6 miesięcy.

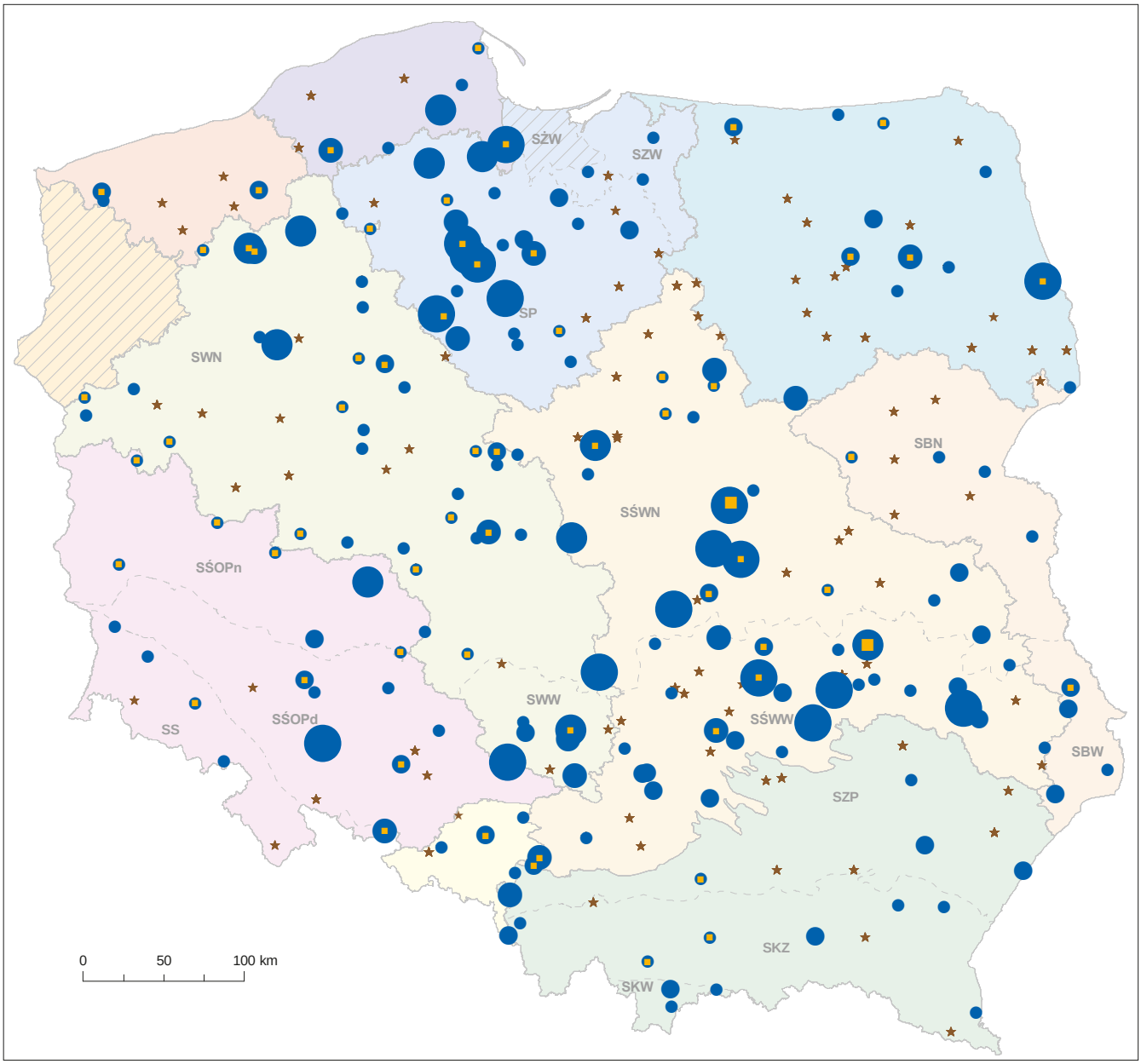


Ryc. 74. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1993 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1994

W 1994 r. niżówka hydrogeologiczna kontynuowała się na znacznym obszarze kraju. Najwięcej punktów, w których odnotowano niskie stany wód, znajdowało się w regionie dolnej Wisły, w regionie środkowej Wisły oraz w subregionie wyżynnym Warty.

Głębokie niżówki były krótkotrwałe (w większości przypadków trwały poniżej 3 miesięcy), ale występowały powszechnie na obszarze kraju.

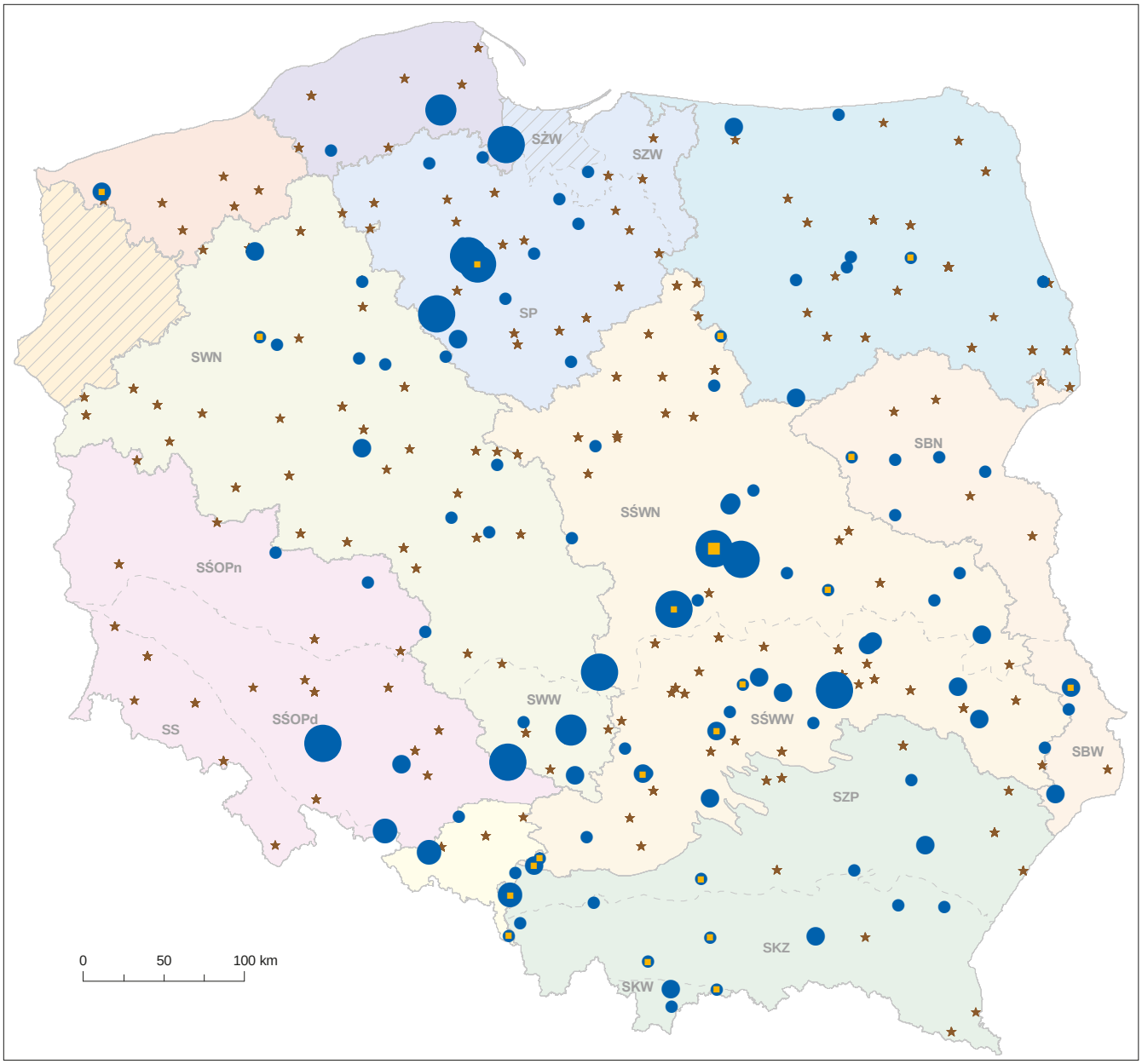


Ryc. 75. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1994 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1995

W 1995 r. znacząco zmniejszyła się liczba punktów, w których zaobserwowano niżówkę hydrogeologiczną. Punkty o najdłuższym czasie trwania tego zjawiska odnotowano w regionie dolnej Wisły, w regionie środkowej Wisły, w subregionie wyżynnym Warty oraz w południowej części regionu środkowej Odry.

Głębokie niżówki występowały tylko lokalnie i w większości przypadków były krótkotrwałe.



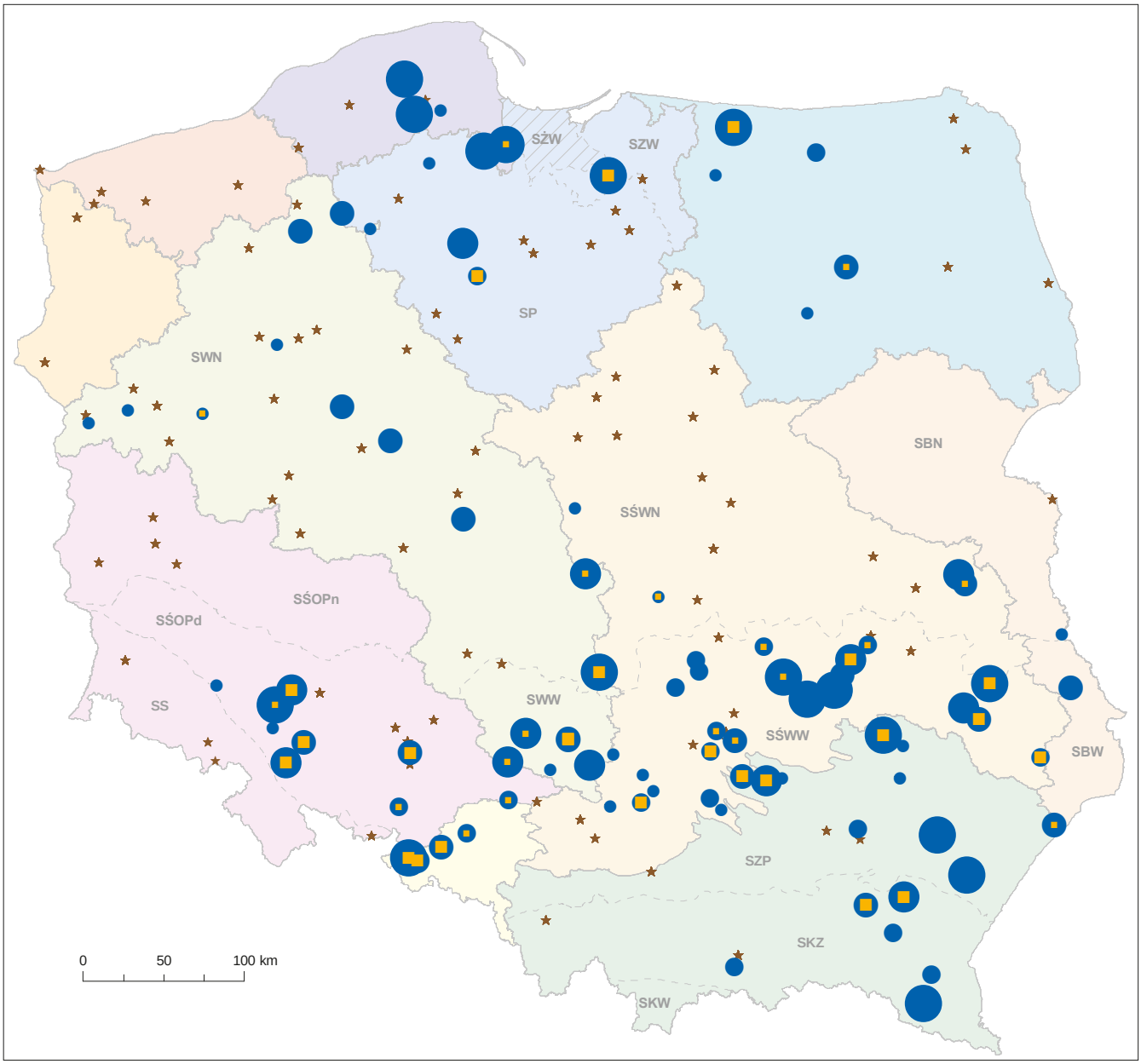
Ryc. 76. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1995 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

OPIS NA PODSTAWIE ANALIZY ZBIORU B'' (WIELOLECIE 1996–2015)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1996

W 1996 r. niżówka hydrogeologiczna występowała głównie w północno-centralnej oraz południowej Polsce. Czas trwania zjawiska na ogół nie przekraczał roku.

Głębokie niżówki obserwowano w znacznej liczbie punktów, głównie w południowej Polsce.

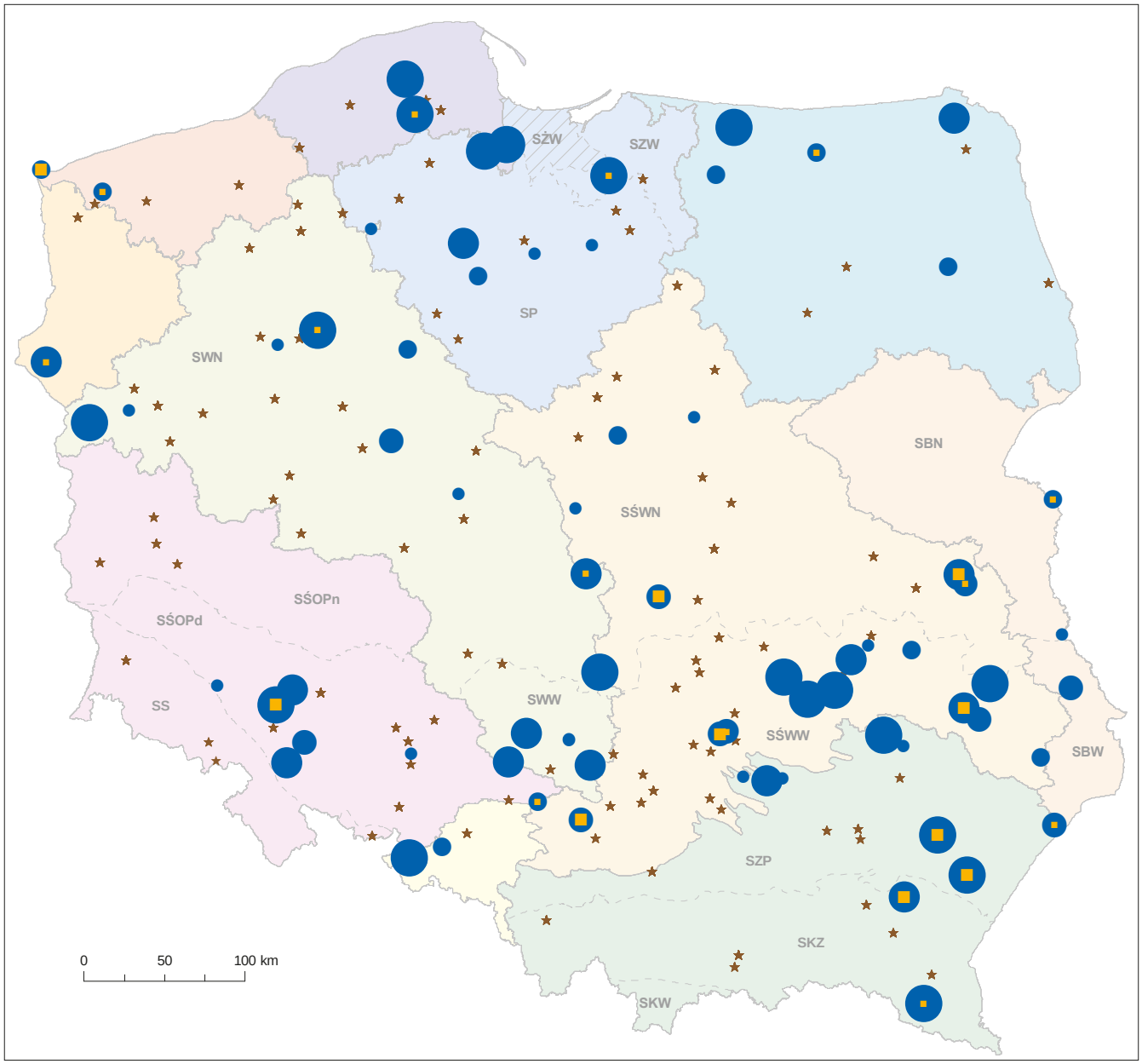


Ryc. 77. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1996 r. w punktach objętych analizą – zbiór B'' (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1997

W 1997 r. niżówka hydrogeologiczna występowała na podobnym obszarze co w roku poprzednim. Najwięcej punktów o niskich stanach zwierciadła wód pierwszego systemu wodonośnego odnotowano w północno-centralnej części Polski oraz we wschodniej części regionu środkowej Odry, w subregionie wyżynnym Warty, w subregionie wyżynnym środkowej Wisły, we wschodniej części regionu górnej Wisły oraz w regionie Bugu. W większości punktów czas trwania niżówki był dłuższy niż rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1997 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głęboka niżówka została zaobserwowana głównie w południowej części kraju. Czas jej trwania nie przekraczał 6 miesięcy.

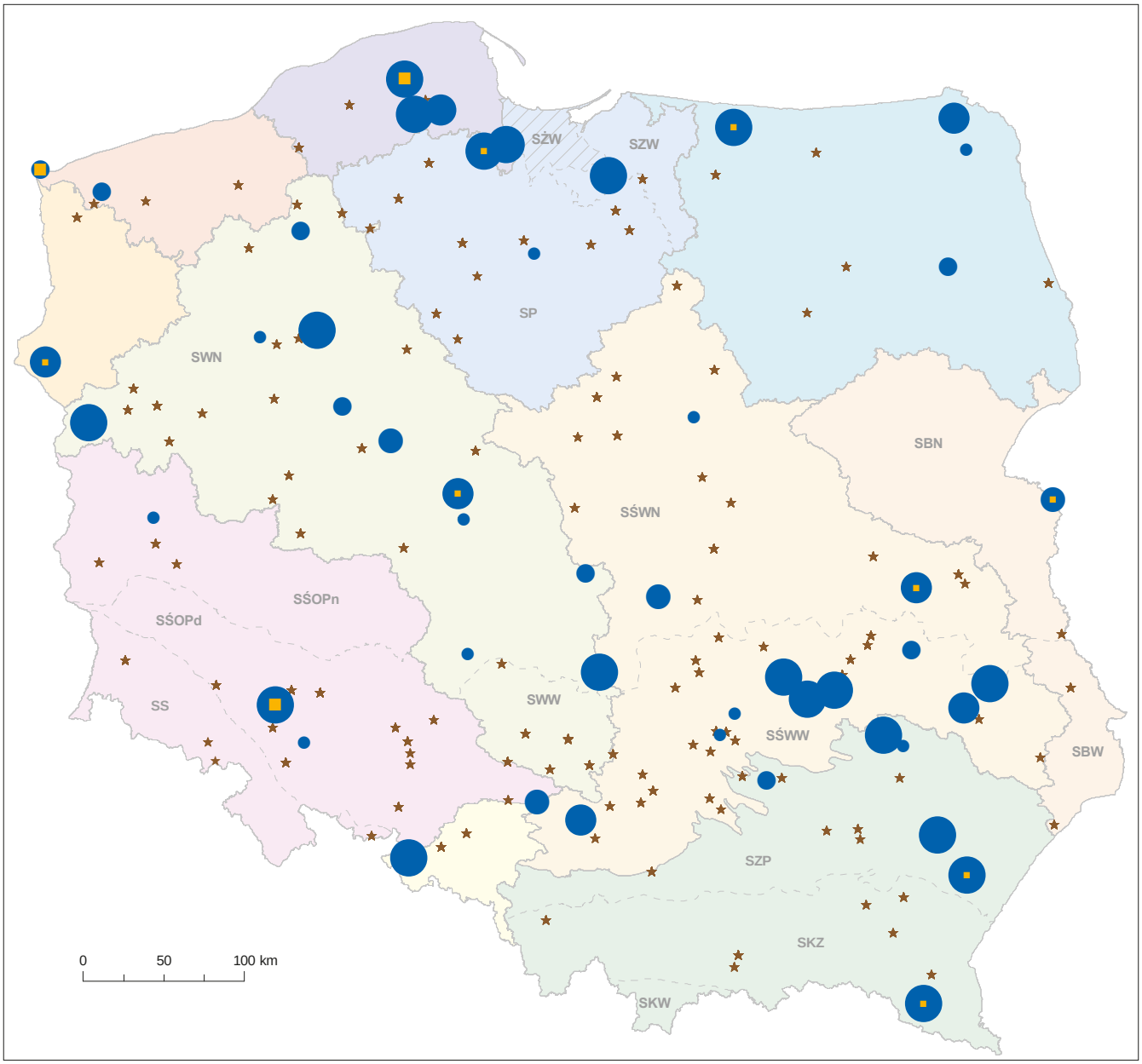


Ryc. 78. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1997 r. w punktach objętych analizą – zbiór B″ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1998

W 1998 r., w stosunku do roku poprzedniego, głównie w południowej części regionu środkowej Odry, w subregionie wyżynnym Warty oraz w regionie Bugu, zmniejszyła się liczba punktów, w których zaobserwowano zjawisko niżówki hydrogeologicznej. Niskie stany wód w wielu przypadkach utrzymywały się ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 1998 lub kontynuowało się w roku następnym).

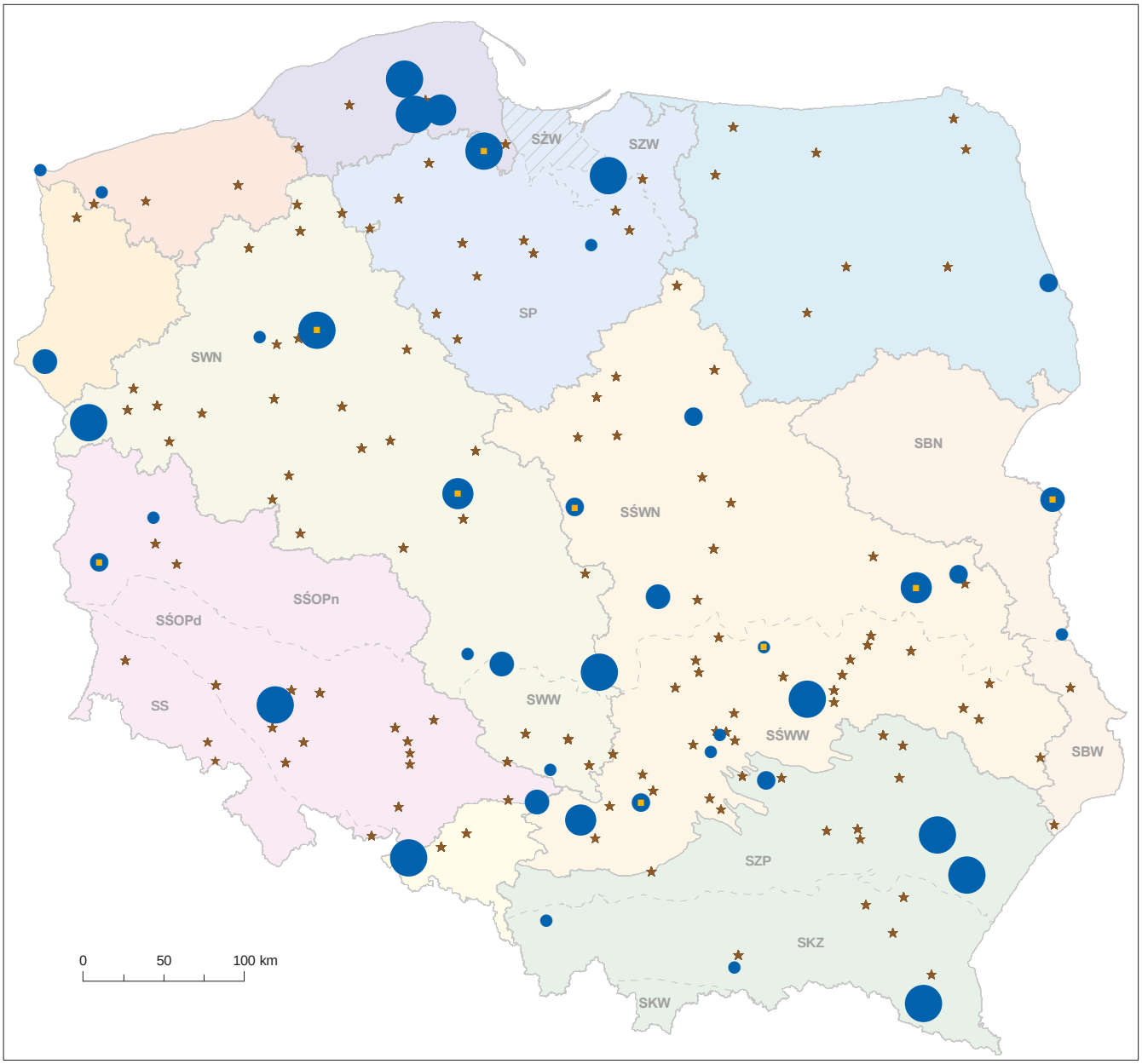
Głęboka niżówka występowała w pojedynczych punktach na obszarze całego kraju.



Ryc. 79. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1998 r. w punktach objętych analizą – zbiór B'' (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 1999

W 1999 r. punkty, w których zaobserwowano niżówkę hydrogeologiczną występowały lokalnie na obszarze całego kraju. Głęboka niżówka występowała tylko w kilku punktach i trwała krócej niż 3 miesiące.

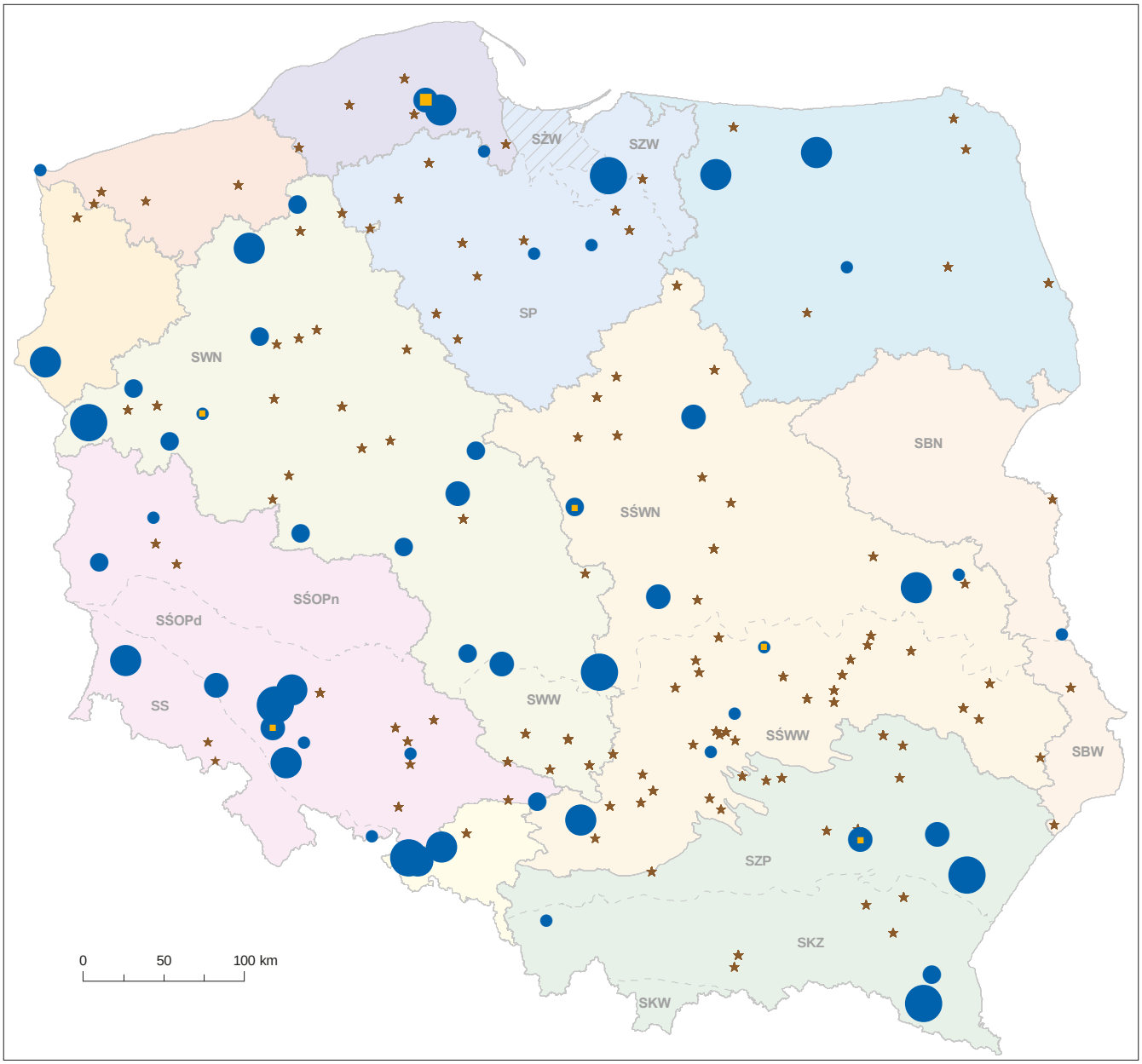


Ryc. 80. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 1999 r. w punktach objętych analizą – zbiór B′′ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2000

W 2000 r. w skali kraju nieznacznie zwiększyła się liczba punktów, w których zaobserwowano niżówkę hydrogeologiczną. W wielu przypadkach zjawisko trwało ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2000 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głęboką niżówkę hydrogeologiczną odnotowano w pojedynczych punktach, głównie w zachodniej i południowej Polsce. Czas jej trwania nie przekraczał 6 miesięcy.

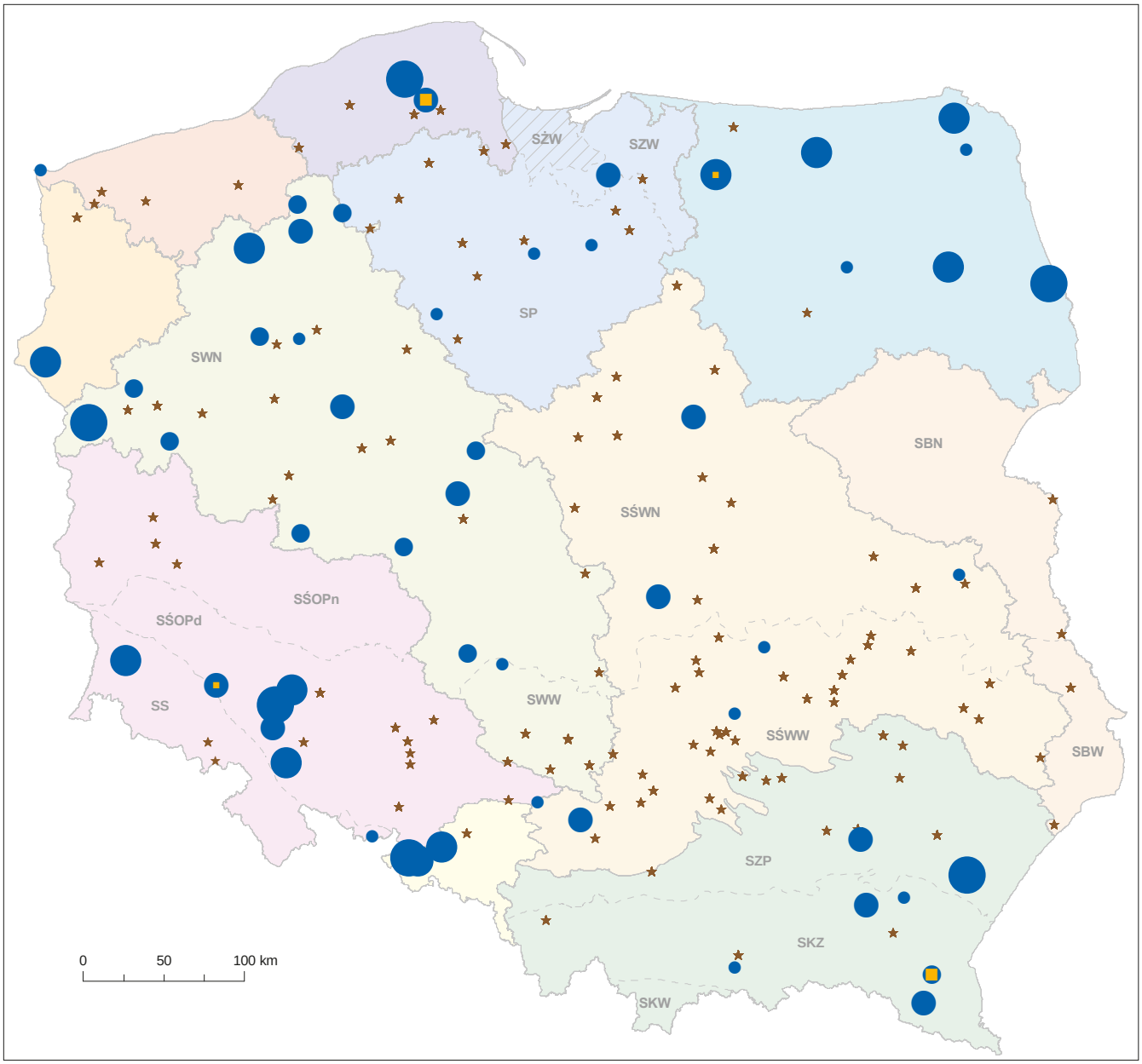


Ryc. 81. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2000 r. w punktach objętych analizą – zbiór B'' (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2001

W 2001 r. niżówka hydrogeologiczna występowała głównie w regionie Narwi, Pregoły i Niemna, w regionie Warty, w regionie górnej Odry, w regionie środkowej Odry oraz południowo-wschodniej części regionu górnej Wisły. W większości punktów czas trwania zjawiska nie przekraczał roku.

Głęboka niżówka trwająca ponad 3 miesiące została zaobserwowana tylko w 2 punktach – w regionie wschodniopomorskim (1 punkt) i w regionie górnej Wisły (1 punkt).

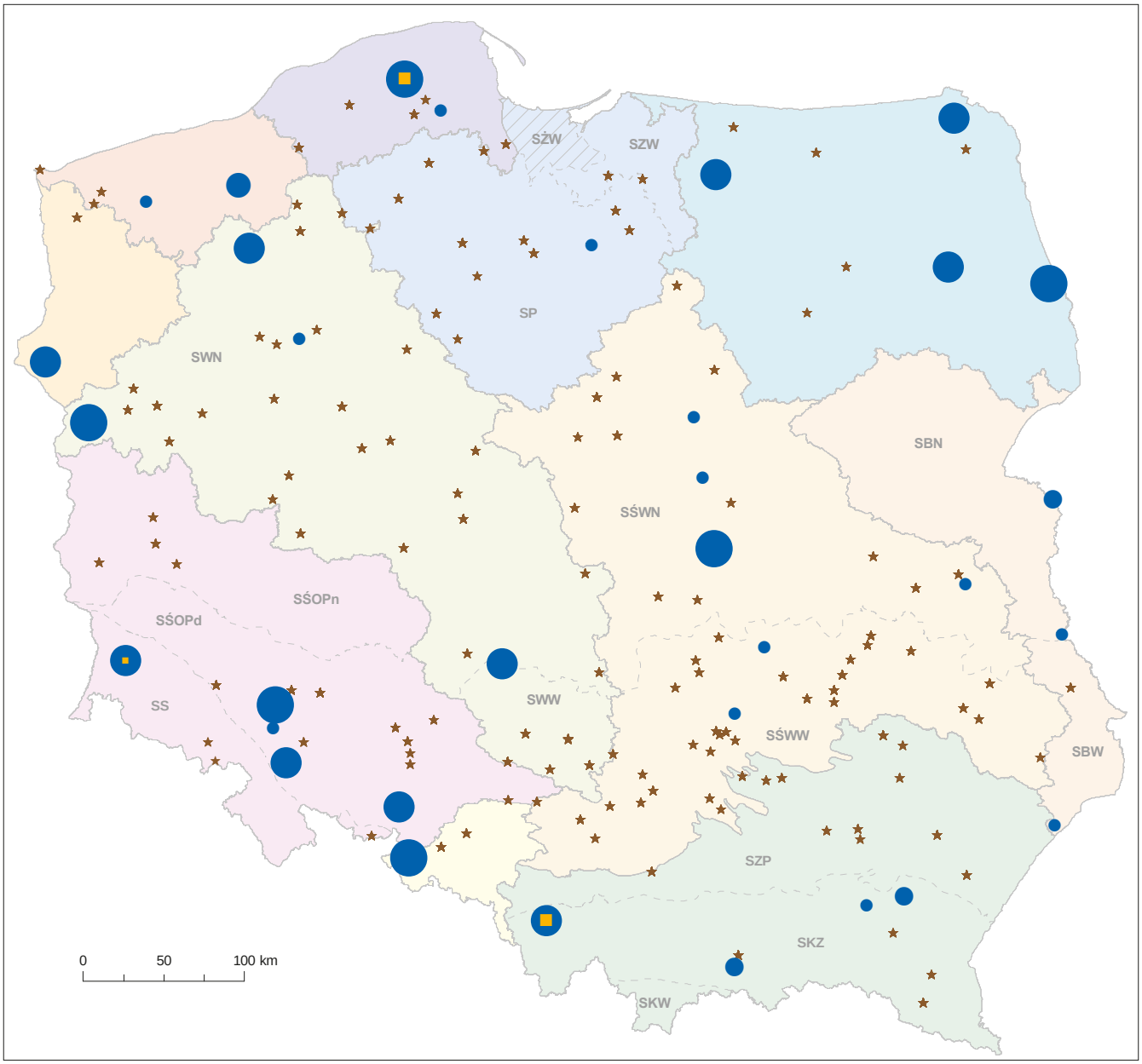


Ryc. 82. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2001 r. w punktach objętych analizą – zbiór B″ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2002

W 2002 r. niżówka hydrogeologiczna zaczęła ustępować. Zjawisko obserwowano tylko lokalnie.

Głęboka niżówka występowała w 3 punktach na obszarze kraju – region wschodniopomorski (1 punkt), subregion Sudetów (1 punkt), subregion Karpat zewnętrznych (1 punkt).

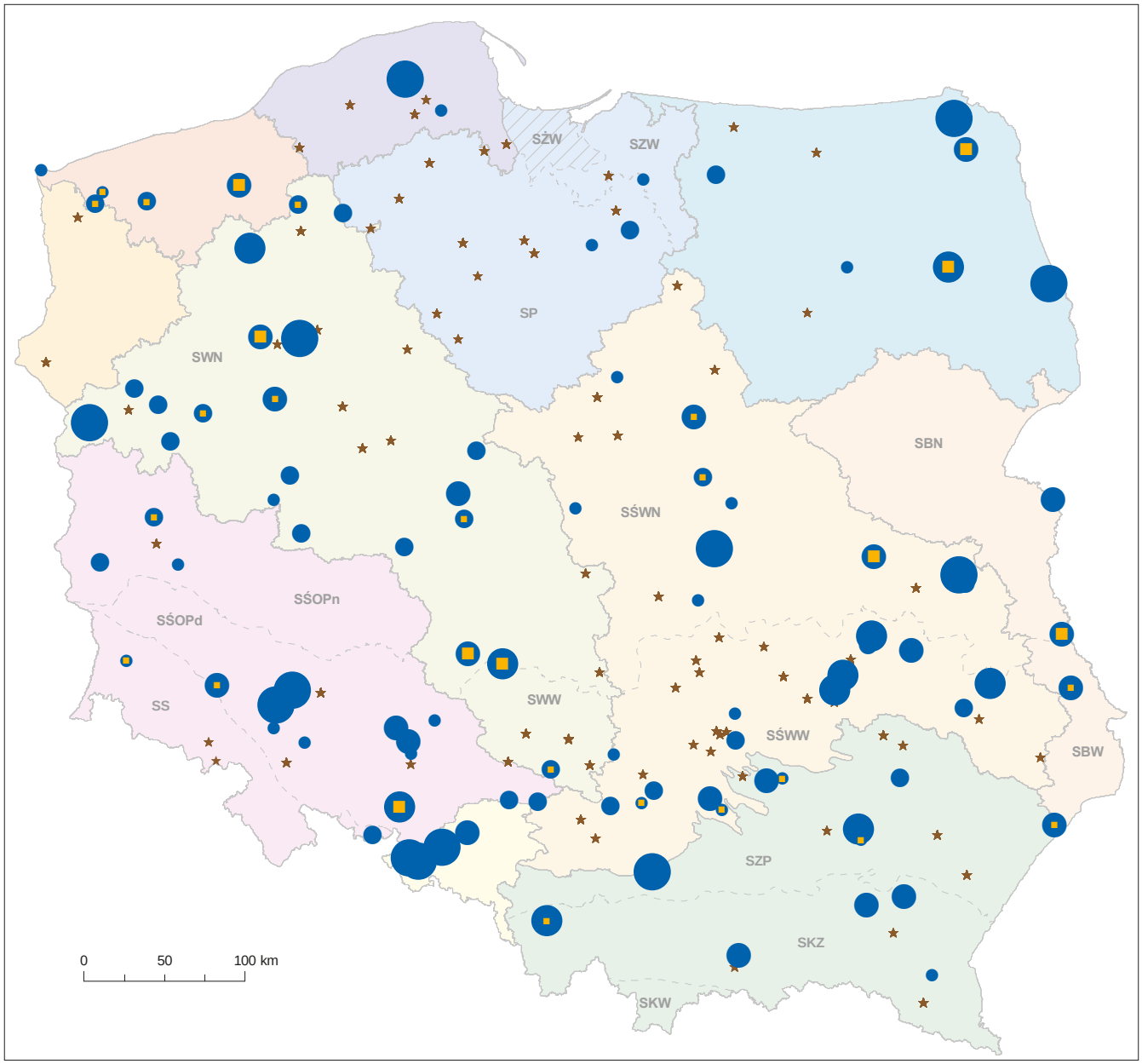


Ryc. 83. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2002 r. w punktach objętych analizą – zbiór B'' (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2003

W 2003 r. na obszarze całego kraju zaczęło rozwijać się zjawisko niżówki hydrogeologicznej. Najwięcej punktów o niskich stanach wód odnotowano w zachodniej i południowej Polsce.

W większości regionów zaczęła się również rozwijać głęboka niżówka, z wyjątkiem regionu wschodniopomorskiego, regionu dolnej Wisły, regionu górnej Odry i regionu dolnej Odry.

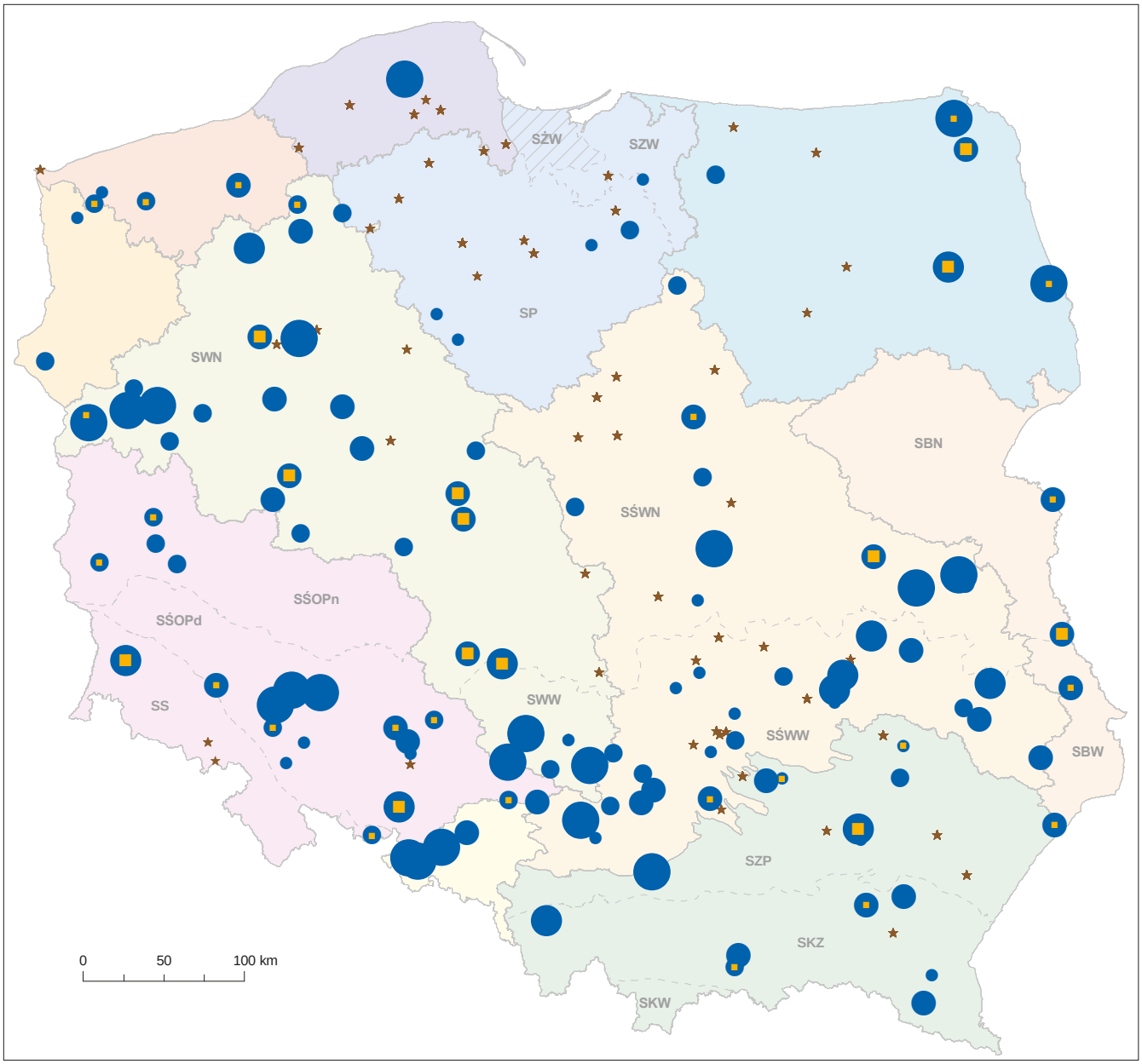


Ryc. 84. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2003 r. w punktach objętych analizą – zbiór B″ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2004

W 2004 r. niskie stany wód występowały głównie w zachodniej i południowo-wschodniej części kraju. W stosunku do roku poprzedniego liczba punktów z niżówką wzrosła, szczególnie w regionie Warty, w subregionie wyżynnym środkowej Wisły i w regionie środkowej Odry. W większości obserwowanych punktów zjawisko trwało krócej niż rok.

Głęboka niżówka występowała na tym samym obszarze co w roku poprzednim. Jej czas trwania nie przekraczał 6 miesięcy.

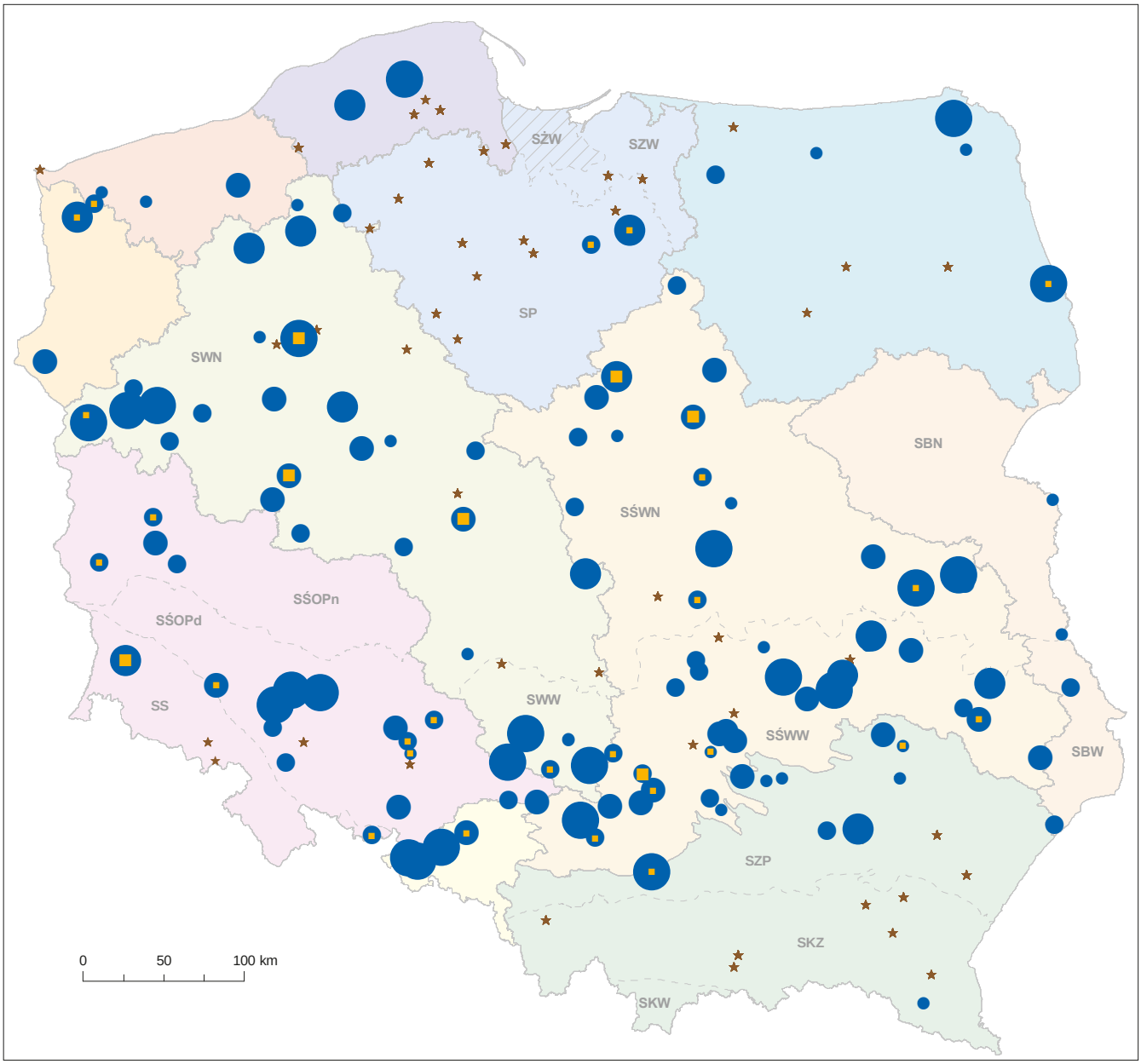


Ryc. 85. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2004 r. w punktach objętych analizą – zbiór B'' (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2005

W 2005 r. nieznacznie zmienił się obszar występowania niżówki hydrogeologicznej. Zjawisko nasiliło się w północnej części regionu środkowej Wisły, natomiast w regionie górnej Wisły liczba punktów, w których zaobserwowano niskie stany wód znacznie się zmniejszyła.

Głęboka niżówka występowała głównie w regionie Warty, w regionie środkowej Wisły i w regionie środkowej Odry, a jej czas trwania nie przekraczał 6 miesięcy.

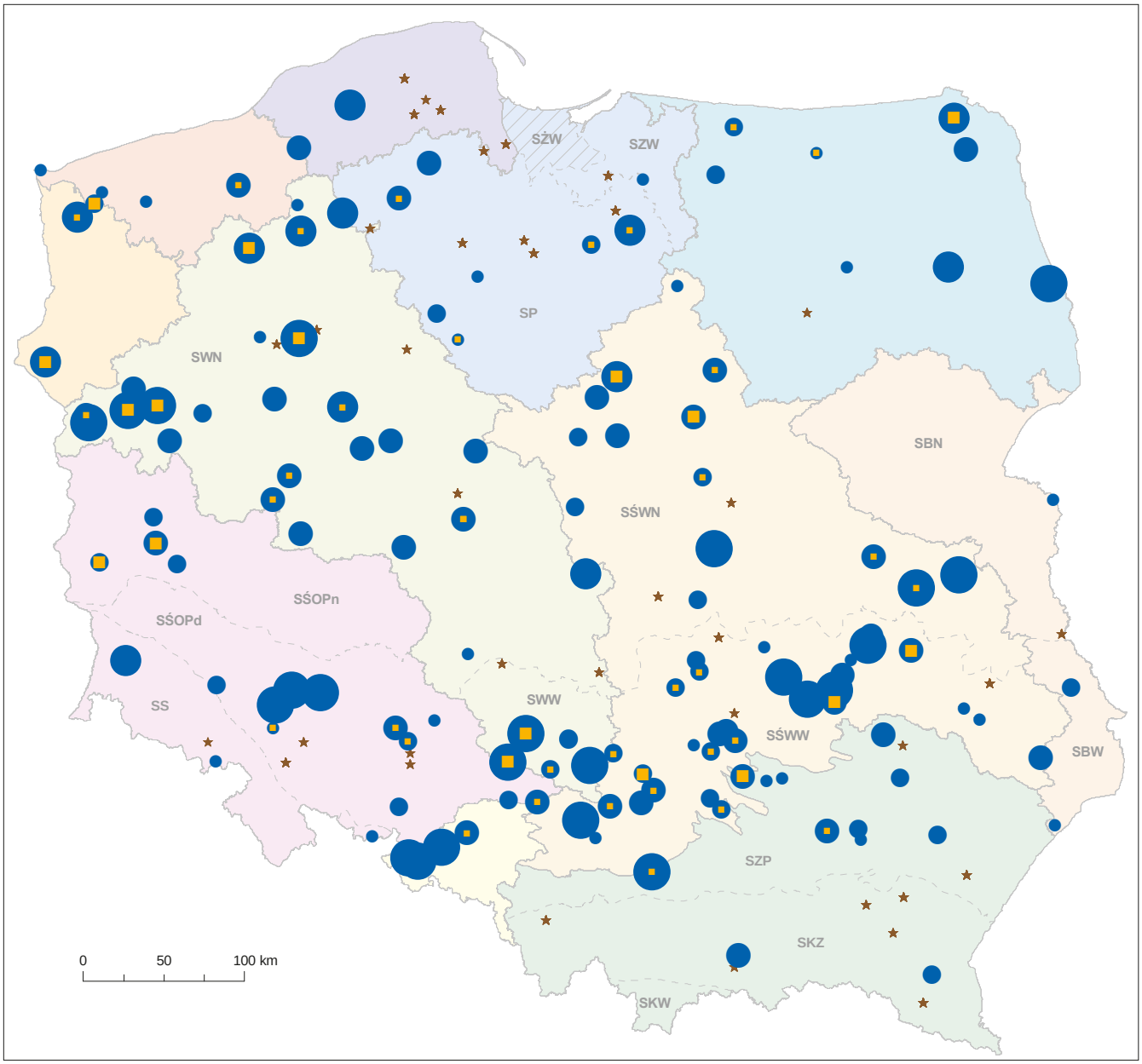


Ryc. 86. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2005 r. w punktach objętych analizą – zbiór B″ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2006

W 2006 r. niżówka hydrogeologiczna kontynuowała się na tym samym obszarze co w roku poprzednim. Zjawisko w znacznej liczbie punktów trwało dłużej niż 6 miesięcy.

Zwiększyła się, w stosunku do roku poprzedniego, liczba punktów z głęboką niżówką. Jej czas trwania we wszystkich punktach był krótszy niż 6 miesięcy.

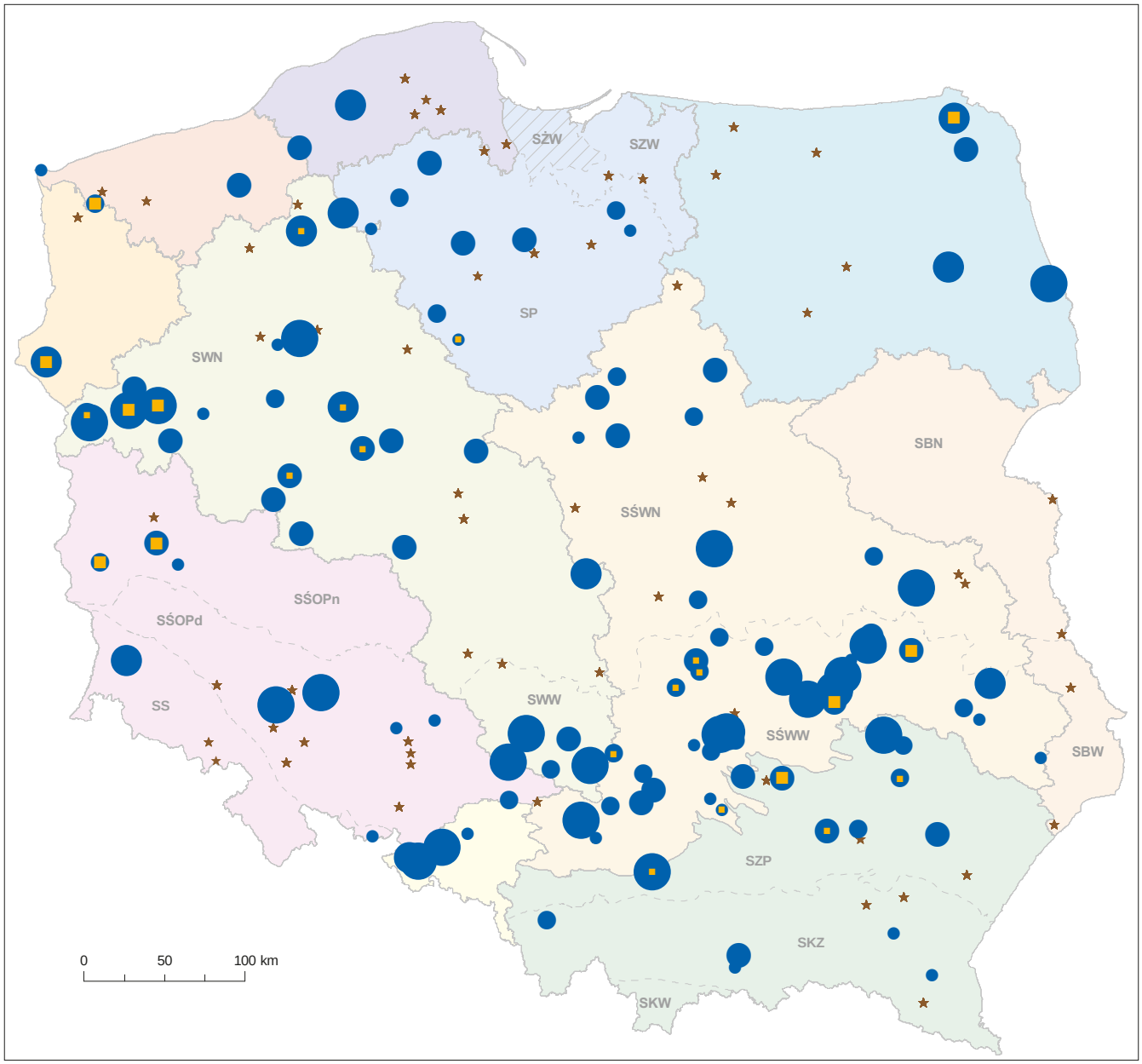


Ryc. 87. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2006 r. w punktach objętych analizą – zbiór B'' (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2007

W 2007 r. niżówkę hydrogeologiczną obserwowano w dużej liczbie punktów na prawie całym obszarze kraju. Wolna od niżówki była wschodnia część regionu wschodniopomorskiego, zachodnia część regionu Narwi, Pregoły i Niemna oraz region Bugu. Czas trwania zjawiska był zróżnicowany – od kilku tygodni do ponad roku (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2007 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głęboka niżówka występowała głównie w północnej części regionu Warty i subregionie wyżynnym środkowej Wisły.

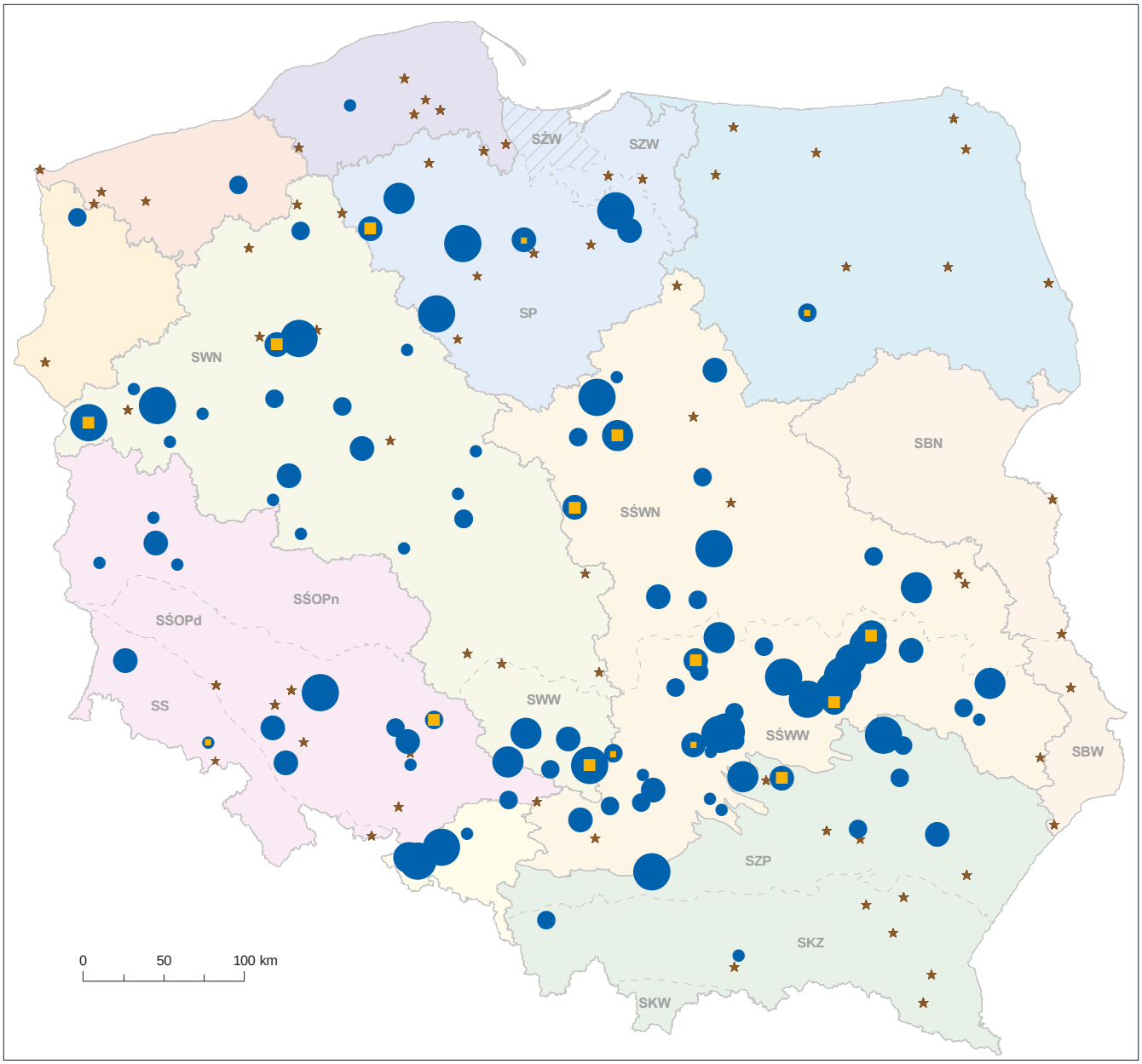


Ryc. 88. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2007 r. w punktach objętych analizą – zbiór B″ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2008

W 2008 r. zjawisko obserwowano na przeważającym obszarze kraju. Najwięcej przypadków niżówki odnotowano w regionie górnej Odry, w regionie środkowej Odry, w regionie Warty, w regionie dolnej Wisły, w regionie środkowej Wisły oraz w północnej części regionu górnej Wisły. Najsłabiej zjawisko rozwinęło się lub nie występowało w regionie dolnej Odry, w regionie wschodniopomorskim, w regionie zachodniopomorskim, w regionie Narwi, Pregoły i Niemna, w południowo-wschodniej części regionu górnej Wisły oraz w regionie Bugu.

Najwięcej punktów z głęboką niżówką odnotowano w regionie środkowej Wisły.

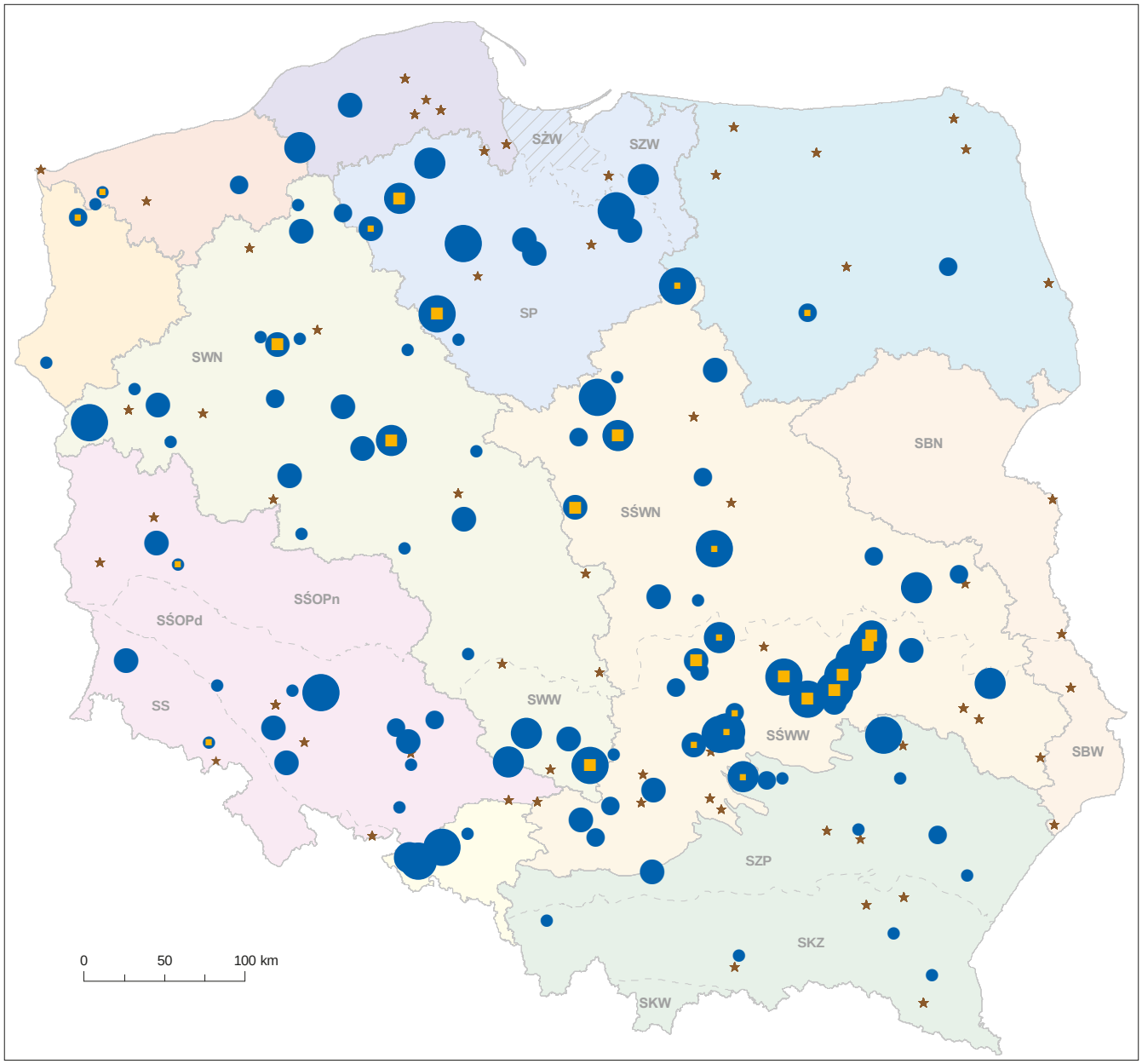


Ryc. 89. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2008 r. w punktach objętych analizą – zbiór B'' (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2009

W 2009 r. zjawisko niżówki hydrogeologicznej nadal obejmowało większą część kraju. Wolny od niżówki był tylko region Bugu. W znacznej liczbie punktów niskie stany wód utrzymywały się ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2009 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głęboka niżówka występowała głównie w regionie dolnej Wisły, w regionie środkowej Wisły oraz w regionie Warty.

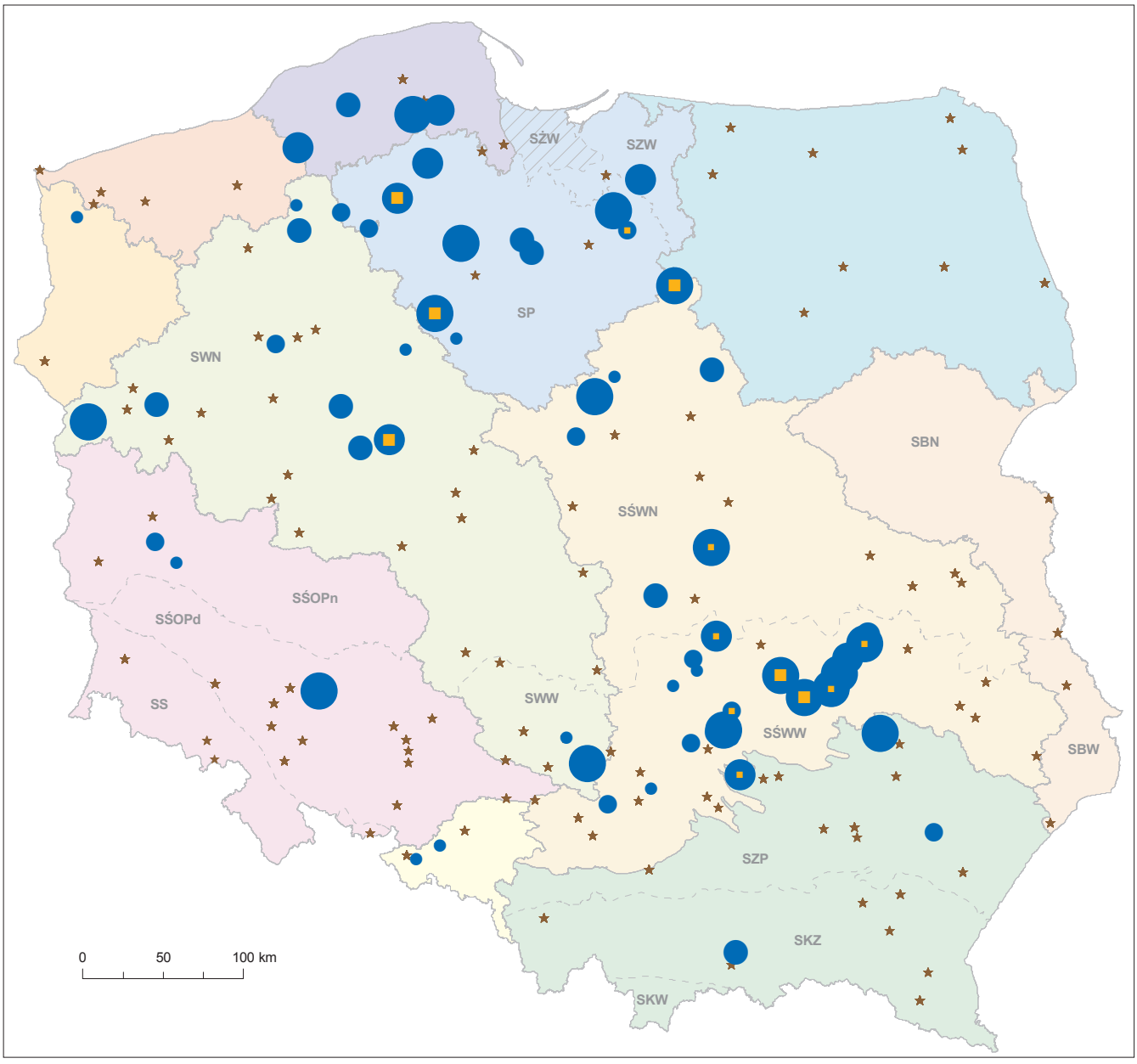


Ryc. 90. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2009 r. w punktach objętych analizą – zbiór B″ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2010

W 2010 r. znacznie zmniejszyła się liczba punktów, w których wystąpiła niżówka hydrogeologiczna. Zjawisko było obserwowane głównie w regionie wschodniopomorskim, w regionie dolnej Wisły, w regionie środkowej Wisły oraz w mniejszym stopniu w północnej części regionu Warty. W regionie górnej Odry, w regionie środkowej Odry, w regionie dolnej Odry, w południowej części regionu Warty oraz w regionie górnej Wisły niżówkę odnotowano tylko w pojedynczych punktach. Pozostałe regiony były wolne od obserwowanego zjawiska.

Głęboka niżówka występowała głównie w regionie dolnej Wisły i w regionie środkowej Wisły.

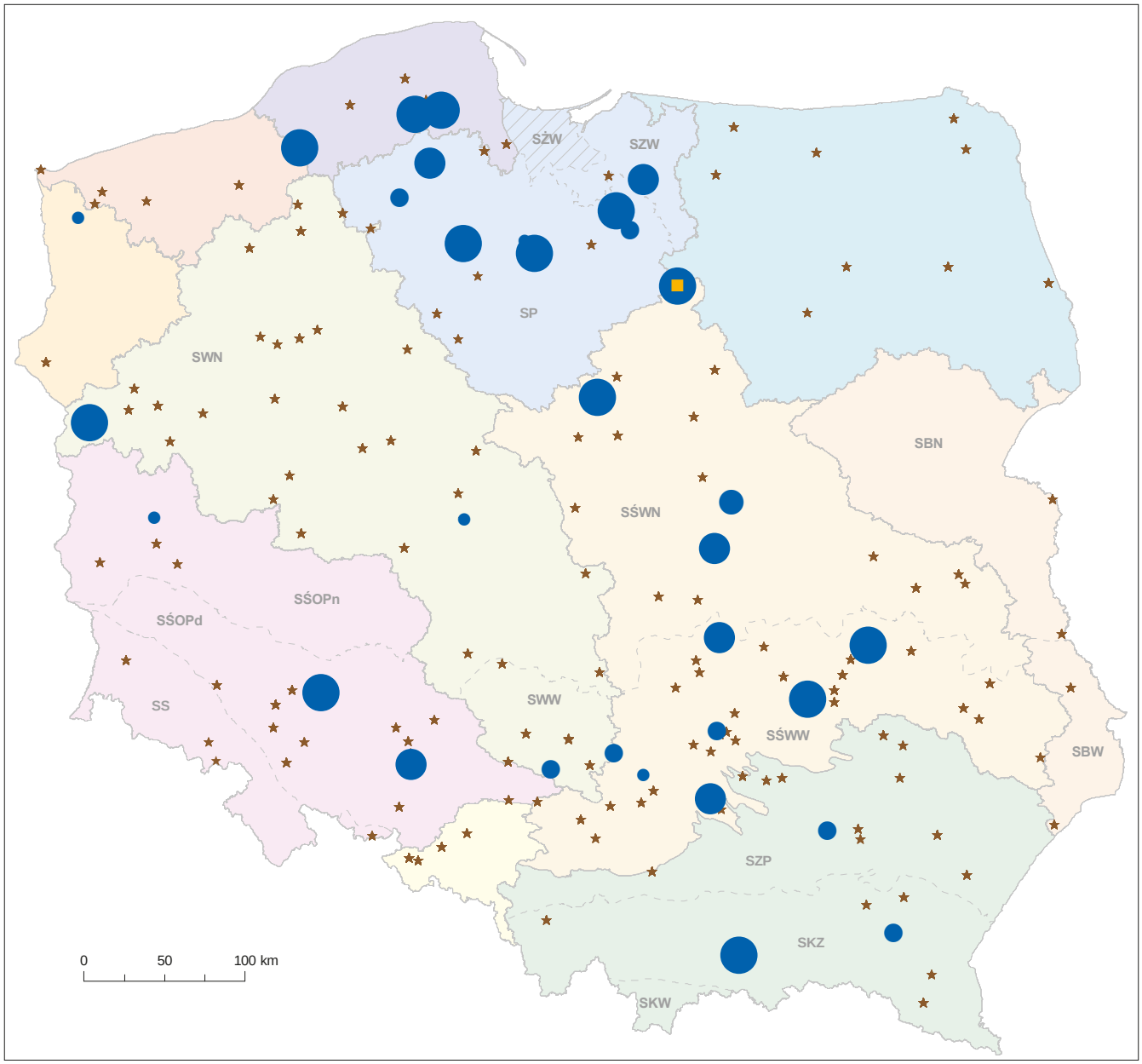


Ryc. 91. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2010 r. w punktach objętych analizą – zbiór B'' (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2011

W 2011 r. niżówka hydrogeologiczna zmniejszyła swój zasięg w stosunku do roku poprzedniego. Zjawisko było obserwowane głównie w północno-centralnej części Polski i w regionie środkowej Wisły oraz w pojedynczych punktach w regionie dolnej Odry, w regionie środkowej Odry, w regionie Warty oraz w regionie górnej Wisły. Niżówki nie odnotowano w regionie górnej Odry, w regionie zachodniopomorskim, w regionie Narwi, Pregoły i Niemna oraz w regionie Bugu.

Głęboka niżówka została odnotowana tylko w jednym punkcie w północnej części regionu środkowej Wisły.

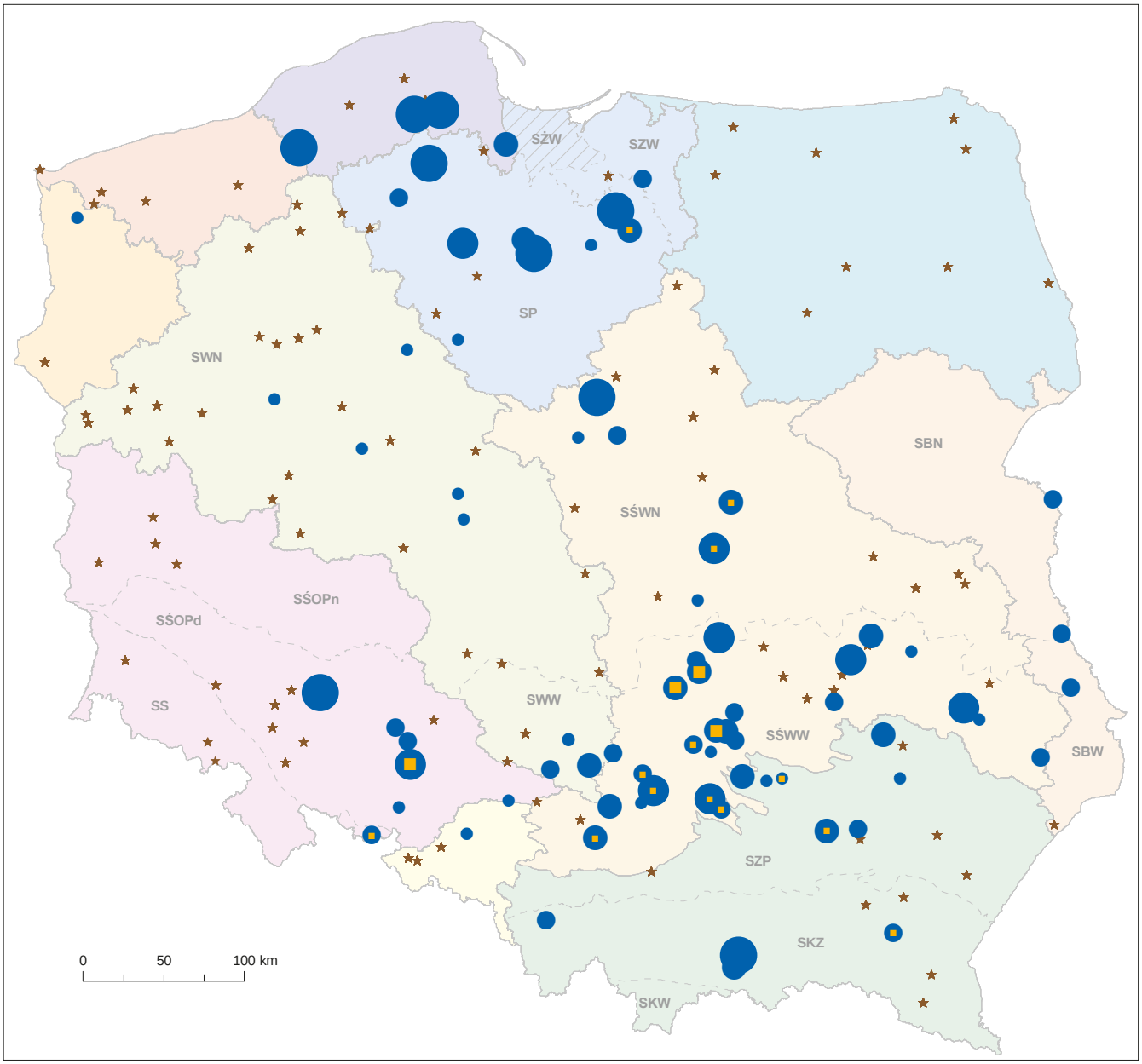


Ryc. 92. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2011 r. w punktach objętych analizą – zbiór B″ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2012

W 2012 r. niżówka hydrogeologiczna występowała głównie w regionie wschodniopomorskim, w regionie dolnej Wisły, w regionie środkowej Wisły, w regionie górnej Wisły, w regionie Bugu oraz subregionie południowym środkowej Odry. W północno-centralnej części Polski przeważały punkty, w których zjawisko trwało ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2012 lub kontynuowało się w roku następnym).

Głębokie niżówki występowały głównie w subregionie wyżynnym środkowej Wisły.

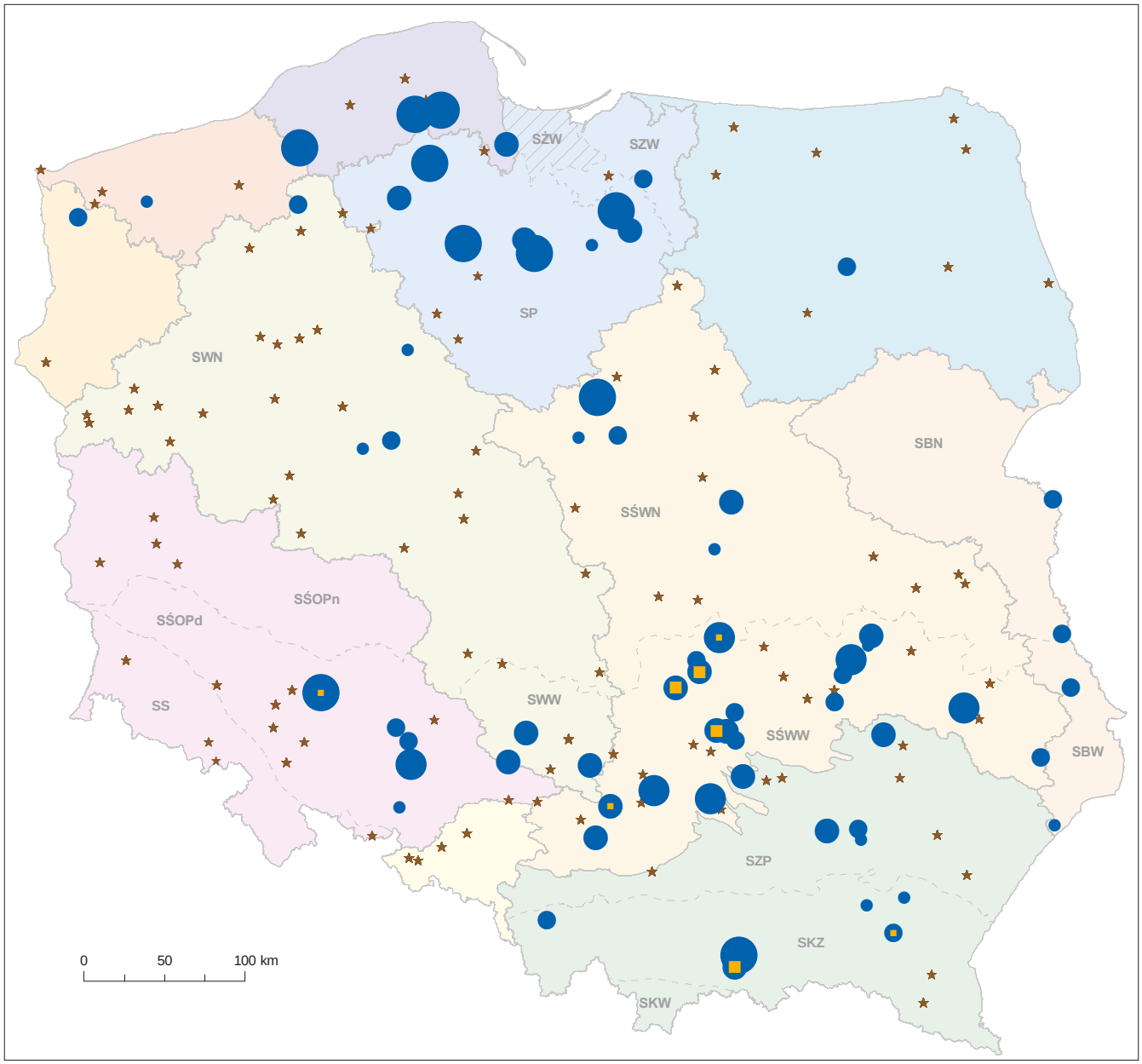


Ryc. 93. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2012 r. w punktach objętych analizą – zbiór B'' (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2013

W 2013 r. niżówka hydrogeologiczna kontynuowała się na tym samym obszarze co w roku poprzednim. W północnej Polsce przeważały punkty, w których zjawisko było obserwowane ponad rok (tzn. zjawisko zaczęło się przed rokiem 2013 lub kontynuowało się w roku następnym), natomiast w południowej części kraju czas trwania niżówki był krótszy.

Głęboką niżówkę odnotowano w 8 punktach zlokalizowanych w subregionie wyżynnym środkowej Wisły (5 punktów), subregionie południowym środkowej Odry (1 punkt) i subregionie Karpat zewnętrznych (2 punkty).

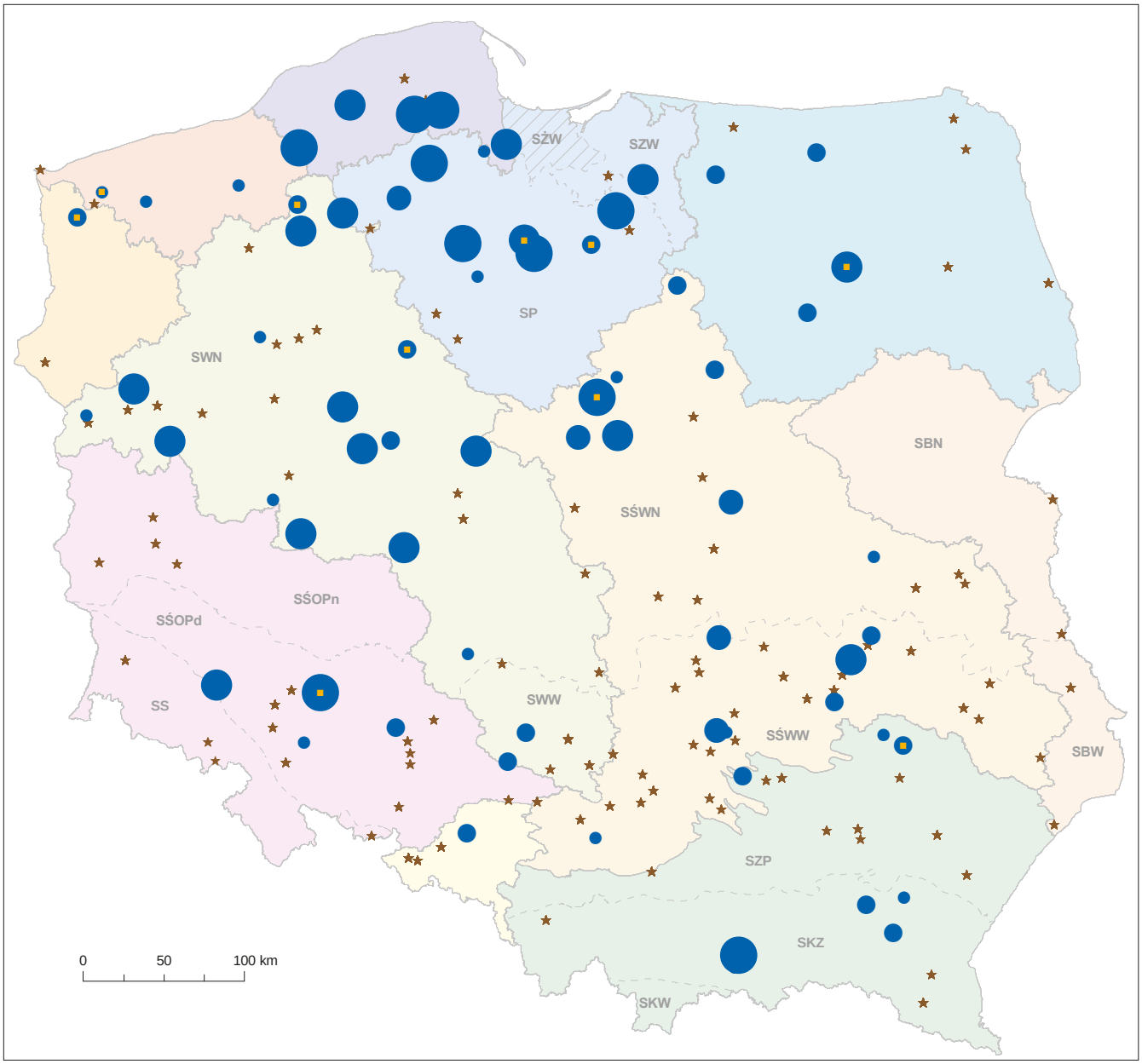


Ryc. 94. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2013 r. w punktach objętych analizą – zbiór B″ (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2014

W 2014 r. obszar występowania niżówki hydrogeologicznej uległ zmianie. Zjawiskiem tym objęta była głównie północno-zachodnia część kraju, natomiast w południowo-wschodniej Polsce niskie stany wód występowały tylko lokalnie. Niżówki nie odnotowano w regionie Bugu.

Głębokie niżówki występowały lokalnie w skali kraju i nie były dłuższe niż 3 miesiące.

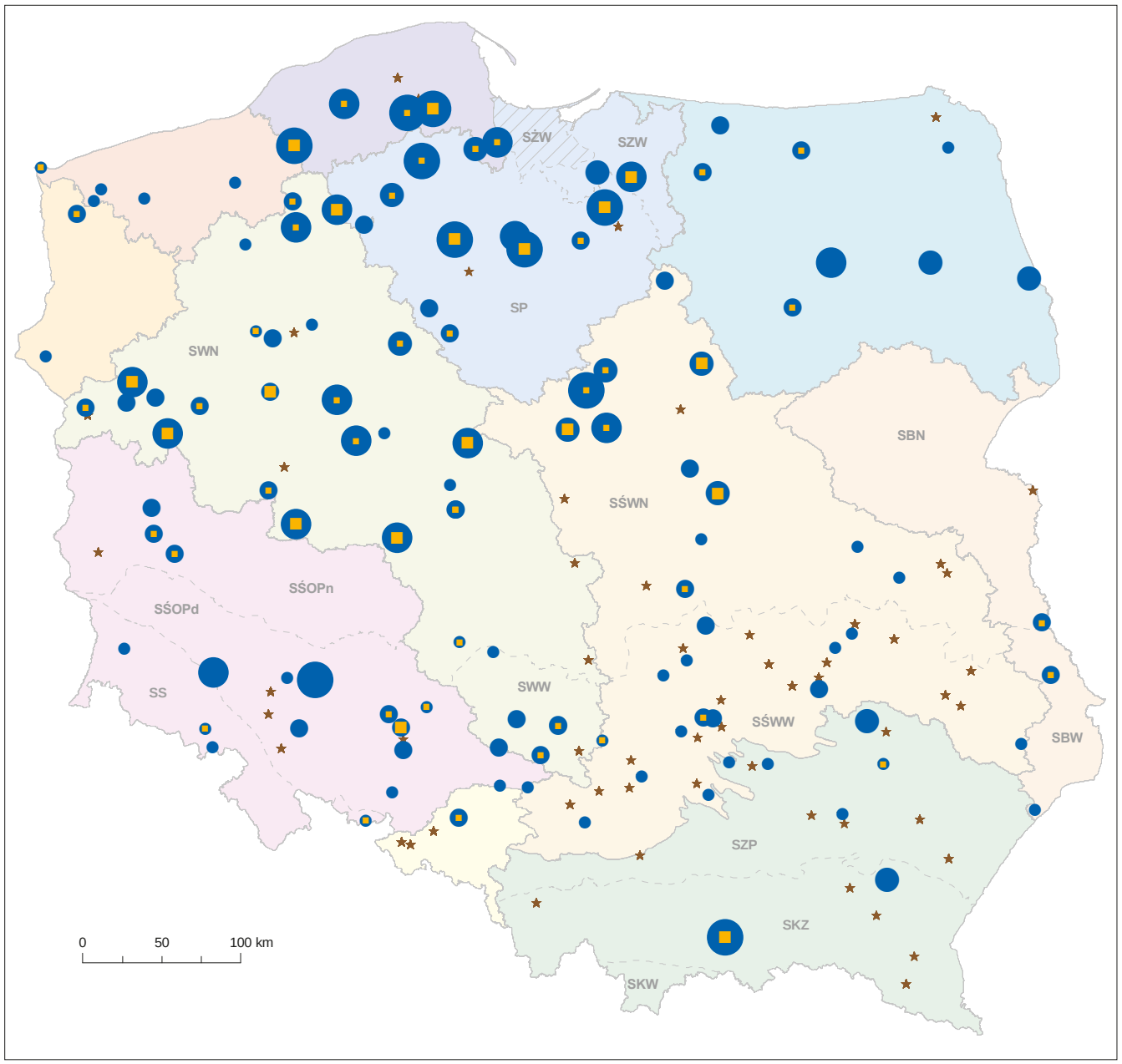


Ryc. 95. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2014 r. w punktach objętych analizą – zbiór B'' (objaśnienia na zakładce – str. 101)

Niżówki hydrogeologiczne w roku 2015

W 2015 r. zjawisko nadal rozwijało się na terenie kraju. Zdecydowanie większą liczbę przypadków niżówki odnotowano w regionie Warty, w regionie środkowej Wisły, w regionie Narwi, Pregoły i Niemna oraz w regionie środkowej Odry. Dodatkowo niskie stany wód obserwowano w regionie Bugu. W pozostałych regionach zjawisko utrzymywało się na podobnym poziomie co w roku poprzednim.

W bardzo wielu punktach, szczególnie w północno-zachodniej Polsce, odnotowano głębokie niżówki hydrogeologiczne.



Ryc. 96. Rozkład przestrzenny występowania niżówek hydrogeologicznych w 2015 r. w punktach objętych analizą – zbiór B″

Objaśnienia do rycin 27–96

Punkt obserwacyjny wód podziemnych, w którym czas trwania niżówki wynosił według metody:

SNO	percenyla rzędu 98/100 (głęboka niżówka)
>3 tygodni	>3 tygodni
>3 miesięcy	>3 miesięcy
>6 miesięcy	>6 miesięcy
>1 roku*	>1 roku
>2 lat*	

punkt obserwacyjny wód podziemnych, w którym w roku 1988 nie wystąpiła niżówka

Podział regionalny słodkich wód podziemnych:**

PROWINCJA WISŁY

region górnej Wisły

SKW - subregion Karpat wewnętrznych
SKZ - subregion Karpat zewnętrznych
SZP - subregion zapadliska przedkarpackiego

region środkowej Wisły

SŚWW - subregion wyżynny
SŚWN - subregion nizinny

region dolnej Wisły

SP - subregion pojezierny
SŻW - subregion Żuław Wiślanych
SZW - subregion Zalewu Wiślanego

region Bugu

SBW - subregion wyżynny
SBN - subregion nizinny

region Narwi, Pregoły i Niemna

PROWINCJA ODRY

region górnej Odry

region środkowej Odry

SŚOPn - subregion północny
SŚOPd - subregion południowy
SS - subregion Sudetów

region Warty

SWW - subregion wyżynny
SWN - subregion nizinny

region dolnej Odry

PROWINCJA WYBRZEŻA I POBRZEŻA BAŁTYKU

region wschodniopomorski

region zachodniopomorski

granica subregionów hydrogeologicznych**

region lub subregion hydrogeologiczny, w którym brak punktów obserwacyjnych spełniających kryteria analizy

** Przy identyfikacji niżówek trwających dłużej niż 1 rok (lub 2 lata) uwzględniano zarówno rok poprzedzający rok rozpatrywany, jak i rok po nim następujący.*

*** Według Sadurskiego, Paczyńskiego, 2007.*

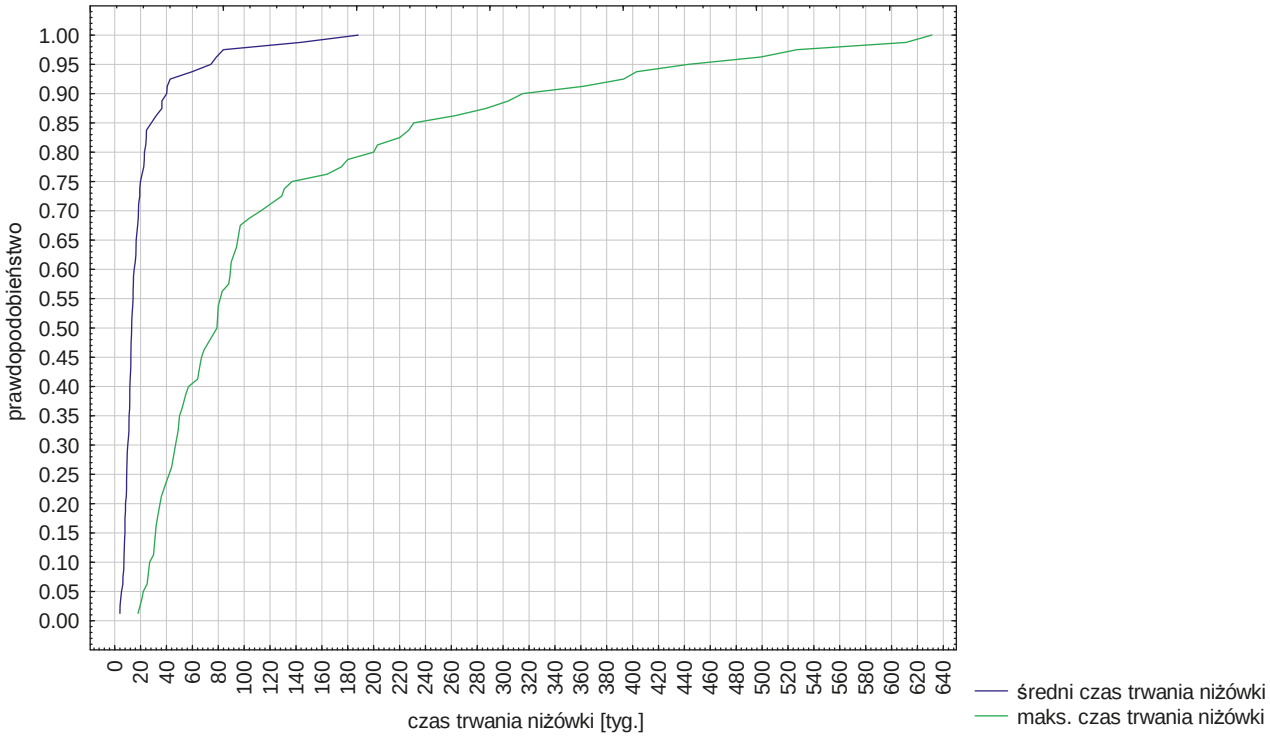
CZAS TRWANIA NIŻÓWEK

Analizę długości trwania niżówki przeprowadzono na podstawie wyliczonych dla każdego punktu dwóch parametrów – średniego i maksymalnego czasu trwania zjawiska. Czas trwania niżówki, na co zwracano już uwagę w rozdziałach poprzednich, jest wielkością zależną od przyjętego sposobu jej wyznaczania. Dlatego dwie metody zastosowane w pracy dały różne rezultaty. Poniżej opisano wyniki uzyskane dla metody SNO, następnie dla metody percentyla rzędu 98/100.

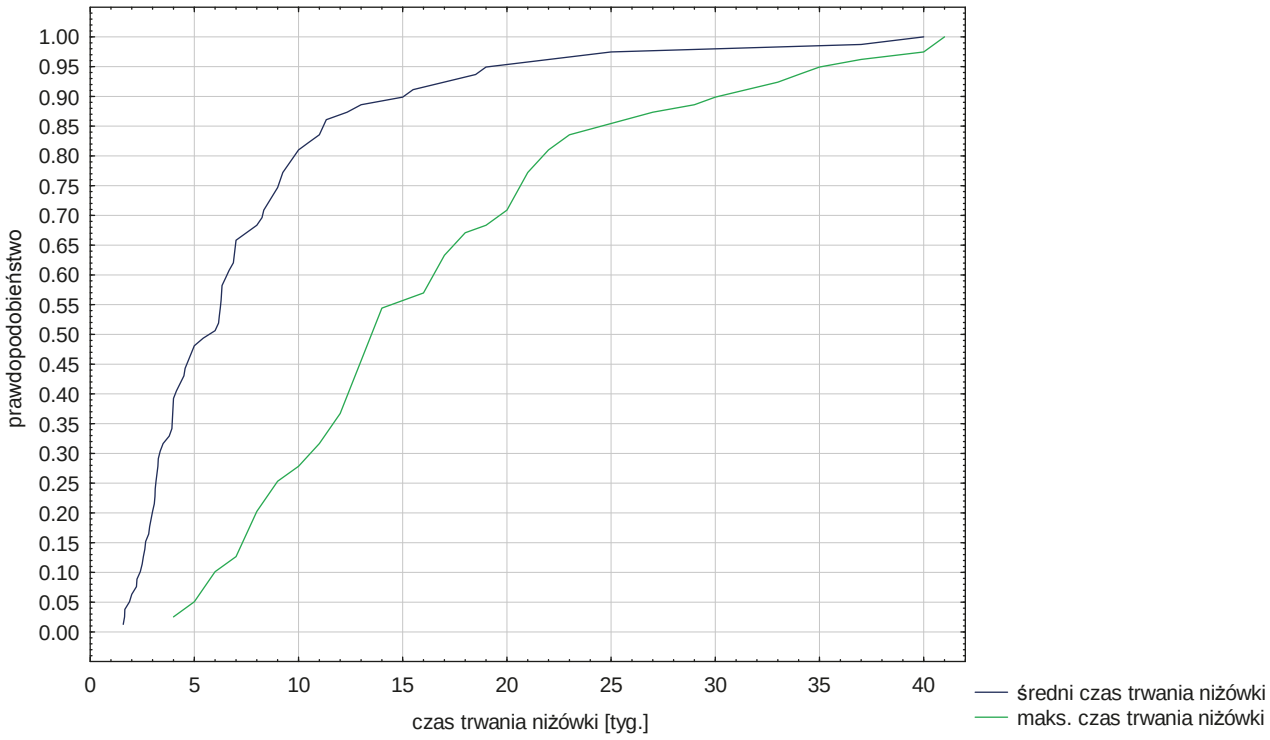
Dla wartości progowej zjawiska, ustalonej na poziomie SNO, średni czas trwania niżówki w zbiorze A to najczęściej 13 tygodni (mediana wartości średniej ze wszystkich punktów). Średni czas trwania niżówki wyliczony na podstawie wartości średnich ze wszystkich punktów wyniósł 21 tygodni. Przy czym rozrzut wartości tego parametru w zależności od punktu obserwacyjnego zawierał się w przedziale od 4 do 188 tygodni. Wartość mediany czasu trwania niżówki wskazuje natomiast, że w badanym 35-leciu trwała ona najczęściej 4 tygodnie. Oznacza to, że najwięcej było niżówek krótkotrwałych (zgodnie z metodyką pracy niżówką określa się zdarzenie trwające dłużej niż 3 tygodnie), związanych ze zmianami sezonowymi stanów wód podziemnych. Ogólną regułą w rozkładzie dwóch analizowanych parametrów jest znaczne zmniejszanie się liczebności obserwowanych niżówek wraz z wydłużaniem się czasu ich trwania. Na wykresach (ryc. 97 i 98) przedstawiono dystrybuanty empirycznego rozkładu średniego i maksymalnego czasu trwania niżówki dla zbioru A. Widać na nich, że liczony z całego 35-lecia średni czas niżówki dla niewielu z 80 punktów przekraczał 20 tygodni, natomiast maksymalny czas trwania zjawiska dla większości punktów wynosił mniej niż 2 lata. Można jednocześnie zauważyć, że w pewnych przypadkach był on znacznie dłuższy i w 12 z spośród 80 przekraczał 5 lat. Jeśli przyjąć, że analizowane punkty monitoringowe odzwierciedlają wyłącznie naturalne wahania zwierciadła wody, długi czas niżówek trwających klika lat ewidentnie świadczy, że uwarunkowane one były zmiennością wieloletnią stanów wód podziemnych. Nie można jednak wykluczyć, że w niektórych przypadkach szczególnie długie okresy niskich stanów wód mogły być w pewnym stopniu wywołane antropopresją. Najdłuższe zaobserwowane czasy trwania niżówki wynosiły ok. 12 lat. Zostały one odnotowane w dwóch punktach obserwacyjnych (nr II/281/1 – maksymalny czas trwania niżówki: 631 tygodni; nr II/368/1 – maksymalny czas trwania niżówki: 611 tygodni). Jeden z nich (II/281/1) znajduje się w bliskim sąsiedztwie zidentyfikowanego w pierwszym poziomie wodonośnym regionalnego leja depresji Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów. W tym przypadku, działalność górnicza mogła znacząco wpłynąć na czas utrzymywania się niskich stanów wód. Ponadto, analizując długi czas trwania niżówki (252 tygodni) w innym punkcie (nr II/557/1) ustalono, że znajduje się on w peryferyjnej części leja depresji ujęcia Starachowice (Warstwy informacyjne „pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika" Map hydrogeologicznych Polski w skali 1 : 50 000). Należy jednak stwierdzić, poza przytoczonymi dwoma przypadkami, że w przeważającej większości punktów o kilkuletnich czasach trwaniach niżówki, nie ustalono bezpośredniego wpływu działalności człowieka na reżim wód podziemnych. Nie można go jednak całkowicie wykluczyć. Warto przy tej okazji zwrócić uwagę na to, że ocena naturalnego charakteru przebiegu długich (kilkunastoletnich czy nawet kilkudziesięcioletnich) cykli wahań zwierciadła wód podziemnych jest trudna. Wynika to z względnie krótkich ciągów obserwacji i ich nieregularnego okresu w kolejnych fazach, jak również w całych cyklach.

Mimo że analizą objęto różnej długości wielolecia, wyniki uzyskane dla zbiorów B″ metodą SNO dotyczące średniego czasu trwania zjawiska są bardzo zbliżone do wyników uzyskanych dla zbioru A. Obrazuje to bardzo dobrze rycina 99 i niemalże pokrywające się dystrybuanty zbiorów A i B″. Natomiast w zbiorze B′ wartości są nieco inne. Średnia czasu trwania niżówki ze wszystkich punktów tego zbioru jest niższa niż w przypadku zbiorów A oraz B″ i wyniosła 12 tygodni, a najwyższa zanotowana wartość to 246 tygodni. Wartości maksymalnego czasu trwania niżówki są najniższe w zbiorze B′. Może to świadczyć o tym, że wielolecie 1981–1995 charakteryzowało się ogólnie krótszymi niżówkami niż okres następnych 20 lat. Podobne wyniki empirycznych rozkładów średniego czasu niżówki w zbiorach B″ i A zdają się potwierdzać ten wniosek. Przyczyna może wynikać również z różnej charakterystyki punktów tworzących te zbiory, jak i z subtelnych różnic w wartości SNO wyliczanych dla różnych wieloleci. W tym miejscu warto zwrócić uwagę, że zbiór B′, w przeciwieństwie do pozostałych analizowanych zbiorów, składa się głównie z posterunków IMGW, z których wiele zlokalizowanych było w dolinach rzecznych. Z pewnością wśród nich były również i takie punkty, w których obserwowany reżim płytkich wód podziemnych był pod silnym wpływem stanów wód powierzchniowych. Dotyczy to szczególnie posterunków usytuowanych w bliskim sąsiedztwie dużych rzek. Tym samym oddziaływanie wód powierzchniowych wpływało na długość okresu niżówki w punktach obserwacyjnych płytkich wód podziemnych znajdujących się w strefach oddziaływania rzek.

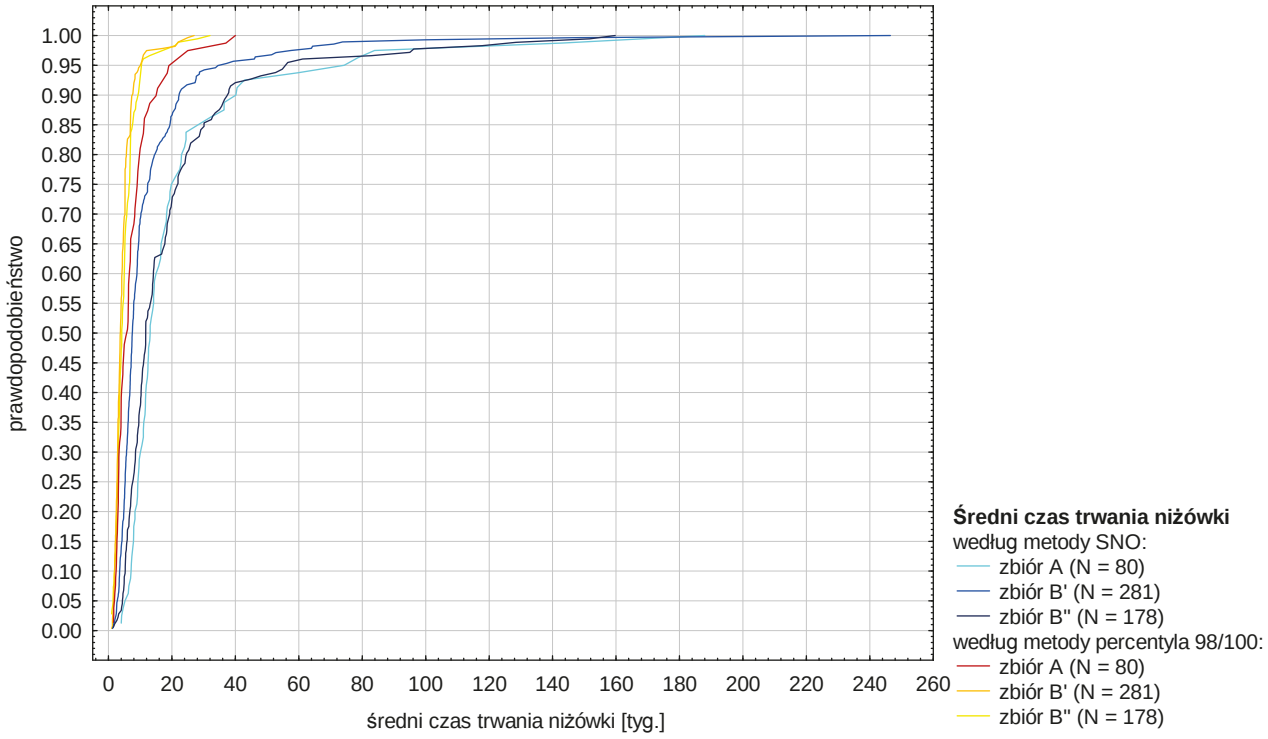
Jeżeli chodzi o wyniki uzyskane drugą analizowaną w pracy metodą, należy mieć na uwadze, że zjawiska wyłonione na podstawie percentyla rzędu 98/100 można utożsamić z ekstremalnie niskimi stanami wód podziemnych badanego systemu wodonośnego. Jest to znacznie ostrzejsze kryterium niż SNO. Nie dziwi więc fakt, że niżówki wyznaczone tym sposobem trwają znacznie krócej i zdarzają się rzadziej. Na podstawie analizy punktów ze zbioru A stwierdzono, że średni czas trwania niżówki w zależności od punktu obserwacyjnego zawierał się w przedziale od 4 do 40 tygodni, przy czym średnia dla całego zbioru wyniosła 8 tygodni. Najczęściej powtarzającą się wartością było 6 tygodni. Na wykresach przedstawiono empiryczne dystrybuanty rozkładu średniego i maksymalnego czasu trwania niżówki dla zbioru A, wyznaczone na podstawie percentyla rzędu 98/100 (ryc. 99 i 100). Z przedstawionych wykresów wynika, że dla większości punktów średni czas



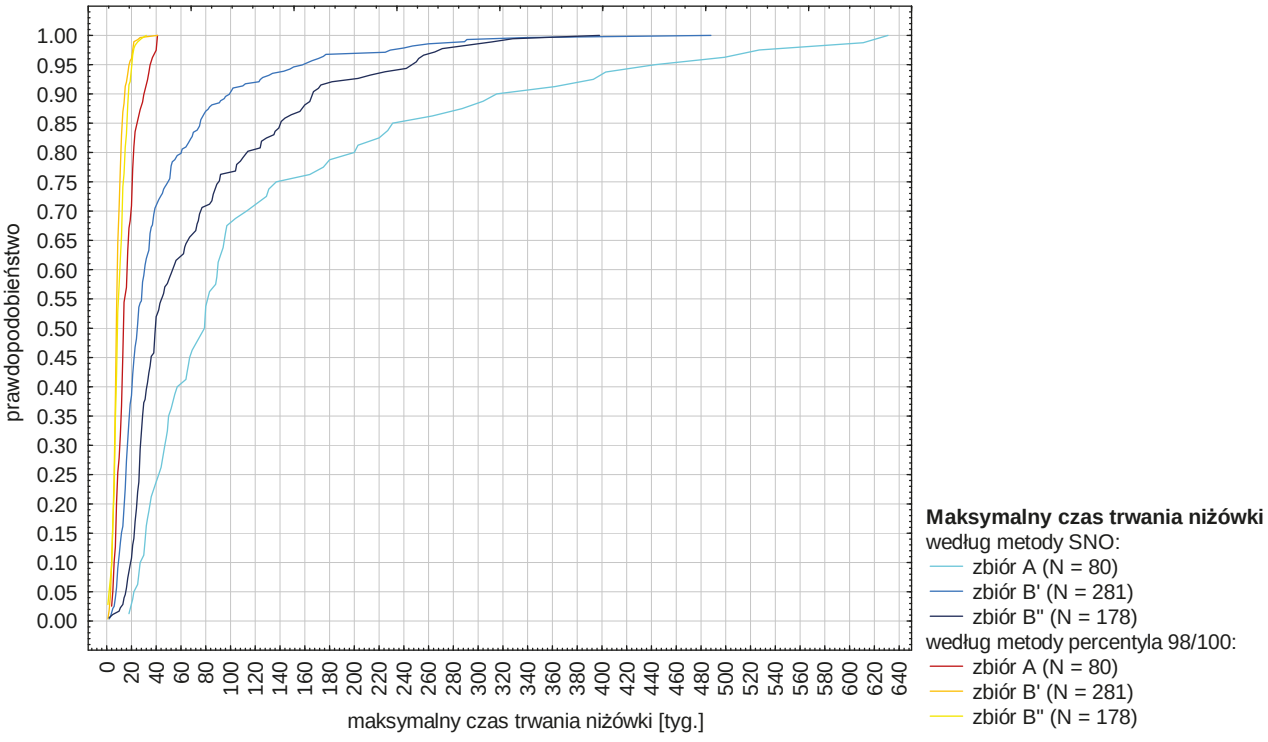
Ryc. 97. Empiryczna dystrybuanta rozkładu średniego i maksymalnego czasu trwania niżówki na podstawie analizy zbioru A według metody SNO



Ryc. 98. Empiryczna dystrybuanta rozkładu średniego i maksymalnego czasu trwania niżówki na podstawie analizy zbioru A według metody percentyla rzędu 98/100



Ryc. 99. Empiryczna dystrybuanta rozkładu średniego czasu trwania niżówki – zestawienie wyników dla trzech zbiorów A, B′ i B″



Ryc. 100. Empiryczna dystrybuanta rozkładu maksymalnego czasu trwania niżówki – zestawienie wyników dla trzech zbiorów A, B′ i B″

trwania niżówki nie przekracza 10 tygodni. Z kolei maksymalny czas jej trwania tylko w nielicznych przypadkach wynosi więcej niż 30 tygodni, a dla całego zbioru średnio jest równy 17 tygodniom. Najdłuższa niżówka trwała 41 tygodni.

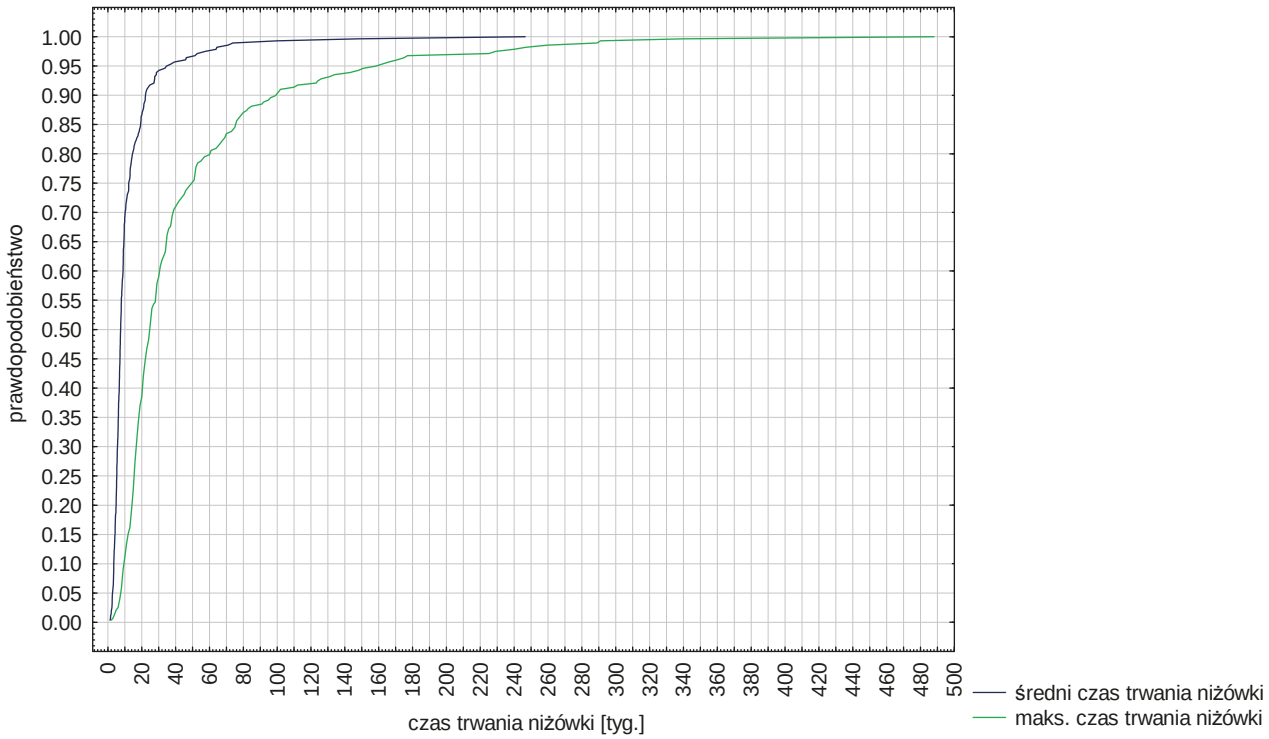
Wartości badanych parametrów wyliczone dla zbiorów B′ i B″ są nieco niższe niż dla zbioru A. Przypuszcza się, że jest to przede wszystkim efekt dłuższego okresu objętego badaniami w zbiorze A i mniejszej liczby zdarzeń „przerwanych" końcem okresu analizy. Wykresy dystrybuant zarówno średniego, jak i maksymalnego czasu trwania niżówki we wszystkich 3 zbiorach są jednak do siebie zbliżone (ryc. 99 i 100). Mimo że zbiory B′ i B″ obejmują różne wielolecia i składają się z różnych zbiorów punktów, to ich dystrybuanty niemalże się pokrywają. Świadczyć to może o tym, że zarówno w wieloleciu 1981–1995, jak i 1996–2015 czas trwania głębokich niżówek kształtował się podobnie. W zbiorze B′ i B″ średnia wartość długości niżówki policzona jako średnia dla wszystkich punktów wyniosła 5 tygodni i rzadko przekraczała 7 tygodni (75% punktów miało w przypadku obu zbiorów wartość niższą). Natomiast średni maksymalny czasy trwania zjawiska w zbiorze B″ wynosił 10 tygodni, a w zbiorze B′ był o jeden tydzień krótszy. Z kolei w zbiorze B′ najdłuższa niżówka trwała 41 tygodni, a w zbiorze B″ – 32 tygodnie.

Czasy trwania niżówek wyliczone na podstawie metody percentyla 98/100 są zdecydowanie krótsze niż odpowiadające im wartości obliczone metodą SNO. Ponadto, występują znacznie mniejsze różnice miedzy wartościami średnimi a maksymalnymi w analizowanych zbiorach w porównaniu z metodą SNO (ryc. 97–98, 101–104).

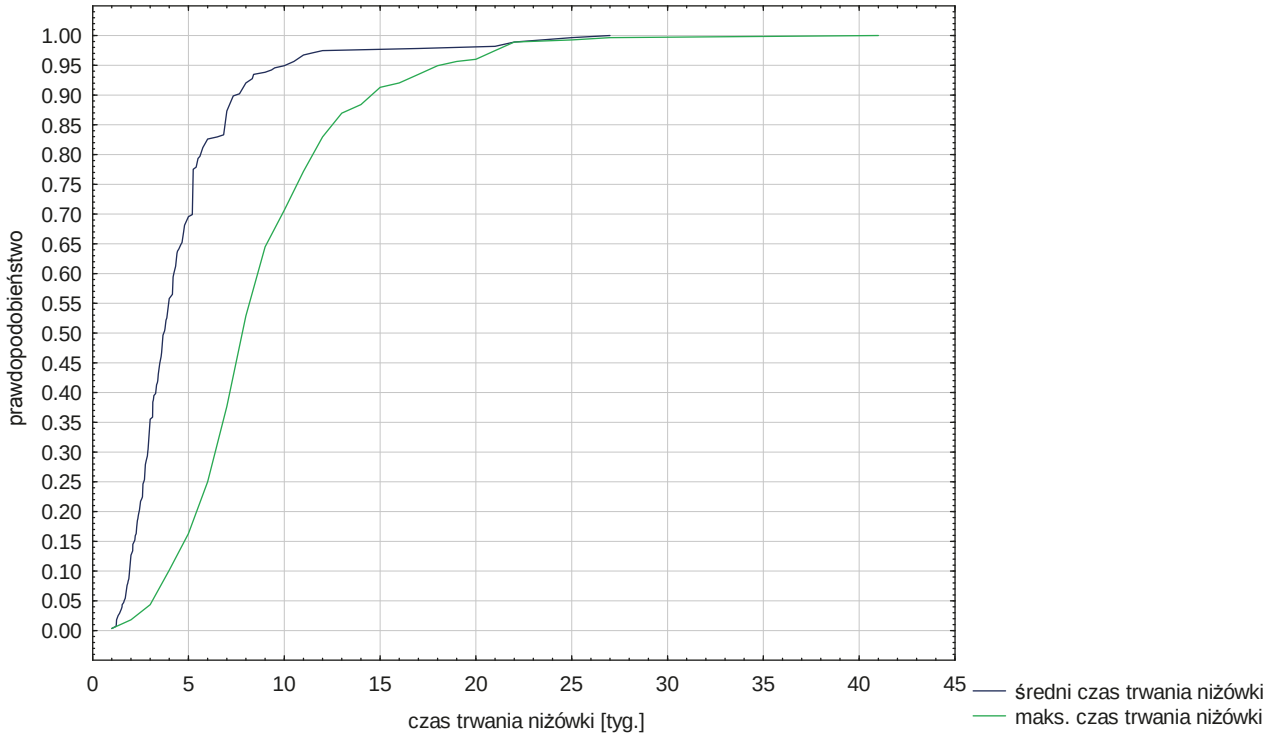
Czasy trwania niżówek liczone były przez Tarka i Staśko (2010) dla obszaru Sudetów. Autorzy analizowali wielolecie 1985–2007. Przy zastosowaniu wartości granicznej niżówki, równej średniemu niskiemu stanowi zwierciadła wody z okresu wielolecia (według oznaczeń przyjętych w tej pracy jako SNO), dla analizowanych płytkich poziomów wodonośnych podano następujące wyniki: przeciętny czas trwania niżówek 60–120 dni (co odpowiada ok. 9–17 tygodniom) i maksymalny czas trwania niżówek: 90–120 dni (czyli ok. 13–17 tygodni). Zgodnie z ryciną 99 (wykresy niebieskie obrazujące wyniki metody SNO) wartości te zawierają się w przedziale najczęściej osiąganych czasów trwania niżówek w skali kraju.

Na mapach przedstawiono punkty na podstawie analizowanych zbiorów: A (ryc. 105), B′ (ryc. 106) i B″ (ryc. 107) w podziale na klasy względem długości maksymalnego czasu trwania niżówek.

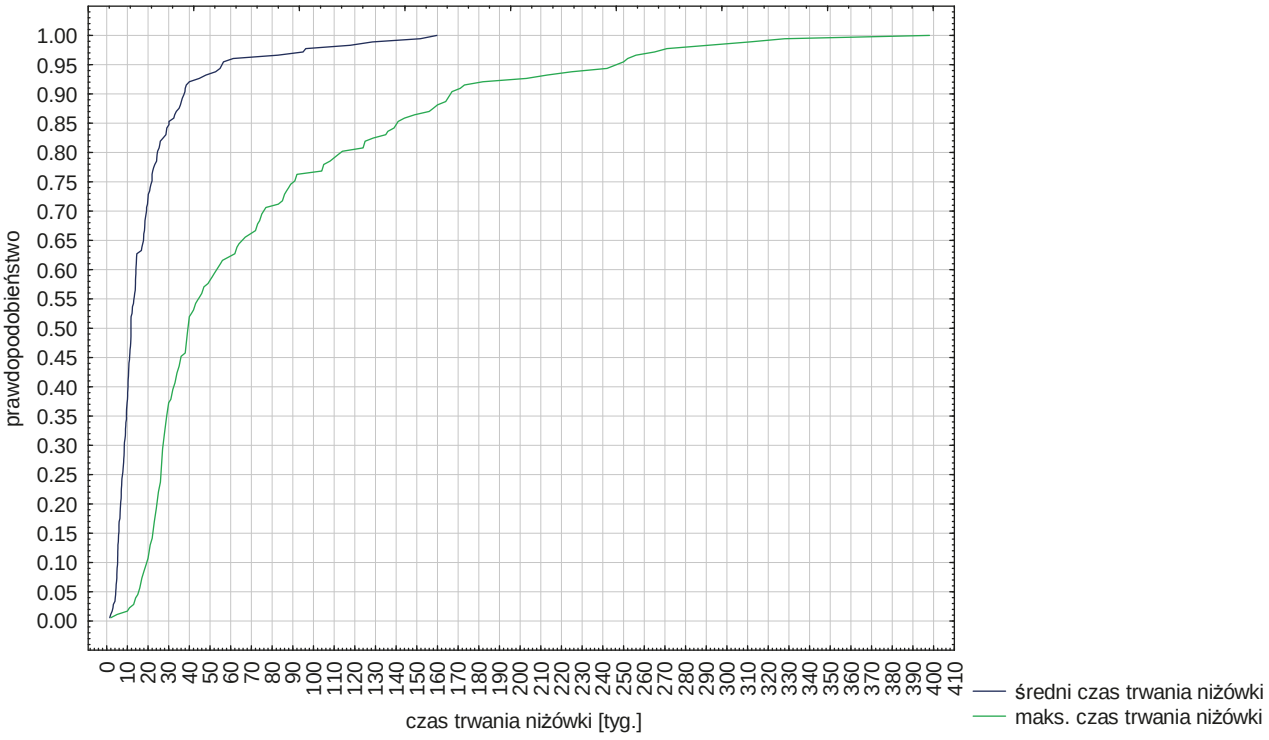
Lokalizacje punktów, w których dochodziło do najdłuższych niżówek hydrogeologicznych nie nawiązują bezpośrednio do położenia obszarów występowania hydrologicznych niżówek letnio-jesiennych o najdłuższych czasach trwania wyznaczonych na podstawie badań dla wielolecia 1951–2000 (Kępińska-Kasprzak 2015). Wynika to z faktu, że zjawisko niżówki hydrogeologicznej ustępuje o wiele wolniej niż niskie stany w rzekach. Wysoka autokorelacja niskich stanów wód podziemnych (Kowalczyk i in., 2015) sprawia, że dalszy rozwój zjawiska suszy w wodach podziemnych przebiega w sposób zdecydowanie mniej skorelowany z bieżącymi warunkami meteorologicznymi niż ma to miejsce w przypadku wód powierzchniowych.



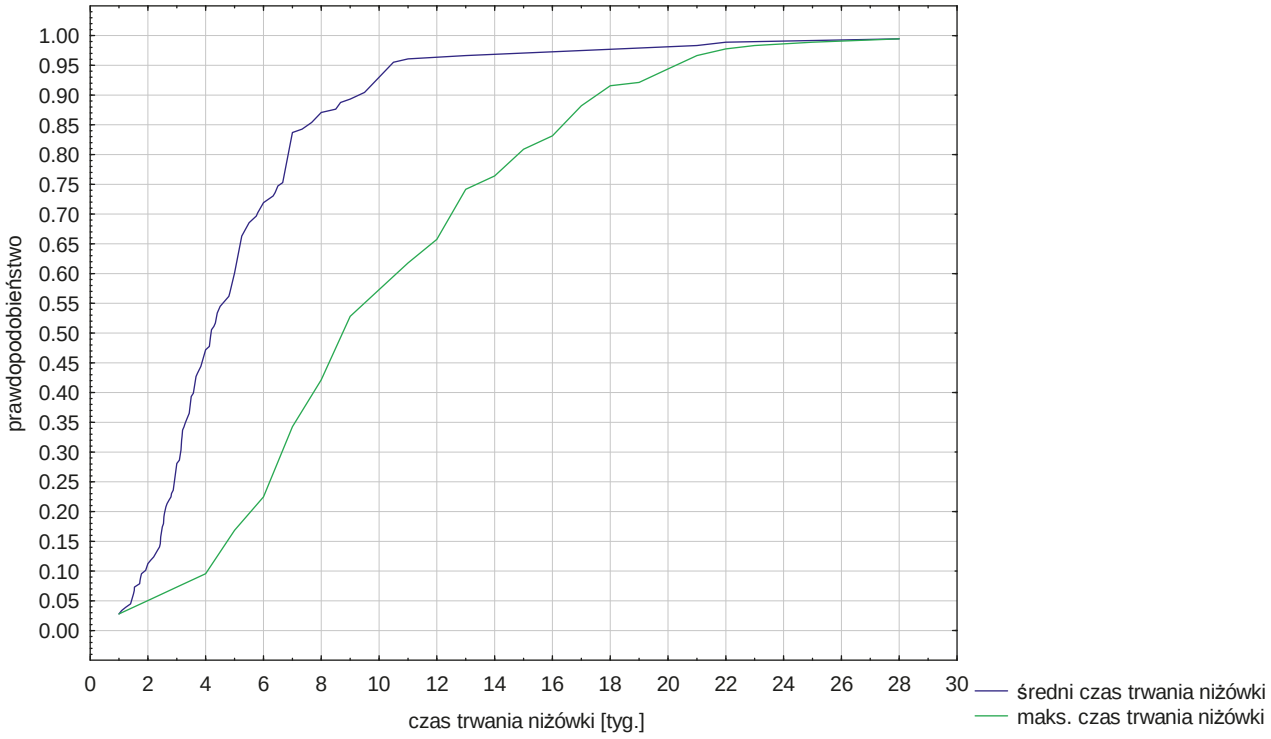
Ryc. 101. Empiryczna dystrybuanta rozkładu średniego i maksymalnego czasu trwania niżówki na podstawie analizy zbioru B′ według metody SNO



Ryc. 102. Empiryczna dystrybuanta rozkładu średniego i maksymalnego czasu trwania niżówki na podstawie analizy zbioru B′ według percentyla rzędu 98/100



Ryc. 103. Empiryczna dystrybuanta rozkładu średniego i maksymalnego czasu trwania niżówki na podstawie analizy zbioru B″ według metody SNO



Ryc. 104. Empiryczna dystrybuanta rozkładu średniego i maksymalnego czasu trwania niżówki na podstawie analizy zbioru B″ według metody percentyla rzędu 98/100

OBSZARY O NAJDŁUŻSZYM CZASIE TRWANIA NIŻÓWEK

Na rycinie 108 zaznaczono obszary, na których wystąpiły niżówki hydrogeologiczne o najdłuższym czasie trwania w badanym wieloleciu 1981–2015. Zlokalizowane są one w subregionie wyżynnym Warty, w regionie środkowej Wisły oraz w regionie górnej Odry. Informację na mapie przedstawiono na bazie wyników badań z trzech zbiorów punktów A, B′ i B″.

Należy zwrócić uwagę, że obraz uzyskany na podstawie analizy danego 35-lecia nie musi być uniwersalny dla innych wieloleci. Tym niemniej wyróżnione obszary należy rozmieć jako te o wysokiej predyspozycji do długo utrzymujących się niskich stanów wód podziemnych.

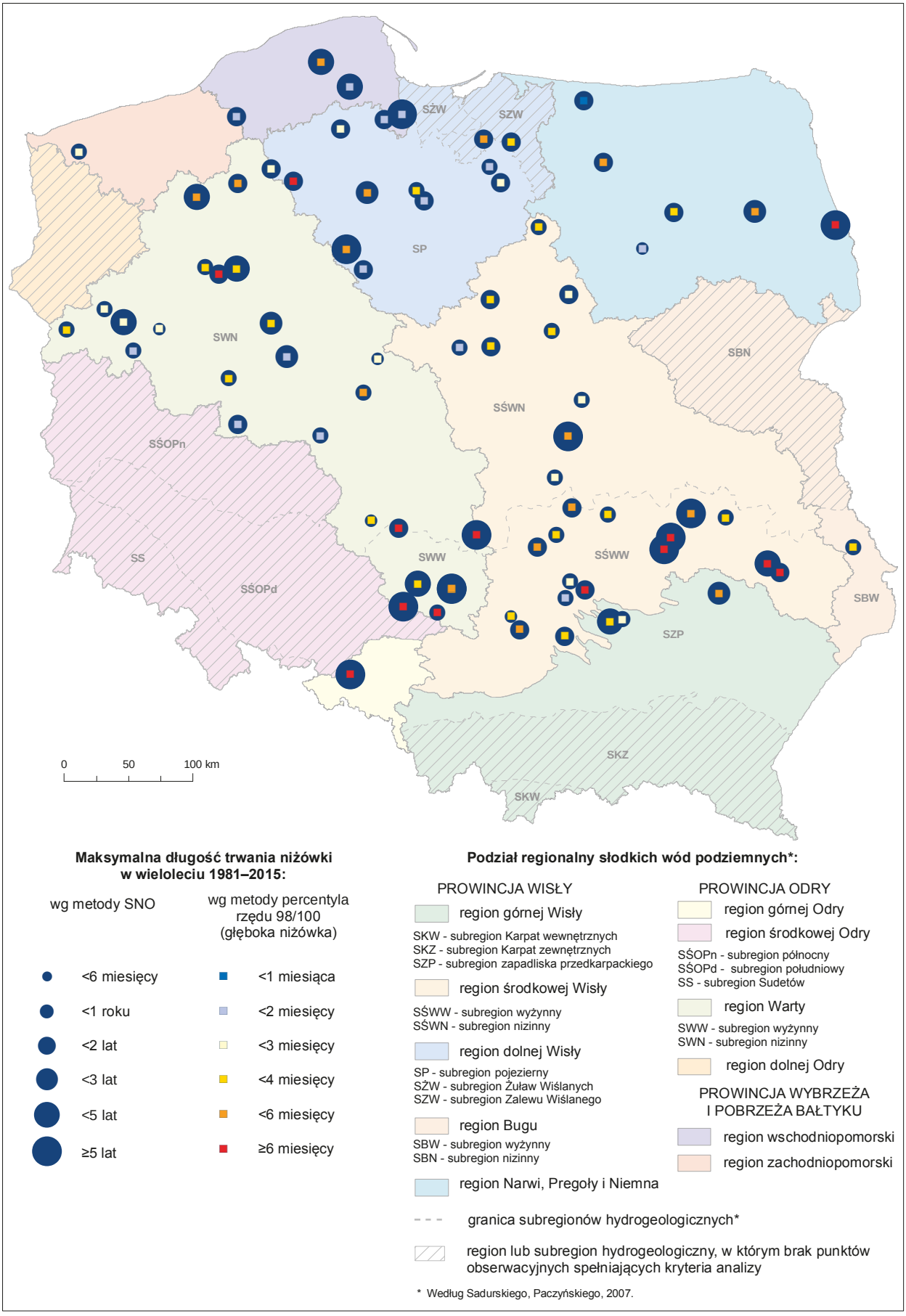
SEZONOWOŚĆ ZJAWISKA

Zgodnie z tym, co napisano w rozdziale poprzednim, krótkotrwałe, przemijające obniżenia zwierciadła wód, określane jako niżówki, są zjawiskiem sezonowym. Także czas rozpoczęcia i zakończenia długich niżówek zdeterminowany jest w wielu przypadkach porą roku.

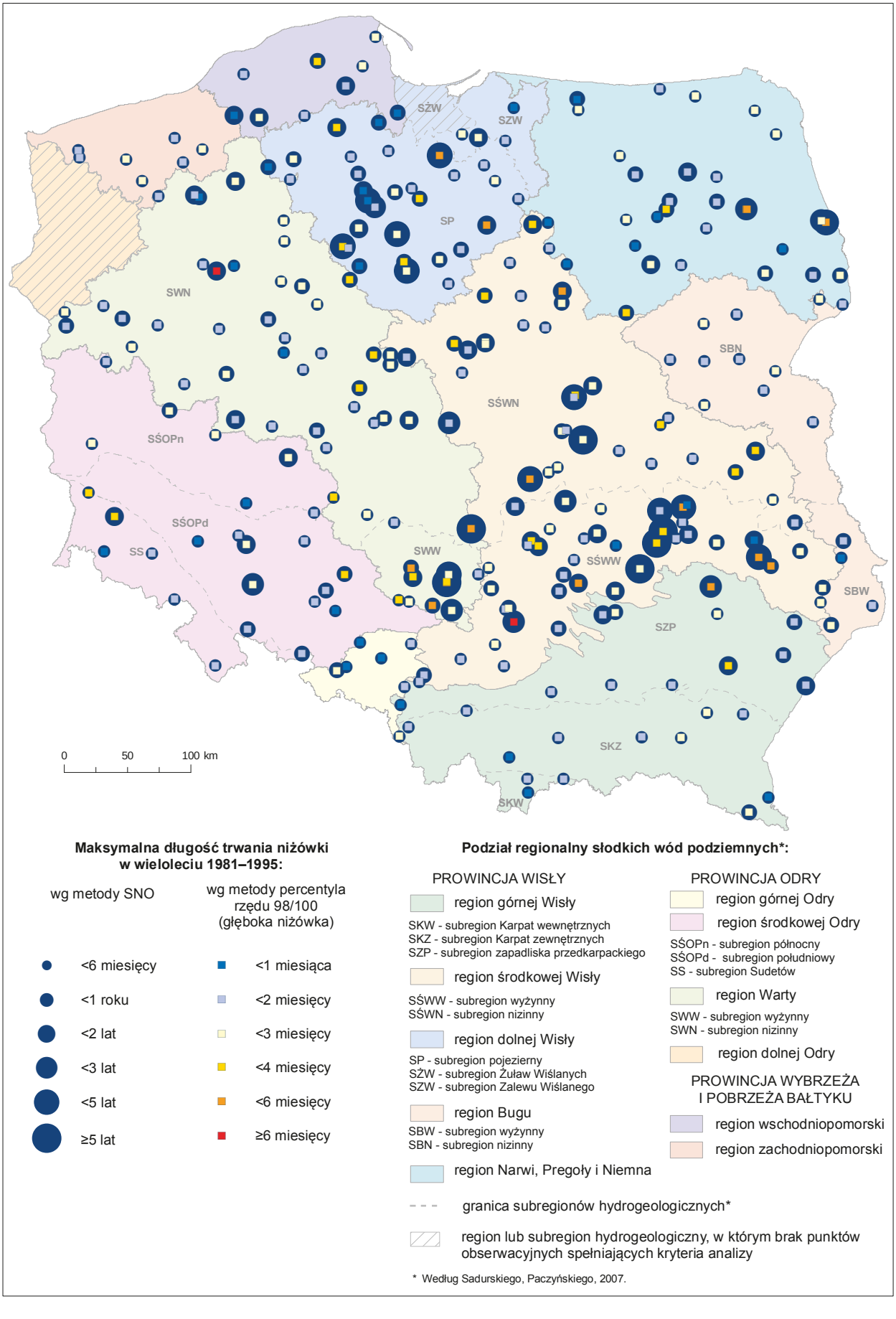
W pracy zbadano sezonowy rozkład niżówek wyznaczonych na podstawie dwóch przyjętych metod. Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci histogramów dla każdego z trzech zbiorów: A, B′ i B″ (ryc. 109). Na podstawie wykresów przeanalizowano jednoimienne miesiące roku w zależności od trzech parametrów: występowania zjawiska, jego początku i ustąpienia.

Według metody SNO, w przypadku wszystkich trzech analizowanych zbiorów (A, B′ i B″), miesiącem, w którym najczęściej występują niżówki, jest październik. Następnymi miesiącami w zbiorach A i B′ są kolejno: listopad, wrzesień, grudzień, sierpień, styczeń, luty, lipiec, marzec, czerwiec, kwiecień i maj. W przypadku zbioru B″ kolejność jest tylko nieznacznie inna, bowiem wrzesień wyprzedza listopad. To podobieństwo występujące we wszystkich analizowanych zbiorach, mimo tego, że zbiory różnią się między sobą okresem wielolecia i punktami objętymi analizą, wskazuje jak bardzo silną i charakterystyczną cechą badanego zjawiska jest jego sezonowość. Zwraca uwagę, że na pierwszych czterech miejscach są miesiące jesienne, dopiero piąty w kolejności jest sierpień, następnie są dwa miesiące zimowe i znów letni lipiec, następnie wiosenny marzec, potem znów letni czerwiec, a na samym końcu wiosenne kwiecień i maj.

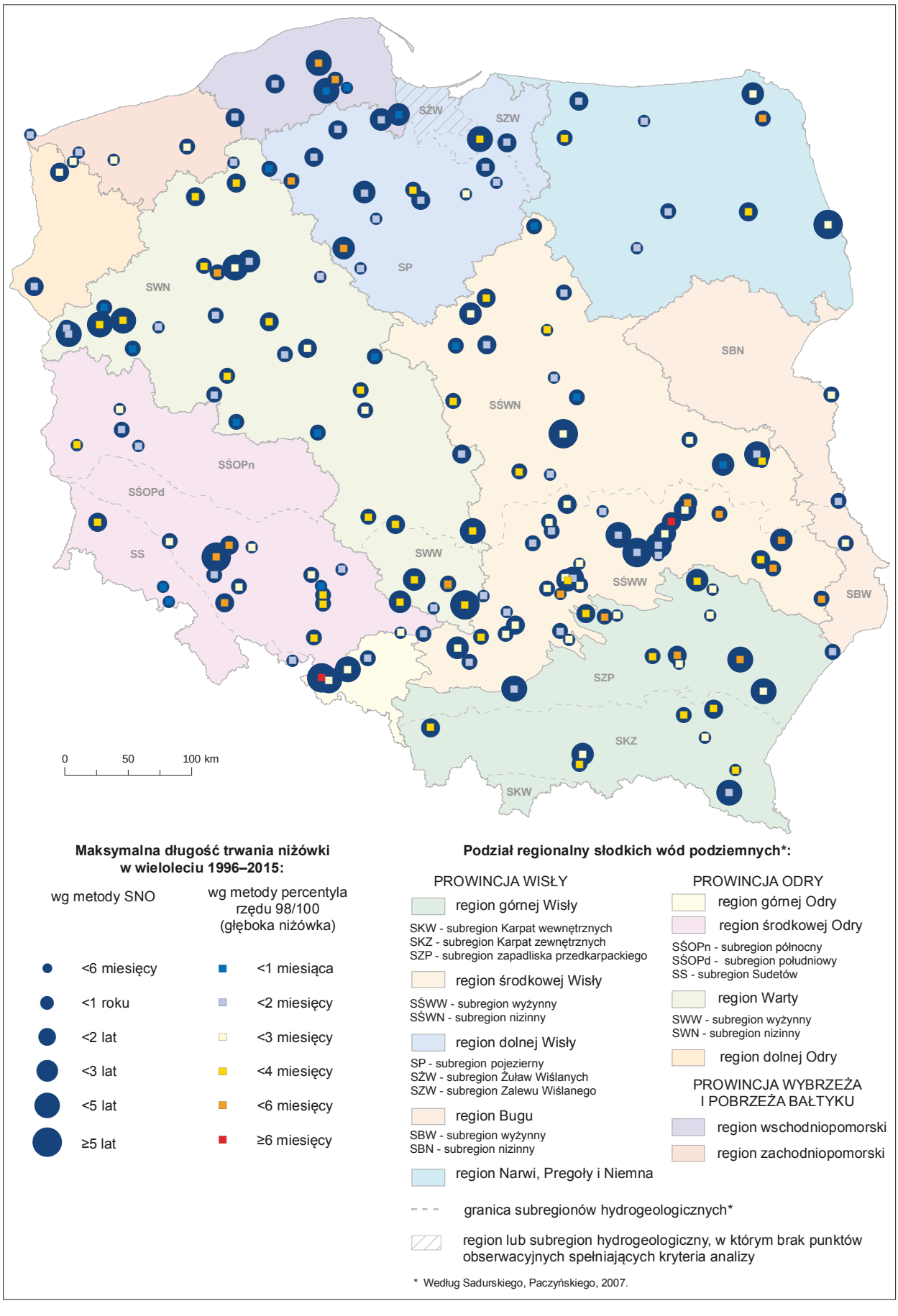
Analizując wyniki uzyskane na podstawie metody percentyla rzędu 98/100 stwierdzono, że w przypadku zbioru B′ przytoczone wyżej miesiące pokrywały się dokładnie z wynikami dla metody SNO, natomiast w zbiorach A i B″ sierpień



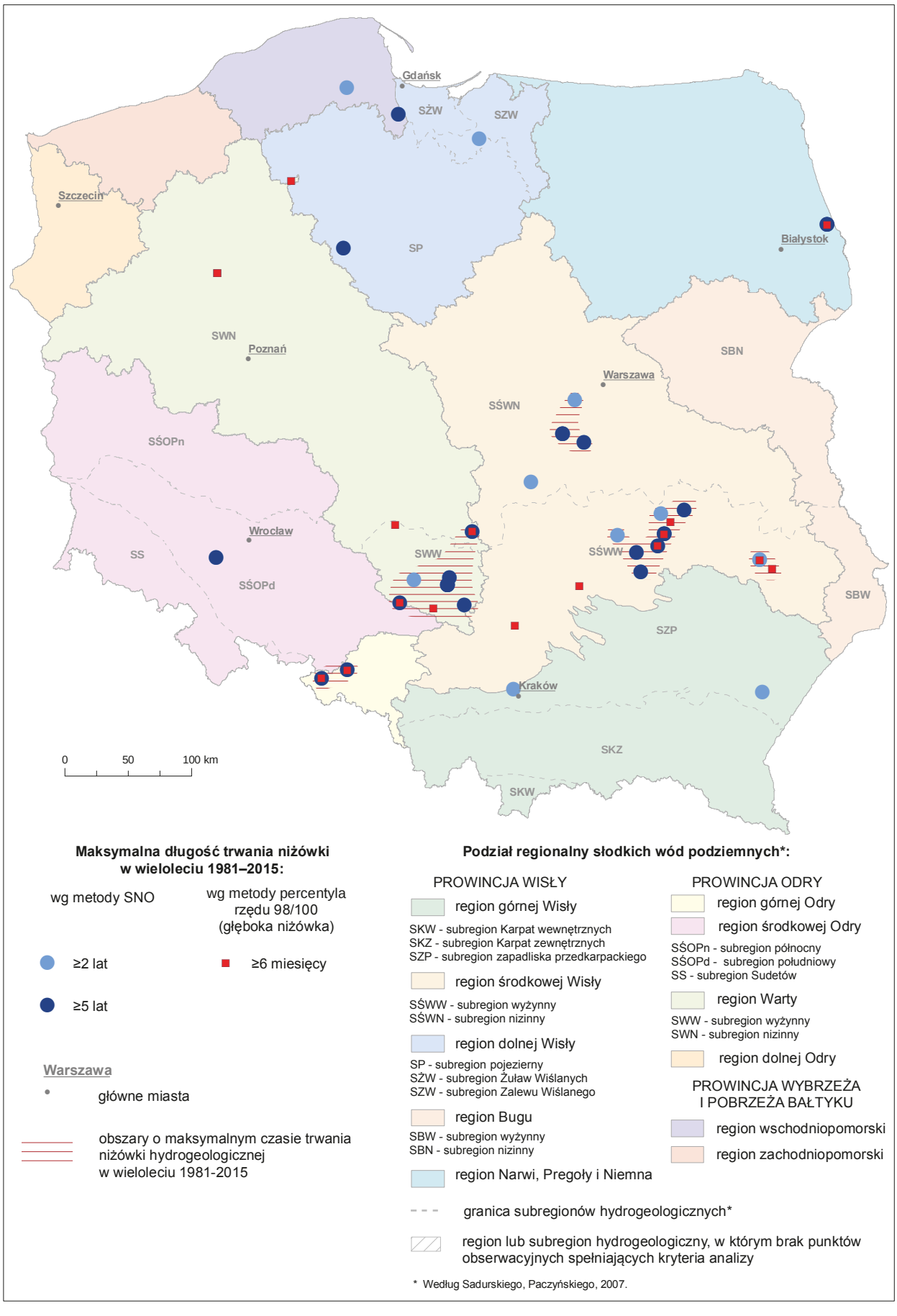
Ryc. 105. Maksymalny czas trwania niżówki hydrogeologicznej w latach 1981–2015 na podstawie analizy zbioru A



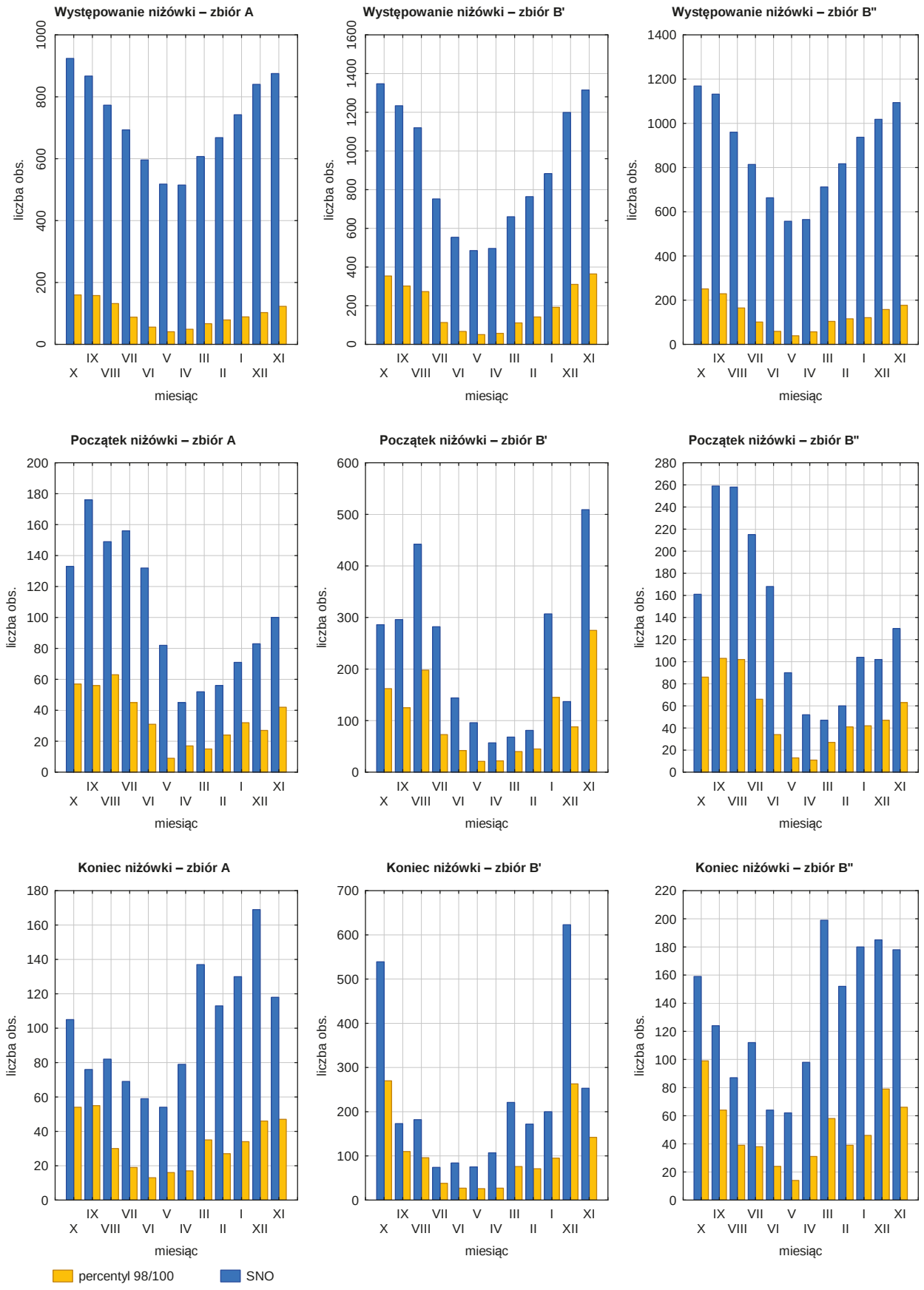
Ryc. 106. Maksymalny czas trwania niżówki hydrogeologicznej w latach 1981–1995 na podstawie analizy zbioru B′



Ryc. 107. Maksymalny czas trwania niżówki hydrogeologicznej w latach 1996–2015 na podstawie analizy zbioru B″



Ryc. 108. Obszary, na których w wieloleciu 1981–2015 niżówki hydrogeologiczne trwały najdłużej



Ryc. 109. Sezonowość zjawiska niżówki – histogramy częstości wstępowania, początku i końca niżówek w jednoimiennych miesiącach roku – wyniki ze zbiorów A, B′ i B″

z piątej pozycji przesunął się do przodu. W zbiorze A zajął trzecie miejsce, a w zbiorze B″ – czwarte. Ponadto w zbiorze A wrzesień wystąpił na drugim miejscu, a listopad, który poprzednio był na tej pozycji, zajął miejsce czwarte. Październik, bez zmian, był najczęstszym miesiącem występowania zjawiska.

W analizie okresu rozpoczęcia niżówki otrzymano wyniki mniej jednoznaczne niż w przypadku poprzednio badanego parametru. Na podstawie identyfikacji zjawiska metodą SNO w zbiorach A i B″ do inicjacji niżówki dochodziło najczęściej we wrześniu, podczas gdy w zbiorze B′ – w listopadzie. Na drugim miejscu w zbiorach B′ i B″ jest sierpień. Natomiast w zbiorze A jest on na trzecim miejscu. Lipiec jest również miesiącem, w którym często rozpoczyna się niżówka (drugie miejsce w zbiorze A i trzecie w zbiorze B″). W trzech analizowanych zbiorach zauważono całkowitą zbieżność w kolejności występowania miesięcy, w których najrzadziej dochodzi do rozpoczęcia niżówki są to: marzec (najrzadziej notowany miesiąc), kwiecień i luty.

Analiza przeprowadzona metodą percentyla rzędu 98/100, w przypadku zbiorów B′ i B″ wykazała, że najliczniej dochodziło do rozpoczęcia niżówki w tych samych miesiącach, co przy zastosowaniu metody SNO, czyli w zbiorze B′ w listopadzie i sierpniu a zbiorze B″ we wrześniu i sierpniu. W zbiorze A, według zastosowanej ostrzejszej granicy niżówki, był to sierpień i październik. We wszystkich trzech zbiorach najrzadziej dochodziło do inicjacji niżówki w okresie od marca do maja.

Ostatnim z analizowanych parametrów był miesiąc, w którym nastąpił koniec niżówki. Przy czym niżówki wyznaczone metodą SNO ustępowały na ogół w okresie od października do marca (ryc. 109), najczęściej zaś w grudniu (pierwsze miejsce w zbiorach A i B′ i drugie w zbiorze B″) oraz w marcu (pierwsze miejsce w zbiorze B″ i drugie w zbiorze A), nieco rzadziej w październiku, listopadzie i styczniu. Z kolei najrzadziej niżówki ustępowały w okresie od lutego do kwietnia we wszystkich analizowanych zbiorach.

Wyniki z zastosowaniem metody percentyla rzędu 98/100 pokrywały się w dużej mierze z wynikami uzyskanymi na podstawie wyznaczenia niżówki za pomocą SNO, jednak z tą wyraźną różnicą, że grudzień nie klasyfikował się w żadnym zbiorze na pierwszym miejscu. Niżówki głębokie ustępowały najczęściej w październiku (zbiory B′ \i B″) i we wrześniu (zbiór A). Dopiero w następnej kolejności w grudniu.

Należy zwrócić uwagę, że wyniki uzyskane dla października, w przypadku omawianego parametru miesiąca końca niżówki dla obu metod, mogą być zawyżone ze względu na koniec okresów analiz w tym miesiącu we wszystkich trzech zbiorach (koniec wieloleci w układzie lat hydrologicznych).

Podsumowując przedstawione rezultaty, należy stwierdzić, że analiza wyników z obu metod dała podobny ogólny obraz sezonowości badanego zjawiska. Wyniki metod są w dużej mierze zbieżne. Występowanie niżówek jest charakterystyczne dla okresu jesiennego, mniej dla lata i zimy, a najrzadziej dla wiosny. Inicjacja zjawiska następuje na ogół od czerwca do stycznia, a jego koniec przeważnie ma miejsce w okresie od października do lutego.

Wyniki badań, wskazujące przede wszystkim na miesiące jesienne występowania zjawiska, w przypadku metody percentyla rzedu 98/100, można utożsamiać z ekstremalnie niskimi stanami wód podziemnych przypadającymi na tę porę roku. Nawiązując do typów wahań zwierciadła wody wydzielonych przez Koehne (1894), minima zwierciadła wody, występujące jesienią, wskazują na typ wahań kontynentalny.

W sezonowym rozkładzie występowania i inicjacji niżówki hydrogeologicznej zwraca uwagę opóźnienie z jakim zwierciadło wód podziemnych reaguje na deficyt opadów. Przejawia się to dominacją miesięcy jesiennych w występowaniu niżówki podczas, gdy susza atmosferyczna występuje przeważnie w miesiącach letnich.

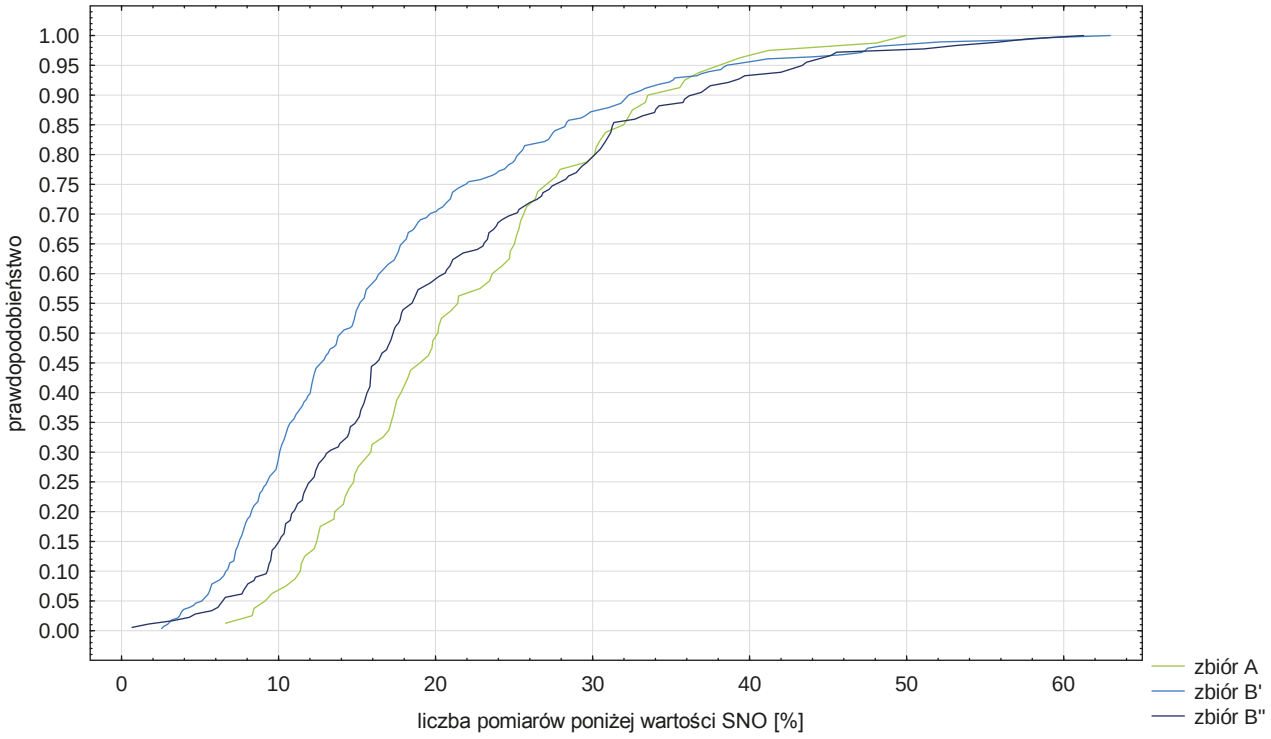
Różnice pomiędzy punktami w występowaniu czasu inicjacji i końca niżówki, poza lokalnymi różnicami w warunkach meteorologicznych, są spowodowane odmiennością warunków hydrogeologicznych (m.in.: budową strefy aeracji i głębokością zalegania stropu warstwy wodonośnej oraz położeniem punktu obserwacyjnego w określonym polu hydrodynamicznym). W przypadku rozpoczęcia i ustępowania niskich stanów wód podziemnych, w zależności od stopnia izolacji wód podziemnych od powierzchni terenu (istnienia utworów słabo przepuszczalnych – ich rodzaju i miąższości oraz całkowitej miąższości strefy aeracji), termin ich wystąpienia ulega mniejszemu lub większemu opóźnieniu.

CZĘSTOŚĆ PRZEKRACZANIA STANU GRANICZNEGO NIŻÓWKI

W metodzie, w której przyjmuje się za wartość graniczną niżówki pewien ustalony rząd percentyla, decyzja ta determinuje jednocześnie procent pomiarów w okresie objętym analizą, których wartości będą niższe od przyjętej wartości granicznej. Natomiast w metodzie opartej na SNO liczba pomiarów, których wartości są niższe od wartości progowej, kształtuje się różnie w zależności od rozpatrywanego punktu obserwacyjnego. W związku z tym postanowiono obliczyć procent pomiarów w poszczególnych punktach analizowanych zbiorów A, B′ i B″ dla wartości granicznej niżówki równej wartości SNO. W wyliczeniach częstości przekraczania stanu granicznego niżówki nie brano pod uwagę warunku o minimalnym czasie trwania zjawiska. Wszystkie przekroczenia stanu granicznego bez względu na wynik pomiarów sąsiednich traktowano tak samo.

Wyniki obliczeń przedstawiono na wykresie (ryc. 110) i na mapach (ryc. 111–113).

W każdym z trzech zbiorów procent pomiarów poniżej wartości SNO na ogół nie przekraczał 30%, przy czym najczęściej przyjmował wartość z przedziału 10–20%. Rozrzut wartości świadczy o tym, że procent pomiarów z niżówką przy wartości granicznej przyjętej na poziomie SNO jest wysoce zróżnicowany w zależności od punktu obserwacyjnego.



Ryc. 110. Empiryczna dystrybuanta rozkładu liczby pomiarów poniżej wartości SNO na podstawie analizy zbiorów A, B′ i B″

ZALEŻNOŚCI MIĘDZY WYSTĘPOWANIEM NIŻÓWEK A PARAMETRAMI WARSTWY WODONOŚNEJ

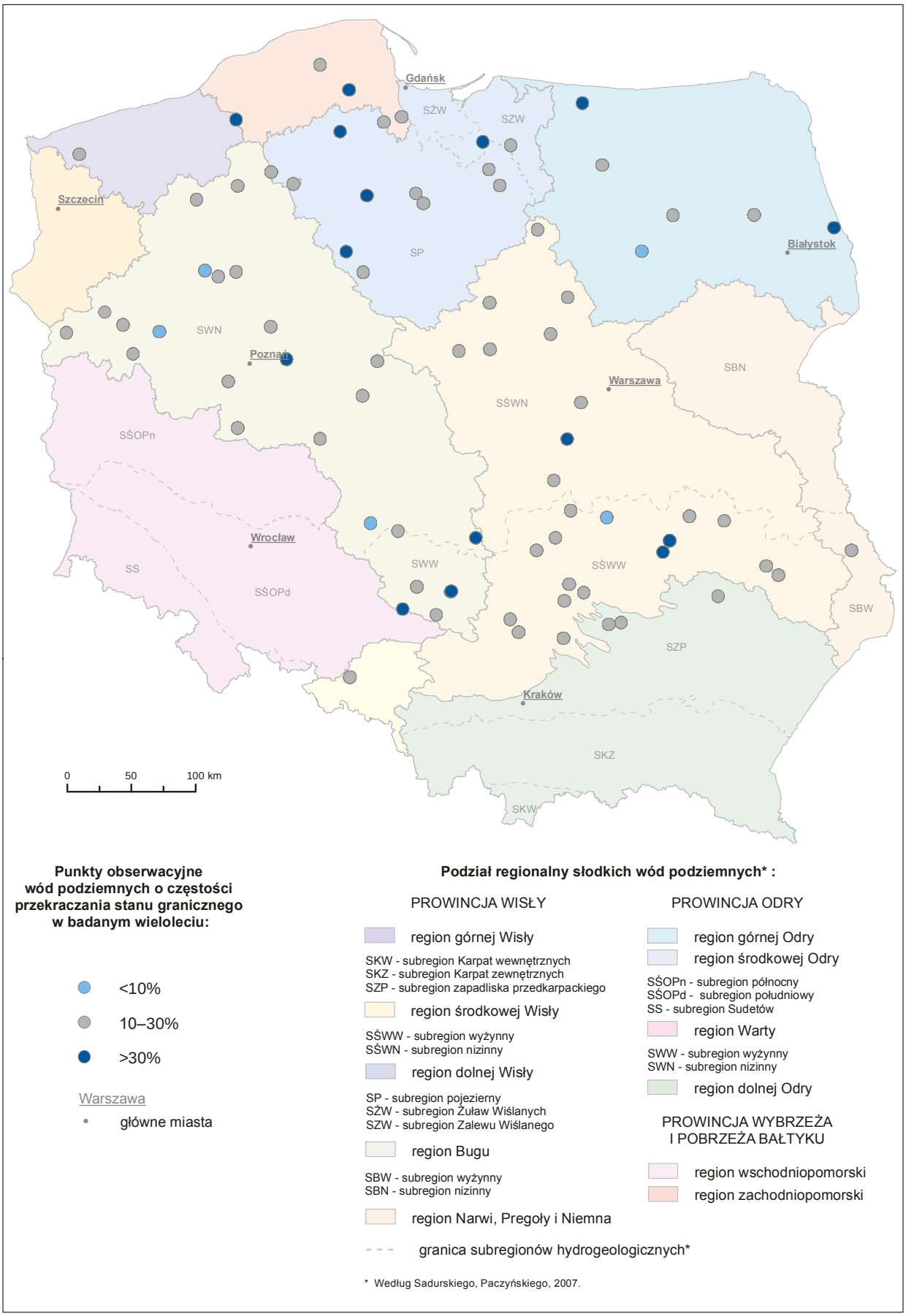
Zbadano czy następujące parametry: częstość przekraczania stanów granicznych SNO („procent pomiarów z niżówką"), maksymalny czas trwania niżówek wyznaczony metodą SNO, średni czas trwania niżówek wyznaczony metodą SNO, maksymalny czas trwania niżówek wyznaczony metodą percentyla rzędu 98/100 i średni czas trwania niżówek wyznaczony metodą percentyla rzędu 98/100 mają związek ze zmienną jakościową – typem ośrodka warstwy wodonośnej i zmienną ilościową – głębokością stropu warstwy wodonośnej (informacje przypisane do punktu obserwacyjnego).

Istnienie związku wymienionych wyżej parametrów ze zmienną jakościową sprawdzano za pomocą testu prób niezależnych Kruskala-Wallisa. Natomiast w przypadku badania korelacji z głębokością stropu warstwy wodonośnej obliczono współczynniki rho rang Spearmana. Zdecydowano się zastosować tę nieparametryczną miarę, ponieważ nie było podstaw do założenia, że rozkład par wartości poszczególnych badanych parametrów z głębokością stropu warstwy wodonośnej należy do rodziny dwuwymiarowych rozkładów normalnych.

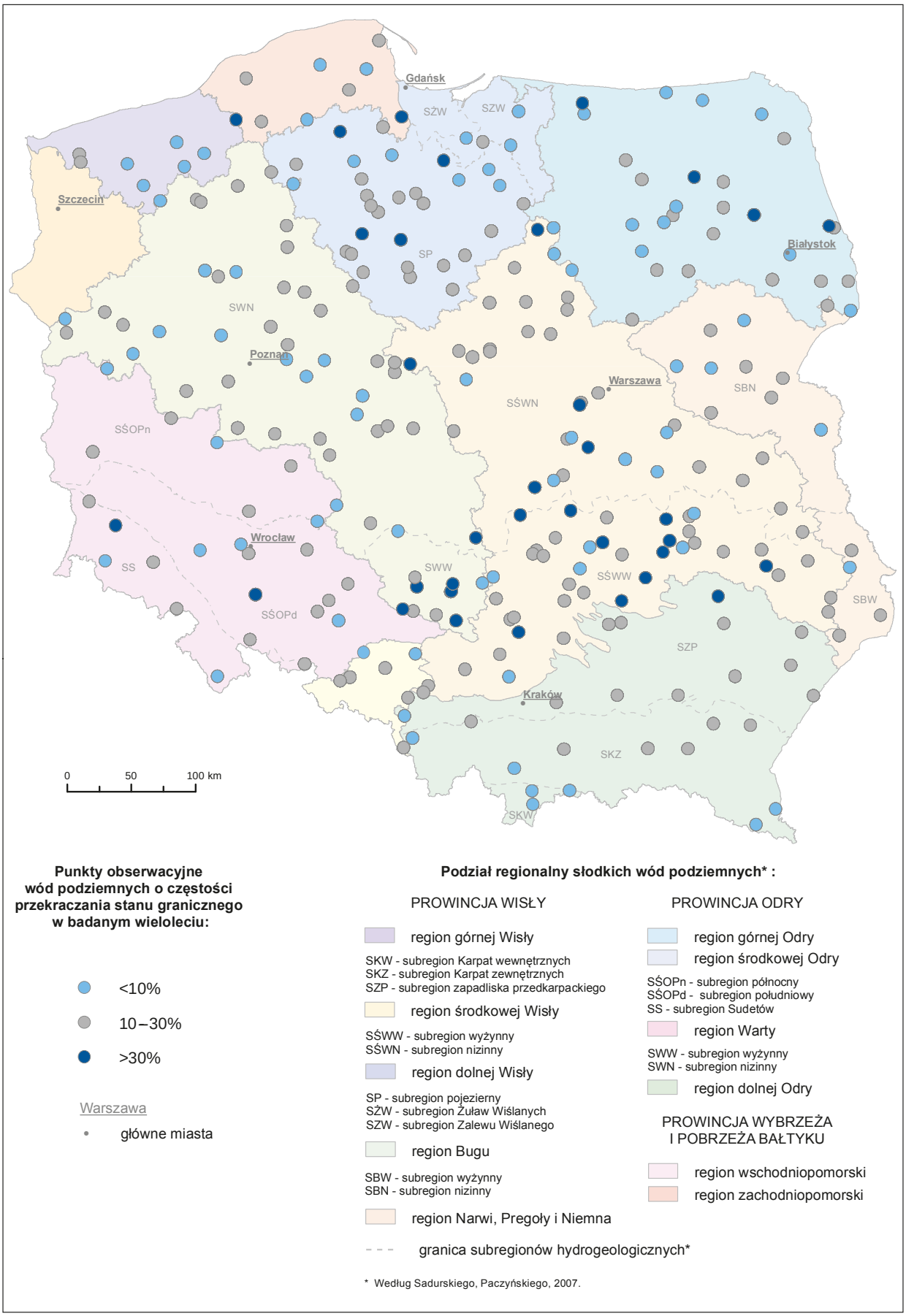
Badania przeprowadzono w zbiorze B″, ponieważ w jego przypadku występował najmniejszy procent punktów, dla których brakowało informacji na temat głębokości stropu warstwy wodonośnej.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń udało się wykryć istotne statystycznie ($p<0,005$) związki głębokości zalegania stropu warstwy wodonośnej z trzema z analizowanych parametrów niżówki. Parametrami tymi były: maksymalny czas trwania niżówek wyznaczony metodą SNO, częstość przekraczania stanów granicznych SNO i średni czas trwania niżówek wyznaczony metodą SNO. Wyliczone współczynniki rho odpowiednio w kolejności wymienionych wyżej parametrów wynosiły: 0,399; 0,324 oraz 0,266. Korelacje mają znak dodatni. Zgodnie z interpretacją współczynnika rho Spearmana siła tych związków jest słaba.

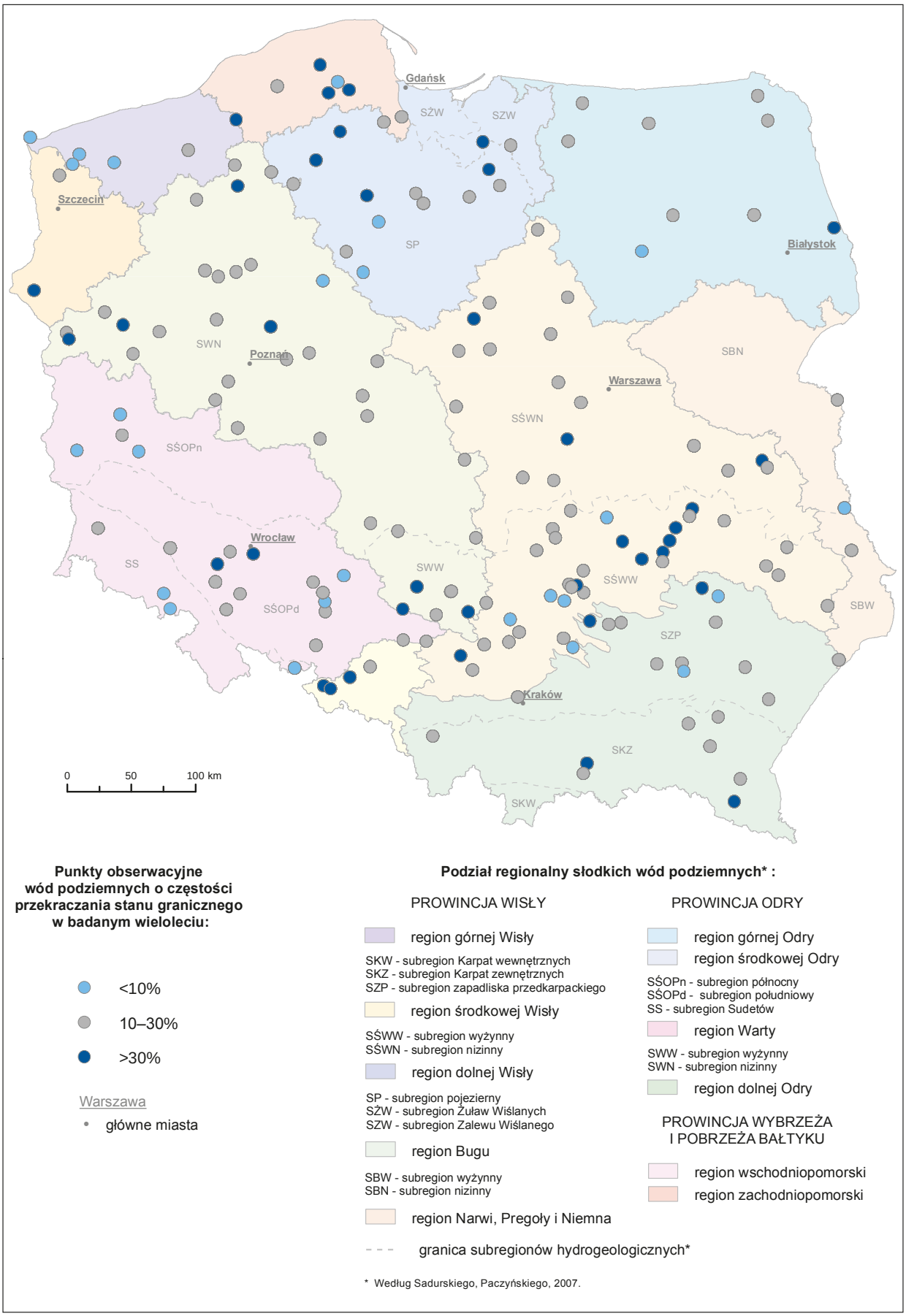
Innych istotnych statystycznie zależności w wyniku przeprowadzonych analiz nie wykryto.



Ryc. 111. Częstość przekraczania stanu granicznego niżówki wyznaczonej metodą SNO na podstawie analizy zbioru A



Ryc. 112. Częstość przekraczania stanu granicznego niżówki wyznaczonej metodą SNO na podstawie analizy zbioru B′



Ryc. 113. Częstość przekraczania stanu granicznego niżówki wyznaczonej metodą SNO na podstawie analizy zbioru B″

PODSUMOWANIE

W celu przedstawienia obrazu niżówki hydrogeologicznej w 35-letnim okresie, pierwszy raz w tego typu analizie, zaczerpnięto wyniki pochodzące z dwóch największych sieci obserwacyjnych wód podziemnych w Polsce. Wykorzystano wieloletnie wyniki pomiarów z 386 punktów badawczych, z których 171 należało do sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych PIG-PIB, a 215 było posterunkami sieci wód gruntowych IMGW. Powyższe dane wykorzystano na dwa sposoby:

1. prowadzono analizę w podziale na okresy dostosowane do zasobów obu sieci;
2. znaleziono tzw. punkty analogi między sieciami o podobnych wahaniach zwierciadła wody, w co najmniej 10-letnim wspólnym okresie obserwacji, które spełniały przyjęte założenia dotyczące podobieństwa warunków hydrologicznych.

Analizę wykonano na trzech zbiorach punktów, wydzielonych na podstawie kryteriów opisanych w rozdziale *Metodyka i dane wejściowe*. Badania prowadzono dwoma metodami – pierwsza polegała na wyznaczeniu wartości granicznej niżówki na podstawie średniej z minimalnych rocznych stanów położenia zwierciadła wody (SNO), druga – na wykorzystaniu w tym celu wartości percentyla rzędu 98/100.

Z badań przeprowadzonych równolegle na trzech zbiorach punktów (zbiór A – wielolecie 1981–2015; zbiór B′ – wielolecie 1981–1995; zbiór B″ – wielolecie 1996–2015) wynika, że w Polsce w okresie 1981–2015 do największej liczby niżówek hydrogeologicznych dochodziło w latach 1983–1985, 1990–1993 i 2004–2007 oraz w roku 2015, przy czym pod względem ekstremalnie niskich stanów wód podziemnych (poniżej wartości granicznej na poziomie 98/100 percentyla) dominują okresy: 1991–1993, 2005–2007 i rok 2015. Najbardziej obfite w niżówki (SNO) trwające ponad 2 lata jest wielolecie 1990–1992. Natomiast w latach 1981–1982 i 1998–2002 badane zjawiska w skali kraju, w przypadku dwóch zastosowanych metod, były najrzadsze.

Odnośnie przedstawionych wyników dla roku 2015 zwraca się uwagę, że w wielu przypadkach niżówki z tego okresu kontynuowały się w 2016 r. (Komunikaty... 1–12a/2016). Dlatego też rok 2015, jako ostatni objęty analizą, nie daje całkowitego obrazu o sile zjawiska, jakie miało miejsce w tym czasie. Szczególnie liczby wystąpień niżówek o najdłuższych wyróżnionych w pracy czasach trwania zjawiska mogą być w tej sytuacji zaniżone.

Zidentyfikowane w trakcie analizy okresy 1983–1985 i 1990–1993, o największej liczbie niżówek w skali kraju, przesunięte są o jeden rok względem okresów 1982–1984 i 1988–1993, charakteryzujących się najniższymi, uśrednionymi dla obszaru Polski, rocznymi sumami opadów atmosferycznych (o wartościach poniżej średniej 30-letniej). Opóźniona reakcja na deficyt opadów atmosferycznych w zwierciadle wód podziemnych przejawia się liczebnością niżówek hydrogeologicznych na terenie kraju. Dotyczy to zarówno początku, jak i końca kilkuletnich okresów posusznych. Jednocześnie pojedyncze lata o niskich sumach opadów, jak np. 1986 r., mogą nie wywołać znacznych wzrostów liczby niżówek hydrogeologicznych.

Wyróżnione w opracowaniu przedziały lat, jako okresy ekstremalnie niskich stanów wód podziemnych (poniżej wartości granicznej na poziomie 98/100 percentyla), dobrze pokrywają się z latami występowania głębokich letnio-jesiennych niżówek hydrologicznych.

Z porównania czasu trwania niżówek hydrologicznych i hydrogeologicznych wynika, że niskie stany wód podziemnych utrzymają się znacznie dłużej. Świadczy o tym przeprowadzona analiza średnich i maksymalnych czasów trwania niżówek hydrogeologicznych. Z czasem utrzymywania się zjawiska wiąże się też wyraźna tendencja występowania niskich stanów wód podziemnych w całych seriach lat. Liczba przypadków w kolejnych latach zmienia się w znacznie bardziej łagodny sposób niż ma to miejsce w wodach powierzchniowych, gdzie wartości z roku na rok mogą kształtować się „skokowo".

Jak wspomniano wcześniej, badania prowadzono równolegle dwoma metodami. Przeanalizowano m.in.: średni i maksymalny czas trwania niżówki hydrogeologicznej, częstość przekraczania stanu granicznego oraz miesiące występowania, początku i końca analizowanego zjawiska. Poza parametrami związanymi z sezonowością, badane cechy przyjmowały zdecydowanie różne wartości w zależności od stosowanej metody badań. Znacznie krótsze czasy maksymalnego i średniego trwania niżówek oraz mniejszy udział pomiarów z niżówką w metodzie percentyla rzędu 98/100 świadczą o odmienności obu zastosowanych metod, wynikającej z identyfikacji zdarzeń o różnym prawdopodobieństwie wystąpienia. Zwraca uwagę znaczny rozrzut wartości odsetka poniżej wartości SNO występujący pomiędzy punktami. Większość wyników zawiera się w przedziale od 10 do 20%, ale są też punkty, dla których ten parametr miał znacznie wyższą wartość. Jest to związane z różną długością cykli wieloletnich wahań zwierciadła wód w poszczególnych punktach badawczych. Długie (kilkunastoletnie i dłuższe) cykle, które nie są całkowicie objęte okresem analizy, potrafią w znaczący sposób „podwyższyć" lub „obniżyć" (w zależności od fazy cyklu) procentowy udział pomiarów poniżej wartości SNO i jednocześnie wpłynąć na długość maksymalnego czasu trwania zjawiska. Stwierdzono również, że w pojedynczych przypadkach na wyjątkowo wysoki odsetek pomiarów poniżej wartości SNO i długi maksymalny czas trwania zjawiska mogły mieć wpływ zaburzenia naturalnego przebiegu wahań związane z antropopresją (górnictwo, eksploatacja ujęć wód podziemnych).

Maksymalne czasy trwania niżówki z zastosowaniem wartości granicznej na poziomie średniej z minimalnych stanów rocznych z wielolecia w zależności od punktu obserwacyjnego wynosiły na ogół od 21 do 79 tygodni. Biorąc pod uwagę wyniki ze wszystkich analizowanych zbiorów punktów jest to rozstęp między pierwszym a trzecim kwartylem. Przy czym najczęściej osiąganą wartością było 35 tygodni. Należy jednak zwrócić uwagę, że zidentyfikowano również

punkty, w których niżówka trwała znacznie dłużej niż 2 lata. Zlokalizowane są one głównie w subregionie wyżynnym Warty i subregionie wyżynnym środkowej Wisły. W kilkunastu punktach obserwacyjnych maksymalny czas badanego zjawiska przekraczał 5 lat. Najdłuższe zidentyfikowane niżówki trwały ok. 12 lat.

Odpowiednio, w przypadku metody wyznaczania niżówki głębokiej, na podstawie wartości percentyla rzędu 98/100, maksymalny czas trwania zjawiska w większości punktów obserwacyjnych wynosił od 7 do 13 tygodni. Najczęściej osiąganą wartością było 9 tygodni. Najdłuższa zidentyfikowana niżówka głęboka trwała 41 tygodni.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń na zbiorze B″ wykryto istotną statystycznie nieparametryczną korelację dodatnią między głębokością występowania stropu warstwy wodonośnej a trzema parametrami wyliczonymi metodą SNO – maksymalnym i średnim czasem trwania niżówek oraz częstością przekraczania stanów granicznych. Siła tych związków jest jednak słaba.

Nie stwierdzono natomiast korelacji między badanymi parametrami niżówek a typem ośrodka warstwy wodonośnej.

W przypadku obu zastosowanych metod, rozpatrując sezonowość zjawiska, stwierdzono dużą zbieżność wyników. Niezależnie od sposobu wyznaczania wartości granicznej, występowanie niżówek jest najbardziej charakterystyczne dla okresu jesiennego, mniej dla lata i zimy, a najmniej dla wiosny. We wszystkich badanych zbiorach punktów i odpowiadających im wieloleciach październik był najczęstszym miesiącem występowania niżówki. Inicjacja zjawiska następowała na ogół od czerwca do stycznia, a jego koniec przeważnie miał miejsce w okresie od października do lutego.

Uzyskane wyniki dokumentują wysoką różnorodność występowania przestrzenno-czasowego niżówek hydrogeologicznych na terenie kraju w analizowanym wieloleciu 1981–2015. Jest ona rezultatem zmiennych warunków meteorologicznych, w tym przede wszystkim opadów atmosferycznych, a także różnorodności warunków hydrogeologicznych i fizjograficznych występujących w Polsce. W badanym okresie niżówki, zwłaszcza te długotrwałe, występowały przeważnie w regionie Warty i subregionie wyżynnym środkowej Wisły. Często były również obserwowane w regionie dolnej Wisły oraz w regionie Narwi, Pregoły i Niemna.

LITERATURA

AFELT A., OKSIUTA M., 2009 — Osiąganie stanów ekstremalnych przez wody podziemne. *Pr. Stud. Geogr.*, **43**: 115–137.

BUCZYŃSKI S., STAŚKO S., 2004 — Zmiany i tendencje zachodzące w gospodarce wodami podziemnymi na terenie Dolnego Śląska na przykładzie zlewni Bystrzycy. *W*: Mat. Konf. „Geologiczne i środowiskowe problemy gospodarowania i ochrony doliny górnej i środkowej Odry": 165–176. Wrocław.

BUCZYŃSKI S., STAŚKO S., TARKA R., 2005 — Dynamika stanów wód podziemnych na przedpolu Sudetów na przykładzie stacji w Zebrzydowie. *Współczesne Problemy Hydrogeologiczne*, **12**: 71–76.

CABALSKA J., GALCZAK A., MIKOŁAJCZYK A., 2016 — Kwartalny Biuletyn Informacyjny Wód Podziemnych Państwowej Służby Hydrogeologicznej (red. A. Sadurski). T. 14 (53). PIG-PIB, Warszawa.

CABALSKA J., GALCZAK A., KOSTKA A., MIKOŁAJCZYK A., PALAK-MAZUR D., 2017 — Rocznik Hydrogeologiczny Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Rok Hydrogeologiczny 2016 (red. A. Sadurski). PIG-PIB, Warszawa.

CHEŁMICKI W., 1986 — Wieloletnia tendencja zmian zwierciadła wód gruntowych w Polsce w latach 1951–1978. *Zesz. Nauk. UJ., Pr. Geogr.*, **67**.

CHEŁMICKI W., 1991 — Reżim płytkich wód podziemnych w Polsce. Rozprawy habilitacyjne nr 218. UJ, Kraków.

DĄBROWSKI S., 1997 — Odnawialność trzeciorzędowego zbiornika wód podziemnych Wielkopolski. *Współczesne Problemy Hydrogeologiczne*, **8**: 33–39.

DYNOWSKA I., PIETRYGOWA Z., 1978 — Wieloletnie fluktuacje zwierciadła wód gruntowych w dorzeczu górnej Wisły. *Czas. Geogr.*, **49**, 2: 169–175.

EAGELSON P.S., 1978 — Hydrogeologia dynamiczna. PWN, Warszawa.

FARAT R., KĘPIŃSKA-KASPRZAK M., KOWALCZAK P., MAGER P., 1995 — Susze na obszarze Polski w latach 1951–1990. *Mater. Bad. IMiGW Ser. Gosp. Wodn. Och. Wód*, **16**.

GRAF R., 2010 — Tendencje zmian stanów płytkich wód podziemnych na Nizinie Wielkopolskiej w latach 1961–2000. *W*: Studia i Prace z Geografii i Geologii, t. 11. Zasoby, zagrożenia i ochrona wód podziemnych (red. R. Graf, M. Marciniak): 79–96. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.

HISDAL H., TALLAKSEN L.M., PETERS E., STAHL K., ZAIDMAN M., 2001 — Drouhht Event Definition. *W*: Assessment of the Regional Drought Impact of Droughts in Europe (red. S. Demuth, K Stahl): 17–26. Institute of Hydrology, University of Freiburg.

JEŻ G., 1986 — Próba oceny wieloletniej zmienności zwierciadła wód podziemnych w regionie łódzkim. *W*: Mat. Ogólnopolskiej Konf. Hydrograf. (red. A. Kaniecki). UAM, Poznań 15–17.09. 1986 r.: 131–136.

KACHNIC M., 2007 — Profil geologiczny i zmiany położenia zwierciadła wody w piezometrze Stacji Bazowej w Koniczynce k. Torunia. Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego: 143–150. Biblioteka Monitoringu Środowiska. PIOŚ, Warszawa.

KAZIMIERSKI B. i in., 2009 — Ocena zagrożenia suszą hydrogeologiczną (gruntową) na obszarze Polski. *W:* Mat. XVIII Ogólnopolskiego Sympozjum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Szymbark, 14–16 maja 2008 r.

KĘPIŃSKA-KASPRZAK M., 2015 — Susze hydrologiczne w Polsce i ich wpływ na gospodarowanie wodą. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.

KOEHNE W., 1948 — Grundwasserkund. Stuttgart.

KOMUNIKATY o bieżącej sytuacji hydrogeologicznej nr: 1–12a/2016. PIG-PIB [arch. PSH], Warszawa.

KOWALCZYK A., 2016 — Niżówka hydrogeologiczna – przyczyny i skutki. *W*: XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Aktualne rozwiązania ujmowania i eksploatacji wód podziemnych", Częstochowa. *Technol. Wody*, **5**: 4–10.

KOWALCZYK A., STĘPIŃSKA-DRYGAŁA I., WESOŁOWSKI P., 2015 — Zmienność wieloletnia i sezonowa występowania minimalnych stanów wód podziemnych na wybranym obszarze nizinnym. *Prz. Geol.*, **63**, 10/1: 860–866.

KOWALCZYK A., WESOŁOWSKI P., WOŹNICKA M., 2016 — Od powodzi do suszy – analiza zmian sytuacji hydrogeologicznej w Polsce w latach 2010–2015. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **466**: 123–136.

KROGULEC E., 2004 — Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. Wydaw. UW, Warszawa.

LENARTOWICZ M., 2007 — Zmienność stanów wód podziemnych i odpływu w zlewni ZMŚP „Pożary". *Pr. Stud. Geogr.*, **38**: 117–128.

MAŁECKA D., WITKOWSKI A., 1981 — Czynniki warunkujące reżim wód gruntowych w utworach aluwialnych doliny Białego Dunajca. *Biul. Geol.*, **24**: 277–299.

MITRĘGA J., 2013 — Kryteria doboru punktów do prognoz i komunikatów Państwowej Służby Hydrogeologicznej [mat. niepubl.]. PIG-PIB [arch. PSH], Warszawa

OPIS bazy stanów wód gruntowych z lat 1951–2000 OTKZ-IMGW, 2001 [mat. niepubl.]. Arch. OTKZ-IMGW.

PASZCZYK J., 1973 — Analiza wahań zwierciadła wód podziemnych w obszarze wschodnim Polski. *Prz. Geogr.*, **45**, 3: 599–610.

PAZDRO Z., 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wydaw. Geol., Warszawa.

PICH J., PŁOCHNIEWSKI Z., 1984 — Badania stanów charakterystycznych wód podziemnych dla potrzeb szacowania zasobów. *W*: Mat. Sympozjum „Metody badania wód podziemnych i ich użytkowania i ochrony": 14–24.

PLECZYŃSKI J., 1981 — Odnawialność zasobów wód podziemnych. Wydaw. Geol., Warszawa.

PROGNOZA sytuacji hydrogeologicznej w strefach zasilania i poboru wód podziemnych nr 12b/2016. PIG-PIB [arch. PSH], Warszawa.

RAPORT z zadania nr 29 PSH, 2017 — Wyznaczenie ekstremalnych stanów wód podziemnych w Polsce w zapisie stacjonarnych obserwacji wahań położenia zwierciadła wody [mat. niepubl.]. PIG-PIB [arch. PSH], Warszawa.

SADURSKI A., PACZYŃSKI B., red., 2007 — Hydrogeologia regionalna Polski. PIG-PIB, Warszawa.

SAWICKI J., 1986 — Hydrogeologiczne i geomorfologiczne uwarunkowania wahań zwierciadła wód podziemnych. *Czas Geogr.*, 57, **4**: 493–508.

SIEMONOW S.M., ISKANDAROW N., MIECZNICKI I., PICH I., 1978 — Badania i metodyka prognozowania stanów wód gruntowych. *Kwart. Geol.*, **23**, 4: 861–878.

SKIBNIEWSKI L., 1957 — Wahania stanów wód gruntowych w okresie 1947–1954. *W*: Wody gruntowe w Polsce w okresie 1947–1954 (red. L. Skibniewski). *Pr. PIHM*, **45**: 33–42.

SOCZYŃSKA U., 1989 — Procesy hydrologiczne (red. W. Lenart i in.). PWN, Warszawa.

SOMOROWSKA U., 2001 — Wieloletni rytm zmian opadów, stanów wód podziemnych i przepływów w małej zlewni nizinnej. *Prz. Geof.*, **46**: 23–36.

STAHL K., 2001 — Hydrological Drought – a study across Europe.PhD Thesis Albert-Ludwigs Universitaet Freiburg. Freiburger Schriften zur Hydrologie no 15. Freiburg, Germany.

STANLEY A., CHANGNON JR., 1987 — Detecting Drought Conditions in Illinois, Circular 169. Department of Energy and Natural Resources, Champaign, Illinois.

STRZEBOŃSKA-RATOMSKA B., 1994 — Metodyka oceny intensywności i zasięgu suszy hydrogeologicznej. *Wiad. IMGW*, **4**: 15–42.

TALLAKSEN L.M., LANEN H.A.J., 2004 — Hydrological Drought. Processses and Estimation Methods for streamflow and Groundwater, Developments in Water Science, 48. Elsevier, Amsterdam.

TARKA R., 1997 — Zmiany położenia zwierciadła wód podziemnych na wybranych przykładach z obszaru Sudetów i na ich przedpolu na tle warunków opadowych. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, **8**: 393–396.

TARKA R., STAŚKO S., 2010 — Wahania zwierciadła wód podziemnych jako odwierciedlanie ekstremalnych sytuacji pogodowych. *W*: Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki (red. P. Migoń): 241–155. UWr., Wrocław.

TOMALSKI P., 2011 — Dynamika zasobów płytkich wód podziemnych w województwie łódzkim i na obszarach sąsiednich. *Acta Geogr. Lodz.*, **97**.

TOMASZEWSKI E., 2012 — Wieloletnia i sezonowa dynamika niżówek w rzekach środkowej Polski. Wydaw. UŁódz., Łódź.

TOMASZEWSKI J.T., 1990 — Charakter wahań zwierciadła górnego poziomu wód podziemnych. Na przykładach z południowo-zachodniej i środkowej Polski. *Studia Geogr.*, **59**.

WARSTWY informacyjne „Pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika" Map Hydrogeologicznych Polski w skali 1 : 50 000. PIG-PIB, Warszawa.

ZDRALEWICZ I., LEJCUŚ I., 2008 — Wyznaczenie okresów niżówkowych wód podziemnych w zlewni górnej Nysy Kłodzkiej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, **9**: 149–158.

ZIERNICKA-WOJTASZEK A., 2006 — Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 1971–2000. *W*: Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego: 139–148. IGiGP UJ, Kraków.