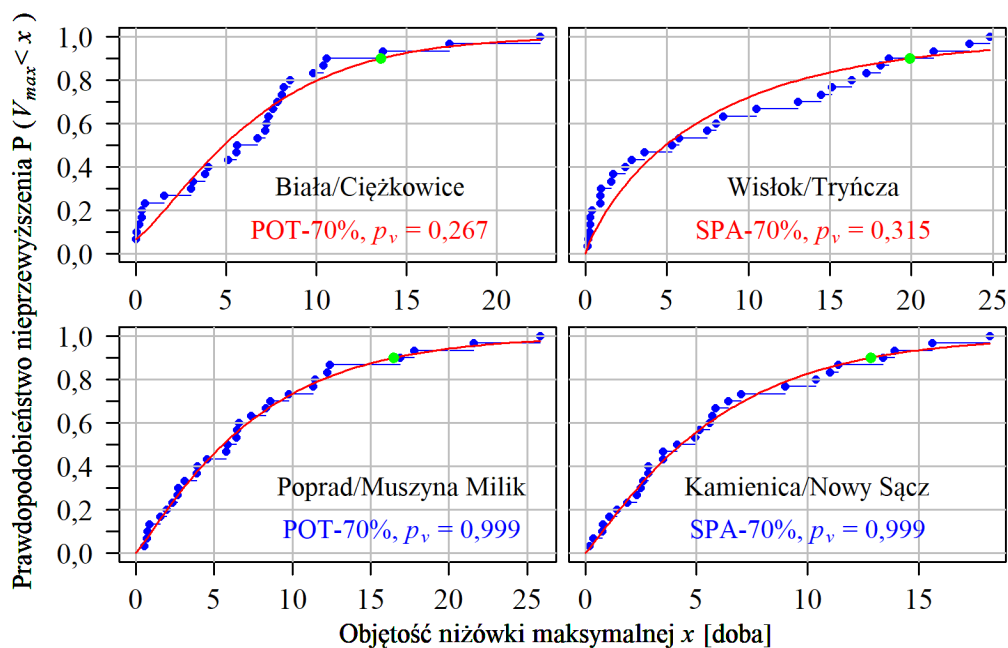


Rys. 6.5. Dystrybuanta empiryczna \bullet i dystrybuanta rozkładu Weibulla – czasu trwania T_{max} niżówek maksymalnych POT-70% i SPA-70% i wartość $T_{max,10}$ \bullet , w tych przekrojach wodowskazowych w (z 74 wszystkich), w których wartość p_v na obszarze była najmniejsza (tytuły czerwone) i największa (tytuły niebieskie).

Fig. 6.5. Empirical cumulative distribution \bullet and Weibull distribution – the duration T_{max} of the maximum POT-70% and SPA-70% droughts and the value of $T_{max,10}$ \bullet , in those gauging cross-sections in (out of 74 all) where the p_v value in the area was the lowest (red titles) and the highest (blue titles).



Rys. 6.6. Dystrybuanty empiryczne \bullet i dystrybuanta rozkładu Weibulla – czasu trwania $V_{max,10\%}$ niżówek maksymalnych POT-70% i SPA-70% i wartość $V_{max,10}$ \bullet , w tych przekrojach wodowskazowych w (z 74 wszystkich przekrojów), w których wartość p_v była najmniejsza (tytuły czerwone) i największa (tytuły niebieskie).

Fig. 6.6. Empirical cumulative distribution \bullet and Weibull distribution – of the maximum POT-70% and SPA-70% droughts volume V_{max} of the and the value of $V_{max,10}$ \bullet , in those gauging cross-sections in (out of 74 all) where the p_v value in the area was the lowest (red titles) and the highest (blue titles).

Podsumowując powyższe rozważania można stwierdzić, że czas T_{max} trwania i objętość V_{max} niżówki maksymalnej można opisać zarówno rozkładem Weibulla, jak i gamma. Do dalszych analiz niżówek T_{max} i V_{max} wybrano rozkład Weibulla.

Ze względu na dużą liczbę rozważanych w pracy przypadków, których jest 888 (74 przekroje wodowskazowe \times 2 metody \times 3 $Q_g \times$ 2 zmienne), nie pokazano w formie graficznej wszystkich wyniki estymacji rozkładu Weibulla czasu trwania T_{max} i objętości V_{max} niżówki maksymalnej, lecz tylko wybrane.

Na rys. 6.5 i rys. 6.6 przedstawiono wybrane wyniki w tych przekrojach wodowskazowych, w których przy określonym Q_g i danym typie niżówki dopasowanie rozkładu jest najlepsze na całym obszarze (największe p_v) i najgorsze (najmniejsze p_v). Na wykresy naniesiono 10-letnie wartości T_{max} i V_{max} ($T_{max,10}$ i $V_{max,10}$). Ze względu na dużą liczbę rozważnych przypadków, załączono dystrybuanty niżówek POT-70% i SPA-70%.

6.5.3. Okres powtarzalności czasu trwania i objętości niżówki maksymalnej

Okres powtarzalności T_p zdarzenia $X \geq x$ jest średnim czasem pomiędzy kolejnymi powtórzeniami tego zdarzenia lub, inaczej, jest okresem czasu, w którym zdarzenie to powtarza się średnio jeden raz (Tallaksen i van Lanen 2004, Węglarczyk 2006). A zatem czas trwania (lub objętość) niżówki maksymalnej rocznej o okresie powtarzalności T_p lat to czas trwania (lub objętość) niżówki, który jest przekraczany średnio jeden raz na T_p lat. Okres powtarzalności T_p zdarzenia jest równy odwrotności prawdopodobieństwa przekroczenia $P(X \geq x)$:

$$T_p(x) = \frac{1}{P(X \geq x)} = \frac{1}{1 - F_X(x)} \quad (6.11)$$

gdzie:

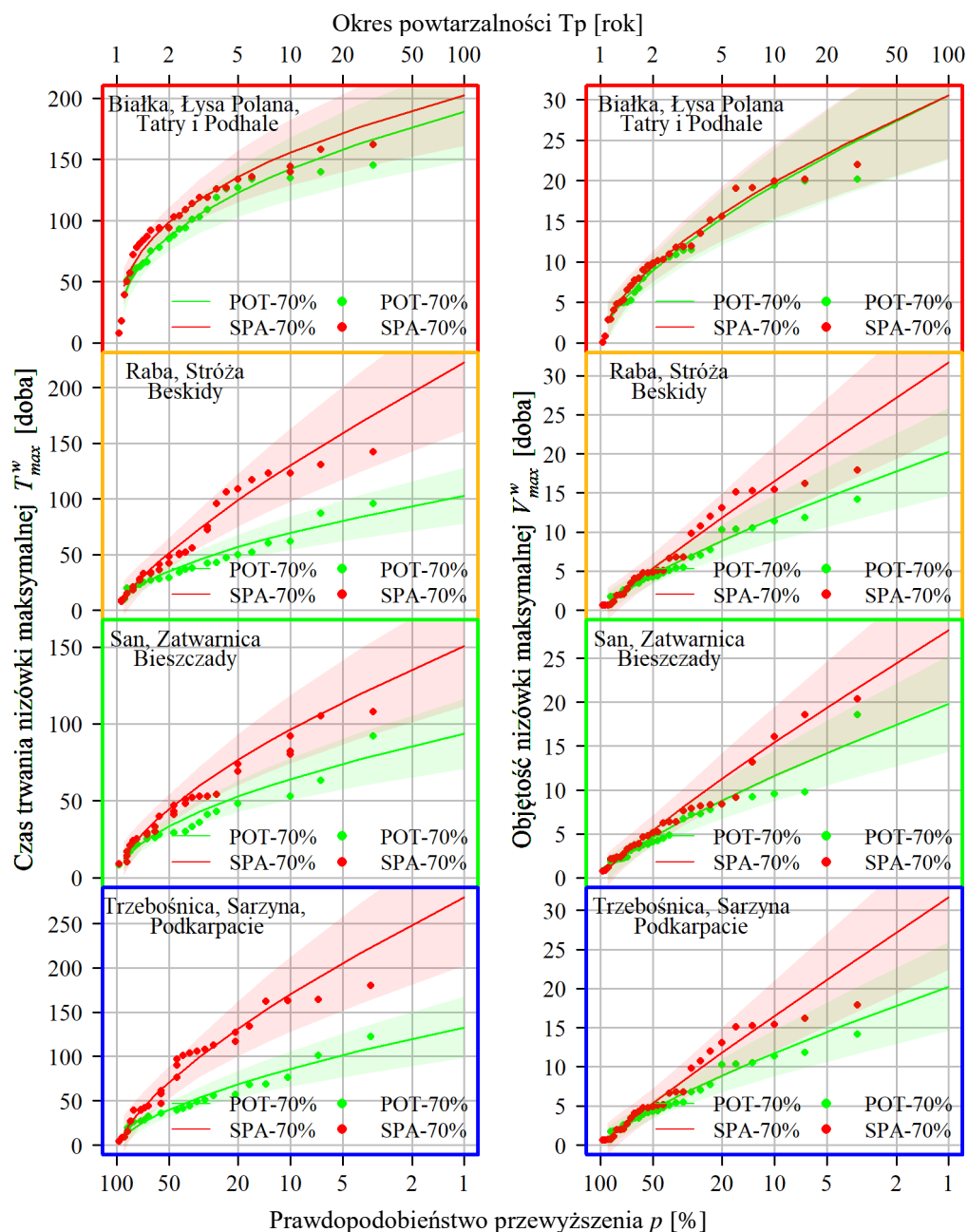
$F_X(x)$ – dystrybuanta zmiennej X ($X = T_{max}, V_{max}$).

Okres powtarzalności to inny (zamiast prawdopodobieństwa) sposób wyrażania ryzyka zajścia niepożądanego zdarzenia losowego, a więc pojawienia się niżówki maksymalnej w danym przekroju wodowskazowym o czasie trwania (lub objętości) przekraczającym daną wartość. Jeżeli czas trwania T_{max} niżówki maksymalnej jest przekraczany z prawdopodobieństwem 10% w przekroju wodowskazowym w (10-letni T_{max}^w) będzie oznaczany jako $T_{max,10}^w$, a z prawdopodobieństwem 2% – jako $T_{max,50}^w$.

Niepewność kwantyla x_p w rozkładzie Weibulla z parametrami liczonymi metodą momentów liniowych jest trudna do oszacowania z powodu skomplikowanej postaci odpowiednich równań (Rao i Hamed 2000), dlatego niepewność została oszacowana jak dla metody momentów, co – oczywiście – zmniejsza użyteczność tego podejścia, jednak można przyjąć, że porównanie wielkości obliczonych 90% obszarów ufności kwantyli T_p -letnich jest wiarygodne.

Ze względu na bardzo dużą liczbę rozważanych przypadków (74 wodowskazy \times 2 metody \times 3 przepływy graniczne \times 2 zmienne), nie jest możliwe przedstawienie w niniejszej monografii wszystkich rozkładów prawdopodobieństwa T_{max} i V_{max} niżówek maksymalnych POT i SPA wraz z 90% obszarami ufności kwantyli T_p -letnich, tylko dla przepływu granicznego $Q_{70\%}$. Dlatego na rys. 6.7 pokazano w powiększeniu zależności czasu $T_{max}^w(T_p)$ i $V_{max}^w(T_p)$ niżówek maksymalnych POT-70% i SPA-70% w wybranych losowo przekrojach wodowskazowych w różnych częściach zlewni

Górnej Wisły. Dodatkowo na rys. Z.3 i rys. Z.4 przedstawiono rozkłady prawdopodobieństwa T_{max} i V_{max} niszówek maksymalnych POT i SPA wraz z 90% obszarami ufności kwantyli T_P -letnich i z dodatkową skalą T_P w dowolnie wybranym przekroju wodowskazowym (Zboiska na Jasiołce).



Rys. 6.7. Porównanie zależności (punkty - empirycznej, linie - wg rozkładu Weibulla) T_{max}^w i V_{max}^w od okresu powtarzalności T_P wraz z 90% obszarami ufności, dla niszówek maksymalnych POT-70% i SPA-70%, w przekrojach wybranych w różnych regionach fizyczno-geograficznych.

Fig. 6.7. Comparison of the relationship (points - empirical, lines - according to the Weibull distribution) between T_{max}^w (and V_{max}^w) and the the return period T_P [year], with 90% confidence bands, for POT-70% and SPA-70% maximum droughts, in water gauge sections selected in various physical-geographic regions.

Oprócz spodziewanego faktu wyraźnie niższych T_P -letnich wartości czasu trwania i objętości niżówki maksymalnej SPA w stosunku do odpowiednich charakterystyk niżówek POT, zwraca uwagę w większości wodowskazów mniejsza szerokość 90% obszarów ufności niżówek POT (mniejsza niepewność oszacowania odpowiednich kwantyli).

W przekrojach rzek Tatr i Podhala zaobserwowano mniejsze różnice w T_P -letnich charakterystykach (zarówno T_{max}^w jak i V_{max}^w) niżówek maksymalnych POT oraz SPA niż w przekrojach na pozostałym badanym obszarze (rys. 6.7). W Tatrach i na Podhalu, w przeciwieństwie do pozostałych regionów, obszary ufności niżówki POT i SPA w większej części przekrojów pokrywają się. Najmniejsze różnice T_P -letniego czasu trwania i T_P -letniej objętości, wystąpiły w najwyższym położonym przekroju – Łysa Polana na Białce.

6.5.4. Rozkład przestrzenny czasu trwania i objętości 10-i 50-letniej niżówki maksymalnej

Obliczone wartości czasu trwania i objętości niżówki maksymalnej POT i SPA dla przepływów granicznych $Q_{70\%}$, $Q_{80\%}$ i $Q_{90\%}$ o okresie powtarzalności $T_P = 10$ i 50 lat (odpowiednio: $T_{max,10}^{POT}$, $T_{max,10}^{SPA}$ i $V_{max,10}^{POT}$, $V_{max,10}^{SPA}$ oraz $T_{max,50}^{POT}$, $T_{max,50}^{SPA}$ i $V_{max,50}^{POT}$, $V_{max,50}^{SPA}$) nałożone każda osobno na mapę badanego obszaru dają przestrzenny obraz zmienności tych charakterystyk ilustrujący jednocześnie wielkość zagrożenia T_P -letnią niżówką maksymalną. Pojęcie zagrożenie jest tutaj rozumiane jako wielkość rosnąca z czasem trwania i objętością niżówki maksymalnej. Aby mapy te można było wygodnie porównywać, zbiory wartości poszczególnych charakterystyk zostały podzielone na klasy (kategorie) z wykorzystaniem kwantyli (a dokładnie kwartyli) tych charakterystyk jako wartości granicznych klas. Klasyfikacja kwantylowa ułatwia porównywanie jakościowe zmienności różnych zmiennych, szczególnie gdy zakresy ich wartości znacznie się różnią lub gdy zmienne takie są wyrażane w różnych jednostkach, chociaż zmienna ilościowa staje się zmienną jakościową (lingwistyczną).

Zastosowane kodowanie podano w tablicy 6.3, a wynikowe mapy – na rysunkach od Z.7 do Z.12.

Tablica 6.3.

Kodowanie barwne i lingwistyczne w przyjętej klasyfikacji kwartylowej T_P -letnich niżówek maksymalnych. Przykładowo: wartość lingwistyczna *największa zmiennej Zagrożenie niżówką maksymalną T_P -letnią* np. dla $T_{max,10}^{POT}$ oznacza, że wartość liczbowa $T_{max,10}^{POT}$ w danym przekroju czasu należy do 25% najwyższych na całym badanym obszarze czasów $T_{max,10}^{POT}$.

Table 6.3.

Color and linguistic coding in the adopted T_P quartile classification of the T_P -year maximum droughts. For example: the linguistic value of the *largest variable Threat of the T_P -year maximum drought* e.g. for $T_{max,10}^{POT}$ means that the numerical value $T_{max,10}^{POT}$ in a given period belongs to 25% of the highest duration $T_{max,10}^{POT}$ in the studied area.

Kategoria	Kolor przypisany kategorii	Zagrożenie niżówką maksymalną T_P -letnią	Czas trwania T_P -letniej niżówki maksymalnej	Objętość T_P -letniej niżówki maksymalnej
$[X_{min}, X_{25\%}]$		najniższe	najkrótszy	najmniejsza
$(X_{25\%}, X_{50\%}]$		umiarkowane	umiarkowany	umiarkowana
$(X_{50\%}, X_{75\%}]$		wysokie	długi	duża
$(X_{75\%}, X_{max}]$		najwyższe	najdłuższy	największa

Na mapach tych podane są również wartości poszczególnych kwartyli. Ponieważ grupowanie kategorii zagrożenia 10-letnim czasem trwania (i objętości niżówki maksymalnej (rysunki od Z.7 do Z.10) jest podobne do grupowania zagrożenia 50-letnim czasem trwania (i objętością) (rys. Z.11 i rys. Z.12), zatem mapy na rys. Z.11 i rys. Z.12 potraktowane są zbiorczo i są pomniejszone.

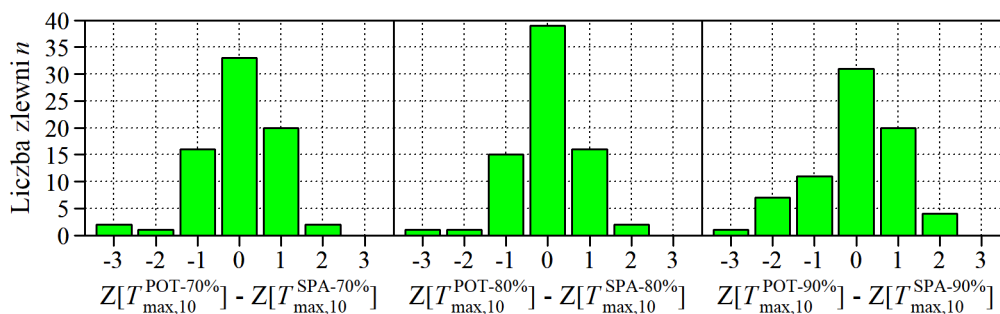
Wszystkie mapy (rys. Z.7 - Z.12) ujawniają mniej lub bardziej wyraźne grupowanie wodowskazów należących do poszczególnych kategorii oraz pewne konsekwentne obszarowe (zlewniowo-regionalne) podobieństwa i różnice niżówek POT i SPA.

Rozkład przestrzenny 10-letniego czasu trwania $T_{max,10}$ niżówki maksymalnej (rys. Z.7 i rys. Z.8)

Najliczniejsze skupienie najwyższych zagrożeń niżówką (tj. najdłuższych niżówek) $T_{max,10}^{POT}$ (niezależnie od Q_g) występuje w górnej części zlewni Dunajca; sporadycznie pojawia się też w dolnej i środkowej części zlewni Sanu oraz części przywiślanej badanego obszaru. W przypadku niżówki $T_{max,10}^{SPA}$ jest nieco podobnie: nadal najwyższe zagrożenie występuje w górnej części zlewni Dunajca (głównie dla SPA-80% i SPA-90%), ale także najwyższe zagrożenie pojawia się intensywnie w dolnej i środkowej części zlewni Sanu kontrastując szczególnie wyraźnie z analogicznym zagrożeniem dla POT-70% i POT-80%.

Lokalizacje najniższego zagrożenia niżówką (tj. najkrótszych niżówek) $T_{max,10}^{POT}$ wykazują wyraźne grupowanie w Bieszczadach we wszystkich sześciu przypadkach na rys. Z.7 i rys. Z.8, a w niektórych przypadkach – w zlewni Soły i Skawy.

Wielkość zagrożenia niżówką $T_{max,10}^{POT}$ jest w ok. 50% identyczna zagrożeniem niżówką $T_{max,10}^{SPA}$ (rys. 6.8). W przeważającym stopniu różnice te nie przekraczają jednej kategorii i są niemal symetryczne z pewnym wyjątkiem dla $Q_{90\%}$, gdzie liczebność różnicy 2 kategorii przekracza 10 (na 74).



Rys. 6.8. Rozkład różnic kategorii Z zagrożeń niżówkami POT i SPA o 10-letnim czasie trwania.
Fig. 6.8. Distribution of category differences Z of threats of POT and SPA droughts of 10-year duration.

Zagrożenie niżówką $T_{max,10}$ w zlewniach

Zlewnia Małej Wisły. W zlewni Małej Wisły (do ujścia Białej), niezależnie od sposobu definiowania niżówki i od przyjętego Q_g , nie stwierdzono grupowania kategorii $T_{max,10}^{POT}$ i $T_{max,10}^{SPA}$, a wartości 10-letnich czasów trwania niżówek POT i SPA, dla wszystkich Q_g , należą do co najmniej trzech z czterech wydzielonych kategorii.

Zlewnia Soły. Zagrożenie 10-letnią niżówką POT-70% jest na większości obszaru zlewni Soły najniższe. Wraz z obniżaniem przepływu granicznego zagrożenie to rośnie; przy $Q_{80\%}$ zagrożenie to jest najniższe, umiarkowane lub wysokie, a przy $Q_{90\%}$ – umiarkowane lub wysokie. W większości przekrojów na obszarze zlewni Soły, niezależnie od Q_g , zagrożenie 10-letnią niżówką SPA jest niższe niż 10-letnią niżówką POT. 10-letni czas trwania $T_{max,10}^{SPA}$ jest najkrótszy we wszystkich przekrojach przy przepływach granicznych $Q_{70\%}$ i $Q_{80\%}$ oraz w trzech z czterech przy $Q_{90\%}$.

Zlewnia Skawy. Zagrożenie 10-letnimi niżówkami POT i SPA na obszarze zlewni Skawy jest zazwyczaj najniższe lub umiarkowane (tylko w jednym przekroju, w przypadku niżówki POT-80%, zagrożenie jest wysokie).

Zlewnia Raby. W zlewni Raby, a dokładniej w beskidzkiej części tej zlewni, zlokalizowane są tylko dwa przekroje wodowskazowe, w których, niezależnie od sposobu definiowania niżówki, 10-letni czas trwania niżówek POT i SPA jest umiarkowany lub najkrótszy.

Zlewnia Dunajca. Najwyższe zagrożenie niżówką $T_{max,10}^{POT}$ (niezależnie od Q_g) zaobserwowano w zlewni Dunajca, szczególnie w górnej, tatrzańsko-podhalańskiej jej części oraz w przypadku niżówek POT-70% i POT-80% – w dolnej, podkarpackiej części Dunajca (rys. Z.7 i rys. Z.8). 10-letnie czasy trwania $T_{max,10}^{POT}$ i $T_{max,10}^{SPA}$ są w większości przekrojów dolnej części zlewni Dunajca długie lub najdłuższe. Najmniejsza różnica między zagrożeniem niżówką POT i SPA o 10-letnim czasie trwania na tym obszarze widoczna jest przy $Q_{70\%}$. Przy przepływie granicznym $Q_{80\%}$ zagrożenie 10-letnią niżówką POT jest wyższe niż 10-letnią niżówką SPA, natomiast przy $Q_{90\%}$ – na większości tego obszaru sytuacja jest odwrotna.

Najwyższe zagrożenie niżówką $T_{max,10}^{POT}$ występuje w Tatrach i na Podhalu. Nieco inaczej jest dla w przypadku niżówki SPA: w zależności od Q_g , zagrożenie 10-letnią niżówką SPA jest najwyższe przy $Q_{90\%}$, zazwyczaj najwyższe przy $Q_{80\%}$ lub najczęściej wysokie przy $Q_{70\%}$.

W środkowej, beskidzkiej części zlewni Dunajca wartości $T_{max,10}^{POT}$ należą do różnych kategorii, które nie grupują się w klarowny sposób. Przy przepływach granicznych $Q_{70\%}$ i $Q_{90\%}$, w ponad połowie (w 9 z 14) przekrojów na tym obszarze 10-letnie czasy trwania niżówki POT są długie i najdłuższe; natomiast przy $Q_{80\%}$ przeważają $T_{max,10}^{POT-80\%}$ umiarkowane i najkrótsze (w sumie 8 z 14). Grupowania kategorii $T_{max,10}^{POT}$ i $T_{max,10}^{SPA}$ są podobne w tej części zlewni Dunajca przy $Q_{80\%}$ i $Q_{90\%}$; czasy $T_{max,10}^{POT-70\%}$ są zazwyczaj dłuższe niż $T_{max,10}^{SPA-70\%}$. Najkrótsze czasy trwania $T_{max,10}^{POT}$ i $T_{max,10}^{SPA}$ występują na Dunajcu, w przekrojach poniżej zbiornika retencyjnego Czorsztyń-Niedzica, natomiast najdłuższe obserwuje się zazwyczaj w południowo-wschodniej części zlewni środkowego Dunajca.

Zlewnia Wisłoki. Rozważane wodowskazy w zlewni Wisłoki znajdują się Beskidach. W żadnym z rozważanych przekrojów, niezależnie od sposobu definiowania niżówki, nie stwierdzono wyraźnego grupowania kategorii czasów $T_{max,10}^{POT}$ lub $T_{max,10}^{SPA}$, czasy te są najniższe w przekrojach na Ropie poniżej zbiornika retencyjnego Klimkówka, a w pozostałych przekrojach są umiarkowane lub długie, a w jednym przekroju czas trwania $T_{max,10}^{POT-80\%}$ jest najdłuższy.

Zlewnia Sanu. Wysokie i najwyższe zagrożenie niżówką maksymalną o 10-letnim czasie trwania występuje także w zlewni Sanu. Zlewnia ta, podobnie jak zlewnia

Dunajca, obejmuje trzy regiony fizyczno-geograficzne o zróżnicowanym zagrożeniu $T_{max,10}^{POT}$ i $T_{max,10}^{SPA}$; są to zlewnie: górnego Sanu (w Bieszczadach), środkowego Sanu (w Beskidach) i dolnego Sanu (na Podkarpaciu).

Na obszarze Bieszczad 10-letnie czasy trwania niżówek POT-70% i POT-80% są najkrótsze i umiarkowane. Wraz z obniżeniem przepływu granicznego, zagrożenie w tym regionie wzrasta; w przypadku niżówki POT-90% jest najniższe, umiarkowane, a w jednym przekroju – wysokie. Grupowanie kategorii $T_{max,10}^{SPA}$ jest na tym obszarze podobne do grupowania $T_{max,10}^{POT}$. W większości przekrojów, niezależnie od Q_g , 10-letni czas trwania $T_{max,10}^{SPA}$ jest najkrótszy.

W beskidzkiej części zlewni Sanu, przy każdym z Q_g , nie obserwuje się grupowania kategorii $T_{max,10}^{POT}$ i $T_{max,10}^{SPA}$. W różnych częściach tego obszaru zagrożenie 10-letnimi niżówkami POT i SPA jest najniższe, umiarkowane i wysokie, a w jednym przekroju (w przypadku niżówek SPA-70% i SPA-80%) – najwyższe.

W zlewni dolnego Sanu, 10-letni czas trwania $T_{max,10}^{POT-70\%}$ jest długi w siedmiu przekrojach (z 13 w tej zlewni) oraz najdłuższy – w trzech przekrojach. Na tym obszarze zagrożenie 10-letnią niżówką POT maleje z obniżeniem Q_g ; w czterech przekrojach $T_{max,10}^{POT-80\%}$ jest krótszy niż $T_{max,10}^{POT-70\%}$, a w sześciu przekrojach 10-letni czas trwania $T_{max,10}^{POT-90\%}$ jest krótszy niż 10-letni czas trwania $T_{max,10}^{POT-70\%}$. W podkarpackiej części zlewni Sanu zagrożenie 10-letnią niżówką SPA jest wyższe niż 10-letnią niżówką POT: zagrożenie niżówką POT-70% jest najczęściej wysokie i najwyższe, a niżówką SPA-70% – najwyższe; zagrożenie niżówką POT-80% jest najczęściej umiarkowane i wysokie, a SPA-80% – wysokie i najwyższe, natomiast zagrożenie niżówką POT-90% jest w większości niskie i umiarkowane, a SPA-90% – zazwyczaj wysokie i najwyższe.

Zagrożenie niżówką $T_{max,10}$ w regionach

Ponieważ z analizy map (rys. Z.7) wynika, że rozkład poszczególnych kategorii 10-letnich czasów trwania niżówek maksymalnych ma dużym stopniu układ zlewniowo-regionalny, w tablicy 6.4 zebrano średnie wartości kwantyli $T_{max,10}$ obliczone w zlewniach rzek ograniczonych do regionów fizyczno-geograficznych.

Największe średnie wartości $T_{max,10}^{POT}$ i $T_{max,10}^{SPA}$ na całym obszarze występują w górnej części zlewni Dunajca, a w przypadku niżówki SPA-70% – w dolnej części Dunajca, natomiast najkrótsze średnie 10-letnie czasy trwania $T_{max,10}$ na badanym obszarze występują w zlewniach: górnego Sanu (niżówki POT-70% i POT-80%), Soły (SPA-70%, SPA-80%) oraz Wisłoki (POT-90% i SPA-90%) (tablica 6.4).

Najkrótsze 10-letnie czasy trwania niżówki maksymalnej zaobserwowano w Beskidach, w przekrojach poniżej zbiorników retencyjnych, natomiast największe wartości $T_{max,10}^{POT}$ wystąpiły w Tatrach, a wartości $T_{max,10}^{SPA}$ – na Podkarpaciu (tablica 6.5).

Tablica 6.4.

Średnie wartości 10-letnich czasów trwania $T_{max,10}$ [doba] niżówki maksymalnej w poszczególnych częściach zlewni w obrębie regionów fizyczno-geograficznych. Liczba zaznaczona na czerwono oznacza największą, a na niebiesko – najmniejszą wartość na badanym obszarze.

Table 6.4.

Mean values of the 10-year duration $T_{max,10}$ [day] of the maximum drought in particular parts of the catchment within the physical and geographical regions. The number marked in red means the highest, and in blue - the smallest value in the studied area.

Zlewnia	Region	POT-70%	SPA-70%	POT-80%	SPA-80%	POT-90%	SPA-90%
Mała Wisła do ujścia Białej	Beskidy	78,9	131,3	61,4	97,8	41,5	61,8
Soła	Beskidy	59,6	95,9	54,3	76,8	39,4	51,9
Skawa	Beskidy	60,2	124,7	51,0	86,2	36,9	51,7
Raba	Beskidy	69,3	128,9	52,0	96,1	34,2	58,6
górnym Dunajec	Tatry i Podhale	116,7	158,5	95,9	125,1	67,0	82,8
środkowy Dunajec	Beskidy	80,4	139,2	62,0	99,2	39,9	58,4
dolny Dunajec	Podkarpacie	90,1	171,6	69,7	111,1	47,2	64,8
Wisłoka	Beskidy	60,6	117,4	49,6	85,5	33,1	48,1
górnym San	Bieszczady	58,2	107,3	48,8	81,9	35,5	55,6
środkowy San	Beskidy	64,4	145,0	55,6	104,7	38,3	61,4
dolny San	Podkarpacie	73,8	162,6	54,4	106,5	36,1	60,0

Tablica 6.5.

Ekstremalne wartości zmiennej $T_{max,10}$ [doba] na badanym obszarze.

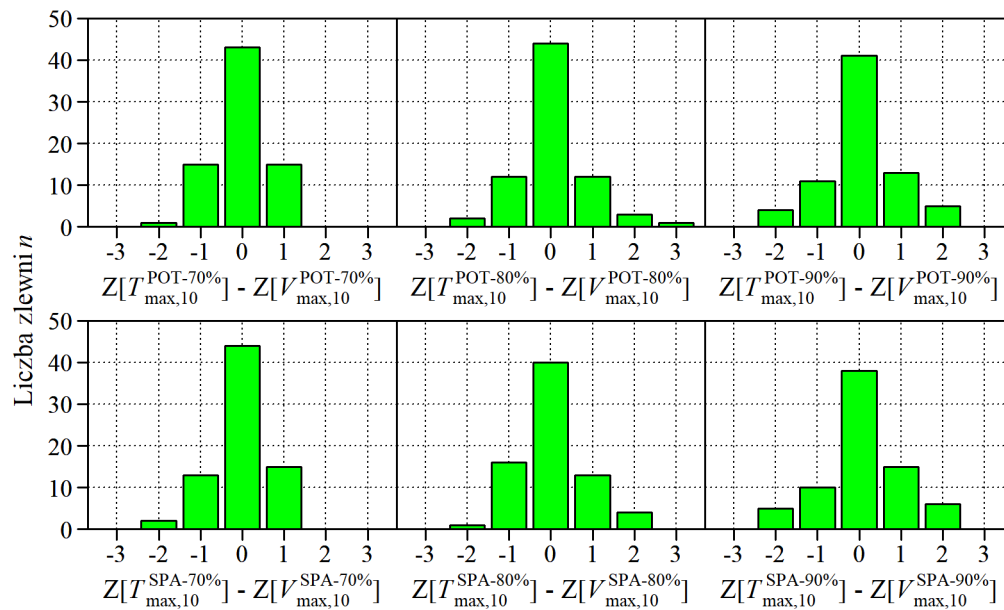
Table 6-5.

Extreme values of $T_{max,10}$ [days] in the studied area.

Niżówka	Najmniejsza wartość $T_{max,10}$ na obszarze			Największa wartość $T_{max,10}$ na obszarze		
	$T_{max,10}$	Rzeka/wodowskaz	Region	$T_{max,10}$	Rzeka/wodowskaz	Region
POT-70%	31,4	Ropa/Klęczany	Beskidy	142,4	Białka/Łysa Polana	Tatry i Podhale
SPA-70%	69,5	Ropa/Klęczany	Beskidy	231,3	Tanew/Harasiuki	Podkarpacie
POT-80%	17,5	Ropa/Klęczany	Beskidy	110,7	Białka/Łysa Polana	Tatry i Podhale
SPA-80%	15,3	Ropa/Klęczany	Beskidy	138,0	Tanew/Harasiuki	Podkarpacie
POT-90%	8,2	Dunajec/Krościenko	Beskidy	76,7	Białka/Łysa Polana	Tatry i Podhale
SPA-90%	8,7	Dunajec/Krościenko	Beskidy	92,5	Białka/Łysa Polana	Tatry i Podhale

Rozkład przestrzenny 10-letniej objętości $V_{max,10}$ niżówki maksymalnej (rys. Z.9 i rys. Z.10)

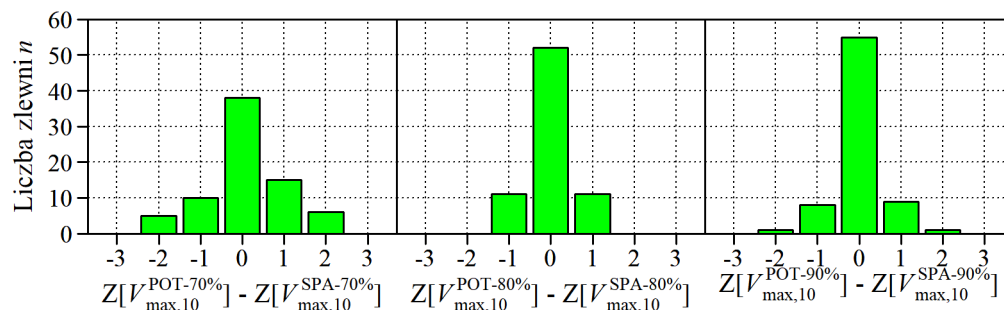
Rozkład przestrzenny kategorii objętości $V_{max,10}$ i ich grupowanie jest w pewnym stopniu podobne do rozkładu przestrzennego kategorii czasu $T_{max,10}$ i ich grupowania (rys. Z.9 i rys. Z.10), czego można oczekiwać ze względu na wysoką korelację tych wielkości. Jak pokazuje rys. 6.9, podobieństwo (zarówno dla niżówek POT jak i SPA) jest identycznością w nieco ponad 50% liczby przekrojów, a różnica jednej kategorii jest symetrycznie rozłożona wokół różnicy zero stanowiąc razem z tą ostatnią ponad 80% liczby przekrojów.



Rys. 6.9. Rozkład różnic kategorii Z zagrożeń niżówkami POT (wiersz górny) i SPA (wiersz dolny) o 10-letnim czasie trwania i 10-letniej objętości.

Fig. 6.9. Distribution of category differences Z of threats of POT droughts (top row) and the SPA (bottom row) droughts of 10-year duration and a 10-year volume.

Zagrożenie niżówką $V_{max,10}^{POT}$ jest w wysokim stopniu identyczne z analogicznym zagrożeniem niżówką $V_{max,10}^{SPA}$ (rys. 6.10) – obejmuje ok. 2/3 liczby przekrojów, i jest silniej (w porównaniu do T_{max}) skoncentrowane wokół zera.



Rys. 6.10. Rozkład różnic kategorii Z zagrożeń niżówkami POT i SPA o 10-letniej objętości.

Fig. 6.10. Distribution of category differences Z of threats of POT and SPA droughts of 10-year volume.

Zagrożenie niżówką $V_{max,10}$ w zlewniach

Zlewnia Małej Wisły. Rozkład zagrożenia niżówkami $V_{max,10}^{POT}$ i $V_{max,10}^{SPA}$ w zlewni Małej Wisły jest niemal identyczny. W większości przypadków (niżówka POT lub SPA przy określonym Q_g), 10-letnie objętości $V_{max,10}^{POT}$ i $V_{max,10}^{SPA}$ w tej zlewni są duże lub największe.

Zlewnia Soły. W zlewni Soły zagrożenie niżówką SPA rośnie wraz z obniżeniem przepływu granicznego. Najniższe jest dla SPA-70%; w przypadku niżówki SPA-80% jest najniższe lub umiarkowane, a niżówki SPA-90% – najniższe, umiarko-

wane lub wysokie. 10-letnie objętości niżówki POT są w niektórych przekrojach wyższe niż $V_{max,10}^{SPA}$; przy $Q_{70\%}$ sytuacja taka występuje w dwóch z czterech przekrojów, a przy przepływach granicznych $Q_{80\%}$ i $Q_{90\%}$ – w po jednym z czterech przekrojów w zlewni Soły.

Zlewnia Skawy. Zagrożenie $V_{max,10}^{POT}$ i $V_{max,10}^{SPA}$ w zlewni Skawy jest dość podobne do zagrożenia w zlewni Soły. 10-letnia objętość $V_{max,10}^{SPA-70\%}$ jest zazwyczaj (w pięciu przekrojach z siedmiu) najmniejsza. Zagrożenie niżówką $V_{max,10}^{SPA}$ w niektórych przekrojach podwyższa się wraz z obniżaniem Q_g ; przy $Q_{80\%}$ większość zagrożeń niżówką $V_{max,10}^{SPA}$ jest umiarkowane, a przy $Q_{90\%}$ – umiarkowane lub największe. Zagrożenie niżówką POT-70% o 10-letniej objętości jest takie samo jak niżówką SPA-70%, a przypadku pozostałych przepływów granicznych zagrożenie $V_{max,10}^{POT}$ jest wyższe niż $V_{max,10}^{SPA}$ (przy $Q_{80\%}$ w trzech przekrojach z siedmiu, a przy $Q_{90\%}$ – w dwóch).

Zlewnia Raby. 10-letnie objętości $V_{max,10}^{SPA}$ w zlewni Raby są najczęściej umiarkowane, natomiast objętości $V_{max,10}^{POT}$, w zależności od sposobu definiowania niżówki są umiarkowane lub długie (w przypadku niżówek POT-70% i POT-80%) albo umiarkowane lub najkrótsze (POT-90%).

Zlewnia Dunajca. Najwyższe zagrożenie niżówkami POT i SPA o 10-letniej objętości występuje w Tatrach i na Podhalu (rys. Z.9 i rys. Z.10). Jest to obszar, na którym w prawie wszystkich przekrojach 10-letnie objętości $V_{max,10}^{POT}$ i $V_{max,10}^{SPA}$ są największe; tylko w jednym przekroju (z siedmiu na tym obszarze) w trzech przypadkach (niżówki SPA-70%, SPA-80%, POT-90%), objętość $V_{max,10}$ jest duża.

Na obszarze środkowej i dolnej zlewni Dunajca grupowanie kategorii wielkości $V_{max,10}^{POT}$ i $V_{max,10}^{SPA}$ nie jest wyraźne. W beskidzkiej części Dunajca, zagrożenie niżówkami $V_{max,10}^{POT}$ i $V_{max,10}^{SPA}$ jest najwyższe w południowej części tej zlewni. Na pozostałej części tego obszaru wartości $V_{max,10}^{POT}$ i $V_{max,10}^{SPA}$ należą do różnych kategorii; przy $Q_{80\%}$ objętości te zazwyczaj są najmniejsze, a przy $Q_{70\%}$ i $Q_{90\%}$ – najczęściej najmniejsze lub umiarkowane. W przekrojach na Dunajcu położonych poniżej zbiornika retencyjnego Czorsztyn 10-letnie objętości zazwyczaj są najmniejsze (tylko przy POT-90% są duże).

W podkarpackiej części zlewni Dunajca zagrożenie niżówką $V_{max,10}^{POT-70\%}$ jest wysokie i najwyższe, a niżówką $V_{max,10}^{SPA-70\%}$ – wysokie. Zagrożenie to maleje wraz z obniżeniem Q_g . Zarówno przy $Q_{80\%}$, jak i przy $Q_{90\%}$, rozkład kategorii 10-letnich objętości niżówki POT jest taki sam jak niżówki SPA; przy $Q_{80\%}$ zagrożenie jest najwyższe i umiarkowane, a przy $Q_{90\%}$ – wysokie i najniższe.

Zlewnia Wisłoki. Rozkłady 10-letnich objętości $V_{max,10}^{POT-70\%}$ i $V_{max,10}^{SPA-70\%}$ w zlewni Wisłoki są takie same, a dla pozostałych Q_g różnią się nieznacznie: rozkłady $V_{max,10}^{POT-80\%}$ i $V_{max,10}^{SPA-80\%}$ różnią się tylko w jednym przekroju z siedmiu zlokalizowanych na tym obszarze, a rozkłady $V_{max,10}^{POT-90\%}$ i $V_{max,10}^{SPA-90\%}$ – w dwóch przekrojach. Zagrożenie niżówkami POT i SPA w zlewni Wisłoki w większości przypadków jest najmniejsze (głównie na Ropie w przekrojach poniżej zbiornika Klimkówka) lub umiarkowane, a w kilku przekrojach – duże.

Zlewnia Sanu. Obszarem mocno zagrożonym niżówkami $V_{max,10}^{POT}$ i $V_{max,10}^{SPA}$ jest

także zlewnia Sanu, a przede wszystkim jej podkarpacka część. 10-letnie objętości niżówki POT na obszarze dolnego Sanu zazwyczaj są duże lub największe. Najczęściej dzieje się to w przypadku niżówki POT-70% (11 z 13 przekrojów), nieco rzadziej przy niższych Q_g (przy $Q_{80\%}$ – 10 przekrojów, przy $Q_{90\%}$ – 8). Na obszarze tym zagrożenie niżówkami $V_{max,10}^{SPA}$ wydaje się podobne do zagrożenia niżówkami $V_{max,10}^{POT}$, jednak w pojedynczych przekrojach zagrożenie niżówką $V_{max,10}^{SPA}$ jest wyższe niż $V_{max,10}^{POT}$ (przy $Q_{70\%}$ w czterech przekrojach z 13, przy $Q_{80\%}$ w czterech przekrojach, a przy $Q_{90\%}$ w trzech przekrojach).

Zarówno w bieszczadzkiej, jak i beskidzkiej części zlewni Sanu nie obserwuje się wyraźnego grupowania kategorii zagrożeń niżówkami $V_{max,10}^{SPA}$ i $V_{max,10}^{POT}$, nie widać także związku pomiędzy wielkością zagrożenia niżówkami POT i SPA o 10-letniej objętości a wielkością przepływu granicznego. W większości przekrojów rozkład kategorii zagrożeń niżówkami $V_{max,10}^{POT-70\%}$ i $V_{max,10}^{SPA-70\%}$, $V_{max,10}^{POT-80\%}$ i $V_{max,10}^{SPA-80\%}$ oraz $V_{max,10}^{POT-90\%}$ i $V_{max,10}^{SPA-90\%}$ na obszarze górnego Sanu jest podobny. Przy $Q_{70\%}$ większość wodowskazów na tym obszarze wykazuje umiarkowane zagrożenie niżówkami POT i SPA o 10-letniej objętości; przy pozostałych przepływach granicznych kategorie zagrożeń niżówkami $V_{max,10}^{SPA}$ i $V_{max,10}^{POT}$ w zlewni górnego Sanu są różne. Pomimo że w beskidzkiej części zlewni Sanu zlokalizowanych jest tylko pięć przekrojów, rozkład kategorii 10-letnich objętości $V_{max,10}^{SPA}$ i $V_{max,10}^{POT}$ dla każdego Q_g jest zróżnicowany, niezależnie od sposobu definiowania niżówki, objętości te należą do przynajmniej trzech kategorii.

Zagrożenie niżówką $V_{max,10}$ w regionach

Największe średnie obszarowe wartości 10-letnich objętości niżówek maksymalnych POT i SPA występują w zlewni górnego Dunajca, natomiast najniższe średnie $V_{max,10}$ w prawie wszystkich badanych przypadkach (w pięciu z sześciu) stwierdzono w zlewni Wisłoki, a przy rozważaniu niżówki SPA-70% – w zlewni Soły (tablica 6.6).

Tablica 6.6.

Średnie wartości 10-letnich objętości V_{max} [doba] niżówki maksymalnej w poszczególnych częściach zlewni w obrębie regionów fizyczno-geograficznych. Liczba zaznaczona na czerwono oznacza największą, a na niebiesko – najmniejszą wartość na badanym obszarze.

Table 6.6.

Mean values of the 10-year volume V_{max} [day] of the maximum drought in particular parts of the catchment within the physical and geographical regions. The number marked in red means the highest, and in blue - the smallest value in the studied area.

Zlewnia	Region	POT-70%	SPA-70%	POT-80%	SPA-80%	POT-90%	SPA-90%
Mała Wisła do ujścia Białej	Beskidy	13,9	18,0	7,2	9,4	2,3	2,9
Soła	Beskidy	9,6	11,8	5,5	6,3	2,1	2,4
Skawa	Beskidy	9,9	14,5	5,5	7,0	2,3	2,6
Raba	Beskidy	12,0	16,6	5,7	7,9	1,8	2,4
górnym Dunajcem	Tatry i Podhale	21,0	24,3	11,7	13,2	4,3	4,7
środkowym Dunajcem	Beskidy	12,0	16,2	5,7	7,4	2,1	2,5
dolnym Dunajcem	Podkarpacie	14,1	18,6	6,1	7,6	2,0	2,2
Wisłoka	Beskidy	8,5	12,2	4,5	5,9	1,6	2,0
górnym Sanem	Bieszczady	11,1	15,8	6,0	8,0	2,3	2,8
środkowym Sanem	Beskidy	10,7	17,4	5,8	8,3	1,9	2,5
dolnym Sanem	Podkarpacie	12,7	18,9	6,4	9,1	2,5	3,2

Najmniejsze 10-letnie objętości niżówki maksymalnej zaobserwowano w Beskidach (poniżej zbiorników retencyjnych), natomiast największe – w Tatrach (tablica 6.7).

Tablica 6.7.

Ekstremalne wartości zmiennej $V_{max,10}$ [doba] na badanym obszarze.

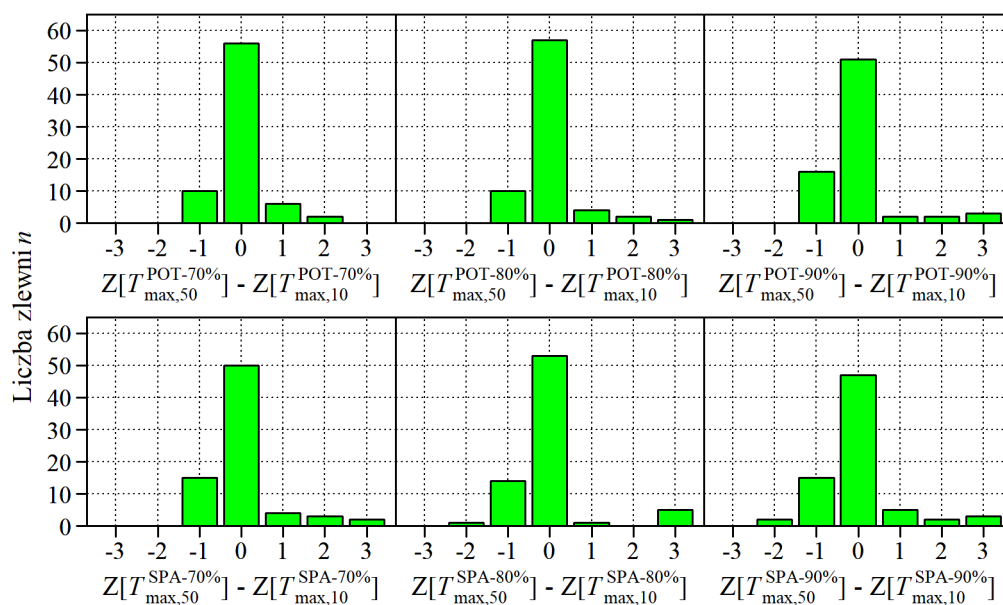
Table 6.7.

Extreme values of $V_{max,10}$ [day] in the studied area.

Niżówka	Najmniejsza wartość $V_{max,10}$ na obszarze			Największa wartość $V_{max,10}$ na obszarze		
	$V_{max,10}$	Rzeka/wodowskaz	Region	$V_{max,10}$	Rzeka/wodowskaz	Region
POT-70%	2,5	Ropa/Klęczany	Besкиды	23,2	Dunajec/Koniówka	Tatry i Podhale
SPA-70%	3,5	Ropa/Klęczany	Besкиды	26,3	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale
POT-80%	0,3	Ropa/Klęczany	Besкиды	15,0	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale
SPA-80%	0,3	Ropa/Klęczany	Besкиды	16,7	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale
POT-90%	0,1	Dunajec/Krościenko	Besкиды	5,9	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale
SPA-90%	0,1	Dunajec/Krościenko	Besкиды	6,1	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale

Rozkład przestrzenny 50-letniego czasu trwania $T_{max,50}$ niżówki maksymalnej (rys. Z.11)

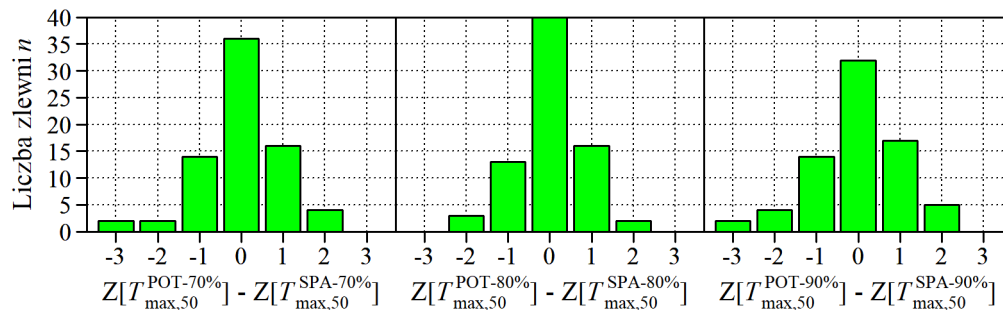
Jak można było oczekiwać, grupowanie kategorii zagrożenia 50-letnim czasem trwania jest podobne do grupowania kategorii zagrożenia 10-letnim czasem trwania niżówki maksymalnej (rys. Z.7 i rys Z.8 oraz Z.11). Rys. 6.11 ilustruje ilościowo to podobieństwo. Identyczność zagrożeń niżówkami $T_{max,50}$ i $T_{max,10}$ oscyluje nieco w pobliżu 50/74 ($\approx 75\%$) przypadków; wszystkie histogramy wykazują asymetrię prawostronną.



Rys. 6.11. Rozkład różnic kategorii Z zagrożeń niżówkami o 50- i 10-letnim czasie trwania.
Fig. 6.11. Distribution of category differences Z of threats of droughts of 50- and 10-year duration.

Różnice w kategoriach 10-letniego i 50-letniego czasu trwania niżówki POT obserwuje się przy $Q_{70\%}$ w 14 z 74 przekrojów, przy $Q_{80\%}$ w 13 przekrojach, a przy $Q_{90\%}$ w 16 przekrojach, natomiast niżówki SPA: przy $Q_{70\%}$ w 24 z 74 przekrojów, przy $Q_{80\%}$

w 15 przekrojach, a przy $Q_{90\%}$ w 21 przekrojach. Porównanie wielkości zagrożenia niżówką $T_{max,50}^{POT}$ i $T_{max,50}^{SPA}$ (rys. 6.12) wskazuje na identyczność kategorii w 50% lub mniej liczby przekrojów. Rozkład różnic jest prawie symetryczny z liczbą różnic jednej kategorii praktycznie równą liczbie różnic zerowych.



Rys. 6.12. Rozkład różnic kategorii Z zagrożeń niżówkami POT i SPA o 50-letnim czasie trwania.
Fig. 6.12. Distribution of category differences Z of threats to POT and SPA droughts with of 50-year duration.

Zagrożenie niżówką $T_{max,50}$ w zlewniach

Zlewnia Małej Wisły. Zagrożenie niżówkami POT i SPA o 50-letnim czasie trwania w zlewni Małej Wisły (do ujścia Białej) jest dla wszystkich założonych Q_g niższe w północnej części tej zlewni, niż w południowej. Czas $T_{max,50}^{POT}$ w północnej części badanej zlewni jest umiarkowany lub długi, a w południowej części – zazwyczaj długi lub najdłuższy. Rozpiętość stopnia zagrożenia niżówką $T_{max,50}^{SPA}$ na tym obszarze jest większa niż w niżówką $T_{max,50}^{POT}$; w północnej części tej zlewni zagrożenie to jest najwyższe, podczas gdy w południowej – przy $Q_{70\%}$ i $Q_{80\%}$ jest niskie, a przy $Q_{90\%}$ – niskie lub umiarkowane.

Zlewnia Soły. 50-letnie czasy trwania niżówek SPA-70% i SPA-80% na całym obszarze Soły są najkrótsze, a niżówki SPA-90% – najkrótsze i umiarkowane. Zagrożenie niżówką POT o 50-letnim czasie trwania jest najczęściej wyższe niż niżówką SPA i najczęściej rośnie wraz ze spadkiem Q_g , przy $Q_{70\%}$ zagrożenie to jest najniższe lub umiarkowane, przy $Q_{80\%}$ – najniższe, umiarkowane lub wysokie, a przy $Q_{90\%}$ – wysokie lub najwyższe.

Zlewnia Skawy. Zagrożenie 50-letnimi niżówkami POT i SPA na obszarze zlewni Skawy jest najczęściej najniższe lub umiarkowane; w kilku przekrojach jednak zagrożenie to jest wysokie (w przypadku niżówek POT-80% i POT-90% – w jednym przekroju, a niżówki SPA-90% – w dwóch przekrojach).

Zlewnia Raby. Na obszarze zlewni Raby, zlokalizowane są tylko dwa wodowskazy. Określone w tych przekrojach wodowskazowych 50-letnie czasy trwania $T_{max,50}^{SPA}$ są umiarkowane, a $T_{max,50}^{POT}$ – najkrótsze lub umiarkowane.

Zlewnia Dunajca. Najwyższe zagrożenie niżówkami POT i SPA obserwuje się na całym obszarze zlewni Dunajca, szczególnie w jej górnej części. Długie i najdłuższe czasy trwania $T_{max,50}^{POT}$ i $T_{max,50}^{SPA}$ występują także w dolnej, podkarpackiej, części zlewni Dunajca.

W Tatrach i na Podhalu, 50-letnie czasy trwania niżówki POT są najdłuższe. Zagrożenie niżówką SPA o $T_{max,50}^{SPA}$ przy przepływie granicznym $Q_{90\%}$ jest najwyższe,

a wraz z podwyższeniem Q_g zagrożenie to maleje, w przypadku niżówki SPA-80% zagrożenie jest duże i najwyższe, a niżówki SPA-90% – głównie duże i umiarkowane.

Na obszarze środkowej, beskidzkiej części zlewni Dunajca nie obserwuje się grupowania kategorii 50-letnich czasów trwania $T_{max,50}^{POT}$ i $T_{max,50}^{SPA}$, nie ma też wyraźnej zależności stopnia zagrożenia niżówkami POT i SPA o 50-letnim czasie trwania od przepływu granicznego ani różnicy między długością $T_{max,50}^{POT}$ i $T_{max,50}^{SPA}$ (dla poszczególnych Q_g).

Przy przepływach granicznych $Q_{70\%}$ i $Q_{90\%}$, w ponad połowie przekrojów (w 9 z 14) 10-letnie czasy trwania niżówki POT są długie i najdłuższe; natomiast przy $Q_{80\%}$ przeważają 10-letnie czasy trwania $T_{max,50}^{POT-80\%}$ umiarkowane i najkrótsze (w sumie 8 z 14). Najkrótsze $T_{max,50}^{POT-80\%}$ występują głównie w beskidzkiej części zlewni Dunajca, podczas gdy najdłuższe $T_{max,50}^{POT-80\%}$ obserwuje się zazwyczaj w południowej części tego obszaru.

Zlewnia Wisłoki. W zlewni Wisłoki, podobnie jak rozkłady 10-letnich czasów trwania niżówek POT i SPA, rozkłady 50-letnich czasów trwania, niezależnie od sposobu definiowania niżówki, nie wykazują wyraźnego grupowania kategorii $T_{max,50}^{POT}$ i $T_{max,50}^{SPA}$. Kategorie tych czasów trwania są zróżnicowane, jednak w ani jednym przekroju nie stwierdzono najwyższego zagrożenia.

Zlewnia Sanu. W zlewni Sanu najkrótsze wartości $T_{max,50}^{POT}$ i $T_{max,50}^{SPA}$ obserwuje się głównie w Bieszczadach i w nielicznych przekrojach środkowego Sanu. Na obszarze górnego zlewni górnego Sanu, 50-letnie czasy trwania niżówki POT i SPA, przy $Q_{70\%}$ i $Q_{80\%}$ są najkrótsze i umiarkowane. Przy najniższym przepływie granicznym występują pojedyncze przekroje, w których czasy trwania $T_{max,50}^{POT-90\%}$ i $T_{max,50}^{SPA-90\%}$ są długie. W beskidzkiej części zlewni Sanu nie występuje wyraźne grupowanie kategorii $T_{max,50}^{POT-90\%}$ i $T_{max,50}^{SPA-90\%}$. Najbardziej zagrożoną wystąpieniem najdłuższej niżówki POT i SPA o 50-letnim czasie trwania w zlewni Sanu jest jej podkarpacka część. Najdłuższe niżówki (w przypadku niżówki SPA-70%) występują w prawie wszystkich (w 10 z 13) przekrojach na tym obszarze. Wraz ze spadkiem przepływu granicznego, liczba przekrojów na których czas trwania $T_{max,50}^{SPA}$ jest najdłuższy obniża się (sześć przekrojów przy $Q_{80\%}$ i cztery przy $Q_{90\%}$), a rośnie liczba umiarkowanych $T_{max,50}^{SPA}$ (jeden przekrój przy $Q_{70\%}$, dwa – przy $Q_{80\%}$ i sześć – przy $Q_{90\%}$).

Zagrożenie niżówką $T_{max,50}$ w regionach

Najdłuższe średnie obszarowe wartości 50-letnich czasów trwania niżówek POT i SPA, obserwuje się w obszarze Tatr i Podhala (tablica 6.8). Wyjątek stanowi niżówka SPA-70% w przypadku której średnia obszarowa jest najwyższa w podkarpackiej części zlewni Dunajca. Najkrótsze średnie regionalne wartości 50-letnich czasów trwania niżówki SPA występują w zlewni Soły, a niżówki POT, w zależności od Q_g , w zlewni Soły (niżówka POT-70%), górnego Sanu (POT-80%) i Raby (POT-90%) (tablica 6.8).

Najniższe wartości $T_{max,50}$ na rozpatrywanym obszarze zaobserwowano w Beskidach, najwyższe zaś w obszarze Tatr i Podhala, a w przypadku niżówki SPA-70% – na Podkarpaciu (tablica 6.9).

Tablica 6.8.

Średnie wartości 50-letnich czasów trwania $T_{max,50}$ [doba] niżówki maksymalnej w poszczególnych częściach zlewni w obrębie regionów fizyczno-geograficznych. Liczba zaznaczona na czerwono oznacza największą, a na niebiesko – najmniejszą wartość na badanym obszarze.

Table 6.8.

Mean values of the 50-year duration $T_{max,50}$ [day] of the maximum drought in particular parts of the catchment within the physical and geographical regions. The number marked in red means the highest, and in blue - the smallest value in the studied area.

Zlewnia	Region	POT-70%	SPA-70%	POT-80%	SPA-80%	POT-90%	SPA-90%
Mała Wisła do ujścia Białej	Beskidy	111,0	191,4	87,4	144,4	68,7	117,1
Soła	Beskidy	75,1	129,8	74,6	110,3	61,0	85,1
Skawa	Beskidy	77,3	182,9	70,0	132,8	58,2	90,1
Raba	Beskidy	93,4	191,5	71,2	156,6	52,7	106,6
górnym Dunajec	Tatry i Podhale	163,1	223,5	147,3	199,6	120,8	158,9
środkowy Dunajec	Beskidy	113,2	220,1	96,6	175,2	67,1	113,0
dolny Dunajec	Podkarpacie	129,7	268,0	107,7	189,5	81,2	128,7
Wisłoka	Beskidy	86,0	214,2	73,1	147,5	55,6	90,3
górnym San	Bieszczady	76,7	156,8	66,9	129,5	54,3	96,9
środkowy San	Beskidy	84,7	222,9	79,0	167,6	58,5	105,9
dolny San	Podkarpacie	103,7	258,4	79,8	177,0	58,1	111,0

Tablica 6.9.

Ekstremalne wartości zmiennej $T_{max,50}$ [doba] na badanym obszarze.

Table 6.9.

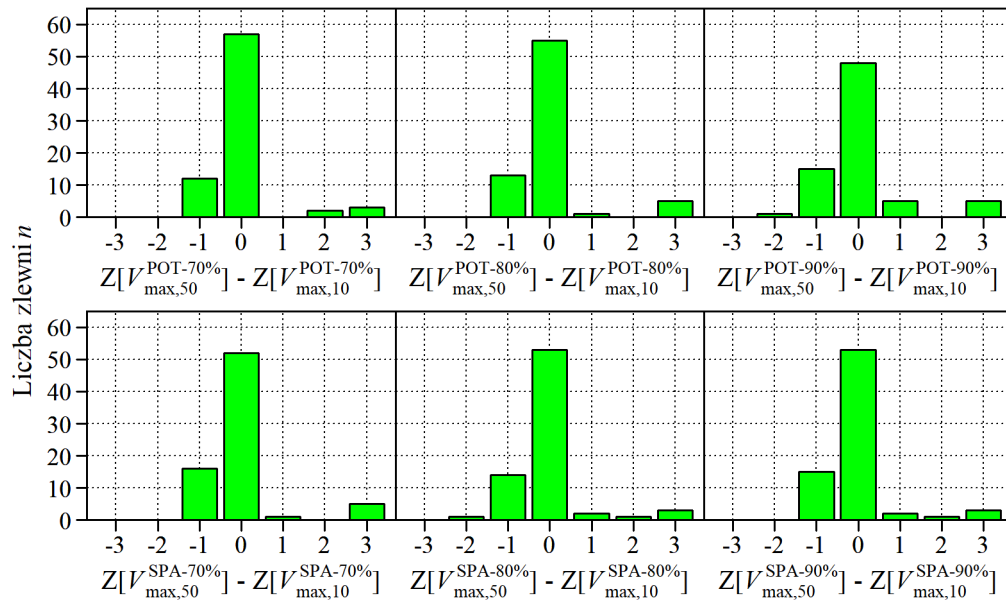
Extreme values of $T_{max,50}$ [day] in the studied area.

Niżówka	Najmniejsza wartość $T_{max,50}$ na obszarze			Największa wartość $T_{max,10}$ na obszarze		
	$T_{max,50}$	Rzeka/wodowskaz	Region	$T_{max,50}$	Rzeka/wodowskaz	Region
POT-70%	61,8	Solinka/Terka	Beskidy	191,2	Niedziczanka/Niedzica	Tatry i Podhale
SPA-70%	114,4	Soła/Rajcza	Beskidy	375,7	Tanew/Harasiuki	Podkarpacie
POT-80%	41,2	Ropa/Kłęczany	Beskidy	155,7	Białka/Łysa Polana	Tatry i Podhale
SPA-80%	39,9	Ropa/Kłęczany	Beskidy	242,7	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale
POT-90%	21,0	Dunajec/Krościenko	Beskidy	145,9	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale
SPA-90%	34,5	Dunajec/Krościenko	Beskidy	187,7	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale

Rozkład przestrzenny 50-letniej objętości $V_{max,50}$ niżówki maksymalnej (rys. Z.12)

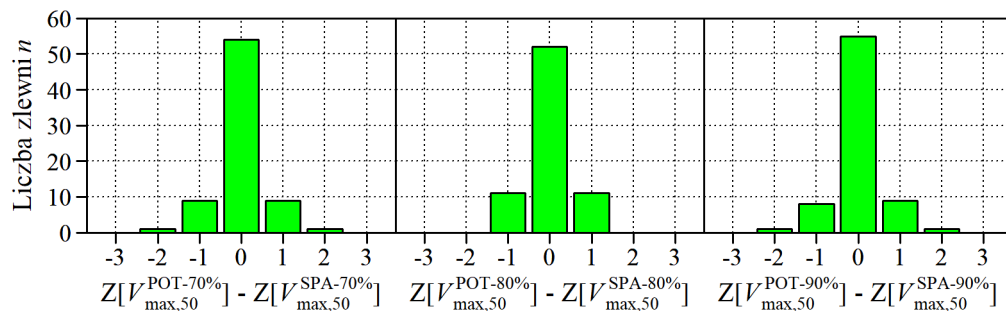
Zgodnie z oczekiwaniami, grupowanie kategorii zagrożeń niżówką maksymalną o 50-letniej objętości jest podobne do grupowania kategorii 10-letniej objętości niżówki maksymalnej (rys. Z.9 i rys. Z.10 oraz Z.12). Podobieństwo to jest identycznością w ponad 2/3 liczby przekrojów (rys. 6.13). Rozkłady różnic POT i SPA są bardzo podobne, z liczebnością ponad 10 różnic minus jeden, tzn. przekrojów, w których kategoria zagrożenia niżówką $V_{max,50}$ jest niższa od tej dla $V_{max,10}$; różnice plus jeden są natomiast bardzo nieliczne.

Różnice w kategoriach 10- i 50-letniej objętości niżówki POT obserwuje się przy $Q_{70\%}$ w 12 z 74 przekrojów, przy $Q_{80\%}$ w 16 przekrojach, a przy $Q_{90\%}$ w 20 przekrojach, natomiast niżówki SPA: przy $Q_{70\%}$ w 12 z 74 przekrojów, przy $Q_{80\%}$ w 10 przekrojach, a przy $Q_{90\%}$ w 25 przekrojach. Najwyższe zagrożenie niżówką o 50-letniej objętości występuje w Tatrach i na Podhalu (w zlewni górnego Dunajca), a także na Podkarpaciu, w zlewni dolnego Sanu.



Rys. 6.13. Rozkład różnic kategorii Z zagrożeń niżówkami o 50- i 10-letniej objętości.
Fig. 6.13. Distribution of category differences Z of threats of droughts of 50- and 10-year volume.

Kategorie zagrożeń niżówką $V_{max,50}^{POT}$ nie różnią się od kategorii zagrożeń niżówką $V_{max,50}^{SPA}$ w ponad 50 przekrojach (rys. 6.14). Rozkład różnic jest idealnie symetryczny z liczbą różnic jednej kategorii wynoszącą ok. 20.



Rys. 6.14. Rozkład różnic kategorii Z zagrożeń niżówkami POT i SPA o 50-letniej objętości.
Rys. 6.14. Distribution of in the category differences Z of threats of POT and SPA droughts of 50-year volume.

Zagrożenie niżówką $V_{max,50}$ w zlewniach

Zlewnia Małej Wisły. 50-letnie objętości niżówek POT i SPA w zlewni Małej Wisły (do ujścia Białej) należą do różnych kategorii; na obszarze tym nie obserwuje się czytelnego grupowania kategorii objętości $V_{max,50}^{POT}$ i $V_{max,50}^{SPA}$.

Zlewnia Soły. Zagrożenie niżówką SPA-70% o 50-letniej objętości w zlewni Soły jest najniższe. Wraz z obniżeniem Q_g , zagrożenie rośnie, przy $Q_{80\%}$ jest najniższe lub umiarkowane, a $Q_{90\%}$ – najniższe, umiarkowane lub wysokie. Kategorie 50-letnich objętości niżówki POT są w niektórych przekrojach wyższe niż 50-letnich objętości niżówki SPA; przy $Q_g = Q_{70\%}$ dzieje się tak w jednym z czterech przekrojów w zlewni Soły, a przy $Q_{80\%}$ i $Q_{90\%}$ – w połowie przekrojów.

Zlewnia Skawy. Zagrożenie niżówkami o 50-letniej objętości w zlewni Skawy

jest stosunkowo niewysokie (zazwyczaj najniższe lub umiarkowane) i podobnie jak na obszarze Soły, w zlewni Skawy kategorii $V_{max,50}^{POT}$ i $V_{max,50}^{SPA}$ w niektórych przekrojach podwyższają się wraz z obniżeniem Q_g .

Zlewnia Raby. We wszystkich analizowanych przypadkach (niżówki POT, SPA przy założonym Q_g), 50-letnie objętości $V_{max,50}^{POT}$ i $V_{max,50}^{SPA}$ w zlewni Raby są najniższe lub umiarkowane.

Zlewnia Dunajca. Obszarem najbardziej zagrożonym niżówkami POT i SPA o 50-letniej objętości jest obszar zlewni górnego Dunajca, na którym prawie wszystkich 50-letnie objętości $V_{max,50}^{POT}$ i $V_{max,50}^{SPA}$ są największe; tylko w jednym przekroju (z siedmiu na tym obszarze) w trzech przypadkach (niżówki SPA-80%, POT-90% i SPA-90%) objętość $V_{max,10}$ jest uznana za dużą, a w jednym przekroju, w przypadku niżówki SPA-70% – za umiarkowaną.

Na obszarze środkowej zlewni Dunajca grupowanie kategorii wielkości $V_{max,50}^{POT}$ i $V_{max,50}^{SPA}$ nie jest jednoznaczne: zagrożenie niżówkami POT i SPA o 50-letniej objętości na tym obszarze jest najwyższe w południowej części tej zlewni, jednak na pozostałym obszarze objętości tak $V_{max,50}^{POT}$ jak i $V_{max,50}^{SPA}$ należą do trzech różnych kategorii. W podkarpackiej części zlewni Dunajca zagrożenie niżówką $V_{max,50}^{POT-70\%}$ jest wysokie i najwyższe, a niżówką $V_{max,50}^{SPA-70\%}$ – wysokie. Zagrożenie to maleje wraz z obniżeniem Q_g , aż w przypadku niżówki POT-90% jest wysokie i umiarkowane, a dla niżówki SPA-90% – umiarkowane. 10-letnie objętości niżówek POT i SPA na Dunajcu, w przekrojach będących pod wpływem oddziaływania zbiornika Czorsztyn, najczęściej są najmniejsze lub umiarkowane.

Zlewnia Wisłoki. Niezależnie od przyjętej definicji niżówki, rozkłady 50-letnich objętości $V_{max,50}^{POT}$ i $V_{max,50}^{SPA}$ w zlewni Wisłoki są takie same lub różnią się od siebie nieznacznie. Zagrożenie niżówkami POT i SPA w zlewni Wisłoki w większości przypadków jest najmniejsze lub umiarkowane, a w kilku przekrojach, zazwyczaj w północnej części tej zlewni – duże. We wszystkich przypadkach 10-letnie objętości niżówek na Ropie poniżej zbiornika Klimkówka są najmniejsze.

Zlewnia Sanu. Zlewnia Sanu, a szczególnie głównie jej część podkarpacka, jest obszarem mocno zagrożonym niżówkami o $V_{max,50}^{POT}$ i $V_{max,50}^{SPA}$: 50-letnie objętości niżówki POT i SPA na obszarze dolnego Sanu zazwyczaj są duże lub największe (w 10 z 13 przekrojów na tym obszarze w przypadku niżówek POT-80%, POT-90% i w 11 przekrojach – w pozostałych przypadkach). Na obszarze tym zagrożenie niżówkami SPA o 10-letniej objętości wydaje się podobne do zagrożenia niżówkami POT. Zarówno w bieszczadzkiej, jak i beskidzkiej części zlewni Sanu nie obserwuje się zdecydowanego grupowania kategorii $V_{max,50}^{POT}$ i $V_{max,50}^{SPA}$, nie widać także zależności między zagrożeniem niżówkami POT i SPA o 50-letniej objętości a przepływem granicznym. W większości przekrojów rozkłady kategorii $V_{max,50}^{POT-70\%}$ i $V_{max,50}^{SPA-70\%}$, $V_{max,50}^{POT-80\%}$ i $V_{max,50}^{SPA-80\%}$ oraz $V_{max,50}^{POT-90\%}$ i $V_{max,50}^{SPA-90\%}$ na obszarze górnego i środkowego Sanu są podobne, jednak 50-letnie objętości $V_{max,50}^{SPA}$ i $V_{max,50}^{POT}$ (niezależnie od Q_g) wykazują przynależność do różnych kategorii; niezależnie od sposobu definiowania niżówki, objętości te należą do przynajmniej trzech kategorii.

Zagrożenie niżówką $V_{max,50}$ w regionach

Najbardziej zagrożoną niżówką maksymalną o 50-letniej objętości $V_{max,50}$ jest zlewnia górnego Dunajca, o czym także świadczą także najwyższe średnie obszarowe wartości $V_{max,50}$ na badanym obszarze (tablica 6.10). Najniższe średnie obszarowe $V_{max,50}$ występują w zlewni Soły (w przypadku niżówek POT-70%, SPA-70%, SPA-80%) i w zlewni Wisłoki (niżówki POT-80%, POT-90%, SPA-90%).

Podobnie jak w przypadku rozkładu kwantyli $V_{max,10}$, także najwyższe wartości 50-letnich objętości stwierdzono w regionie tatrzańsko-podhalańskim (a przy SPA-70% – na Podkarpaciu), najniższe natomiast – w dwóch przekrojach beskidzkich poniżej zbiorników retencyjnych (tablica 6.11).

Tablica 6.10.

Średnie wartości 50-letnich objętości $V_{max,50}$ [doba] niżówki maksymalnej w poszczególnych częściach zlewni w obrębie regionów fizyczno-geograficznych. Liczba zaznaczona na czerwono oznacza największą, a na niebiesko – najmniejszą wartość na badanym obszarze.

Table 6.10.

Mean values of the 50-year volume of $V_{max,50}$ [day] of the maximum drought in particular parts of the catchment within the physical and geographical regions. The number marked in red means the highest, and in blue - the smallest value in the studied area.

Zlewnia	Region	POT-70%	SPA-70%	POT-80%	SPA-80%	POT-90%	SPA-90%
Mała Wisły do ujścia Białej	Beskidy	22,1	28,5	12,3	16,1	5,2	6,7
Soła	Beskidy	13,6	17,0	8,9	10,0	4,1	4,6
Skawa	Beskidy	14,3	22,9	9,0	12,2	4,5	5,6
Raba	Beskidy	18,2	26,8	9,0	14,3	3,5	5,0
górnym Dunajcem	Tatry i Podhale	35,4	41,1	23,2	27,0	10,9	12,3
środkowym Dunajcem	Beskidy	20,0	29,3	10,5	15,3	4,7	6,0
dolnym Dunajcem	Podkarpacie	22,9	32,8	10,8	15,3	4,7	5,6
Wisłoka	Beskidy	13,9	23,9	7,9	11,5	3,2	4,1
górnym Sanem	Bieszczady	16,4	25,5	9,5	14,4	4,2	5,9
środkowym Sanem	Beskidy	16,0	29,5	9,7	15,1	3,5	5,3
dolnym Sanem	Podkarpacie	20,9	32,9	11,6	17,4	5,4	7,5

Tablica 6.11.

Ekstremalne wartości zmiennej $V_{max,50}$ [doba] na badanym obszarze.

Table 6.11.

Extreme values of $V_{max,50}$ [day] in the studied area.

Niżówka	Najmniejsza wartość $V_{max,50}$ na obszarze			Największa wartość $V_{max,50}$ na obszarze		
	$V_{max,50}$	Rzeka/wodowskaz	Region	$V_{max,50}$	Rzeka/wodowskaz	Region
POT-70%	7,6	Ropa/Klęczany	Beskidy	42,0	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale
SPA-70%	10,1	Ropa/Klęczany	Beskidy	49,3	Szkło/Charytany	Podkarpacie
POT-80%	3,0	Ropa/Klęczany	Beskidy	31,3	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale
SPA-80%	3,0	Ropa/Klęczany	Beskidy	36,4	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale
POT-90%	0,4	Dunajec/Krościenko	Beskidy	16,3	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale
SPA-90%	0,5	Dunajec/Krościenko	Beskidy	16,8	B. Dunajec/Szaflary	Tatry i Podhale

Podsumowanie

Obszarami o najliczniejszych skupieniach największych zagrożeń niżówkami maksymalnymi POT i SPA o 10- i 50-letnim czasie trwania lub o 10- i 50-letniej objętości są Tatry i Podhale oraz Podkarpacie (dolny San i dolny Dunajec).

Niżówki maksymalne T_p -letnie jakie zaobserwowano w Beskidach i w Bieszczadach zazwyczaj są krótsze i mają mniejszą objętość niż na pozostałej części badanego obszaru. Najniższe zagrożenie wystąpieniem niżówki o 10-letnim i 50-letnim czasie trwania występuje w zlewni Soły oraz górnego Sanu, natomiast 10-letnich i 50-letnich objętości – w zlewni Wisłoki i Soły. Niskie wartości $T_{max,10}$ i $T_{max,50}$ oraz $V_{max,10}$ i $V_{max,50}$ obserwuje się w przekrojach poniżej zbiorników retencyjnych tj. na Dunajcu: Krościenko, Gołkowice, Nowy Sącz i na Ropie: Klęczany i Topoliny, gdzie na odpływ ma wpływ gospodarka wodna na tych zbiornikach.

Spostrzeżenia dotyczące Bieszczad, Beskidów a przede wszystkim Podkarpacia pokrywają się z wynikami badań Tłałki (1982), która zauważyła między innymi, że na Podkarpaciu niżówki są długie, w Bieszczadach i w południowych Beskidach – krótkie, a w północnych Beskidach mają zróżnicowaną długość (rys. 1.5). Rozbieżność wyników badań na obszarze Tatr i Podhala (na którym Tłałka wyodrębniła niżówki krótkie) może wynikać stąd, że Tłałka badała jedynie niżówki letnie, a długie niżówki o dużej objętości występują na tym obszarze zimą.

Wyniki badań niniejszej pracy są zbliżone do wniosków wynikających z będącego obecnie w konsultacjach społecznych *Projekt planu przeciwdziałania skutkom suszy* (2019) szczególnie na obszarze Tatr i Podhala. Według *Planu* obszarem najbardziej (ekstremalnie) zagrożonym suszą hydrologiczną jest właśnie obszar Tatr i Podhala, a pozostała część obszaru prawobrzeżnej części zlewni Górnej Wisły w większości uznana jest za obszar bardzo zagrożonym suszą (rys. 1.5). Autorzy *Planu* uznali za tereny umiarkowanie zagrożone suszą hydrologiczną część Beskidów (m.in. fragment zlewni Wisłoka, także rejony Żywca, Przemyśla i Bochni) oraz środkowego Podkarpacia (zlewnia Łęgu).

7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Niniejsza praca zawiera kompleksową ocenę niżówek typu POT i SPA, surowych i maksymalnych rocznych, w przekrojach wodowskazowych w prawobrzeżnej części zlewni Górnej Wisły, w wieloleciu hydrologicznym 1984-2013.

Niżówki surowe były podstawą zdefiniowania niżówek maksymalnych rocznych, co pozwoliło m.in. na identyfikację rozkładów prawdopodobieństwa dwóch najważniejszych charakterystyk tych niżówek, tj. czasu trwania i objętości, a w konsekwencji na określenie niżówek maksymalnych o zadanym okresie powtarzalności (zadany poziom ryzyka). Oparta na tych obliczeniach dalsza analiza pozwoliła na wytypowanie obszarów mniej lub bardziej zagrożonych wystąpieniem niżówki maksymalnej rocznej o czasie trwania i/albo objętości przekraczającej zadaną wartość. Cel pracy został osiągnięty, uzyskano odpowiedzi na pytania badawcze sformułowane na początku pracy.

7.1. Niżówki surowe

Analiza niżówek surowych w 78 przekrojach wodowskazowych obejmowała określenie ciągu takich niżówek w zależności od założonego przepływu granicznego i przyjętej metody ich wyznaczania oraz zbadaniu zmienności w czasie i przestrzeni charakterystyk tych niżówek bez podziału na lata.

Podstawowym kryterium definiującym dowolną niżówkę jest subiektywnie wybierany przepływ graniczny Q_g . W niniejszej pracy przyjęto trzy najczęściej spotykane w literaturze wartości Q_g , oparte na względnym czasie przekroczenia tej wartości w roku wynoszącym 70%, 80% i 90%. Oczywiście, im przepływ graniczny jest niższy, tym mniej jest okresów z przepływem niższym od Q_g , mają one krótszy czas trwania i mniejszą objętość.

Niżówki surowe wyznaczono najprostszymi wersjami metod POT oraz SPA, tj. bez dodawania jakichkolwiek dodatkowych warunków (filtrów). Surowe niżówki POT są dość często krótkie (kilkudniowe), i/lub oddzielone krótkim okresem z $Q > Q_g$, co powoduje, że zwykle włączana jest procedura usuwania niżówek krótkich i/lub łączenia bliskich niżówek. Metoda SPA ma tu przewagę – ze swojej istoty łączy kolejne niżówki dopóki sumaryczna ich objętość nie zostanie wypełniona przepływem ponad Q_g (SPA jest więc metodą bardziej naturalną od POT), co powoduje, że jest mniej czuła na fluktuacje przepływu wokół przepływu granicznego. Dlatego niżówek określonych metodą SPA jest zazwyczaj mniej niż niżówek zdefiniowanych metodą POT. Niżówki SPA są najczęściej dłuższe i mają większą objętość; jedna z niżówek maksymalnych SPA w badanym okresie objęła aż trzy lata hydrologiczne. Surowe niżówki są wyjściową podstawą każdej analizy niżówek.

Podstawowymi charakterystykami niżówki są czas jej trwania i objętość. Charakterystyki te dla badanych niżówek surowych są ze sobą istotnie wysoko skorelowane w każdym badanym przekroju – niezależnie od Q_g i sposobu definiowania niżówki współczynniki korelacji przekraczają 0,75.

Średnie roczne czasy trwania i objętości niżówek surowych na badanym obszarze istotnie rosną wraz z wysokością położenia wodowskazu. Ponieważ czas trwania i objętość niżówki są ze sobą wysoko skorelowane, współczynniki korelacji średnich rocznych w wieloleciu wartości tych zmiennych także są istotne statystycznie na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ (przekraczają 0,63).

Niżówki surowe o najdłuższych czasach trwania i największych objętościach na badanym obszarze, występują w tatrzańsko-podhalańskiej części zlewni Dunajca –

przede wszystkim w najwyższym położonym przekroju Łysa Polana na Białce.

Średnie roczne czasy trwania niżówek SPA na obszarze Tatr i Podhala wynoszą: 45 dob w przypadku niżówki SPA-70%, 34 doby (SPA-80%), 27 dob (SPA-90%), 23 doby (POT-70%), 20 dob (POT-80%) i 19 dob (POT-90%) i są, w zależności od Q_g i sposobu definiowania niżówki, około 2,5 – 2,8 krotnie dłuższe średnie roczne czasy trwania niżówek niż w Bieszczadach i około 1,4 – 2,0 krotnie dłuższe niż na Podkarpaciu i w Beskidach.

Średnie roczne objętości niżówek SPA na obszarze Tatr i Podhala wynoszą odpowiednio: 5,2 doby (SPA-70%), 2,7 dob (SPA-80%), 1,4 doby (SPA-90%), 2,8 dob (POT-70%), 1,7 dob (POT-80%) i 1 dobę w przypadku niżówki POT-90%. Objętości te są, w zależności od Q_g i sposobu definiowania niżówki, około 2,7 – 3,0 krotnie dłuższe średnie roczne czasy trwania niżówek niż w Bieszczadach, około 1,9 – 2,2 krotnie dłuższe niż w Beskidach oraz około 1,6 – 2,1 krotnie dłuższe niż na Podkarpaciu.

Średni roczny czas trwania i średnia roczna objętość niżówek surowych zmieniają się nieznacznie wzdłuż Dunajca i Sanu. Występują jednak zauważalne wahania charakterystyk niżówek, wynikające z oddziaływania zbiorników retencyjnych na tych rzekach oraz dopływu Wisłoka do Sanu. Współczynniki korelacji rocznych sum czasów trwania i objętości w sąsiednich przekrojach wodowskazowych są w większości przypadków statystycznie istotne; wzdłuż Dunajca i Sanu obserwuje się wyraźne spadki korelacji spowodowane oddziaływaniem zbiorników retencyjnych. Porównanie rocznych sum czasów trwania i objętości surowych niżówek w 10-leciu przed i 17-leciu po oddaniu do użytku kaskady zbiorników Czorsztyń-Niedzica i Sromowce Wyżne wskazuje na istotne obniżenie tych charakterystyk niżówek w późniejszym wieloleciu. Im przepływ graniczny jest niższy, tym spadki średnich rocznych sum czasów trwania i objętości między wspomnianymi wieloleciami są większe: przy $Q_{90\%}$ średnie roczne sumy czasu trwania niżówek POT i SPA obniżyły się o 86%, a średnie roczne sumy objętości niżówek POT i SPA zmalały o około 95% względem wartości przed oddaniem zbiorników do użytku.

Ważnymi charakterystykami niżówek są również czas początku i końca niżówki. Niżówki surowe na badanym obszarze są w większości epizodami letnimi, które najczęściej rozpoczynają się w lipcu i sierpniu, a kończą między lipcem a wrześniem. W Tatrach i na Podhalu niżówki surowe są najczęściej jesienno-zimowe – zaczynają się późnym latem i jesienią, a kończą w marcu.

7.2. Niżówki maksymalne roczne

Niżówka maksymalna roczna zdefiniowana została na dwa sposoby: jako niżówka o najdłuższym w roku czasie trwania T_{max} oraz jako niżówka o największej w roku objętości V_{max} . Takie podejście (roczne wartości) wyklucza lub przynajmniej komplikuje analizę, gdyż możliwe są niżówki trwające dłużej, niż jeden rok. Tak się zdarzyło w przypadku jednej z niżówek maksymalnych SPA: w badanym okresie objęła ona trzy lata hydrologiczne i została usunięta z dalszych analiz. Jest to pewien niedostatek takiego podejścia, do przyjęcia w naszych warunkach klimatycznych, natomiast bezsprzeczną korzyścią jest możliwość określenia częstości występowania niżówek określonego typu.

Niżówki maksymalne roczne POT o najdłuższych czasach trwania i największych objętościach na badanym obszarze, wystąpiły w zlewniach górnego Dunajca oraz dolnego Sanu.

Niżówki maksymalne roczne POT o najdłuższych czasach trwania i największych objętościach na badanym obszarze (dłuższe niż 160 dób dla $Q_{70\%}$, niż 140 dób dla $Q_{80\%}$ i niż 120 dób dla $Q_{90\%}$ oraz o objętościach większych niż 35 dób dla $Q_{70\%}$, niż 25 dób dla $Q_{80\%}$ i niż 10 dób dla $Q_{90\%}$) wystąpiły w zlewniach górnego Dunajca, a najdłuższe i o największej objętości niżówki maksymalne SPA (dłuższe niż 240 dób dla $Q_{70\%}$, 200 dób dla $Q_{80\%}$ i 160 dób dla $Q_{90\%}$ oraz o objętościach większych niż 40 dób dla $Q_{70\%}$, 25 dób dla $Q_{80\%}$, 10 dób dla $Q_{90\%}$) zaobserwowane zostały w zlewniach górnego Dunajca oraz dolnego Sanu.

Niżówki maksymalne jakie zaobserwowano w środkowej części badanego obszaru (przede wszystkim w zlewniach Soły, Skawy, Raby i Wisłoki), a także w południowo-wschodniej części tego obszaru (w zlewni górnego Sanu) są zazwyczaj krótsze i mają mniejszą objętość.

Niżówki maksymalne najczęściej zaczynają się we wrześniu i są w większości niżówkami jesiennymi. W Tatrach i na Podhalu niżówki maksymalne są zimowe, najczęściej mają swój początek w styczniu, a ich koniec przypada na marzec.

7.3. Stacjonarność szeregów czasowych charakterystyk niżówek maksymalnych rocznych i ich rozkłady prawdopodobieństwa

Analiza częstości charakterystyk niżówek maksymalnych rocznych wymaga stacjonarności szeregów tych charakterystyk.

W 9% przypadków w szeregach czasu trwania i objętości niżówki maksymalnej stwierdzono istotny statystycznie trend (w większości ujemny), co jest prawdopodobnie wynikiem oddziaływania zbiorników retencyjnych, zrzutów oczyszczonych ścieków z oczyszczalni ścieków, a także przerzutów międzyzlewniowych wody.

Ze względu na niestacjonarność szeregów T_{max} i V_{max} , cztery przekroje (z 78) zostały usunięte z dalszych analiz.

Z pakietu pięciu rozkładów-kandydatów zostały wybrane najlepsze (wg testu Andersona-Darlinga, na poziomie istotności 0,05) rozkłady prawdopodobieństwa czasu T_{max} trwania i objętości V_{max} niżówek maksymalnych na badanym obszarze. Najlepszym rozkładem obu charakterystyk niżówki maksymalnej okazał się rozkład wartości Weibulla z parametrami estymowanymi metodą momentów liniowych. Rozkłady te posłużyły do wyznaczenia czasu trwania i objętości niżówki maksymalnej o zadanym okresie powtarzalności T_P wynoszącym 10 i 50 lat. Wielkości te były podstawą badania przestrzennego rozkładu niżówek.

7.4. Rozkład przestrzenny czasu trwania i objętości niżówek 10-i 50-letnich

Jednym z celów pracy było określenie przestrzennego rozkładu 10-letnich oraz 50-letnich niżówek maksymalnych rocznych i utworzenie map zagrożenia niżówką danego typu.

Największe średnie wartości 10-letnich czasów trwania niżówek POT na całym obszarze zaobserwowano w najwyższym położonym przekroju Łysa Polana na Białce, w górnej części zlewni Dunajca, a w przypadku niżówki SPA-70% – w dolnej części Dunajca. Najkrótsze średnie 10-letnie czasy trwania $T_{max,10}$ na badanym obszarze występują w zlewniach: górnego Sanu (niżówki POT-70% i POT-80%), Soły (SPA-70%, SPA-80%) oraz Wisłoki (POT-90% i SPA-90%).

W zależności od Q_g i definicji niżówki, najdłuższe 10-letnie i 50-letnie czasy

trwania niżówek maksymalnych występują w Tatrach i na Podhalu oraz na Podkarpaciu, najkrótsze zaś w Beskidach. 10-letnie czasy trwania niżówki maksymalnej POT sięgają 142 dób przy $Q_{70\%}$, 111 dób – przy $Q_{80\%}$ i 78 dób – przy $Q_{90\%}$, a niżówki SPA: 231 dób ($Q_{70\%}$), 138 dób ($Q_{80\%}$) i 93 dób ($Q_{90\%}$). Najdłuższe, zaobserwowane w badanym wieloleciu 50-letnie czasy trwania niżówki maksymalnej wynoszą odpowiednio: 191 dób (POT-70%), 156 dób (POT-80%), 146 dób (POT-90%), 376 dób (SPA-70%), 243 dób (SPA-80%) i 188 dób (SPA-90%).

Największe zaobserwowane w wieloleciu 10-letnie i 50-letnie objętości niżówek występują w Tatrach i na Podhalu, najmniejsze zaś – w Beskidach. 10-letnie objętości niżówki maksymalnej typu POT, w zależności od Q_g sięgają: 23,2 doby przy $Q_{70\%}$, 15,0 dób – przy $Q_{80\%}$ i 5,9 dób – przy $Q_{90\%}$, a niżówki SPA: 26,3 doby ($Q_{70\%}$), 16,7 dób ($Q_{80\%}$) i 6,1 doby ($Q_{90\%}$). Największe zaobserwowane na badanym obszarze 50-letnie objętości niżówek maksymalnych naturalnie są większe i wynoszą odpowiednio: 42,0 doby (POT-70%), 31,3 dób (POT-80%), 16,3 doby (POT-90%), 49,3 doby (SPA-70%), 36,4 doby (SPA-80%) i 16,8 dób (SPA-90%).

Aby móc porównywać wielkości niżówek nie tylko w obrębie danego typu (np. czasy trwania) ale również czasy trwania i objętości na badanym obszarze, rozkłady przestrzenne

10-letnich i 50-letnich czasów trwania ($T_{max,10}$ i $T_{max,50}$) oraz 10-letnich i 50-letnich objętości ($V_{max,10}$, $V_{max,50}$) niżówek maksymalnych zostały utworzone na bazie klasyfikacji kwartylowej zmiennych $T_{max,10}$, $T_{max,50}$, $V_{max,10}$ i $V_{max,50}$. Przyjęto następujące kategorie zagrożenia niżówką T_P -letnią: najniższe, umiarkowane, wysokie i najwyższe, związane z rosnącymi wartościami czasu trwania i objętości niżówki.

Grupowania kategorii objętości niżówek maksymalnych POT i SPA są podobne, podczas gdy grupowania kategorii czasów trwania niżówek maksymalnych POT i SPA często różnią się na obszarze wielu zlewni. Kategorie czasów trwania niżówek maksymalnych SPA w zlewni dolnego Sanu są wyższe niż czasów trwania niżówek POT na tym obszarze, a w zlewniach Soły, Skawy czy Wisłoki sytuacja jest odwrotna. Wraz z obniżeniem Q_g , zagrożenie niżówką maksymalną w zlewniach Soły, Skawy, Wisłoki i górnego Sanu zazwyczaj rośnie, a w zlewniach Dunajca i dolnego Sanu – najczęściej maleje.

Niezależnie od definicji niżówki i założonego przepływu granicznego, obszarem najbardziej zagrożonym na badanym obszarze wystąpieniem niżówką maksymalną okazał się region Tatr i Podhala (zagrożenie to jest najczęściej najwyższe lub wysokie). Jest to obszar, na którym najczęściej zaobserwowano najdłuższy 10-letni i 50-letni czas trwania oraz największą 10-letnią i 50-letnią objętość niżówki maksymalnej.

Zagrożenie wystąpieniem niżówki o 10-letnim i 50-letnim czasie trwania jest najniższe na badanym obszarze (najczęściej zagrożenie to jest najniższe lub umiarkowane) w zlewni Soły oraz bieszczadzkiej części zlewni Sanu, natomiast 10-letniej i 50-letniej objętości – zlewnie górnego Sanu i Wisłoki. Niskie wartości $T_{max,10}$ i $T_{max,50}$ oraz $V_{max,10}$ i $V_{max,50}$ obserwuje się także w przekrojach poniżej zbiorników retencyjnych tj. na Dunajcu (przekroje: Krościenko, Gołkowice, Nowy Sącz) i na Ropie (Kłęczany i Topoliny), gdzie na odpływ ma wpływ gospodarka wodna na tych zbiornikach.

Największym ryzykiem wystąpienia niżówki maksymalnej, a także najmniejszymi zasobami wodnymi na prawobrzeżnym obszarze zlewni Górnej Wisły w lecie odznaczają się rzeki w podkarpackiej części zlewni Sanu, a w zimie – rzeki na obszarze Tatr i Podhala. Kotlina Sandomierska, będąca pod wpływem klimatu kontynentalnego, leży w regionie klimatu podgórskiego, który jest ciepły i umiarkowanie suchy oraz charakteryzuje się najmniejszymi (szczególnie letnimi) opadami w zlewni Górnej Wisły. Pomimo najwyższych rocznych sum opadów i odpływów, w Tatrach w zimie

występują długie i głębokie niżówki rzeczne, co jest skutkiem zmniejszających się sum opadu w ciągu roku (począwszy od września) oraz występującej zimą niewielkiej ilości opadów w postaci ciekłej a także retencji wody w pokrywie śnieżnej.

BIBLIOGRAFIA

- Adamczyk B., 1991, Gleby. [w:] Dynowska I., Maciejewski M. (red.) Dorzecze górnej Wisły - monografia. PWN, Tom I, Warszawa-Kraków.
- Akaike, H., 1974, A new look at the statistical model identification. IEEE Trans. Automat. Contr. AC-19 (16): s. 716-722.
- Baran-Gurgul K., 2014, A comparison of hydrological drought characteristics defined by the POT and SPA methods in the Dunajec river basin. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN, Nr IV/3/2014: s. 1431-1444.
- Baran-Gurgul K., 2017, Stationarity of maximum low-flow periods duration in the right-bank area of the Upper Vistula catchment – Mann-Kendall versus Spearman test. E3S Web of Conferences, Vol. 17, 00004.
- Bartczak A., 2007, Wieloletnia zmienność odpływu rzeczny z dorzecza Zgłowiączki. PAN, IGiPZ, Prace Geograficzne, 209.
- Bartnik A., 2005, Odpływ niski. Acta Geographica Lodziensia Nr 91, Łódzkie Towarzystwo Naukowe.
- Bartnik A., Jokić P., 2012, Geografia wezbrań i powodzi rzecznych. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Beran M.A., Rodier J.A., 1985, Hydrological aspects of drought. [w:] Studies and Reports in Hydrology, UNESCO, no. 39/UNESCO, Paris (France), International Hydrological Programme, WMO, Geneva, Switzerland.
- Beven, K., 1989. Changing ideas in hydrology – the case of physically-based models. J. Hydrol. 105: s. 157-172.
- Byczkowski A., 1999, Hydrologia. Tom I i II, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Caruso B.S., 2000, Evaluation of low-flow frequency analysis methods. J. Hydrol. (NZ) 39(1): s. 19-47.
- Cebulska M., Szczepanek R., Twardosz R., 2013, Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły. Opady średnie roczne (1952-1981). WIS PK, IGiP UJ, Kraków.
- Chełmicki W., 1991, Położenie, podział i cechy dorzecza. [w:] Dynowska I., Maciejewski M. (red.) Dorzecze górnej Wisły - monografia. PWN, Tom I, Warszawa-Kraków.
- Chełmicki W., Bieńkowski T., 2004-2005, Przepływy niżówkowe w dorzeczu górnego Dunajca w 2003 r. na tle wielolecia 1951-2003. Folia Geographica ser. Geographica-Physica, vol. XXXV-XXXVI (35-36): s. 65-75.
- Chowaniec J., 2009, Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. 434, VIII, PIG, Warszawa: s. 1-98.
- Cigizoglu H.K., Bayazit M., Önöz B., 2004, Trends in the maximum, mean, and low flows of Turkish rivers. J. Hydrometeorol. 6 (3): s. 280-290.
- Clausen B., Pearson C.B., 1995, Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. J. Hydrol. 173, 1-4: s. 111-130
- Coles S., 2001, An introduction to statistical modeling of extreme values. Springer Verlag. Berlin.
- Czarnecka H. (red.), 1983, Podział hydrograficzny Polski. IMGW, Warszawa.
- Czarnecka H. (red.), 2005, Atlas podziału hydrograficznego Polski. IMGW, Warszawa.
- Derrick B., Toher D., White P., 2016, Why Welch's test is Type I error robust. The Quantitative Methods for Psychology. 12 (1): s. 30-38.
- Dębski K., 1952, Rozważania na temat metod przewidywania posuchy. Przegląd Meteorologiczny i Hydrologiczny, 3-4: s. 96-113.
- Dębski K., 1969, Regulacja rzek. Część I. Podstawy hydrologiczne regulacji rzek. Zakład Budownictwa i Hydrologii SGGW.
- Dębski K., 1970, Hydrologia. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- Diagnoza aktualnego stanu gospodarki wodnej, 2010, Załącznik 1 do Projektu Polityki wodnej państwa 2030 (z uwzględnieniem etapu 2016). Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej.
- Długosz J., 2003-2004, Jana Długosza kanonika krakowskiego Dziejów polskich ksiąg dwanaście. Księgi V - XII, 1140-1480, edycja komputerowa, www.zrodla.historyczne.prv.pl.
- Długosz J., 2009a, Jana Długosza kanonika krakowskiego Dziejów polskich ksiąg dwanaście. Księga I i II do 1038, red. Dąbrowski J., Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Długosz J., 2009b, Jana Długosza kanonika krakowskiego Dziejów polskich ksiąg dwanaście. Księga III i IV, 1039-1139, red. Pieradzka K., Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Domański C., 1990, Testy statystyczne. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Douglas E.M., Vogel R.M., Kroll C.N., 2000, Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. J. Hydrol., 240: s. 90-105.
- Dynowska I., 1972, Typy reżimów rzecznych w Polsce. Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne. 28,

- Prace IG UJ 50, Kraków.
- Dynowska I., 1984, Zmiana reżimu odpływu w wyniku oddziaływania zbiorników retencyjnych. *Czasopismo Geograficzne*. 55, 3: s. 301-315.
- Dynowska I., 1991, Bilans wodny. [w:] Dynowska I., Maciejewski M. (red.), 1991, *Dorzecze górnej Wisły - monografia*. PWN, Tom I, Warszawa-Kraków.
- Engeland K., Hisdal H., Frigessi A., 2004, Practical Extreme Value Modelling of Hydrological Floods and Droughts: A Case Study. Vol. 7, Issue 1: s. 5–30
- Fal B., 2007, Nizówki na górnej i środkowej Wiśle. *Gospodarka Wodna*, 2, 72-81.
- Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kowalczak P., Mager P., 1998, Droughts in Poland, 1951-90. *Drought Network News (1994-2001)*, 42.
- Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kowalczak P., Mager P., 1995, Susze na obszarze Polski w latach 1951-1990. *Materiały Badawcze IMGW, Gospodarka Wodna i Ochrona Wód*, 16.
- Fleig A., 2004, Hydrological Drought – A comparative study using daily discharge series from around the world. MSc thesis (Diplomarbeit), Institut für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany.
- Fleig A.K., Tallaksen L.M., Hisdal H., Demuth S., 2006, A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrol. Earth Syst. Sc.* 2006, 10: s. 535-552.
- Galoie M., Zenz G., Motamedi A., 2013, Rainfall Analysis for the Schoeckelbach Basin (Austria) and Determining its Best-Fit Probability Distribution Model. 6th International Conference on Water Resources and Environment Research, Water and Environmental Dynamics, Koblenz, Germany: s. 43-52.
- Genest C., Rémillard B., Beaudoin D., 2009, Goodness-of-fit tests for copulas: A review and a power study. *Insurance Math. Econom.*, 44: s. 199-213.
- Genest, C., Huang, W., and Dufour, J.M., 2013., A regularized goodness-of-fit test for copulas. *Journal de la Société française de statistique* 154: s. 64-77.
- Gottschalk L., Kun-xia Y., Leblois E., Xiong L., 2013, Statistics of low flow: Theoretical derivation of the distribution of minimum streamflow series. *J. Hydrol.*, 481: s. 204-219.
- Gregor M., 2013, Surface- and Groundwater Quality Changes in Periods of Water Scarcity. Springer Theses, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gumbel E.J., 1941, The Return Period of Flood Flows. *Ann. Math. Statist.*, 12, 2: s. 163-190.
- GUS, 2017, *Mały rocznik statystyczny Polski 2017*. Warszawa.
- Gustard A., Demuth S., (red.), 2008, *Manual of Low-flow. Estimation and Prediction*. Operational Hydrology Report No. 50. World Meteorological Organization. WMO. No. 1029.
- Hamed K.H., Rao A.R., 1998, A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data. *J. Hydrol.*, 204: s. 182-196.
- Henning J., 1991, *Zabudowa hydrotechniczna rzek*. [w:] Dynowska I., Maciejewski M. (red.), 1991, *Dorzecze górnej Wisły - monografia*. PWN, Tom II, Warszawa-Kraków.
- Hisdal H., Stahl K., Tallaksen L.M., Demuth S., 2001, Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *Int. J. Climatol.*, 21: s. 317-333.
- Hisdal H., Tallaksen L. M., 2000, Drought Event Definition. Technical Report No. 6, Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe, Department of Geophysics, University of Oslo.
- Hisdal H., Tallaksen L.M., 2003, Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark. *J. Hydrol.*, 281: s. 230-247.
- Hisdal H., Tallaksen L.M., Frigessi A., 2002, Handling non-extreme events in extreme value modeling of droughts. *IAHS 2002 (274)* : s. 281-288.
- Hosking J.R.M., 1990, L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *J. R. Stat. Soc. Ser. B.*, 52: s. 105-124.
- Hydroprojekt Warszawa Sp. z o.o. (red.), 1996, *Instrukcja gospodarki wodnej w warunkach normalnej eksploatacji dla ZZW Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne*. Warszawa.
- International Glossary of Hydrogeology*, 2012, World Meteorological Organization. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. No-385. Geneva.
- Jakubowski W., 2005, Rozkłady prawdopodobieństwa niżówek maksymalnych. *Przegląd Geofizyczny*, L, 3-4: s. 229-248.
- Jakubowski W., 2008, The low flow extremes in a small Beskydy mts. experimental watershed. [w:] Chełmicki W., Siwek J. (red.) *Hydrological extremes in small basins*. Book of abstracts of XII Biennial International Conference of Euromediterranean Network of Representative and Experimental Basins, Cracow 18-20 September 2008, IGiGP UJ, Cracow: s. 57-160.
- Jakubowski W., 2011, *Rozkłady prawdopodobieństwa w ocenie suszy hydrologicznej*. Monografia, Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław.
- Jakubowski W., 2015, On the instabilities of estimated distributions of the POT (Peak Over Threshold)

- low flow characteristics. *Meteorol., Hydrol. Water Manage.*, 3(2): s. 33-38.
- Jakubowski W., Radczuk L., 2004, Nizowka2003 software. [w:] Tallaksen, L.M., van Lanen, H.A.J. (red.) *Hydrological Drought - Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Dev. Water Sci., 48. Amsterdam, Elsevier Science B.V, 12.
- Jarząbek A., Kopacz M., Karpierz M., Karpierz O., Sacha M., Smoroń S., 2015, Analiza zjawiska suszy na obszarze regionu wodnego Górnej Wisły. RZGW, Kraków.
- Jokiel P. (red.), 2015, *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Jokiel P., Marszelewski W., Pociask-Karteczka J. (red), 2017, *Hydrologia Polski*. PWN.
- Jokiel P., Tomaszewski E., 2009, Fazy i formy odpływu w zlewni Dzierżąnej. [w:] Bogdanowicz R., Fac-Beneda J. (red.). *Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych*. Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego. Gdańsk: s. 141-158.
- Kasprzyk A., 2009, Zróżnicowanie niżówek na obszarze Międzyrzecza Pilicy i Wisły. [w:] Bogdanowicz R., Fac-Beneda J. (red.). *Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych*. Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk: s. 274-279.
- Kasprzyk A., 2010, Prawdopodobieństwo wystąpienia niżówek w zlewniach rzek województwa świętokrzyskiego. *Woda w badaniach geograficznych*, Instytut Geografii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego, Kielce: s. 273-280.
- Kaszewski B.M., Flis E., 2014, Meteorologiczne i klimatologiczne zdarzenia ekstremalne w polskiej literaturze. *Prace Geograficzne*, 139: s. 7-20.
- Kaznowska E., 2006, Charakterystyka susz hydrologicznych ma przykładzie wybranych rzek północno-wschodniej części Polski. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 4/2/2006, PAN, Oddział w Krakowie: s. 51-59.
- Kaznowska E., 2011, Analysis of low flow characteristics and drought frequency in agricultural catchments. [w:] Banasik K., Øygarden L., Hejduk L. (red.) *Prediction and Reduction of Diffuse Pollution. Solid Emission and Extreme Flows from Rural Areas – case study of small agricultural catchment*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa: s. 27-46.
- Kaznowska E., 2012, Wieloletnie tendencje w kształtowaniu się wybranych charakterystyk niżówek w zlewni Zagożdżonki. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 3/IV/2012, PAN, Oddział w Krakowie, 215-227.
- Kaznowska E., Banasik K., 2009, Ocena intensywności niżówek rzecznych w małej zlewni rolniczej Niziny Mazowieckiej w ostatnich 45 latach. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus* 8 (3-4) : s. 5-16.
- Kendall M.G., 1938, A New Measure of Rank Correlation. *Biometrika*, Vol. 30, No. 1/2: s. 81-93.
- Kendall M.G., 1975, *Rank Correlation Methods*. 4th ed., Charles Griffin, London.
- Keshkar A.R., 2015, Low flow frequency analysis by L-moments method (Case study: Iranian Central Plateau River Basin). *J. Desert*. 8, 20-2: s. 167-175.
- Kępińska-Kasprzak M., 2014, Zagrożenie występowaniem niżówek w Polsce. [w:] Banasik K., Hejduk L., Kaznowska E., (red.) *Hydrologia w inżynierii i gospodarce wodnej*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, Tom 1, z. XX, Warszawa: s. 163-172.
- Kjeldsen T.R., Lundorf A., Rosbjerg D., 2000, Use of a two-component exponential distribution in partial duration modelling of hydrological droughts in Zimbabwean rivers. *Hydrolog. Sci J.*, 45, 2: s. 285-298.
- Kochanek K., Strupczewski W. G., Singh V. P., Węglarczyk S., 2005, Are Parsimonious Flood Frequency Models More Reliable than the True Ones? II. Comparative assessment of the performance of simple models versus the parent distribution. *Acta Geoph. Pol.*, Vol. 53, 4: s. 437-457.
- Kolberg W., 1861, *Wisła, jej bieg, własności i spławność*. Cz. 2. Drukarnia J. Jaworskiego, Warszawa.
- Kondracki J., 2000, *Geografia regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Koniar-Schaefer J., 1971, Analogia małych zlewni karpaccich w zakresie przepływów niżówkowych. *Politechnika Krakowska, Zeszyt Naukowy nr 4*, Kraków.
- Koniar-Schaefer J., 1972, Teoretyczne podstawy metody obliczania niżówkowych przepływów małych, niekontrolowanych cieków karpaccich za pomocą regresji przepływu. *Politechnika Krakowska, Zeszyt Naukowy nr 7*, Kraków.
- Koniar-Schaefer J., 1976, Udział lasów w ochronie niżówkowych zasobów wodnych małych zlewni karpaccich - jako jedno z zagadnień ochrony środowiska. *Politechnika Krakowska, Referaty na Jubileuszową Sesję Naukową Wydziału Inżynierii Sanitarnej i Wodnej z okazji XXX-lecia Politechniki Krakowskiej, Część I*, Kraków.
- Kostuch M., 2004, Charakterystyka niżówek w potokach górskich w zlewniach o różnej lesistości. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych: s. 63-71.
- Koźmiński C., 1986, Przestrzenny i czasowy rozkład okresów bezopadowych trwających ponad 15 dni

- na terenie Polski. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 268: s. 37-52.
- Kubiak-Wójcicka K., 2012, Charakterystyka niżówek na Wiśle w Toruniu. [w:] Marszelewski W. (red.) Gospodarowanie wodą w warunkach zmieniającego się środowiska. Monografie Komisji Hydrologicznej Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń: s. 85-93.
- Kundzewicz Z.W., Zalewski M., Kędziora A., Pierzgałski E., 2010, Zagrożenia związane z wodą. Nauka 4/2010: s. 87-96.
- KZGW, 2017, Opracowanie materiałów merytorycznych do sporządzenia projektów planów przeciwdziałania skutkom suszy na obszarach dorzeczy. Etap II – aktualizacja opracowania „Ochrona przed suszą w planowaniu gospodarowania wodami – metodyka postępowania”, Warszawa
- Lambor J., 1971, Hydrologia inżynierska. Wydawnictwo Arkady. Warszawa.
- Limanówka D., Biernacik D., Czernecki B., Farat R., Filipiak J., Kasprzewicz T., Pyrc R., Urban G., Wójcik R., 2012, Zmiany i zmienność klimatu od połowy XX w. [w:] Wibig J., Jakusik E. (red.) Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo. Zmiany skutki i sposoby ich ograniczenia, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego. Tom 1. Warunki klimatyczne i oceanograficzne w Polsce i na Bałtyku Południowym, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa: s. 7-33.
- Lorenc H., 2011, Susze i opady maksymalne w Polsce. Prezentacja na Seminarium Polskiego Komitetu Globalnego Partnerstwa dla Wody.
- Lorenc H. (red.), 2005, Atlas klimatu Polski. IMGW, Warszawa.
- Lorenc H., Ceran M., Mierkiewicz M., Sasim M., Wita A., 2006, Susza w Polsce – 2006 rok (przyczyny, natężenie, zasięg, wnioski na przyszłość). Raport IMGW.
- Madsen H., Pearson C.P., Rosbjerg D., 1997b, Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events. 2. Regional modeling. Water Resour. Res., 33: s. 759–69.
- Madsen H., Rasmussen P.F., Rosbjerg D., 1997a, Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events. 1. At-site modeling. Water Resour. Res., 33: s. 747–57.
- Madsen H., Rosbjerg D., 1995, On the modeling of extreme droughts. Modelling and Management of Sustainable Basin-scale Water Resource Systems. Proceedings of a Boulder Symposium, July 1995. IAHS Publ. no. 231: s. 377–385.
- Mager P., Kuźnicka M., Kępińska-Kasprzak M., Farat R., 2000, Changes in the intensity and frequency of occurrence of droughts in Poland (1891-1995). Geographia Polonica. 73. 2. Autumn 2000 Pl: s. 41-48.
- Magnuszewski A. Soczyńska U. (red.), 2001, Międzynarodowy Słownik Hydrologiczny. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Maidment D.R. (red.), 1993, Handbook of Hydrology. McGraw-Hill.
- Małecko Z.J., Pokładek R., 2010, Istotne procesy zagrażające bezpieczeństwu zbiorników wodnych. Zeszyty Naukowe, Inżynieria Lądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska, 2: s. 33-43.
- Mann H.B., 1945, Nonparametric tests against trend. Econometrica, 13, No. 3: s. 245-259.
- Marcinkowski M., Winter J., 2012, Charakterystyka hydrologiczna. [w:] Majewski W., Walczykiwicz T. (red.), Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi oraz infrastrukturą hydrotechniczną w świetle prognozowanych zmian klimatycznych, Monografia pt.: Wpływ zmian klimatu na gospodarkę, środowisko i społeczeństwo, Tom 4, IMGW, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa: s. 244-253.
- Mikulski Z., 1963, Zarys hydrografii Polski. PWN, Warszawa.
- Mishra A.K., Singh V.P., 2010, A review of drought concepts. J. Hydrol., 391: s. 202-216.
- Mishra A.K., Singh V.P., 2011, Drought modeling - A review. J. Hydrol., 403: s. 157-175.
- Mitosek H., 2009, Metody statystyczne w hydrologii. Wydawnictwo Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego, Kielce.
- Nachlik E., Bojarski A., Gręplowska (red.), 2001, Stan obecny i planowanie rozwoju gospodarki wodnej w dorzeczu Górnej Wisły. Monografia, PK i RZGW, Kraków.
- Namaczyńska S., 1937, Kronika klęsk elementarnych w Polsce i w krajach sąsiednich w latach 1648-1696. T. 1. Zjawiska meteorologiczne i pomory. Kasa im. Rektora J. Mianowskiego Instytut Popierania Polskiej Twórczości Naukowej, Lwów,
- National Drought Mitigation Center, <http://drought.unl.edu/> (dostęp 10.06.2018)
- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1991, Klimat. [w:] Dynowska I., Maciejewski M. (red.) Dorzecze górnej Wisły - monografia. PWN, Tom I, Warszawa-Kraków.
- Önöz B., Bayazit M., 2002, Troughs under threshold modeling of minimum flows in perennial streams. J. Hydrol., 258: s. 187-197.

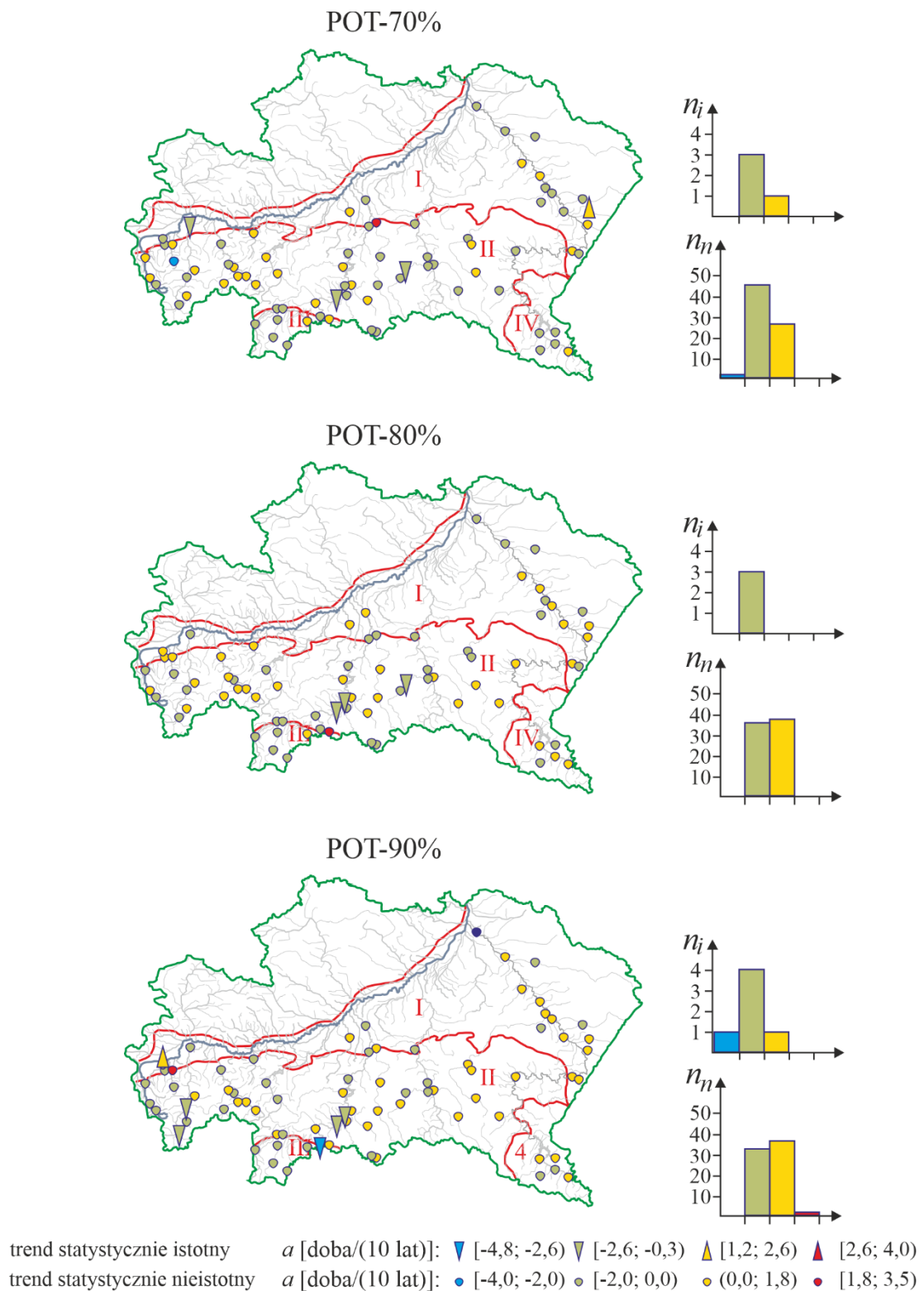
- Ozga-Zielińska M., 1990, Niżówki i wezbrania - ich definiowanie i modelowanie. *Przegląd Geofizyczny* XXXV(1-2) : s. 33-44.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1997, *Hydrologia stosowana*. PWN, Wyd. 2 zm., Warszawa.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., Ozga-Zieliński B., 1999, Zasady obliczania największych przepływów rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia przy projektowaniu obiektów budownictwa hydrotechnicznego. Długie ciągi pomiarowe przepływów. Materiały badawcze, Seria: *Hydrologia i Oceanologia*, IMGW, Warszawa.
- Parry S., Hannaford J., Lloyd-Hughes B., Prudhomme C., 2012, Multi-year droughts in Europe: analysis of development and causes. *Centre for Ecology and Hydrology, Hydrology Research*. 43.5: s. 689-706.
- Projekt planu przeciwdziałania skutkom suszy, 2019) Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie.
- Punzet J., 1991, Przepływy charakterystyczne. [w:] Dynowska I., Maciejewski M. (red.) *Dorzecze górnej Wisły - monografia*. PWN, Tom I, Warszawa-Kraków.
- R Core Team, 2020, R: A Language and Environment for Statistical Computing (R Foundation for Statistical Computing, Austria, <http://www.R-project.org/>).
- Rao A.R., Hamed K.H., 2000, *Flood Frequency Analysis*. CRC Publications, New York.
- Ratomska B., 1993, Ocena suszy w aspekcie hydrologicznym. Praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 sierpnia 2007 r. w sprawie podmiotów, którym państwowa służba hydrologiczno-meteorologiczna i państwowa służba hydrogeologiczna są obowiązane przekazywać ostrzeżenia, prognozy, komunikaty i biuletyny oraz sposobu i częstotliwości ich przekazywania, Dz.U. 2007 nr 158 poz. 1114.
- Rozporządzenie nr 4/2014 Dyrektora RZGW w Krakowie z dnia 16 stycznia 2014 r. w sprawie warunków korzystania z wód regionu wodnego Górnej Wisły.
- Savoie N., El-Jabi N., Ashkar F., Caissie D., 2004, Low flow characterization in New Brunswick using the deficit below threshold approach. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 2545.
- Smakhtin V. U., 2001, Low flow hydrology: a review. *J. Hydrol.*, 240: s. 147-186.
- Soja R., 2002, Hydrologiczne aspekty antropopresji w Polskich Karpatach. *Prace Geograficzne* Nr 186, PAN, Warszawa
- Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon J., Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorzczak I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Kraż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W., 2018, Physico-geographical mesoregions of Poland: verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geogr. Pol.*, 91, 2: s. 143-170.
- Stachý J., Biernat B., Dobrzyńska I., 1979, *Odpyływ rzek polskich w latach 1951-1970*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Stachý J., Fal B., Orsztynowicz J., 1986, *Odpyływ rzeczny*. [w:] Stachý J. (red.) *Atlas hydrologiczny Polski*. IMGW, tom 2, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa: s. 229-521.
- Stahl K., 2001, *Hydrological Drought. A Study across Europe*. PhD Thesis Albert-Ludwigs Universität Freiburg, *Freiburger Schriften zur Hydrologie* no 15, Freiburg, Germany.
- Stedinger J.R., Vogel R. M., Foufoula-Georgiou E., 1993, Frequency analysis of extreme events. [w:] D. Maidment (red.), *Handbook of hydrology*. New York, NY: McGraw-Hill: s. 18.1-18.66.
- Strupczewski W.G., Kochanek K., Singh V.P. and Weglarczyk S., 2005, Are Parsimonious Flood Frequency Models More Reliable than the True Ones? I. Accuracy of Quantiles and Moments Estimation (AQME) – Method of Assessment. *Acta Geophysica Polonica*, Vol. 53, 4: s. 419-36.
- Strzemiński M., 1956, *Gleby Tatr Polskich*. Roczn. Glebozn., t. V, Warszawa.
- Sung J.H., Chung E. S., 2014, Development of streamflow drought severity-duration-frequency curves using the threshold level method. *Hydrol. Earth Sys. Sc.*, 18: s. 3341-3351.
- Szewczuk J., 1939, *Kronika klęsk elementarnych w Galicji w latach 1772-1848*. Lwów.
- Tallaksen L.M., Hisdal H., 1997, Regional analysis of extreme streamflow drought duration and deficit volume. *FRIEND '91 - Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management* IAI. Proceedings of the Postojna, Slovenia, Conference, AHS Publ. No. 246: s. 141-150.
- Tallaksen L.M., Madsen H., Clausen B., 1997, On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrolog. Sci. J.*, 42(1) : s. 15-33.
- Tallaksen L.M., van Lanen H.A.J., 2007, Key aspects of low flow and drought. Würzburg workshop on "Low flow and Droughts", [w:] *Book of Abstracts, International CHR-Workshop – Expert Consultation, Würzburg, Germany, 25-26 September 2007*: s. 13-18.

- Tallaksen L.M., van Lanen H.A.J. (red.), 2004, Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Sciences 48. Elsevier B.V., 580.
- Tłałka A., 1982, Przestrzenne zróżnicowanie niżówek letnich w dorzeczu górnej Wisły. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Rozprawy Habilitacyjne nr 63.
- Tokarczyk T., 2008, Wskaźniki oceny suszy stosowane w Polsce i na świecie. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Nr 7/2008, PAN Oddział w Krakowie: s. 167-182.
- Tokarczyk T., 2010, Niżówka jako wskaźnik suszy hydrologicznej. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Tokarczyk T., 2013, Classification of Low Flow and Hydrological Drought for a River Basin. Acta Geophysica, 61, 2: s. 404-421.
- Tokarczyk T., Szalińska W., 2010, Operacyjny system oceny zagrożenia suszą. [w:] Więzik B. (red.) Hydrologia w Inżynierii i Gospodarce Wodnej. Tom I, Seria: Monografie, 68, Komitet Inżynierii Środowiska PAN: s. 285-294.
- Tokarczyk T., Szalińska W., Otop I., 2012, Ocena zagrożenia suszą w Polsce i prognoza jej rozwoju. [w:] Lorenc H. (red.) Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. Monografia pt.: Wpływ zmian klimatu na gospodarkę, środowisko i społeczeństwo. Tom 3. IMGW. Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa: s. 150-175.
- Tomaszewski E., 2007a, Hydrological Drought in Central Poland – Temporal and Spatial Patterns. Geographica Polonica. vol. 80. 2: s. 117-124.
- Tomaszewski E., 2007b, Maksymalny czas trwania głębokich niżówek letnich w środkowej Polsce i jego uwarunkowania. Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Physica 8: s. 89-98.
- Tomaszewski E., 2007c, Wybrane parametry niżówek na przykładzie Polski środkowej. [w:] Michalczyk Z., (red.) Obieg wody w środowisku naturalnym i przekształconym. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Lublin: s. 548-556.
- Tomaszewski E., 2009, Wieloletnia zmienność niedoborów odpływu niżówkowego w środkowej Polsce. [w:] Bogdanowicz R., Fac-Beneda J., (red.) Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych. Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego. Gdańsk: s. 261-273.
- Tomaszewski E., 2011, Defining the threshold level of hydrological drought in lake catchments. Limnological Review, 11.2: s. 81-88.
- Tomaszewski E., 2012a, Pora koncentracji suszy hydrologicznej w zlewniach nizinnych. [w:] Marszelewski W. (red.) Gospodarowanie wodą w warunkach zmieniającego się środowiska. Monografie Komisji Hydrologicznej Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń: s. 202-217.
- Tomaszewski E., 2012b, Wieloletnia i sezonowa dynamika niżówek w rzekach środkowej Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Ujda K. (red.), 1972, Wodowskazy na rzekach Polski. PIHM, WKiŁ, Warszawa.
- UNEP United Nations Environment Programme, 2002, Global Environment Outlook 3: Past, present and future perspectives. Earthscan, UK.
- Urošev M, Dolinaj D., Štrbac D., 2016, At-site hydrological drought analysis: case study of Velika Morava river at Ljubičevski Most (Serbia). J. Geogr. Inst. Cvijic. 66(2) : s. 203-220.
- Ustawa Prawo wodne, 2017) Dz. U. poz. 1566 z 20 lipca 2017 r.
- van Gelder P.H.A.J.M., Wang W., Vrijling J. K., 2005, Statistical estimation methods for extreme hydrological events. [w:] Vasiliev O.F., Gelder P. H. A. J. M., van Plate E.J., Bolgov M.V. (red.) Extreme Hydrological Events: New Concepts for Security. NATO Science Series, IV. Earth Env. Sci., 78: s. 199-254.
- van Lanen H.A.J., Kundzewicz Z., Tallaksen L.M., Hisdal H., Fendeková M., Prudhomme C., 2008, Indices for different types of droughts and floods at different scales. Technical Report No. 11. WATCH Water and Global Change.
- Van Lanen H.A.J., Laaha G., Kingston D.G., Gauster T., Ionita M., Vidal J-P, Vlnas R., Tallaksen L.M., Stahl K., Hannaford J., Delus C., Fendekova M., Mediero L., Prudhomme C., Rets E., Romanowicz R.J., Gailliez S. Wong W.K., Adler M-J, Blauhut V., Caillouet L., Chelcea S., Frolova N., Gudmundsson L., Hanel M., Haslinger K., Kireeva M., Osuch M., Sauquet E., Stagge J. H., Van Loon A.F., 2016, Hydrology needed to manage droughts: The 2015 European case, Hydrological Processes 30(17) : s. 3097–3104.
- van Loon A., van Lanen H. A. J., 2012, A process-based typology of hydrological drought. Hydrol. Earth Syst. Sc. Discuss., 16: s. 1915-1946.
- Vladimirov A.M., 1976, Stok rek v malovodiy period goda. Gidrometeoizdat, Leningrad
- Walawander A., 1932, Kronika klęsk elementarnych w Polsce i w krajach sąsiednich w latach 1450-1586. 1. Zjawiska meteorologiczne i pomory (z wykresami). Kasa im. J. Mianowskiego - Instytut Popierania Polskiej Twórczości Naukowej, Lwów.

- Wang W., Chen Y., Becker S., Liu B., 2015, Linear Trend Detection in Serially Dependent Hydrometeorological Data Based on a Variance Correction Spearman Rho Method. *Water*, 7: s. 7045-7065.
- Werchracki R., 1938, Kłęski elementarne w Polsce w latach 1587-1647, I Zjawiska meteorologiczne, stan urodzajów i pomory bydła. *Sprawozdania Towarzystwa Naukowego Lwów*, 18, 3: s. 321-326
- Węglarczyk S., 2010, Statystyka w inżynierii środowiska. Politechnika Krakowska.
- Węglarczyk S., 2014, Exceedance probability of selected low characteristic flows in mountain catchments. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, PAN, IV/3/2014: s. 1421-1429.
- Węglarczyk S. red., 2006, Słownik terminów związanych z gospodarowaniem zasobami wodnymi. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
- Wiejaczka Ł., 2011, Wpływ zbiornika wodnego Klimkówka na abiotyczne elementy środowiska przyrodniczego w dolinie rzeki Ropy. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, Nr 229.
- Więzik B., 2016, Zaopatrzenie ludności i przemysłu w wodę w województwie śląskim. *Globalne Partnerstwo dla Wody*, Warsztaty 24 lutego 2016 r., Warszawa
- Wilhite D.A., 2005, Drought and Water Crises Science. Technology and Management Issues, New York: CLC Press, Taylor Francis Group.
- Wilhite D.A. Glantz M.H., 1987, Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. [w:] Wilhite D. A. Easterling W. E. Wood D. A. (red.). *Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability*. Western Press, Boulder. CO: s. 11-30.
- WMO, 2009, Guide to Hydrological Practices. Sixth edition, WMO, No 168.
- Woo M. K., Tarhule A., 1994, Streamflow droughts of northern Nigerian rivers. *Hydrolog. Sci. J.* 39(1) : s. 19-34.
- Yahiaoui A., Touaibia B., Bouvier C., 2009, Frequency analysis of the hydrological drought regime. Case of oued Mina catchment in western of Algeria. *Revue Nature et Technologie.*, 1: s. 3-15.
- Yevjevich V., 1967, An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology Paper*, 23, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Yue S., Pilon P., Cavadias G., 2002, Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *J. Hydrol.*, 264, 1-4: s. 262-263.
- Yue S., Rasmussen P., 2002, Bivariate frequency analysis: discussion of some useful concepts in hydrological application. *Hydrol. Process.* 16: s. 2881-2898.
- Yürekli K., Kurunç A., Gül S., 2005, Frequency Analysis of Low Flow Series from Çekerek Stream Basin. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11 (1) : s. 72-77.
- Zeleňáková M., Purcz P., Soľáková T., Demeterová B., 2012, Analysis of trends of low flow in river stations in Eastern Slovakia. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 60, 5: s. 265-273.
- Zelenhasic E., 2002, On the Extreme Streamflow Drought Analysis. *Water Resour. Manag.*, 16: s. 105-132.
- Zelenhasic E., Salvai A., 1987, A Method of Streamflow Drought Analysis. *Water Resour. Manag.*, 23, 1: s. 156-168.
- Zespół Elektrowni Wodnych Niedzica S. A. <http://www.zzw-niedzica.com.pl/> (dostęp: 30.07.2018 r.)
- Zielińska M., 1963a, Niżówki letnie rzek polskich. *Gospodarka Wodna*, 4(196) : s. 133-136.
- Zielińska M., 1963b, Statystyczne metody opracowywania niżówek. *Przegląd Geofizyczny, Rocznik VIII, XVI*, 1-2: s. 75-87.
- Ziemońska Z., 1973, Stosunki wodne w Polskich Karpatach Zachodnich. *Prace Geograficzne nr 103*, PAN, Instytut Geografii.

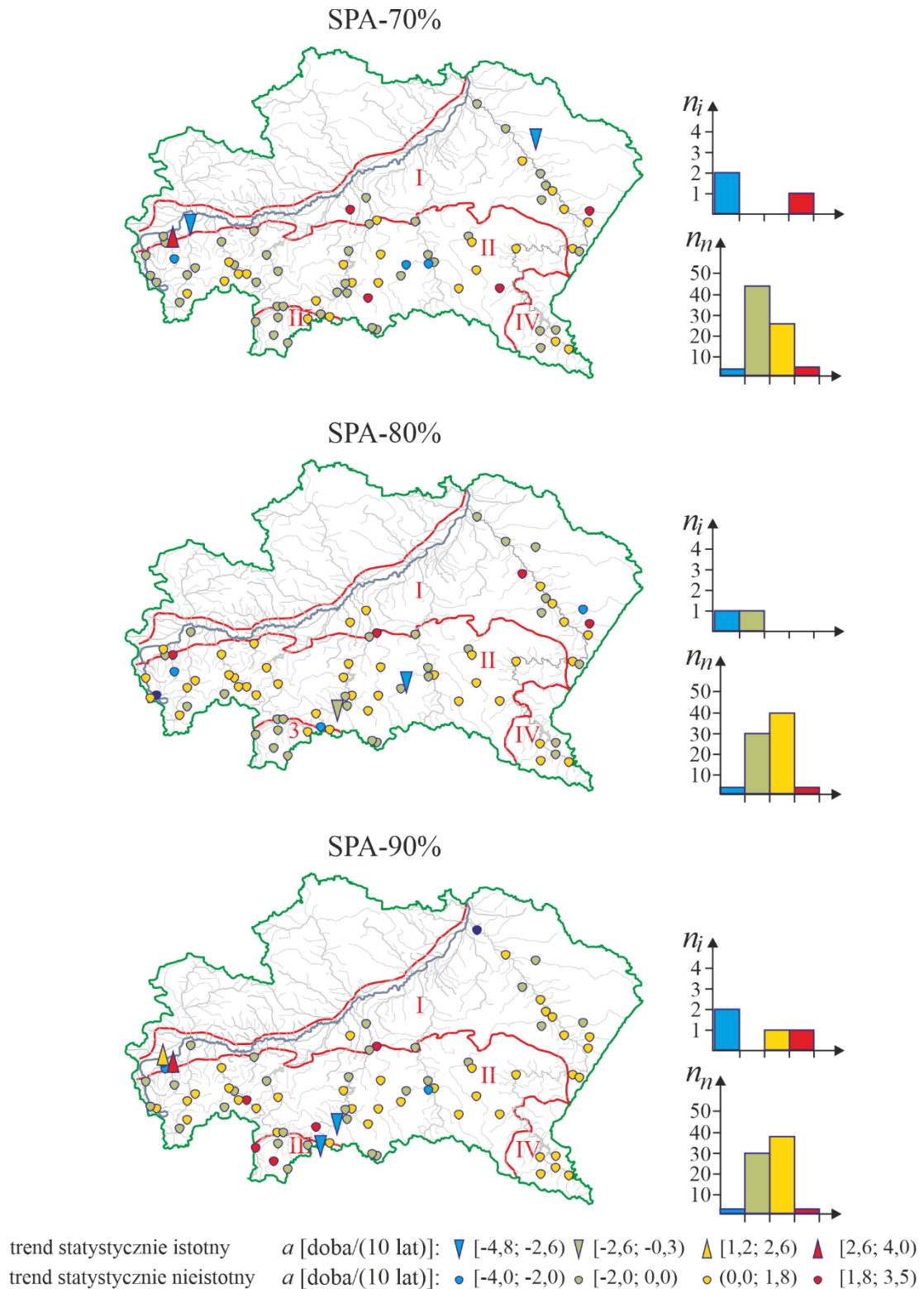
ZALĄCZNIK

- Rys. Z. 1. Rozkład przestrzenny statystycznie istotnych/nieistotnych trendów szeregów czasu trwania niżówki maksymalnej POT, dla trzech Q_g , wraz z informacją o wartości współczynnika kierunkowego a , w podziale na cztery kategorie, na tle regionów fizyczno-geograficznych.. 143
- Rys. Z. 2. Rozkład przestrzenny statystycznie istotnych/nieistotnych trendów szeregów czasu trwania niżówki maksymalnej SPA, dla trzech Q_g , wraz z informacją o wartości współczynnika kierunkowego a , w podziale na cztery kategorie, na tle regionów fizyczno-geograficznych.. 144
- Rys. Z. 3. Rozkład przestrzenny statystycznie istotnych/nieistotnych trendów szeregów objętości niżówki maksymalnej POT, dla trzech Q_g , wraz z informacją o wartości współczynnika kierunkowego a , w podziale na cztery kategorie, na tle regionów fizyczno-geograficznych.. 145
- Rys. Z. 4. Rozkład przestrzenny statystycznie istotnych/nieistotnych trendów szeregów objętości niżówki maksymalnej SPA, dla trzech Q_g , wraz z informacją o wartości współczynnika kierunkowego a , w podziale na cztery kategorie, na tle regionów fizyczno-geograficznych.. 146
- Rys. Z. 5. Porównanie rozkładów prawdopodobieństwa (empirycznego i Weibulla) czasu trwania T_{max} niżówek maksymalnych POT i SPA wraz z 90% obszarami ufności kwantyli $T_{max,p}^w$, dla trzech Q_g , w przekroju wodowskazowym Zboiska na Jasiołce; p oznacza prawdopodobieństwo przewyższenia..... 147
- Rys. Z. 6. Porównanie rozkładów prawdopodobieństwa (empirycznego i Weibulla) i objętości V_{max} niżówek maksymalnych POT i SPA wraz z 90% obszarami ufności kwantyli $V_{max,p}^w$, dla trzech Q_g , w przekroju wodowskazowym Zboiska na Jasiołce; p oznacza prawdopodobieństwo przewyższenia..... 148
- Rys. Z. 7. Rozkład przestrzenny 10-letniego czasu trwania $T_{max,10}$ niżówki maksymalnej POT dla trzech Q_g , według klasyfikacji kwartyłowej, wraz z wykresem pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych. 149
- Rys. Z. 8. Rozkład przestrzenny 10-letniego czasu trwania $T_{max,10}$ niżówki maksymalnej SPA dla trzech Q_g , według klasyfikacji kwartyłowej, wraz z wykresem pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych. 150
- Rys. Z. 9. Rozkład przestrzenny 10-letniej objętości $V_{max,10}$ niżówki maksymalnej POT dla trzech Q_g według klasyfikacji kwartyłowej, wraz z wykresem pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych. 151
- Rys. Z. 10. Rozkład przestrzenny 10-letniej objętości $V_{max,10}$ niżówki maksymalnej SPA dla trzech Q_g według klasyfikacji kwartyłowej, wraz z wykresem pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych. 152
- Rys. Z. 11. Rozkład przestrzenny 50-letniego czasu trwania $T_{max,50}$ niżówki maksymalnej POT i SPA dla trzech Q_g , według klasyfikacji kwartyłowej, wraz z wykresem typu pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych. 153
- Rys. Z. 12. Rozkład przestrzenny 50-letniej objętości $V_{max,50}$ niżówki maksymalnej POT i SPA dla trzech Q_g , według klasyfikacji kwartyłowej, wraz z wykresem typu pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych. 154



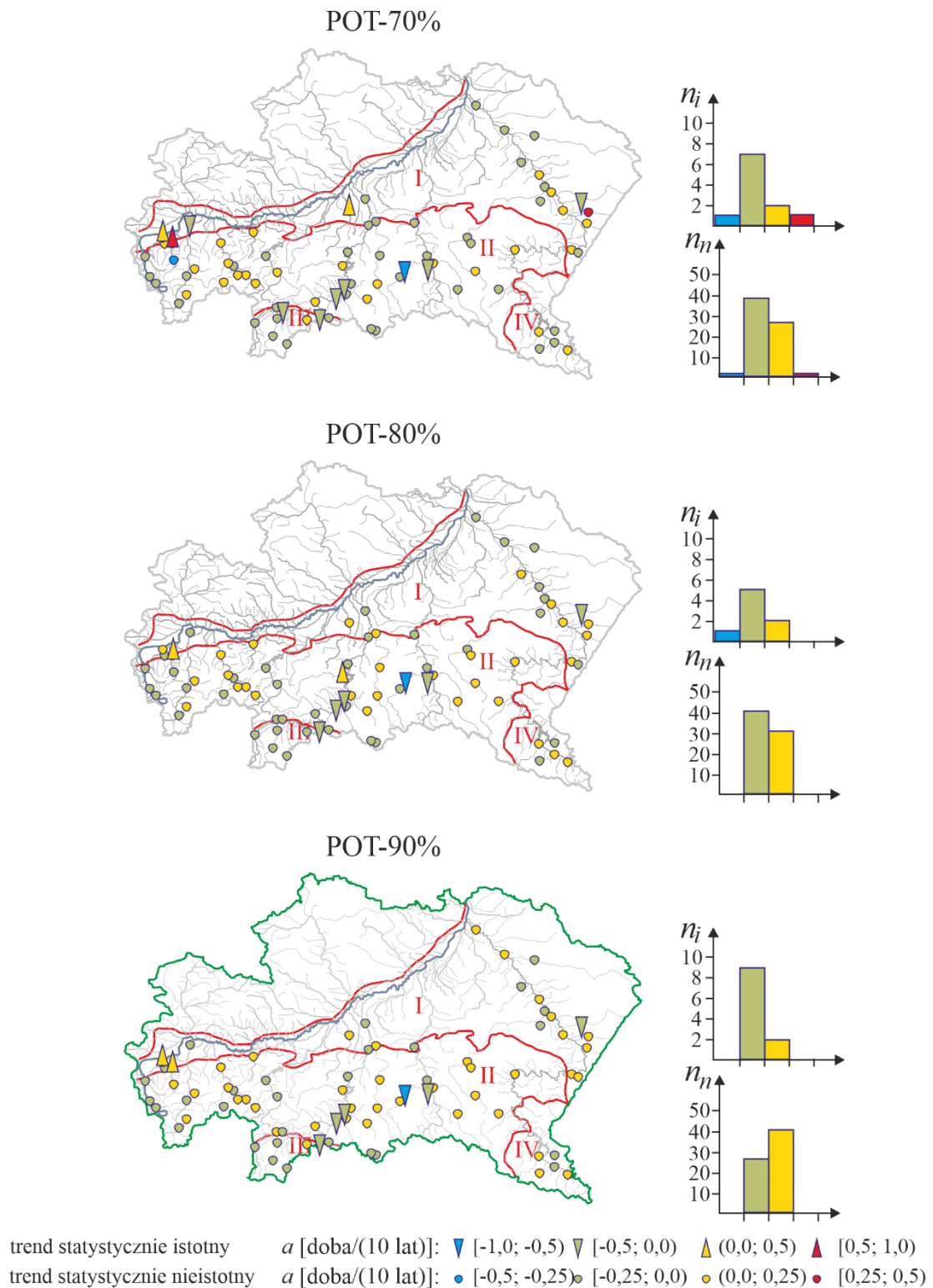
Rys. Z. 1. Rozkład przestrzenny statystycznie istotnych/nieistotnych trendów szeregów czasu trwania niżówki maksymalnej POT, dla trzech Q_g , wraz z informacją o wartości współczynnika kierunkowego a , w podziale na cztery kategorie, na tle regionów fizyczno-geograficznych.

Fig. Z. 1. Spatial distribution of statistically significant/non-significant trends in the series of the duration of the maximum POT droughts, for three Q_g , with information on the value of slope coefficient a , divided into four categories, within the physical and geographical regions.



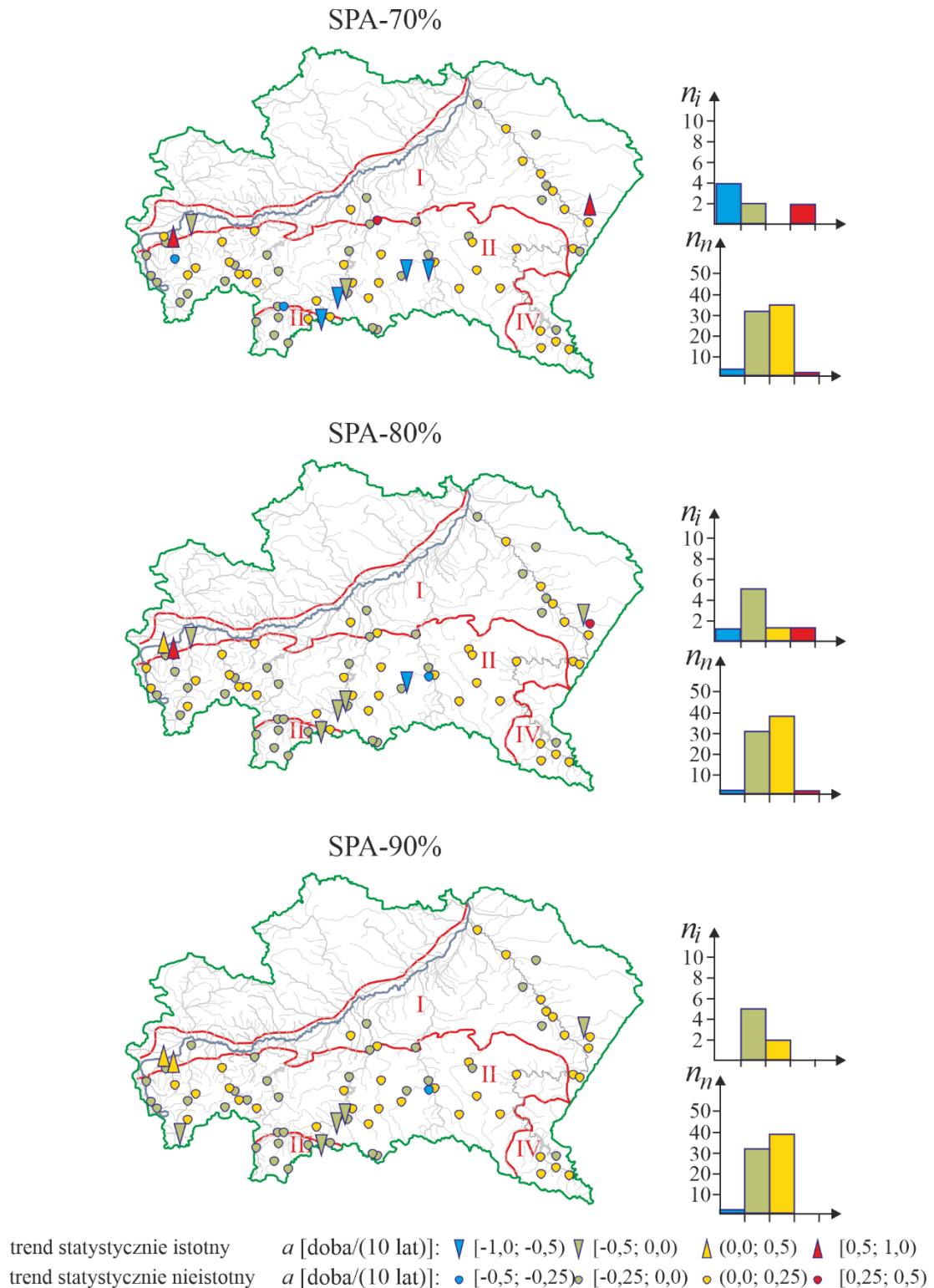
Rys. Z. 2. Rozkład przestrzenny statystycznie istotnych/nieistotnych trendów szeregów czasu trwania niżówki maksymalnej SPA, dla trzech Q_g , wraz z informacją o wartości współczynnika kierunkowego a , w podziale na cztery kategorie, na tle regionów fizyczno-geograficznych.

Fig. Z. 2. Spatial distribution of statistically significant/non-significant trends in the series of the duration of the maximum SPA droughts, for three Q_g , with information on the value of slope coefficient a , divided into four categories, within the physical and geographical regions.



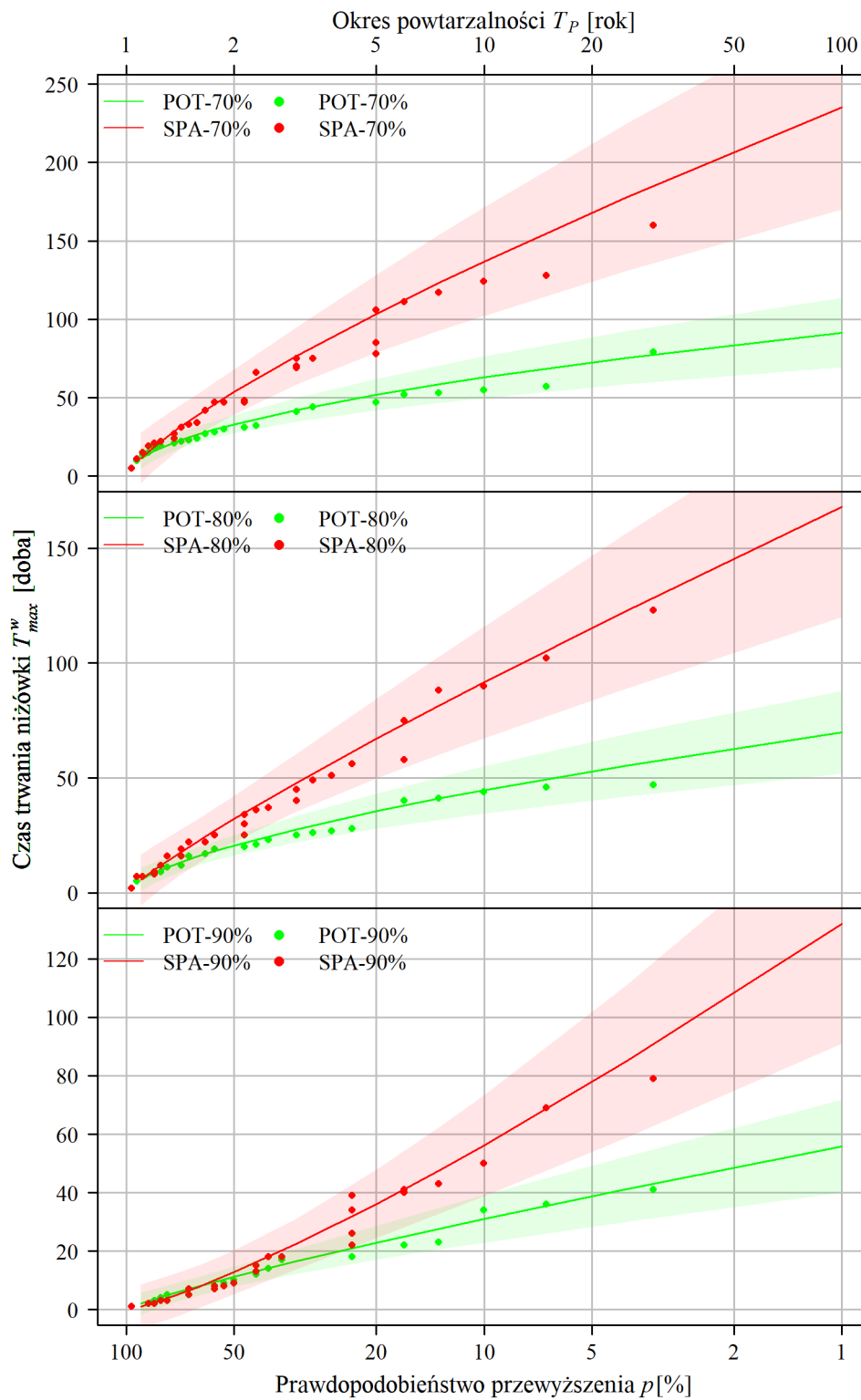
Rys. Z. 3. Rozkład przestrzenny statystycznie istotnych/nieistotnych trendów szeregów objętości n iżówki maksymalnej POT, dla trzech Q_g , wraz z informacją o wartości współczynnika kierunkowego a , w podziale na cztery kategorie, na tle regionów fizyczno-geograficznych.

Fig. Z. 3. Spatial distribution of statistically significant/non-significant trends in the series of the volume of the POT maximum droughts, for three Q_g , with information on the value of the slope coefficient a , divided into four categories, within the physical and geographical regions.

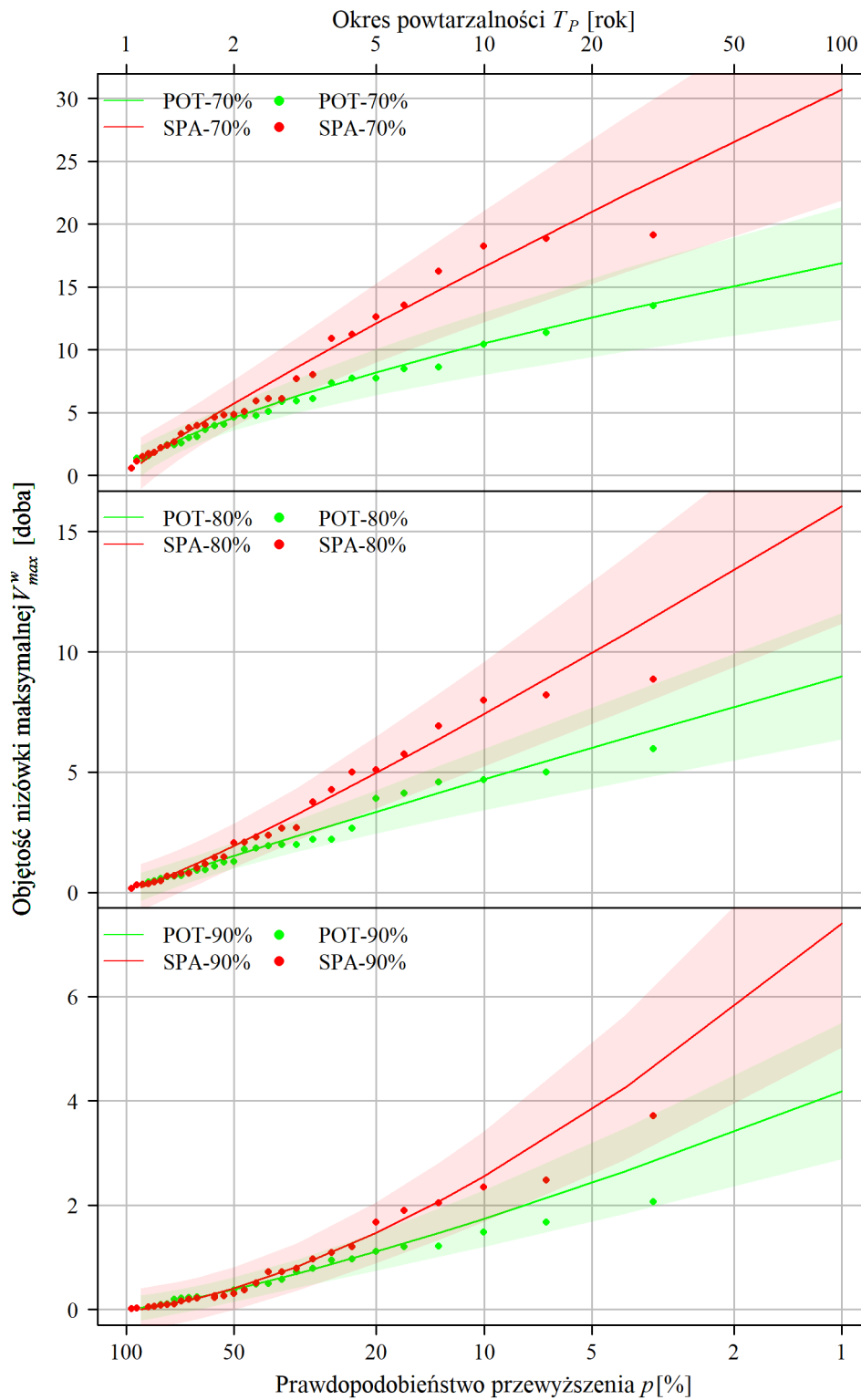


Rys. Z. 4. Rozkład przestrzenny statystycznie istotnych/nieistotnych trendów szeregów objętości niżówki maksymalnej SPA, dla trzech Q_g , wraz z informacją o wartości współczynnika kierunkowego a , w podziale na cztery kategorie, na tle regionów fizyczno-geograficznych.

Fig. Z. 4. Spatial distribution of statistically significant/non-significant trends in the series of the volume of the SPA maximum droughts, for three Q_g , with information on the value of the slope coefficient a , divided into four categories, within the physical and geographical regions.

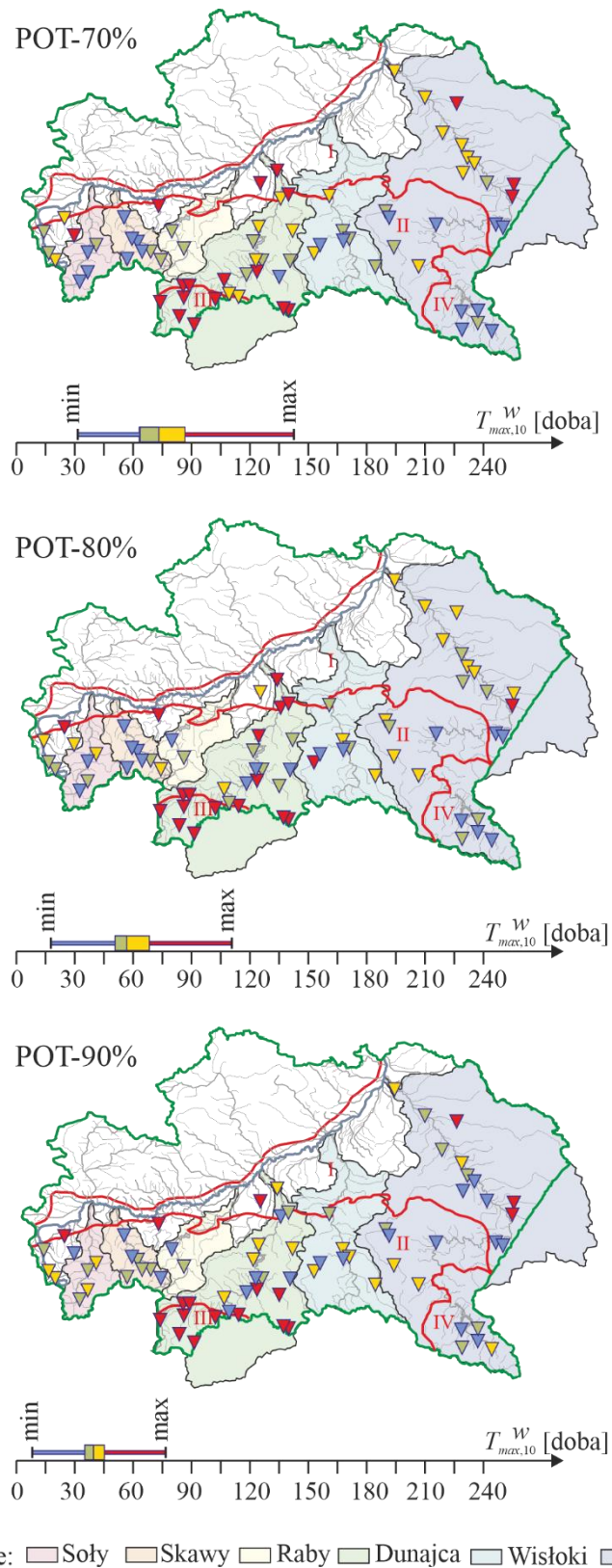


Rys. Z. 5. Porównanie rozkładów prawdopodobieństwa (empirycznego i Weibulla) czasu trwania T_{max} niożówek maksymalnych POT i SPA wraz z 90% obszarami ufności kwantyli $T_{max,p}^w$, dla trzech Q_g , w przekroju wodowskazowym Zboiska na Jasiołce; p oznacza prawdopodobieństwo przewyższenia.
 Fig. Z. 5. Comparison of the probability distributions (empirical and Weibull) of the duration T_{max} and the volume V_{max} of POT and SPA maximum droughts with 90% confidence bands of quantiles $T_{max,p}^w$, for three Q_g , in the Zboisko cross-section of the Jasiołka river; p is the exceedance probability.



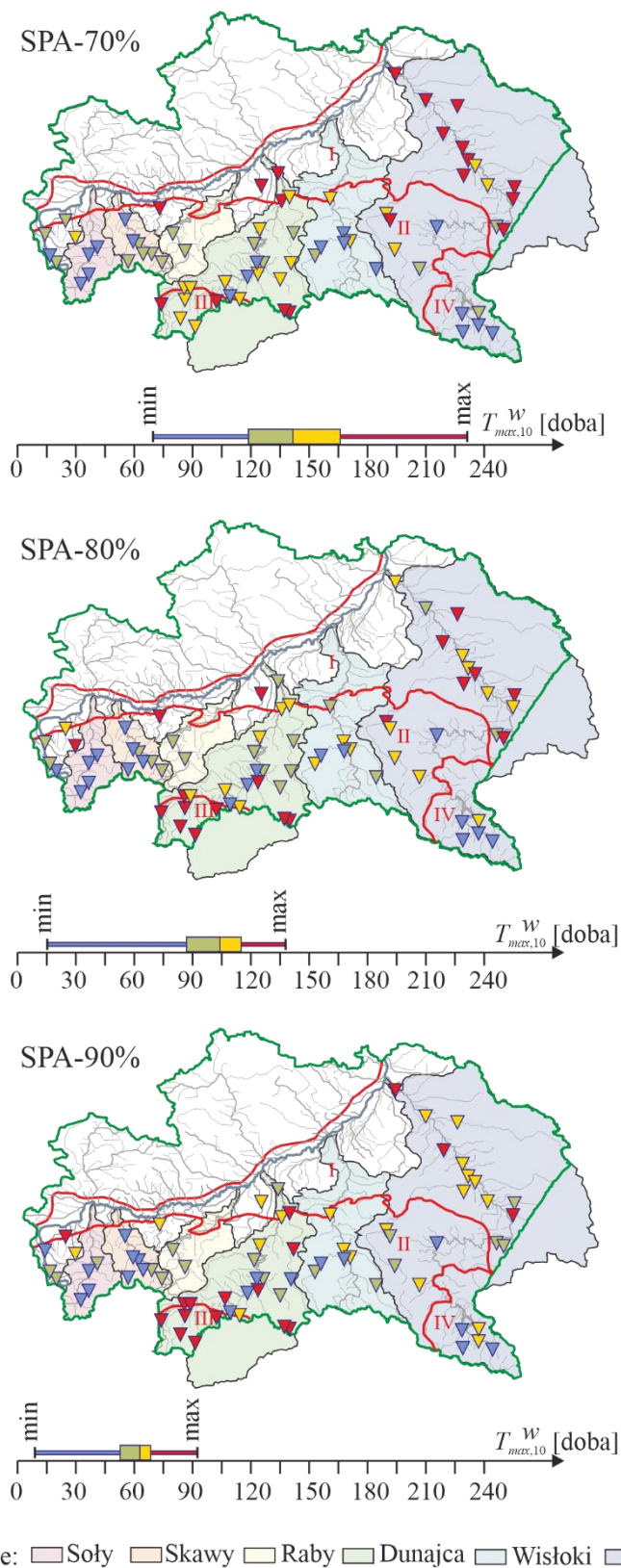
Rys. Z. 6. Porównanie rozkładów prawdopodobieństwa (empirycznego i Weibulla) i objętości V_{max} niszówek maksymalnych POT i SPA wraz z 90% obszarami ufności kwantyli $v_{max,p}^w$, dla trzech Q_g , w przekroju wodowskazowym Zboiska na Jasiołce; p oznacza prawdopodobieństwo przewyższenia.
 Fig. Z. 6. Comparison of the probability distributions (empirical and Weibull) of the volume V_{max} of POT and SPA maximum droughts with 90% confidence bands of quantiles $v_{max,p}^w$, for three Q_g , in the

Zboisko cross-section of the Jasiołka river; p is the exceedance probability.



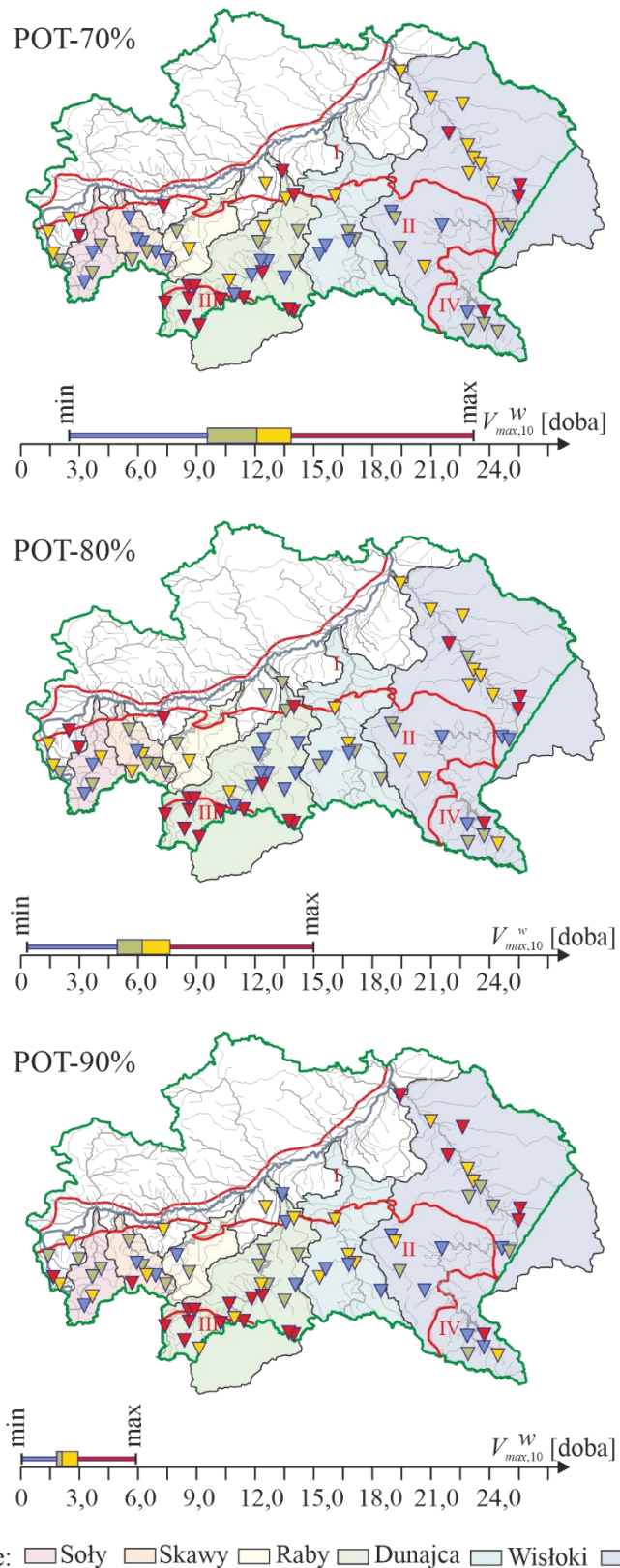
Rys. Z. 7. Rozkład przestrzenny 10-letniego czasu trwania $T_{max,10}$ niżówki maksymalnej POT dla trzech Q_g , według klasyfikacji kwartylowej, wraz z wykresem pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych.

Fig. Z. 7. Spatial distribution of 10-year duration $T_{max,10}$ of the maximum POT droughts for three Q_g , according to the quartile classification, with a box plot, within the physical and geographical regions.



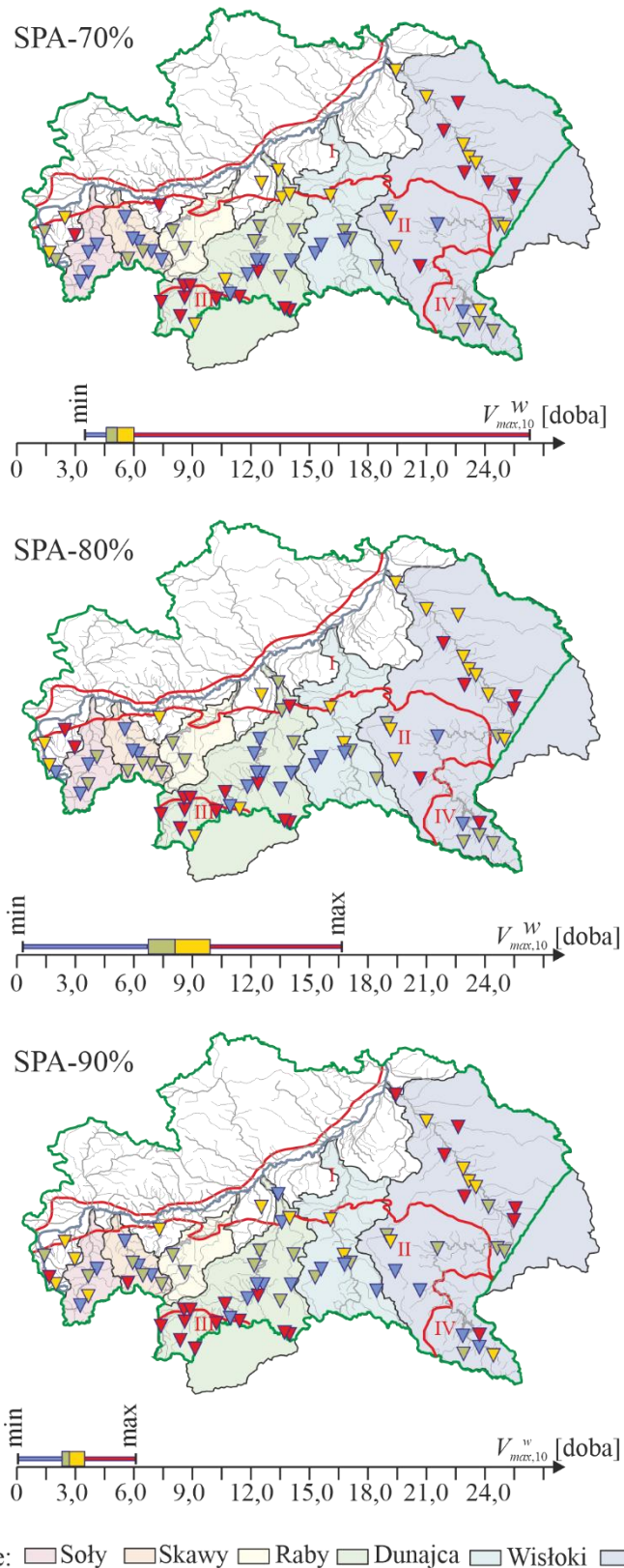
Rys. Z. 8. Rozkład przestrzenny 10-letniego czasu trwania $T_{max,10}$ niżówki maksymalnej SPA dla trzech Q_g , według klasyfikacji kwartyłowej, wraz z wykresem pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych.

Fig. Z. 8. Spatial distribution of 10-year duration $T_{max,10}$ of the maximum SPA droughts for three Q_g , according to the quartile classification, with a box plot, within the physical and geographical regions.



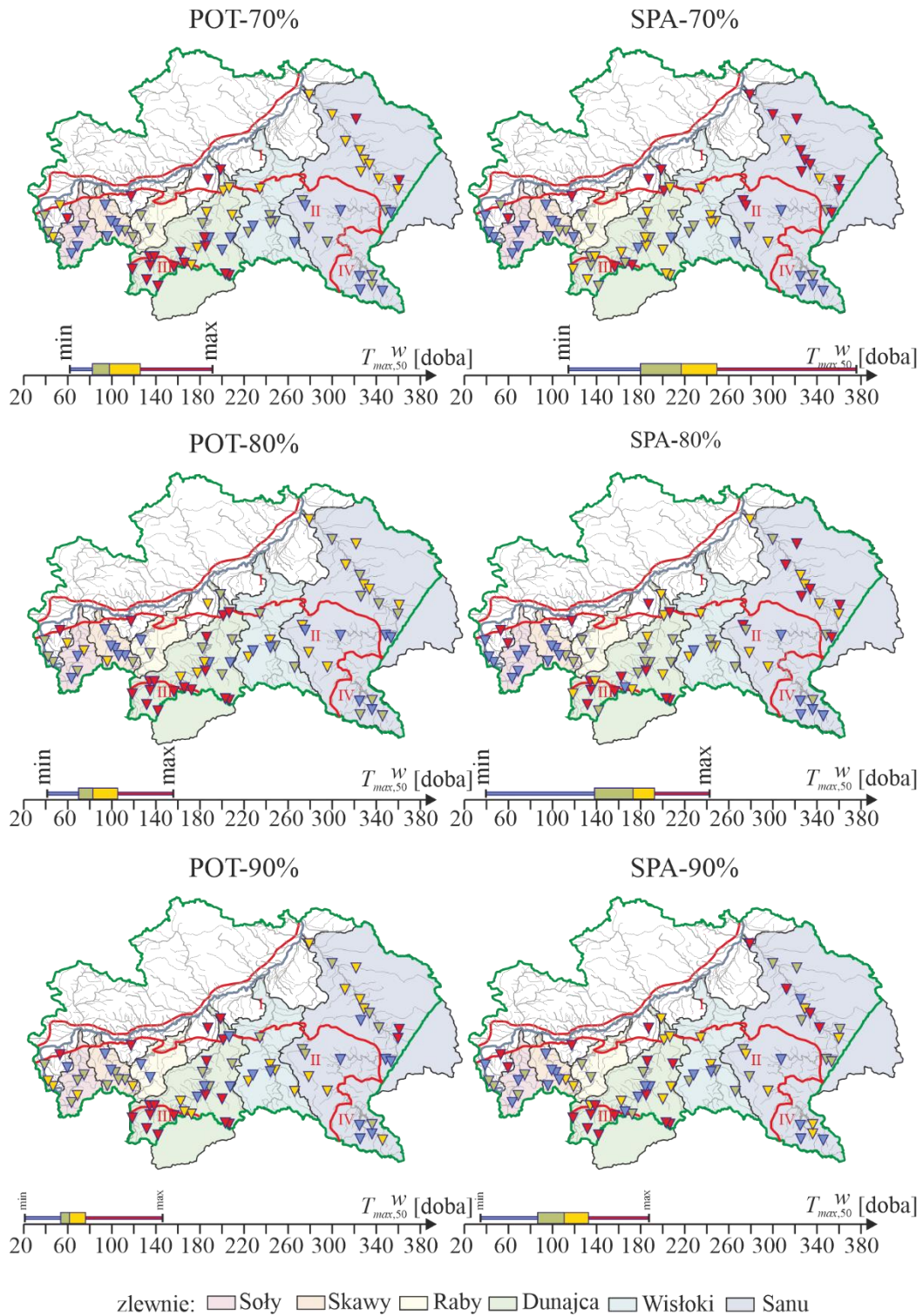
Rys. Z. 9. Rozkład przestrzenny 10-letniej objętości $V_{max,10}$ niżówki maksymalnej POT dla trzech Q_g według klasyfikacji kwartylowej, wraz z wykresem pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych.

Fig. Z. 9. Spatial distribution of 10-year volume $V_{max,10}$ of the maximum POT droughts for three Q_g , according to the quartile classification, with a box plot, within the physical and geographical regions.



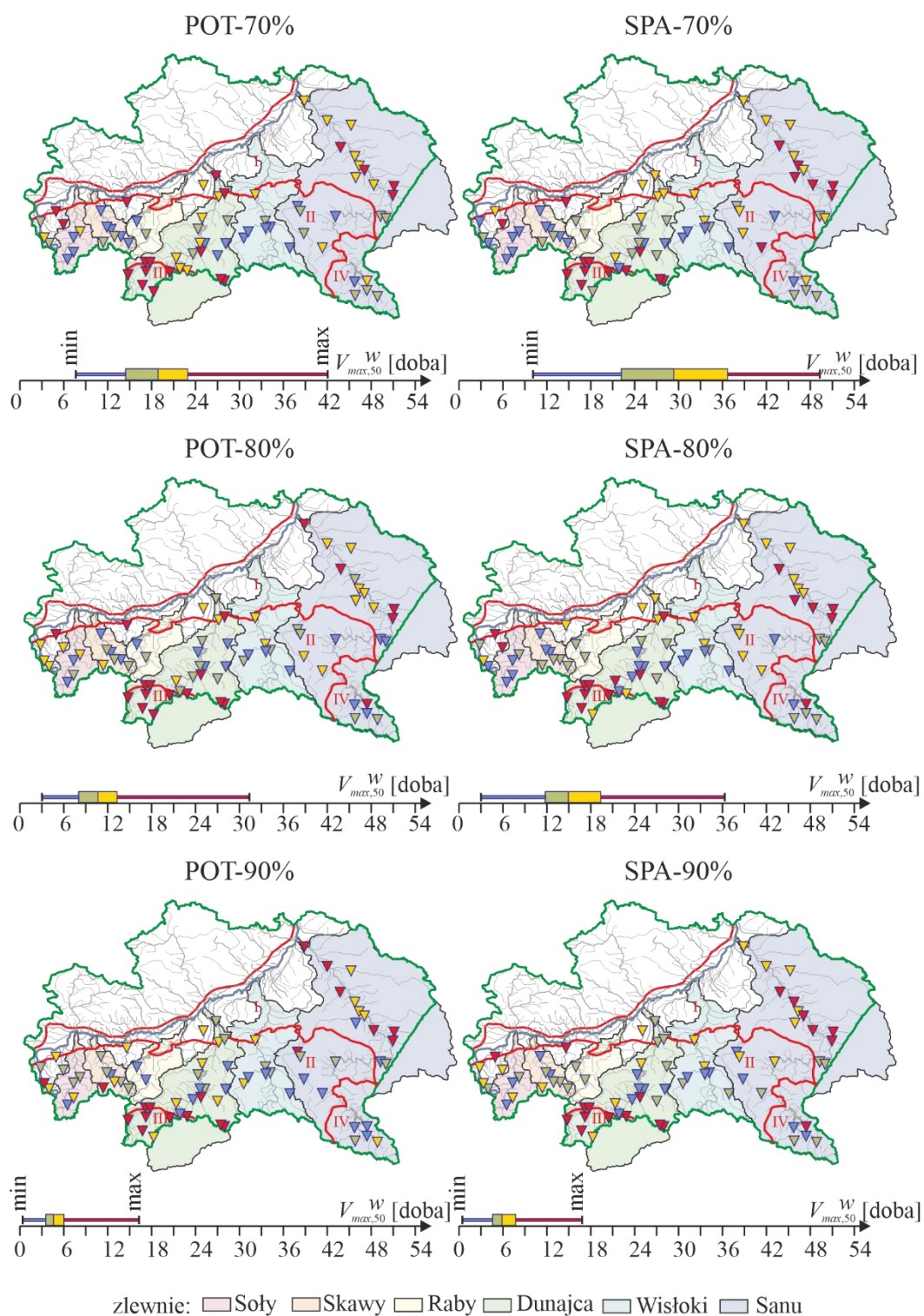
Rys. Z. 10. Rozkład przestrzenny 10-letniej objętości $V_{max,10}$ niżówki maksymalnej SPA dla trzech Q_g według klasyfikacji kwartylowej, wraz z wykresem pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych.

Fig. Z. 10. Spatial distribution of 10-year volume $V_{max,10}$ of the maximum SPA droughts for three Q_g , according to the quartile classification, with a box plot, within the physical and geographical regions.



Rys. Z. 11. Rozkład przestrzenny 50-letniego czasu trwania $T_{max,50}$ niżówki maksymalnej POT i SPA dla trzech Q_g , według klasyfikacji kwartylowej, wraz z wykresem typu pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych.

Fig. Z. 11. Spatial distribution of 50-year duration $T_{max,50}$ of the POT and SPA maximum droughts for three Q_g , according to the quartile classification, with a box plot, within the physical and geographical regions.



Rys. Z. 12. Rozkład przestrzenny 50-letniej objętości $V_{max,50}$ niżówki maksymalnej POT i SPA dla trzech Q_g , według klasyfikacji kwartylowej, wraz z wykresem typu pudełkowym, na tle regionów fizyczno-geograficznych.

Fig. Z. 12. Spatial distribution of 50-year volume $V_{max,10}$ of the POT and SPA maximum droughts for three Q_g , according to the quartile classification, with a box plot, within the physical and geographical regions.

Przestrzenno-czasowa analiza ryzyka wystąpienia niżówek maksymalnych w prawobrzeżnej części zlewni Górnej Wisły

STRESZCZENIE

Celem pracy było uzyskanie wszechstronnej informacji na temat niżówki maksymalnej rocznej w prawobrzeżnej części zlewni Górnej Wisły, a w szczególności określenie przestrzennej zmienności wybranych charakterystyk tej niżówki oraz ryzyka wystąpienia na badanym obszarze niżówki maksymalnej o czasie trwania i objętości przekraczającej zadaną wartość.

Praca zawiera kompleksową ocenę niżówek surowych (wszystkich w wieloleciu) i maksymalnych rocznych, w przekrojach wodowskazowych na badanym obszarze, w wybranym 30-leciu hydrologicznym.

Niżówki surowe zdefiniowano na sześć sposobów – dwoma metodami (POT i SPA), przy założonych trzech przepływach granicznych. Określono podstawowe charakterystyki niżówek surowych, tj. ich liczbę, czas trwania i objętość, czas początku i końca niżówek. Wyznaczono zmienność charakterystyk niżówki wzdłuż rzek oraz wpływ oddziaływania zbiorników retencyjnych na charakterystyki niżówki.

Niżówki surowe były podstawą zdefiniowania niżówek maksymalnych rocznych, czyli niżówek najdłuższych w danym roku lub o największej objętości w danym roku.

Zidentyfikowano rozkłady prawdopodobieństwa dwóch najważniejszych charakterystyk niżówek maksymalnych, tj. czasu trwania i objętości, a w konsekwencji określono niżówki maksymalne o zadanym okresie powtarzalności (zadany poziom ryzyka).

Opracowane zostały mapy zagrożenia niżówką maksymalną rozumiane jako przestrzenne rozkłady 10-letnich i 50-letnich niżówek maksymalnych.

Analiza tych map pozwoliła na wytypowanie obszarów/zlewni mniej lub bardziej zagrożonych wystąpieniem niżówki maksymalnej rocznej o czasie trwania i/albo objętości przekraczającej zadaną wartość.

Słowa kluczowe: niżówka, niżówka maksymalna roczna, czas trwania niżówki, objętość niżówki, stacjonarność, rozkład prawdopodobieństwa, analiza przestrzenna

Spatial-time analysis of the risk of the maximum hydrological droughts in the right-bank part of the Upper Vistula catchment

ABSTRACT

The work aimed to obtain complete information about the maximum annual drought in the right-bank part of the Upper Vistula catchment, particularly to determine the spatial variability of some selected drought characteristics and the risk of occurrence in the studied area of the maximum drought with duration and volume exceeding a preset value.

The dissertation presents a comprehensive assessment of all raw droughts over the multiannual period and maximum annual ones in the river gauging stations within the examined area during the selected period of 30 hydrological years.

Raw droughts were defined in six ways using two methods (POT and SPA) at three assumed thresholds of daily flows. Basic characteristics of raw droughts were determined: the number, duration and volume, the time of the beginning and the end of drought. Variability of the drought characteristics along river length was determined and the influence of retention reservoirs on the drought characteristics was assessed.

Raw droughts provided a basis for defining maximum annual droughts as the droughts with the longest duration or with the largest volume in a given year.

Dimensional probability distributions were identified for two most important characteristics of maximum droughts, i.e. duration and volume, and in result maximum droughts with set return period (set risk level) were determined.

Maximum drought hazard maps were developed, understood as spatial distributions of 10-year and 50-year maximum droughts. Analysis of these maps allowed to select the areas/catchments more or less threatened with the occurrence of maximum annual drought with duration and/or volume exceeding the set value.

Key words: drought, maximum annual drought, drought duration, drought volume, stationarity, probability distribution, spatial analysis.