

**Urszula Somorowska\***

**WZROST ZAGROŻENIA SUSZĄ HYDROLOGICZNĄ  
W RÓŻNYCH REGIONACH GEOGRAFICZNYCH POLSKI  
W XX WIEKU**

**Increase in the hydrological drought risk in different  
geographical regions of Poland in the 20<sup>th</sup> century**

**Abstract.** The purpose of this study was to evaluate the growing threat of hydrological droughts for the territory of Poland. Using the values of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) tendencies in the appearance of drought months were analyzed in summer months in the 20<sup>th</sup> century. An increase in the frequency of appearance of drought months was detected in last two decades. Monthly minimum values of the PDSI show statistically significant downward tendency which indicates tendency towards over drying. Mean values of the PDSI for the period 1991–2000 was significantly lower then values in the reference period 1961–1990 for the most of the territory of Poland.

**Słowa kluczowe:** susza, wskaźnik surowości suszy Palmera, częstość, przepływ  
**Key words:** drought, Palmer Drought Severity Index, frequency, discharge

**WSTĘP**

Katastrofalne susze i ulewy występują coraz częściej i z coraz większą intensywnością. Zjawiska hydrologiczne mają nierzadko gwałtowniejszy przebieg, a wzrost częstości występowania zdarzeń ekstremalnych staje się istotnym problemem ze skutkami przyrodniczymi, ekonomicznymi i społecznymi. Sygnalizowane ostatnio nasilanie się tych zjawisk, obserwowane w różnych skalach przestrzennych, prowadzi w konsekwencji do zmian ustroju hydrologicznego rzek oraz do ograniczenia dostępności zasobów wodnych. Susze i powodzie w Polsce i na świecie są przedmiotem wielu badań, podejmowanych między innymi w kontekście globalnych zmian klimatu (Kundzewicz 2008, Starkel Kundzewicz 2008).

---

\* e-mail: usomorow@uw.edu.pl

Otwartym zagadnieniem pozostaje nadal ocena wpływu ekstremalnych zjawisk meteorologicznych na dynamikę procesów hydrologicznych. Istotnym problemem jest wpływ zmieniających się w skali sezonowej i wieloletniej czynników meteorologicznych na pojawianie się susz atmosferycznych, glebowych oraz hydrologicznych. Do często stosowanych parametrów oceny susz glebowych i hydrologicznych można zaliczyć wskaźnik surowości suszy Palmera (Jurak i in. 1998, Klementová & Litschmann 2004, Somorowska 2007, Krysanova i in. 2008), który zastosowano również w niniejszej pracy. Ocenie poddano wieloletnią zmienność wskaźnika Palmera w dziesięciu regionach fizycznogeograficznych Polski. Zbadano jego związek z przepływem rzek, w wybranych zlewniach nizinnych, pojeziernych i górskich. Badano zagrożenie suszą hydrologiczną na obszarze Polski w XX wieku w półroczu letnim, w miesiącach maj–październik. Hipotezę o wzroście zagrożenia suszą hydrologiczną zweryfikowano analizując:

- trendy czasowe minimalnych rocznych wartości wskaźnika Palmera,
- przebieg funkcji kumulowanych odchyłeń,
- częstość występowania miesięcy suchych w dekadach wielolecia 1901–2000,
- zmienność przestrzenną i czasową średnich wieloletnich wartości wskaźnika Palmera w okresie 1991–2000 oraz w okresie referencyjnym 1961–1990,
- zależność między wskaźnikiem Palmera a średnim miesięcznym przepływem rzek.

## DANE I METODY BADAŃ

Do analizy wykorzystano miesięczne wartości wskaźnika surowości suszy Palmera (ang. Palmer Drought Severity Index – *PDSI*), pochodzące ze zbioru danych udostępnionych dla obszaru Europy przez Climatic Research Unit (CRU), Norwicz w Wielkiej Brytanii (van der Schrier i in. 2006, <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/>). Są to wartości wskaźnika Palmera obliczone przez van der Schriera i in. (2006) według metody opracowanej przez Wellsa i in. (2004), stanowiącej modyfikację oryginalnej metody Palmera (1965). W niniejszej pracy wykorzystano metodykę wcześniej stosowaną przez Somorowską (2007). Podstawą obliczeń wskaźnika Palmera jest uproszczony model bilansu wodnego, w którym ocenia się różnicę między opadem aktualnym ( $P$ ) a wielkością opadu miarodajnego klimatycznie<sup>1</sup> ( $\hat{P}$ ), uzależnionego od lokalnych warunków klima-

<sup>1</sup> Jako opad miarodajny klimatycznie (ang. Climatically Appropriate for Existing Conditions – the CAFEC precipitation) przyjmuje się wartość opadu obliczoną wg równania:  $\hat{P} = \alpha_i PET + \beta_i PR + \gamma_i PRO + \delta_i PL$   $\hat{P} = \alpha_i PET + \beta_i PR + \gamma_i PRO + \delta_i PL$ , gdzie:  $i$  – kolejny miesiąc,

tu. Różnica ta, traktowana jako miara uwilgotnienia obszarowego, jest obliczana wg równania:  $d = P - \hat{P}$ , gdzie  $d$  – wskaźnik deficytu wody (ang. moisture departure). Jest to inaczej nadmiar bądź niedobór opadu odniesiony do wielkości opadu miarodajnego klimatycznie – wilgoci, która może uczestniczyć w lokalnej wymianie wody w powierzchniowych warstwach gleby. Wskaźnik Palmera jest liczony w przedziałach miesięcznych, na podstawie miary uwilgotnienia obszarowego  $d$  oraz wybranych charakterystyk klimatu. W oryginalnej metodzie Palmera do wyznaczenia miarodajnych składników bilansu wodnego stosowano empiryczne współczynniki wagowe określone na podstawie niewielkiej liczby stacji klimatycznych, natomiast w metodzie zmodyfikowanej przez Welsa i in. (2004) zastąpiono je przez współczynniki określone na podstawie wieloletnich charakterystyk lokalnego klimatu. Do obliczeń wartości zmodyfikowanego wskaźnika Palmera (ang. self-calibrating Palmer Drought Severity Index – *scPDSI*), udostępnionych przez CRU, autorzy wykorzystali miesięczne sumy opadów oraz średnie miesięczne wartości temperatury powietrza, pochodzące z bazy danych klimatycznych CRU TS 2.1 (Michell & Jones 2005). Są to dane obejmujące lata 1901–2002, udostępnione w rozdzielczości przestrzennej 0,5° szer. geogr. i 0,5° dług. geogr., w punktach gridowych.

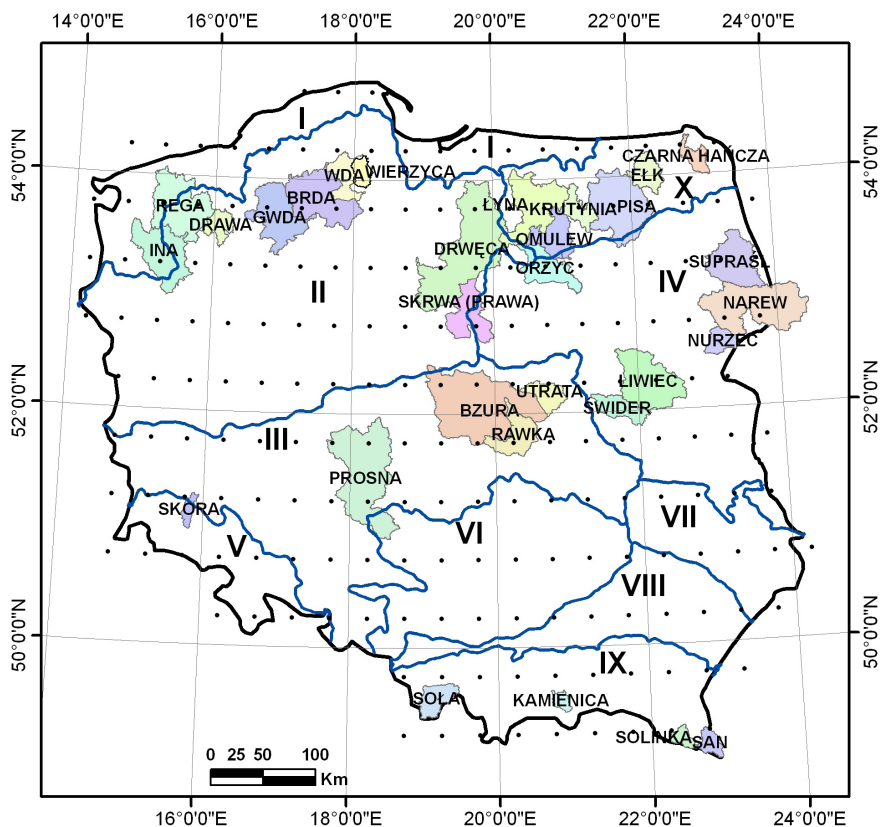
Ze zbioru wartości wskaźnika Palmera dla Europy wyodrębniono dane dotyczące 192 punktów gridowych, położonych w granicach Polski bądź w bezpośrednim jej sąsiedztwie. Obliczono średnią ważoną wskaźnika surowości suszy Palmera w wybranych trzydziestu zlewniach, a także w dziesięciu regionach fizycznogeograficznych Polski (Tab. 1, Rys. 1). Współczynniki wagowe wyznaczono w programie IDRISI na podstawie powierzchni wieloboków Thiesena. Zapis numeryczny granic zlewni pozyskano z elektronicznej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP 2004), natomiast granice regionów fizycznogeograficznych według Kondrackiego (2002), przyjęto stosując wydzielenia regionów udostępnione przez Instytut Paleogeografii i Geoekologii UAM, w postaci zbiorów wektorowych w formacie „shape” (<https://geo.wnoz.us.edu.pl/>). W obrębie Pobrzeża Południowobałtyckiego oraz Pojezierza Południowobałtyckiego (Regiony I, II, Tab. 1) dominującym typem ustrojów rzecznych są ustrój śnieżny średnio wykształcony oraz ustrój śnieżny słabo wykształcony, według klasyfikacji opracowanej przez Dynowską (1994). Pierwszy z nich reprezentują rzeki Rega, Ina, Drawa oraz Drwęca, natomiast drugi typ – Gwda, Brda, Wda oraz Wierzyca. W obszarze Nizin Środkowopolskich (Region III,

*PET* – potencjalna ewapotranspiracja, *PR* – deficyt wilgotności gleby, inaczej – potencjalna odnawialność retencji (ang. recharge), *PRO* – potencjalny odpływ, *PL* – potencjalne straty,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$  i  $\delta_i$  – bilansowe współczynniki liczbowe (ang. water balance coefficients). Wartość współczynników obliczana jest wg:  $\alpha_i = \sum_n ET_i / \sum_n PET_i$ ,  $\alpha_i = \sum_n ET_i / \sum_n PET_i$ ,  $\beta_i = \sum_n R_i / \sum_n PR_i$ ,  $\beta_i = \sum_n R_i / \sum_n PR_i$ ,  $\gamma_i = \sum_n RO_i / \sum_n PRO_i$ ,  $\gamma_i = \sum_n RO_i / \sum_n PRO_i$ ,  $\delta_i = \sum_n L_i / \sum_n PL_i$ ,  $\delta_i = \sum_n L_i / \sum_n PL_i$ , gdzie  $n$  – liczba lat, *ET* – ewapotranspiracja, *R* – odnawialność retencji, *RO* – odpływ, *L* – straty.

**Tab. 1.** Zlewnie objęte analizą, na podstawie regionalizacji fizycznogeograficznej Kondrackiego, 2002

**Table 1.** Catchments selected for the analysis, based on physico-geographical regionalization according to Kondracki, 2002

Lp.	Region fizycznogeograficzny Physico-geographical region	Zlewnia (Catchment)		
		Nr	Rzeka, wodowskaz River, profile	Pow. (Area) (km <sup>2</sup> )
I	Pobrzeża Południobałtyckie, Pobrzeża Wschodniobałtyckie	1	Ina, Goleniów (I/II)	2138
		2	Rega, Trzebiatów (I/II)	2644
II	Pojezierza Południobałtyckie	3	Drawa, Drawsko Pom.	592
		4	Gwda, Ptusza	2042
		5	Brda, Tuchola	2477
		6	Wda, Czarna Woda	828
		7	Wierzyca, Boże Pole Szl.	406
		8	Drwęca, Elgiszewo	5019
		9	Skrwa Prawa, Parzeń	1490
III	Niziny Sasko-Łużyckie, Niziny Środkowopolskie, bez wsch. cz.	10	Prosna, Bogusław	4282
		11	Bzura, Sochaczew	6258
		12	Rawka, Kęszyce	1192
IV	Nizina Północnomazowiecka, Nizina Północnopodlaska Nizina Południowopodlaska, Polesie, oraz	13	Utrata, Krubice	728
		14	Świder, Wólka Mładzka	860
		15	Liwiec, Łochów	2471
		16	Nurzec, Boćki	535
		17	Narew, Suraż	3425
		18	Supraśl, Fasty	1824
		19	Orzyc, Krasnosielc	1326
		20	Skora, Chojnów	266
V	Równina Wołomińska,		<i>zlewnie nie objęte analizą</i>	
VI	Równina Garwolińska, Dolina Dolnego Bugu		<i>zlewnie nie objęte analizą</i>	
VII	Sudety (z Przedgórzem Sudeckim)		<i>zlewnie nie objęte analizą</i>	
VIII	Wyżyna Małopolska		<i>zlewnie nie objęte analizą</i>	
IX	Wyżyna Śląsko-Krakowska	21	Soła, Żywiec	783
	Wyżyna Lubelsko-Lwowska	22	Kamienica, Nowy Sącz	237
X	Wyżyna Wołyńsko-Podolska	23	Solinka, Terka	309
	Podkarpacie Północne	24	San, Dwernik	418
	Karpaty: Karpaty Zachodnie,	25	Łyna, Smolajny	2302
	Karpaty Wschodnie	26	Omulew, Krukowo	1208
		27	Krutynia, Ukta	653
		28	Pisa, Ptaki	3576
	Pojezierza Wschodniobałtyckie	29	Elk, Elk	829
	30	Czarna Hańcza, Cz. Folw.	488	



**Rys. 1.** Lokalizacja zlewni objętych analizą, rozmieszczenie punktów gridowych z bazy danych wskaźnika Palmera wg van der Schrier i in. (2006) oraz zasięg wydzielonych regionów fizycznogeograficznych, na podstawie podziału Kondrackiego (2002). Oznaczenia I-X wg tabeli 2

**Fig. 1.** Location of catchments selected for analysis, location of the grid points of the Palmer Drought Severity Index from the database according to Schrier et al. (2006) and extend of selected areas based on physico-geographical regionalization according to Kondracki (2002). Symbols I-X according to table 2

Tab. 1) dominującym typem ustroju rzecznego jest ustrój śnieżny średnio wykształcony, reprezentowany przez rzeki Prosnę, Bzurę, Rawkę i Utratę. Rzeki Świder, Liwiec, Nurzec oraz Narew reprezentują typ ustroju śnieżnego silnie wykształconego, dominującego w obrębie Niziny Północnomazowieckiej oraz Niziny Północnopodlaskiej (Region IV, Tab. 1). Typ ustroju śnieżno-deszczowego przeważającego w Sudetach (Region V, Tab. 1) jest reprezentowany przez Skorę, natomiast typ ustroju deszczowo-śnieżnego charakterystycznego w ob-

szarze Karpat Zachodnich – przez Sołę i Kamienicę. Solinka i San charakteryzujące się ustrojem śnieżnym silnie wykształconym reprezentują obszar Karpat Wschodnich. W regionie X (Tab. 1) dominującym typem jest ustrój śnieżny średnio wykształcony, reprezentowany przez rzeki Łynę, Omulew, Krutynię, Piśę, Ełk i Czarną Hańczę. Typ ustroju zlewni wytypowanych do analizy został określony na podstawie miesięcznych wartości współczynnika Pardé w przebiegu rocznym w wieloleciu.

Obliczone wartości wskaźnika Palmera posłużyły do analizy i oceny zmienności występowania miesięcy suchych zdefiniowanych na podstawie wartości granicznych (Tab. 2). Analizowano wartości wskaźnika Palmera poniżej  $-2$ , obejmując w ten sposób okresy umiarkowanie suche, wyjątkowo suche i skrajnie suche. Obliczono częstości występowania miesięcy suchych w okresie letnim, w poszczególnych dekadach wielolecia 1901–2000. Ponadto analizowano minimalne wartości wskaźnika *scPDSI* w okresie wegetacji, w wieloleciu 1901–2002. Kierunek i istotność trendu minimalnych rocznych wartości *scPDSI* określono na podstawie metody parametrycznej stosując równanie regresji liniowej. Normalność rozkładu sprawdzono za pomocą testu *W* Shapiro-Wilka, natomiast niezależność elementów w ciągach danych – przy pomocy testu serii. Analizowano krytyczne poziomy istotności  $p$ , oznaczające prawdopodobieństwo odrzucenia hipotezy zerowej o braku zmian w analizowanym szeregu czasowym. Decyzję o przyjęciu bądź odrzuceniu hipotezy zerowej podejmowano na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  oraz  $\alpha=0,10$ . W przypadku, gdy przyjęty poziom istotności był większy niż poziom krytyczny ( $\alpha \geq p$ ), hipotezę zerową odrzucało, przyjmując jednocześnie hipotezę alternatywną o istotnych zmianach.

W ocenie wieloletniej zmienności minimalnych wartości wskaźnika Palmera badano sekwencje występowania lat suchych, stosując metodę kumulowanych odchyłek od wartości średniej. W polskiej literaturze hydrologicznej metoda ta znana jest pod nazwą skumulowanych odchyłek od średniej (Chełmicki 1989), bezwymiarowej krzywej różnicowej (Byczkowski i in. 2001), funkcji kumulowanych odchyłek (Somorowska 2001) lub integralno-różnicowej krzywej sumowej (Jokiel 2004). Krzywa sumowa standaryzowanego wskaźnika Palmera, przedstawia skumulowane odchylenia minimów rocznych od wartości średniej wieloletniej.

W celu zbadania zależności między wskaźnikiem Palmera oraz wielkością przepływu rzek w miesiącach letnich (maj–październik) dokonano standaryzacji średnich miesięcznych przepływów trzydziestu rzek położonych w różnych regionach fizycznogeograficznych Polski (Tab. 1). Za przepływ standaryzowany przyjęto zmienną  $QST_{ij} = \log(SQ_{ij} / \overline{SQ}_j)$ , gdzie:  $QST_{ij}$  – średni miesięczny przepływ standaryzowany w  $j$ -tym miesiącu  $i$ -tego roku,  $\overline{SQ}_{ij}$  – średni miesięczny przepływ w  $j$ -tym miesiącu  $i$ -tego roku,  $\overline{SQ}_j$  – średnia wieloletnia wartość przepływu w  $j$ -tym miesiącu. Standaryzacja ta została przeprowadzona zgodnie

z procedurą zaproponowaną przez Jurak i in. (1998). Analizowano zależność między wartościami wskaźnika Palmera  $scPDSI$  obliczonymi jako średnie ważone w wybranych zlewniach oraz  $QST_{ij}$  w wieloleciu 1951–2002. Istotność współczynników korelacji na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  sprawdzono w programie *STATISTICA* w wersji 8, stosując moduł *Statystyki podstawowe-Korelacje*. W przypadku, gdy przyjęty poziom istotności  $\alpha$  był większy niż poziom krytyczny  $p$ , przyjęto hipotezę o istotnym związku analizowanych zmiennych.

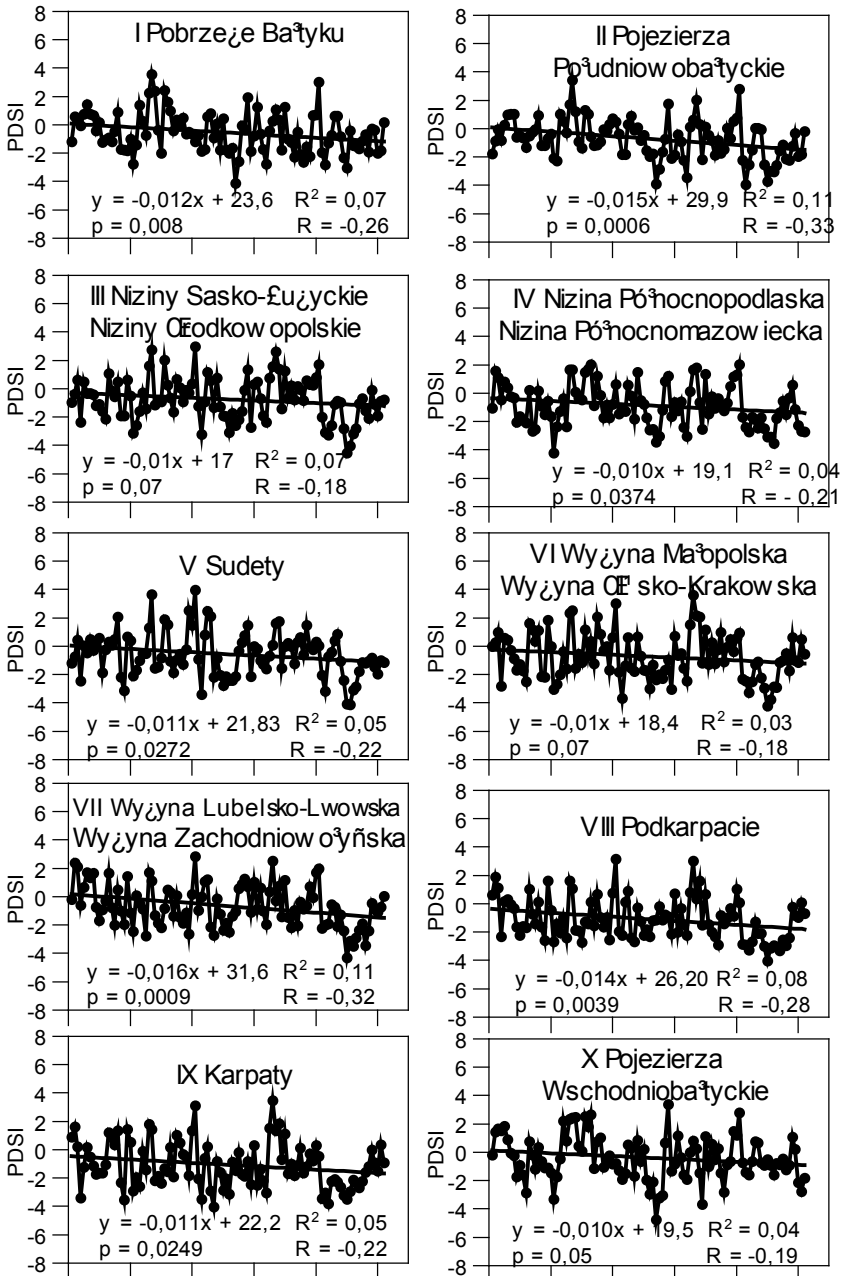
**Tab. 2.** Klasyfikacja okresów suchych wg Palmera (van der Schrier et al. 2006)

**Table 2.** Classification of dry periods according to Palmer (van der Schrier et al. 2006)

Wartość wskaźnika surowości suszy Palmera Value of the Palmer Drought Severity Index	Typ okresu Type of the period
-0,5 do 0,5	Zbliżony do normalnego (Near normal)
-0,5 do -1,0	Początek krótkiego okresu suchego (Incipient dry spell)
-1,0 do -2,0	Lekko suchy (Slightly dry)
-2,0 do -3,0	Umiarkowanie suchy (Moderately dry)
-3,0 do -4,0	Wyjątkowo suchy (Severely dry)
$\leq -4,0$	Skrajnie suchy (Extreme dry)

## WYNIKI BADAŃ

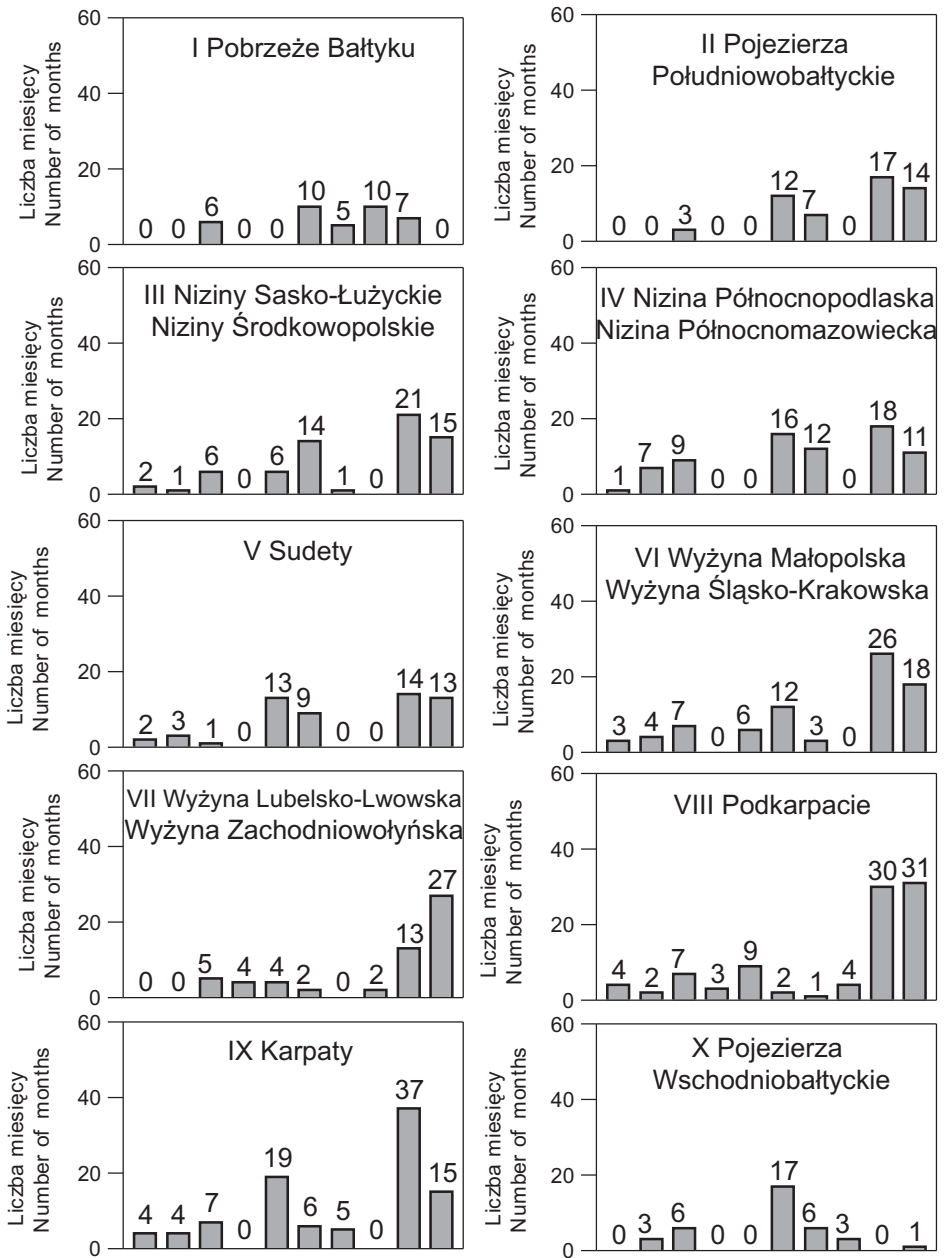
W seriach minimalnych rocznych wartości wskaźnika Palmera zaznaczyła się tendencja spadkowa (Rys. 2), istotna statystycznie na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  lub  $\alpha=0,10$ . Wskazuje to na występowanie miesięcy coraz bardziej suchych we wszystkich dziesięciu analizowanych regionach fizycznogeograficznych. Jednakże współczynniki korelacji przyjmują stosunkowo niskie wartości, w granicach  $-0,33 < R < -0,18$ , co oznacza, że analizowany spadkowy trend wartości wskaźnika Palmera w długim okresie (1901–2002) nie jest wyraźny, a jego charakter może być tylko pozorny. Z tego względu ocenie poddano tendencje krótkookresowe. W dwóch ostatnich dekadach XX-tego wieku zaobserwowano znacznie więcej miesięcy suchych ( $scPDSI$  poniżej  $-2$ ), w porównaniu do poprzednich dekad (Rys. 3). Wyjątek stanowią Północne Bałtyku oraz Pojezierza Wschodniobałtyckie. Wzrost suchości w tym okresie potwierdza spadkowy charakter funkcji kumulowanych odchyleń, co wskazuje na wystąpienie wyraźnej sekwencji lat suchszych od przeciętnych (Rys. 4).



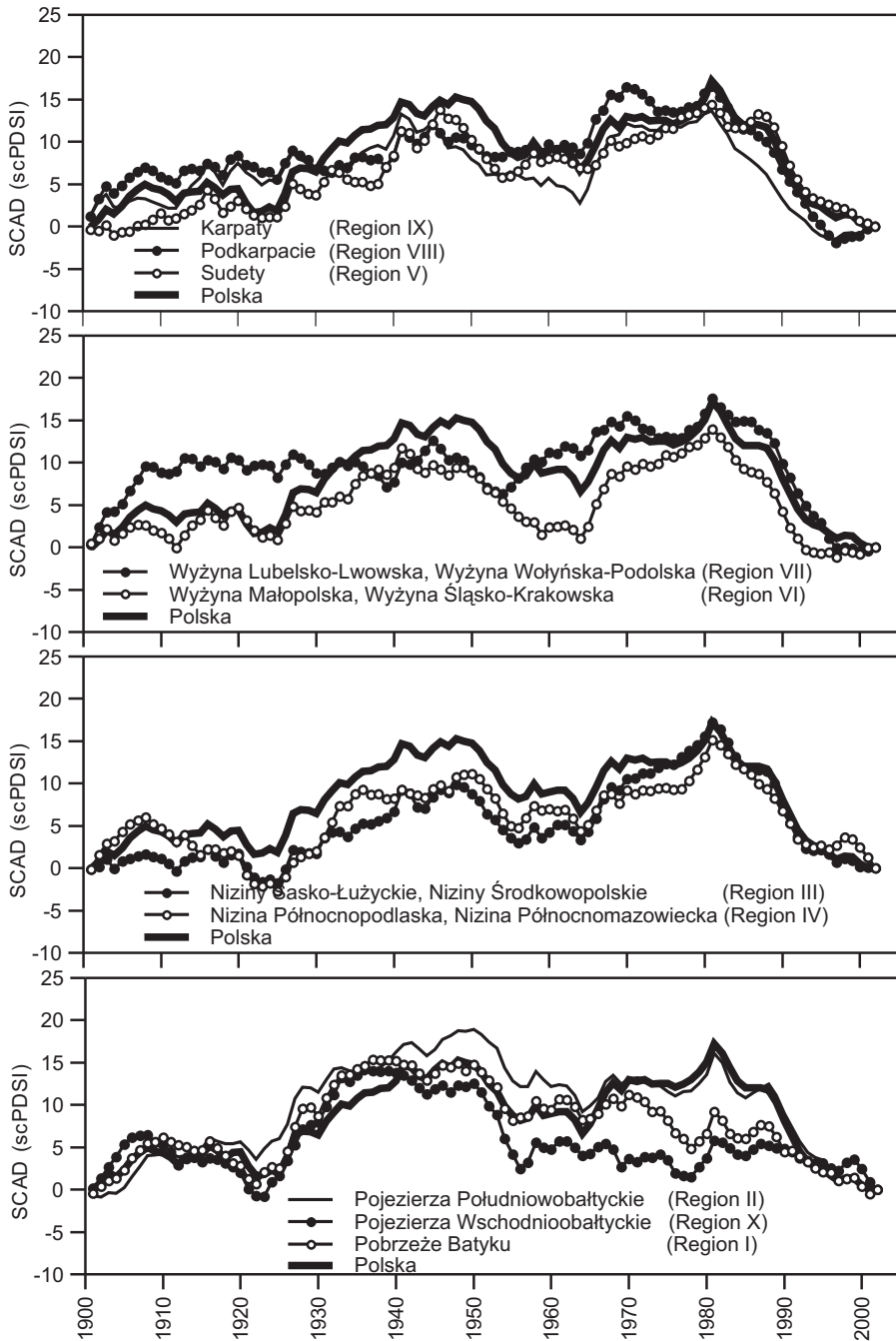
**Rys. 2.** Zmienność minimalnej rocznej wartości wskaźnika surowości suszy Palmera *scPDSI* w różnych regionach Polski, w miesiącach maj – październik, w latach 1901–2002

**Fig. 2.** Variability of the minimum annual value of the Palmer Drought Severity Index *scPDSI* in different regions of Poland, in months May–October, in years 1901–2002



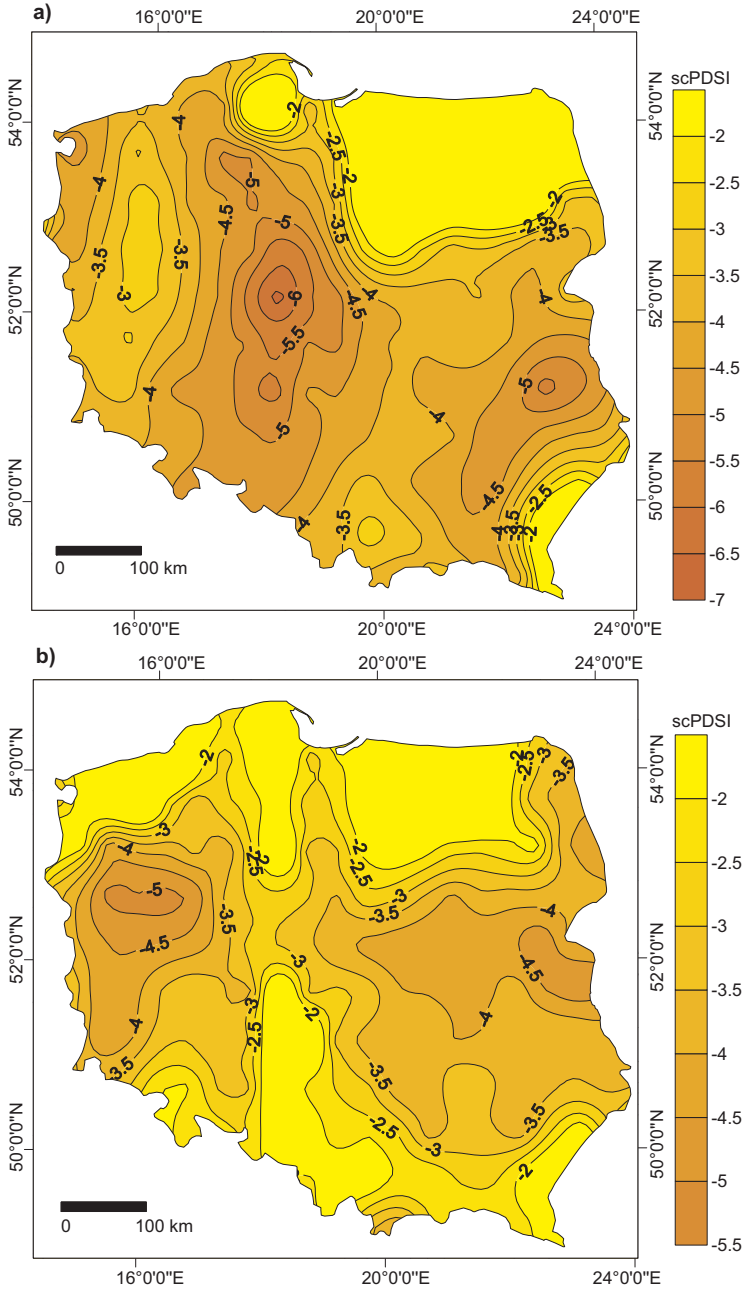


**Rys. 3.** Częstość wskaźnika surowości suszy Palmera o wartościach poniżej  $-2$ , w dekadach wielolecia 1901–2000, w miesiącach maj – październik, w różnych regionach Polski  
**Fig. 3.** Frequency of the Palmer Drought Severity Index with the value below  $-2$ , in decades of the period 1901–2000, in months May–October, in different regions of Poland



**Rys. 4.** Standaryzowana krzywa sumowa minimalnych rocznych wartości wskaźnika surowości suszy Palmera w różnych regionach Polski w latach 1901–2002

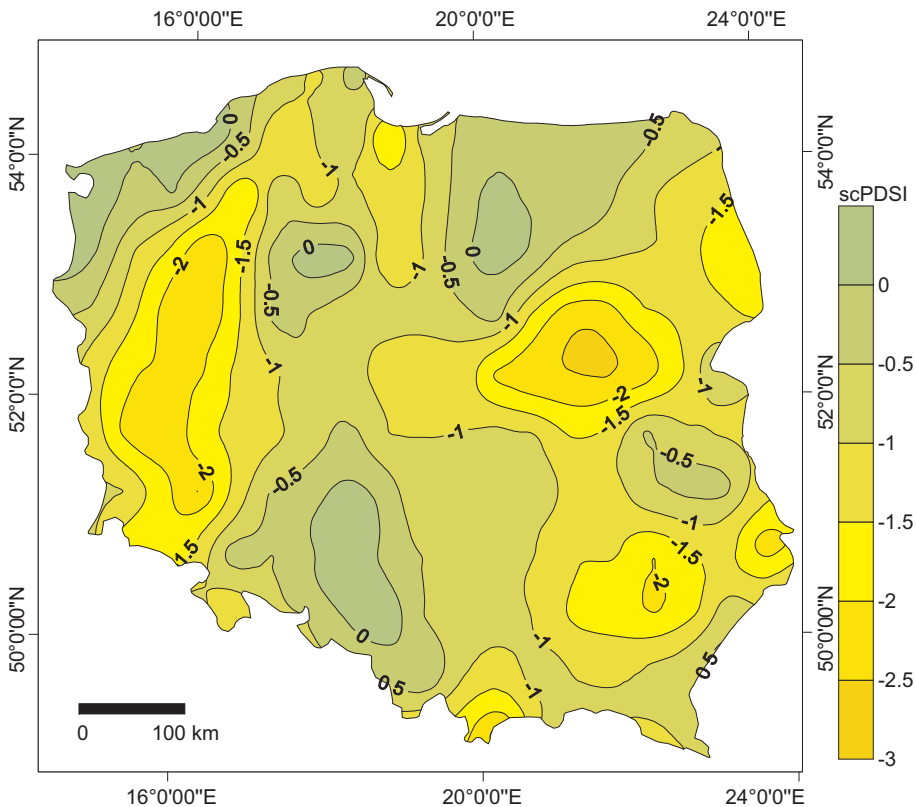
**Fig. 4.** Standardized cumulative annual deviation (SCAD) of the Palmer Drought Severity Index in different regions of Poland in years 1901–2002



**Rys. 5.** Obszary zagrożone suszą glebową w miesiącach letnich, na podstawie wskaźnika surowości suszy Palmera: a) w sierpniu 1990 roku, b) w sierpniu 1992 roku  
**Fig. 5.** Areas threatened with drought in summer months on the basis of the Palmer Drought Severity Index: a) August 1990, b) August 1992

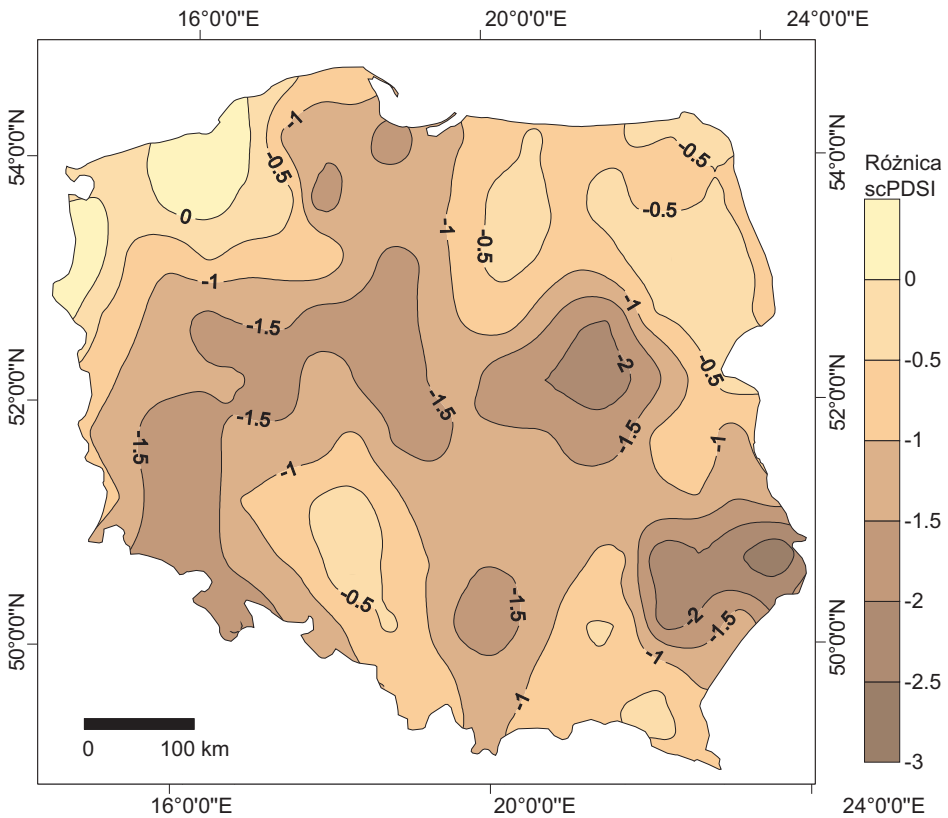
Przykładowo przedstawiono zasięgi wybranych susz letnich obejmujących znaczną powierzchnię Polski, które wystąpiły w sierpniu latach 1990 i 1992 (Rys. 5a, b). Szczególnie niskie wartości wskaźnika Palmera, poniżej  $-6$ , zaobserwowano w Polsce środkowej w roku 1990. Natomiast w wieloleciu 1991–2000 średnie miesięczne były znacznie niższe od wartości w okresie referencyjnym 1961–1990 (Rys. 6, 7). Świadczy to o spadku przeciętnego obszarowego uwilgotnienia na obszarze Polski, z wyraźną tendencją do przesuszania w miesiącach letnich.

Zależność między wskaźnikiem surowości suszy Palmera a średnim miesięcznym standaryzowanym przepływem analizowanych rzek przedstawiono na rysunku 8. Zależność tę przybliżono modelem regresji w postaci równania linii prostej. We wszystkich badanych zlewniach współczynnik determinacji  $R^2$  osiągnął wartość poniżej 0,5, co oznacza, że tylko mniejszość wariacji między



**Rys. 6.** Zmienność przestrzenna średniej wieloletniej wartości wskaźnika surowości susz Palmera w sierpniu w Polsce w latach 1991–2000

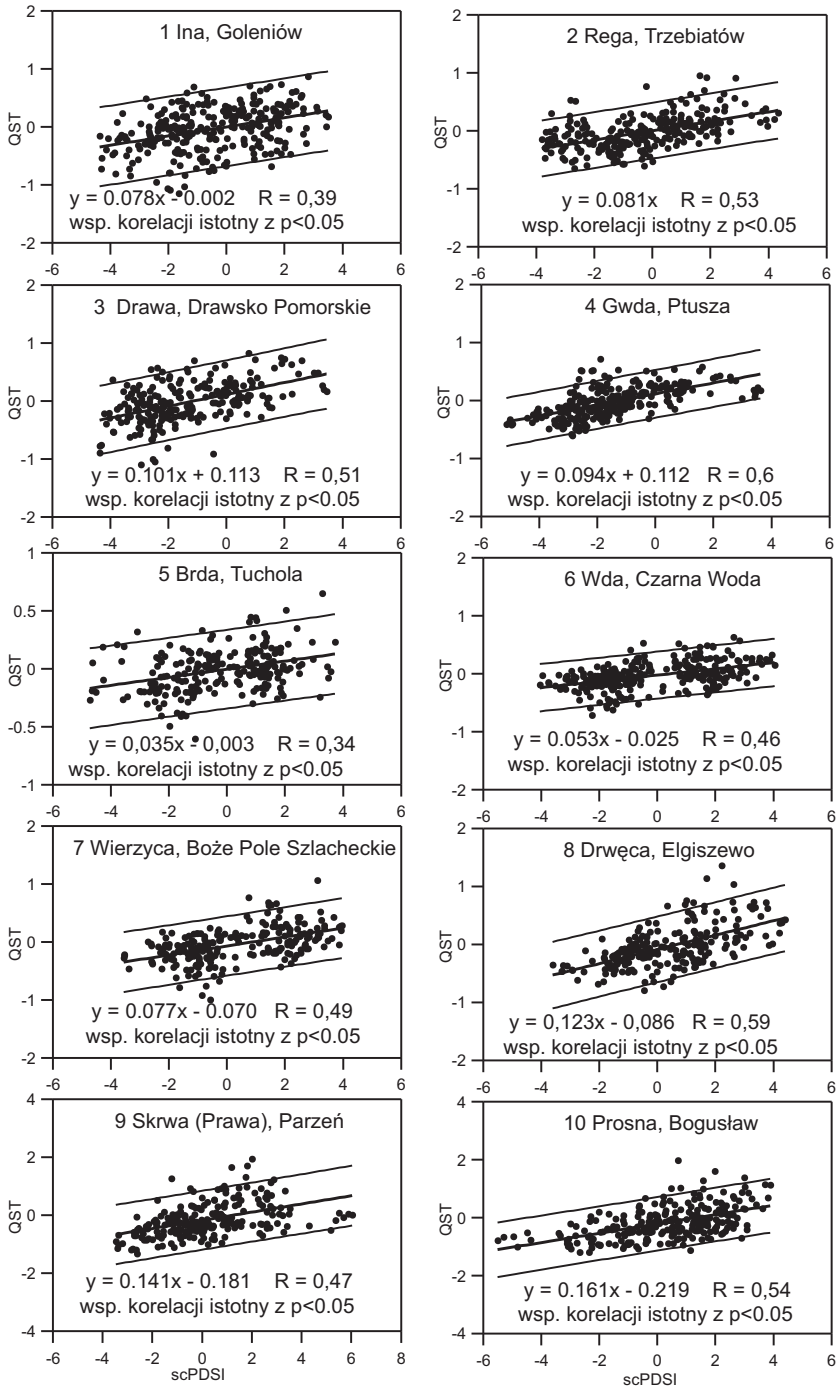
**Fig. 6.** Spatial variability of the long term mean monthly value of the Palmer Drought Severity Index in August in Poland in years 1991–2000



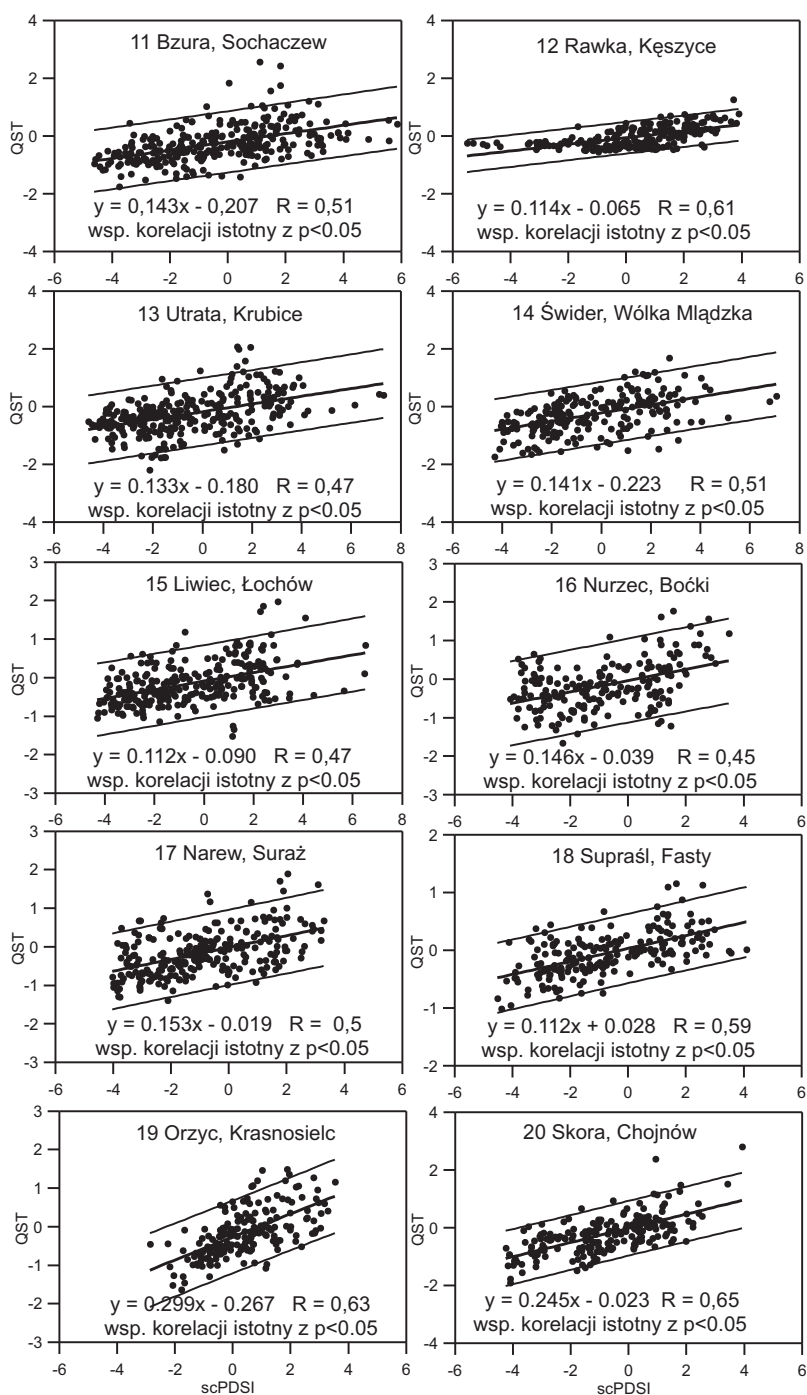
**Rys. 7.** Anomalie średniej wieloletniej wartości wskaźnika Palmera w sierpniu w latach 1991–2000 w stosunku do wartości średniej dla okresu referencyjnego 1961–1990

**Fig. 7.** Anomalies of the mean monthly value of the Palmer Drought Severity Index in August in years 1991–2000 with respect to the average value in reference period 1961–1990

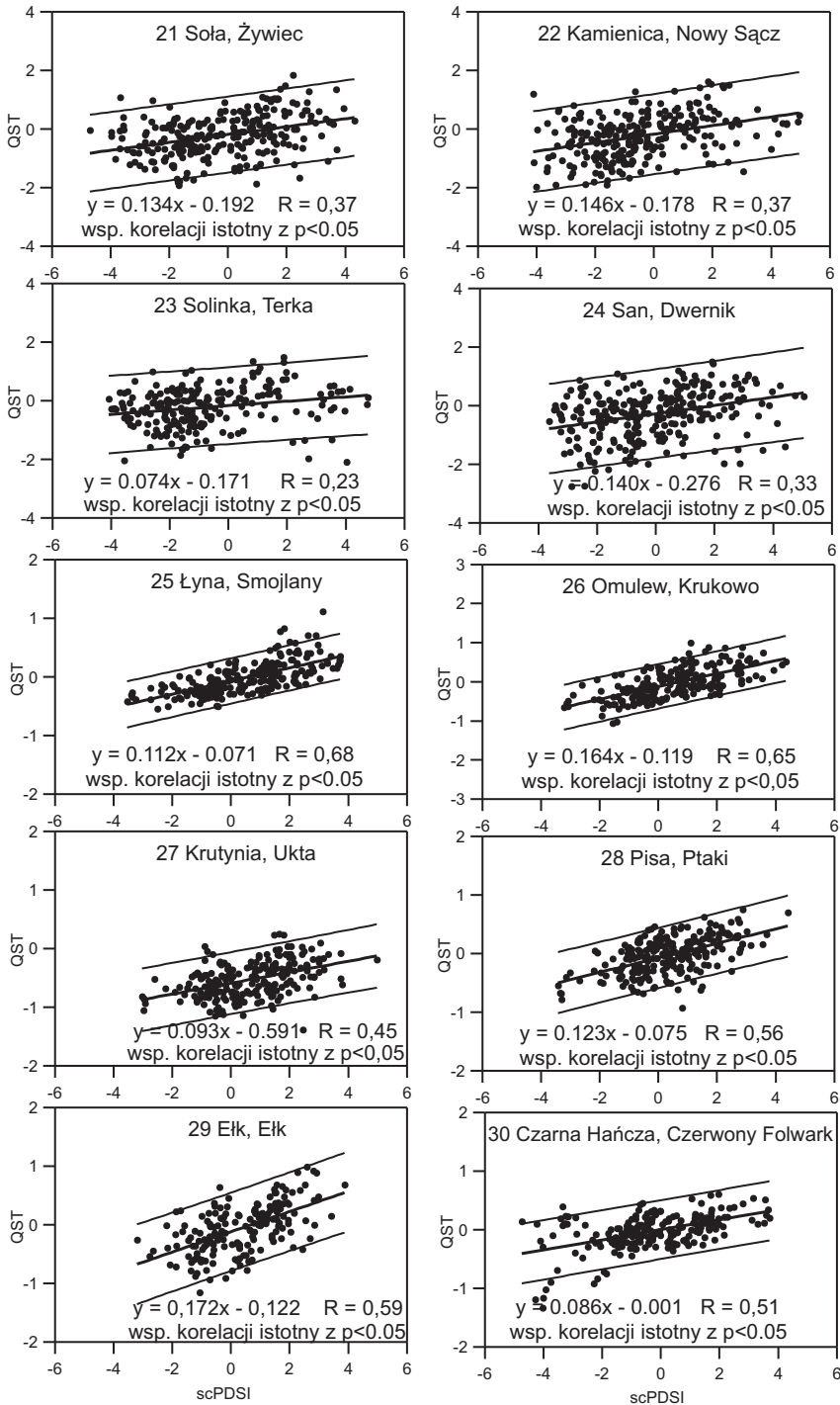
analizowanymi zmiennymi jest wyjaśniona przez regresję. Może to świadczyć o braku pełnej synchroniczności występowania susz atmosferycznych, glebowych i hydrologicznych. Korelacja jest jednak istotna statystycznie, również w przypadku zlewni jeziornych, gdzie reakcja odpływu ze zlewni na suszę atmosferyczną jest „tłumiona” przez znaczną retencyjność tych zlewni, co wynika z dużej pojemności zbiorników wód podziemnych i dużej retencji powierzchniowej (Zwoliński, 2008). Niemniej również w badanych zlewniach jeziornych wykazano istotność związku.



**Rys. 8.** Zależność standaryzowanych wartości przepływów *QST* od wskaźnika surowości suszy Palmera *scPDSI* w wybranych zlewniach w wieloleciu 1951–2002



**Fig. 8.** Relationship between standardized values of the discharge (QS) and the Palmer Drought Severity Index (*scPDSI*) in the selected catchments in years 1951–2002



cd. Rys. 8.  
 Fig. 8.



## WNIOSKI

Uzyskane wyniki badań są podstawą sformułowania następujących wniosków:

1. Wskaźnik surowości suszy Palmera może być przydatny do oceny obszarowych susz hydrologicznych występujących w miesiącach letnich.
2. Zależność między wskaźnikiem Palmera a przepływem rzek jest istotna, również w zlewniach o dużej retencji powierzchniowej i podziemnej.
3. W ostatnich dwóch dekadach XX wieku stwierdzono występowanie zwiększonej liczby miesięcy suchych we wszystkich analizowanych regionach geograficznych Polski, z wyłączeniem Pobrzeża Bałtyku oraz Pojezierzy Wschodniobałtyckich.
4. Na wzrost zagrożenia suszą wskazuje spadek średnich wieloletnich wartości wskaźnika Palmera, który wystąpił szczególnie wyraźnie w ostatniej dekadzie XX-tego wieku. Na dużej powierzchni kraju wartości wskaźnika Palmera były niższe w wieloleciu 1991–2000 niż w okresie referencyjnym 1961–1990. Świadczy to o pogłębianiu się susz hydrologicznych.
5. Istotnym elementem w ocenie susz hydrologicznych mogą być symulacje niskich przepływów rzek w rzeczywistych i prognozowanych warunkach zmian klimatu, realizowane poprzez modelowanie hydrologiczne.

## Literatura

- Byczkowski A., Banasik K., Hejduk L., Mandes B., 2001, Wieloletnie tendencje zmian procesów opadu i odpływu w małych zlewniach nizinnych (na przykładzie zlewni Zagożdżonki). [W:] Jaworski J., Szkutnicki J., 2001, *Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych*. IMGW, Warszawa, 43–52.
- Chełmicki W., 1989, Wybrane metody oceny wahań zwierciadła wód podziemnych. *Przegląd Geograficzny*, 61, 1–2, 63–76.
- Dynowska I., 1994, Reżim odpływu rzecznoego, plansza 32.3: Odpływ rzeczny. [w:] *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*. Główny geodeta Kraju, PPWK, Warszawa.
- Jokiel P., 2004, *Zasoby wodne środkowej Polski na progu XXI wieku*. Wyd. UŁ, Łódź.
- Jurak D., Głowacka B., Kaczmarek Z., 1998, Meteorologiczny wskaźnik suszy hydrologicznej. *Wiad. IMGW*, T.21(42), Z. 4, s. 23–38.
- Klementová E., Litschmann T., 2004, Assessment of drought using Palmer Drought Severity Index. *Acta Scientiarum Polonorum – Formatio Circumiectus*, No. 3 (1), s. 133–140.
- Kondracki J., 2002, *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Krysanova, V., T. Vetter and F.F. Hattermann 2008. Detection of change in the drought frequency in the Elbe basin: comparison of three methods, *Hydrological Sciences Journal*, 53(3), 519–537.
- Kundzewicz Z.W., 2008, Hydrological extremes in the changing world, *Folia Geographica, Series Geographica Physica*, Vol.39, 37–52.

- MPHP: *Komputerowa Mapa Podziału Hydrograficznego Polski*, 2004. IMGW, Warszawa.
- Mitchell T.D., Jones P.D., 2005, An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids, *International Journal of Climatology*, Vol. 25(6), s. 693–712.
- Palmer W.C., 1965, *Meteorologic Drought*. U.S. Weather Bureau Res., Research Paper No. 45, Washington, D.C., 58 pp.
- Somorowska U., 2001, Wieloletni rytm zmian opadów, stanów wód podziemnych i przepływów w małej zlewni nizinnej, *Przegląd Geofizyczny*, t. 46, z. 3, 197–207.
- Somorowska U., 2007, Zmienność wskaźnika surowości susz Palmera i jego wpływ na odpływ ze zlewni nizinnej, *Prace i Studia Geograficzne*, 38, 73–83.
- Starkel L., Kundzewicz Z., 2008, Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju, *Nauka*, 1, 85–101.
- van der Schrier G., Briffa K.R., Jones P.D., Osborn T.J., 2006, Summer moisture variability across Europe, *Journal of Climate*, Vol. 19, s. 2818–2834.
- Wells N., Goddard S., Hayes M.J., 2004, A self-calibrating Palmer Drought Severity Index, *Journal of Climate*, Vol. 17, s. 2335–2351.
- Zwoliński Z., 2008, Wybrane zjawiska ekstremalne pojezierzy polskich, *Landform Analysis*, 8, 98–106.