

WSKAŹNIK STANDARYZOWANEGO OPADU (SPI) WYZNACZONY Z ZASTOSOWANIEM ROZKŁADU LOG-NORMALNEGO

Edward Gąsiorek¹, Elżbieta Musiał¹, Marian Rojek²

¹ Katedra Matematyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, e-mail: elzbieta.musial@up.wroc.pl

² Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

STRESZCZENIE

Praca jest kontynuacją badań przeprowadzonych na podstawie danych z Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii UP Wrocław-Swojec z okresu 1964–2009 i opublikowanych w czasopiśmie „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” nr 3/III/2012, str. 197–208. Tematyką opublikowanej pracy są dwie metody wyznaczania wskaźnika standaryzowanego opadu. Pierwsza z nich polega na wyznaczeniu SPI bezpośrednio z dopasowanego rozkładu gamma, któremu podlegają miesięczne sumy opadów w wieloletniu 1964–2009 we Wrocławiu, druga na zastosowaniu transformacji prowadzących do rozkładu normalnego. W prezentowanej pracy autorzy wyznaczają wskaźnik standaryzowanego opadu (SPI) stosując rozkład logarytmiczno-normalny i dokonują oceny tak wyznaczonego wskaźnika na tle wskaźników wyznaczonych za pomocą rozkładu gamma i rozkładu normalnego. Celem pracy była analiza porównawcza otrzymanych wartości współczynników SPI otrzymanych trzema różnymi metodami.

Słowa kluczowe: wskaźnik standaryzowanego opadu, rozkład gamma, rozkład normalny, rozkład log-normalny.

STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI) CALCULATED WITH THE USE OF LOG-NORMAL DISTRIBUTION

SUMMARY

The problem analyzed in this paper is the continuation of research conducted on data from Wrocław-Swojec agro- and hydrometeorology observatory in 1964–2009 period and published in “Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” nr 3/III/2012, pp. 197–208. The paper concerns two methods of calculation of standardized precipitation index (SPI). The first one extracts SPI directly from gamma distribution, since monthly precipitation sums in the 1964–2009 period in Wrocław are gamma distributed. The second method is based on the transformations of data leading to normal distribution. The authors calculate SPI with the use of log-normal distribution and confront it with values obtained by gamma and normal distributions. The aim of this paper is to comparatively assess the SPI values obtained with those three different methods.

Keywords: standardized precipitation index, gamma distribution, normal distribution, log-normal distribution.

WSTĘP

W literaturze spotyka się wiele metod wyznaczania wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI) [McKee i in. 1993, 1995]. Jedną z nich polega na wyznaczeniu SPI bezpośrednio z dopasowanego rozkładu gamma, któremu podlegają miesięczne sumy opadów [Kaczmarek 1970]. Znając rozkład prawdopodobieństwa wyznaczamy wartość dystrybuanty tego rozkładu dla określonej wartości opadu $F(x_0)$, gdzie x_0 oznacza określony opad. Stąd współczynnik SPI obliczamy jako kwantyl rozkładu normalnego standardowego rzędu $F(x_0)$ [Abramowitz i in. 1965].

Drugą metodą wyznaczania współczynnika SPI polega na zastosowaniu transformacji prowadzących do rozkładu normalnego. W praktyce często wykorzystywany jest następujący fakt: dla zmiennej losowej X o rozkładzie gamma zmienna $Z = \sqrt[3]{X}$ ma w przybliżeniu rozkład normalny [Krishnamoorthy K. i in. 2008]. Wykorzystując to założenie można zaproponować przybliżony sposób obliczania wskaźnika SPI poprzez standaryzację zmiennej losowej $Z = \sqrt[3]{X}$. Do obliczenia wskaźnika standaryzowanego opadu stosowane są również inne transformacje: $x \rightarrow \sqrt[3]{c+x}$; $x \rightarrow \ln x$.

Trzecia metoda wyznaczania wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI) polega na zastosowaniu rozkładu logarytmiczno-normalnego.

Celem pracy była analiza porównawcza wartości współczynników SPI otrzymanych trzema różnymi metodami.

METODY BADAŃ

Pierwszy etap badań obejmował weryfikację hipotezy o zgodności rozkładów empirycznych miesięcznych sum opadów z rozkładem logarytmiczno-normalnym za pomocą testu χ^2 . Badania przeprowadzono dla każdego miesiąca roku w wieloletnim okresie 1964–2009 we Wrocławiu-Swojcu.

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa rozkładu logarytmiczno-normalnego jest postaci:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi x}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

gdzie: m i s – parametry rozkładu logarytmiczno-normalnego dla $x > 0$.

Dystrybuanta rozkładu logarytmiczno-normalnego jest postaci:

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right) \quad (2)$$

gdzie: F – dystrybuanta rozkładu normalnego standardowego.

Estymatory parametrów m i s wyznacza się bezpośrednio korzystając z metody największej wiarygodności:

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n} \quad (3)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \mu)^2}{n} \quad (4)$$

gdzie: n – liczba obserwacji w ciągu opadowym.

Ponieważ rozkład logarytmiczno-normalny nie jest określony w zerze, stąd ostatecznie dystrybuantę $H(x)$ rozkładu miesięcznych sum opadów wyznaczamy ze wzoru:

$$H(x) = (1 - q) \cdot F(x) \quad (5)$$

gdzie: q – prawdopodobieństwo wystąpienia miesiący bezopadowych. Estymatorem parametru q jest częstość występowania miesiący bezopadowych w wieloleciu.

Po wyznaczeniu rozkładu logarytmiczno-normalnego dobrze opisującego losowość miesięcznych sum opadów z wielolecia, możemy za pomocą dystrybuanty tego rozkładu obliczyć prawdopodobieństwo p_0 nie przekroczenia określonego opadu. Aby wyznaczyć SPI odpowiadające temu opadowi wystarczy obliczyć kwantyl rzędu p_0 rozkładu normalnego standardowego. W tym celu można zastosować metodę aproksymacji kwantyli rozkładu normalnego standardowego [Abramowitz i in. 1965, str. 933] lub wprost zastosować funkcję ROZKŁAD.NORMALNY.S.ODW programu Excell.

Dokładny opis dwóch pierwszych metod wyznaczania SPI o których jest mowa w pracy znajduje się w pracy [Gąsiorek i in. 2012].

Oceny warunków opadowych dokonywano za pomocą klasyfikacji opisanej w tabeli 1.

Tabela 1. Klasyfikacja warunków opadowych według wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI) i odpowiadające im prawdopodobieństwa [Mckee, Doeskena i Kleista 1993, 1995; Łabędzki 2006]

| SPI | Okres | Prawdopodobieństwa |
|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| $SPI \leq -2,0$ | ekstremalnie suchy | $P(SPI \leq -2) = 0,02$ |
| $-2,00 < SPI \leq -1,50$ | bardzo suchy | $P(-2 < SPI \leq -1,5) = 0,04$ |
| $-1,50 < SPI \leq -0,50$ | suchy | $P(-1,5 < SPI \leq -0,5) = 0,25$ |
| $-0,5 < SPI < 0,5$ | normalny | $P(-0,5 < SPI < 0,5) = 0,38$ |
| $0,5 \leq SPI < 1,5$ | wilgotny | $P(0,5 \leq SPI < 1,5) = 0,25$ |
| $1,5 \leq SPI < 2$ | bardzo wilgotny | $P(1,5 \leq SPI < 2) = 0,04$ |
| $SPI \geq 2$ | ekstremalnie wilgotny | $P(SPI \geq 2) = 0,02$ |

WYNIKI BADAŃ

Pierwszy etap badań to weryfikacja hipotezy o zgodności empirycznych rozkładów miesięcznych sum opadów w wieloleciu 1964–2009 z rozkładem logarytmiczno-normalnym za pomocą testu χ^2 . Dane dotyczące weryfikacji hipotezy znajdują się w tabeli 2.

Tabela 2. Zgodność empirycznych rozkładów miesięcznych sum opadów w wieloleciu 1945–2003 z rozkładem log-normalnym za pomocą testu χ^2 .

| Miesiąc | p-value | Parametry | |
|-------------|---------|-----------|----------|
| | | μ | σ |
| Styczeń | 0,246 | 3,23 | 0,57 |
| Luty | 0,006 | 3,03 | 0,75 |
| Marzec | 0,324 | 3,31 | 0,62 |
| Kwiecień | 0,197 | 3,47 | 0,65 |
| Maj | 0,236 | 3,84 | 0,72 |
| Czerwiec | 0,322 | 4,17 | 0,45 |
| Lipiec | 0,081 | 4,24 | 0,70 |
| Sierpień | 0,051 | 4,09 | 0,67 |
| Wrzesień | 0,660 | 3,56 | 0,71 |
| Październik | 0,004 | 3,43 | 0,79 |
| Listopad | 0,599 | 3,67 | 0,40 |
| Grudzień | 0,433 | 3,38 | 0,66 |

Gdzie: *p-value* jest najniższym poziomem istotności α , przy którym hipoteza zerowa mogłaby być odrzucona przy otrzymanej wartości statystyki testowej χ^2 .

Po wyznaczeniu wskaźników SPI bezpośrednio z rozkładu gamma (SPI_G), z rozkładu normalnego z zastosowaniem transformacji (SPI_N) oraz zastosowaniem rozkładu logarytmiczno-normalnego (SPI_LogN) zidentyfikowano warunki opadowe we wszystkich miesiącach roku w wieloleciu 1964–2009. Wyniki klasyfikacji warunków opadowych pod względem ich nadmiarów lub niedoborów dla lipca w wieloleciu 1964–2009 za pomocą trzech metod przedstawiono w tabelach 3 i 4.

Analizując wyniki tabeli 3 można stwierdzić, że ocena zgodności współczynników: SPI_G i SPI_LogN w lipcu w wieloleciu 1964–2009 wynosi 91% (tab. 5). W latach 1969 i 1990, otrzymujemy różne zakwalifikowania, ale dotyczy to sąsiadujących klas (lipiec ekstremalnie suchy (SPI_logN) i bardzo suchy wg SPI_G). W roku 1997 w lipcu była powódź we Wrocławiu. Spadło wtedy 250 mm deszczu. Według SPI_LogN było bardzo mokro, a według SPI_G było ekstremalnie mokro. Rozkład gamma, który wykorzystano do wyznaczenia SPI okazał się lepszym rozkładem prawdopodobieństwa. Podobna sytuacja była w lipcu w roku 2001, w którym to roku spadło 180 mm deszczu. Tu także rozkład gamma wykorzystany do wyznaczenia SPI okazał się lep-

Tabela 3. Klasyfikacja warunków opadowych w lipcu w wieloletniu 1964–2009 we Wrocławiu-Swojcu za pomocą SPI_LogN oraz SPI_G

| Rok | SPI_LogN | Klasyfikacja | SPI_G | Klasyfikacja | SPI_G - SPI_LogN |
|------|----------|--------------------|-------|--------------------|------------------|
| 1964 | -0,76 | umiarkowanie suchy | -0,83 | umiarkowanie suchy | -0,08 |
| 1965 | 1,14 | umiarkowanie mokry | 1,26 | umiarkowanie mokry | 0,11 |
| 1966 | 0,80 | umiarkowanie mokry | 0,81 | umiarkowanie mokry | 0,01 |
| 1967 | -0,14 | normalny | -0,25 | normalny | -0,11 |
| 1968 | 0,25 | normalny | 0,15 | normalny | -0,09 |
| 1969 | -2,02 | ekstremalnie suchy | -1,83 | bardzo suchy | 0,19 |
| 1970 | 0,10 | normalny | 0,00 | normalny | -0,10 |
| 1971 | -0,76 | umiarkowanie suchy | -0,83 | umiarkowanie suchy | -0,08 |
| 1972 | 0,39 | normalny | 0,32 | normalny | -0,07 |
| 1973 | 0,38 | normalny | 0,30 | normalny | -0,08 |
| 1974 | 0,25 | normalny | 0,15 | normalny | -0,09 |
| 1975 | 0,57 | umiarkowanie mokry | 0,53 | umiarkowanie mokry | -0,04 |
| 1976 | 0,66 | umiarkowanie mokry | 0,64 | umiarkowanie mokry | -0,03 |
| 1977 | 0,24 | normalny | 0,15 | normalny | -0,09 |
| 1978 | 0,32 | normalny | 0,24 | normalny | -0,08 |
| 1979 | -0,19 | normalny | -0,30 | normalny | -0,11 |
| 1980 | 1,60 | bardzo mokry | 1,93 | bardzo mokry | 0,33 |
| 1981 | 1,04 | umiarkowanie mokry | 1,12 | umiarkowanie mokry | 0,08 |
| 1982 | -0,17 | normalny | -0,28 | normalny | -0,11 |
| 1983 | -0,97 | umiarkowanie suchy | -1,02 | umiarkowanie suchy | -0,05 |
| 1984 | -0,11 | normalny | -0,22 | normalny | -0,11 |
| 1985 | -1,00 | umiarkowanie suchy | -1,04 | umiarkowanie suchy | -0,05 |
| 1986 | 0,82 | umiarkowanie mokry | 0,83 | umiarkowanie mokry | 0,01 |
| 1987 | -0,10 | normalny | -0,21 | normalny | -0,11 |
| 1988 | 0,21 | normalny | 0,12 | normalny | -0,09 |
| 1989 | -0,67 | umiarkowanie suchy | -0,76 | umiarkowanie suchy | -0,09 |
| 1990 | -2,02 | ekstremalnie suchy | -1,83 | bardzo suchy | 0,19 |
| 1991 | -0,94 | umiarkowanie suchy | -0,99 | umiarkowanie suchy | -0,05 |
| 1992 | -1,22 | umiarkowanie suchy | -1,23 | umiarkowanie suchy | -0,01 |
| 1993 | 0,74 | umiarkowanie mokry | 0,73 | umiarkowanie mokry | -0,01 |
| 1994 | -2,48 | ekstremalnie suchy | -2,14 | ekstremalnie suchy | 0,34 |
| 1995 | -0,06 | normalny | -0,17 | normalny | -0,11 |
| 1996 | 0,58 | umiarkowanie mokry | 0,54 | umiarkowanie mokry | -0,04 |
| 1997 | 1,82 | bardzo mokry | 2,27 | ekstremalnie mokry | 0,45 |
| 1998 | 0,50 | normalny | 0,44 | normalny | -0,06 |
| 1999 | 1,07 | umiarkowanie mokry | 1,16 | umiarkowanie mokry | 0,09 |
| 2000 | 0,74 | umiarkowanie mokry | 0,73 | umiarkowanie mokry | -0,01 |
| 2001 | 1,35 | umiarkowanie mokry | 1,55 | bardzo mokry | 0,20 |
| 2002 | -1,36 | umiarkowanie suchy | -1,34 | umiarkowanie suchy | 0,02 |
| 2003 | -0,27 | normalny | -0,38 | normalny | -0,11 |
| 2004 | -0,07 | normalny | -0,18 | normalny | -0,11 |
| 2005 | 0,59 | umiarkowanie mokry | 0,55 | umiarkowanie mokry | -0,04 |
| 2006 | -2,50 | ekstremalnie suchy | -2,15 | ekstremalnie suchy | 0,35 |
| 2007 | 0,78 | umiarkowanie mokry | 0,79 | umiarkowanie mokry | 0,00 |
| 2008 | -0,08 | normalny | -0,19 | normalny | -0,11 |
| 2009 | 0,94 | umiarkowanie mokry | 0,98 | umiarkowanie mokry | 0,04 |

Tabela 4. Klasyfikacja warunków opadowych w lipcu w wieloletniu 1964–2009 we Wrocławiu-Swojcu za pomocą SPI_LogN oraz SPI_N

| Rok | SPI_LogN | Klasyfikacja | SPI_N | Klasyfikacja | SPI_G - SPI_LogN |
|------|----------|--------------------|-------|--------------------|------------------|
| 1964 | -0,76 | umiarkowanie suchy | -0,87 | umiarkowanie suchy | -0,11 |
| 1965 | 1,14 | umiarkowanie mokry | 1,28 | umiarkowanie mokry | 0,14 |
| 1966 | 0,80 | umiarkowanie mokry | 0,81 | umiarkowanie mokry | 0,00 |
| 1967 | -0,14 | normalny | -0,29 | normalny | -0,16 |
| 1968 | 0,25 | normalny | 0,12 | normalny | -0,13 |
| 1969 | -2,02 | ekstremalnie suchy | -1,72 | bardzo suchy | 0,29 |
| 1970 | 0,10 | normalny | -0,04 | normalny | -0,14 |
| 1971 | -0,76 | umiarkowanie suchy | -0,87 | umiarkowanie suchy | -0,11 |
| 1972 | 0,39 | normalny | 0,29 | normalny | -0,10 |
| 1973 | 0,38 | normalny | 0,28 | normalny | -0,10 |
| 1974 | 0,25 | normalny | 0,12 | normalny | -0,13 |
| 1975 | 0,57 | umiarkowanie mokry | 0,51 | umiarkowanie mokry | -0,06 |
| 1976 | 0,66 | umiarkowanie mokry | 0,62 | umiarkowanie mokry | -0,04 |
| 1977 | 0,24 | normalny | 0,12 | normalny | -0,13 |
| 1978 | 0,32 | normalny | 0,21 | normalny | -0,11 |
| 1979 | -0,19 | normalny | -0,35 | normalny | -0,16 |
| 1980 | 1,60 | bardzo mokry | 1,99 | bardzo mokry | 0,39 |
| 1981 | 1,04 | umiarkowanie mokry | 1,14 | umiarkowanie mokry | 0,09 |
| 1982 | -0,17 | normalny | -0,33 | normalny | -0,16 |
| 1983 | -0,97 | umiarkowanie suchy | -1,04 | umiarkowanie suchy | -0,07 |
| 1984 | -0,11 | normalny | -0,27 | normalny | -0,15 |
| 1985 | -1,00 | umiarkowanie suchy | -1,06 | umiarkowanie suchy | -0,07 |
| 1986 | 0,82 | umiarkowanie mokry | 0,83 | umiarkowanie mokry | 0,01 |
| 1987 | -0,10 | normalny | -0,26 | normalny | -0,15 |
| 1988 | 0,21 | normalny | 0,08 | normalny | -0,13 |
| 1989 | -0,67 | umiarkowanie suchy | -0,80 | umiarkowanie suchy | -0,12 |
| 1990 | -2,02 | ekstremalnie suchy | -1,72 | bardzo suchy | 0,29 |
| 1991 | -0,94 | umiarkowanie suchy | -1,02 | umiarkowanie suchy | -0,08 |
| 1992 | -1,22 | umiarkowanie suchy | -1,23 | umiarkowanie suchy | -0,01 |
| 1993 | 0,74 | umiarkowanie mokry | 0,72 | umiarkowanie mokry | -0,02 |
| 1994 | -2,48 | ekstremalnie suchy | -1,95 | bardzo suchy | 0,53 |
| 1995 | -0,06 | normalny | -0,22 | normalny | -0,15 |
| 1996 | 0,58 | umiarkowanie mokry | 0,52 | umiarkowanie mokry | -0,06 |
| 1997 | 1,82 | bardzo mokry | 2,36 | ekstremalnie mokry | 0,54 |
| 1998 | 0,50 | normalny | 0,42 | normalny | -0,08 |
| 1999 | 1,07 | umiarkowanie mokry | 1,17 | umiarkowanie mokry | 0,10 |
| 2000 | 0,74 | umiarkowanie mokry | 0,72 | umiarkowanie mokry | -0,02 |
| 2001 | 1,35 | umiarkowanie mokry | 1,60 | bardzo mokry | 0,24 |
| 2002 | -1,36 | umiarkowanie suchy | -1,33 | umiarkowanie suchy | 0,03 |
| 2003 | -0,27 | normalny | -0,43 | normalny | -0,16 |
| 2004 | -0,07 | normalny | -0,23 | normalny | -0,15 |
| 2005 | 0,59 | umiarkowanie mokry | 0,53 | umiarkowanie mokry | -0,06 |
| 2006 | -2,50 | ekstremalnie suchy | -1,96 | bardzo suchy | 0,55 |
| 2007 | 0,78 | umiarkowanie mokry | 0,78 | umiarkowanie mokry | 0,00 |
| 2008 | -0,08 | normalny | -0,24 | normalny | -0,15 |
| 2009 | 0,94 | umiarkowanie mokry | 0,99 | umiarkowanie mokry | 0,05 |

szym rozkładem prawdopodobieństwa. W tabeli 4 przedstawiono wyniki klasyfikacji warunków opadowych w lipcu w wieloleciu 1964–2012 dokonywanych na podstawie SPI_LogN oraz SPI_N. Zgodność w zakwalifikowywaniu wynosi tylko 87%.

Lata, w których otrzymujemy różne zakwalifikowania dla lipca to: 1969 (17 mm opadu), 1990 (17 mm), 1994 (12 mm), 1997 (250 mm), 2001 (180 mm), 2006 (12 mm). W latach tych otrzymujemy różne zakwalifikowania dotyczące sąsiadujących klas. Analiza otrzymanych współczynników SPI_LogN oraz SPI_N wskazuje na bliższy w ocenie rzeczywistych warunków opadowych współczynnik SPI_N.

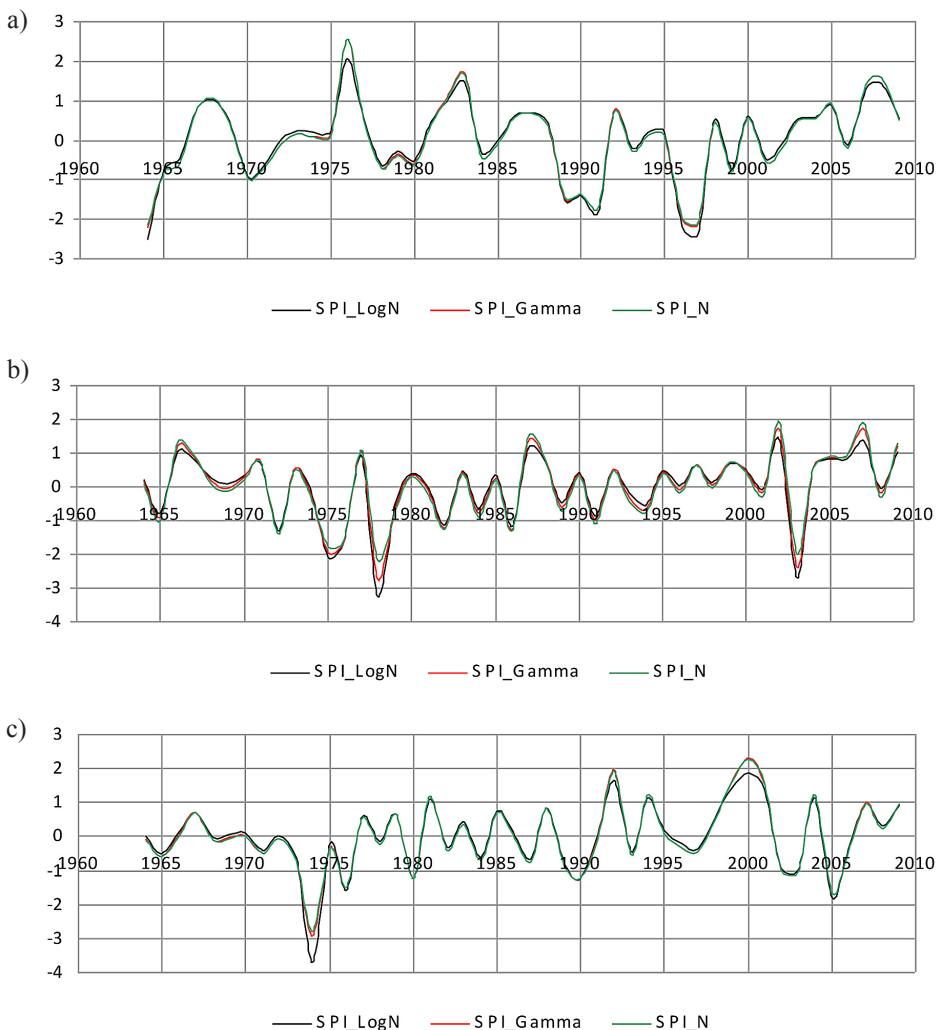
Porównanie wskaźników SPI_G i SPI_N na tym samym materiale badawczym z Wrocławia-Swojca znajduje się w pracy [Gąsiorek i in., 2012]. Z pracy wynika, że procent identycznych zakwalifikowań za pomocą SPI_G i SPI_N w lipcu w wieloleciu 1964–2009 wynosi 96%. Poza latami 1994 (12 mm opadu) i 2006 (12 mm) w którym istnieje różnica w zakwalifikowaniu warunków opadowych, w pozostałych latach zakwalifikowania za pomocą SPI_N i SPI_G są identyczne. W tych przypadkach otrzymujemy wprawdzie różne zakwalifikowania, ale dotyczące sąsiadujących klas. Analiza tych przypadków wskazuje na bliższy w ocenie rzeczywistych warunków opadowych współczynnik SPI_G. Dlatego można stwierdzić, że rozkład gamma wykorzystany do wyznaczenia SPI okazał się lepszym rozkładem prawdopodobieństwa.

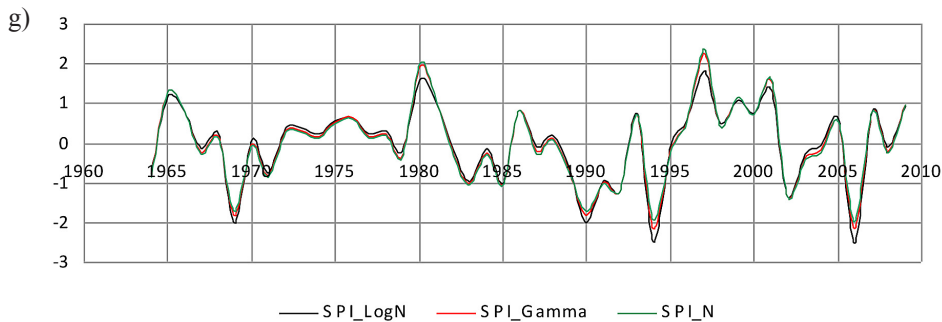
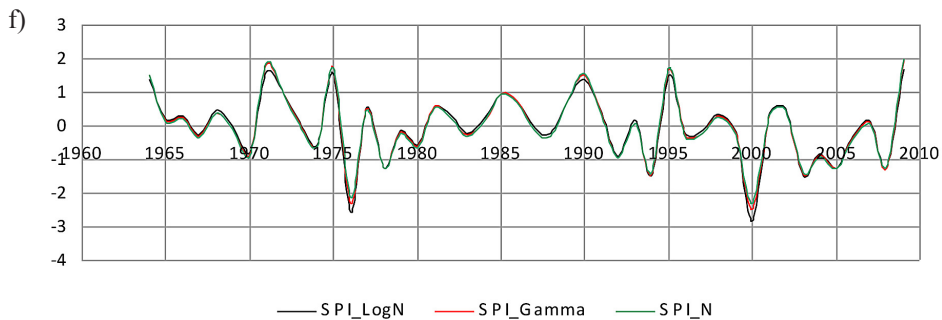
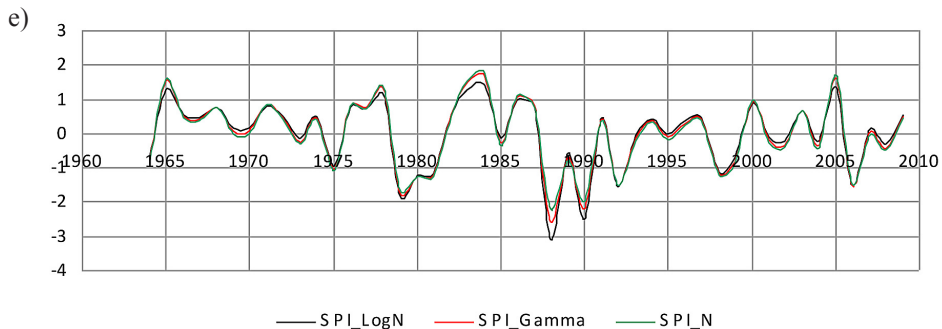
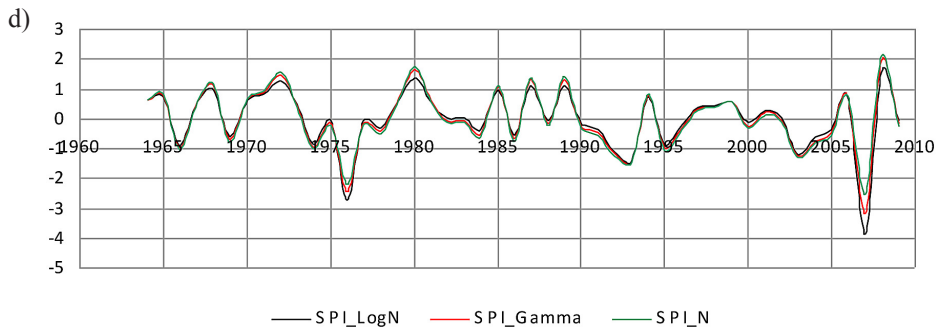
Następnie dokonano porównania trzech metod wyznaczania SPI (SPI_G, SPI_LogN, i SPI_N) uwzględniając klasyfikację warunków opadowych zawartą w tabeli 1. Ocena zaproponowanych trzech metod za pomocą procentowo identycznych zakwalifikowań warunków opadowych znajduje się w tabeli 5. Podobne analizy zostały wykonane przez Łabędzkiego [2006].

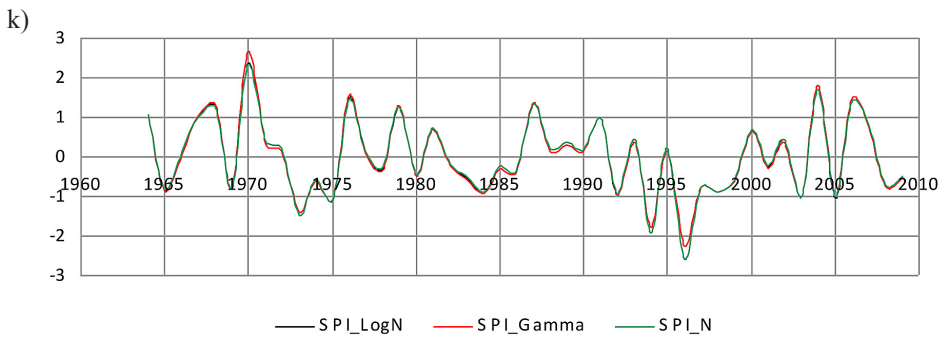
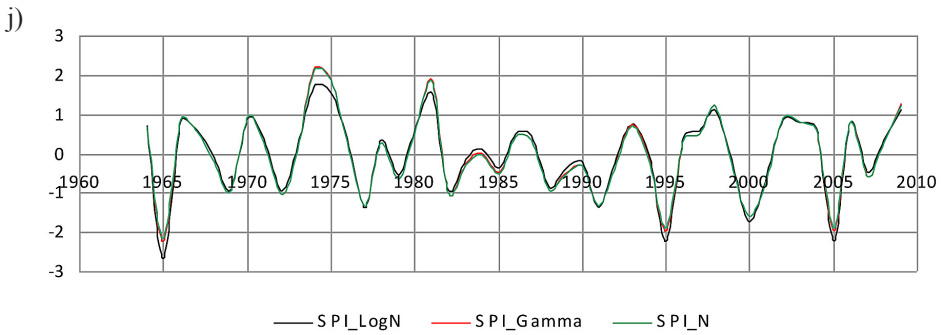
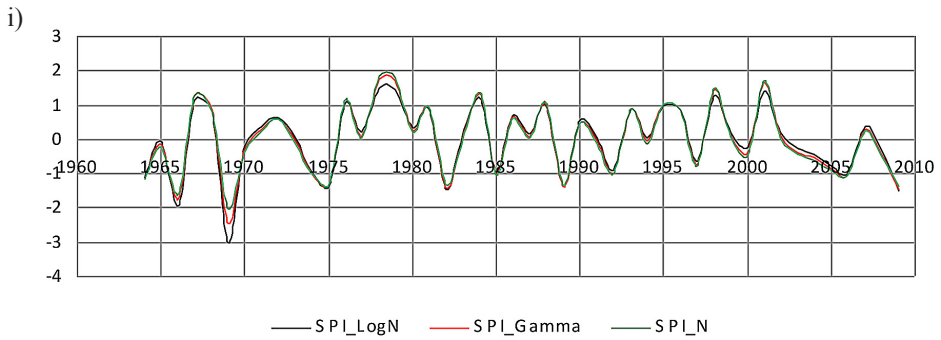
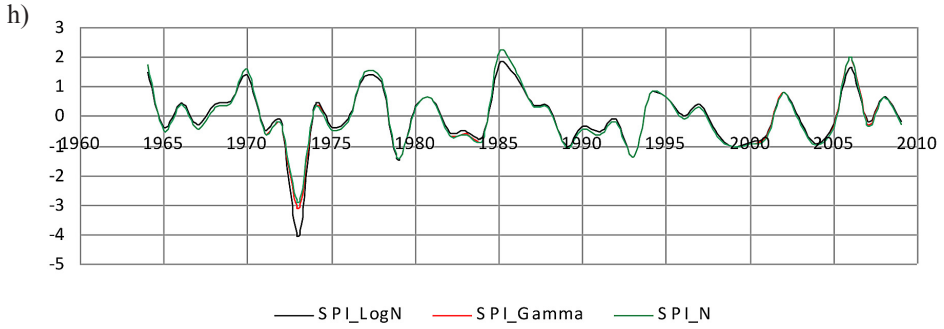
Tabela 5. Ocena zgodności współczynników: SPI_G i SPI_LogN, SPI_N i SPI_LogN, SPI_N i SPI_G

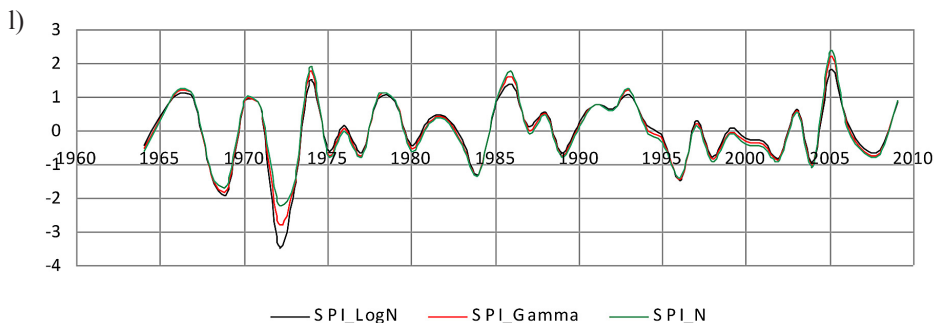
| Miesiąc | Procent identycznych zakwalifikowań SPI_G i SPI_LogN | Procent identycznych zakwalifikowań SPI_N i SPI_LogN | Procent identycznych zakwalifikowań SPI_N i SPI_G |
|-------------|--|--|---|
| Styczeń | 87 | 85 | 98 |
| Luty | 87 | 83 | 96 |
| Marzec | 87 | 87 | 100 |
| Kwiecień | 98 | 85 | 87 |
| Maj | 89 | 80 | 91 |
| Czerwiec | 93 | 91 | 98 |
| Lipiec | 91 | 87 | 96 |
| Sierpień | 80 | 80 | 100 |
| Wrzesień | 89 | 87 | 98 |
| Październik | 87 | 87 | 100 |
| Listopad | 96 | 98 | 93 |
| Grudzień | 91 | 89 | 98 |

Różnice pomiędzy wskaźnikami wyznaczonymi z zastosowaniem rozkładu gamma (SPI_G), z zastosowaniem transformacji prowadzących do rozkładu normalnego (SPI_N) oraz z zastosowaniem rozkładu logarytmiczno-normalnego (SPI LogN) w kolejnych miesiącach od stycznia do grudnia w wieloleciu 1964–2003 przedstawiono na rysunku 1. Analizę rysunków należy połączyć z wynikami znajdującymi się w tabeli 5. Przeprowadzona analiza wskazuje na to że, metody oparte na SPI_G oraz na SPI_N wykazują bardzo dobrą zgodność w klasyfikacji warunków opadowych, wobec tego można je stosować zamiennie. Niemniej jednak biorąc pod uwagę pojedyncze lata, w których zakwalifikowania są różne (tab. 3 i 4) czyli 1994, 1997, 2001, 2006 w których otrzymujemy lepsze zakwalifikowania za pomocą SPI_G, metodę wykorzystującą rozkład gamma wskazujemy jako najlepszą.









Rys. 1. SPI_N, SPI_G i SPI_LogN dla miesięcy w wieloleciu 1964–2009 we Wrocławiu-Swojcu: a) styczeń b) luty c) marzec d) kwiecień e) maj f) czerwiec g) lipiec h) sierpień i) wrzesień j) październik k) listopad l) grudzień

WNIOSKI

1. Metoda wyznaczania wskaźnika SPI z rozkładu gamma, któremu podlegają miesięczne sumy opadów w wieloleciu 1964–2009 ze stacji Wrocław-Swojec wykazuje bardzo dużą zgodność z metodą polegającą na zastosowaniu transformacji prowadzących do rozkładu normalnego i o wiele mniejszą zgodność z metodą wykorzystującą rozkład logarytmiczno-normalny.
2. Przeprowadzona analiza wskazuje, że metody oparte na SPI_G oraz na SPI_N wykazują bardzo dobrą zgodność w klasyfikacji warunków opadowych, wobec tego można je stosować zamiennie. Niemniej jednak biorąc pod uwagę pojedyncze lata, w których zakwalifikowania są różne (tab. 3 i 4), lepsze zakwalifikowania uzyskano za pomocą SPI_G, więc metodę wykorzystującą rozkład gamma wskazujemy jako najlepszą.

LITERATURA

1. Abramowitz M., Stegun I.A., 1965. Handbook of Mathematical Formulas, Graphs and Mathematical Tables. Dover Publications: New York, pp. 1250.
2. Edwards D.C., McKee T.B., 1997, Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple scales. Climatology Report 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins.
3. Gąsiorek E., Grządziel M., Musiał E., Rojek M., 2012, Porównanie wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI) wyznaczonego za pomocą rozkładu gamma i rozkładu normalnego dla miesięcznych sum opadów. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN 3/III 2012, 197–209.
4. Kaczmarek Z., 1970. Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, ss. 312.

5. Krishnamoorthy K., Mathew T., Mukherjee S., 2008. Normal-based methods for a Gamma Distribution: prediction and tolerance intervals and stress-strength reliability. *Technometrics*, February 2008, vol. 50, no 1, 69–78.
6. Łabędzki L., 2006. Susze rolnicze, Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie, Rozprawy naukowe i monografie*, Nr 17, ss. 107.
7. McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proc, 8th Conf, Applied Climatology*, 17-22 January 1993, Anaheim, California, 179–184.
8. McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. *Preprints 9th Conf, Applied Climatology*, 15-20 January 1995, Dallas, Texas, 233–236.
9. Thom H.C.S., 1958. A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review* 86, 117–122.