

## TENDENCJE SUM OPADÓW DZIENNYCH I NOCNYCH PÓLROČZA LETNIEGO JAKO WSKAŹNIK ZMIAN KLIMATYCZNYCH

Małgorzata Biniak-Pieróg, Stanisław Kostrzewa,  
Andrzej Żyromski

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

**Streszczenie.** Prezentowane wyniki badań są oparte na obserwacjach opadów atmosferycznych z okresu letniego, wykonywanych na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego Wrocław-Swojec należącego do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Materiał badawczy pochodził z lat 1966–2007. W trakcie badań przeanalizowano sumy dzienne, nocne i dobowe dla przedziałów czasowych od pentady do miesiąca włącznie, a także liczbę zdarzeń z opadem w ciągu dnia, nocy i całej doby w klasach od 0,0–1,0 mm, co 1 mm, do 14,1–15,0 mm. Oceniano również tendencje zmian sum opadów w badanym wieloletniu dla badanych kroków czasowych oraz analizowano strukturę opadów w poszczególnych miesiącach i badanych zakresach. Ponadto określano tendencje zmian okresów występowania opadów ekstremalnych w ciągu dnia, nocy i całej doby. Przeprowadzone analizy pozwoliły ocenić, w jakim stopniu zróżnicowanie okresów występowania opadów atmosferycznych może stanowić wskaźnik zmian klimatu w skali punktu.

**Słowa kluczowe:** opady atmosferyczne, sumy dobowe, dzienne i nocne, liczba dni z opadem, okres letni

### WSTĘP

Opad atmosferyczny, jako wynik procesów zachodzących w atmosferze [Twardosz 2005], jest głównym czynnikiem dostarczania wody do powierzchni Ziemi. Stanowi ważny składnik obiegu wody w środowisku przyrodniczym. Zmienność sum opadów atmosferycznych oraz losowy ich charakter w znacznym stopniu utrudniają wiarygodne prognozowanie wysokości i czasu wystąpienia opadów [Kuchar 1993]. Dłuższe okresy niedoboru opadów są przyczyną susz, natomiast nawet krótkotrwałe opady o dużym natężeniu mogą powodować erozję gleb [Żyromski 2002] i wywoływać powodzie. W zasto-

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Małgorzata Biniak-Pieróg, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: malbin@op.pl

sowaniach praktycznych oraz w opracowaniach naukowych element ten wykorzystuje się w postaci sum za określony przedział czasu lub w postaci liczby dni, kiedy występuje w zadanym zakresie zmienności oraz czasu w skali punktu i przestrzeni [Chomicz 1971, Kołodziej i Liniewicz 1992, Atlas... 2005, Żyromski 2005]. Z rolniczego punktu widzenia istotne jest również rozpoznanie zmienności opadów atmosferycznych w dłuższych okresach czasu, takich jak miesiąc, sezon lub rok [Rodrigo 2002, Schönwiese i in. 2003, Unakašević i in. 2004]. Wielokierunkowe badania naukowe opadów atmosferycznych były i są prowadzone przez klimatologów [Kossowska-Cezak i Mrugała 1999, Kaszewski i Mrugała 2001, Mrugała 2001, Domonkos i Tar 2003], hydrologów [Chomicz 1971] oraz specjalistów zajmujących się oceną możliwości zaspokajania potrzeb wodnych roślin [Kołodziej i Liniewicz 1992, Kuchar 1993, Nowicka i Dragońska 2001, Górski i Górka 2002, Szczegółowa uprawa... 2003, Zawora i Ziernicka 2003]. Element ten odgrywa też znaczącą rolę w zmianach klimatu. Zjawisko to ocenia się w oparciu o tendencje zmian opadów atmosferycznych na podstawie długich ciągów obserwacyjnych w skali punktu lub obszaru [New i in. 2002].

Przegląd literatury dotyczącej opadów atmosferycznych był punktem wyjścia do przeprowadzenia badań, które miały na celu wyjaśnić, czy (i w jakim stopniu) długie ciągi obserwacyjne sum opadów atmosferycznych mogą stanowić podstawę do oceny zmian klimatu w skali punktu.

## MATERIAŁ I METODY

Obserwacje opadów atmosferycznych są prowadzone na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu od początku lat 60. XX wieku. Na podstawie gromadzonych materiałów obserwacyjnych powstało wiele opracowań i publikacji naukowych. Ze względu na potrzebę interpretacji sum opadów w powiązaniu ze wzrostem i rozwojem roślin uprawnych, od roku 1966 obserwacje wykonywano rano i wieczorem. Pozwoliło to na określenie struktury sum opadów atmosferycznych w ciągu doby z rozbiciem na sumę dzienną i nocną. Podział opadów atmosferycznych na sumy dzienne i nocne jest istotny dlatego, że w warunkach produkcji polowej istnieje wyraźny związek między stosunkami świetlnymi i wodnymi – działają one w powiązaniu, jako elementy wzajemnie się ograniczające. A mianowicie, w okresach występowania opadów atmosferycznych rośliny są zaopatrywane w wodę, ale czynnik świetlny osiąga minimum ze względu na występujące w tym czasie zachmurzenie, któremu często towarzyszy obniżenie temperatury powietrza i gleby.

Do analiz wykorzystano obserwacje sum opadów atmosferycznych w trzech kategoriach: sum dziennych, sum nocnych i sum całodobowych. Serie obserwacyjne pochodziły z okresu półrocza letniego (od początku maja do końca października) z lat 1966–2007. W oparciu o nie zbudowano ciągi liczbowe odpowiadające okresowi 42 lat dla trzech przedziałów czasowych: pentada, dekada i miesiąc. Tak długie ciągi pozwoliły ocenić wielkość fluktuacji oraz tendencje zmian sum opadów dla tych kroków czasowych, a na kolejnym etapie – tendencję zmian procentowego udziału sum dziennych i nocnych w wielkości sumy dobowej. Ocenę przeprowadzono, wyznaczając na podstawie przebiegu krzywych naturalnych sum opadów atmosferycznych dla poszczególnych kroków

czasowych trendy liniowe określające tendencję zmian. Obliczono również przynależne trendom współczynniki determinacji ( $R^2$ ) na poziomie istotności 0,05 [Krzysztofiak i Urbanek 1978]. Tendencje zmian dobowych, dziennych i nocnych sum opadów atmosferycznych przyjmowano za istotne przy wartościach współczynników determinacji równych lub wyższych od 0,092.

Opierając się na sumach dziennych, nocnych i całodobowych z półrocza letniego w latach 1966–2007, wyznaczono liczbę zdarzeń z opadem w klasach od 0,0–1,0 mm (co 1 mm) do 14,1–15,0 mm dla pentad, dekad i poszczególnych miesięcy półrocza letniego. Przeanalizowano również strukturę sum opadów oddzielnie dla każdego z miesięcy, z rozbiem na sumy dzienne, nocne i całodobowe. Dla poszczególnych zakresów wysokości opadów oraz przedziałów czasu wyznaczono trendy liniowe w celu statystycznej oceny istotności tendencji zmian. Ponieważ ekstremalne wartości sum opadów dziennych, nocnych i dobowych występowały w różnych terminach, tendencje zmian tych terminów oceniano na przestrzeni półrocza letniego i całego 42-letniego okresu obserwacji. Celem analiz było ustalenie, w jakim stopniu zróżnicowanie okresu występowania opadów atmosferycznych może stanowić wskaźnik zmian klimatycznych w skali punktu.

## WYNIKI

Długi okres obserwacji sum opadów atmosferycznych na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznego Wrocław-Swojec pozwolił na uwzględnienie w opracowaniu bardzo szerokiego spektrum wartości tego elementu. Ze względu na długi okres wykorzystany do analiz, wysokie i niskie wartości opadów były co najmniej kilkakrotnie reprezentowane w każdej z grup (dzień, noc, cała doba) dla każdego z miesięcy letnich. Najnowsze opracowanie dotyczące warunków klimatycznych naszego kraju, tj. „Atlas klimatu Polski” [2005], wskazuje na rok 1982 jako najsuchszy, a na rok 1974 jako najwilgotniejszy w wieloleciu 1971–2000. Lata te były wyznaczone według zaprezentowanej w atlasie metodyki. Jeśli chodzi o rozkład przestrzenny opadów, to opady niskie bądź wysokie obejmowały co najmniej 70% obszaru kraju. Ze względu na długi okres obserwacji, jaki uwzględniono w niniejszej pracy (1966–2007), lata uznane za ekstremalne pod względem sum opadów atmosferycznych znalazły się również w analizowanych ciągach obserwacyjnych.

Wyznaczone na podstawie krzywych naturalnej zmienności miesięcznych sum opadów atmosferycznych trendy liniowe (rys. 1) oraz przynależne im współczynniki determinacji nie wykazały istotnych statystycznie tendencji zmian. Podobnie było w przypadku przebiegów tych wskaźników w krótszych przedziałach czasu, tj. pentadach i dekadach. A zatem, nie uzyskano wiążącego rozstrzygnięcia, choć mogłoby się wydawać, że okres 42 lat jest wystarczająco długi, aby je zapewnić, zwłaszcza że spektrum zmian sum opadów było znaczne.

Sumy dzienne w analizowanym okresie najniższe były w maju, 0,0–57,0 mm, w październiku i wrześniu wynosiły odpowiednio 0,0–61,4 i 0,0–65,3 mm, w czerwcu 0,0–80,1 mm, a w sierpniu i lipcu 0,0–98,7 i 0,0–109,3 mm. Sumy nocne kształtowały się w podobnym zakresie, jedynie w lipcu osiągały znacznie wyższe wartości, do 146,4 mm.

W przypadku sum pochodzących z całej doby (dzień + noc) największą zmienność zanotowano w lipcu: 0,0–237,7 mm, drugi z kolei był sierpień: 0,0–189,9 mm. W maju i czerwcu wartości sum opadów były na podobnym poziomie, odpowiednio 0,0–120,0 i 0,0–118,3 mm. Ze względu na losowy charakter sum i terminów wystąpienia opadów atmosferycznych we wspomnianych okresach, sumy dzienne i nocne w analizowanym wieloleciu nie przekładały się bezpośrednio na zróżnicowanie sum dobowych. W nocy możliwość wykorzystania przez rośliny tej samej sumy opadów co w ciągu dnia jest potencjalnie większa. Szczególnie dotyczy to opadów o niskiej sumie, ponieważ istnieje duże prawdopodobieństwo zatrzymania ich na powierzchni roślin. Większa użyteczność takich opadów wynika również ze znacznie zmniejszonego parowania w związku z ujemnym bilansem powierzchni czynnej, spowodowanym brakiem przychodu niezbędnej do tego procesu energii cieplnej od Słońca. Biorąc to pod uwagę, prześledzono również trendy liniowe procentowego udziału sum dziennych i nocnych w odniesieniu do sum pochodzących z całej doby (rys. 2). Istotna, choć w minimalnym stopniu, okazała się jedynie tendencja do zmniejszania się udziału opadów w ciągu dnia i zwiększania się udziału opadów nocą w sierpniu (rys. 2). Ma to istotne znaczenie dla roślin, które w tym miesiącu kontynuują jeszcze wegetację.

W poszukiwaniu przyczyn małej istotności wyznaczonych współczynników determinacji ocenę trendów przeprowadzono dla zmieniających się długości ciągów, poczynając od 30 lat. Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO) zaleca, aby za normę klimatyczną (CLINO) przyjmować średnią wartość danego elementu meteorologicznego z okresu wielolecia, za który uznaje okres 30 lat liczony od roku o numerze zakończonym na „1” do roku o numerze zakończonym na „0”, np. 1961–1990 [WMO 1996]. Stosując to podejście jako miarodajne, ale w nieco zmienionej formie, bo odnoszącej się jedynie do długości okresu, uzyskano istotne statystycznie tendencje w następujących przypadkach: dla okresu 30 lat (1966–1995) – w lipcu oraz dla ciągów składających się od 35 do 40 lat (odpowiednio z okresów 1966–2000 do 1966–2005) – w sierpniu. Rozszerzenie okresów o lata 2006 i 2007 spowodowało znaczne obniżenie się współczynników determinacji, które okazały się nieistotne statystycznie. Te częściowo tylko pozytywne rezultaty otrzymano jedynie dla ciągów dotyczących sum dziennych. Dla wariantów obejmujących sumy opadów atmosferycznych z okresu nocy oraz sumy za całą dobę nie zanotowano statystycznie istotnych tendencji. Analiza sum opadów atmosferycznych z lat 2006 i 2007 pokazała, że istotny wpływ na kierunek przebiegu trendów miały wartości ekstremalne, znacznie odbiegające od wartości utrzymujących się w poprzednich latach.

Analizując strukturę sum opadów całodobowych w klasach od 0,0–1,0 mm, co 1 mm, do 14,1–15,0 mm dla każdego z miesięcy oddzielnie, stwierdzono znaczną zmienność w przypadku przedziału o największej liczebności, tj. 0,0–1,0 mm. Od maja do sierpnia opady w tym przedziale stanowiły odpowiednio 40,2% (lipiec; rys. 3c), 43,4% (czerwiec), 43,9% (maj) i 44,4% (sierpień) ogólnej liczby zdarzeń z opadami w ciągu doby. We wrześniu ich udział zwiększył się do 48,4%, a w październiku był jeszcze większy (znacząco w stosunku do poprzednich wartości) – wyniósł 57,2%. Udziały opadów w drugiej co do znaczenia klasie, 1,1–2,0 mm, były dość wyrównane i wynosiły od 12,3% (sierpień) do 14,9% (wrzesień).

Zmienność udziałów zakresu 0,0–1,0 mm była największa w przypadku sum opadów dziennych: różnica między wartością maksymalną – 63,9% (październik) a wartością

minimalną – 44,7% (lipiec) sięgała 19,2 punktów procentowych. Nieco mniejszą zmiennością cechował się drugi przedział, 1,1–2,0 mm: udział takich opadów stanowił od 9,1% (czerwiec) do 16,1% (lipiec; rys. 3a) ogólnej liczby zdarzeń z opadami w ciągu dnia.

Sumy nocne charakteryzowały się najmniejszą zmiennością udziałów w strukturze liczby zdarzeń z sumami opadów w określonym przedziale. Udział przedziału najliczniejszego, 0,0–1,0 mm, stanowił do 64,1% wszystkich analizowanych zdarzeń, co przypadało na październik. Najmniejszy udział, 55,4%, dotyczył sierpnia. Drugi w kolejności przedział, 1,1–2,0 mm, plasował się między największą zmiennością sum dziennych i najmniejszą zmiennością sum dobowych. Największy udział w całej strukturze, 12,6%, zanotowano w maju, a najmniejszy, 7,2% – w czerwcu. Kontrast między sumą dzienną i nocną największy był w lipcu (rys. 3). Udziały pozostałych zakresów wykazywały znaczną fluktuację w poszczególnych miesiącach.

Sama analiza struktury sum opadów atmosferycznych nie pozwala na konstruktywne wnioskowanie, dopiero wyznaczenie tendencji zmian w postaci trendów liniowych oraz wyliczenie odpowiadających uzyskanym trendom współczynników determinacji dla poszczególnych przedziałów sum opadów daje możliwość oceny kierunku zmian i skali ich wielkości. Przeprowadzona w tym zakresie analiza pozwoliła na wyłonienie istotnych statystycznie tendencji zmian dla poszczególnych wariantów (dzień, noc, doba) w kolejnych miesiącach półrocza letniego (tab.). W przypadku sum dziennych i nocnych istotne tendencje uzyskiwano przeważnie dla zakresów sum opadów mieszczących się w przedziale do 5,0 mm, jedynie w pięciu przypadkach przypadało to na zakresy sum powyżej 5,0 mm (tab.). Istotność zmian nie dotyczyła wszystkich trzech kombinacji jednocześnie. Jedynie w maju zanotowano istotną tendencję spadkową zarówno dla dnia, jak i całej doby, przy czym istotność tendencji dla doby była większa niż w przypadku dnia, na co wskazuje wyższa wartość wyliczonego współczynnika determinacji.

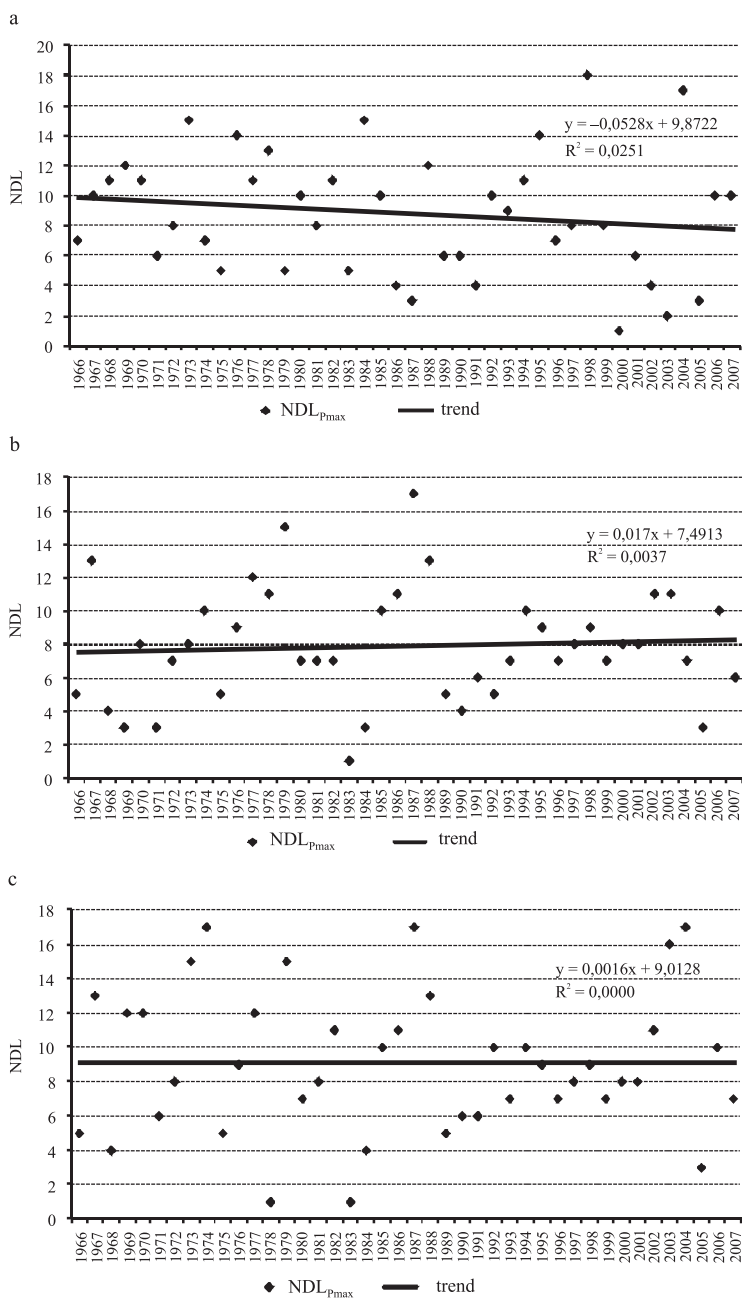
O wystąpieniu zmian klimatu może świadczyć zwiększona liczba zdarzeń o charakterze ekstremalnym, w tym przypadku większa liczba sum opadów o anomalnych wartościach. W niniejszej pracy prześledzono wartości oraz terminy występowania maksymalnych sum opadów w czasie dnia, nocy i całej doby. Ze względu na sporadyczność takich zdarzeń wzięto pod uwagę kolejne dekady półrocza letniego. Analiza trendu terminów występowania maksymalnych sum opadów w ciągu dnia w wieloleciu 1966–2007 (rys. 4a) wskazuje na przesuwanie się na okres wcześniejszy średniego terminu wystąpienia sum maksymalnych. Trend jest widoczny, ale nieistotny statystycznie. Wartości maksymalnych sum opadów dziennych również wykazują tendencję malejącą (rysunku nie zamieszczono). Statystycznie nieistotny trend terminów występowania maksymalnych sum nocnych, choć równie widoczny, ma odmienny charakter: jest słabo – jak na 42-letni okres – rosnący (rys. 4b). Wartości maksymalnych sum opadów występujących nocą także cechują się tendencją wzrostową, co może mieć istotne znaczenie dla upraw rolniczych. Mimo wykorzystania długiego okresu do wyznaczania trendów, w przypadku opadów z całej doby nie zaobserwowano trendu (rys. 4c), co świadczy o stabilności terminów występowania maksymalnych sum opadów dobowych.

Tabela. Równania regresji trendów liczby dni z opadem w poszczególnych miesiącach półrocza letniego oraz współczynniki determinacji ( $R^2$ ) dla wybranych zakresów sum opadów atmosferycznych z wielolecia 1966–2007 we Wrocławiu-Swojcu; wytuszczono równania, dla których uzyskano statystycznie istotne wartości współczynnika determinacji ( $R^2$ )

Table. Regression equations for trends in number of days with rainfall in individual months of summer half-year and determination coefficients ( $R^2$ ) for selected ranges of rainfall totals from multiannual period 1966–2007 in Wrocław-Swojec; equations with statistically significant coefficients of determination ( $R^2$ ) are printed in bold

Dzień – Day		Noc – Night		Cała doba – 24 hours	
suma opadów rainfall total mm	równanie regresji regression equation	suma opadów rainfall total mm	równanie regresji regression equation	suma opadów rainfall total mm	równanie regresji regression equation
Maj – May					
2,1–3,0	<b><math>y = -0,0402x + 1,8165</math></b> $R^2 = 0,1721$	2,1–3,0	$y = -0,007x + 0,9373$ $R^2 = 0,0087$	2,1–3,0	<b><math>y = -0,0379x + 1,9106</math></b> $R^2 = 0,2240$
Czerwiec – June					
0,0–1,0	$y = -0,0376x + 6,5550$ $R^2 = 0,0169$	0,0–1,0	<b><math>y = -0,0937x + 8,3823</math></b> $R^2 = 0,0981$	0,0–1,0	$y = -0,027x + 6,6970$ $R^2 = 0,0117$
4,1–5,0	$y = 0,0031x + 0,5676$ $R^2 = 0,0022$	4,1–5,0	$y = -0,0069x + 0,6832$ $R^2 = 0,013$	4,1–5,0	<b><math>y = -0,0221x + 1,2008</math></b> $R^2 = 0,1229$
Lipiec – July					
0,0–1,0	$y = -0,0506x + 5,7317$ $R^2 = 0,0417$	0,0–1,0	<b><math>y = -0,0886x + 8,1440</math></b> $R^2 = 0,1284$	0,0–1,0	$y = -0,0324x + 6,0778$ $R^2 = 0,0222$
2,1–3,0	<b><math>y = -0,0267x + 1,4321</math></b> $R^2 = 0,1417$	2,1–3,0	$y = -0,0014x + 0,6725$ $R^2 = 0,0004$	2,1–3,0	$y = -0,0096x + 1,1835$ $R^2 = 0,0185$
3,1–4,0	$y = 0,00032x + 0,65970$ $R^2 = 0,00003$	3,1–4,0	<b><math>y = 0,0251x - 0,0639</math></b> $R^2 = 0,1591$	3,1–4,0	$y = 0,00049x + 0,8467$ $R^2 = 0,00004$

8,1-9,0	$y = -0,0185x + 0,7305$ $R^2 = 0,1374$	8,1-9,0	$y = 0,0081x - 0,0314$ $R^2 = 0,0567$	8,1-9,0	$y = -0,00016x + 0,3368$ $R^2 = 0,00001$
9,1-10,0	$y = -0,0019x + 0,1847$ $R^2 = 0,0045$	9,1-10,0	$y = -0,0142x + 0,5192$ $R^2 = 0,1755$	9,1-10,0	$y = -0,0123x + 0,6458$ $R^2 = 0,0523$
12,1-13,0	$y = -0,0079x + 0,4309$ $R^2 = 0,0095$	12,1-13,0	$y = 0,0014x + 0,1847$ $R^2 = 0,0017$	12,1-13,0	$y = -0,0192x + 0,7224$ $R^2 = 0,2535$
Sierpień – August					
0,0-1,0	$y = 0,031x + 4,1170$ $R^2 = 0,0190$	0,0-1,0	$y = -0,0654x + 6,6812$ $R^2 = 0,0978$	0,0-1,0	$y = 0,0026x + 5,4818$ $R^2 = 0,0002$
5,1-6,0	$y = 0,0045x + 0,1725$ $R^2 = 0,0123$	5,1-6,0	$y = 0,0094x + 0,1900$ $R^2 = 0,0303$	5,1-6,0	$y = 0,0245x - 0,0317$ $R^2 = 0,1789$
Wrzesień – September					
0,0-1,0	$y = -0,0666x + 7,4386$ $R^2 = 0,0544$	0,0-1,0	$y = -0,0903x + 9,1357$ $R^2 = 0,0671$	0,0-1,0	$y = -0,1088x + 9,0403$ $R^2 = 0,1507$
Październik – October					
0,0-1,0	$y = -0,0718x + 8,5912$ $R^2 = 0,0380$	0,0-1,0	$y = -0,1067x + 10,5090$ $R^2 = 0,0798$	0,0-1,0	$y = -0,1154x + 11,2900$ $R^2 = 0,0999$
11,1-12,0	$y = 0,0023x + 0,0209$ $R^2 = 0,0122$	11,1-12,0	$y = -0,0411x + 1,3833$ $R^2 = 0,0329$	11,1-12,0	$y = -0,0121x + 0,4262$ $R^2 = 0,1148$
14,1-15,0	$y = 0,0055x - 0,0708$ $R^2 = 0,0984$	14,1-15,0	$y = -0,0061x + 0,2021$ $R^2 = 0,0818$	14,1-15,0	$y = -0,0064x + 0,2091$ $R^2 = 0,0908$



Rys. 4. Trendy dekad, w których wystąpiły ekstremalne wartości sum opadów atmosferycznych w półroczu letnim we Wrocławiu-Swojcu w wieloletniu 1966–2007; a – dzień, b – noc, c – cała doba; NDL – nr dekady letniej

Fig. 4. Trends of 10-day periods with extreme values of rainfall totals in summer half-year in Wrocław-Swojec in multiannual period 1966–2007; a – day, b – night, c – 24 hours; NDL – summer 10-day period No.



## WNIOSKI

1. Trendy sum opadów atmosferycznych z okresów dekadowych i miesięcznych półrocza letniego, mimo rozdzielania na okres dzienny i nocny, przeważnie są widoczne, ale nieistotne statystycznie. Wynika stąd, że sumy opadów dla zróżnicowanych przedziałów czasu nie mogą być traktowane jako jedyna podstawa jednoznacznego wnioskowania o zmianach warunków klimatycznych. Niezależnie od długości analizowanych ciągów obserwacji znaczący wpływ na statystyczną istotność oraz kierunek przebiegu trendów miały wartości maksymalne oraz ich zróżnicowanie.
2. Liniowe trendy udziału sum opadów dziennych i nocnych w sumach dobowych były statystycznie istotne jedynie w sierpniu.
3. Liczba istotnych wartości współczynników determinacji przypisanych trendom liniowym dla 1-milimetrowych zakresów dziennych i nocnych sum opadów atmosferycznych była największa dla zakresów sum opadów mieszczących się w przedziale do 5,0 mm, jedynie w pięciu przypadkach przypadało to na zakresy sum powyżej 5,0 mm. Największą liczbę istotnych trendów uzyskano dla całej doby. Otrzymane wyniki wskazują, że liczba zdarzeń z sumą opadu atmosferycznego w określonym zakresie jest lepszym wskaźnikiem do oceny zmian klimatu niż wyłącznie sumy dla zróżnicowanych przedziałów czasu.
4. Opracowana metodyka dotycząca terminów występowania maksymalnych sum dobowych opadów atmosferycznych pozwala na ocenę stabilności tego wskaźnika. Zwiększona częstość występowania wartości maksymalnych sum opadu może być symptomem zmian klimatycznych. Ze względu na losowy charakter występowania terminów oraz sum dobowych opadów zasadne jest odnoszenie zmian terminu wystąpienia wartości maksymalnych do okresów nie krótszych od pentady.
5. Aby móc w pełni ocenić jakość i wiarygodność opracowanej metodyki, należałoby wykonać taką samą analizę dla innego obiektu usytuowanego w podobnych warunkach klimatycznych.

## PIŚMIENNICTWO

- Atlas klimatu Polski, 2005. Red. H. Lorenc. IMGW Warszawa.
- Chomicz K., 1971. Struktura opadów atmosferycznych w Polsce. Prace PIHM 101, 25–66.
- Domonkos P., Tar K., 2003. Long-term changes in observed temperature and precipitation series 1901–1998 from Hungary and their relations to larger scale changes. *Theor. Appl. Climatol.* 75, 131–147.
- Górski T., Górka K., 2002. O rozkładzie statystycznym sum opadów atmosferycznych. *Mat. XXXII Seminarium Zastosowań Matematyki, AR we Wrocławiu, Kobyla Góra*, 39–43.
- Kaszewski B.M., Mrugała Sz., 2001. Wybrane charakterystyki temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na obszarze Lubelszczyzny (1951–1990). *Acta Agrophys.*, Monografie 47, Lublin.
- Kołodziej J., Liniewicz K., 1992. Zmienność czasowa sum i liczebności dni z opadami atmosferycznymi w północnej części Wyżyny Lubelskiej (1951–1985). *Folia Soc. Sci. Lubl.* 31, 1–2, 47–57.
- Kossowska-Cezak U., Mrugała S., 1999. Opady atmosferyczne o anomalnej wysokości (na przykładzie Warszawy i Lublina). *Prz. Geofiz.* 44, 1–2, 39–51.

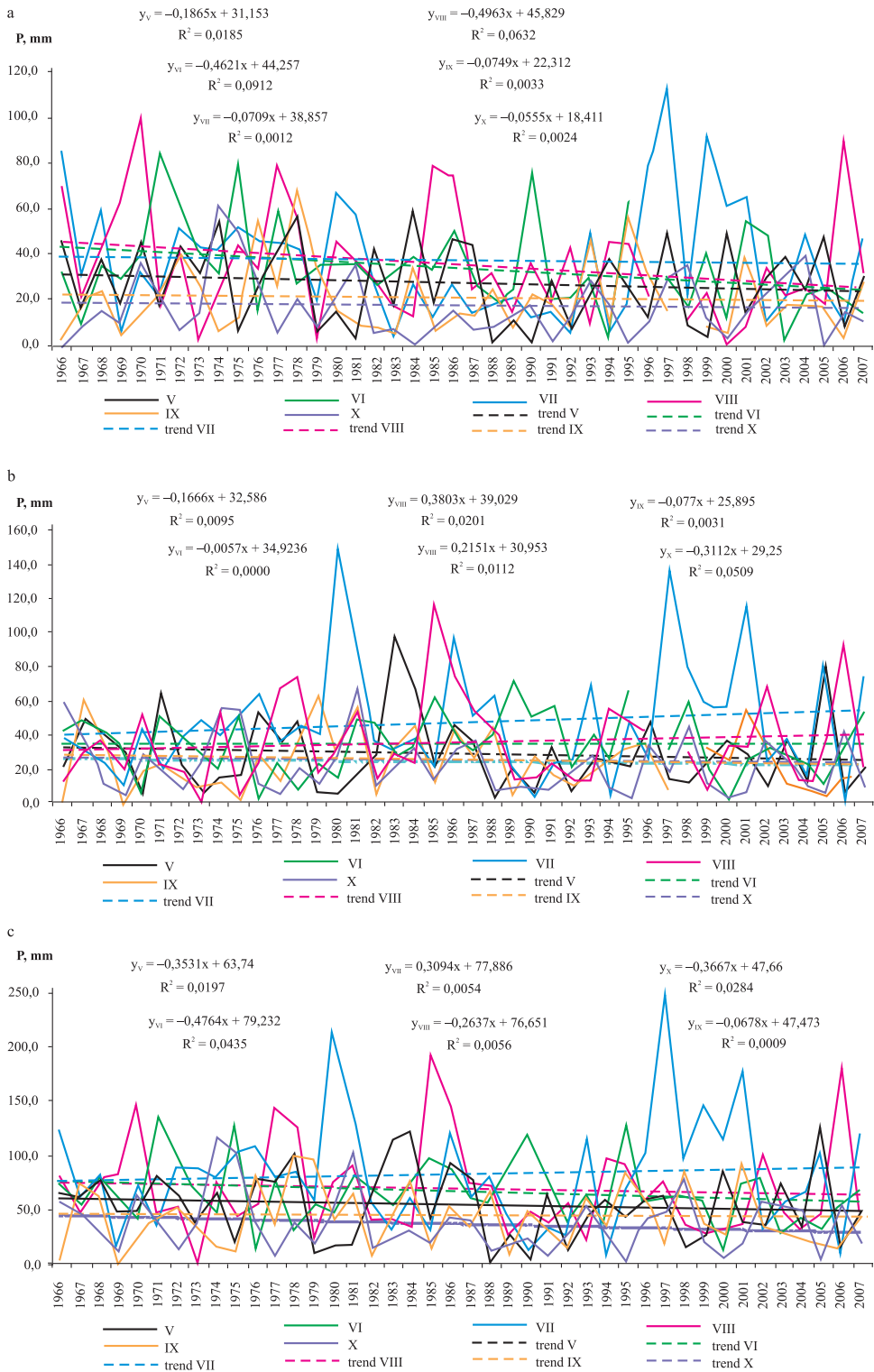
- Krzysztofiak M., Urbanek D., 1978. *Metody statystyczne*. PWN Warszawa.
- Kuchar L., 1993. Przewidywanie sum opadów i średnich temperatur powietrza w aspekcie prognozowania plonów roślin uprawnych. *Zesz. Nauk. AR Wroc., Rozpr. Hab.* 118.
- Mrugala Sz., 2001. Opady atmosferyczne o normalnej i anomalnej wysokości na obszarze Polski (1951–1990). *Wyd. UMCS, Rozpr. Hab. LXVI*, Lublin.
- New M., Todd M., Hulme M., Jones P., 2002. Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *Int. J. Climatol.* 21, 1889–1922.
- Nowicka A., Dragońska E., 2001. Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Żuław w latach 1966–1985. *Prz. Nauk. Wydz. Inż. Kształ. Środ. SGGW* 21, 87–91.
- Rodrigo F.S., 2002. Changes in climate variability and seasonal rainfall extremes: a case study from San Fernando (Spain), 1821–2000. *Theor. Appl. Climatol.* 72, 193–207.
- Schönwiese C.D., Grieser J., Trömel S., 2003. Secular change of extreme monthly precipitation in Europe. *Theor. Appl. Climatol.* 75, 245–250.
- Szczegółowa uprawa roślin, 2003. *Red. Z. Jasińska, A. Kotecki*. Wyd. AR we Wrocławiu.
- Twardosch R., 2005. Dobowy przebieg opadów atmosferycznych w ujęciu synoptycznym i probabilistycznym na przykładzie Krakowa (1886–2002). *Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego Kraków*.
- Unakašević M., Tošić I., Vujović D., 2004. Variability and probability of annual and extreme precipitation over Serbia and Montenegro. *Theor. Appl. Climatol.* 79, 103–109.
- WMO, 1996. *Climatological normals (CLINO) for the period 1961–1990*. WMO-No. 847, Geneva.
- Zawora T., Ziernicka A., 2003. Precipitation variability in time in Poland in the light of multi-annual mean values (1891–2000). *Acta Univ. Wratisl., Studia Geogr.* 75, 123–128.
- Żyromski A., 2002. Zmienność wysokich sum dobowych opadów atmosferycznych wiosną i jesienią w Polsce w okresie 1961–1980. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 487, 389–397.
- Żyromski A., 2005. Ekstrema letnie opadów atmosferycznych, temperatury powietrza i poziomu wód gruntowych w 40-leciu 1961–2000 we Wrocławiu-Swojcu. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* 5, 14, 411–425.

## TRENDS IN DAILY AND NIGHTLY RAINFALL TOTALS OF SUMMER HALF-YEAR AS INDICATOR OF CLIMATE CHANGE

**Abstract.** The results presented in this paper are based on the observation of rainfall in the summer period, carried out in the area of the Agro- and Hydrometeorological Observatory Wrocław-Swojec of the Wrocław University of Environmental and Life Sciences. The research data came from the years 1966–2007. Daily, nightly and 24-hour rainfall totals were investigated for 5-day periods, 10-day periods and months, and the number of events with rainfall during the day, night and 24 hours was analysed in ranges from 0.0–1.0 to 14.1–15.0 mm at 1 mm intervals. The trends of changes in rainfall totals in the 42-year period were assessed for the time steps used, and the percentage structure of rainfall was examined in individual months and depth ranges. In addition, the trends in the periods of occurrence of extreme rainfalls during the day, night and 24 hours were estimated. The analyses made it possible to determine to what extent the variation in the periods of rainfall occurrence can be an indicator of climate change on a scale of the point.

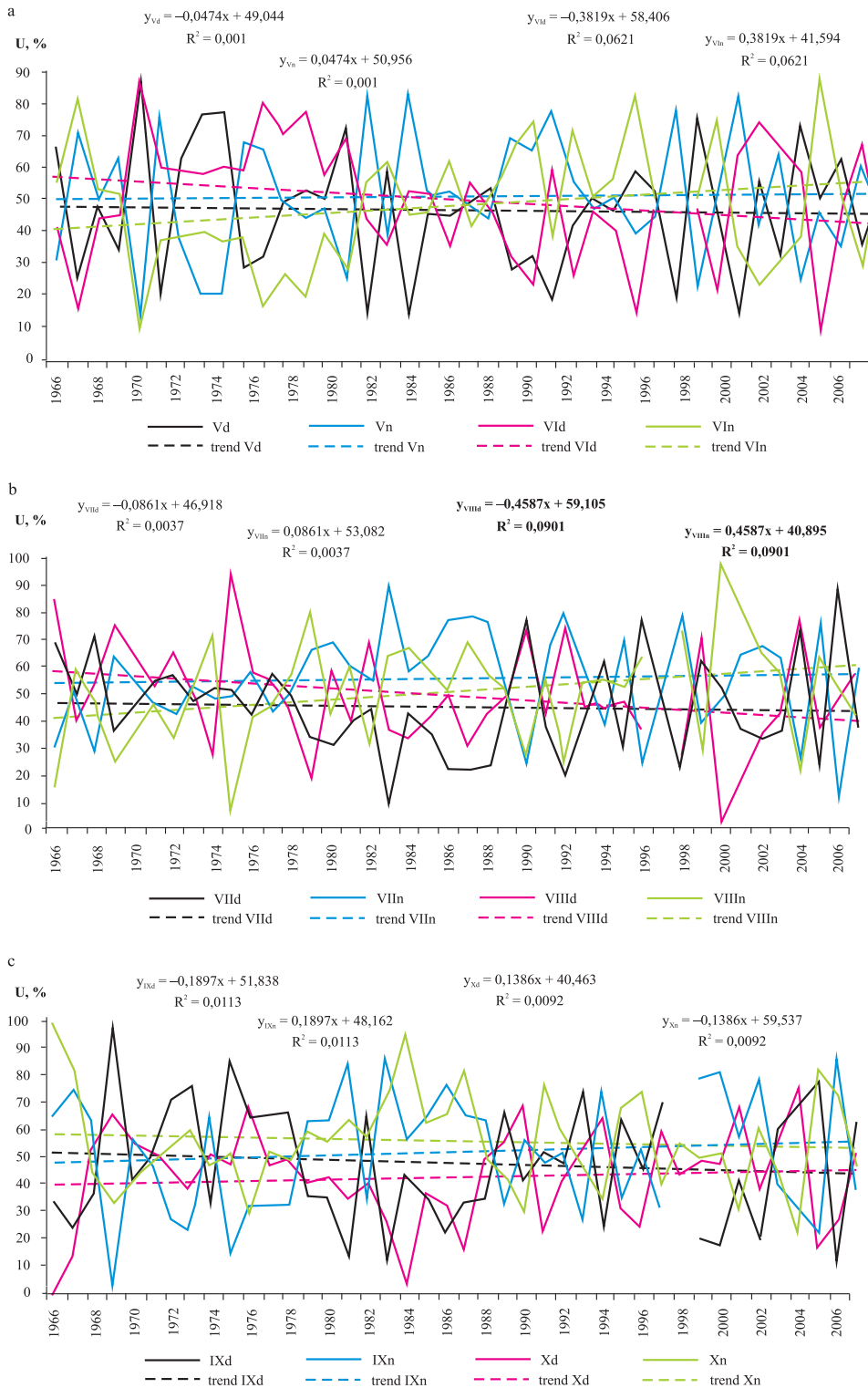
**Key words:** rainfall, 24-hour, daily and nightly totals, number of days with rainfall, summer period

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 2.08.2008*



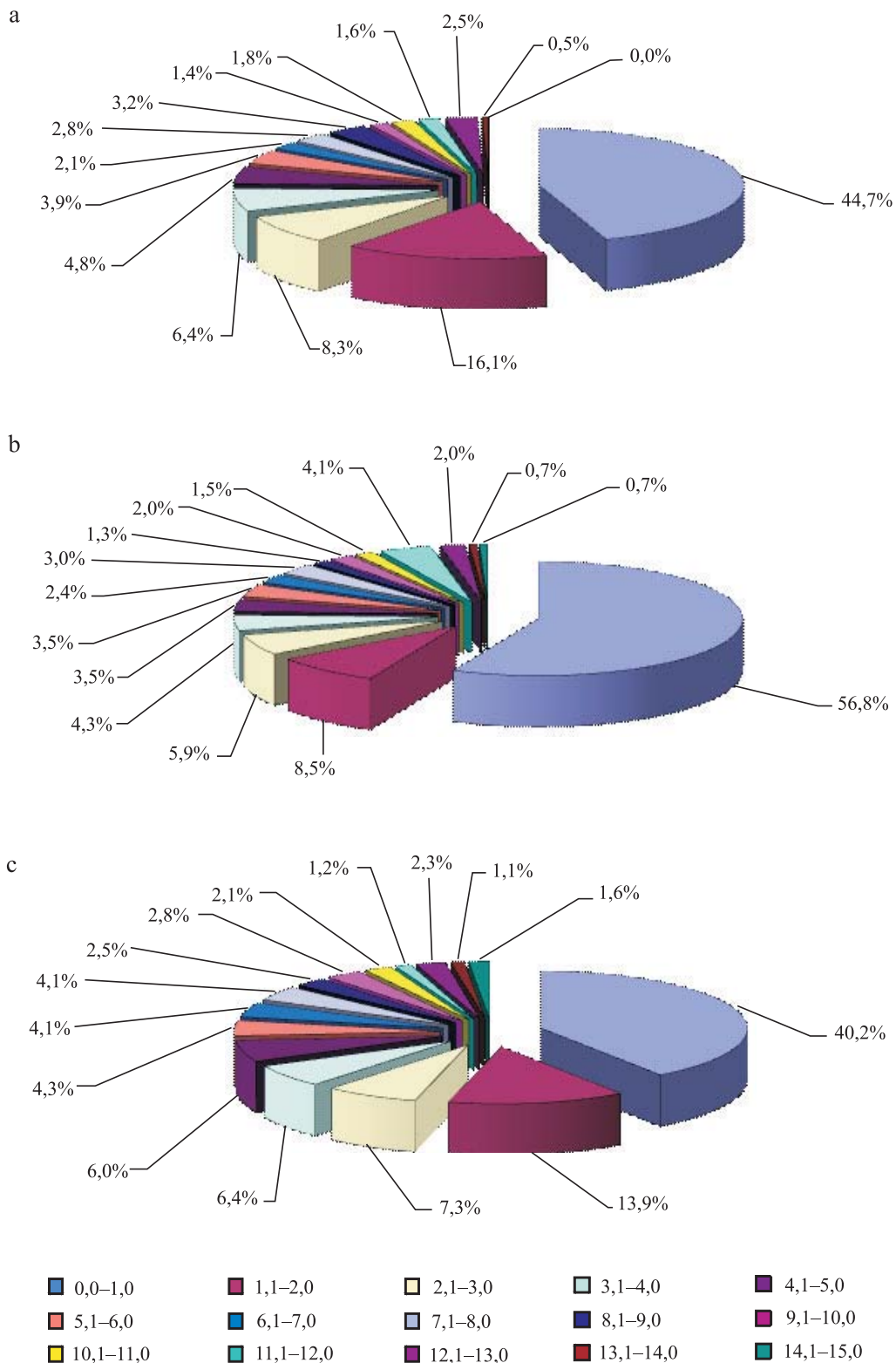
Rys. 1. Przebieg i tendencje dziennych i nocnych sum opadów atmosferycznych (P) w poszczególnych miesiącach półrocza letniego we Wrocławiu-Swojcu w wieloletnim okresie 1966–2007; a – dzień, b – noc, c – cała doba

Fig. 1. Pattern and trends of daily and nightly rainfall totals (P) in individual months of summer half-year in Wrocław-Swojec in multiannual period 1966–2007; a – day, b – night, c – 24 hours (V – May, VI – Jun, VII – Jul, VIII – Aug, IX – Sep, X – Oct)



Rys. 2. Przebieg i tendencje procentowego udziału (U) dziennych i nocnych sum opadów atmosferycznych w sumie dobowej w poszczególnych miesiącach półrocza letniego we Wrocławiu-Swojcu w wieloletniu 1966–2007; a – V i VI, b – VII i VIII, c – IX i X; d – dzień, n – noc; wytłuszczono równania, dla których uzyskano statystycznie istotne wartości współczynnika determinacji ( $R^2$ )

Fig. 2. Pattern and trends of percentage share (U) of daily and nightly rainfall totals in 24-hour total in individual months of summer half-year in Wrocław-Swojec in multiannual period 1966–2007; a – V (May) and VI (Jun), b – VII (Jul) and VIII (Aug), c – IX (Sep) and X – (Oct); d – day, n – night; equations with statistically significant coefficients of determination ( $R^2$ ) are printed in bold



Rys. 3. Struktura średnich wartości dobowych sum opadów atmosferycznych (w mm) w lipcu we Wrocławiu-Swojcu w wieloletnim okresie 1966–2007; a – dzień, b – noc, c – cała doba

Fig. 3. Percentage structure of average values of 24-hour rainfall totals (in mm) in July in Wrocław-Swojec in multiannual period 1966–2007; a – day, b – night, c – 24 hours