

## WPŁYW OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA ZMIENNOŚĆ ODPŁYWU ŚCIEKÓW Z OBSZARU AGLOMERACJI POŁANIEC

Karolina Hap<sup>✉</sup>, Ewa Dacewicz  0000-0003-2167-8091,  
Krzysztof Chmielowski  0000-0001-9758-0854

Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

### ABSTRAKT

#### Cel pracy

Celem badań było określenie wpływu opadów atmosferycznych na zmienność odpływu ścieków z oczyszczalni w Łęgu obsługującej aglomerację Połaniec.

#### Materiał i metody

Analizie poddano średnie dobowe wartości odpływu ścieków, a także określono podstawowe statystyki opisowe dotyczące charakterystyki ilościowej odpływu ścieków z oczyszczalni w Łęgu w latach 2016–2017. Pozyskane ze stacji meteorologicznej w Chorzelowie oddalonej od oczyszczalni w Łęgu o 14,5 km, dane opadowe posłużyły do określenia średnich dobowych sum opadów atmosferycznych oraz liczby dni z opadem. Dane dotyczące dobowych opadów atmosferycznych pogrupowano względem wielkości, a następnie porównano ze średnimi dobowymi odpływami ścieków z oczyszczalni.

#### Wyniki i wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej wykazano istotny wpływ opadów atmosferycznych na zwiększony odpływ ścieków z oczyszczalni. Na przestrzeni lat zauważono tendencję wzrostową temperatury powietrza oraz mniejsze sumy opadów, czyli cieplejsze i bardziej suche lata.

**Słowa kluczowe:** opad atmosferyczny, ścieki, oczyszczalnia

### WSTĘP

Nie podlega wątpliwości, że klimat się ociepla, a jego zmiany stanowią nie tylko zagrożenie społeczne czy ekonomiczne, ale wpływają również na środowisko. Coraz częściej można zaobserwować ekstremalne zjawiska pogodowe, którymi mogą być na przykład obfite opady deszczu czy też intensywne i rozległe pożary (Rosenzweig i in., 2007; Kundzewicz, 2011; Skowera i in., 2014; Skowera i in., 2016; Młyński i in., 2018; Ziernicka-Wojtaszek i Kopcińska, 2020). Jak podaje Bartoszek i in. (2021), wzrost temperatury powietrza

może być przyczyną suszy atmosferycznej. Oczywisty jest też fakt wpływu człowieka na system klimatyczny, czyli atmosferę, biosferę, hydrosferę, kriosferę oraz powierzchnię lądową. Zmienność klimatu wynika z licznych współgrających ze sobą czynników zewnętrznych. Wysoka emisja gazów cieplarnianych wpływa na system naturalny, czego konsekwencją jest wzrost średnich globalnych temperatur powietrza i oceanów, powszechne topnienie śniegu i lodu, podnoszenie się poziomu mórz, a także wspomniane wcześniej ekstremalne zjawiska pogodowe (Tomaszewska, 1994; Barnett i in., 2005; Blunden i Arndt, 2016).

<sup>✉</sup>e-mail: karolina.hap@urk.edu.pl

Równie ważnym i nadal aktualnym problemem jest odprowadzanie ścieków z obszarów aglomeracyjnych oraz ich oczyszczanie w zbiorczych oczyszczalniach ścieków (Młyńska i in., 2017a, 2017b). Jest to regulowane przez różne akty prawne, z czego najważniejsza w Polsce jest Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 roku dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych. Ścieki doprowadzane do oczyszczalni są poddawane procesom oczyszczania, a następnie odprowadzane do odbiornika, którym najczęściej jest pobliska rzeka. Zanim jednak do tego dojdzie, muszą spełniać odpowiednie wymagania i charakteryzować się odpowiednim stopniem oczyszczenia (Dyrektywa..., 1991; Rozporządzenie..., 2019). Prawidłowe zaprojektowanie, a w konsekwencji i działanie oczyszczalni, zależy w dużej mierze od prognozowanego zużycia wody na potrzeby ludzkie (Bergel i Pawełek, 2005). Należy jednak pamiętać, że nie jest to jedyny warunek. Na prawidłowe działanie oczyszczalni w dużej mierze ma wpływ obciążenie hydrauliczne obiektu. Bardzo częstym zjawiskiem jest odprowadzanie przez system kanalizacji ogólnospławnej wód deszczowych oraz roztopowych z pokrywy śnieżnej, mieszających się ze ściekami komunalnymi. Zwiększony dopływ ścieków może być spowodowany także napływem wód infiltracyjnych przedostających się do systemu kanalizacyjnego przez uszkodzone lub nieszczelne rury. Konsekwencją tego może być nawet pięciokrotnie większy dopływ ścieków do oczyszczalni powodujący hydrauliczne przeciążenie obiektu (Kaczor i Pawełek, 1999; Kaczor 2011). Ponadto dopływ takich wód niekorzystnie wpływa na temperaturę ścieków, destabilizując tym samym prawidłową pracę bloku biologicznego. Jest to bardzo ważna kwestia, ponieważ ścieki odprowadzane do wód odbiornika muszą spełniać odpowiednie wymagania (Rozporządzenie..., 2019).

## CEL PRACY I METODYKA BADAŃ

Celem niniejszego opracowania jest określenie wpływu opadów atmosferycznych na zmienność odpływu ścieków z oczyszczalni obsługującej aglomerację Połaniec. Analizę obciążenia hydraulicznego obiektu wykonano na podstawie danych z lat 2016–2017.

Wnioskowaniu poddano łącznie 401 pomiarów średniego dobowego odpływu ścieków z oczyszczalni. Analizie poddano także dane opadowe i temperaturę z oddalonej o 14,5 km stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Chorzelowie, pozyskane z publicznych zasobów udostępnianych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (Dane..., 2017). Dodatkowo do określenia charakterystyki opadowej posłużono się tabelą 1 podawaną przez Tomaszewską (1994), natomiast do określenia klasyfikacji termicznej miesięcy najzimniejszych i najcieplejszych posłużono się tabelą 2 według Ziernickiej (2001). Pomiarów dotyczących opadów atmosferycznych pogrupowano względem ich wielkości na 6 podstawowych grup (tabela 3), zgodnie z podziałem zaproponowanym przez Chmielowskiego (2019). Poprzez analizę korelacji liniowej (Pearsona) określono zależność pomiędzy wpływem opadów atmosferycznych na wielkość odpływu ścieków na poziomie istotności 0,001. Celem interpretacji wyników posłużono się klasyfikacją (tabela 4) J. Guilford'a (1965). Wnioskowaniu dotyczącemu czynników atmosferycznych, tj. opadów atmosferycznych oraz temperatury, poddano 731 danych dla lat 2016–2017. W przypadku wielolecia 2006–2015, będącego tłem dla analizowanego okresu 2016–2017, były to 3652 dane.

**Tabela 1.** Charakterystyka opadowa miesięcy (Źródło: Tomaszewska, 1994)

**Table 1.** Precipitation characteristics of months (Source: Tomaszewska, 1994)

Typ miesiąca	% opadu normalnego
Skrajnie suchy	< 25
Bardzo suchy	26–50
Suchy	51–75
Przeciętny	76–125
Deszczowy	126–150
Bardzo deszczowy	151–200
Skrajnie deszczowy	> 200

**Tabela 2.** Przedziały odchyień średniej miesięcznej temperatury powietrza od średniej wieloletniej (°C) (Źródło: Ziernicka, 2000)

**Table 2.** The ranges of the monthly mean air temperature deviations from the long-term mean (°C) (Source: Ziernicka, 2000)

Klasyfikacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Skrajnie ciepły	≥ 4,9	≥ 4,1	≥ 4,0	≥ 3,3	≥ 2,8	≥ 2,5	≥ 2,0	≥ 1,9	≥ 2,3	≥ 2,7	≥ 3,0	≥ 3,4
Bardzo ciepły	3,3÷4,8	2,9÷4,0	2,7÷3,9	2,3÷3,2	1,9÷2,7	1,7÷2,4	1,5÷1,9	1,3÷1,8	1,7÷2,2	1,9÷2,6	2,2÷3,3	2,3÷3,3
Ciepły	1,7÷3,2	1,5÷2,8	1,4÷2,6	1,2÷2,2	1,0÷1,8	0,9÷1,6	0,8÷1,4	0,7÷1,2	0,9÷1,6	1,0÷1,8	1,2÷2,2	1,2÷2,2
Normalny	-2,3÷1,6	-2,4÷1,4	-1,3÷1,3	-0,9÷1,1	-1,3÷0,9	-0,8÷0,8	-0,7÷0,7	-0,7÷0,6	-0,9÷0,8	-1,1÷0,9	-1,7÷1,1	-1,7÷1,1
Zimny	-2,4÷ -4,6	-4,8÷ -2,5	-2,6÷ -1,4	-1,8÷ -1,0	-2,6÷ -1,4	-1,6÷ -0,9	-1,4÷ -0,8	-1,4÷ -0,8	-1,8÷ -1,0	-2,2÷ -1,2	-2,6÷ -1,4	-3,4÷ -1,8
Bardzo zimny	-6,9÷ -4,7	-7,0÷ -4,9	-3,9÷ -2,7	-2,7÷ -1,9	-3,8÷ -2,7	-2,2÷ -1,7	-2,1÷ -1,5	-1,9÷ -1,5	-2,5÷ -1,9	-3,3÷ -2,3	-3,7÷ -2,7	-5,1÷ -3,5
Skrajnie zimny	≤ -7,0	≤ -7,1	≤ -4,0	≤ -2,8	≤ -3,9	≤ -2,3	≤ -2,2	≤ -2,0	≤ -2,6	≤ -3,4	≤ -3,9	≤ -5,2

**Tabela 3.** Klasyfikacja dobowego natężenia opadów deszczu (Źródło: klasyfikacja własna na podstawie Chmielowskiego (2019))

**Table 3.** Classification of the daily rainfall intensity (Source: own classification based on Chmielowski (2019))

Numer grupy	I	II	III	IV	V	VI
Ilość opadu [mm · d <sup>-1</sup> ]	< 1	1–10	10–20	20–30	30–40	> 40

**Tabela 4.** Klasyfikacja siły korelacji według Guilforda (1965)

**Table 4.** Classification of the strength of correlation according to Guilford (1965)

Przedział współczynnika r	Zależność
r =0	brak korelacji
0,0< r ≤0,1	korelacja nikła
0,1< r ≤0,3	korelacja słaba
0,3< r ≤0,5	korelacja przeciętna
0,5< r ≤0,7	korelacja wysoka
0,7< r ≤0,9	korelacja bardzo wysoka
0,9< r <1,0	korelacja niemal pełna
r =1	korelacja pełna

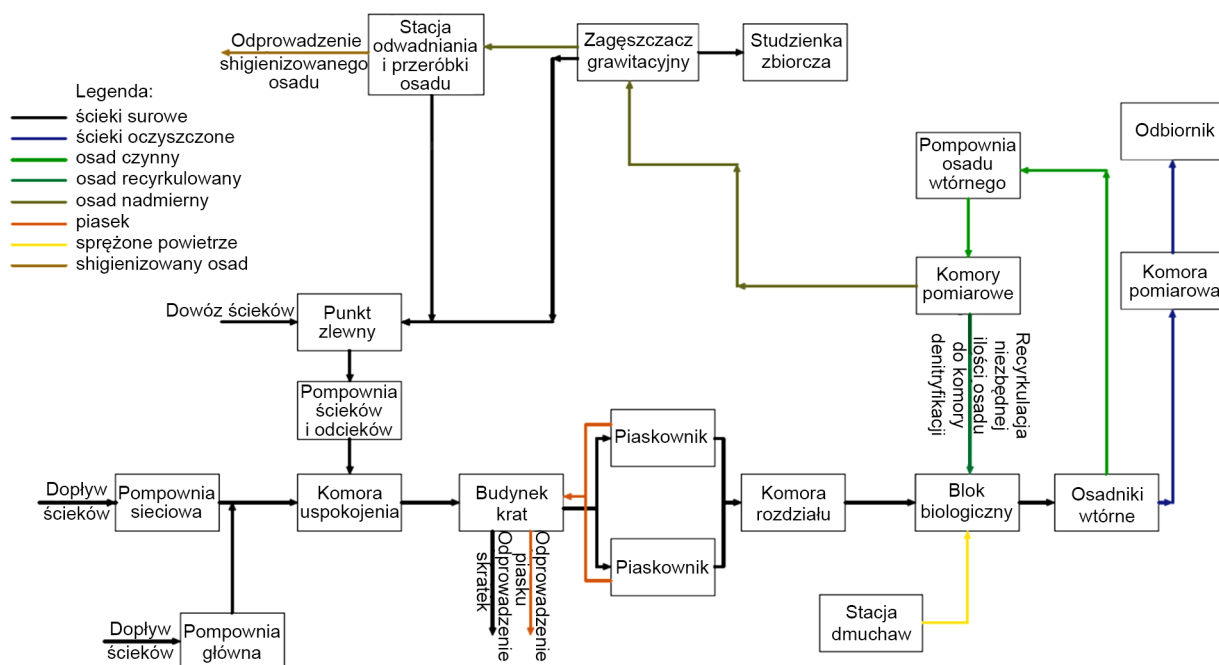
## CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Agglomerację Połaniec (powiat staszowski) obsługuje zbiorcza oczyszczalnia ścieków zlokalizowana w miejscowości Łęg. Obiekt położony jest w południowej Polsce w powiecie staszowskim. Rycina 1 przedstawia ciąg technologiczny oczyszczalni zmodernizowanej pod koniec 2015 roku. Zgodnie z obowiązującym pozwoleniem wodnoprawnym z dnia 12 listopada 2015 roku, średnią przepustowość obiektu stanowi  $1800 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , a RLM wynosi 12 109 (Pozwolenie..., 2015). Do oczyszczalni trafiają ścieki dopływające grawitacyjnie do pompowni głównej i sieciowej oraz te, które dowożone są wozami asenizacyjnymi i doprowadzane do obiektu poprzez punkt zlewny. Jest to oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna posiadająca technologię opartą na osadzie czynnym bazującą na systemie UCT o zwiększonym stopniu usuwania fosforanów. Sposób ten cechuje duża efektywność oczyszczania, jednak kluczowe jest mieszanie osadu czynnego ze ściekami, a także doprowadzanie powietrza. System posiada instalacje służące do recyrkulacji

zarówno zewnętrznej, jak i wewnętrznej. Instalacja recyrkulacji zewnętrznej odpowiada za przepływ osadu z osadników wtórnych do komory niedotlenionej. Jeden ze strumieni recyrkulacji wewnętrznej doprowadza osad z końca komory tlenowej do niedotlenionej celem wzbogacenia tej strefy o azotany, natomiast drugi strumień transportuje osad z końca komory niedotlenionej do strefy beztlenowej, gdzie doprowadzane są także ścieki surowe (Projekt..., 2015; Studium..., 2016). Ścieki oczyszczone są odprowadzane do odbiornika, którego rolę spełnia rzeka Czarna Staszowska. Odbywa się to kolektorem zrzutowym pracującym grawitacyjnie, natomiast w przypadku wysokich stanów wody w rzece ciśnieniowo (Operat..., 2015; Aktualizacja..., 2017).

## ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

W tabeli 5 przedstawiono podstawową charakterystykę ilości odpływających ścieków z oczyszczalni, natomiast na rycinie 2 przedstawiono wykres średniego odpływu ścieków z oczyszczalni w czasie doby. Na podstawie tych danych można zauważyć, że średni



**Ryc. 1.** Uproszczony schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Łęgu (Źródło: opracowanie własne)

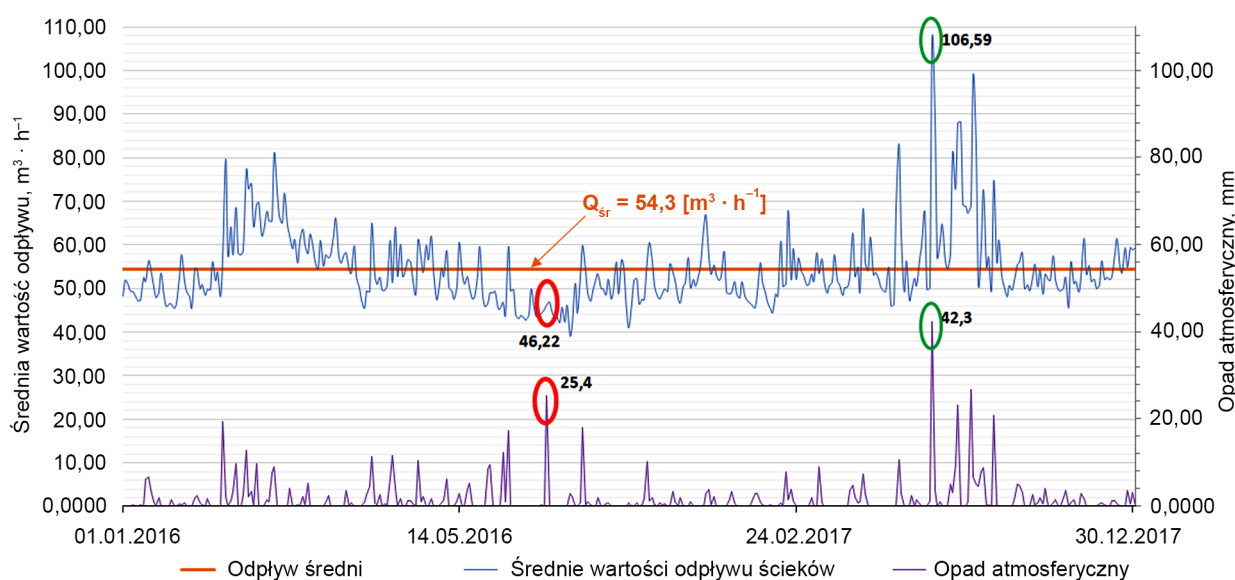
**Fig. 1.** Simplified technological diagram of the sewage treatment plant in Łęg (Source: own study)

odpływ w analizowanym okresie badawczym wynosił  $54,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , co stanowi 73% średniej przepustowości, na którą została zaprojektowana oczyszczalnia ( $Q_{\text{śrd}} = 75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ). Odpływ ścieków z obiektu w analizowanym okresie jest wyraźnie zróżnicowany, a zwłaszcza w 2017 roku, co potwierdzają podstawowe statystyki opisowe przedstawione w tabeli 5. Wyraźne wzrosty odpływu ścieków z oczyszczalni zauważono w miesiącach zimowo-wiosennych zarówno w 2016, jak

i w 2017 roku. Z uwagi na to, że sytuacja miała miejsce w okresach zimowo-wiosennych, można stwierdzić, że poza wodami opadowymi, wpływ na to mogły mieć wody roztopowe pokrywy śnieżnej przedostające się do systemu kanalizacyjnego. Najbardziej charakterystyczne wzrosty odpływu ścieków miały miejsce w 2017 roku, z czego najwyższy miał miejsce 18.04.2017 roku – na poziomie  $106,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , któremu towarzyszyły opady w wysokości  $42,3 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ .

**Tabela 5.** Charakterystyka ilościowego odpływu ścieków z oczyszczalni w Łęgu w latach 2016–2017  
**Table 5.** Characteristics of quantitative wastewater outflow from the treatment plant in Łęg in 2016–2017

Statystyki opisowe	Liczba prób	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana	Suma	Rozstęp	Odczylenie standardowe	Współczynnik zmienności	
Symbol	N	X	$Q_{\text{min}}$	$Q_{\text{max}}$	Me	$\Sigma$	$R_0$	$\sigma$	WZ	
Jednostka	[–]	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	[tys. $\text{m}^3$ ]	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	[%]	
Rok	2016	238	53,3	29,0	81,1	51,9	304255,8	63,1	7,7	14,4
	2017	163	55,7	25,5	106,6	52,5	218000,6	81,1	10,2	18,3
	2016–2017	401	54,3	25,5	106,6	52,1	522256,4	81,1	8,9	16,3



**Ryc. 2.** Średnie wartości odpływu ścieków z oczyszczalni w Łęgu w latach 2016–2017 w czasookresie dobowym  
**Fig. 2.** Average values of sewage outflow from the treatment plant in Łęg in 2016–2017 in a daily period

Na podstawie rozstępu i odchylenia standardowego można stwierdzić, że większą zmiennością ilości odpływających ścieków z obiektu charakteryzował się rok 2017. Mimo tego odpływ roczny w tym roku był niższy niż w roku poprzednim o 86255,1 m<sup>3</sup>. Warto również zwrócić uwagę na specyficzną sytuację, która wystąpiła 17.06.2016 roku. Na rycinie 2 można zauważyć, że w tym dniu – jak podaje IMGW – wystąpiły wysokie opady atmosferyczne w wysokości 25,4 mm · d<sup>-1</sup>. Według portalu „Polscy Łowcy Burz – Skywarn Polska” przez wschodnią część Polski przechodziła w tym dniu burza wielokomórkowa typu bow echo, charakteryzująca się specyficznym kształtem w postaci łuku na obrazach odbiciowości radarowej. Ponadto zjawisku temu towarzyszyły również występujące miejscami superkomórki burzowe będące najgroźniejszym typem chmur burzowych, odpowiadające za długotrwałe, intensywne opady deszczu (Podsumowanie..., 2017). Mając to na uwadze, można przypuszczać, że gwałtowne i obfite opady doprowadziły do przepełnienia instalacji deszczowej, a w konsekwencji tego nadmiar wód opadowych nie był w całości zbierany. Odzwiercie-

dła się to w ilości odpływu ścieków z oczyszczalni, która wynosiła 46,22 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>. Można sądzić, że część wód infiltrowała w głąb gleby, natomiast reszta mogła powierzchniowo spływać do wód płynących lub stojących.

W latach 2016–2017 średnia roczna temperatura wynosiła 9,3°C. W przypadku wielolecia 2006–2015 była ona niższa o 0,3°C, co wskazuje na tendencję wzrostową temperatury powietrza, czyli cieplejsze lata w analizowanym okresie badawczym. Potwierdzają to w swoich publikacjach Skowera i in. (2014, 2016) oraz Ziernicka-Wojtaszek i Kopcińska (2020). Analizując rycinę 3, można zauważyć, że najcieplejszym miesiącem w okresie 2016–2017 był lipiec, którego średnia dobowa temperatura powietrza wynosiła 19,8°C, natomiast najchłodniejszy był styczeń, którego średnia dobowa temperatura powietrza wynosiła -4,4°C. Podstawowe statystyki opisowe dla tych okresów przedstawiono w tabelach 6 oraz 7. Można zaobserwować, że lata 2016 i 2017 pod względem temperatury były do siebie zbliżone. W przeważającej części rok 2016 był cieplejszy, za wyjątkiem miesięcy: marzec, sierpień, październik–grudzień.

**Tabela 6.** Podstawowe statystyki opisowe dobowych temperatur i sum opadów dla miesiąca stycznia w latach 2016–2017  
**Table 6.** Basic descriptive statistics of daily temperatures and precipitation totals for January in 2016–2017

Zmienna	Miesiąc = styczeń, Nważnych = 62			
	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch. std
Średnia dobowa temp.	-4,41290	-19,00000	6,10000	5,411417
Suma dobowa opadów	0,72419	0,00000	6,60000	1,392331
	MAX temp. dobowa		MIN temp. dobowa	
	12,5000		-22,0000	

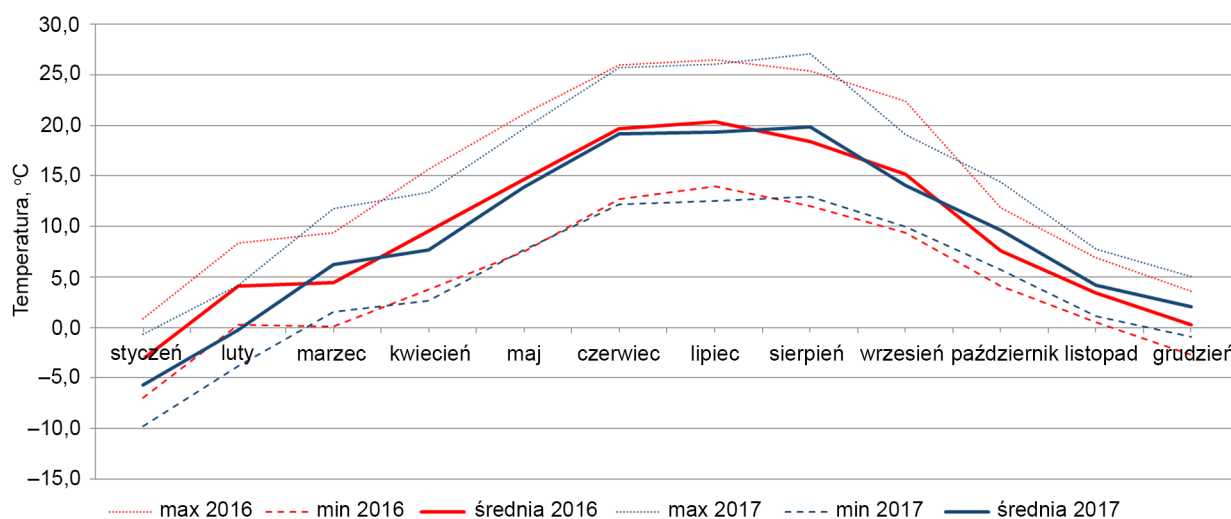
**Tabela 7.** Podstawowe statystyki opisowe dobowych temperatur i sum opadów dla miesiąca lipca w latach 2016–2017  
**Table 7.** Basic descriptive statistics of daily temperatures and precipitation totals for July in 2016–2017

Zmienna	Miesiąc = lipiec, Nważnych = 62			
	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch. std
Średnia dobowa temp.	19,79516	15,30000	26,00000	2,718330
Suma dobowa opadów	2,84677	0,00000	47,40000	8,184606
	MAX temp. dobowa		MIN temp. dobowa	
	33,8000		6,2000	

W porównaniu tych miesięcy do poprzedzającego ich dziesięciolecia 2006–2015 (tabela 8–9) temperatura w lipcu była niższa o 0,4°C od średniej wieloletniej tego miesiąca, a w styczniu niższa od średniej wieloletniej o 2,4°C. W związku z tym, według tabeli 2 dotyczącej klasyfikacji określającej przedziały odchyłeń średniej miesięcznej temperatury powietrza od średniej wieloletniej (Ziernicka, 2000), lipiec należy zaliczyć do miesięcy normalnych termicznie, natomiast styczeń do miesięcy zimnych.

W latach 2016–2017 średnia roczna dobową sumą opadów wynosiła 1,91 mm · d<sup>-1</sup>. Na rycinie 4 moż-

na zauważyć, że w analizowanym okresie najwyższe sumaryczne wartości miesięczne opadu miały miejsce w miesiącach od kwietnia do września (średnio 2,10–2,92 mm · d<sup>-1</sup>) za wyjątkiem czerwca o średniej sumarycznej wartości miesięcznego opadu równej 1,06 mm · d<sup>-1</sup>, a najniższe w miesiącach od grudnia do marca oraz w czerwcu (średnio 0,72–1,95 mm · d<sup>-1</sup>). W porównaniu do wielolecia 2006–2015 średnia roczna dobową sumą opadów wynosiła 1,89 mm · d<sup>-1</sup>. Najwyższe średnie wartości miesięczne opadów mieściły się w granicach średnio 2,35–3,40 mm · d<sup>-1</sup>, a najniższe w granicach 0,91–1,38 mm · d<sup>-1</sup>.



Ryc. 3. Wykres średnich dobowych miesięcznych temperatur w latach 2016–2017

Fig. 3. Graph of average daily monthly temperatures in the years 2016–2017

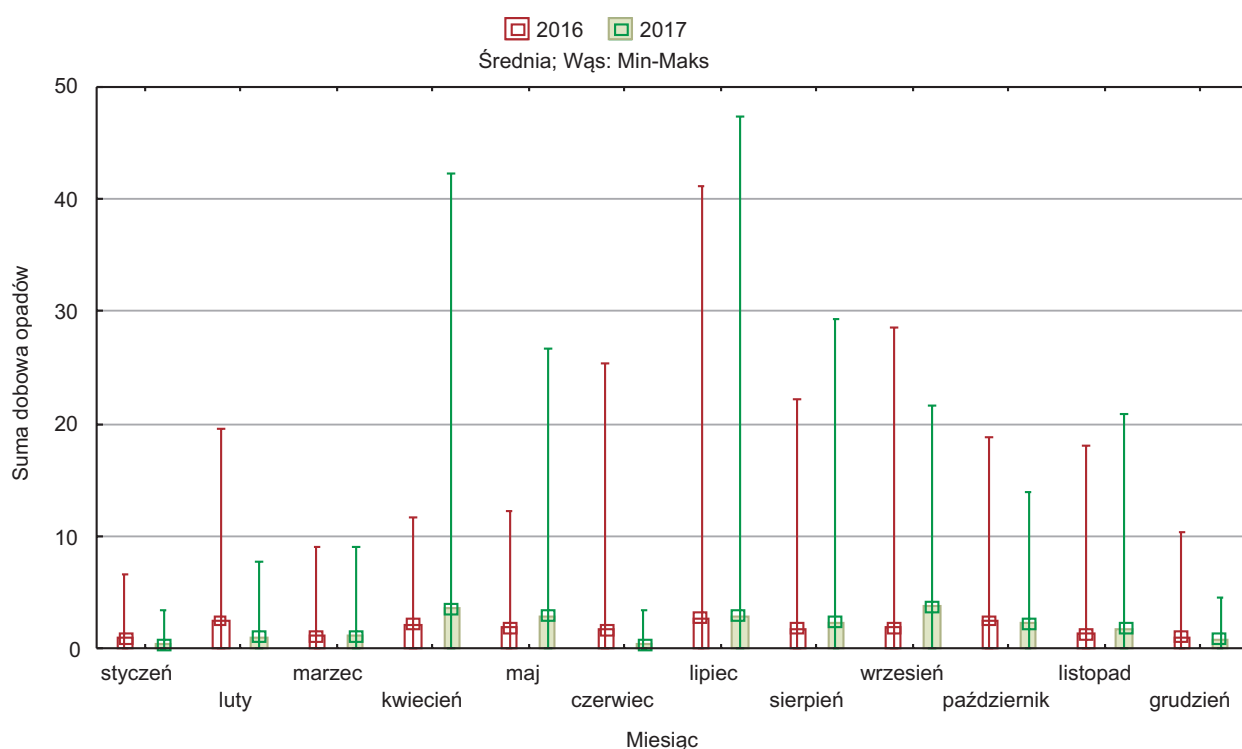
Tabela 8. Podstawowe statystyki opisowe dobowych temperatur i sum opadów dla stycznia dla dziesięciolecia 2006–2015  
Table 8. Basic descriptive statistics of daily temperatures and precipitation totals for the month of January for the decade 2006–2015

Zmienna	Miesiąc = styczeń, Nważnych = 310			
	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch. std
Średnia dobową temp.	-1,99387	-25,20000	8,50000	5,971995
Suma dobową opadów	1,30968	0,00000	11,80000	2,131237
	MAX temp. dobową		MIN temp. dobową	
	13,9000		-30,0000	

**Tabela 9.** Podstawowe statystyki opisowe dobowych temperatur i sum opadów dla miesiąca lipca dla dziesięciolecia 2006–2015

**Table 9.** Basic descriptive statistics of daily temperatures and precipitation totals for the month of July for the decade 2006–2015

Zmienna	Miesiąc = lipiec, Nważnych = 310			
	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch. std
Średnia dobowa temp.	20,17452	12,80000	28,10000	3,096490
Suma dobowa opadów	3,39581	0,00000	65,00000	8,310921
	MAX temp. dobowa		MIN temp. dobowa	
	36,1000		5,1000	



**Ryc. 4.** Średnie dobowe sumy opadów dla poszczególnych miesięcy w latach 2016–2017

**Fig. 4.** Average daily sums of precipitation for individual months in 2016–2017

Przeanalizowano miesiące późnowiosenne oraz letnie od maja do sierpnia 2016–2017 roku, dokonano klasyfikacji dobowego natężenia opadów atmosferycznych na podstawie tabeli 3 i przedstawiono je w tabeli 10. Jak podaje Chmielowski (2019), grupę I intensywności opadów o przedziale 0 do 1 mm · d<sup>-1</sup> można uznać za taką, która nie generuje

odpływu do kanalizacji. W związku z powyższym, liczba dni bez opadu oraz z opadem do 1 mm · d<sup>-1</sup> wynosiła średnio 87. Liczba dni z opadem od 1–10 mm · d<sup>-1</sup> (grupa II) wynosiła średnio 29. Opady o wysokości 10–20 mm · d<sup>-1</sup> (grupa III) występowały 3 razy, natomiast opady od 20–30 mm · d<sup>-1</sup> (grupa IV) również około 3 razy. W przedziale 30–40 mm · d<sup>-1</sup>



(grupa V) opady nie występowały, natomiast powyżej 40 mm · d<sup>-1</sup> (grupa VI) opady wystąpiły około 1 raz. Porównując to do dziesięciolecia 2006–2015, średnia liczba dni bez opadu oraz z opadem do 1 mm · d<sup>-1</sup> (grupa I) wynosiła 82, a z przedziału 1–10 mm · d<sup>-1</sup> (grupa II) utrzymywała się na poziomie 28 dni. Opady o wysokości 10–20 mm · d<sup>-1</sup> (grupa III) występowały 9 razy, natomiast opady od 20–30 mm · d<sup>-1</sup> (grupa IV) około 2 razy. W przedziale 30–40 mm · d<sup>-1</sup> (grupa V) liczba dni z opadem wynosiła średnio 1 dzień, a powyżej 40 mm · d<sup>-1</sup> (grupa VI) również był to 1 dzień. Wskazuje to na fakt, że czas trwania opadu się zmniejsza, natomiast wzrasta jego intensywność, a także wzrasta liczba dni bez opadów. Potwierdzają to w swoich publikacjach Skowera i in. (2014, 2016), Ziernicka-Wojtaszek i Kopcińska (2020). Według charakterystyki opadowej Tomaszewskiej (1994) (tabela 1), w porów-

naniu do wielolecia, miesiące: maj, lipiec i sierpień, które osiągnęły odpowiednio 76%, 84% i 89% normy wieloletniej, można zaliczyć do miesięcy przeciętnych. W przypadku czerwca, który osiągnął 38% normy wieloletniej, zgodnie z klasyfikacją należy go zaliczyć do miesięcy bardzo suchych.

W tabeli 11 przedstawiono wzajemną korelację pomiędzy opadem atmosferycznym a odpływem ścieków z oczyszczalni. Należy stwierdzić, że wraz ze wzrostem opadu atmosferycznego wzrasta odpływ ścieków oczyszczonych, o czym świadczą dodatnie wartości współczynnika „r”. Wyniki analizy korelacji są istotne statystycznie na poziomie istotności 0,001. Dokonując interpretacji względem wzajemnej siły korelacji analizowanych danych, zgodnie z klasyfikacją Guilforda (1965) (tabela 4), dwulecie 2016–2017 wykazywało zależność przeciętną. Rozpatrując współ-

**Tabela 10.** Klasyfikacja dobowego natężenia opadów deszczu miesiące późnowiosennych i letnich maj-sierpień (Źródło: klasyfikacja własna na podstawie Chmielowskiego (2019))

**Table 10.** Classification of the daily rainfall intensity in the late spring and summer months May-August (Source: own classification based on Chmielowski (2019))

Numer grupy	I	II	III	IV	V	VI
Ilość opadu [mm · d <sup>-1</sup> ]	< 1	1–10	10–20	20–30	30–40	> 40
Lata 2016–2017						
Liczba dni	87	29	3	3	0	1
Wielolecie 2006–2015						
Liczba dni	82	28	9	2	1	1

**Tabela 11.** Zbiorcze zestawienie korelacji liniowej (Pearsona) pomiędzy opadem atmosferycznym i odpływem ścieków

**Table 11.** Summary of the linear (Pearson) correlation between precipitation and sewage runoff

Lata 2016–2017			Rok 2016			Rok 2017		
	Odpływ ścieków	Opad atmosferyczny		Odpływ ścieków	Opad atmosferyczny		Odpływ ścieków	Opad atmosferyczny
Odpływ ścieków	1		Odpływ ścieków	1		Odpływ ścieków	1	
Opad atmosferyczny	0,456571	1	Opad atmosferyczny	0,258126	1	Opad atmosferyczny	0,613089	1
Istotność	p < 0,001		Istotność	p < 0,001		Istotność	p < 0,001	

zależność dla poszczególnych lat, można zauważyć, że rok 2016 charakteryzował się słabą zależnością liniową. Tendencja jest widoczna, jednak występują odstępstwa. W przypadku roku 2017 była to zależność wysoka.

## DYSKUSJA

Odpływ z oczyszczalni ścieków w badanym okresie 2016–2017 charakteryzował się dużą zmiennością. Można zauważyć tendencję wzrostową dla średniego odpływu ścieków. W 2016 roku było to  $53,11 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , natomiast w roku 2017 było to już  $55,73 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Prawdopodobną przyczyną tak wysokich odpływów w roku 2017 mogły być opady deszczu. Na podstawie ryciny 4 stwierdzono charakterystyczną przewagę opadów letnich nad zimowymi, co jest charakterystyczne dla umiarkowanej strefy klimatycznej, w której znajduje się Polska. W okresie zimowym rośnie liczba dni z niskimi opadami lub ich brakiem, natomiast w okresie letnim rośnie liczba dni z wysokimi burzowymi opadami. Potwierdzają to badania wykonane dla Polski południowej przez zespoły: Skowera i in. (2014, 2016) Skowera i Wojkowski (2015) oraz Ziernicka-Wojtaszek i Kopcińska (2020). Na podobną zależność zwracali również uwagę w swoich publikacjach Olechnowicz-Bobrowska i in. (2005), Wąsik i in. (2016), Młyński i in. (2017, 2018). Charakterystyczny odpływ z oczyszczalni miał również miejsce w lutym i marcu 2016 roku, czego najbardziej prawdopodobną przyczyną było topnienie pokrywy śnieżnej. Jak podaje Kaczor (2011), zwiększony dopływ ścieków do obiektu, a w konsekwencji odpływ, nie jest powodowany tylko i wyłącznie przez zwiększoną aktywność człowieka wynikającą z naturalnych czynności życia codziennego. Istotną rolę odgrywają tu również wody obce. Są to przede wszystkim wody infiltracyjne, czyli wody gruntowe przenikające do kanalizacji przez wszelkiego rodzaju uszkodzenia i nieszczelności instalacji lub na przykład otwory wentylacyjne studzienek, a także przypadkowe, występujące w wyniku topnienia pokrywy śnieżnej lub intensywnych opadów deszczu (Łomotowski i Szpindor, 1999, Kaczor, 2011). Wody obce miesząc się ze ściekami surowymi dopływającymi do oczyszczalni wypływają niekorzystnie na jej pracę, w wyniku czego może dochodzić do przeciążenia hydraulicznego obiektu,

a także nawet do obniżenia temperatury ścieków. Zaburzony zostaje wtedy szereg określonych działań dotyczących prawidłowego cyklu działania oczyszczalni pozwalającego na odpowiednie oczyszczenie ścieków odprowadzanych do odbiornika. Jest to niezwykle istotny problem, na który uwagę oprócz Kaczora (2011) zwracali też Michalska i Pecher (2000), Franz (2007), oraz Młyńska i in. (2017a).

## WNIOSKI

1. Analiza średnich odpływów ścieków z oczyszczalni charakteryzowała się dużym zróżnicowaniem, którego wielkości zawierały się w przedziale od  $25,5$  do  $106,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , jednak najczęściej występowały odpływy z zakresu  $47,53$  do  $57,37 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .
2. Kilukrotnie wystąpiły sytuacje przeciążenia hydraulicznego obiektu, jednak nigdy nie została przekroczona maksymalna ilość odprowadzanych ścieków określona w pozwoleniu wodnoprawnym na poziomie  $195,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .
3. Analiza czynników klimatycznych wskazuje na tendencję wzrostową temperatury powietrza oraz mniejsze sumy opadów, czyli cieplejsze i bardziej suche lata w okresie 2016–2017 niż w okresie 2006–2015.
4. Na przestrzeni lat czas trwania opadu na terenie południowej Polski zmniejsza się, natomiast wzrasta jego intensywność, a także liczba dni bez opadów i dni z opadem do  $1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ .
5. Analiza korelacji opadu atmosferycznego i odpływu ścieków na poziomie istotności  $p < 0,001$  wykazała, że deszcze wpływają na wzrost odpływu ścieków oczyszczonych z oczyszczalni obsługującej aglomerację Połaniec.

## BIBLIOGRAFIA

- Aktualizacja Krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych – 2017. (2017). Warszawa: Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej.
- Barnett, T., Zwiers, F., Hengerl, G., Allen, M., Crowley, T., Gillett, N., Hasselmann, K., Jones, P., Santer, B., Schnur, R., Scott, P., Taylor, K., Tett, S. (2005). Detecting and attributing external influences on the climate system: A review of recent advances. *Journal of Climate*, 18(9), 1291–1314.

- Bartoszek, K., Baranowska, A., Kukla, Ł., Skowera, B., Węgrzyn, A. (2021). Spatiotemporal Assessment and Meteorological Determinants of Atmospheric Drought in Agricultural Areas of East-Central Poland. *Agronomy*, 11(12), 2405.
- Bergel, T., Pawełek, J. (2005). Struktura zużycia wody w gospodarstwach wiejskich. W: *Ochrona środowiska, walory przyrodnicze i rozwój turystyki w dolinie Sanu. Materiały z II Konferencji Naukowo-Technicznej „Błękitny San”*, 165–173.
- Blunden, J., Arndt, D. S. (2016). State of the Climate in 2015. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97 (8), Si–S275.
- Chmielowski, K. (2019). Impact of atmospheric precipitation on the variability of wastewater discharge from a selected sewage system in Jaworzno. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 18(2), 39–49.
- Dane...2017. [https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane\\_pomiarowo\\_obszerwacyjne/dane\\_meteorologiczne](https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obszerwacyjne/dane_meteorologiczne) (dostęp na 06.2021)
- Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych (Dz. Urz. WE L 135/40 z 30.05.1991).
- Franz, T. (2007). Spatial classification methods for efficient infiltration measurements and transfer of measuring results.
- Guilford, J. P. (1965). *Fundamental statistics in psychology and education*. New York: McGraw-Hill.
- Kaczor, G. (2011). Wpływ wiosennych roztopów śniegu na dopływ wód przypadkowych do oczyszczalni ścieków bytowych. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 2, 27–34.
- Kaczor, G., Pawełek, J. (1999). Dobowe ilości ścieków w osiedlach wiejskich w aspekcie ich oczyszczania. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie. Sesja Naukowa*, 65, 103–113.
- Kundzewicz, Z. W. (2011). Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki: obserwacje i projekcje. *Landform Analysis*, 15, 39–49.
- Łomotowski, J., Szpindor, A. (1999). *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*. Warszawa: Arkady.
- Michalska, A., Pecher, K. H. (2000). Betriebliche und kostenmäßige Auswirkung des Fremdwassers auf Kanalisation und Kläranlage. *Gewässerschutz – Wasser – Abwasser* 177, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen, 1–27.
- Młyńska, A., Chmielowski, K., Młyński, D. (2017a). Analiza ilości ścieków odpływających z aglomeracji kanalizacyjnej w Sanoku. *Inżynieria Ekologiczna*, 18(3), 202–209.
- Młyńska, A., Chmielowski, K., Młyński, D. (2017b). Analiza zmian jakości ścieków w trakcie procesów oczyszczania na oczyszczalni w Przemysłu. *Inżynieria Ekologiczna*, 18(5), 18–26.
- Młyński, D., Cebulska, M., Wałęga, A. (2018). Trends, variability, and seasonality of Maximum annual daily precipitation in the upper Vistula basin, Poland. *Atmosphere*, 9(8), 313.
- Młyński, D., Chmielowski, K., Młyńska, A. (2017). Analiza zmienności ilościowej ścieków dopływających do wybranych oczyszczalni powiatu sanockiego. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 16(1), 77–90.
- Olechnowicz-Bobrowska, B., Skowera, B., Wojkowski, J., Ziernicka-Wojtaszek, A. (2005). Warunki opadowe na stacji agrometeorologicznej w Garlicy Murowanej. *Acta Agrophysica*, 6(2), 455–463.
- Operat wodnoprawny na wprowadzenie do wód rzeki Czarna Staszowska w km 1 + 400 ścieków oczyszczonych z oczyszczalni ścieków w Łęgu, gm. Połaniec. (2015). Kielce, (maszynopis).
- Podsumowanie sezonu 2016 r. – wybrane dni z najsilniejszymi burzami. (2017). <https://lowcyburz.pl/2017/03/12/podsumowanie-sezonu-2016-r-wybrane-dni-z-najsilniejszymi-burzami/> (dostęp na 06.2021)
- Pozwolenie wodnoprawne, znak OŚ.6341.19.2015IIIIC wydane decyzją Starosty Staszowskiego z dnia 12 listopada 2015 r. (2015). Staszów.
- Projekt nr POIS.01.01.00-000129/14-00 Modernizacja Oczyszczalni ścieków oraz sieci wodociągowej i kanalizacyjnej na terenie gminy Połaniec. (2015). (maszynopis).
- Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D. J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B., Tryjanowski, P. (2007). Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. W: M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, C. E. Hanson (red.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79–131.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. 2019, poz. 1311).
- Skowera, B., Kopcińska, J., Bokwa, A. (2016). Changes in the structure of days with precipitation in Southern Poland in 1971–2010. *Időjárás*, 120(4), 365–381.

- Skowera, B., Kopcinska, J., Kopec, B. (2014). Changes in thermal and precipitation conditions in Poland in 1971–2010. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation*, 46(2), 153–162.
- Skowera, B., Wojkowski, J. (2015). Ciągi dni z opadem w wybranych mezoregionach Polski Południowej w latach 1971–2010. *Acta Agrophysica*, 22(4), 433–443.
- Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Gminy Połaniec. (2016). Łódź.
- Tomaszewska, T. (1994). Susze atmosferyczne na przestrzeni ostatniego czterdziestolecia. *Mater. Konf. XXV Zjazd Agrometeorologów, Olsztyn-Mierki*, 27–29.09.1994. Olsztyn: Wydawnictwo ART, 169–178.
- Wąsik, E., Bugajski, P., Chmielowski, K., Cupak, A. (2016). Wpływ opadów atmosferycznych w Kotlinie Sądeckiej na zmienność ilościową ścieków dopływających do oczyszczalni Wielopole. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2, 543–555.
- Ziernicka, A. (2001). Klasyfikacja odchyleń temperatury powietrza od wartości przeciętnej dla obszaru Polski południowo-wschodniej. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie serii „Inżynieria Środowiska”*, 22, 7–18.
- Ziernicka-Wojtaszek, A., Kopcińska, J. (2020). Variation in Atmospheric Precipitation in Poland in the years 2001–2018. *Atmosphere*, 11(8), 794.

## THE IMPACT OF PRECIPITATION ON THE VARIABILITY OF WASTEWATER DISCHARGE FROM THE AREA OF POŁANIEC AGGLOMERATION

### ABSTRACT

#### Aim of the study

The aim of study was to determine the influence of precipitation on the variability of wastewater discharge from the wastewater treatment plant located in Łęg in Połaniec agglomeration.

#### Material and methods

The conclusions were made on average daily outflows, basic descriptive statistics concerning the quantitative characteristics of the outflows from the treatment plant in Łęg were also determined. The precipitation data obtained from the meteorological station in Chorzelów, located 14.5 km from the treatment plant in Łęg, was used to determine the average daily sums of atmospheric precipitation and the number of days with precipitation. The data on the daily precipitation was grouped according to the size and then compared with the average daily sewage outflows from the treatment plant.

#### Results and conclusions

The statistical analysis showed a significant influence of precipitation on the increased outflow of sewage from the treatment plant. Over the years there has been an upward trend in air temperature and smaller amounts of precipitation which means warmer and drier summers.

**Keywords:** precipitation, sewage, treatment plant