INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 3/IV/2013, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 305–323
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

O POPRAWNOŚCI WZORÓW CHOMICZA NA OBLICZANIE OPADÓW MIARODAJNYCH

Stanisław Węglarczyk
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

ON THE CORRECTNESS OF THE CHOMICZ EQUATIONS FOR DESIGN RAINFALL CALCULATIONS

Streszczenie

Stosowany głównie jako model porównawczy, wzór Chomicza z 1953 r. na miarodajną wysokość opadu w zależności od czasu trwania oparty został na nie całkiem adekwatnych danych, a przedstawione podejście nie zostało wystarczająco uzasadnione, co rodzi wątpliwości dotyczące wiarygodności metody. Niezależnie bowiem od skromności i adekwatności baz danych opadowych z połowy zeszłego stulecia, należy podnieść istotne zastrzeżenia dotyczące poprawności modelu opadu miarodajnego opracowanego dla prawdopodobieństw przewyższenia 10%, 20%, 50% i 100%. Najważniejsze zastrzeżenie dotyczy poprawności przyjętej przez Chomicza metody przedłużania opadu poza zmierzony czas trwania. Metoda ta jest trudna do zaakceptowania, gdyż zakłada, że najwyższe przedziałowe natężenie opadu przypada na koniec zdarzenia opadowego, czego obserwacje nie uzasadniają. Ponadto liczba przedłużonych w ten sposób opadów, czyli liczba półempirycznych danych opadowych, zastosowanych do budowy modelu opadu miarodajnego silnie rośnie z czasem trwania tego opadu przewyższając w skrajnym przypadku, dla najdłuższego czasu trwania 180 minut, aż dwukrotnie liczbę danych oryginalnych. Brak jest również uzasadnienia przyjętego kryterium granicy przedłużania opadu.

Słowa kluczowe: opad miarodajny, wzór Chomicza

Summary

The Chomicz model of 1953 for DDF curves, used in Poland mainly as a comparative model, is based on not quite adequate data and the approach presented by Chomicz was not substantiated enough, which raises serious doubts on the correctness of the method. Of course, the scarcity and relevance of the then data bases should be taken into account. However, independently of that problem, there are substantial reservations about the correctness of the design rainfalls developed by Chomicz for exceedance probabilities 10%, 20%, 50% and 100%. The most significant reservation concerns the correctness of the method of extending measured rainfall depth over its measured duration. The method can hardly be accepted, because it assumes that that the greatest rainfall interval intensity occurs in the end of the rainfall event, which is not supported by observations. Moreover, the number of extended rainfall depths, i.e., the number of semi-empirical values, used to develop the model of design rainfall, increases strongly with rainfall duration doubling the number of original data in the extreme case of the longest duration of 180 minutes. Also, no rationale is given for adopted criterion for the time limit of rainfall extension over the measured duration.

Key words: *design rainfall, Chomicz equation*

WSTĘP

Wymiarowanie systemów odwodnień wymaga obliczania T-letniego ($T \geq$ 1 rok) opadu o zadanym czasie trwania t_m – tzw. opadu miarodajnego lub opadu projektowego. W Polsce, w odróżnieniu od wielu krajów, nie opracowano dotychczas metody, która jednocześnie miałaby zadowalające podstawy merytoryczne oraz byłaby powszechnie zaakceptowana lub zalecana przez właściwą instytucję. Niewątpliwie najbardziej popularną metodą w Polsce są wzory W. Błaszczyka z 1954 r. [np. PN-S-02204, 1997; Licznar P., Łomotowski J., 2005; Kotowski A., Kaźmierczak B., 2009; Kotowski i in., 2010, Edel R., 2010]. Fakt ten jest do pewnego stopnia zdumiewający, zarówno z powodu znaczącego ilościowego i jakościowego wzrostu opadowych baz danych, kontrastującego z niewielką ilością dostępnych i wiarygodnych danych dostępnych w latach 50. zeszłego stulecia, jak i z powodu metody, jaka była zastosowana do opracowania podanych przez Błaszczyka [1954] wzorów. Jak wykazano w pracy S. Węglarczyka [2013] wzory te nie znajdują uzasadnienia zarówno w sposobie

wykorzystania przez Błaszczyka [1954] danych jak i w sposobie wyprowadzenia i dlatego nie powinny być stosowane. W pracy opublikowanej rok wcześniej od pracy Błaszczyka, K. Chomicz [1953] posługując się tymi samymi danymi, co Błaszczyk, opublikował swoje wzory na opady prawdopodobne. Jest rzeczą nieco tajemniczą, dlaczego Błaszczyk znając pracę Chomicza nie uznał niemal poprawnego określenia przez tego ostatniego długości okresu obserwacji (37 lat a nie 67), co w konsekwencji spowodowało znaczne obniżenie wartości opadu branych przez Błaszczyka do opracowania swoich wzorów.

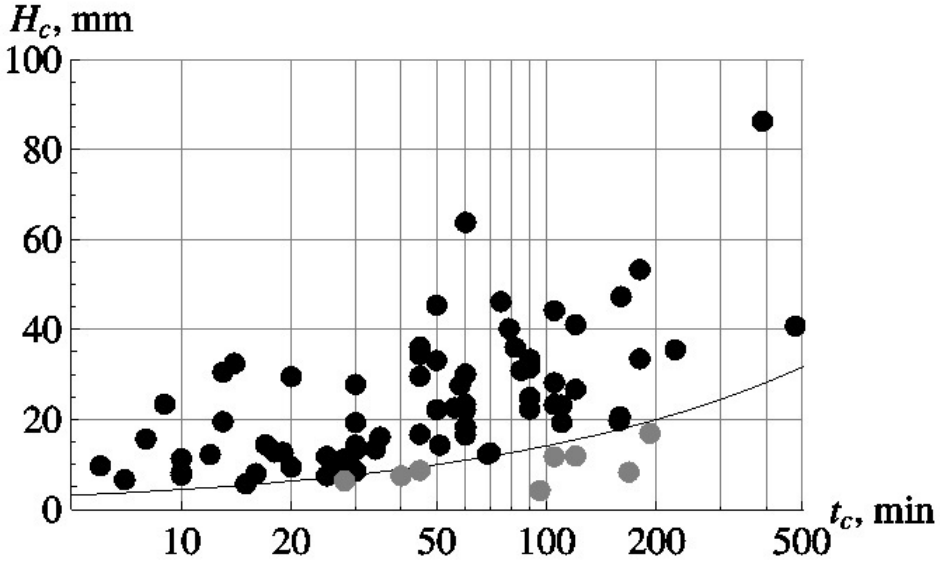
Wzory Chomicza nie znalazły takiego zastosowania, jak wzory Błaszczyka, ale są powoływane jako przykład modelowania lub jako wzory porównawcze (np. Dębski K. [1970], Kotowski A., Kaźmierczak B. [2009], Kotowski A. [2011]). Dlatego warto – co jest celem niniejszej pracy – przeprowadzić krytyczną analizę podejścia zastosowanego przez Chomicza [1953], a zwłaszcza zbadać merytoryczne podstawy wyprowadzonych i proponowanych przez niego jako normowe wzorów.

W całej pracy terminy „opad" i „deszcz" są traktowane jako synonimy.

DANE WARSZAWSKIE Z OKRESU 1837-1925

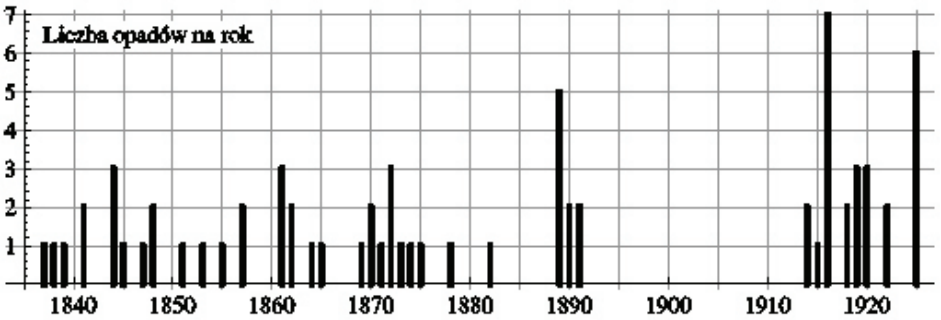
Model Chomicza [1953] oparty jest na analizie 71 spośród 79 opadów deszczu zmierzonych w Warszawie w latach 1837-1925, a podanych m.in. przez Rybczyńskiego i in. [1933, Tablica XVI, str. 47], zwanych dalej w pracy danymi lub opadami Pomianowskiego. Dane te są zamieszczone w czterech pierwszych kolumnach tabeli 1 identycznych z czterema pierwszymi kolumnami Tablicy 1 pracy Chomicza [1953]. Wszystkie 79 opadów ilustruje rysunek 1, a rysunek 2 przedstawia z kolei liczbę opadów w kolejnych latach okresu 1837-1925.

Nie wiadomo jak opady te zostały zmierzone i jakie było kryterium, na podstawie którego zostały wybrane. Podręcznik Rybczyńskiego i in. [1933], gdzie zamieszczona jest tabela opadów Pomianowskiego milczy na ten temat. Chomicz [1953], korzystający z tych samych danych, widział ten problem: „(...) musimy przede wszystkim stwierdzić, czy obserwacje z danego okresu są kompletne. Musimy zatem wyjaśnić, czy nie było w obserwacjach przerw i czy kryteria przy ocenie zjawiska były zawsze takie same. Otóż odnośnie przytoczonej serii spostrzeżeń w Warszawie trudno coś kategorycznego na ten temat powiedzieć."



Rysunek 1. Zbiór 79 opadów Pomianowskiego. Czarne punkty oznaczają 71 opadów z tabeli 1, szare – 8 opadów poniżej linii $h = \sqrt{2t}$ i z tego powodu wykluczonych z analizy

Figure 1. Series of 79 Pomianowski rainfalls. Black points denote 71 rainfalls presented in Table 1, gray points – 8 rainfalls below the $h = \sqrt{2t}$ line and excluded from the analysis.



Rysunek 2. Rozkład liczby 71 opadów w kolejnych 89 latach okresu 1837-1925. Tylko 36 lat to lata z obserwacjami

Figure 2. Distribution of 71 rainfalls in the consecutive 89 years of the 1837-1925 period. Only 36 years are years with observations

Nieco więcej informacji na ten temat można znaleźć w pracy P. Błaszczyka [1988]: „Wzór ten [tj. wzór W. Błaszczyka [1954], dopisek SW] powstał w wyniku opracowania 67-letniego zbioru obserwacji pluwiograficznych z terenu Warszawy. Były to obserwacje punktowe, tzn. natężenie i czas opadu określane były dla całej Warszawy na podstawie notowań przyrządu umieszczonego w jednym punkcie. W przypadku notowań opadu w kilku punktach obserwacyjnych, wybierano do zbioru obserwacje charakteryzujące się największym średnim natężeniem." Należy tu dodać uwagę, że w rzeczywistości omawiany zbiór opadów nie był zbiorem 67-letnim tylko 37-letnim (bo tylko 37 lat to lata z podanymi opadami) i taką wartość Chomicz [1953] przyjął do analizy. Jednakże, usuwając ze zbioru Pomianowskiego 8 opadów nie spełniających warunku $H_c \geq \sqrt{2t_c}$, Chomicz usunął opad z 1.07.1863 roku zmniejszając – jak pokazuje tabela 1 i rys. 2 – długość okresu pomiarowego do 36 lat.

Tabela 1. Deszcze warszawskie spełniające warunek $H_c \geq \sqrt{2t_c}$ uporządkowane przez Chomicza według malejącego współczynnika wydajności $A = H_c / \sqrt{t_c}$. Dane w kolumnach *Data*, H_c i t_c to oryginalne dane Pomianowskiego [za Rybczyńskim i in., 1933]. Liczby w kolumnach 5,...,180 to wysokości H_m opadu w mm przeliczone według wzoru : $H_m = h(t_m)$. Liczby podkreślone oznaczają wysokości opadu przedłużonego, tj. dla czasów trwania $t_m > t_c$.

Table 1. Warsaw rainfalls meeting the condition $H_c \geq \sqrt{2t_c}$ sorted decreasingly by Chomicz according to their efficiency coefficient $A = H_c / \sqrt{t_c}$. Data in columns *Data*, H_c and t_c is the original Pomianowski data [acc. to Rybczyński *et al*., 1933]. Numbers in columns 5, ..., 180 denote design rainfall totals H_m in mm calculated according to equation : $H_m = h(t_m)$. Underlined values are the totals of extended rainfall, i.e., for durations $t_m > t_c$.

Lp.	Data	Wysokość H_c, mm	Czas trwania t_c, min	Zadany czas trwania t_m, min							
				5	15	30	45	60	90	120	180
1	1918-07-05	32,8	14	19,6	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8	
2	1916-08-17	30,8	13	19,1	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	
3	1861-07-07	64,1	60	18,5	32,0	45,3	55,5	64,1	64,1	64,1	64,1
4	1916-08-17	23,7	9	17,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7		
5	1925-07-27	29,8	20	14,9	25,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	
6	1869-06-15	45,7	50	14,5	25,0	35,4	43,4	45,7	45,7	45,7	45,7

Lp.	Data	Wysokość H_c, mm	Czas trwania t_c, min	Zadany czas trwania t_m, min							
				5	15	30	45	60	90	120	180
7	1861-07-11	16	8	12,6	16,0	16,0					
8	1925-07-27	19,8	13	12,3	19,8	19,8	19,8	19,8			
9	1855-06-21	36,4	45	12,1	21,0	29,7	36,4	36,4	36,4	36,4	36,4
10	1878-06-14	46,5	75	12,0	20,8	29,4	36,0	41,6	46,5	46,5	46,5
11	1838-06-20	34,7	45	11,6	20,0	28,3	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7
12	1844-08-08	28,1	30	11,5	19,9	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	
13	1857-07-07	33,4	50	10,6	18,3	25,9	31,7	33,4	33,4	33,4	
14	1916-08-17	40,5	79	10,2	17,6	25,0	30,6	35,3	40,5	40,5	40,5
15	1844-05-23	29,9	45	10,0	17,3	24,4	29,9	29,9	29,9	29,9	
16	1851-07-18	86,6	390	9,8	17,0	24,0	29,4	34,0	41,6	48,0	58,8
17	1865-06-18	44,5	105	9,7	16,8	23,8	29,1	33,6	41,2	44,5	44,5
18	1925-07-26	10	6	9,1	10,0	10,0					
19	1889-06-20	36,3	82	9,0	15,5	22,0	26,9	31,1	36,3	36,3	36,3
20	1882-07-26	53,6	180	8,9	15,5	21,9	26,8	30,9	37,9	43,8	53,6
21	1864-07-12	30,4	60	8,8	15,2	21,5	26,3	30,4	30,4	30,4	
22	1872-08-21	41,4	120	8,5	14,6	20,7	25,4	29,3	35,9	41,4	41,4
23	1889-07-14	47,6	160	8,4	14,6	20,6	25,2	29,1	35,7	41,2	47,6
24	1920-08-10	11,6	10	8,2	11,6	11,6					
25	1889-05-06	27,9	58	8,2	14,2	20,1	24,6	27,9	27,9	27,9	
26	1891-05-28	12,5	12	8,1	12,5	12,5					
27	1847-08-06	19,6	30	8,0	13,9	19,6	19,6	19,6			
28	1925-07-31	14,7	17	8,0	13,8	14,7					
29	1874-08-29	33,7	90	7,9	13,8	19,5	23,8	27,5	33,7	33,7	
30	1841-07-02	31,2	85	7,6	13,1	18,5	22,7	26,2	31,2	31,2	
31	1870-06-08	31,8	90	7,5	13,0	18,4	22,5	26,0	31,8	31,8	
32	1862-05-12	22,5	50	7,1	12,3	17,4	21,3	22,5			
33	1920-08-27	13,1	18	6,9	12,0	13,1					
34	1861-07-16	22,9	56	6,8	11,9	16,8	20,5	22,9	22,9		
35	1853-06-19	23,6	60	6,8	11,8	16,7	20,4	23,6	23,6		
36	1889-04-10	13	19	6,7	11,6	13,0					
37	1844-08-14	22,4	60	6,5	11,2	15,8	19,4	22,4			
38	1890-05-16	28,5	105	6,2	10,8	15,2	18,7	21,5	26,4	28,5	
39	1872-05-11	16,4	35	6,2	10,7	15,2					

Lp.	Data	Wysokość H_c, mm	Czas trwania t_c, min	Zadany czas trwania t_m, min							
				5	15	30	45	60	90	120	180
40	1914-07-30	8,6	10	6,1	8,6						
41	1872-06-16	14,6	30	6,0	10,3	14,6					
42	1845-05-30	25,2	90	5,9	10,3	14,5	17,8	20,6	25,2		
43	1922-05-19	6,9	7	5,8	6,9						
44	1919-07-25	17	45	5,7	9,8	13,9	17,0	17,0			
45	1837-05-13	33,8	180	5,6	9,8	13,8	16,9	19,5	23,9	27,6	33,8
46	1919-07-29	7,9	10	5,6	7,9						
47	1875-10-17	27	120	5,5	9,5	13,5	16,5	19,1	23,4	27,0	
48	1841-09-22	27	120	5,5	9,5	13,5	16,5	19,1	23,4	27,0	
49	1848-08-01	13,5	30	5,5	9,5	13,5					
50	1889-04-08	12,1	25	5,4	9,4	12,1					
51	1871-09-04	18,6	60	5,4	9,3	13,2	16,1	18,6			
52	1890-07-21	35,8	225	5,3	9,2	13,1	16,0	18,5	22,6	26,1	32,0
53	1870-07-13	22,6	90	5,3	9,2	13,0	16,0	18,5	22,6		
54	1918-07-03	13,7	34	5,3	9,1	12,9					
55	1839-05-25	23,6	105	5,1	8,9	12,6	15,4	17,8	21,8		
56	1873-06-07	23,5	110	5,0	8,7	12,3	15,0	17,4	21,3		
57	1848-10-13	16,8	60	4,8	8,4	11,9	16,8	16,8			
58	1916-08-19	11,5	28	4,9	8,4	11,5					
59	1916-06-28	9,7	20	4,8	8,4	9,7					
60	1925-05-24	8,3	16	4,6	8,0						
61	1925-08-27	14,6	51	4,6	7,9	11,2	14,6				
62	1891-08-23	41,1	480	4,2	7,3	10,3	12,6	14,5	17,8	20,6	25,2
63	1919-08-14	19,6	110	4,2	7,2	10,2	12,5	14,5	19,6		
64	1916-06-10	9,5	26	4,2	7,2	9,5					
65	1915-07-14	20,9	159	3,7	6,4	9,1	11,1	12,8	20,9	20,9	
66	1914-07-09	8,8	30	3,6	6,2	8,8					
67	1857-07-02	20	158	3,6	6,2	8,7	10,7	12,3	20,0	20,0	
68	1916-06-15	7,8	25	3,5	6,0						
69	1862-07-13	6	15	3,5	6,0						
70	1920-08-21	12,9	70	3,4	6,0	8,4	12,9	12,9			
71	1922-07-25	12,6	69	3,4	5,9	8,3	12,6	12,6			

Nie podlega dyskusji kwestia niekompletności danych Pomianowskiego. Świadczy o tym choćby fakt, że więcej niż połowa, bo 52 lata, 89-letniego okresu 1837-1925, to lata bez podanych obserwacji. Nie wiadomo, jakie były powody niepodania danych w tych latach: czy brak ten wynika z braku pomiarów opadu, czy też pomiary z pominiętych lat nie zostały podane z powodu niespełnienia pewnego przyjętego kryterium (przyjętych kryteriów), czy za tym kryje się jeszcze inna przyczyna. Chomicz na podstawie dwuletnich obserwacji warszawskich sugeruje, że liczba opadów powinna być większa niż podana przez Pomianowskiego: „należałoby przypuszczać, że liczba ulew w Warszawie wynosi co najmniej około 5 rocznie".

Niektóre z opadów z tabeli 1 zdarzyły się tego samego dnia; są więc prawdopodobnie zależne, co oznaczałoby konieczność zmniejszenia ich liczebności. Fakt taki miał miejsce w dwu dniach: 17.08.1916 r. (3 opady) i 27.07.1925 r. (2 opady).

Nie jest też jasne dokładne znaczenie wartości wysokości H_c opadu i czasu t_c jego trwania: czy czas trwania t_c oznacza czas trwania zdarzenia opadowego (całkowity czas trwania opadu) i wtedy H_c oznacza całkowitą wysokość opadu, czy oznacza taki okres czasu w obrębie opadu, w którym przyrost wysokości opadu jest największy, czy może jest jeszcze inaczej. Chomicz przyjął drugą wersję: „Chcąc zdać sobie sprawę, jak przedstawiają sie największe natężenia lub odpowiadające im sumy opadowe przy kolejno wzrastających odcinkach czasu trwania jednego i tego samego opadu, musimy odwołać sie do danych pluwiograficznych (czas nie jest liczony od początku zjawiska, lecz odpowiada fazom opadu o największym natężeniu).".

W podsumowaniu należy stwierdzić, że dane Pomianowskiego, jakimi posłużył się Chomicz [1953] nasuwają szereg wątpliwości dotyczących ich adekwatności w stosunku do wymagań postawionego problemu. Usprawiedliwieniem ich użycia jest na pewno fakt, że czasy pisania omawianej pracy to czasy skąpych baz danych, a zbiór opadów warszawskich był najprawdopodobniej najliczniejszym zbiorem opadów, jaki Autor omawianej pracy miał do dyspozycji.

MODEL CHOMICZA OPADU MIARODAJNEGO

Procedura budowania przez Chomicza jego modelu opadu miarodajnego, a bardziej precyzyjnie prawdopodobnej wysokości opadu dla zadanego czasu jego trwania, może być przedstawiona jak następuje. Materiałem empirycznym

jest zbiór zmierzonych czasów trwania t_c i zmierzonych wysokości H_c 71 opadów deszczu przedstawionych w tabeli 1, które – według Autora – zdarzyły się w 37 latach. Chomicz porządkuje malejąco te opady według wielkości nazwanej przez siebie współczynnikiem wydajności A zdefiniowanym równaniem

$$A = \frac{H_c}{\sqrt{t_c}} \tag{1}$$

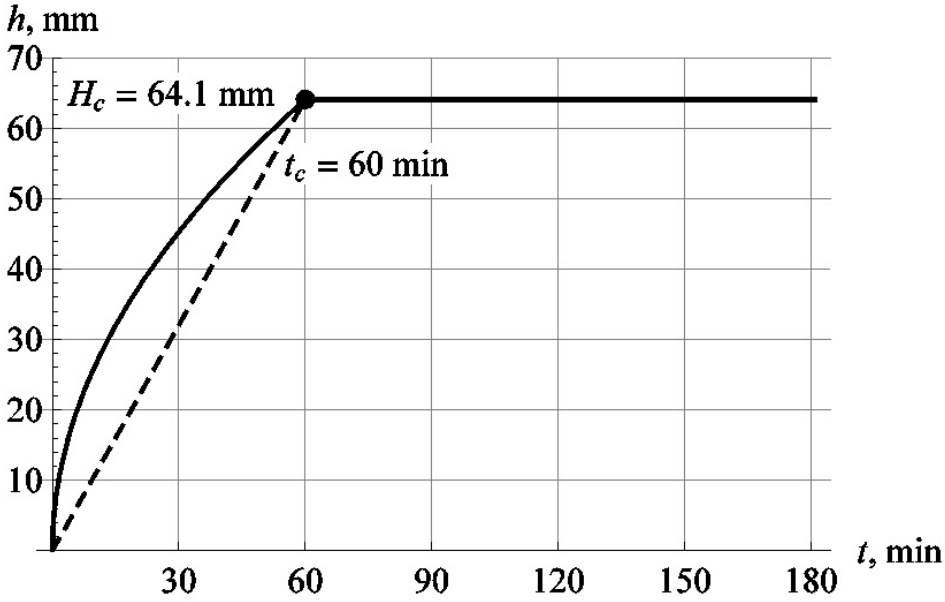
a następnie przyjmuje pewien interpolacyjny model zależności wysokości opadu od czasu t w zakresie $t \in [0, t_c)$: „Jeżeli mianowicie przyjmiemy dla poszczególnych opadów stałą wartość A, to mając dla jakiegoś opadu dane u' i t' możemy wyznaczyć współczynnik wydajności $A' = u'/\sqrt{t'}$. Potrafimy zatem wyznaczyć wysokość maksymalnego opadu dla dowolnie obranego odcinka czasu. Jeżeli np. wiemy, że opad w ciągu 60 minut wynosi 64 mm (dnia 7.7.1861 w Warszawie), to tenże opad w ciągu 15 minut dał warstwę grubości 32 mm". (por. rys. 3, wykres dla $t \leq t_c$). Dalej Autor ekstrapoluje ten model na czas przekraczający zmierzony czas trwania t_c: „traktujemy każdy deszcz nie jako punkt na płaszczyźnie, o odciętej równej czasowi trwania (t') i rzędnej równej wysokości opadu (u'), lecz jako linię złożoną z dwóch odcinków: a) odcinka krzywoliniowego odpowiadającego paraboli $u = A\,t^{0,5}$ (...) dla czasów trwania $t < t'$, b) odcinka prostoliniowego poprowadzonego równolegle do osi czasu w odległości u' – dla czasów trwania $t > t'$." Przekładając powyższe zdania na formę matematyczną dostajemy równanie na kształt opadu zilustrowany na rys. 3:

$$h(t) = \begin{cases} A\sqrt{t} = \dfrac{H_c}{\sqrt{t_c}}\sqrt{t}, & t \leq t_c \\ H_c, & t_c < t \leq t_{max} \end{cases} \tag{2}$$

gdzie ograniczenie t_{max} jest jeszcze w tym momencie nieokreślone.

Pozostaje kwestia ustalenia granicy t_{max} przedłużania poziomej linii $h(t) = H_c$. Chomicz tłumaczy to tak: „Każdy opad dłużej trwający jest również opadem o czasie trwania krótszym, ale **również opad krótkotrwały może być traktowany jak opad o dłuższym czasie trwania** (podkreślenie SW), jeżeli przyjmiemy, że suma jego opadowa wzrastała nieznacznie, tak że wzrost ten może być pominięty. W związku z tym **przy opadach o dłuższych czasach trwania uwzględniamy wszystkie opady krócej trwające o sumach opadowych**

przewyższających wysokość opadu długotrwającego.“ (podkreślenie SW). Drugie zdanie tego cytatu oznacza, że opad trwający np. 14 minut o wysokości 32,8 mm (opad nr 1 z tabeli 1) jest przedłużany do t_{max} = 120 minut, gdyż 32,8 mm jest wartością większą niż najniższa 120 minutowa zmierzona suma opadu $H_{c,min}$ = 27 mm (tabela 2), ale nie jest przedłużany do 180 minut, gdyż najniższa 180 minutowa zmierzona suma opadu $H_{c,min}$ = 33,8 mm (tabela 2), a więc jest wyższa od 32,8 mm.



Rysunek 3. Model Chomicza (linia ciągła) przebiegu czasowego wysokości opadu $h(t)$ (pokazany dla opadu nr 3 z 7 lipca 1861 r., tabela 1) od początku opadu do zmierzonego czasu trwania $t = t_c$ (punkt) i przedłużonego do chwili t_{max} = 180 minut, gdyż jego wysokość $h = H_c$ przekracza wszystkie wysokości $H_{c,min}$ opadu z tabeli 2. Linia przerywana oznacza linię średniego natężenia opadu.

Figure 3. The Chomicz model (continuous line) of time course of rainfall depth $h(t)$ (shown for rainfall no. 3 of 7.07.1861, Table 1) from the beginning of rainfall to the measured duration $t = t_c$ (denoted by point) and to the prolonged duration t_{max} = 180 minutes, as the depth $h = H_c$ exceeds all the depths $H_{c,min}$ of Table 2. Broken line denotes the average rainfall intensity.

Tabela 2. Najmniejsze zmierzone wysokości $H_{c,min}$ opadu z tabeli 1 dla danych czasów trwania $t_m = t_c$.
Table 2. The smallest measured rainfall totals $H_{c,min}$ from Table 1 for given design durations $t_m = t_c$.

Zadany czas trwania t_m, min	15	30	45	60	90	120	180
Najmniejsza wysokość opadu H_c z tabeli 1, mm	6	8,8	17	16,8	22,6	27	33,8

Zastosowana metoda przedłużania czasowego przebiegu wysokości opadu pozwoliła Chomiczowi na zwiększenie liczebności zbiorów wysokości opadu dla zadanych czasów trwania t_m = 15, 30, ..., 180 min. Dokonane przedłużenia są pokazane w tabeli 1 jako wartości podkreślone, a tabela 3 ilustruje ten wzrost ilościowo. Liczba nowych, sztucznych danych silnie zależy od czasu trwania t_m stając się dla t_m = 120 i 180 minut główną informacją, na podstawie której zostały estymowane parametry równań Chomicza .

Tabela 3. Wzrost liczebności zbiorów wysokości opadu dla zadanych czasów trwania t_m spowodowany przedłużeniem czasu trwania opadu poza t_c
Table 3. Increase in the number of rainfall totals for given durations t_m resulting from duration extension over t_c

Zadany czas trwania t_m, min	5	15	30	45	60	90	120	180
Liczba wysokości $h(t_m)$ opadu bez przedłużania czasu trwania opadu	71	60	49	42	32	20	11	5
Liczba wysokości $h(t_m)$ opadu zwiększona wskutek przedłużania czasu trwania opadu	71	71	65	49	48	39	31	15
% zwiększenia liczby opadów dla danego t_m	0%	18%	33%	17%	50%	95%	182%	200%

Zakładając 37 lat obserwacji, zwiększony zbiór opadów oraz przyjmując prawdopodobieństwa przewyższenia 10%, 20%, 50% i 100%, Chomicz wybiera spośród ustawionych malejąco wysokości opadu dla każdego zadanego czasu trwania deszczu t_m = 10, ..., 180 minut wysokości $\hat{H}_{(k)}(t_m)$ o numerach k wynoszących odpowiednio $k = 0{,}1\times37 \approx 4$, $k = 0{,}2\times37 \approx 8$, $k = 0{,}5\times37 \approx 19$ oraz $k =$

1×37 = 37. Rezultaty przypisania wysokości $\hat{H}_{(k)}(t_m)$ opadu danemu prawdopodobieństwu przewyższenia przedstawia tabela 4 zawierająca informacje podane w Tablicach VI-IX omawianej pracy.

Tabela 4. Wartości wysokości opadu $\hat{H}_{(k)}(t_m)$ w mm dla kolejnych miarodajnych czasów trwania t_m dla zadanego prawdopodobieństwa przewyższenia p (zbiór zwiększony)

Table 4. Rainfall depth $\hat{H}_{(k)}(t_m)$ in mm for consecutive rainfall durations and given exceedance probability p (extended data set)

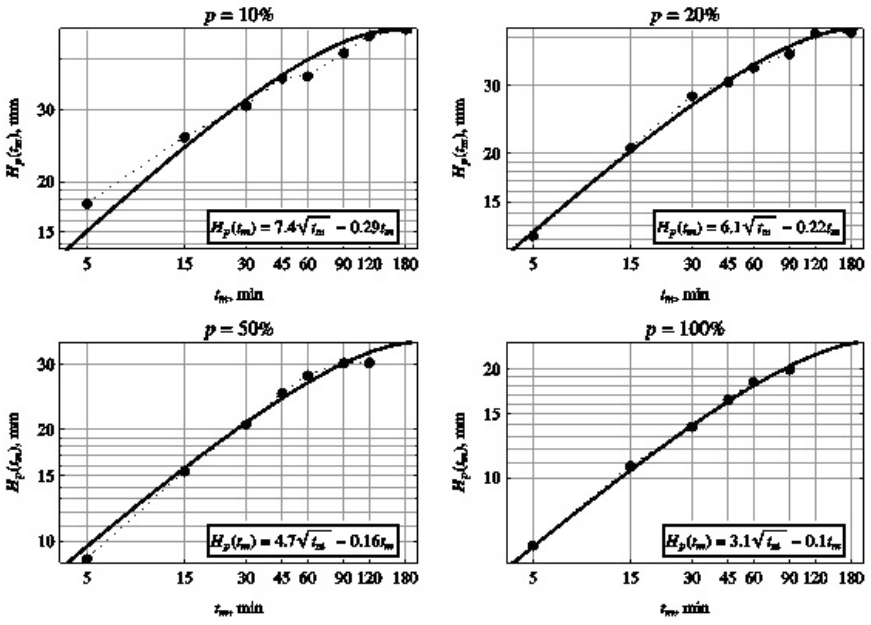
Numer k kolejnej największej wysokości opadu	Zadany czas trwania t_m								
	p	5 min	15 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min	180 min
4	10%	17,7	25,8	30,8	36,0	36,4	41,6	45,7	47,6
8	20%	12,3	20,8	28,3	30,8	33,6	36,4	41,2	41,4
19	50%	9,0	15,5	20,7	25,2	28,1	30,4	30,4	-
37	100%	6,5	10,8	13,9	16,5	18,5	20,0	-	-

Model zależności wysokości $H_p(t_m)$ prawdopodobnego opadu miarodajnego w mm od jego czasu trwania t_m w minutach i prawdopodobieństwa przewyższenia p przyjęty przez Chomicza do dalszych obliczeń miał postać

$$H_p(t_m) = a_p\sqrt{t_m} - b_p \cdot t_m \tag{3}$$

Uzyskane wyniki wraz z parametrami a_p i b_p oszacowanymi przez Chomicza metodą kolejnych przybliżeń przedstawia rysunek 4.

Jak widać z rysunku, model Chomicza dobrze się wpisuje do danych. Najbardziej widoczne względne (procentowe) odchylenie modelu ma miejsce dla $H_{10\%}(t_m = 5)$. Linia $H_{50\%}(t_m)$ jest oparta na wartościach $\hat{H}_{(k)}(t_m)$ do t_m = 120 min, linia $H_{100\%}(t_m)$ – na wartościach $\hat{H}_{(k)}(t_m)$ do t_m = 90 min.



Rysunek 4. Dane z tabeli 4 (punkty) oraz model Chomicza $H_p(t_m)$ (linia ciągła i równanie)

Figure 4. Data from Table 4 (points) and the Chomicz model $H_p(t_m)$ (continuous line and equation)

ANALIZA PODEJŚCIA CHOMICZA I WYNIKÓW JEGO MODELU

Co najmniej trzy kwestie w podejściu Chomicza wymagają dyskusji. Pierwsza z nich dotyczy skutków pomyłkowego przyjęcia przez Chomicza 37-letniego okresu obserwacji zamiast 36-letniego (rys. 2), druga – przyjęcia założenia, że można przedłużać czas trwania opadu poza zmierzony czas t_c, trzecia – przyjęcia granicy t_{max} przedłużania opadu. Nieco poza dyskusją pozostaje problem informacyjnej zawartości serii danych Pomianowskiego, która została użyta do budowy modelu. Jest to na pewno seria danych o ograniczonej wiarygodności (relewantności), gdyż nie wiadomo, jakie opady seria ta reprezentuje.

Można sądzić, że z powodu braku tej informacji Chomicz przyjął *implicite*, że seria warszawska zawiera najwyższe wartości powyżej pewnej nieznanej wartości progowej, różnej dla różnych czasów trwania. Poza dyskusją zostawiona została także ocena wpływu interpolacji w obrębie modelu, tj. obliczania wysokości H_m opadu: $H_m = h(t_m) = A\sqrt{t_m} = H_c\sqrt{t_m/t_c}$ dla czasów $t_m < t_c$.

Wybór opadów o numerach k = 4, 8, 19 i 37 w uporządkowanej malejącej serii danych dla zadanych wartości t_m oznacza, że Chomicz przyjął następujący wzór na empiryczne prawdopodobieństwo przekroczenia k-tej największej wysokości opadu:

$$\mathrm{P}(H \geq \hat{H}_{(k)}) = \frac{k}{n} \tag{4}$$

gdzie n równa się 37 (przyjęta przez Chomicza liczba lat obserwacji), a $\hat{H}_{(k)}$ jest k-tą największą wysokością opadu odpowiadającą danemu czasowi trwania t_m opadu miarodajnego. Mając dane prawdopodobieństwo przekroczenia $\mathrm{P}(H \geq \hat{H}_{(k)})$ wartości $\hat{H}_{(k)}$ można numer k obliczyć z przekształconego wzoru :

$$k = n \cdot \mathrm{P}(H \geq \hat{H}_{(k)}) \tag{5}$$

zaokrąglając otrzymaną wartość k do liczby całkowitej. Dla prawdopodobieństw przekroczenia 10%, 20%, 50% i 100% wartości k wynoszą odpowiednio: 3,7, 7,4, 18,5 i 37, co Chomicz zaokrąglił do liczb 4, 8, 19 i 37.

Konsekwencje przyjęcia 37-letniego zamiast 36-letniego okresu obserwacji

Konsekwencje przyjęcia okresu 37-letniego zamiast 36-letniego pokazane są w tabeli 5. Zastosowany został tutaj ten sam jak poprzednio sposób określania numeru porządkowego k odpowiadającego zadanemu prawdopodobieństwu przewyższenia 10%, 20%, 50% i 100% (równanie), zaokrąglając analogicznie otrzymane liczby. Otrzymano k = 4, 8, 16 i 36 i dla nich odczytano dla danego t_m z tabeli 1 k-tą największą wysokość opadu.

Ze względu na identyczne wartości k dla prawdopodobieństw przewyższenia 10% i 20%, powstałe różnice dotyczą tylko prawdopodobieństw przewyższenia 50% i 100% i są niewielkie; najwyższa z nich wnosi 4,5%, a w wartościach bezwzględnych 1 mm. Wielkość tych zmian nie wymaga większej korekty modelu Chomicza .

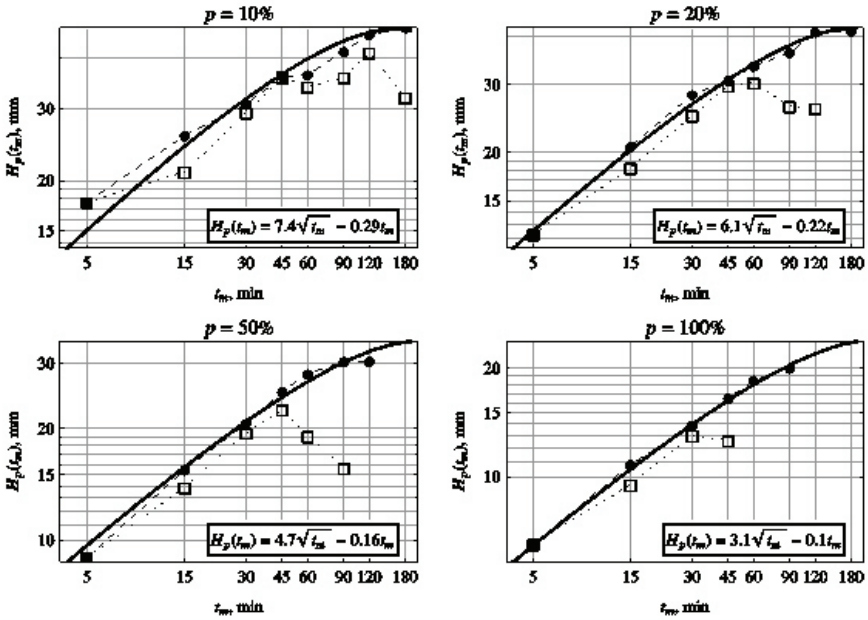
Tabela 5. Porównanie wysokości opadu $\hat{H}_{(k)}$ (mm) dla kolejnych czasów trwania przy zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia *p* dla 37 – i 36-letniego okresu obserwacji.

Table 5. Comparison of rainfall totals $\hat{H}_{(k)}$ (mm) for consecutive durations and given exceedance probability *p* for 37 – and 36-year observation period

Nr wiersza	Wartość *k*	*p*	Zadany czas trwania t_m, min							
			5 min	15 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min	180 min
37-letni okres obserwacji										
1	4	10%	17,7	25,8	30,8	36	36,4	41,6	45,7	47,6
2	8	20%	12,3	20,8	28,3	30,8	33,6	36,4	41,2	41,4
3	19	50%	9,0	15,5	20,7	25,2	28,1	30,4	30,4	-
4	37	100%	6,5	10,8	13,9	16,5	18,5	20,0	-	-
36-letni okres obserwacji										
5	4	10%	17,7	25,8	30,8	36,0	36,4	41,6	45,7	47,6
6	8	20%	12,3	20,8	28,3	30,8	33,6	36,4	41,2	41,4
7	18	50%	9,1	15,5	21,5	25,4	29,1	30,8	30,8	-
8	36	100%	6,7	11,2	14,5	16,5	18,6	20,9	-	-
Różnica w mm pomiędzy odpowiednimi wartościami w wierszach 7 i 9 oraz 8 i 10										
9	18	50%	0,1	0,0	0,8	0,2	1,0	0,4	0,4	-
10	36	100%	0,2	0,4	0,6	0	0,1	0,9	-	-
Procentowa różnica pomiędzy odpowiednimi wartościami w wierszach 7 i 9 oraz 8 i 10										
11	18	50%	1,1%	0,0%	3,9%	0,8%	3,6%	1,3%	1,3%	-
12	36	100%	3,1%	3,7%	4,3%	0,0%	0,5%	4,5%	-	-

Przedłużanie opadu: zwiększanie liczby danych

Zasada zwiększania liczby danych do modelu polegała według Chomicza [1953] na tym, że „przy opadach o dłuższych czasach trwania uwzględniamy wszystkie opady krócej trwające o sumach opadowych przewyższających wysokość opadu długotrwającego.“ Podane przez Chomicza graniczne wysokości zawiera tabela 2. Jak pokazuje tabela 3, zastosowanie tej reguły spowodowało znaczne zwiększenie liczby danych, nawet o 200%. Pojawia się więc zasadnicze dla poprawności modelu pytanie o merytoryczne podstawy takiego „rozmnożenia” danych. Dla porównania, na rys. 5 pokazano, jakimi danymi dysponowałby Chomicz, gdyby zastosował swój model $h(t)$ opadu tylko do czasu t_m nieprzekraczającego t_c.



Rysunek 5. Dane z tabeli 4 (punkty), odpowiadający im model Chomicza $H_p(t_m)$ (linia ciągła i równanie) oraz dane (kwadraty), jakimi dysponowałby Chomicz, gdyby nie wydłużał opadów poza t_c.

Figure 5. Data from Table 4 (points), the corresponding Chomicz model $H_p(t_m)$ (continuous line and equation) and data (squares) that Chomicz would have had if he had not extended rainfalls over t_c.

Rys. 5 pokazuje, że adekwatność danych Pomianowskiego pozostawia nieco do życzenia, gdyż nie zachowują się one w oczekiwany sposób, tj. prawdopodobne wysokości opadu nie są rosnącą funkcją czasu trwania. Prawdopodobnie fakt ten oraz bardzo mała dla najwyższych czasów trwania t_m liczba opadów (tab. 3) były powodem przedłużania opadów przez Chomicza. Niestety Autor nie podaje żadnego uzasadnienia tej ekstrapolacji. Ponadto, przedłużając opady Pomianowskiego za pomocą modelu, Chomicz założył bez dowodu, że część opadu trwająca t_c minut jest jednocześnie częścią końcową zdarzenia opadowego (tj. pojedynczego opadu). Inaczej mówiąc, jeśli zdarzenie opadowe zaczyna się w chwili $t = 0$ i trwa do chwili $t = t_{zo}$, po której przyrost wysokości opadu jest zerowy (aż do początku następnego zdarzenia opadowego), to Autor założył, że największy przyrost opadu równy H_c w przedziale czasu o długości t_c (a więc i największe średnie t_c-minutowe natężenie opadu H_c/t_c) następuje w końcowym przedziale czasu trwania tego zdarzenia opadowego, to jest w przedziale czasu $(t_{zo}–t_c, t_{zo})$. Założenie to jest trudne do utrzymania, gdyż największe Δt-minutowe natężenie opadu może pojawić się w różnych fazach zdarzenia opadowego: początkowej, środkowej lub końcowej. Dobrą ilustracją mogą być tutaj np. hietogramy kilku opadów zamieszczone w pracy L. Starkla [2011] pokazujące jak skomplikowaną postać może mieć przebieg opadu. Jak pokazuje P. Błaszczyk [1988] stosowane w różnych krajach tzw. pluwiogramy wzorcowe są najczęściej symetryczne, co można interpretować jako stwierdzenie faktu, że maksima mogą pojawiać się w dowolnej części opadu.

Chomicz nie uzasadnia także przyjętego przez siebie kryterium kończenia przedłużania opadu, tj. wartości t_{max} w równaniu, kryterium to ma zasadnicze znaczenie dla liczby opadów ekstrapolowanych poza obserwowaną granicę t_c.

PODSUMOWANIE

Stosowany głównie jako model porównawczy wzór Chomicza z 1953 r. na miarodajną wysokość opadu w zależności od czasu trwania oparty został na nie całkiem adekwatnych danych, a przedstawione podejście nie zostało wystarczająco uzasadnione. W konsekwencji powstają wątpliwości dotyczące poprawności metody. Niezależnie bowiem od skromności i jakości ówczesnych baz danych opadowych, należy podnieść istotne zastrzeżenia dotyczące poprawności opracowanego dla prawdopodobieństw przewyższenia 10%, 20%, 50% i 100% modelu opadu miarodajnego. Najważniejsze zastrzeżenie dotyczy poprawności

przyjętej przez Chomicza metody przedłużania opadu poza otrzymany z pomiaru czas trwania t_c. Metoda ta jest trudna do zaakceptowania, gdyż sugeruje, że największy t_c-minutowy przyrost H_c wysokości opadu następuje w końcowej fazie pojedynczego zdarzenia opadowego, czego obserwacje nie potwierdzają. Ponadto liczba przedłużonych w ten sposób wysokości opadu (sztucznych, może lepiej: półempirycznych, danych) zastosowanych do budowy modelu opadu miarodajnego silnie rośnie z czasem trwania tego opadu przewyższając w skrajnym przypadku (t_m = 180 min) aż dwukrotnie liczbę danych oryginalnych. Brak jest również uzasadnienia przyjętego kryterium granicy przedłużania opadu.

BIBLIOGRAFIA

Błaszczyk P. (1988). Metody określana natężeń przepływów ścieków opadowych miarodajnych do wymiarowania kanałów. Ochrona Środowiska, 3-4(36-37) s. 9-14.

Błaszczyk W. (1954). Spływy deszczowe w sieci kanalizacyjnej (Wytyczne do normatywu). Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 9, 1954, s. 262 – 271.

Chomicz K. (1953). Normy opadowe dla potrzeb kanalizacji miast. Gospodarka Wodna, nr 10, s. 377-382.

Dębski K. (1970). Hydrologia. Warszawa: Arkady

Edel R. (2000). Odwodnienie dróg. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności

Kotowski A. (2011). Analiza metodologii modelowania opadów do wymiarowania kanalizacji. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Br 276, Budownictwo i Inżynieria Środowiska z. 58 (2/11), s. 127-146

Kotowski A., Kaźmierczak B. (2009). Ocena przydatności dotychczasowych wzorów na natężenie opadów deszczowych do projektowania odwodnień terenów w Polsce. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2009, nr 11, s. 11–17.

Kotowski A., Kaźmierczak B., Dancewicz A. (2010). Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji. Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej Instytut Podstawowych Problemów Techniki

Licznar P., Łomotowski J. (2005). Analiza średnich natężeń deszczów miarodajnych we Wrocławiu. Ochrona Środowiska 2005, vol. 27, nr 1, ss. 29–34.

PN-S-02204:1997 Drogi samochodowe Odwodnienie dróg

Rybczyński M., Pomianowski K., Wóycicki K. (1933). Hydrologja, cz. I. Opad-odpływ. Wydanie wspólne Koła Inżynierii Wodnej Stud. Pol. Warsz. i Komisji Wydawniczej Tow. Bratniej Pomocy Stud. Pol. Warsz.

Starkel L. (2011). Złożoność czasowa i przestrzenna opadów ekstremalnych – ich efekty geomorfologiczne i drogi przeciwdziałania im. Landform Analysis, Vol. 15: 65–80

Węglarczyk S. (2013). O poprawności wzorów Błaszczyka na obliczanie opadów miarodajnych, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Nr 3/IV.

Prof. dr hab. Stanisław Węglarczyk
Politechnika Krakowska
Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej
ul. Warszawska 24
31-155 Kraków
e-mail: sweglar@pk.edu.pl