

## 2. Prawdopodobieństwo pojawiania się wysokich stanów na rzekach w pewnych okresach czasu

Podobnie jak obserwacje dzienne stanów można uszeregować podług wielkości, tak iż suma wszystkich obserwacji będzie równa 365 dniom, tak w okresie obserwacyjnym kilku dziesiątków lat najwyższe stany z każdego roku można uszeregować podług wielkości i wykreślić krzywą czasów trwania najwyższych stanów w okresie obserwacyjnym. Ta krzywa może być przedstawiona w podziałce prawdopodobieństwa i mogą być dla niej obliczone współczynniki ( $cs$ ) i ( $cv$ ), pozwalające na ekstrapolowanie wyników obserwacyjnych na dłuższy okres czasu. Poniżej podano przykłady obliczenia prawdopodobieństwa pojawiania się wysokich stanów na Sanie, Wiśle i Sole.

*Przykład 1.* Obliczenie krzywej czasów trwania najwyższych stanów wody na Sanie w Postołowie (Tab. 13).

Dla 60 lat od 1867 do 1927 r. (z pominięciem jednego roku wojennego) zestawiono tabelę stanów w poszczególnych latach oraz odchyłek od stanu średniego (224,15 cm), a następnie obliczono kwadraty i sześciany tych odchyłek. Odpowiedni procent czasu liczono wzorem:

$$p = \frac{2m-1}{2n} 100, \text{ współczynnik zmienności obliczono ze}$$

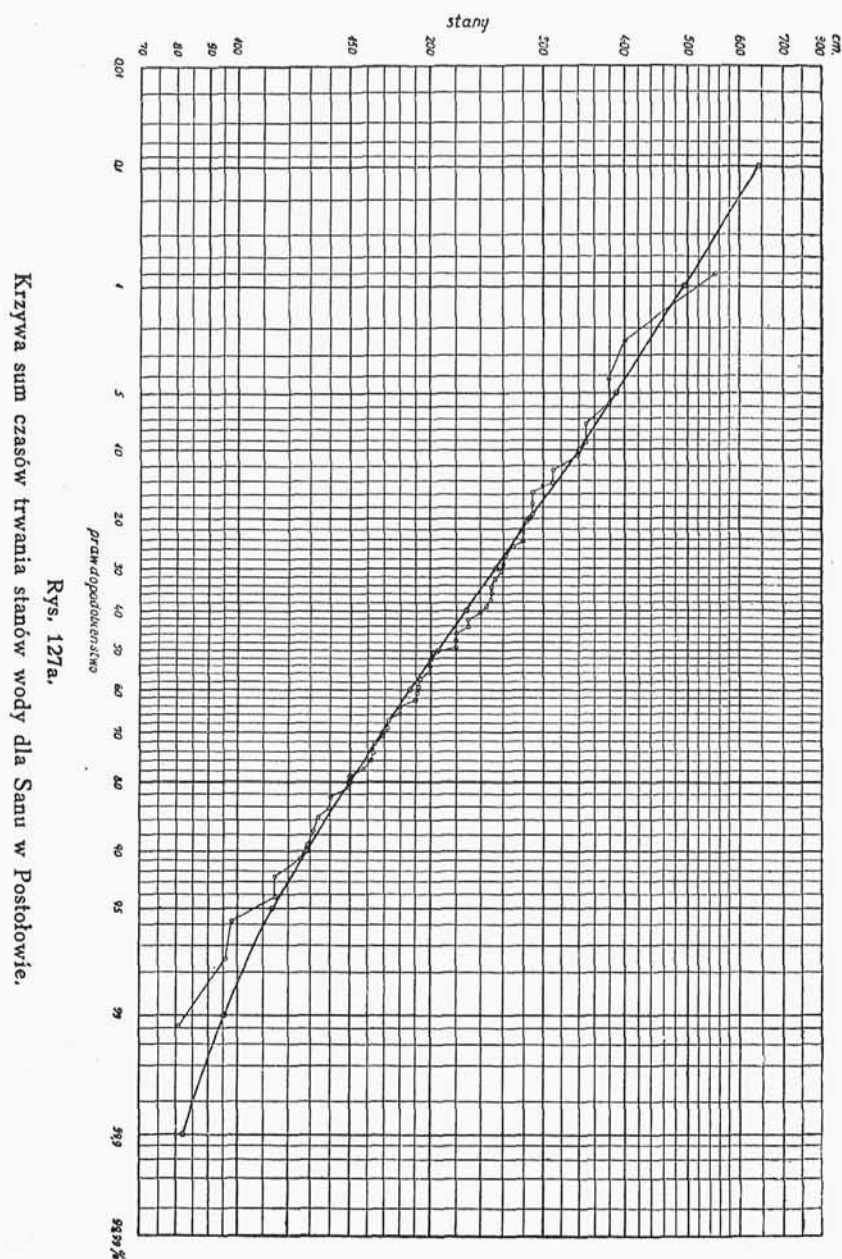
wzoru  $(cv) = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} = 0,39$ , zaś współczynnik asymetrii ze wzoru

$(cs) = \frac{\sum v^3}{(n-1)(cv)^3} = 1,023$ . Obliczony współczynnik asymetrii popra-

wiono ze względu na liczbę lat obserwacji:  $(cs)_1 = (cs) \left( \frac{1+8,5}{60} \right) = 1,17$

(porów. Tab. LIV w I cz. Hydrologii). Punkty krzywej teoretycznej liczono podług krzywej III Pearsona, dla której współczynniki zostały podane w Tab. LII na str. 232 w I części Hydrologii. Dla  $(cv) = 1$  interpolując między  $(cs) = 1,0$  i  $(cs) = 1,2$  otrzymano odchyłki teoretyczne, które mnożone przez rzeczywisty współczynnik  $(cv) = 0,39$  dają odchyłki rzeczywiste. Dodając jednostkę otrzymano teoretyczny stosunek stanów do średniego stanu. Po naniesieniu obserwacji i obliczonych punktów krzywej teoretycznej w układzie współrzędnych o normalnej podziałce prawdopodobieństwa połączono w krzywą ciągłą punkty teoretycznie obliczone (rys. 127a).

Krzywa ta odznacza się tym, że dla stanów najwyższych nachylenie jej się zmniejsza, co dowodzi, że nawet w najdłuższym okresie czasu pewne stany nie będą już przekroczone. Najwyższemu obserwowanemu stanowi o prawdopodobieństwie 0,83 odpowiada na krzywej teoretycznej prawdopodobieństwo 0,35. Stan ten



Rys. 127a.  
Krzywa sum czasów trwania stanów wody dla Sanu w Połotowie.

jest zatem 2,4 razy rzadszy niżby można sądzić z okresu obserwowanego, czyli prawdopodobieństwo jego pojawienia się jest raz na 143 lata, a nie raz na 60 lat. Stan ten z powodu swej wysokości był podawany w wątpliwość. Obliczenie dowodzi jednak, że pojawienie się jego leży zupełnie w granicach prawdopodobieństwa.

Tabela 13.

Obliczenie współrzędnych krzywej sum czasów trwania stanów (San — Postołów).

Czas w %	0,1	1,0	5	10	20	30
Wartości z Tab. LII dla $(cv)=1,0$ oraz $(cs)=1,17$	+ 4,78	+ 3,13	+ 1,89	+ 1,35	+ 0,74	+ 0,36
Wartości dla $(cv) = 0,39$ i $(cs) = 1,17$	+ 1,86	+ 1,22	+ 0,738	+ 0,527	+ 0,288	+ 0,140
Stosunek do stanu średniego	2,86	2,22	1,738	1,517	1,238	1,140
S t a n	641,1	497,6	389,6	342,3	288,7	255,5

40	50	60	70	80	90	95	99,0	99,9
+ 0,06	— 0,19	— 0,42	— 0,62	— 0,85	— 1,09	— 1,26	— 1,47	— 1,62
+ 0,023	— 0,074	— 0,164	— 0,243	— 0,322	— 0,425	— 0,491	— 0,574	— 0,633
1,023	0,926	0,836	0,758	0,668	0,575	0,509	0,426	0,367
229,3	207,6	187,4	169,9	149,7	128,9	114,1	95,5	82,3

*Tabela 14.*

Obliczenie współczynnika zmienności i asymetrii (Dunajec — Nowy Sącz).

L. p.	Rok	Stan $H_{cm}$	% prawdop.	$k = \frac{H_m}{H_{sr}}$	$v = k - 1$	$v^2$	$v^3$
1	1934	495	0,74	1,6295	0,6295	0,39632	0,24950
2	1867	411	2,21	1,3530	0,3530	0,12462	0,04399
3	1913	405	3,68	1,3333	0,3333	0,11106	0,03701
4	1894	398	5,15	1,3102	0,3102	0,09623	0,02985
5	1884	390	6,62	1,2839	0,2839	0,08059	0,02288
6	1906	390	8,09	1,2839	0,2839	0,08059	0,02288
7	1924	390	9,56	1,2839	0,2839	0,08059	0,02288
8	1909	386	11,03	1,2707	0,2707	0,07328	0,01984
9	1893	380	12,50	1,2510	0,2510	0,06298	0,01581
10	1903	365	13,97	1,2016	0,2016	0,04063	0,00819
11	1931	365	15,43	1,2016	0,2016	0,04063	0,00819
12	1918	360	16,90	1,1851	0,1851	0,03427	0,00634
13	1925	360	18,37	1,1851	0,1851	0,03427	0,00634
14	1871	356	19,84	1,1719	0,1719	0,02957	0,00508
15	1932	348	21,31	1,1456	0,1454	0,02120	0,00309
16	1885	345	22,78	1,1357	0,1357	0,01842	0,00250
17	1879	340	24,25	1,1193	0,1193	0,01423	0,00170
18	1887	340	25,72	1,1193	0,1193	0,01423	0,00170
19	1927	340	27,20	1,1193	0,1193	0,01423	0,00170
20	1926	336	28,67	1,1028	0,1028	0,01057	0,00109
21	1878	330	30,14	1,0864	0,0864	0,00746	0,00064
22	1900	330	31,60	1,0864	0,0864	0,00746	0,00064
23	1901	330	33,08	1,0864	0,0864	0,00746	0,00064
24	1897	330	34,56	1,0864	0,0864	0,00746	0,00064
25	1912	320	36,03	1,0534	0,0534	0,00286	0,00015
26	1920	320	37,50	1,0534	0,0534	0,00286	0,00015
27	1928	320	38,97	1,0534	0,0534	0,00286	0,00015
28	1882	317	40,44	1,0436	0,0436	0,00190	0,00008
29	1872	316	41,91	1,0403	0,0403	0,00162	0,00006
30	1908	305	43,38	1,0041	0,0041	0,00002	0,00000
31	1919	305	44,85	1,0041	+ 0,0041	0,00002	0,00000
32	1905	300	46,32	0,9876	— 0,0124	0,00015	— 0,00000
33	1914	300	47,79	0,9876	— 0,0124	0,00015	— 0,00000
34	1915	300	49,26	0,9876	— 0,0124	0,00015	— 0,00000
35	1929	300	50,73	0,9876	— 0,0124	0,00015	— 0,00000
36	1891	297	52,21	0,9777	— 0,0223	0,00050	— 0,00001
37	1930	296	53,68	0,9744	— 0,0256	0,00065	— 0,00002
38	1895	295	55,15	0,9711	— 0,0289	0,00083	— 0,00003
39	1880	290	56,62	0,9547	— 0,0453	0,00205	— 0,00009
40	1881	290	58,10	0,9547	— 0,0453	0,00205	— 0,00009
41	1888	290	59,56	0,9547	— 0,0453	0,00205	— 0,00009
42	1883	285	61,03	0,9382	— 0,0618	0,00382	— 0,00024
43	1899	285	62,50	0,9382	— 0,0618	0,00382	— 0,00024
44	1933	284	63,97	0,9349	— 0,0651	0,00423	— 0,00028

L. p.	Rok	Stan $H_{cm}$	% prawdop.	$k = \frac{H_m}{H_{sr}}$	$v = k - 1$	$v^2$	$v^3$
45	1910	275	65,44	0,9053	-0,0947	0,00897	-0,00085
46	1877	270	66,91	0,8888	-0,1112	0,01236	-0,00137
47	1892	270	68,38	0,8888	-0,1112	0,01236	-0,00137
48	1874	269	69,85	0,8855	-0,1145	0,01310	-0,00150
49	1875	263	71,32	0,8658	-0,1342	0,01801	-0,00242
50	1870	261	72,79	0,8592	-0,1408	0,01982	-0,00279
51	1911	260	74,26	0,8559	-0,1441	0,02076	-0,00299
52	1868	253	75,73	0,8329	-0,1671	0,02793	-0,00467
53	1876	253	77,20	0,8329	-0,1671	0,02793	-0,00467
54	1923	250	78,67	0,8230	-0,1770	0,03133	-0,00554
55	1873	245	80,14	0,8065	-0,1935	0,03743	-0,00724
56	1907	243	81,62	0,7999	-0,2000	0,04002	-0,00800
57	1916	242	83,09	0,7967	-0,2033	0,04135	-0,00841
58	1890	240	84,56	0,7901	-0,2099	0,04407	-0,00925
59	1886	235	86,03	0,7736	-0,2264	0,05123	-0,01160
60	1922	235	87,50	0,7736	-0,2264	0,05123	-0,01160
61	1899	230	88,97	0,7572	-0,2428	0,05897	-0,01432
62	1898	230	90,44	0,7572	-0,2428	0,05897	-0,01432
63	1902	230	91,91	0,7572	-0,2428	0,05897	-0,01432
64	1904	230	93,38	0,7572	-0,2428	0,05897	-0,01432
65	1917	222	94,85	0,7308	-0,2692	0,07246	-0,01950
66	1896	220	96,32	0,7242	-0,2758	0,07604	-0,02097
67	1869	213	97,79	0,7012	-0,2988	0,08928	-0,02668
68	1921	182	99,26	0,5991	-0,4008	0,16069	-0,06441
$\Sigma =$		20655				2,53343	+0,51374 -0,27421
$H_{sr} = 303,7$				$\Sigma = +0,23951$			

$$(cv) = \sqrt{\frac{\Sigma(v^2)}{n-1}} = \sqrt{\frac{2,53343}{67}} = \sqrt{0,037250} = \pm 0,193$$

$$(cs) = \frac{\Sigma(v^3)}{(n-1)(cv)^3} = \frac{0,23953}{67 \cdot 0,193^3} = \frac{0,23953}{0,4888559} = 0,4899$$

$$(cs)_1 = (cs) \left(1 + \frac{8,5}{n}\right) = 0,4899 \cdot 1,125 = 0,551$$

Obliczenie współrzędnych krzywej sum czasów trwania stanów (dalszy ciąg Tab. 14).

Czas w %										
	0,1	1,0	5	10	20	30	40	50		
Wartości z Tab. LII dla $(cv) = 1$ i $(cs) = 0,551$	3,8890	2,7333	1,7778	1,3275	0,8049	0,4573	0,1598	— 0,0827		
Wartości dla $(cv) = 0,193$	0,7506	0,5275	0,3431	0,2562	0,1553	0,0883	0,0308	— 0,0160		
Stosunek do średniego stanu	1,7506	1,5275	1,3431	1,2562	1,1553	1,0883	1,0308	0,9840		
Stan	531,6	463,9	407,9	381,5	350,8	330,5	313,0	298,8		

60	70	80	90	95	99	99,9	Uwagi
— 0,3327	— 0,5775	— 0,8575	— 1,1973	— 1,4647	— 1,9167	— 2,3437	Wartości interpolowane
— 0,0642	— 0,1115	— 0,1655	— 0,2311	— 0,2827	— 0,3699	— 0,4523	Wartość poprzednia mnożona przez 0,193
0,9358	0,8885	0,8345	0,7689	0,7173	0,6301	0,5477	Wartość poprzednia + 1
284,2	269,8	253,4	233,5	217,8	191,4	166,3	Wartość poprzednia mnożona przez 303,7

*Przykład 2.* Dla Nowego Sącza były do dyspozycji obserwacje stanów od 1867 do 1934 r., tj. z okresu 68-letniego. Z obliczenia podanego w Tab. 14 wynika, że współczynnik zmienności ( $cv$ ) wynosi  $\pm 0,193$  zaś współczynnik asymetrii ( $cs$ ) równa się  $+0,4899$ . Dla tych współczynników z Tab. LII w części I Hydrologii, tj. dla krzywej III Pearsona, oblicza się przebieg krzywej, która — wykreślona w podziałce prawdopodobieństwa dla czasu a logarytmicznej dla stanów — pokrywa się bardzo dobrze z obserwacjami. Z obliczeń wynika, iż stan 495 cm z roku 1934 miał prawdopodobieństwo pojawiania się około 0,35%, co odpowiada okresowi czasu około 286-letniemu. Odczytując z wykresu prawdopodobieństwo pojawiania się stanów dla innych okresów i przeliczając odpowiednie ilości wielkiej wody z krzywej konsumpcyjnej, otrzymamy wyniki zestawione w Tab 15.

*Tabela 15.*

O k r e s c z a s u l a t a	% prawdopodob. (% czasu)	stan wody cm	przepływ m <sup>3</sup> /sek.	stosunek do przeciętnego przepływu.
1	50	300	670	1,00
5	20	351	1080	1,61
10	10	381	1390	2,07
25	4	417	1825	2,72
50	2	441	2160	3,22
100	1	464	2550	3,80
500	0,2	512	3400	5,07
1000	0,1	532	3800	5,67

*Przykład 3.* Dla Wisły w Warszawie były znane obserwacje stanów z okresu od 1799 do 1935 r. z wyjątkiem dwu lat: 1816 i 1817. Liczba spostrzeżeń wynosi zatem 135. Na podstawie tych obserwacji obliczono współczynniki ( $cv$ ) =  $\pm 0,22068$  oraz ( $cs$ ) =  $-0,19824$  (Tab. 16). Ujemny znak dla współczynnika asymetrii dowodzi, że przeważają wypadki o wyższym stanie od średniego, tj. że max. krzywej częstości leży ponad poziomem środka ciężkości tej krzywej (por. str. 222, cz. I Hydrologii).

Wykreślona w podziałce prawdopodobieństwa krzywa teoretyczna (Tab. 17), obliczona również na podstawie Tab. LII jako krzywa typu III Pearsona, zgadza się dobrze z krzywą obserwowaną z wyjątkiem pierwszych trzech punktów przy stanach najwyższych oraz ostatnich pięciu punktów przy stanach najniższych. Ogółem 8 obserwacji odbiega od krzywej teoretycznej, natomiast pozostałe 127 obserwacji dobrze zgadza się z przebiegiem krzywej teoretycznej.

*Tabela 16.*

Obliczenie współczynników ( $cv$ ) i ( $cs$ ) dla Wisły w Warszawie na podstawie obserwacji od 1799 do 1935 r.

L. p.	Rok	Stan $H$	% prawdop.	$k = \frac{H_m}{H_{sr}}$	$v = k - 1$	$v^2$	$v^3$
1	1844	655	0,37	1,5745	0,5745	0,33005	0,18961
2	1813	604	1,11	1,4519	0,4519	0,20421	0,09228
3	1839	595	1,85	1,4302	0,4302	0,18507	0,07962
4	1867	592	2,59	1,4230	0,4230	0,17893	0,07569
5	1845	564	3,33	1,3557	0,3557	0,12652	0,04500
6	1891	553	4,07	1,3293	0,3293	0,10844	0,03571
7	1838	547	4,81	1,3149	0,3149	0,09916	0,03122
8	1924	545	5,55	1,3101	0,3101	0,09616	0,02982
9	1934	545	6,29	1,3101	0,3101	0,09616	0,02982
10	1854	542	7,03	1,3028	0,3028	0,09169	0,02776
11	1860	542	7,77	1,3028	0,3028	0,09169	0,02776
12	1874	539	8,52	1,2956	0,2956	0,08738	0,02583
13	1884	539	9,25	1,2956	0,2956	0,08738	0,02583
14	1889	539	10,00	1,2956	0,2956	0,08738	0,02583
15	1888	536	10,74	1,2884	0,2884	0,08317	0,02399
16	1855	528	11,48	1,2692	0,2692	0,07247	0,01951
17	1916	519	12,22	1,2476	0,2476	0,06130	0,01518
18	1841	518	12,96	1,2452	0,2452	0,06012	0,01474
19	1837	514	13,70	1,2355	0,2355	0,05546	0,01306
20	1853	511	14,44	1,2283	0,2283	0,05212	0,01190
21	1903	510	15,18	1,2259	0,2259	0,05103	0,01153
22	1909	510	15,92	1,2259	0,2259	0,05103	0,01153
23	1808	506	16,66	1,2163	0,2163	0,04678	0,01012
24	1846	506	17,41	1,2163	0,2163	0,04678	0,01012
25	1880	505	18,15	1,2139	0,2139	0,04575	0,00978
26	1877	503	18,89	1,2091	0,2091	0,04372	0,00914
27	1931	500	19,63	1,2019	0,2019	0,04076	0,00823
28	1913	495	20,37	1,1899	0,1899	0,03606	0,00685
29	1806	492	21,11	1,1826	0,1826	0,03334	0,00609
30	1868	491	21,85	1,1803	0,1803	0,03251	0,00586
31	1850	490	22,59	1,1778	0,1778	0,03161	0,00562
32	1819	488	23,33	1,1730	0,1730	0,02993	0,00518
33	1800	480	24,07	1,1538	0,1538	0,02365	0,00364
34	1830	480	24,81	1,1538	0,1538	0,02365	0,00364
35	1875	475	25,55	1,1418	0,1418	0,02011	0,00285
36	1906	472	26,29	1,1346	0,1346	0,01812	0,00244
37	1912	470	27,03	1,1298	0,1298	0,01685	0,00219
38	1925	470	27,77	1,1298	0,1298	0,01685	0,00219
39	1894	469	28,52	1,1274	0,1274	0,01623	0,00207
40	1829	468	29,25	1,1250	0,1250	0,01562	0,00195
41	1886	465	30,00	1,1178	0,1178	0,01388	0,00163
42	1908	465	30,74	1,1178	0,1178	0,01388	0,00163
43	1840	461	31,48	1,1081	0,1081	0,01168	0,00126
44	1915	459	32,22	1,1033	0,1033	0,01067	0,00110



$\tilde{L}_i$	Rok	Stan $H$	% prawdop.	$k = \frac{H_m}{H_{\delta r}}$	$v = k - 1$	$v^2$	$v^3$
45	1922	457	32,96	1,0985	0,0985	0,00970	0,00095
46	1893	454	33,70	1,0913	0,0913	0,00833	0,00076
47	1827	454	34,44	1,0913	0,0913	0,00833	0,00076
48	1907	452	35,18	1,0865	0,0865	0,00748	0,00065
49	1920	452	35,92	1,0865	0,0865	0,00748	0,00065
50	1879	452	36,66	1,0865	0,0865	0,00748	0,00065
51	1834	451	37,41	1,0842	0,0842	0,00709	0,00060
52	1814	451	38,15	1,0842	0,0842	0,00709	0,00060
53	1895	450	38,89	1,0817	0,0817	0,00667	0,00054
54	1923	447	39,63	1,0745	0,0745	0,00555	0,00041
55	1843	446	40,37	1,0721	0,0721	0,00520	0,70037
56	1887	446	41,11	1,0721	0,0721	0,00520	0,00037
57	1932	445	41,85	1,0697	0,0697	0,00486	0,00034
58	1901	444	42,59	1,0673	0,0673	0,00453	0,00030
59	1899	442	43,33	1,0625	0,0625	0,00391	0,00024
60	1900	440	44,07	1,0577	0,0577	0,00333	0,00019
61	1876	437	44,81	1,0504	0,0504	0,00254	0,00013
62	1871	436	45,55	1,0480	0,0480	0,00230	0,00011
63	1878	432	46,29	1,0384	0,0384	0,00147	0,00006
64	1927	432	47,03	1,0384	0,0384	0,00147	0,00006
65	1911	430	47,77	1,0336	0,0336	0,00113	0,00004
66	1917	430	48,52	1,0336	0,0336	0,00113	0,00004
67	1897	429	49,25	1,0312	0,0312	0,00970	0,00003
68	1872	427	50,00	1,0264	0,0264	0,00070	0,00002
69	1926	423	50,74	1,0168	0,0168	0,00028	0,00000
70	1929	420	51,48	1,0096	0,0096	0,00009	0,00000
71	1799	418	52,22	1,0048	0,0048	0,00002	0,00000
72	1824	418	52,96	1,0048	0,0048	0,00002	0,00000
73	1898	418	53,70	1,0048	+ 0,0048	0,00002	+ 0,00000
74	1865	414	54,44	0,9952	— 0,0048	0,00002	— 0,00000
75	1821	408	55,18	0,9807	— 0,0193	0,00537	— 0,00001
76	1918	404	55,92	0,9711	— 0,0289	0,00083	— 0,00002
77	1881	399	56,66	0,9591	— 0,0409	0,00167	— 0,00007
78	1810	398	57,41	0,9567	— 0,0433	0,00177	— 0,00008
79	1851	396	58,15	0,9519	— 0,0481	0,00231	— 0,00011
80	1935	395	58,89	0,9495	— 0,0505	0,00255	— 0,00013
81	1849	394	59,63	0,9471	— 0,0529	0,00280	— 0,00015
82	1870	390	60,37	0,9375	— 0,0625	0,00391	— 0,00024
83	1882	389	61,11	0,9351	— 0,0649	0,00521	— 0,00027
84	1928	385	61,85	0,9255	— 0,0745	0,00555	— 0,00041
85	1862	384	62,59	0,9230	— 0,0770	0,00593	— 0,00046
86	1801	384	63,33	0,9230	— 0,0770	0,00593	— 0,00046
87	1858	384	64,07	0,9230	— 0,0770	0,00693	— 0,00046
88	1885	383	64,81	0,9206	— 0,0794	0,00630	— 0,00050
89	1805	382	65,55	0,9182	— 0,0818	0,00660	— 0,00055
90	1857	382	66,29	0,9182	— 0,0818	0,00669	— 0,00055

L. p.	Rok	Stan H	% prawdop.	$k = \frac{H_m}{H_{sr}}$	$v = k - 1$	$v^2$	$v^3$
91	1913	379	67,03	0,9110	— 0,0890	0,00792	— 0,00070
92	1902	378	67,77	0,9086	— 0,0914	0,00835	— 0,00076
93	1852	377	68,52	0,9062	— 0,0938	0,00880	— 0,00082
94	1804	365	69,25	0,8774	— 0,1226	0,01503	— 0,00184
95	1815	362	70,00	0,8702	— 0,1298	0,01605	— 0,00219
96	1930	360	70,74	0,7654	— 0,1346	0,01812	— 0,00244
97	1859	360	71,48	0,8654	— 0,1346	0,01812	— 0,00244
98	1807	358	72,22	0,8605	— 0,1395	0,01946	— 0,00271
99	1890	354	72,96	0,8509	— 0,1491	0,02223	— 0,00331
100	1833	353	73,70	0,8485	— 0,1515	0,02295	— 0,00348
101	1861	353	74,44	0,8485	— 0,1515	0,02295	— 0,00348
102	1905	348	75,18	0,8365	— 0,1635	0,02673	— 0,00437
103	1812	346	75,92	0,8317	— 0,1683	0,02832	— 0,00476
104	1892	344	76,66	0,8269	— 0,1731	0,02996	— 0,00519
105	1864	343	77,41	0,8245	— 0,1755	0,03080	— 0,00540
106	1820	343	78,15	0,8245	— 0,1755	0,03080	— 0,00540
107	1826	341	78,89	0,8197	— 0,1803	0,03250	— 0,00586
108	1819	338	79,63	0,8125	— 0,1875	0,03515	— 0,00659
109	1847	338	80,37	0,8125	— 0,1875	0,03515	— 0,00659
110	1896	337	81,11	0,8101	— 0,1899	0,03696	— 0,00685
111	1823	334	81,85	0,8028	— 0,1972	0,03888	— 0,00767
112	1921	333	82,59	0,8004	— 0,1996	0,03984	— 0,00795
113	1856	331	83,33	0,7956	— 0,2044	0,04178	— 0,00854
114	1933	330	84,07	0,7932	— 0,2068	0,04276	— 0,00884
115	1822	324	84,81	0,7788	— 0,2212	0,04893	— 0,01082
116	1836	322	85,55	0,7740	— 0,2260	0,05107	— 0,01154
117	1811	317	86,29	0,7620	— 0,2380	0,05664	— 0,01348
118	1873	308	87,03	0,7404	— 0,2596	0,06739	— 0,01749
119	1803	307	87,77	0,7380	— 0,2620	0,06864	— 0,01798
120	1883	299	88,52	0,7187	— 0,2813	0,07913	— 0,02226
121	1869	297	89,25	0,7139	— 0,2861	0,08183	— 0,02342
122	1848	295	90,00	0,7091	— 0,2909	0,08462	— 0,02461
123	1802	288	90,74	0,6923	— 0,3077	0,09468	— 0,02913
124	1825	288	91,48	0,6923	— 0,3077	0,09468	— 0,02913
125	1866	287	92,22	0,6899	— 0,3101	0,09616	— 0,02982
126	1831	283	92,96	0,6803	— 0,3197	0,10222	— 0,03267
127	1818	281	93,70	0,6755	— 0,3245	0,10530	— 0,03417
128	1842	264	94,44	0,6346	— 0,3654	0,13352	— 0,04879
129	1809	259	95,18	0,6226	— 0,3774	0,14243	— 0,05375
130	1910	252	95,92	0,6057	— 0,3943	0,15547	— 0,06130
131	1828	230	96,66	0,5529	— 0,4471	0,19990	— 0,08937
132	1904	226	97,41	0,5432	— 0,4568	0,20866	— 0,09531
133	1832	214	98,15	0,5144	— 0,4856	0,23581	— 0,11451
134	1835	199	98,89	0,4783	— 0,5217	0,27217	— 0,14199
135	1863	155	99,63	0,3726	— 0,6274	0,39363	— 0,24696
							— 1,26115
							+ 0,97567
		56161				6,52568	— 0,28548

(Dalszy ciąg Tab. 16).

$$H_{sr} = \frac{\Sigma H}{n} = \frac{56161}{135} = 416,01$$

$$(cv) = \sqrt{\frac{\Sigma (v^3)}{n-1}} = \sqrt{\frac{6,52568}{134}} = \sqrt{0,04869910} = \pm 0,22068$$

$$(cs) = \frac{\Sigma (v^3)}{(n-1) (cv)^2} = \frac{-0,28548}{134 \cdot 0,0107469} = \frac{-0,28548}{1,44008} = -0,19824$$

Tych 8 obserwacji różniących się od wyników obliczeń teoretycznych daje niższe wartości niż teoretyczne. Różnica jest nieduża przy stanach wysokich, większa przy stanach niskich. Praktycznie jednak obchodzą nas tylko stany powodziowe najwyższe a nie najniższe. Różnica między rzeczywiście obserwowanymi stanami i teoretycznie obliczonymi tłumaczy się dla stanów najniższych tym, iż przy małych przyborach wpływ wsiąkania i parowania na rozlewach będzie znacznie i nieproporcjonalnie większy niż w czasie dużych przyborów wody, na skutek czego—pomimo iż 128 obserwacji dobrze się zgadza z krzywą teoretyczną—prawo regresji określone krzywą teoretyczną dla niższych stanów będzie odmienne niż dla wyższych. To samo tyczy się z innych powodów stanów najwyższych. Tam mianowicie na skutek rozlewów, przerw w ochronnych groblach, niewątpliwego pogłębienia się koryta rzeki w czasie przejścia wielkich wód, stany najwyższe są niższe od tych stanów, jakie z obliczonego prawa ascenzji krzywej musiałyby się pojawić. Różnica ta jest zresztą dla wysokich stanów niezbyt znaczna: najwyższy obserwowany stan w r. 1844 wynosił 655 na moście Kierbedzia, podczas gdy stan teoretyczny byłby 680. Różnica wynosi zatem zaledwie 25 cm.

Na podstawie krzywej konsumpcyjnej, wykreślonej w podziałce logarytmicznej i przedłużonej poza ostatni punkt pomiarowy przy najwyższym stanie, oraz na podstawie obliczonej krzywej prawdopodobieństwa można określić objętości wielkich wód, jakie pojawić się mogą w pewnym okresie, przewyższające średnie wielkie wody lub od nich niższe (Tab. 18).

Wielkie wody, jakie mogą się zdarzyć w każdym roku, tj. te, które mogą być w każdym roku przekroczone lub nieosiągnięte, a zatem dla których procent prawdopodobieństwa jest równy 50, podług obliczenia na podstawie rzeczywistych obserwacji odpowiadają stanowi 427. Natomiast stan obliczony z krzywej prawdopodobieństwa dla 50% prawdopodobieństwa czasu wynosi 414. Stanowi 427 odpowiada z krzywej konsumpcyjnej przepływ 3200 m<sup>3</sup>/sek, stanowi 414—przepływ 3030 m<sup>3</sup>/sek.

*Tabela 17.*

Obliczenie współrzędnych krzywej sum czasów trwania stanów (Wisła—Warszawa).

Czas w %	0,1	1,0	5	10	20	30	40	50
Wartość z Tab. LII dla $(cv) = 1$ i $(cs) = 0,19824$	3,3770	2,4786	1,6895	1,2998	0,8301	0,5101	0,2203	— 0,0297
Wartości dla $(cv) = 0,22068$	0,7452	0,5470	0,3728	0,2868	0,1832	0,1126	0,0486	— 0,0065
Stosunek do stanu średniego	1,7452	1,5470	1,3728	1,2868	1,1832	1,1126	1,0486	0,9945
Stan	726,04	643,56	571,11	535,34	492,22	462,84	436,24	413,70

60	70	80	90	95	99	99,9	Uwagi
— 0,2797	— 0,5497	— 0,8499	— 1,2503	— 1,5806	— 2,1815	— 2,8128	Wartości interpolowane
— 0,0617	— 0,1213	— 0,1876	— 0,2759	— 0,3488	— 0,4814	— 0,6207	Wartość poprzednia mnożona przez 0,22068
0,9383	0,8787	0,8124	0,7241	0,6512	0,5186	0,3793	Wartość poprzednia + 1
390,33	365,54	337,98	301,22	270,90	215,73	157,78	Wartość poprzednia mnożona przez 416,01

Tabela 18.

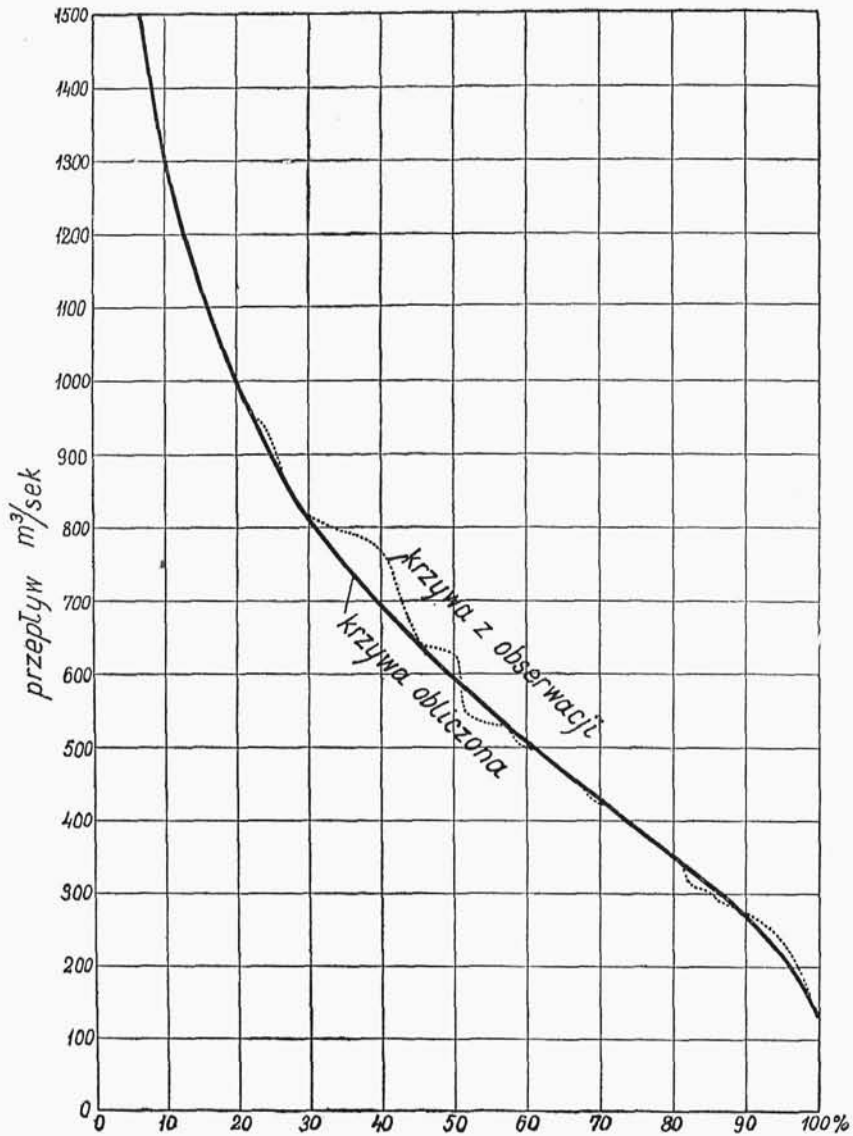
Okres czasu lata	% praw- dopodob.	stan wody cm	przepływ m <sup>3</sup> /sek	% praw- dopodob.	stan wody cm	przepływ m <sup>3</sup> /sek.
1	50	414	3030	50	414	3030
5	20	492	4375	80	338	1980
10	10	535	5250	90	300	1525
25	4	581	6220	96	261	1125
50	2	612	7000	98	236	920
100	1	643	7750	99	215	780
500	0,2	702	9300	99,8	172	565
1000	0,1	725	10000	99,9	157	500

W Tab. 19 zestawiono stosunek teoretycznych przepływów w różnych okresach czasu do objętości odpowiadającej stanowi 414 i 427, w końcu obliczono stosunek określony wzorem Fullera podanym dla rzek St. Zjedn. Am. Półn. na str. 204. w części I Hydrologii.

Tabela 19.

Procent prawdopodobieństwa	50	20	10	4	2	1	0,2	0,1
Stosunek w. w. do śred- niej 3030 m <sup>3</sup> /sek. .	1	1,44	1,73	2,05	2,31	2,56	3,07	3,30
Stosunek w. w. do śred- niej 3221 m <sup>3</sup> /sek. .	1	1,36	1,63	1,93	2,17	2,41	2,89	3,10
Stosunek w. w. do śred- niej ze wzoru Fullera	1	1,56	1,80	2,12	2,36	2,60	3,16	3,40

Z zestawienia tego wynika, iż obliczone stosunki dobrze się zgadzają ze stosunkami podanymi wzorem Fullera dla dużych rzek północnoamerykańskich. Dowodzi to z jednej strony, że przy bardzo dużych dorzeczach, gdzie różnica w stosunkach geofizycznych między dorzeciami staje się mała, rządzą te same prawa odpływu, a następnie — że prawa rządzące rozkładem i wysokością opadów atmosferycznych są na ogół równe, przynajmniej dla półkuli północnej. Ścisłej zgodności wyników nie można się w żadnym razie spodziewać, gdyż z jednej strony krzywe przepływu są dla stanów wysokich ekstrapolowane i nie oparte na bezpośrednim pomiarze, a następnie jako przepływ przeciętny (tj. doroczny) wielkich wód może być przyjęty przepływ: 1) odpowiadający teoretycznie obliczonemu stanowi średniemu, 2) rzeczywiście obserwowanemu, 3) albo przepływ przeciętny, wyliczony bezpośrednio z przepływów a nie ze



Rys. 127b.

Krzywa prawdopodobieństwa wielkich wód dla Sanu w Postołowie.

stanów. Oczywiście te trzy „przeciętne wielkie wody” mają różne wartości, na skutek czego i stosunek ich do przepływów w dłuższym okresie czasu będzie różny.

Metoda Grassbergera pozwala szybciej i łatwiej określić teoretyczny kształt krzywej, przy czym krzywa teoretyczna w granicach



obserwacj dobrze zgadza się z rzeczywistością, natomiast ekstrapolacja poza okres obserwacyjny daje wątpliwe wyniki.

Krzywe czasów trwania stanów wysokich obliczone także metodą Grassbergera dla Sanu w Pistołowie dają następujące wartości. Przyjmując 60 lat obserwacyjnych za 100%, otrzymamy charakterystyczne przepływy dla 16%, 50% i 84% czasu następujące:

$$Q_{16\%} = 1108 \text{ m}^3/\text{sek}, \quad Q_{50\%} = 589 \text{ m}^3/\text{sek}, \quad Q_{84\%} = 313 \text{ m}^3/\text{sek},$$

$$k = 2,576 \quad D_3 = 0,000,$$

$Q_{sr} = 719 \text{ m}^3/\text{sek}$  oznacza wielką wodę, przeciętną z najwyższych w tym okresie czasu, zaś  $Q_n = 395 \text{ m}^3/\text{sek}$  jest wielką wodą najczęściej się powtarzającą. Wykres przepływów obliczonych i obserwowanych podaje rys. 127 b.

Z obserwacji stanów w okresie 60 lat najwyższemu obserwowanemu stanowi 553 odpowiada rzeczywista suma czasu trwania 1,67%. Podług krzywej Pearsona prawdopodobieństwo pojawiania się wynosi 0,40, zaś podług krzywej wykreślonej metodą Grassbergera 0,74%. Metoda Grassbergera daje w danym wypadku lepszą zgodność z obserwacją niż metoda Pearsona.

### 3. Prawdopodobieństwo pojawiania się wielkich wód na Wiśle i jej karpackich dopływach oraz na innych rzekach polskich

W poprzednio podanych przykładach obliczono prawdopodobieństwa pojawiania się wysokich stanów na Wiśle w Warszawie i Dunajcu w Nowym Sączu. Obliczenia te uzupełniono jeszcze dalszymi: na Wiśle w Sandomierzu i Skoczowie, Sanie w Babicach i na Sole w Czernichowie. Wyniki obliczeń zostały podane w Tab. 20 oraz przedstawione w podziałce logarytmicznej na dwu wykresach. W tabeli podano  $H$  w cm,  $Q$  w  $\text{m}^3/\text{sek}$  oraz  $q$  w  $\text{m}^3/\text{sek km}^2$ . Rys. 128 podaje współczynniki spływu z 1  $\text{km}^2$  dorzecza, zaś rys. 129 — bezwzględne ilości wielkiej wody. Jako okresy czasu przyjęto: 1 rok, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000 lat. Rozpiętość między współczynnikami dla 1 roku i 1000 lat wzrasta w miarę zmniejszania się obszaru dorzecza, tak więc dla Wisły pod Warszawą (dorzecze 85 176  $\text{km}^2$ ) wynosi 1 : 3,30, zaś dla Skoczowa (dorzecze 287  $\text{km}^2$ ) równa się 1 : 7,84, wzrasta zatem prawie  $2\frac{1}{2}$  razy przy 296-krotnie mniejszym dorzeczu.