

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

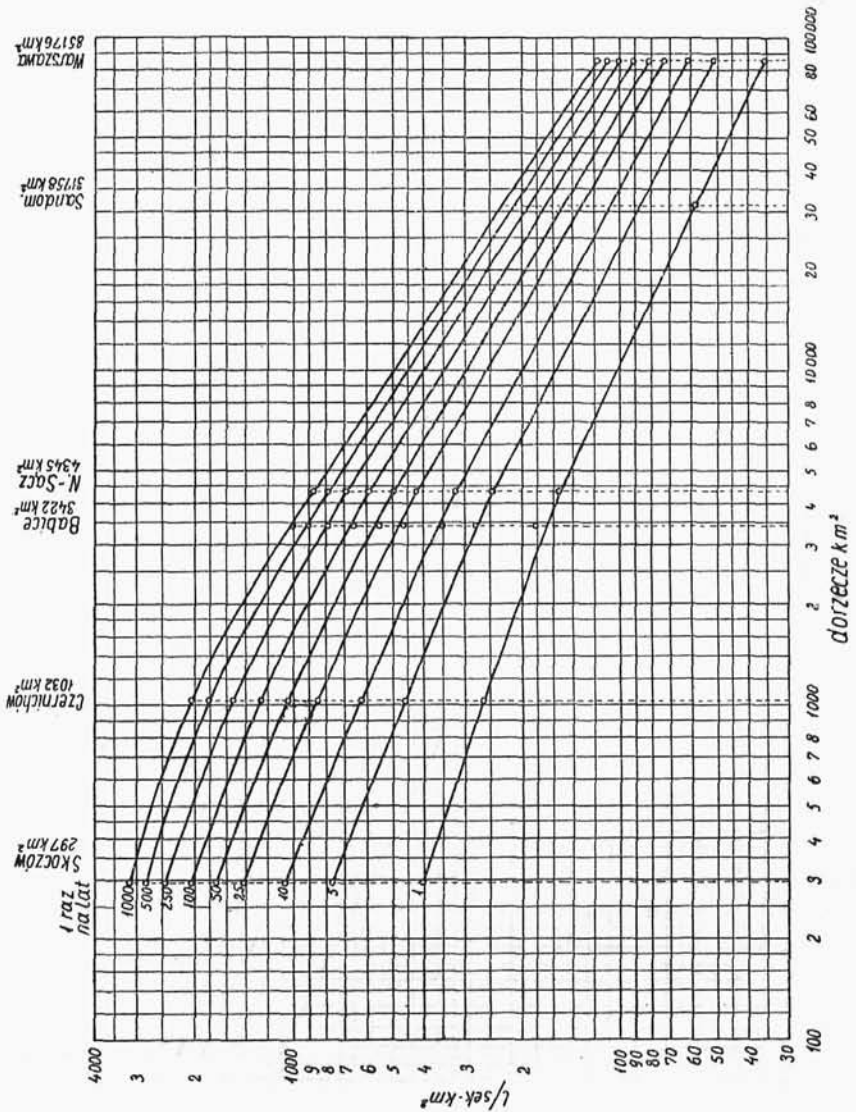
W poprzednio podanych przykładach obliczono prawdopodobieństwa pojawiania się wysokich stanów na Wiśle w Warszawie i Dunajcu w Nowym Sączu. Obliczenia te uzupełniono jeszcze dalszymi: na Wiśle w Sandomierzu i Skoczowie, Sanie w Babicach i na Sole w Czernichowie. Wyniki obliczeń zostały podane w Tab. 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.

Tabela 20.

R z e k a	Wodowskaz	Dorzecze km <sup>2</sup>	Liczba lat obser- wacji	Współcz. (cv)	Współcz. (cs)	50%			20%			10%			
						1 rok			5 lat			10 lat			
						H	Q	q	H	Q	q	H	Q	q	
1	Wisła	Warszawa	85176	135	± 0,22068	— 0,19824	413,7	3030	0,0356	492,0	4375	0,0514	535,0	5250	0,0616
2	Wisła	Sandomierz	31758	53	± 0,18644	+ 0,085794	369,4	1840	0,0579	428,0	—	—	459,3	—	—
3	Dunajec	Nowy Sącz	4345	68	± 0,19300	+ 0,4899	298,8	670	0,1542	350,8	1080	0,2486	381,5	1390	0,3199
4	San	Babice	3422	46	± 0,21253	+ 0,68639	458,3	620	0,1812	547,5	950	0,2776	601,5	1200	0,3507
5	Soła	Czernichów	1032	31	± 0,20753	+ 0,74629	281,6	270	0,2616	455,0	475	0,4603	500,0	645	0,6250
6	Wisła	Skoczów	297	40	± 0,46075	+ 0,59147	108,4	120	0,404	154,8	230	0,774	182,4	317	1,067

4%			2%			1%			0,4%			0,2%			0,1%		
25 lat			50 lat			100 lat			250 lat			500 lat			1000 lat		
H	Q	q	H	Q	q	H	Q	q	H	Q	q	H	Q	q	H	Q	q
580,0	6220	0,0730	612,0	7000	0,0822	643,6	7750	0,0909	676,0	8600	0,10097	701,0	9300	0,1092	726,0	10000	0,1174
492,0	—	—	515,0	—	—	535,6	—	—	559,0	—	—	585,0	—	—	592,3	—	—
417,0	1825	0,4200	441,0	2160	0,4971	463,9	2550	0,5869	491,0	3000	0,6904	512,0	3400	0,7825	531,6	3800	0,8746
663,0	1580	0,4617	705,0	1880	0,5454	750,0	2250	0,6570	800,0	2700	0,7890	837,0	3075	0,8986	875,5	3422	1,0000
551,0	870	0,8430	588,0	1080	1,0465	623,8	1300	1,2597	664,0	1590	1,5407	700,0	1870	1,8120	729,9	2130	2,0639
213,0	425	1,431	235,0	516	1,737	357,1	615	2,071	281,0	730	2,457	300,0	836	2,815	319,2	940	3,165

Znajomość wielkich wód, jakie się zdarzyć mogą w pewnym okresie czasu, jest niezbędnie potrzebna do projektowania wszystkich budowli inżynierskich piętrzących wodę, jak np. przepustów, mostów, jazów, zbiorników. Dla mostów tymczasowych



Rys. 128.

Spływy jednostkowe wielkiej wody.

drewnianych okres czasu właściwy do obliczenia wielkiej wody może nie przekraczać 25 lat, tj. czasu trwania samej konstrukcji, dla mostów stałych żelaznych i żelbetowych okres ten powinien być dłuższy i zależny o ważności drogi, która przez most przechodzi.



dy tej wielkości muszą przejść przez wszystkie urządzenia odciążające zbiornik bez szkody dla konstrukcji samej zapory.

Dla wszystkich rzek polskich próbował ustalić niektóre ważniejsze wielkie wody Dębski.<sup>62)</sup>

Przedewszystkim zajął się Dębski pojęciem wody dorocznej, tj. takiej, której nadejścia co roku można się spodziewać. Ścisłej precyzuje tę wodę Dębski nazywając ją wodą wielką zwykłą, na wzór wody zwykłej średniej (182 dniowej). Jest to więc woda, która w ciągu znanego okresu lat tyle razy była przekroczona, ile razy nie była osiągnięta. Opierając się na 200 przykładach rzek polskich podaje autor związek pomiędzy  $\log q$  i  $\log A$  (spływ w l/sek i  $\text{km}^2$  oraz dorzecze w  $\text{km}^2$ ) w postaci

$$\log q = c - n \log A \quad (44)$$

gdzie  $n$  wynosi około 0,7 zaś  $c$  waha się w granicach od 2,123 (Warta) do 3,6 (rzeki górskie). Objętość wyrażona w  $\text{m}^3$  wynosząc będzie  $Q = CA^{0,7}$  (gdzie  $\log C = c$ ). Stała  $C$  waha się w granicach od 0,075 do 4,35. Jest to spływ dorocznej wielkiej wody z 1  $\text{km}^2$ .

Porównując wielkość dorocznej wielkiej wody z innymi określeniami wód wielkich, otrzymujemy duże zbliżenie do średniej z corocznych ekstremów. Przeważnie woda doroczna jest nieco wyższa (o około 10%), niższa jest natomiast na rzekach typu Warty.

Biorąc pod uwagę w każdym roku tylko najwyższą falę pomija się i przy tym obliczeniu (podobnie jak przy obliczaniu średnich z maximów) fale drugorzędne, które w niektórych latach mogą być wyższe niż fale największe w innych latach.

Dla ułatwienia obliczenia podaje autor oprócz wartości liczbowych dla  $c$  także plan geograficznego rozkładu tego współczynnika. Dla rzek polskich, dla powodzi zdarzających się raz na 25 lat obliczył Dębski na podstawie faktycznie dokonanych pomiarów wartości przepływu w sposób znacznie uproszczony. Ponieważ prawdopodobieństwo pojawiania się tych wód leży między 96% i 4%, przeto na podziałce logarytmicznej stosunek wielkiej wody  $Q$  o pewnym prawdopodobieństwie pojawiania się do wody wielkiej zwykłej (dorocznej)  $Q_x$  oraz liczba prawdopodobieństwa wyrażona w procentach przedstawiają prawie zawsze związek prostoliniowy. Nazywając ten stosunek  $k_p$  i znajdując jego wartość dla różnych rzek i różnej ilości

---

<sup>62)</sup> K. Dębski, Zwyczajne roczne maxima odpływu rzek polskich, Warszawa, 1934 r.

Roczne maxima odpływu, pojawiające się raz na 25 lat i częściej w przecięciu wieloletnim, Wiadomości Służby Hydrograficznej, Zeszyt 2 z 1935 r.

lat, następnie wyrównując te wartości wykreślnie oraz korzystając ze wzoru przytoczonego w poprzednim ustępie na wodę doroczną, otrzymuje Dębski w rezultacie wzór:

$$\log k_4 = -\log k_{96} = 0,075 c - 0,05 \log A + x \quad (45)$$

gdzie  $c$  oraz  $A$  mają wartość podaną poprzednio, zaś zakładając w danej grupie pomiarów, że  $x$  jest wartością stałą, można go z szeregu znanych pomiarów obliczyć wzorem:

$$x = \log k_4 - \frac{\sum_1^n (0,075 c - 0,05 \log A)}{n} \quad (46)$$

gdzie  $n$  jest ilością pomiarów w danej grupie.

W dalszym ciągu spływ jednostkowy oblicza się wzorem:

$$\log q_4 = 1,075 c - 0,35 \log A + x \quad (47)$$

a  $Q_4 = q_4 A$  m<sup>3</sup>/sek; jest to odpływ, który wraz z wyższymi może pojawić się raz na 25 lat. Korzystając ze związku prostoliniowego otrzymujemy dla mniejszych ilości lat:

$$\log k_5 = 0,94 \log k_4$$

$$\log k_{10} = 0,73 \log k_4$$

$$\log k_{20} = 0,48 \log k_4.$$

Wartości  $x$  dla rzek polskich wahają się w granicach od 0,203 (dorzecze Dźwiny) do 0,596 (Prypeć, Wieprz itd.), natomiast  $\log k_4$  od 0,21 (dopływy Wisły od Drwęcy do morza) do 0,62 (Prypeć, Wieprz itd.).

Stosunek wody 25-letniej do zwykłej wynosi według Dębskiego w dorzeczu Warty 2,14, górnej Wisły (do Krakowa) 2,82, samej Wisły poniżej Krakowa 1,90, Przemszy, Nidy, Pilicy, Bzury 2,04, w dorzeczu Bugu 2,19, w dorzeczu Niemna 2,45, w dorzeczu Wieprza 4,16, Dniestru dolnego 2,24.

Liczbom tym jak i wartości wody zwykłej można przypisać na razie tylko znaczenie orientacyjne. Ilość dokonanych faktycznie pomiarów wielkich wód jest stosunkowo niewielka, a okres obserwacji tylko na nielicznych wodowskazach wystarcza do ustalenia prawdopodobieństwa. Skutkiem tego wartości stosunków w jednej i tej samej grupie dla wody 25-letniej odbiegają od siebie nieraz więcej niż wartości różnych grup. Np. na Wiśle od 1,53 do 2,34 (wysoką cyfrę mają 2 wodowskazy: w Krakowie i Tczewie, które uległy silnemu obniżeniu). W dorzeczu górnej Wisły wahania dochodzą do potrójnej wartości (1,42 do 4,20) itp.

Przypuszczać należy, że ogólny wniosek, jaki można by wy-

ciągnąć z dotychczasowych badań jest ten, że woda, której można oczekiwać raz w ciągu 25 lat, jest co najmniej dwa razy większa od wody wielkiej zwykłej, tj. o prawdopodobieństwie 50-procentowym. Wyniki zatem podane powyżej dla kilku wypadków szczególnych można by z dużym prawdopodobieństwem uzgodnić.

Przy pewnych robotach technicznych jest pożądana znajomość najwyższych stanów jakie mogą się pojawić na rzece w poszczególnych miesiącach.

Dla Wilii w Wilnie badał Kollis<sup>63)</sup> prawdopodobieństwo pojawiania się najwyższych stanów w ciągu roku jak również w poszczególnych miesiącach. Wyniki badań podane są w Tab. 21.

*Tabela 21.*

Prawdopodobieństwo pojawiania się najwyższych stanów na Wilii w Wilnie.

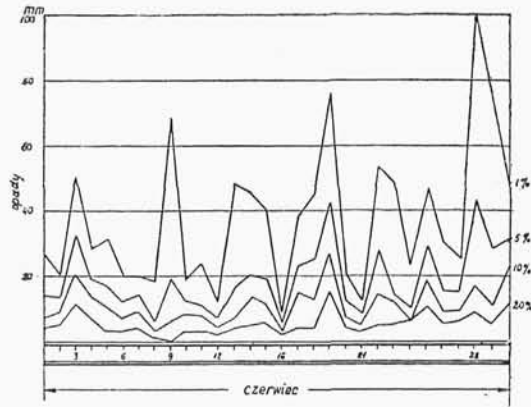
Procent prawdopo- dobieństwa	99	50	20	4	2	1	liczba obser- wacji	stan przeciętny cm
Okres czasu lata	100	1	5	25	50	100		
Styczeń								
Luty								
Marzec	264	428	512	620	647	712	17	437
Kwiecień	275	476	587	694	724	760	29	486
"	274	412	505	642	684	745	"	427
Maj	258	335	367	433	456	480	"	341
Czerwiec	260	286	318	373	394	424	"	296
Lipiec	251	279	317	379	403	438	"	292
Sierpień	205	302	345	297	413	438	"	305
Wrzesień	221	281	321	371	386	420	"	288
Październik	225	287	321	365	379	402	"	292
Listopad	233	302	337	378	387	417	"	305
Grudzień	250	326	363	404	418	434	27	329
Cały rok	353	527	608	706	745	775	29	535

Kollis<sup>64)</sup> szuka prawdopodobieństwa pojawiania się wysokich stanów i opadów na Sole w Porąbce, znajdując z okresu 27-letniego obserwacji, iż pewne dni w miesiącu są wolne od większych

<sup>63)</sup> W. Kollis. Wezbrania Wilii oraz częstotliwość ich występowania. Czasopismo Techniczne. Lwów. 1933.

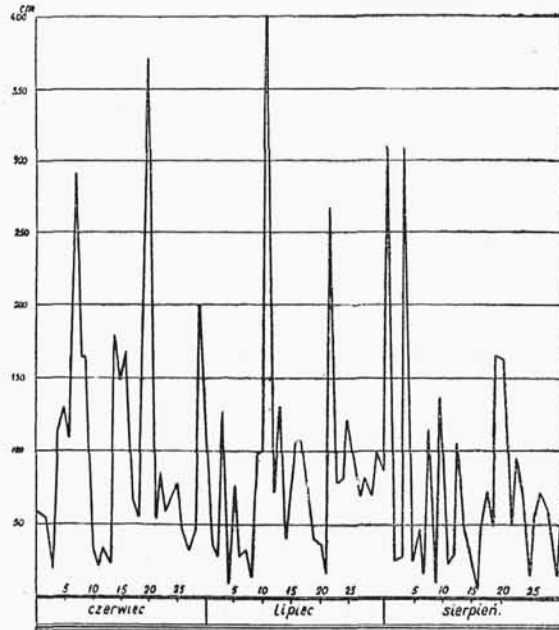
<sup>64)</sup> W. Kollis. Kilka koncepcji w zakresie przewidywań hydrologicznych oraz ich zastosowanie praktyczne. Wiadomości Hydrograficzne. Zeszyt 3 z 1936 r.





Rys. 130.

deszczów i powodzi, inne odznaczają się wysokimi opadami i stanami wody. Jest to zgodne z tradycją ludową, która dopatruje się łączności pewnych świątecznych dni z nadejściem fali powodziowej (Świętojanki, Jakubówki itd.).



Rys. 131.

Stany wody rz. Soły (w Porąbce) o prawdopodobieństwie pojawienia się 1%.



Z pracy Kollisa na rys. 130 podano wykres prawdopodobnych opadów w Porąbce w miesiącu czerwcu, w poszczególnych dniach miesiąca oraz dla prawdopodobieństw od 1% do 20%, na rysunku 131 wykres najwyższych stanów Soly w Porąbce w czerwcu, lipcu i sierpniu dla prawdopodobieństwa pojawiania się 1%.

#### **4. Zastosowanie krzywej czasu trwania stanów do projektów kanalizacji miast**

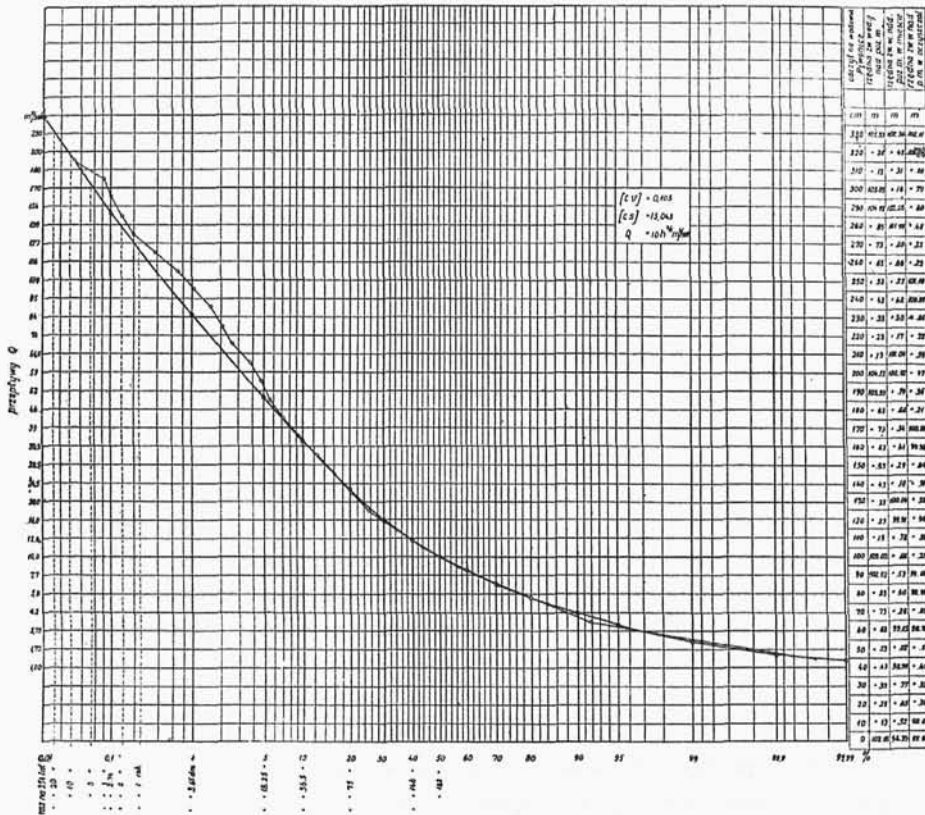
W miastach położonych nad rzekami wylot z oczyszczalni ścieków do rzeki znajduje się poniżej miasta, podczas gdy w samym mieście są z zasady założone przelewy burzowe, odprowadzające nadmiar wód burzowych wprost do rzeki w obrębie miasta. Poziom terenu miasta jest nad rzeką zwykle stosunkowo niski, zachodzi więc często potrzeba podnoszenia (przepompowywania) ścieków do rzeki, tak w oczyszczalni jak na przelewach w mieście, lub budowy kanalizacji rozdzielczej z przepompowywaniem tylko ścieków domowych. Podczas wyższych stanów, gdy rozcieńczenie ścieków wodą rzeczną jest dostateczne, mogą być przetłaczane wszystkie wody (tak ścieków domowych jak deszczowe) wprost do rzeki nawet w obrębie miasta. Do projektu kanalizacji muszą być zatem znane stany wody w rzece w mieście i w oczyszczalni, ich prawdopodobieństwo pojawiania się w roku przeciętnym oraz odpowiadające tym stanom ilości przepływu. Mając te dane można dopiero określić poziomy dna kanałów i przelewów oraz poziomy, przy których zastosować trzeba przepompowywanie ścieków, w końcu można określić czas trwania pompowania w roku oraz potrzebną moc instalowaną w zakładzie pompowym i wreszcie roczną sumę pracy pomp.

Jako przykład podane są stosunki wodne, jakie istnieją w Kaliszu położonym nad rzeką Prosną, której stany i przepływy były podstawą projektu kanalizacji.

Najbliższy miasta wodowskaz Proсны znajduje się w Piwonicach, w odległości kilku km powyżej miasta. W odniesieniu do tego wodowskazu zostały wykonane pomiary hydrometryczne przepływu rzeki i ustalona krzywa konsumpcyjna. Z 8-letnich obserwacji obliczono i wykreślono w podziałce prawdopodobieństwa krzywą czasów trwania stanów oraz krzywą odpowiadających tym stanom ilości przepływu (rys. 132). Na wykresie podano ponadto obok stanów w Piwonicach odpowiadające im rzędne zwierciadła wody w mieście: w pobliżu stacji przepompowywania ścieków oraz przy oczyszczalni, poniżej miasta.



Z wykresów można było ustalić do jakiej rzędnej terenu może być zaprojektowana kanalizacja ogólnospławna z przelewami burzowymi nie podtapianymi przez wielkie wody Prosny, następnie jaki teren musiał otrzymać kanalizację rozdzielczą z wodami deszczowymi wpuszczanymi bezpośrednio do rzeki, a ze ściekami domowymi gromadzonymi na stacji przepompowywania ścieków; w końcu



Rys. 132.

Prawdopodobieństwo pojawienia się stanów i przepływów wody  
w Piwonicach na Prośnie.

można było ustalić, przez jaką część roku — z powodu niskich przepływów w rzece — ścieki będą pompowane do kanału prowadzącego do oczyszczalni, a przez jaką część roku — do przelewu burzowego i Prosny (w okresach dostatecznego rozcieńczenia ścieków wodami Prosny). Wreszcie z wyznaczonych okresów czasu pompowania oraz wysokości podnoszenia ścieków jak również znanych ilości ścieków obliczono potrzebną wielkość instalowanej mocy oraz sumę rocznej pracy pomp.