

odchylen. Jeżeli S jest przeciętnym najwyższym wiosennym stanem wody zaś D przeciętną odchyłką, to

$$\frac{h - S}{D} = H$$

gdzie h jest najwyższym stanem szukanym. Stąd

$$N + \frac{P + J}{2} = \frac{h - S}{D} \quad (32)$$

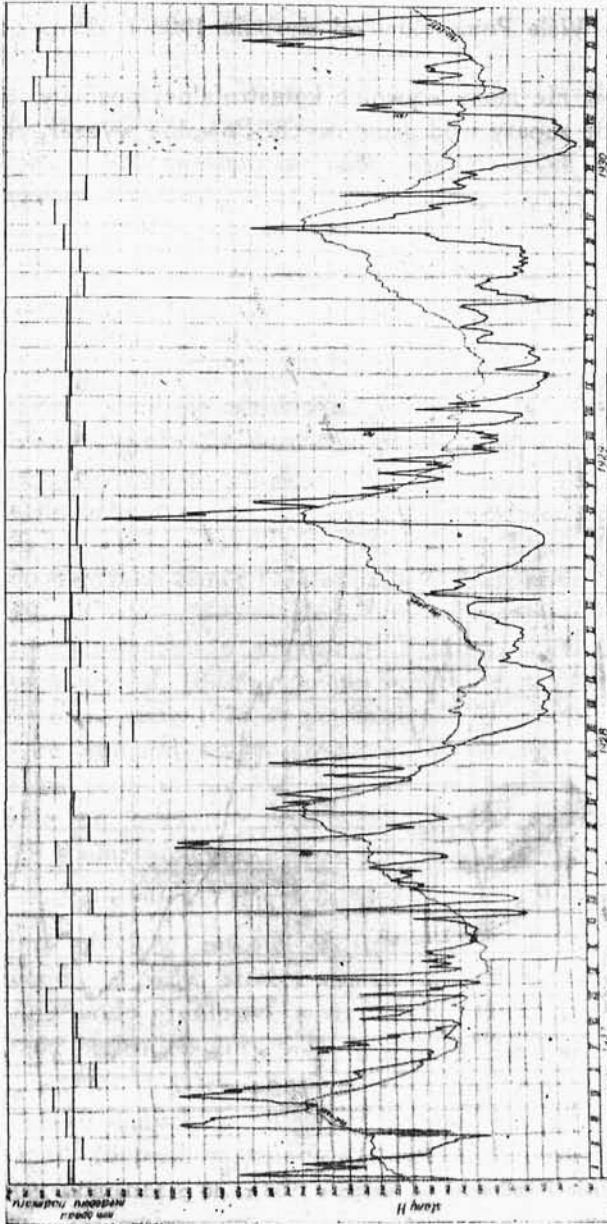
Tą drogą można określić na 1 — 1½ miesiąca naprzód spodziewany stan wody z dokładnością powyżej 75%. Dla Wołchowa wprowadzono zamiast stanów wody przepływy.

10. Zjawiska posuchy

Układanie prognozy dla stanów średnich i niskich, na krótki okres czasu (kilkudniowy) nie przedstawia żadnych trudności. Związki wodowskazów są przy stanach niższych ściśle określone, czas przepływu wody nie ulega zmianom, błędy zatem popełnione przy przepowiedni będą minimalne.

Obok występujących co roku niskich stanów wody, zdarzają się jednak stany wyjątkowe, które podobnie jak wezbrania powodziowe mogą stać się klęską gospodarczą. Niezwykle niskie stany wody w rzekach, nie tylko bezpośrednio wyrządzają szkodę obniżając ich żeglowność i splawność, zmniejszając energię i utrudniając nawodnienia, ale także powodują obniżenie stanu wód gruntowych, przez to wpływają ujemnie na wegetację. Jest zatem rzeczą wielkiej wagi zbadanie granic, do jakich może dojść obniżenie się stanów wód i przepływów w rzekach i zorientować się o czasie trwania okresu posuchy.

Podobnie jak przy powodziach, przyczyną katastrofalnie niskich stanów wody są zjawiska meteorologiczne. Można tu odróżnić dwa zasadnicze wypadki. Pierwszy, kiedy po ostrej zimie niedopuszczającej wsiąkania nastąpi wczesne stopnienie śniegu, potem zaś długi okres bezdeszczowy. Przykładem posuchy tego rodzaju jest niezwykle niski stan wód w r. 1904. Zjawisko zaostrza się, jeżeli poprzednie lato było suche i wyczerpało zasoby wód gruntowych. Przykład 1921 i 1930 r., po gorących latach 1928 i 1929. Rys. 116 pokazuje bieg dzienny stanów wody na Wiśle w Korzeniowie od 1927 do 1930 r. w porównaniu z przeciętnymi stanami z okresu 1812 — 1897 oraz nadmiar i niedobór opadów w dorzeczu.



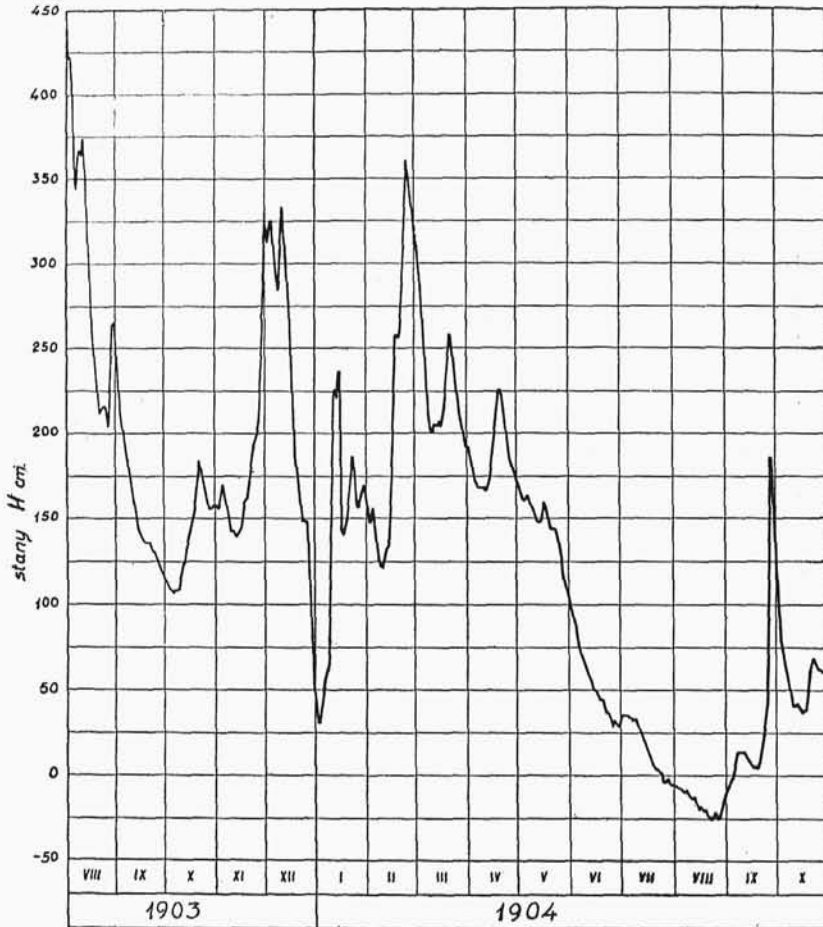
Rys. 116.

Stany wody na Wiśle w Korzeniowie w latach 1927 — 1930 w porównaniu z przeciętnymi stanami z okresu 1812 — 1897 oraz nadmiar i niedobór opadów.

Drugi wypadek zajdzie, jeśli zima jest łagodna z częstymi odwilżami, tak że zasilanie zasobów wód gruntowych jest również utrudnione. Przykładem jest r. 1911. Pogarsza wynik wczesna wiosna, nieznaczne zimowe opady poprzedzone suchą jesienią. Przykład:

niektóre dorzecza w r. 1921 i 1930. Rys. 117 podaje przebieg stanów wody na Wiśle Pomorskiej od sierpnia 1903 r. do października 1904 r.

Brak opadów nie może wywołać katastrofalnej posuchy, jeżeli nie są wyczerpane zapasy wód gruntowych. Powolne wyczerpywanie



Rys. 117.

Stany wody na Wiśle Pomorskiej od sierpnia 1903 r. do października 1904 r.

się tych zapasów w latach 1927, 1928, 1929 przyczyniło się do nadzwyczaj niskich stanów w r. 1930 (rys. 116).

Wytwarzaniu się zjawisk posuchy sprzyja raczej klimat kontynentalny z ostrymi zimami i gorącymi latami. O większym lub mniejszym wyczerpaniu się wód gruntowych decydować będą za-

równy okresy bezdeszczowe, jak też w ogóle długie okresy o opadach poniżej normalnych, w czasie których zasilanie wód gruntowych jest niedostateczne.

W okresie od r. 1891 do 1925 Warszawa miała następujące okresy o opadach poniżej normalnych:

1 okres	z 6 miesięcy	po sobie	następujących
2 okresy	" 5	"	" " "
4 "	" 4	"	" " "
i 6 okresów	" 3	"	" " "

Natomiast dłuższe okresy bezdeszczowe doszły w ostatnich latach w r. 1930 do 23 dni.

Przyczyny zjawisk posuchy są nieraz dość odległe w czasie, stąd prognoza staje się ułatwiona.

Ponieważ w okresie bezdeszczowym ścieki zasilane są jedynie wodami gruntowymi, przeto pierwszym krokiem do długoterminowej prognozy posuchy musi być zbadanie zapasów wody gruntowej. Na naszym terenie były w tym kierunku robione badania przez R. Rosłońskiego na rzece Sanie i Jasiołdzie⁵⁵⁾ oraz przez Dębskiego na Prypeci⁵⁶⁾.

Prace Rosłońskiego omawiane były w części I Hydrologii. Dębski wykorzystał 10-letni bilans wodny Prypeci w Mostach Wolańskich i ostrą zimę 1928/29 do ustalenia rozmiarów retencji i ich związku ze stanami wody. Związek do jakiego doszedł wyraża wielkość retencji w mm w dniu 31 października każdego roku, uzależnioną od odczytów wodowskazowych (wyrażonych w cm) w Mostach Wolańskich przy końcu września, października i listopada:

$$R_{31.X} = 0,117 H_{IX} + 0,261 H_X + 0,422 H_{XI} - 49,3 \quad (33)$$

Mając objętość retencji w pewnym czasie, możemy śledząc bilans wodny (opady, straty, odpływy) mieć w ewidencji zmiany w zapasach wody gruntowej, a stąd stan retencji w każdej chwili.

Wtedy nietrudno przy pomocy prawa Mailleta: $V = Q a^{-1} + C$ i $Q = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)}$ przepowiedzieć przepływ Q po upływie czasu t .

W braku danych o wielkości zapasu wód gruntowych można współczynnik regresji α oznaczyć z kilku lat posusznych (Hydrol. część II).

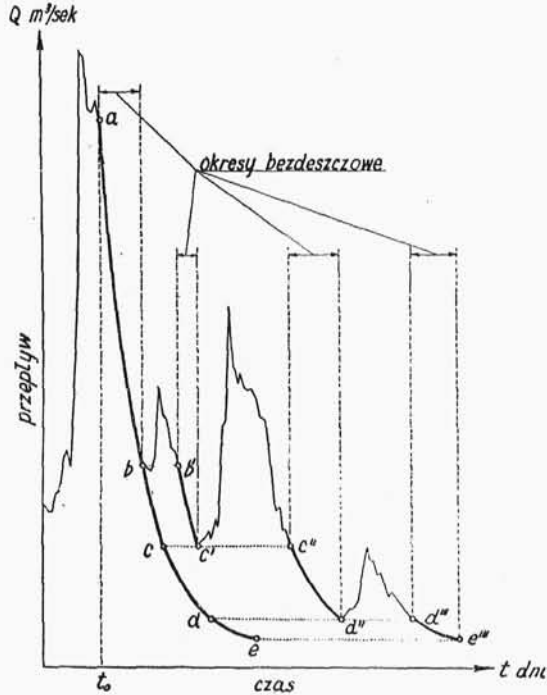
W wystarczającym przybliżeniu można otrzymać przebieg katastrofalnej posuchy metodą wykreślną. W tym celu wybieramy

⁵⁵⁾ R. Rosłoński. Woda gruntowa w dorzeczu Sanu, Biuletyn Tow. Geofizyków. Warszawa. 1932 r. Zeszyt 6.

⁵⁶⁾ K. Dębski. Związki opadu, odpływu i retencji. Referat na kongres w Lizbonie. 1933 r.

z poprzednich lat posusznych okresy bezdeszczowe, kreśląc w tym czasie bieg dzienny stanów wody albo lepiej przepływów.

Dla różnych stanów podstawowych, różnych warunków meteorologicznych i stanu nasycenia gruntu, będzie położenie krzywych biegu różne, ale kształt ich mało się będzie różnić. Jeżeli dla szeregu lat (rys. 118) krzywe opadania objętości w okresach „ab” „b' c'”



Rys. 118.

Krzywa spadku objętości przepływu w okresach bezdeszczowych.

i „c' d'” złączymy w jedną krzywą „abcd”, to otrzymamy bieg objętości taki, jak gdyby od chwili t_0 panował stale okres bezdeszczowy. Z szeregu lat otrzymamy bieg przeciętny. Granicą dolną krzywej będzie przepływ bezwzględnie najniższy, zależny od możliwości opróżnienia zbiorników podziemnych; teoretycznie minimalna objętość powinna być równa zero, nigdy jednak posucha tak długo nie trwa.

Jeżeli mamy przebieg krzywej objętości w czasie bezdeszczowym, to możemy przewidywać objętość przepływu aż do końca okresu posuchy i oznaczać średnie przepływy (np. miesięczne) na wypadek gdyby w danym miesiącu nie było deszczu (rys. 118).

Dla Muru w Bruck ustalił Bratschko 6 różnych krzywych biegu niskich stanów, a mianowicie:

- a) po deszczu na ziemię wolną od śniegu, albo na skorupę śnieżną ale z równoczesnym mrozem,
- b) po długich deszczach j. w. ale przy temperaturze 0° ,
- c) po deszczu na zamarzniętą ziemię,
- d) po odwilży lub po nowym śniegu przy mrozie,
- e) po odwilży z nowym śniegiem,
- f) po nastaniu silnych mrozów (-10°) i zlodzeniu rzek.

W przeciwieństwie do powodzi, których przebieg bardzo rozmaity zmusza do stawiania prognozy wyłącznie na podstawie bezpośrednich obserwacji, ustalenie biegu niskich przepływów jest zarazem prognozą zarówno na najbliższe dni jak i nieco dalszy okres jednak bez możliwości przewidywania końca okresu posuchy. Konieczny tu jest związek z prognozami długoterminowymi w meteorologii.

Jeśli chodzi o prognozę możliwości nastania długotrwałej posuchy, to pewne wskazówki w klimacie umiarkowanym daje wielkość warstwy śnieżnej i stan zamarznięcia ziemi oraz nadwyżki bilansu w roku poprzednim.

Dla niektórych okolic przepowiednie mogą być zupełnie ścisłe, tak np. Maurer doszedł do wniosku, że w Szwajcarii zimy, w których odchyłki wartości normalnych ciśnienia powietrza w czasie od listopada do stycznia wykazują maximum, zdarzają się w okresach 8-letnich i że po takich zimach nastają okresy posuchy. Na tej podstawie przepowiedział Maurer w r. 1918 najbliższą zimę 1920/21 jako taką, po której może nastąpić posucha.

Jak wiemy objęła ona nie tylko Szwajcarię ale i środkową i wschodnią Europę.

Podobne próby przepowiedni na r. 1921 podejmował Wallen dla jeziora Vanorn w Szwecji.

W Polsce okresy posuchy w bieżącym stuleciu notowane były w r. 1904, 1911, 1921 i 1930 w odstępach 7—10—9 lat czyli średnio prawie co 9 lat. Poszczególne jednak rzeki miały okresy posuchy częstsze, jakkolwiek zjawiska nie są nigdy tak terenowo ograniczone jak powodzie, które obejmują nieraz tylko części dorzecza (1934).

Przebieg posuchy w r. 1930 opisał T. Zubrzycki⁵⁷⁾. Objęła ona całą Polskę, przekraczając w niektórych okolicach znane dotąd minima przepływów. Najsilniej wystąpiła w dorzeczu Prypeci i Dniestru, tam odpływy jednostkowe obniżyły się do 0,82 i 1,2 l/sek i km²,

⁵⁷⁾ T. Zubrzycki. Charakterystyka odpływu rzek polskich przy niskich stanach wody. Warszawa, 1933.

ale na Warcie, mimo że posucha trwała krócej, opływ obniżył się do 0,6 l/sek i km². Na Warcie i Horyniu stwierdzono wyraźnie zmniejszanie się współczynnika spływu ze wzrostem dorzecza, na innych rzekach współczynnik początkowo wzrastał, później dopiero malał. Na Wiśle przepływy zanotowane w r. 1921 i 1904 były niższe niż w r. 1930.

W innej swej pracy Zubrzycki⁵⁸⁾ podaje kilka rzeczywiście pomierzonych minimów przepływu:

Skawa — Sucha 0,93 l/sek km²

Dniestr — Kornałowice 0,88 l/sek km²

" — Zaleszczyki 1,21 "

Stryj — Kropiwnik 1,01 l/sek km²

znacznie przekraczających nasze dotychczasowe normy. Przy tych odpływach współczynnik ν Iszkowskiego musiałby spaść do 0,46 a nawet 0,36.

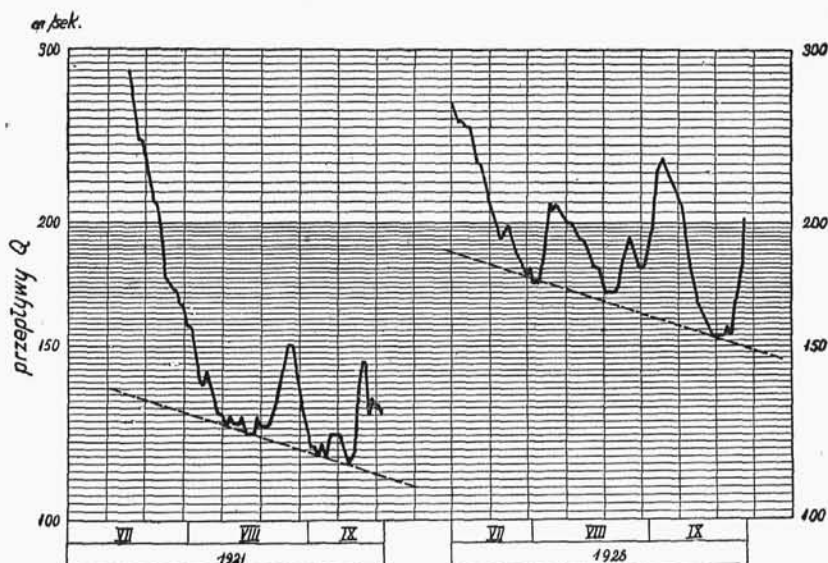
Jako praktyczne zastosowanie obliczeń przepływu w czasie posuchy w zależności od czasu jej trwania podajemy poniżej badania nad przepływem minimalnym Wisły pod Warszawą.

Dla projektu oczyszczalni ścieków kanałowych potrzebna jest znajomość najmniejszych przepływów Wisły jako odbiornika tych ścieków i jako źródła tlenu biologicznego, służącego do zmineralizowania wpuszczonych ścieków.

Istnieją dwa okresy najniższych stanów Wisły: jesienny i zimowy. W okresie jesiennym ważna jest krzywa konsumpcyjna ustalona dla danego roku. Na podstawie obserwacji stanów można łatwo wykreślić wartość przepływu w każdym dniu, a na podstawie znanego prawa regresji odpływu przewidywać stopień zmniejszania się przepływu w miarę upływu czasu (na wypadek dalej trwającej posuchy). W okresie zimowym krzywa konsumpcyjna nie jest już ważna, a miarą ilości przepływu może być stopień twardości wody wiślanej, który jest tym wyższy, im większy jest w przepływie udział wód gruntowych, a mniejszy—wód opadowych. W chwili gdy w czasie silnych mrozów obejmujących całe dorzecze dopływ wód opadowych ustaje, stopień twardości ustala się i wtedy ilość przepływu może być określona tylko bezpośrednim pomiarem pod lodem. Gdyby mrozy trwały dalej, wyczerpywać się będzie stopniowo zbiornik wód gruntowych i zmniejszać ilość przepływu. Aby z pomierzonego przepływu można było przewidzieć granice do jakich może spaść przepływ w ciągu dalszego trwania mrozów, trzeba wyznaczyć prawo regresji przepływu.

⁵⁸⁾ T. Zubrzycki. Skrajne wartości stanów wody i objętości przepływu. Lwów, 1932.

Z pomiarów przepływu i obserwacji stanów w roku 1921 i 1928 można narysować w podziałce półlogarytmicznej przebieg przepływów w okresach jesiennych. Kreśląc proste przez najniższe punkty krzywych, można wyznaczyć przebieg podziemnego zasiłku rzeki ze zbiornika wody gruntowej. Fale leżące ponad prostą regresji określają przebieg odpływu wód deszczowych, pochodzących z deszczów lokalnych, zbyt krótkotrwałych, aby miały wpływ na powiększenie się zapasu wód gruntowych. (Rys. 119).



Rys. 119.

Określenie zasiłku rzeki ze zbiornika wody gruntowej.

Ze wzorów Mailleta (Hydrologia, część II, str. 170) można obliczyć współczynnik regresji $\alpha = 0,00290525$ oraz określić pojemność zbiornika wglębnego przy pewnych przepływach. Wynosi on: 2.974 miliarda m^3 przy przepływie $100 m^3/sec$, 3.866 miliarda m^3 przy przepływie $130 m^3/sec$, 4.461 miliarda m^3 przy przepływie $150 m^3/sec$ itd. Tym cyfrom odpowiada warstwa wody równomiernie rozłożona na całym dorzeczu: 35,4 mm, 45,9 mm, 53,1 mm. Wychodząc z określonego przepływu można przewidzieć regresję jego w pewnych okresach czasu. Czas potrzebny do regresji z przepływu $150 m^3/sec$ stopniowo aż do $100 m^3/sec$ jest następujący:

Przepływ	150	140	130	120	110	100	m ³ /sek
Czas regresji przepływu	0	24,0	49,5	77,5	107,5	142,0	dni
Różnica czasu	24,0	25,5	28,0	30,0	34,5		dni

Aby przepływ zmniejszył się z 120 m³/sek na 110 m³/sek trzeba 30 dni czasu nieprzerwanych silnych mrozów, wykluczających dopływ do Wisły wód opadowych. Dalszy spadek przepływu do 100 m³/sek wymagałby mrozów w ciągu dalszych 34,5 dni. Jest rzeczą mało prawdopodobną, aby w ciągu przeszło dwu miesięcy nie nastąpiła w dorzeczu odwilż, więc wynika z tego, że istnieje pewna granica, poniżej której przepływ zimowy nie może opaść, granica tym wyższa im większy był przepływ Wisły w początku okresu mrozów.

