

zapór, przesiąkalność pokładów w obrębie spiętrzenia, musi być dokładnie zbadana.

Pewne znaczenie może mieć regulacja poziomu naturalnych zbiorników wody-jezior, i to nie tylko ze względu na ewentualne zmiany w poziomie wód wgłębnych, podobne zresztą jak przy wodach płynących, ale także ze względu na równowagę stoków. Jeżeli pokład jakiś, mający wychodnią poniżej zwierciadła wody, znajduje się w równowadze tylko dzięki pełnemu nasyceniu go wodą, to w razie obniżenia poziomu jeziora, zostanie on osuszony, a przez to może nastąpić zmiana ułożenia ziarn, zmniejszenie się objętości danego pokładu i co zatem idzie ruchy pokładów stropowych. Zjawisko tego rodzaju następuje często wówczas, kiedy na linii zwierciadła jezior, znajdują się pokłady namulów. Niebezpieczeństwo usunięcia się warstw górnych zachodzi wówczas, jeśli kierunek spadu warstw jest zgodny z kierunkiem nachylenia stoku.

7. Wpływ robót meljoracyjnych.

W klimacie wilgotnym roboty meljoracyjne mają często na celu obniżenie zwierciadła wód wgłębnych do poziomu najkorzystniejszego dla wzrostu roślin w porze wegetacji. Głębokość maximalna, z której roślina może czerpać wodę ze zbiorników podziemnych, zależy od gatunku roślin i od rodzaju podglebia, a w szczególności od miąższości strefy objętej działaniem włoskowatości. Głębokość minimalna, przy której obecność wody staje się dla roślin szkodliwą, zależy również od gatunku roślin i od stosunków klimatycznych, przede wszystkim od rocznego biegu temperatury i od rozłożenia opadów, wywołujących zmiany w położeniu poziomu wody wgłębnej.

Między temi dwiema granicami, będzie leżał poziom optymalny wód wgłębnych, najkorzystniejszy dla wzrostu roślin. Pomijam tu działanie ważnej dla roślinności słabo przepuszczalnej warstwy iluwjalnej, która wpływa tylko na rozmieszczenie wilgotności w wierzchnich warstwach gleby, a może nie mieć związku z zwierciadłem wody gruntowej.

Rośliny posiadają zdolność przystosowania się do warunków istniejących. I tak zboża uprawne, dla których optymalne położenie zwierciadła wody gruntowej znajduje się na poziomie około 1,00 m poniżej terenu, czerpały (według badań Schultze'go, Boehme'go i Thiel'a *) zupełnie dobrze wodę z głębokości,

*) Dane cyfrowe według Koehne'go 4).

zależnie od gatunku, 1,89—2,77 *m*. Z uwzględnieniem włoskowatości, zwierciadło wody wgłębnej może spaść jeszcze niżej, w zależności od jakości podglebia, wpłynie to jednak na obniżenie plonu. W większej głębokości, przez różnych autorów rozmaicie określanej (zwykle około 4 *m*), staje się zbiornik wody wgłębnej, dla roślin zbożowych, bez znaczenia. Istnienie zbiornika wody wgłębnej w niewielkiej głębokości (do 2 *m*) jest tem pożyteczniejsze, im z mniejszą ilością opadów mamy do czynienia i im częstsze są okresy bezdeszczowe w porze wegetacji. W północnych Niemczech konstatowano różnicę w dobroci gruntów, w związku z położeniem wody gruntowej nawet przy 700 *mm* rocznego opadu.

Na gruntach torfowych poziom korzystny zw. wody wgłębnej dla roślin zbożowych może być nieco wyższy (0,8 do 0,9 *m*). Obecność wody wgłębnej jest również korzystna w gruntach lössowatych; Schurig przytacza przykład z okolic Halle, gdzie pod 4 *m* warstwą lössu i humusu istniał pokład żwirowy przesycony wodą. Po odciągnięciu wody skutkiem robót górniczych, obniżyły się znacznie plony.

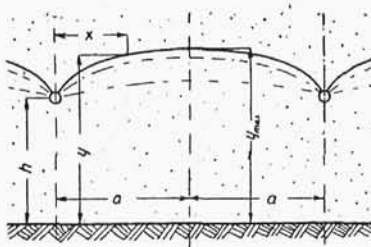
Dla uprawy jarzyn poziom optymalny zwierciadła wody wgłębnej jest podobny, dla niektórych gatunków może być wyższy. Bez wielkiego znaczenia staje się w głębokości poniżej 2,00 *m*. Dla łąk i pastwisk potrzebny jest wyższy poziom wód wgłębnych, optymalne położenie waha się w granicach od 0,5 do 0,75, zależnie od rodzaju gleby i podglebia, oraz ilości opadów. Przy niewielkich opadach dla łąk miarodajna jest granica górna, przy opadach 700 *mm* może dla pastwisk wystarczyć 0,75 *m*. Wobec konieczności stałego odrostu przy pastwiskach, względnie kilku pokosów przy łąkach, naogół istnienie zbiornika wody wgłębnej jest ważniejsze, niż dla uprawy innego rodzaju.

Najtrudniejsze jest dobranie odpowiedniego poziomu wody wgłębnej przy osuszaniu bagien i torfowisk. Wielką rolę odgrywa tu rozłożenie opadów i temperatur (deficytu pary wodnej), oraz osiadanie osuszonego torfowiska. Odpowiednie położenie poziomu zwierciadła wody wgłębnej jest tem ważniejsze, że włoskowatość w torfach nie odgrywa takiej roli, jak w gruntach innego rodzaju.

Poziom użyteczny zwierciadła wód wgłębnych obniża się w miarę, jak mamy do czynienia z roślinami o silnych i głęboko sięgających korzeniach. Dla drzew owocowych korzystny poziom zwierciadła wód wgłębnych nie o wiele jest niższy (1,0—1,50 *m*). W lasach spotykamy się z poziomami o wiele niższymi, nie działającymi niekorzystnie na wzrost drzew. U wielu gatunków drzew (buk, brzoza itp.) znajdowano korzenie, sięgające poniżej normal-

nego poziomu wody gruntowej i to w różnych głębokościach (od 0,5 do 3,50 m), drzewa łatwo bowiem przystosowują się do istniejących warunków. Obniżenia znaczniejsze oddziałują już niekorzystnie na przyrost masy drzewnej, jak dowiodły tego badania na terenach wodociągowych Berlina.

Najniższe położenie zwierciadła wody gruntowej, z której drzewa mogą czerpać zasoby wilgoci, sięga w zależności od gatunku bardzo głęboko. Korzenie topoli znajdowano w głębokości 12 m, buku 25 m, zaś przy kopaniu kanału Suezkiego znaleziono korzenie rośliny tamarix w głębokości 30 m.



Rys. 78.

Poziom wód gruntowych obniżonych drenowaniem.

Obniżenia poziomu wód wgłębnich dla celów vegetacyjnych, w okolicach wilgotnych o wysoko sięgającym naturalnym poziomie, dokonuje się przy pomocy rowów osuszających lub drenów.

Obliczenie poziomu wody wgłębnej, pomiędzy dwoma rowami względnie drenami, byłoby możliwe tylko w razie stałego dopływu wody przesiąkającej. Przyjąwszy ten dopływ w ilości w m³/sek i 1 m², zaś odpływ wody na 1 mb rowu, lub drenu q m³/sek otrzymujemy według oznaczeń na rys. 78 *):

$$q = ky \frac{dy}{dx} = (a - x) w$$

$$y^2 = \frac{w}{k} (2ax - x^2) + C$$

$$\text{dla } x=0, y^2 = h^2 = C$$

$$\text{zaś } y^2 = \frac{w}{k} (2ax - x^2) + h^2 \quad (9)$$

$$\text{dla } x=a, q=0, y_{max} = \sqrt{h^2 + a^2 \frac{w}{k}} \quad (10)$$

$$\text{dla } x=0, q=aw, y_0=h$$

*) Koehne⁴⁾.

Przyjmując dla drenów h równe głębokości wody w drenach, zatem nieznaczne, otrzymujemy:

$$y_{max} = a \sqrt{\frac{w}{k}} \quad (11)$$

Nierównomierny dopływ wody przesiakającej w nie pozwala na ścisłe oznaczenie tą drogą pożądanego poziomu wody, między rowami względnie drenami, a stąd odstepu i głębokości rowów czy drenów. Koniecznym zatem staje się badanie, na stacjach doświadczalnych, wpływu robót melioracyjnych na stan wód wgłębnich. Badania te wykazują, że średni poziom wód, po osuszeniu w latach niezbyt obfitych w opady, zbliża się do poziomu drenów, ulega jednak dość silnym wahaniom po silnych opadach. Na podniesienie się stanu wód gruntowych wpływa zmniejszenie się parowania w porze jesiennej i zimowej.

Na gruntach mineralnych obszerniejsze badania rozpoczęto w r. 1929 na stacji doświadczalnej w Fredrowie *) (pow. Rudki), na glebie glinkowej, z której zdrenowano 14,39 ha, w głębokościach 0,8, 1,1 i 1,4 m, oraz przy rozstawie 6,9, 12 i 15 m. Dla pomiaru stanu wód gruntowych, założono 16 profilów pomiarowych, wyposażonych w 57 punktów obserwacyjnych. W powyższych sondach zmierzono przede wszystkim stan wody przed drenowaniem w sierpniu 1929 r., dalsze pomiary wykonywano stale w okresie wegetacyjnym, a w r. 1932/33 również przez zimę.

Na rys. 79 przedstawiono warstwicę równej odległości wody gruntowej od powierzchni ziemi z sierpnia 1929 i kwietnia 1932 r. Okazuje się, że stan wody gruntowej obniżył się, mimo iż poziom po drenowaniu mierzono w okresie wiosennym.

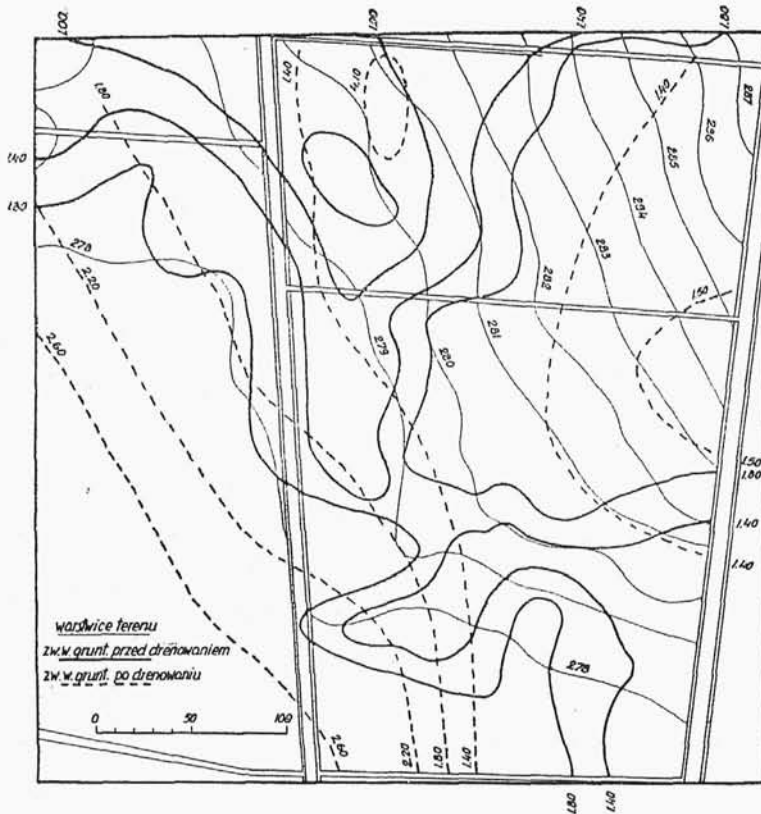
Wahania poziomu w ciągu 2 lat od 1 kwietnia 1931 do 31 marca 1933 r. przedstawiono na rys. 80. Na wykresie podano obserwacje z dwóch sond, oddalonych o 0,75 względnie 3,0 m od linii drenu. Różnica między poziomami w obu sondach nie przekraczała naogół kilku centymetrów. Wahania wody wgłębnej są dość znaczne, przekroczyły bowiem w ciągu 1932 r. — 1,50 m, odnoszą się jednak do silnego obniżenia się stanów w ciągu gorącego i prawie bezdeszczowego lata i słabych opadów jesiennych 1932 r.

Ponad poziom drenów podnosi się stan wody gruntowej nieznacznie (do 25 cm) w ciągu jesieni 1931 r., po silnych letnich deszczach, oraz z wiosną 1932 r., skutkiem topnienia śniegów. Letnie opady w r. 1931 były też przyczyną, że wahania poziomów wody wgłębnej, nie przekroczyły w tym roku 1,00 m. Najwyższe wiosenne poziomy wód są niższe o 20 cm od poziomem wody w lipcu 1929 r. mierzonego przed drenowaniem, w porównaniu zaś ze stanem wody w lipcu 1931 r. amplituda wahań wynosi 1,40 m.

*) J. Łopuszański ²⁴).

Kształt linii depresyjnych, przy różnych stanach wody, zarysowuje się, przy uwzględnieniu pomiarów w 4 sondach, w poszczególnych dniach dość różnorodnie, jak to widocznem jest z wykresu (rys. 81).

Nie we wszystkich profilach występuje depresja wyraźna, skorbowiem zwierciadło wody spadnie poniżej poziomu drenu, działa już



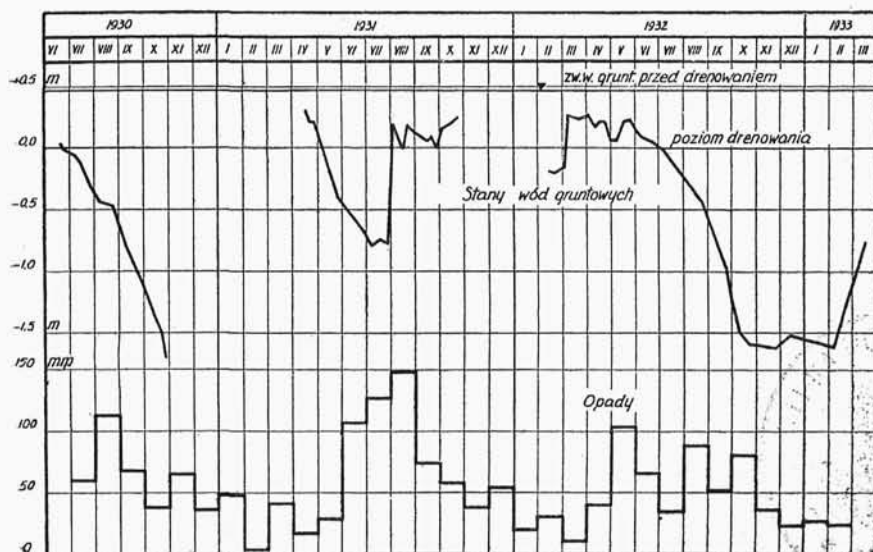
Rys. 79.

Poziom wód wglębnych przed i po drenowaniu na stacji doświadczalnej w Fredrowie.

ogólny spad wody gruntowej, w tym wypadku ku rzece Wiszni. Oprócz poziomu wód gruntowych mierzono również w strefie nawietrzonej wilgotność, oraz temperaturę. W porze bezdeszczowej średnia wilgotność wynosiła nieco poniżej 40%, wzrastając od powierzchni ziemi ku zwierciadłu wody gruntowej. Bezpośrednio po deszczach i w okresie tania śniegów wilgotność warstw wierzchnich wzrasta bardzo silnie*). Względnie silnie spada temperatura gleby w kierunku ku poziomowi wody wglębnej, np. z 20° na 12° C, lub z 17,2° na 11,4° itp. Bardzo silny wpływ wywarło drenowanie na stosunek powietrza do gruntu i wody w strefie

*) Szczegółowo opisuje badania wilgotności Roniewicz w Czasopiśmie Technicznym r. 1933.

nawietrzonej, kiedy bowiem przed drenowaniem stosunek ten wynosi 1—4% objętości, to obecnie wynosi kilkakrotnie więcej, jak świadczą przykłady kilku pomiarów przedstawionych na rys. 82.

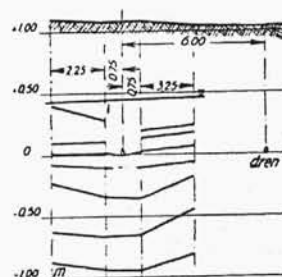


Rys. 80.

Zmiany poziomu wód gruntowych w Fredrowie w związku opadami.

Z badań na gruntach torfowych mamy kilkulatnie studia hydrologiczne na stacji doświadczalnej w Sarnach*). Grunty te osuszono bądź to drenami żerdziowymi, bądź też rowami otwartymi, na głębokość 0,8 do 1,0 m pod terenem. Obserwacje prowadzono tylko w okresie wegetacyjnym, w profilach poprzecznych, obejmujących po 3 sondy między rowami względnie drenami (rozstaw 31 do 65 m). Przykład ukształtowania się zwierciadła wody głębokiej podaje rys. 83. W porze letniej, o przeważającym parowaniu, ustala się poziom wody nieco wyżej poziomu wody w rowie, wzrasta silnie w porze topnienia śniegów lub po silnych deszczach.

Wobec znacznie większej odległości wzajemnej rowów, linie depresji są wyraźniejsze, okazują to przykłady, przedstawione na rys. 84, według których przy niskich stanach poziom zwierciadła wody układa się prawie poziomo, ale wyjątkowo tylko spada poniżej dna rowu. Mała ilość

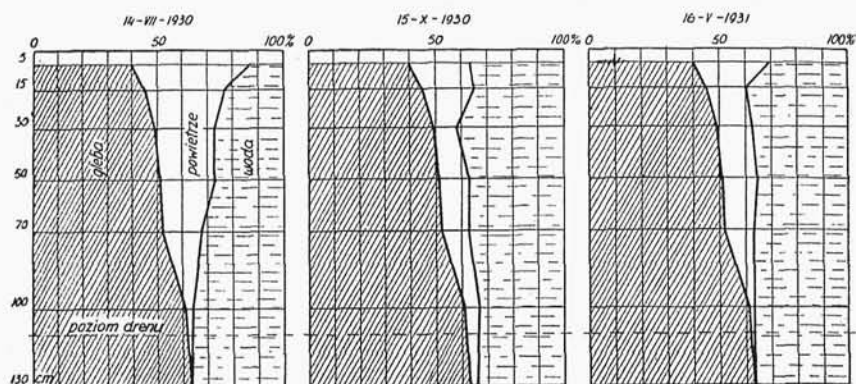


Rys. 81.

Zmiany poziomów zwierciadła wód gruntowych w przekroju poprzecznym.

*) Inżynierja Rolna 1931 ²⁶).

sond, nie pozwala na dokładne oznaczenie linii depresji, jak to np. podaje Spöttle z pomiarów na drenowanej łące, na torfach wyżynnych na stacji doświadczalnej Bernau (Bawaria) (rys. 85).



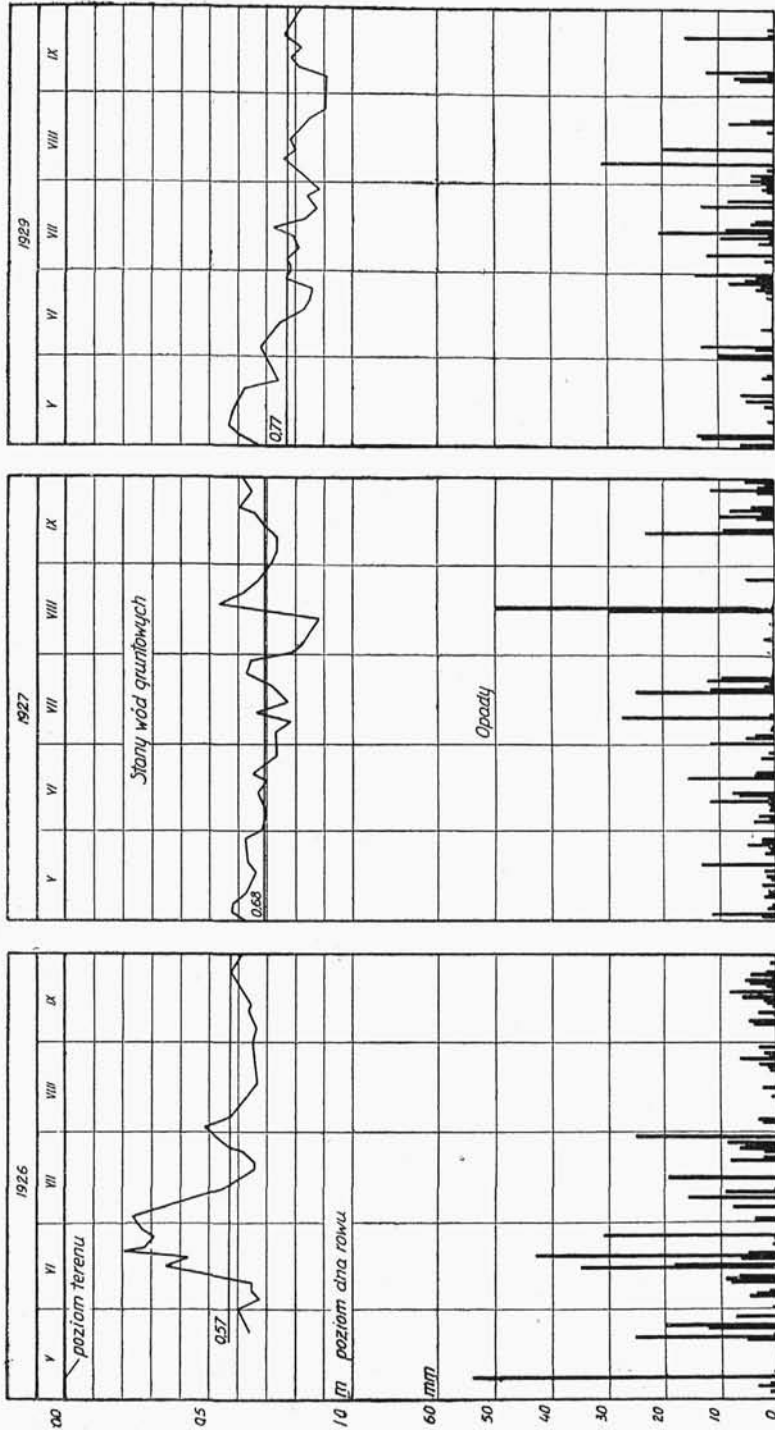
Rys. 82.

Wpływ drenowania na przewietrzanie gruntu.

O wiele mniejszy wpływ na stany wód głębszych wywiera doprowadzenie wody w okolicach o klimacie suchym, lub też na terenach o bardzo głęboko położonym stanie wód gruntowych. Jedynie nawadniania zalewowe mogą spowodować podniesienie się nieznaczne poziomu tych wód. Zwykle dostarczona woda zwiększa tylko wilgotność wierzchnich warstw i jak np. w sztucznych deszczowniach, bywa niezwłocznie pochłaniana przez rośliny lub też ulega odparowaniu z gruntu.

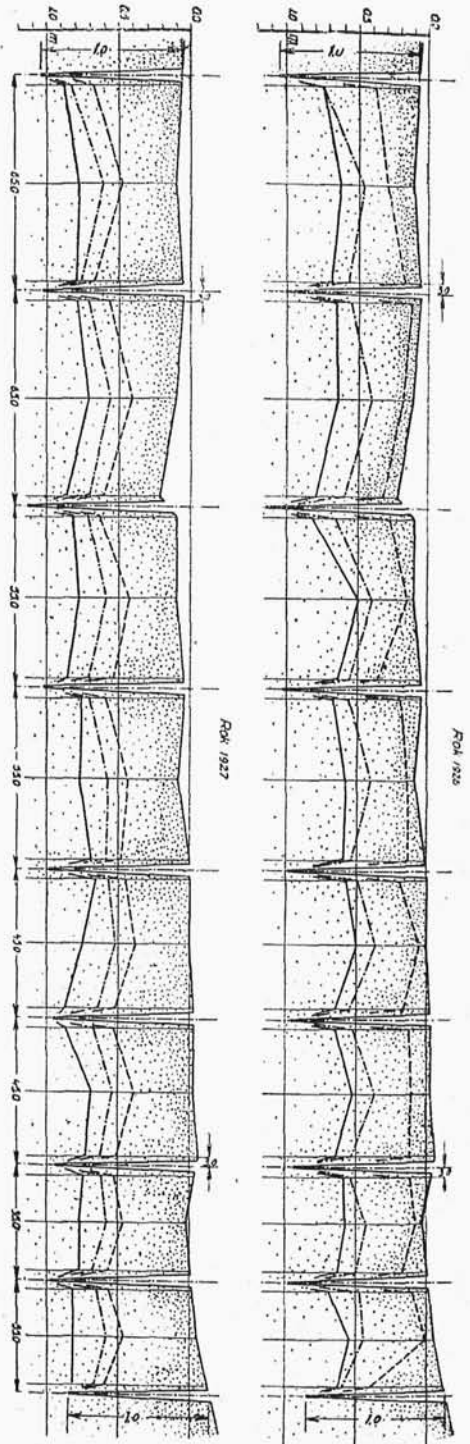
8. Wodociągi.

Znaczne zmiany w poziomie wód gruntowych może wywołać eksploatacja pokładów wodonośnych dla celów wodociągowych. Jeżeli czerpanie odbywa się z pokładu o wydajności większej, niż największe zapotrzebowanie, wówczas depresja w studniach zmieniać się będzie stosunkowo nieznacznie, wahając się w miarę zmiany ilości pompowanej wody około pewnej wartości średniej, odpowiadającej średniemu spożyciu. W ślad za tem zmieniać się będą poziomy wody gruntowej na całym terenie wodociągowym, ale wahania będą coraz mniejsze w miarę oddalania się od miejsca poboru wody, a w pewnej odległości znikną zupełnie. Wahania dzienne oddziaływać będą jedynie na najbliższe otoczenie studni. Naogół



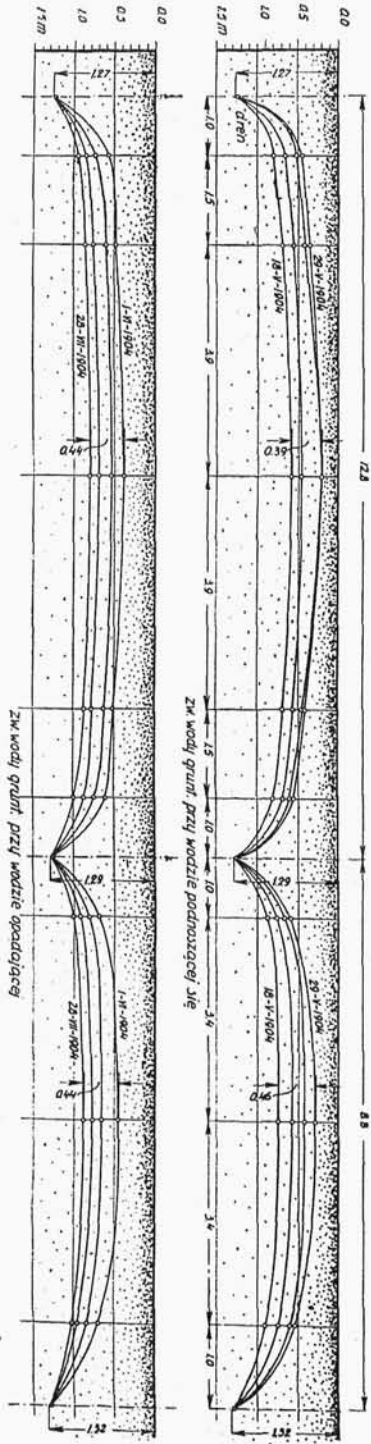
Rys. 83.

Zmiany poziomu wód gruntowych na terenie odwodnionym rowami, na stacji doświadczalnej w Sarnach.



Rys. 84.

Przekroje przez teren odwodniony rowami na stacji doświadczalnej w Sarnach.



Rys. 85.

Przekroje przez łąki odwodnione drenami w Bernau (Bawaria).

obniżenie poziomu wody gruntowej na eksploatowanym terenie będzie więc odpowiadało średniemu poborowi wody. Inaczej rzecz się przedstawia, jeżeli czerpanie odbywa się z wielkich zbiorników, o niewystarczającym dopływie wody gruntowej. Badania wstępne, przeprowadzone na poszczególnych studniach i w ograniczonym okresie czasu, zwykle nie są w stanie w takim wypadku ustalić ilości naturalnego dopływu. Następuje wówczas powolne wyczerpywanie się zbiornika i co zatem idzie stale postępujące obniżanie się poziomu wód gruntowych na eksploatowanym terenie. W pokładach artezyjskich objawia się wyczerpywanie się zbiornika powolnym zmniejszaniem się ciśnienia i wydajności studni.

Zmiany w poziomie wód gruntowych przy eksploatacji wodociągów mogą też być wynikiem różnych wpływów klimatycznych w poszczególnych latach. Lata obfite lub ubogie w opady, gorące lub chłodne, powodują różną ilość przesiąkającej wody, a wówczas pokłady dobrego przewodnika wody odgrywają rolę podobną, jak zbiorniki retencyjne na powierzchni ziemi, mianowicie wypełniają się i podnoszą stan wody gruntowej w mokrych latach, zaś opróżniają się i obniżają poziom wód w latach suchych. Na rys. 70, przedstawiającym przebieg charakterystycznych stanów wody gruntowej w sondach na terenie wodociągu lwowskiego, znać wyraźnie wpływ mokrego r. 1913, lub suchego 1931 na zmiany poziomu wód gruntowych.

Znaczne obniżenie poziomu wód gruntowych, skutkiem eksploatacji wodociągów, może wpłynąć na zmniejszenie, lub zupełne ustanie dopływu wód gruntowych do ścieków, a w razie dalej postępującej depresji, może doprowadzić do czerpania wody częściowo z wód na powierzchni.

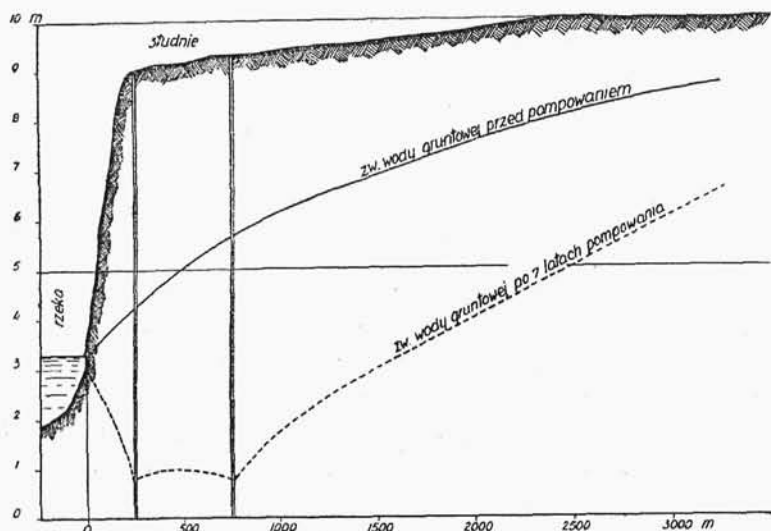
K o e h n e ⁴⁾ podaje, że na terenie Berlina i okolicy, wynosi średni odpływ na powierzchni 4 l/sek i km^2 , z czego jednak $\frac{3}{4}$ pochodzi z odpływu podziemnego. Silne obniżenie poziomu wód gruntowych dla wodociągu berlińskiego, powstrzymało spływ wód gruntowych do Sprewy, a chociaż teren wodociągowy stanowi nieznaczną część dorzecza Sprewy, ubytek ten w latach posuchy dał się już zauważyć na stanie wody w rzece.

Na rys. 86 uwidoczniono zmianę w układzie poziomu wód gruntowych, po otwarciu zakładu wodociągowego „Müggelsee”, z której okazuje się, nie tylko zanik dopływu wody gruntowej do rzeki, ale nawet częściowe czerpanie wody z rzeki. U nas podobny stan wykazują studnie wodociągu krakowskiego, umyślnie zbliżone w tym celu do brzegu Wisły.

Silne obniżenie pierwotnego poziomu wód głębszych pociąga za sobą zwiększenie wahań, skutkiem wpływów klimatycznych lub zmian w ilości pompowanej wody. Zwiększenie amplitudy wahań uwidoczni się przede wszystkim na sondach najbliższych ujęcia,

jak to widoczne jest na rys. 67, przedstawiającym wahania wody gruntowej przy ujęciu dla Lwowa. Sonda Nr. 99, położona jest opodal studni zbiorczej, sonda Nr. 66 zdala, przy gościńcu Janowskim.

Podobny obraz przedstawiają wahania wody gruntowej na obszarze wodociągów berlińskich. Wahania te w pobliżu ujęcia dochodzą do 7 m amplitudy.



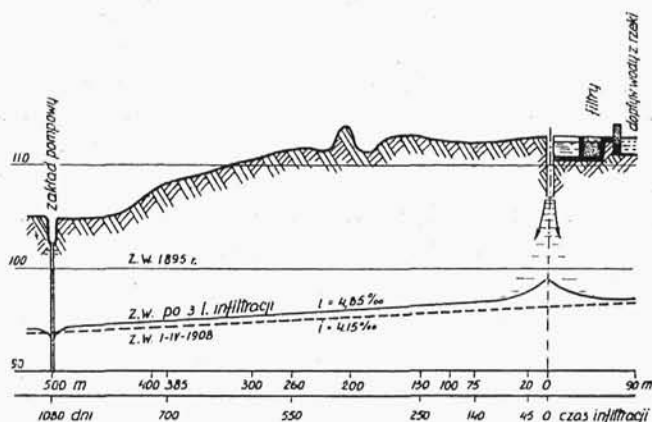
Rys. 86.

Zmiana poziomu wód gruntowych na terenie wodociągu „Müggelsee” pod Berlinem.

W związku z zaopatrzeniem miast w wodę, możemy mieć do czynienia nie tylko z obniżeniem się poziomu wód gruntowych, ale także z podwyższaniem się, a nawet z utworzeniem nowego nieistniejącego dotąd pokładu wodonośnego, w drodze tworzenia zapasów sztucznej wody gruntowej. Dzieje się to wówczas, jeżeli naturalny dopływ wód gruntowych nie wystarcza na potrzeby zakładu wodociągowego, a zbliżenie studzien do brzegów wód na powierzchni i czerpanie wody powierzchniowej, przefiltrowanej w naturalny sposób, z jakiegokolwiek względu, nie jest pożądane, albo też jeśli pokład wodonośny nie posiada dość obfitego zbiornika, dla wyrównania różnic w konsumpcji.

Dla utworzenia zbiornika sztucznej wody gruntowej muszą istnieć odpowiednie warunki naturalne, a zatem pokład nieprzepuszczalny, odpowiednio gruby pokład materiału dobrze przewo-

dzącego wodę, w którym ma się utworzyć zbiornik sztucznej wody gruntowej, wreszcie pokład wierzchni, stanowiący naturalny filtr. Przyjmuje się zwykle, że odbycie przez wodę drogi o długości około 10 m wystarcza do jej naturalnego oczyszczenia. Pokład nieprzepuszczalny nie może leżeć w zbyt silnym spadku, a jeżeli tak jest (Uddevalla w Szwecji), wówczas spiętrzamy podziemną wodę przy pomocy odpowiedniej budowli, tworząc zbiornik sztucznej wody gruntowej. Podobnie zamknięto na jednej z rzek w Kalifornii strumień wody gruntowej progiem podziemnym, przy którym założono studnię.



Rys. 87.

Zmiana poziomu wody gruntowej skutkiem urządzeń dla sztucznego jej zasilenia w Frankfurcie n. M.

Urządzenia dla sztucznej wody gruntowej z początku stosowane na niewielką skalę, przybierają obecnie duże rozmiary, w miarę coraz większych trudności w otrzymaniu dobrej wody naturalnej, zwłaszcza w okręgach przemysłowych.

Tak np. wodociąg Altendorf w Westfalji produkuje 137 000 m³ dziennie sztucznej wody gruntowej. W Polsce częściowo w ten sposób zaopatrywane jest miasto Kraków (rozdz. II).

Na rys. 87 przedstawiono urządzenie dla wytwarzania sztucznej wody gruntowej dla Frankfurtu nad Menem.

9. Drogi wodne.

Możliwość zmian poziomu wód gruntowych musi być uwzględniona także przy budowie dróg wodnych. Skanalizowanie rzeki