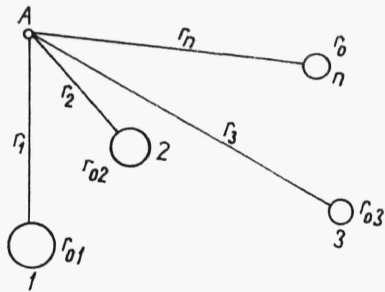


### 13.10. WSPÓŁDZIAŁANIE ZESPOŁU STUDZIEN

W praktyce zachodzi często potrzeba zastosowania zespołu studzien do celów zaopatrzenia w wodę lub do odwodnienia wykopów pod fundamenty budowli o dużej powierzchni.



Rys.13.19

W celu uzyskania odpowiedniej depresji na rozpatrywanym obszarze rozpatrzymy, jaka będzie głębokość  $h$  wody swobodnej w dowolnym punkcie  $A$  przy współdziałaniu zespołu studzien o promieniach  $r_{o1}, r_{o2}, r_{o3}, \dots, r_{on}$ , odległych od badanego punktu o  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ , jeżeli wydatki każdej ze studzien wynoszą odpowiednio  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$  (rys.13.19).

Korzystając z zależności (13.26) napiszemy równania krzywych depresji studzien w przypadku, gdyby każda z nich działała oddzielnie:

$$h_1^2 - h_{o1}^2 = \frac{Q_1}{\pi k} \ln \frac{r_1}{r_{o1}},$$

$$h_2^2 - h_{o2}^2 = \frac{Q_2}{\pi k} \ln \frac{r_2}{r_{o2}},$$

.....

$$h_n^2 - h_{on}^2 = \frac{Q_n}{\pi k} \ln \frac{r_n}{r_{on}}.$$

Oznaczmy przez  $h_{o1}, h_{o2}, h_{o3}, \dots, h_{on}$  głębokość wody w poszczególnych studniach zwykłych.

Stosując znaną w hydromechanice metodę superpozycji, tj. nakładania potencjałów, otrzymamy równanie powierzchni depresji w postaci

$$h_A^2 = \frac{Q_1}{\pi k} \ln \frac{r_1}{r_{o1}} + \frac{Q_2}{\pi k} \ln \frac{r_2}{r_{o2}} + \dots + \frac{Q_n}{\pi k} \ln \frac{r_n}{r_{on}} + C. \quad (13.39)$$

W najprostszym przypadku, gdy wydatki wszystkich studzien są jednakowe, a więc  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n = \frac{Q_o}{n}$  napiszemy

$$h_A^2 = \frac{Q_o}{\pi k n} \ln \frac{r_1 r_2 r_3 \dots \cdot r_n}{r_{o1} r_{o2} r_{o3} \cdot \dots \cdot r_{on}} + C. \quad (13.40)$$

Jeżeli punkt A znajduje się w tak dużej odległości od zespołu studzien, że możemy przyjąć  $r_1 = r_2 = r_3 = \dots = r_n = r$ , to powyższe równanie przyjmie postać

$$h_A^2 = \frac{Q_o}{\pi k} \left[ \ln r - \frac{1}{n} \ln(r_{o1} r_{o2} r_{o3} \cdot \dots \cdot r_{on}) \right] + C.$$

Podstawiając do tego równania:

$$h = H_o \quad i \quad r = R,$$

gdzie:  $H_o$  - pierwotna grubość warstwy wodonośnej,

$R$  - zasięg depresji całego układu studzien,

otrzymamy

$$C = H_o^2 - \frac{Q_o}{\pi k} \left[ \ln R - \frac{1}{n} \ln(r_{o1} r_{o2} r_{o3} \cdot \dots \cdot r_{on}) \right].$$

Po uwzględnieniu otrzymanej wartości  $C$  w równaniu (13.40) otrzymamy

$$H_o^2 - h_A^2 = \frac{Q_o}{\pi k} \left[ \ln R - \frac{1}{n} \ln(r_1 r_2 r_3 \cdot \dots \cdot r_n) \right], \quad (13.41)$$

lub

$$h_A^2 = H_o^2 - 0,73 \frac{Q_o}{k} \left[ \lg R - \frac{1}{n} \lg(r_1 r_2 r_3 \cdot \dots \cdot r_n) \right]. \quad (13.42)$$

Z tego wzoru znając  $Q_o$ , można obliczyć głębokość  $h_A$  wody w dowolnym punkcie A powierzchni depresji oraz przy danym  $h_A$  - wydatek  $Q_o$  zespołu studzien.

Jeżeli studnie o jednakowym wydatku rozmieszczone są na okręgu o promieniu  $\varrho$ , to w tym przypadku  $r_1 = r_2 = r_3 = \dots = r_n = \varrho$ , a głębokość  $h_o$  w środku  $O$  okręgu wyznaczymy ze wzoru (13.42)

$$h_o^2 = H^2 - 0,73 \frac{Q_o}{k} \lg \frac{R}{\varrho}. \quad (13.43)$$

Zasięg depresji  $R(m)$  zespołu studzien można obliczyć ze wzoru Kusakina

$$R = 575 S \sqrt{H k}, \quad (13.44)$$

gdzie:  $S$  - depresja zwierciadła w środku ciężkości układu studzien, m,  
 $H$  - grubość warstwy wodonośnej, m,  
 $k$  - współczynnik filtracji, m/s.

Przykład 13.2. Studnia o średnicy  $d_o = 2r_o = 300$  mm sięga do poziomej warstwy nieprzepuszczalnej. Grubość warstwy wodonośnej o swobodnym zwierciadle wynosi  $H_o = 14$  m. Obliczyć dopływ wody do studni (wydatek  $Q$  studni), jeżeli depresja zwierciadła wody w studni  $S_o = 4$  m, zaś współczynnik filtracji  $k = 0,0001$  m/s.

Rozwiązanie. Wydatek  $Q$  studni obliczymy ze wzoru (13.28)

$$Q = 1,36 \frac{k(H_o^2 - h_o^2)}{R_o \lg \frac{R_o}{r_o}}.$$

Zasięg depresji ze wzoru empirycznego (13.33) równa się

$$R_o = 3000 \cdot 4 \sqrt{0,0001} \approx 120 \text{ m}.$$

Głębokość wody w studni

$$h_o = H_o - s_o = 14 - 4 = 10 \text{ m}.$$

Podstawiając obliczone wielkości do wzoru (13.31), otrzymamy:

$$Q = 1,36 \frac{0,0001(14^2 - 10^2)}{\lg \frac{120}{0,15}} = 0,0045 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$Q = 4,5 \text{ l/s}.$$

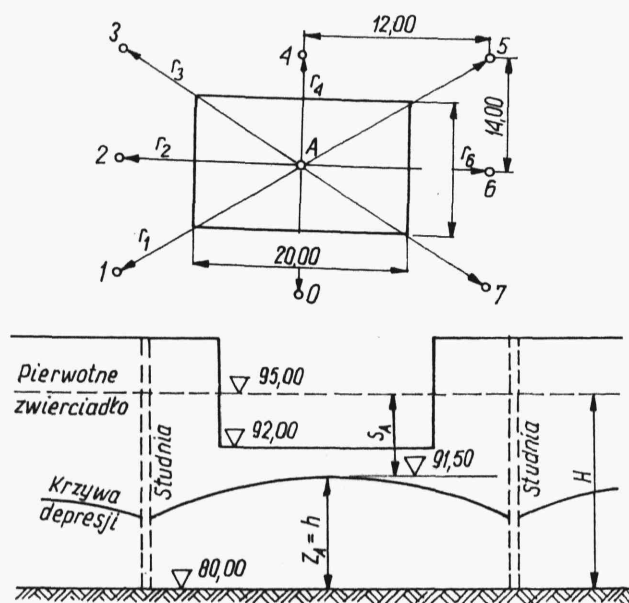
Przykład 13.3. Studnia o średnicy  $d_o = 2r_o = 0,4$  m opuszczona jest do dolnej warstwy nieprzepuszczalnej wody naporowej. Grubość warstwy wodonośnej równa się  $a = 4$  m. Obliczyć rzędną  $h$  linii piezometrycznej w promieniu  $r = 60$  m od osi studni, jeżeli przy wypompowaniu wody ze studni w ilości  $Q = 10$  l/s głębokość wody w studni  $h_o = 16$  m. Współczynnik filtracji  $k = 0,000884$  m/s.

Rozwiązanie. Ze wzoru (13.32) znajdziemy rzędną  $h$  przy  $r = 60$  m:

$$h - h_o = 0,37 \frac{Q}{k a} \lg \frac{r}{r_o},$$

$$h = 0,37 \frac{0,01}{0,000884 \cdot 4} \lg \frac{60}{0,2} + 16 = 18,6 \text{ m.}$$

Przykład 13.4. W celu osuszenia wykopu fundamentowego, przedstawionego na rysunku 13.20, zaprojektowano  $n = 8$  studzien, każdą o średnicy  $2r_o = 0,6$  m. Warstwa nieprzepuszczalna znajduje się na rzędnej 80,0 m, normalne zwierciadło wody swobodnej - na rzędnej 95,0 m, a dno wykopu leży na rzędnej 92,0 m.



Rys.13.20

Środek ciężkości zespołu studzien leży w punkcie A, tzn. w środku wykopu. Współczynnik filtracji  $k = 0,001$  m/s. Obliczyć: wydatek  $Q_o$ , tj. ile wody trzeba wypompować ze wszystkich studzien łącznie, aby osuszyć wykop, jeżeli założymy jednakowy wydatek z każdej studni.

Rozwiązanie. Aby osuszyć całkowicie wykop, należy obniżyć krzywą depresji wody swobodnej w punkcie A poniżej rzędnej 92,00 m. W naszym przypadku obniżymy zwierciadło wody w punkcie A do rzędnej 91,50 m.

A więc rzędne krzywej depresji

$$z_A = h = 91,50 - 80,00 = 11,5 \text{ m.}$$

Grubość warstwy wodonośnej

$$H = 95,00 - 80,00 = 15,00 \text{ m.}$$

Łączny wydatek  $Q_o$  zespołu studzien obliczymy ze wzoru (13.42)

$$h^2 = H^2 - 0,73 \frac{Q_o}{k} \left[ \lg R - \frac{1}{n} \lg(r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot r_4 \cdot r_5 \cdot r_6 \cdot r_7 \cdot r_8) \right],$$

stąd

$$Q_o = \frac{k(H^2 - h^2)}{0,73 \left[ \lg R - \frac{1}{n} \lg(r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot r_4 \cdot r_5 \cdot r_6 \cdot r_7 \cdot r_8) \right]}.$$

Depresja zwierciadła wody w punkcie A wyniesie

$$s_A = 95,00 - 91,50 = 3,50 \text{ m.}$$

Zasięg depresji obliczamy ze wzoru (13.44)

$$R = 575 s_A \sqrt{H k} = 575 \cdot 3,5 \cdot \sqrt{15 \cdot 0,001} \approx 246,5 \text{ m.}$$

Odległości studzien od punktu A wynoszą odpowiednio:

$$r_2 = r_6 = 12 \text{ m,}$$

$$r_4 = r_8 = 8 \text{ m,}$$

$$r_1 = r_3 = r_5 = r_7 = \sqrt{12^2 + 8^2} = 14,5 \text{ m.}$$

Po podstawieniu otrzymamy:

$$Q_o = \frac{0,001(15,0^2 - 11,5^2)}{0,73 \left[ \lg 246,5 - \frac{1}{8} \lg(12^2 \cdot 8^2 \cdot 14,5^4) \right]} \approx 0,096 \text{ m}^3/\text{s},$$

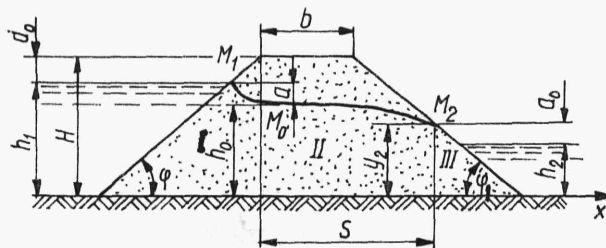
$$Q_o = 96 \text{ l/s}.$$

Stąd wydatek  $Q$  studni pojedynczej

$$Q = \frac{Q_o}{n} = \frac{96}{8} = 12 \text{ l/s}.$$

### 13.11. FILTRACJA PRZEZ ZAPORĘ ZIEMNĄ

Rozpatrzmy zagadnienie filtracji wody swobodnej przez zaporę ziemną o przekroju trapezowym, leżącą na poziomym podłożu nieprzepuszczalnym (rys.13.21).



Rys.13.21

Przekrój zapory dzielimy na 3 części: I - klin górny, II - część środkowa, III - klin dolny.

Przyjmujemy następujące oznaczenia:

- $H$  - wysokość zapory ziemnej,
- $h_1$  i  $h_2$  - górny i dolny poziom wody,
- $b$  - górna szerokość korony zapory,
- $d_o = H - h_1$  - wzniesienie zapory ponad górny poziom wody,
- $m = \text{ctg } \varphi$ ,  $m_1 = \text{ctg } \varphi_1$  - współczynniki nachylenia skarp - górnej i dolnej,
- $M_1, M_o, M_2$  - punkty na krzywej depresji,
- $a_o$  - wzniesienie punktu  $M_2$  ponad dolny poziom wody,
- $h_1, h_o, y_2 = h_2 + a_o$  - rzędne punktów  $M_1, M_o, M_2$ ,
- $s$  - odcięta punktu  $M_2$ .

Zagadnienie filtracji przez zaporę sprowadza się do rozwiązania układu równań z czterema niewiadomymi: