

BUDOWNICTWO GOSPODARKI WODNEJ	NORMA BRANŻOWA	<b>BN-71</b>
	Budownictwo hydrotechniczne	<b>8950-08</b>
	Obliczenia hydrogeologiczne <b>Określenie współczynnika filtracji w ośrodkach dwuwarstwowych na podstawie próbnych pompowań z pojedynczego otworu hydrogeologicznego w warunkach ruchu ustalonego</b>	Grupa katalogowa VII 70

## 1. WSTĘP

**1.1. Przedmiot normy.** Przedmiotem normy jest określenie współczynników filtracji na podstawie próbnych pompowań z pojedynczych otworów hydrogeologicznych zasilanych przez ściany boczne w warunkach ruchu ustalonego w porowatych i szczelinowych ośrodkach dwuwarstwowych, jeżeli zachowana jest ważność liniowego prawa filtracji Darcy'ego.

**1.2. Zakres stosowania normy.** Normę należy stosować w toku prac badawczych wykonywanych dla potrzeb budownictwa hydrotechnicznego i gospodarki wodnej w przypadkach, gdy zadanie badawcze lub projektowe wymaga uwzględnienia niejednorodności filtracyjnej ośrodka gruntowego, a wstępne jego rozpoznanie pozwala na określenie przybliżonych wartości współczynników filtracji i schematu obliczeniowego, niezbędnych do przeprowadzenia właściwych badań terenowych i dokonania obliczeń.

Podane w normie wzory należy stosować w celu określenia współczynników filtracji w obu warstwach tworzących niejednorodny ośrodek dwuwarstwowy, składający się z dwóch poziomo zalegających warstw gruntów przepuszczalnych, z których każdą można uważać za jednorodną i izotropową, o stałej i malej w stosunku do rozprzestrzenienia miąższości, a różnice w wodoprzepuszczalności poszczególnych warstw wykluczają umowne uznanie ośrodka za jednorodny. Podane w normie metody i wzory należy stosować gdy badania wykonano w otworach hydrogeologicznych zasilanych przez ściany boczne. Można je również stosować gdy badania wykonano w studniach, jeżeli są one zasilane przez ściany boczne i spełniają warunki określone w normie dla otworów hydrogeologicznych.

### 1.3. Określenia

**1.3.1. Część czynna filtru** — część otworu hydrogeologicznego, którą woda dopływa do otworu. Pojęcie równoważne: część robocza filtru.

**1.3.2. Depresja** — pionowa odległość od hydrostatycznego poziomu zwierciadła wody podziemnej do poziomu zwierciadła wody podziemnej wytworzonego wskutek próbnego pompowania w dowolnym profilu pionowym, mieszczącym się wewnątrz leja depresji.

**1.3.3. Depresja obliczeniowa** — depresja pozorna pomniejszona o część zeskoku depresji stanowiąca straty hydrauliczne na filtrze.

**1.3.4. Depresja pozorna** — depresja zmierzona w otworze hydrogeologicznym.

**1.3.5. Depresja rzeczywista** — depresja na zewnętrznej ścianie otworu hydrogeologicznego zmierzona w przyległym do niego otworze obserwacyjnym lub zmierzona w otworze hydrogeologicznym i pomniejszona o zeskok depresji.

**1.3.6. Filtr zatopiony** — filtr, którego górna krawędź znajduje się poniżej obniżonego w rezultacie pompowania zwierciadła wody na wewnętrznej ścianie otworu hydrogeologicznego.

**1.3.7. Ośrodek dwuwarstwowy** — ośrodek składający się z dwóch warstw o różnej przepuszczalności (rys. 1).

**1.3.8. Otwór hydrogeologiczny wiszący** — otwór hydrogeologiczny niedogłębiony do spągu warstwy wodonośnej.

**1.3.9. Otwór hydrogeologiczny zupełny** — otwór hydrogeologiczny, w którym długość czynnej części filtru równa jest miąższości warstwy wodonośnej w czasie pompowania, określonej jako różnica między miąższością warstwy wodonośnej przed rozpoczęciem pompowania, a depresją rzeczywistą w otworze hydrogeologicznym.

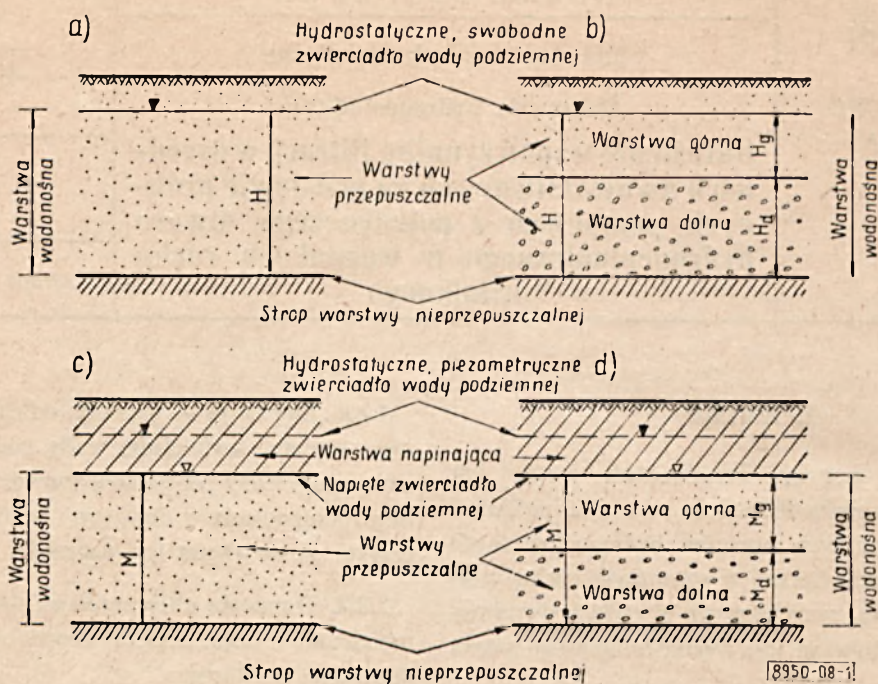
**1.3.10. Otwór hydrogeologiczny niezupełny** — otwór hydrogeologiczny, w którym długość czynnej części filtru jest mniejsza od miąższości warstwy wodonośnej w czasie pompowania, określonej jako różnica między miąższością warstwy wodonośnej przed rozpoczęciem

Instytut Gospodarki Wodnej

Ustanowiona przez Prezesa Centralnego Urzędu Gospodarki Wodnej dnia 30 marca 1971 r.

jako norma obowiązująca w zakresie metod badań od dnia 1 stycznia 1972 r.

(Mon. Pol. nr 30/1971 r. poz. 193)



Rys. 1. Schematy warstw wodonośnych: a) jednorodna warstwa wodonośna o swobodnym zwierciadle wody podziemnej, b) dwuwarstwowy ośrodek wodonośny o swobodnym zwierciadle wody podziemnej, c) jednorodna warstwa wodonośna o napiętym zwierciadle wody podziemnej, d) dwuwarstwowy ośrodek wodonośny o napiętym zwierciadle wody podziemnej

pompowania a depresją rzeczywistą w otworze hydrogeologicznym.

**1.3.11. Próbné szczyrywanie** — badanie polowe, polegające na szczyrywaniu wody i obserwacji jej wzniosu w otworze hydrogeologicznym.

**1.3.12. Przewodność warstwy** — cecha warstwy przepuszczalnej określająca jej własności filtracyjne, wyrażająca się iloczynem współczynnika filtracji i miąższości tej warstwy.

**1.3.13. Schemat obliczeniowy** — uproszczony szkic przekroju hydrogeologicznego, przedstawiający położenie zwierciadła wody podziemnej lub linii ciśnień piezometrycznych przed i w czasie próbnego pompowania oraz te elementy warunków hydrogeologicznych i konstrukcji węzła hydrogeologicznego wraz z ich wymiarami, które są niezbędne do wykonania obliczeń współczynników filtracji.

**1.3.14. Strata hydrauliczna na filtrze** — strata hydrauliczna spowodowana oporami powstającymi przy przepływie wody przez filtr otworu hydrogeologicznego.

**1.3.15. Strefa aktywna** — w przypadku otworu hydrogeologicznego wiszącego ta część warstwy wodonośnej,

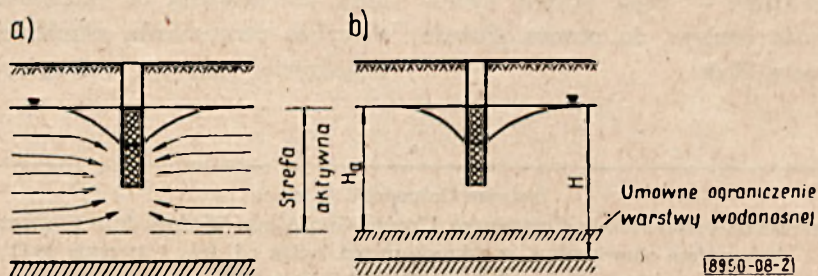
którą można w obliczeniach traktować jako decydującą o wielkości dopływu wody do otworu w czasie pompowania, ograniczona umownie od dołu płaszczyzną równoległą do hydrostatycznego zwierciadła wody podziemnej (rys. 2).

**1.3.16. Warstwa wodonośna** — warstwa przepuszczalna lub ośrodek wielowarstwowy — w szczególnym przypadku dwuwarstwowy — w obrębie którego odbywa się przepływ wód podziemnych, lub warstwa stanowiąca zbiornik wód podziemnych, ograniczona od góry zwierciadłem wody podziemnej.

**1.3.17. Warstwa przepuszczalna** — warstwa gruntów porowatych lub szczelinowych, jednorodnych pod względem wodoprzepuszczalności, przewodząca lub gromadząca wody podziemne podległe sile ciężkości.

**1.3.18. Współczynnik filtracji w ośrodku dwuwarstwowym** — współczynnik filtracji określający wodoprzepuszczalność ośrodka dwuwarstwowego jako całości.

**1.3.19. Współczynnik niejednorodności filtracyjne** — stosunek przewodności górnej warstwy do przewodności dolnej warstwy w ośrodku dwuwarstwowym.



Rys. 2. Strefa aktywna: a) schemat warunków naturalnych, b) zastępczy schemat obliczeniowy

**1.3.20. Wydatek otworu hydrogeologicznego** — natężenie przepływu wody podziemnej czerpanej z otworu hydrogeologicznego.

**1.3.21. Zeskok depresji** — różnica między położeniem dynamicznego zwierciadła wody wewnątrz i na zewnątrz filtru.

**1.3.22. Pozostałe określenia** — według BN-68/8950-05 i BN-68/8950-06.

#### 1.4. Oznaczenia (symbole) wielkości

- $D$  — przewodność dolnej warstwy przepuszczalnej w ośrodku dwuwarstwowym,  $m^2/s$ ,
- $G$  — przewodność górnej warstwy przepuszczalnej w ośrodku dwuwarstwowym,  $m^2/s$ ,
- $d, g$  — symbole dolnej ( $d$ ) i górnej ( $g$ ) warstwy przepuszczalnej w ośrodku dwuwarstwowym,
- $H$  — miąższość warstwy wodonośnej w ośrodku dwuwarstwowym przy swobodnym zwierciadle wody podziemnej, m,
- $H_d$  — miąższość strefy aktywnej, m,
- $H_d$  — miąższość warstwy dolnej w ośrodku dwuwarstwowym przy swobodnym zwierciadle wody podziemnej, m,
- $H_g$  — miąższość warstwy górnej w ośrodku dwuwarstwowym przy swobodnym zwierciadle wody podziemnej, m,
- $H_{MP}$  — miąższość warstwy o mniejszej przewodności w ośrodku dwuwarstwowym przy swobodnym zwierciadle wody podziemnej, m,
- $H_{WP}$  — miąższość warstwy o większej przewodności w ośrodku dwuwarstwowym, przy swobodnym zwierciadle wody podziemnej, m,
- $k_d$  — współczynnik filtracji w dolnej warstwie ośrodka dwuwarstwowego, m/s,
- $k'_d$  — orientacyjna wartość współczynnika filtracji w dolnej warstwie ośrodka dwuwarstwowego, wyznaczona zgodnie z 2.1, m/s,
- $k_g$  — współczynnik filtracji w górnej warstwie ośrodka dwuwarstwowego, m/s,
- $k'_g$  — orientacyjna wartość współczynnika filtracji w górnej warstwie ośrodka dwuwarstwowego, wyznaczona zgodnie z 2.1, m/s,
- $k_{lr}$  — średni współczynnik filtracji w ośrodku dwuwarstwowym traktowanym jako całość, m/s,
- $k_{MP}$  — współczynnik filtracji w warstwie o mniejszej przewodności, m/s,
- $k_{WP}$  — współczynnik filtracji w warstwie o większej przewodności, m/s,
- $l_0$  — głębokość założenia dolnej krawędzi czynnej części filtru pod hydrostatycznym poziomem zwierciadła wody podziemnej, m,
- $l$  — długość czynnej części filtru, m,
- $M$  — miąższość ośrodka dwuwarstwowego przy napiętym zwierciadle wody podziemnej, m,
- $M_d$  — miąższość warstwy dolnej w ośrodku dwuwarstwowym przy napiętym zwierciadle wody podziemnej, m,
- $M_g$  — miąższość warstwy górnej w ośrodku dwuwarstwowym przy napiętym zwierciadle wody podziemnej, m,
- $M_0$  — miąższość warstwy napinającej, mierzona od hydrostatycznego poziomu do spągu tej warstwy, m,
- $M_{MP}$  — miąższość warstwy o mniejszej przewodności w ośrodku dwuwarstwowym przy napiętym zwierciadle wody podziemnej, m,
- $M_{WP}$  — miąższość warstwy o większej przewodności w ośrodku dwuwarstwowym przy napiętym zwierciadle wody podziemnej, m,
- $r$  — promień otworu hydrogeologicznego, m,
- $Q$  — wydatek otworu hydrogeologicznego zupełnego, którego filtr obejmuje jedną z warstw ośrodka dwuwarstwowego i który jest zasilany wodą praktycznie tylko z tej warstwy,  $m^3/s$ ,
- $Q_{d(g)}$  — wydatek otworu hydrogeologicznego zupełnego, którego filtr obejmuje dolną warstwę ośrodka dwuwarstwowego i który jest zasilany wodą także z górnej warstwy,  $m^3/s$ ,
- $Q_{d+g}$  — wydatek otworu hydrogeologicznego zupełnego, którego filtr obejmuje całą miąższość ośrodka dwuwarstwowego ( $Q_{d+g} = Q_{WP+MP}$ ),  $m^3/s$ ,
- $Q_{g(d)}$  — wydatek otworu hydrogeologicznego zupełnego, którego filtr obejmuje górną warstwę ośrodka dwuwarstwowego i który jest zasilany wodą także z dolnej warstwy,  $m^3/s$ ,
- $Q_d, Q_g$  — wydatek otworu hydrogeologicznego niepełnego, którego filtr obejmuje całą lub część dolnej warstwy ( $Q_d$ ), albo całą lub część górnej warstwy ( $Q_g$ ) oraz który zasilany jest wodą praktycznie tylko z warstwy zafiltrowanej,  $m^3/s$ ,
- $Q_{MP(WP)}$  — wydatek otworu hydrogeologicznego, którego filtr obejmuje całą miąższość warstwy o mniejszej przewodności w ośrodku dwuwarstwowym i który jest zasilany wodą także z warstwy o większej przewodności,  $m^3/s$ ,
- $Q_{WP(MP)}$  — wydatek otworu hydrogeologicznego, którego filtr obejmuje całą miąższość warstwy o większej przewodności w ośrodku dwuwarstwowym i który jest zasilany wodą także z warstwy o mniejszej przewodności,  $m^3/s$ ,
- $s$  — depresja obliczeniowa w otworze hydrogeologicznym, którą w przypadku braku możliwości określenia straty hydraulicznej na filtrze można przyjąć jako równą w przybliżeniu depresji pozornej, m,
- $s_1, s_2$  — depresja w pierwszym i drugim otworze obserwacyjnym, m,
- $u$  — współczynnik niejednorodności filtracyjnej ośrodka dwuwarstwowego,

$x_1, x_2$  — odległość od otworu hydrogeologicznego do pierwszego i drugiego otworu obserwacyjnego, m.

### 1.5. Normy związane

BN-65/8950-04 Budownictwo hydrotechniczne. Badania hydrogeologiczne. Wzory do obliczania współczynnika filtracji na podstawie próbnego pompowania ze studni pojedynczej

BN-68/8950-05 Budownictwo hydrotechniczne. Określenie współczynnika filtracji w gruntach. Wytyczne projektowania i wykonywania próbnego pompowania z pojedynczych studni i otworów hydrogeologicznych w warunkach ruchu ustalonego

## 2. ZASADY OBLICZEŃ

**2.1. Wybór metody obliczeń** powinien być dokonany na podstawie ogólnego rozpoznania warunków hydrogeologicznych. Rozpoznanie to pozwoli ustalić odpowiedni przypadek obliczeniowy spośród zamieszczonych w normie. Następnie należy obliczyć współczynnik niejednorodności filtracyjnej ośrodka dwuwarstwowego i w zależności od jego wartości dobrać wzory do obliczenia współczynników filtracji zgodnie z 3 lub 4. Współczynnik niejednorodności filtracyjnej przy swobodnym zwierciadle wody podziemnej należy obliczyć wg wzoru

$$u = \frac{k'_g H_g}{k'_d H_d} \quad (1)$$

a przy napiętym zwierciadle wody podziemnej wg wzoru

$$u = \frac{k'_g M_g}{k'_d M_d} \quad (2)$$

Orientacyjne wartości współczynników filtracji  $k'_d$  o  $k'_g$  należy określać metodą próbnego szczyrpywania. W przypadkach gdy brak odpowiednich badań, wartości  $k'_d$  i  $k'_g$  należy określać metodami laboratoryjnymi albo przyjmować z tabl. 1.

**Tablica 1. Orientacyjne wartości współczynników filtracji do wzorów (1) i (2) dla różnych rodzajów gruntów**

Rodzaje gruntów	Orientacyjne wartości współczynnika filtracji m/s
Otoczaki ze żwirem	$2 \times 10^{-3}$ i więcej
Żwir	$1 \times 10^{-3} - 8 \times 10^{-3}$
Pospółka	$8 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$
Piasek gruboziarnisty	$2 \times 10^{-5} - 9 \times 10^{-4}$
Piasek średnioziarnisty	$1 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-4}$
Piasek drobnoziarnisty	$2 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$
Piasek gliniasty	$1 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-5}$
Pył piaszczysty	$5 \times 10^{-7} - 3 \times 10^{-6}$
Gлина piaszczysta	$6 \times 10^{-8} - 4 \times 10^{-6}$

**2.2. Obliczenie współczynnika filtracji** w obu warstwach przepuszczalnych należy wykonywać w zależności od wartości współczynnika niejednorodności  $u$ , określonej według 2.1 przy czym dla  $u \leq 1/6$  oraz  $u \geq 6$  obliczenia należy wykonywać zgodnie z 3.1 i 4.1, a dla  $1/6 < u < 6$  obliczenia należy wykonywać zgodnie z 3.2 i 4.2.

**2.3. Próbne pompowanie** należy zaprojektować i wykonać wg BN-68/8950-05 dla każdego zafiltrowania oddzielnie przy umownym założeniu, że pompowanie to odbywa się z warstwy jednorodnej. Odstępstwa od zasad projektowania i wykonywania próbnego pompowania określonych w BN-68/8950-05 dopuszczalne są jedynie w przypadkach wynikających z postanowień niniejszej normy.

**2.4. Liczba depresji pompowania pomiarowego** może być ograniczona do jednej, jeżeli próbne pompowanie ma na celu określenie tylko współczynników filtracji, albo gdy zastosowanie więcej niż jednej depresji nie jest możliwe przy zachowaniu warunków niniejszej normy.

**2.5. Wielkość depresji** w czasie pompowania pomiarowego należy tak dobrać, aby spełniała ona warunek  $s < M_0$  gdy zwierciadło wody podziemnej jest napięte i  $s < 0,1H_d$  lub  $s < 0,1H_g$  gdy zwierciadło wody podziemnej jest swobodne.

**2.6. Rodzaj stosowanych węzłów hydrogeologicznych.** Próbne pompowanie należy wykonywać z węzłów hydrogeologicznych z dwoma otworami obserwacyjnymi. Stosowanie węzłów hydrogeologicznych z jednym otworem obserwacyjnym jest dopuszczalne tylko w przypadkach, gdy znaczne miąższości warstw nie uzasadniają pod względem ekonomicznym wykonania większej liczby głębokich otworów a cel badań pozwala na uzyskanie mniej dokładnych wyników rozpoznania.

**2.7. Dokładność określania współczynników filtracji.** Współczynniki filtracji należy określać z dokładnością do trzeciej cyfry znaczącej.

**2.8. Jednostka miary współczynnika filtracji.** Współczynniki filtracji należy wyrażać w m/s.

**2.9. Stosowanie innych wzorów i metod obliczeniowych** niż podano w normie jest dopuszczalne pod warunkiem należytego uzasadnienia naukowego i gospodarczego.

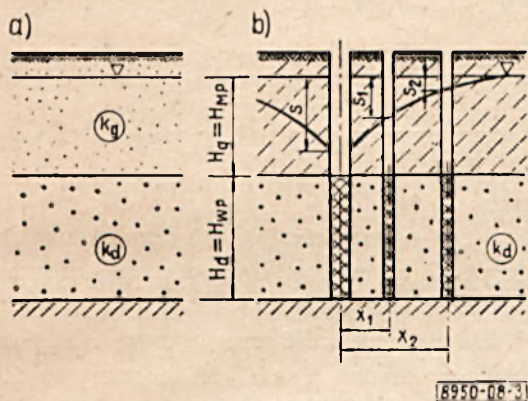
## 3. OBLICZANIE WSPÓLCZYNNIKÓW FILTRACJI PRZY SWOBODNYM ZWIERCIADLE WODY PODZIEMNEJ

**3.1. Obliczanie współczynników filtracji dla  $u \leq 1/6$  oraz  $u \geq 6$**

**3.1.1. Kolejność obliczeń.** Najpierw należy obliczyć współczynnik filtracji w warstwie o większej przewodności a następnie współczynnik filtracji w warstwie o mniejszej przewodności.

**3.1.2. Obliczanie współczynnika filtracji w warstwie o większej przewodności** należy wykonywać na podstawie próbnego pompowania z wężla hydrogeologicznego, którego filtry założone są w tej warstwie przy umownym założeniu, że warstwa o mniejszej przewodności jest praktycznie nieprzepuszczalna. Obliczenia należy prowadzić dla jednego z dwóch wymienionych niżej przypadków:

a) jeżeli warstwa o większej przewodności jest warstwą dolną ( $u \leq 1/6$ ), to należy stosować schemat o napiętym zwierciadle wody podziemnej (rys. 3) i obliczać współczynnik filtracji w dolnej warstwie  $k_d$  z wzorów (3) i (4);



Rys. 3. Obliczanie  $k_d$  gdy  $u \leq 1/6$ : a) układ warstw w przekroju, b) zastępczy schemat obliczeniowy

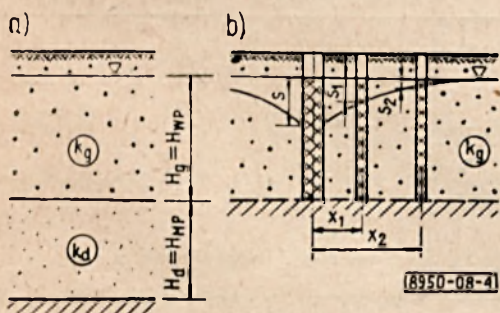
dla wężla hydrogeologicznego z dwoma otworami obserwacyjnymi

$$k_d = \frac{0,366 Q_{d(g)} \lg \frac{x_2}{x_1}}{H_d (s_1 - s_2)} \quad (3)$$

a dla wężla hydrogeologicznego z jednym otworem obserwacyjnym

$$k_d = \frac{0,366 Q_{d(g)} \lg \frac{x_1}{r}}{H_d (s - s_1)} \quad (4)$$

b) jeżeli warstwa o większej przewodności jest warstwą górną ( $u \geq 6$ ), to należy stosować schemat o swobodnym zwierciadle wody podziemnej (rys. 4) i obliczać współczynnik filtracji w górnej warstwie  $k_g$  z wzorów (5) i (6);



Rys. 4. Obliczanie  $k_g$  gdy  $u \geq 6$ : a) układ warstw w przekroju, b) zastępczy schemat obliczeniowy

dla wężla hydrogeologicznego z dwoma otworami obserwacyjnymi

$$k_g = \frac{0,732 Q_{g(d)} \lg \frac{x_2}{x_1}}{(2H_g - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} \quad (5)$$

a dla wężla hydrogeologicznego z jednym otworem obserwacyjnym

$$k_g = \frac{0,732 Q_{g(d)} \lg \frac{x_1}{r}}{(2H_d - s - s_1)(s - s_1)} \quad (6)$$

**3.1.3. Obliczanie współczynnika filtracji w warstwie o mniejszej przewodności** należy wykonywać przyjmując schemat obliczeniowy z dwoma warstwami wodoprzepuszczalnymi i rozróżniając dwa przypadki:

a) Jeżeli warstwa o mniejszej przewodności jest warstwą górną ( $u \leq 1/6$ ), to współczynnik filtracji  $k_g$  w tej warstwie należy obliczać wzorem

$$k_g = \frac{G}{H_g} \quad (7)$$

Współczynnik przewodności górnej warstwy  $G$  należy obliczać jednym z wzorów (8) lub (9) w zależności od wartości  $A_3$  a mianowicie:

$$\text{dla } 0,10 \leq A_3 \leq 0,28 \quad G = 0,73 D A_3^{-1,65} \quad (8)$$

$$\text{dla } A_3 < 0,10 \quad G = 0,33 D A_3^{-2,0} \quad (9)$$

w których:

$$A_3 = \frac{Q_{g(d)}}{Q_{d(g)}}$$

$D = k_d H_d$ , przy czym  $k_d$  należy przyjmować zgodnie z wynikiem obliczenia, wykonanego wg 3.1.2.

b) Jeżeli warstwa o mniejszej przewodności jest warstwą dolną ( $u \geq 6$ ), to współczynnik filtracji  $k_d$  w tej warstwie należy obliczyć wg wzoru

$$k_d = \frac{D}{H_d} \quad (10)$$

Współczynnik przewodności dolnej warstwy  $D$  należy obliczać jednym z wzorów (11) lub (12) w zależności od wartości  $A_3$  a mianowicie:

$$\text{dla } 3,57 \leq A_3 \leq 10 \quad D = 1,37 G A_3^{1,65} \quad (11)$$

$$\text{dla } A_3 > 10 \quad D = 3,0 G A_3^{2,0} \quad (12)$$

w których:

$G = k_g H_g$ , przy czym wartość  $k_g$  należy przyjmować zgodnie z wynikiem obliczenia wykonanego według 3.1.2.

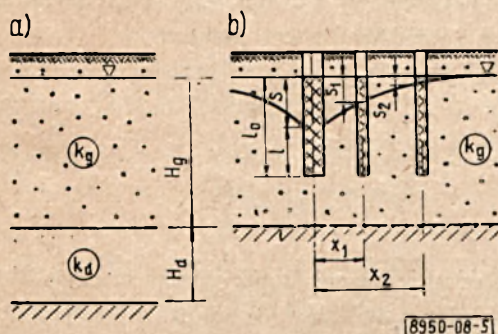
Jeżeli wynik obliczenia wykonanego zgodnie z a) lub b) wykazuje, że  $3,57 > A_3 > 0,28$ , to wstępną klasyfikację przypadku obliczeniowego na podstawie wartości współczynnika niejednorodności filtracyjnej  $u$  należy uznać za błędną i obliczenia należy prowadzić z 3.2, jak dla  $1/6 < u < 6$ .

### 3.2. Obliczanie współczynnika filtracji dla $\frac{1}{6} < u < 6$

**3.2.1. Obliczanie współczynników filtracji jeżeli  $H_g \geq H_a$ .** Jeżeli miąższość górnej warstwy  $H_g$  jest wystarczająco duża, aby wielkości czynnej części filtru i depresji mogły spełniać warunek

$$H_g \geq H_a > 0,8H_g$$

to współczynnik filtracji w warstwie górnej  $k_g$  należy obliczać na podstawie wyników próbnego pompowania przeprowadzonego z otworu hydrogeologicznego niezupelnego, zafiltrowanego, w warstwie górnej (rys. 5).



Rys. 5. Obliczanie  $k_g$  gdy  $\frac{1}{6} < u < 6$ : a) układ warstw w przekroju b) zastępczy schemat obliczeniowy

Miąższość strefy aktywnej  $H_a$  (rys. 2) należy przyjmować z tabl. 2 jako funkcję depresji  $s$  i długości czynnej części filtru  $l$ .

Tablica 2. Miąższość strefy aktywnej  $H_a$  w zależności od stosunku  $s$  do  $l_0$ , przy czym  $l_0 = s + l$

$\frac{s}{l_0}$	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0
$H_a$	$1,3l_0$	$1,5l_0$	$1,7l_0$	$1,85l_0$	$2,0l_0$

Współczynnik filtracji w górnej warstwie  $k_g$  należy obliczać z wzorów (13) lub (14)

węzeł hydrogeologiczny z dwoma otworami obserwacyjnymi i

$$k_g = \frac{0,732 Q_{g(d)}}{(2H_g - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} \left[ \lg \frac{x_2}{x_1} + 0,217(\xi_1 - \xi_2) \right] \quad (13)$$

węzeł hydrogeologiczny z jednym otworem obserwacyjnym

$$k = \frac{0,732 Q_{g(d)}}{(2H_g - s - s_1)(s - s_1)} \left[ \lg \frac{x_1}{r} + 0,217(\xi - \xi_1) \right] \quad (14)$$

w których

$\xi$ ,  $\xi_1$  i  $\xi_2$  — współczynniki oporów hydraulicznych, uwzględniające niedogłębienie otworów, których wartości należy przyjmować z tabl. 3.

Jeżeli zbyt mała miąższość górnej warstwy  $H_g$  uniemożliwia spełnienie warunku  $H_g \geq H_a$ , to obliczenia współczynników filtracji należy wykonywać zgodnie z 3.2.2 i 3.2.3.

Współczynnik filtracji w dolnej warstwie  $k_d$  należy obliczać za pomocą wzoru (10), w którym  $D = GA_3^{1,4}$ . Wzór (10) należy stosować w przypadkach, gdy  $0,28 < A_3 < 3,57$ .

W przypadkach, gdy  $A \geq 3,57$  lub  $A \leq 0,28$ , to wstępną kwalifikację przypadku obliczeniowego na podstawie wartości współczynnika niejednorodności filtracyjnej  $u$  należy uznać za błędną i obliczenia należy prowadzić zgodnie z 3.1 dla  $u \leq \frac{1}{6}$  lub  $u > 6$ .

Tablica 3. Wartości współczynników oporów hydraulicznych  $\xi$ ,  $\xi_1$ ,  $\xi_2$

A	$B_n$									
	0,5	1	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0,05	0,00423	0,135	2,3	12,6	35,5	71,9	94	126	149	169
0,1	0,00391	0,122	2,04	10,4	24,3	42,8	53,8	68,5	79,6	90,9
0,3	0,00297	0,0908	1,29	4,79	9,2	14,5	17,7	21,8	24,9	28,2
0,5	0,00165	0,0494	0,656	2,26	4,21	6,5	7,86	9,64	11	12,4
0,7	0,00055	0,0167	0,237	0,879	1,69	2,67	3,24	4,01	4,58	5,19
0,9	0,00005	0,0015	0,0251	0,128	0,3	0,528	0,661	0,846	0,983	1,12

Wartości współczynników  $\xi$ ,  $\xi_1$  i  $\xi_2$  należy obliczać w następujący sposób: wpiery należy obliczyć wartości  $A$  i  $B_n$ , które wynoszą:

$$A = \frac{l_0 - 0,5s}{H_g - 0,5s}; B_n = \frac{H_g - 0,5s}{x_n}$$

gdzie  $n$  jest kolejnym numerem otworu obserwacyjnego.

Dla określenia  $\xi$  należy przyjąć  $x_n = r$ , dla określenia  $\xi_1$  odpowiednio  $x_n = x_1$ , dla określenia  $\xi_2$  odpowiednio  $x_n = x_2$ .

Następnie dla obliczonych wartości  $A$  i  $B_n$  należy odczytać z tablicy wartości współczynników oporów hydraulicznych. Wartości pośrednie można interpolować. Jeżeli  $B_n < 1,0$ , to można przyjmować  $\xi_1 = 0$ ,  $\xi_2 = 0$ . Wielkości  $A$  i  $B_n$  należy ustalać osobno dla każdej zastosowanej depresji, dla której oblicza się  $k_g$ .

**3.2.2. Obliczanie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$**  gdy  $H_g < H_a$  oraz  $k'_g \geq 10k'_d$ . Jeżeli miąższość warstwy górnej  $H_g$  jest zbyt mała aby zastosować metodę obliczeń podaną w 3.2.1 a równocześnie  $H_g < H_a$  oraz  $k'_g \geq 10k'_d$ , to najpierw należy obliczyć współczynnik filtracji w warstwie górnej  $k_g$  na podstawie próbnego pompowania z otworu hydrogeologicznego zawieszonoego w tej warstwie (rys. 5), zakładając umownie, że warstwa dolna jest praktycznie nieprzepuszczalna. Obliczenie współczynnika filtracji w warstwie górnej  $k_g$  należy wykonać przy pomocy wzorów (13) lub (14), podanych w 3.2.1. Współczynnik filtracji w warstwie dolnej  $k_d$  należy obliczyć za pomocą wzoru (10) analogicznie jak w 3.2.1.

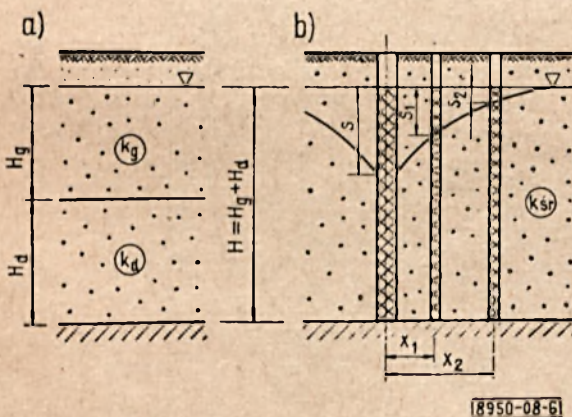
**3.2.3. Obliczanie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$**  gdy  $H_g < H_a$  oraz  $k'_d < k'_g < 10k'_d$  lub  $k'_g < k_d < 10k'_g$

**3.2.3.1. Próbné pompowanie.** Jeżeli miąższość warstwy górnej  $H_g$  jest zbyt mała, aby zastosować metodę obliczeń podaną w 3.2.1, a równocześnie  $H_g < H_a$  oraz  $k'_d < k'_g < 10k'_d$  lub  $k'_g < k_d < 10k'_g$ , to należy wykonać dwa próbné pompowania, stosując w obu przypadkach depresje spełniające warunki  $s < 0,10H_g$  i  $s < 0,10H_d$ , a mianowicie:

a) próbné pompowanie z otworu hydrogeologicznego zupełnego, którego filtr obejmuje całą miąższość ośrodka dwuwarstwowego w celu określenia wydatku  $Q_{d+g}$  i obliczenia średniego współczynnika filtracji ośrodka  $k_{ir}$ .

b) próbné pompowanie z otworu hydrogeologicznego zupełnego, którego filtr obejmuje całą miąższość warstwy o mniejszej przepuszczalności w celu określenia wydatku  $Q_{g(a)}$  lub  $Q_{g(g)}$  i obliczenia współczynnika filtracji każdej z warstw, tworzących ośrodek. Jeżeli  $u > 1$ , to próbné pompowanie należy wykonać z górnej warstwy, a jeżeli  $u < 1$ , to z dolnej warstwy.

**3.2.3.2. Średni współczynnik filtracji ośrodka dwuwarstwowego  $k_{ir}$**  należy obliczyć wg wzorów (15) lub (16), dla których schematy obliczeniowe przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Obliczanie  $k_{ir}$ : a) układ warstw w przekroju, b) zastępczy schemat obliczeniowy

Dla wężła hydrogeologicznego z dwoma otworami obserwacyjnymi:

$$k_{ir} = \frac{0,732 Q_{d+g} \lg \frac{x_2}{x_1}}{(2H - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} \quad (15)$$

a dla wężła hydrogeologicznego z jednym otworem obserwacyjnym

$$k_{ir} = \frac{0,732 Q_{d+g} \lg \frac{x_1}{r}}{(2H - s - s_1)(s - s_1)} \quad (16)$$

**3.2.3.3. Współczynniki filtracji w warstwie dolnej  $k_d$  i w warstwie górnej  $k_g$**  należy określić za pomocą wykresu rys. 7. na str. 8

W przypadku wykonania jednego z pompowań przy zafiltrowaniu warstwy, należy wpiérw sprawdzić, czy

$$A_2 = \frac{Q_{d+g}}{Q_{d(g)}} > 1,3.$$

Gdy warunek ten jest spełniony, to należy:

a) obliczyć wartość sumy przewodności obu warstw z wzoru

$$k_d H_d + k_g H_g = (H_d + H_g) k_{ir}. \quad (17)$$

b) z wykresu (rys. 7) odczytać wartości  $G = k_g H_g$  i  $D = k_d H_d$  odpowiadające obliczonym wcześniej wartościom  $A_2$  i  $k_{ir} (H_d + H_g)$ .

c) obliczyć  $k_d$  i  $k_g$  z wzorów (7) i (10).

Jeżeli  $A_2 \leq 1,3$ , to obliczenia współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$  należy wykonać na podstawie próbnego pompowania przeprowadzonego przy zafiltrowaniu górnej warstwy a do określenia współczynników filtracji za pomocą wykresu (rys. 7), należy stosować wielkość  $A_1$ .

W przypadku wykonania jednego z pompowań przy zafiltrowaniu górnej warstwy należy wpiérw sprawdzić czy

$$A_1 = \frac{Q_{d+g}}{Q_{g(a)}} > 1,3. \text{ Gdy warunek ten jest spełniony, to}$$

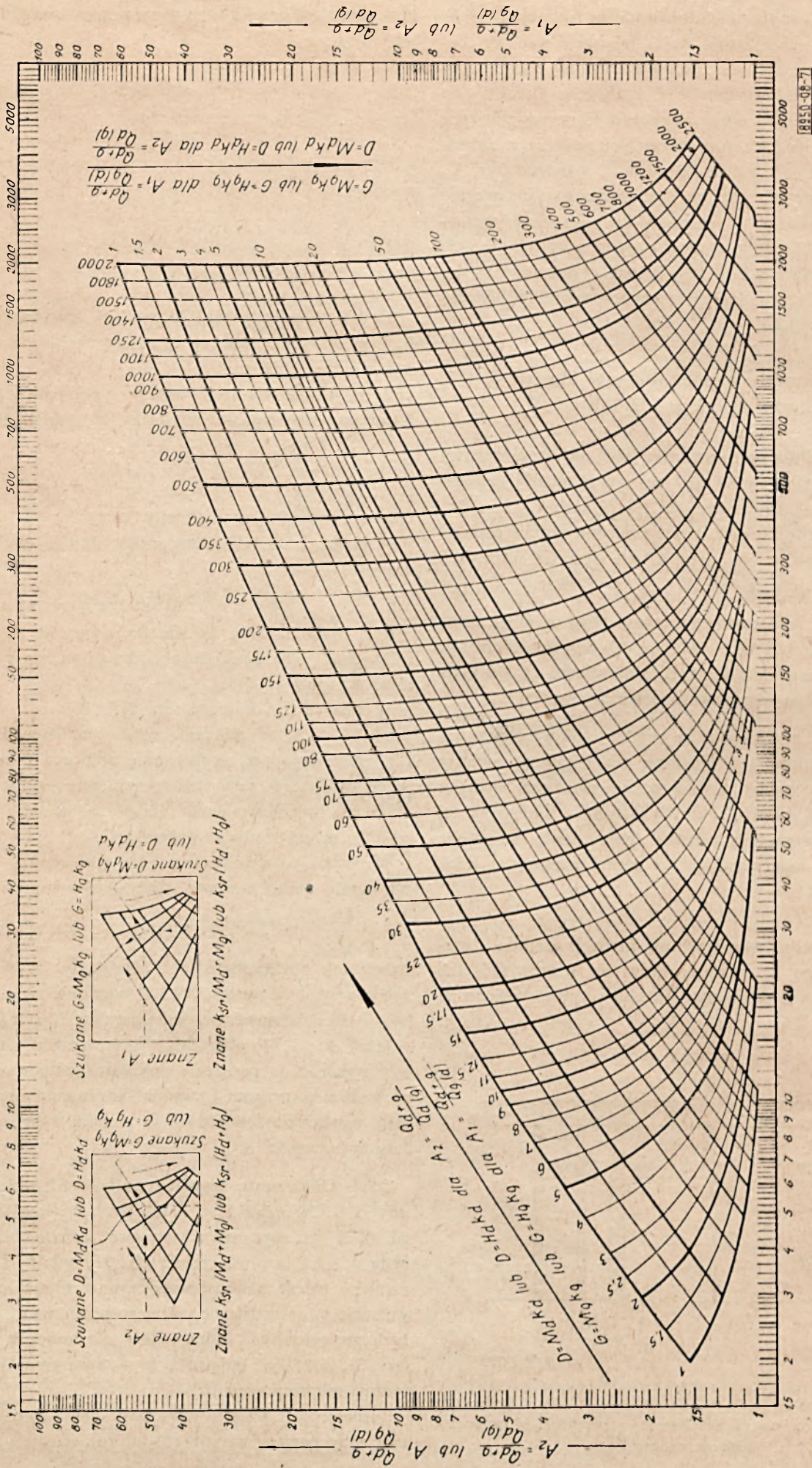
dalszy tok postępowania jest identyczny jak w 3.2.3.3. a)÷c) z tym, że wartości  $G$  i  $D$  odczytuje się z wykresu (rys. 7) dla obliczonych wcześniej wartości  $A_1$  i  $(H_d + H_g) k_{ir}$ .

Jeżeli  $A_1 \leq 1,3$  to obliczenia współczynników filtracji należy wykonać na podstawie próbnego pompowania przeprowadzonego przy zafiltrowaniu dolnej warstwy a do określenia współczynników filtracji za pomocą wykresu (rys. 7) stosować wartości  $A_2$ .

**3.2.4. Obliczanie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$**  gdy  $H_g < H_a$  oraz  $k'_d < 10k'_g$ . Jeżeli miąższość warstwy górnej  $H_g$  jest zbyt mała aby stosować metodę obliczeń podaną w 3.2.1, a równocześnie  $H_g < H_a$  oraz  $k'_d < 10k'_g$ , to najpierw należy obliczyć współczynnik filtracji w dolnej warstwie  $k_d$  na podstawie próbnego pompowania z otworu hydrogeologicznego, którego filtr obejmuje tę warstwę (rys. 3), zakładając umownie, że warstwa górna jest praktycznie nieprzepuszczalna.

Współczynnik filtracji w warstwie dolnej  $k_d$  należy obliczać przy pomocy wzorów (3) lub (4).

$$k_{sr} (M_d + M_g) \text{ lub } k_{sr} (H_d + H_g)$$



Szukane  $G = M_g k_g$  lub  $G = H_g k_g$   
 lub  $D = H_d k_d$   
 Szukane  $D = M_d k_d$  lub  $D = H_d k_d$   
 lub  $G = H_g k_g$   
 Znane  $k_{sr} (M_d + M_g)$  lub  $k_{sr} (H_d + H_g)$   
 Znane  $A_1$

Szukane  $D = M_d k_d$  lub  $D = H_d k_d$   
 lub  $G = H_g k_g$   
 Szukane  $G = M_g k_g$  lub  $G = H_g k_g$   
 lub  $D = H_d k_d$   
 Znane  $k_{sr} (M_d + M_g)$  lub  $k_{sr} (H_d + H_g)$   
 Znane  $A_2$

$$k_{sr} (M_d + M_g) \text{ lub } k_{sr} (H_d + H_g)$$

Rys. 7. Nomogram do wyznaczania wartości przewodności  $D = M_d k_d$  lub  $D = H_d k_d$  i  $G = H_g k_g$



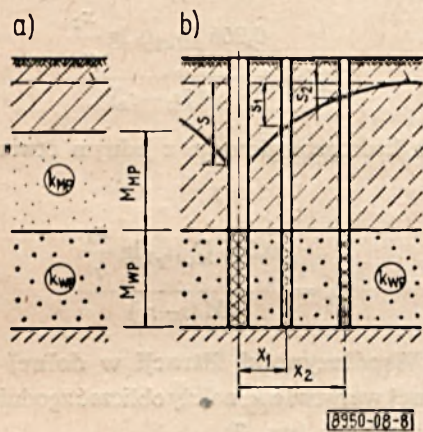
Współczynnik filtracji w górnej warstwie  $k_g$  należy obliczać z wzoru (7), przyjmując  $G=DA_3^{-1,4}$ . Wzór (7) należy zastosować w przypadku gdy  $0,26 \leq A_3 \leq 3,57$ . Jeżeli okaże się, że  $A_3 < 0,28$  lub  $A_3 > 3,57$  to wstępną kwalifikację przypadku obliczeniowego na podstawie wartości współczynnika niejednorodności filtracyjnej  $u$  należy uznać za błędną i obliczenia należy prowadzić zgodnie z 3.1 jak dla  $u \leq 1/6$  lub  $u \geq 6$ .

#### 4. OBLICZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW FILTRACJI PRZY NAPIĘTYM ZWIERCIADLE WODY PODZIEMNEJ

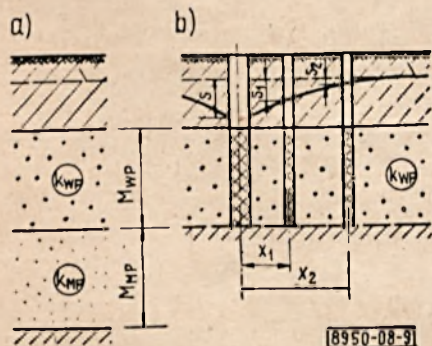
4.1. Obliczanie współczynników filtracji dla  $u \leq 1/6$  oraz  $u \geq 6$

4.1.1. Kolejność obliczeń. Najpierw należy obliczyć współczynnik filtracji w warstwie o większej przewodności a następnie współczynnik filtracji w warstwie o mniejszej przewodności.

4.1.2. Obliczenie współczynnika filtracji  $k_{WP}$  w warstwie o większej przewodności należy wykonywać na podstawie próbnego pompowania z wężła hydrogeologicznego założonego w tej warstwie przy umownym założeniu, że warstwa o mniejszej przewodności jest praktycznie nieprzepuszczalna. Obliczenia należy prowadzić według wzorów (18) lub (19), dla których schemat obliczeniowy przedstawiono na rys. 8 i 9, przy czym z rys. 8 należy korzystać, gdy warstwa o większej przewodności jest warstwą dolną, a z rys. 9 gdy warstwa o większej przewodności jest warstwą górną.



Rys. 8. Obliczanie  $k_{WP}$  gdy  $u \geq 6$  lub  $u \leq 1/6$ : a) układ warstw w przekroju, b) zastępczy schemat obliczeniowy



Rys. 9. Obliczanie  $k_g$  gdy  $k'_g > 10 k'_d$ : a) układ warstw w przekroju, b) zastępczy schemat obliczeniowy

Dla wężła hydrogeologicznego z dwoma otworami obserwacyjnymi

$$k_{WP} = \frac{0,366 Q \lg \frac{x_2}{x_1}}{M_{WP} (s_1 - s_2)} \quad (18)$$

a dla wężła hydrogeologicznego z jednym otworem obserwacyjnym

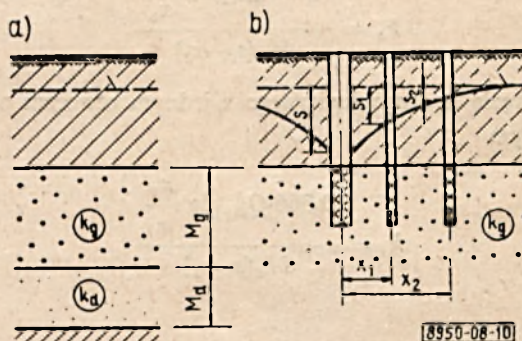
$$k_{WP} = \frac{0,366 Q \lg \frac{x_1}{r}}{M_{WP} (s - s_1)} \quad (19)$$

przy czym we wzorach (18) i (19) należy za  $Q$  podstawić odpowiednio  $Q_g$  przy wykonaniu próbnego pompowania z górnej warstwy lub  $Q_d$  przy wykonaniu próbnego pompowania z dolnej warstwy.

4.1.3. Obliczanie współczynnika filtracji w warstwie o mniejszej przewodności należy wykonać zgodnie z 3.1.3, przy czym do obliczenia wartości  $D=k_d H_d$  lub  $G=k_g H_g$  należy przyjmować wartości współczynników filtracji  $k_d$  lub  $k_g$  obliczone zgodnie z 4.1.2, w zależności od tego, czy warstwa o większej przewodności jest warstwą dolną czy górną.

4.2. Obliczenie współczynników filtracji gdy  $1/6 < u < 6$

4.2.1. Obliczenie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$  gdy  $k'_g > 10 k'_d$ . Współczynnik filtracji w górnej warstwie  $k_g$  należy obliczać na podstawie próbnego pompowania, przeprowadzonego z założonego w górnej warstwie wiszącego otworu hydrogeologicznego przy depresji nie przekraczającej spągu warstwy napinającej (rys. 10) wg wzorów (20) lub (21).



Rys. 10. Obliczanie  $k_d$  gdy  $k'_g > 10 k'_d$ : a) układ warstw w przekroju, b) zastępczy schemat obliczeniowy

Dla wężła hydrogeologicznego z dwoma otworami obserwacyjnymi

$$k_g = \frac{0,366 Q_{a(d)}}{M_g (s_1 - s_2)} \left[ \lg \frac{x_2}{x_1} + 0,217 (\xi_1 - \xi_2) \right] \quad (20)$$

a dla wężła hydrogeologicznego z jednym otworem obserwacyjnym

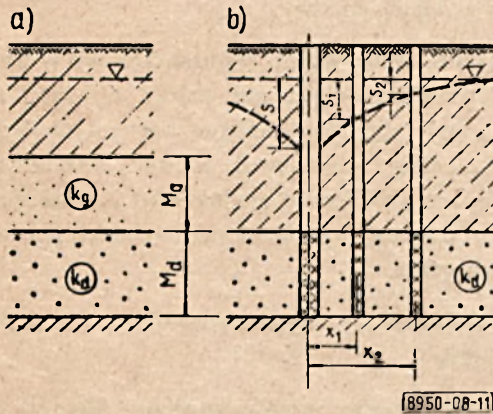
$$k_g = \frac{0,366 Q_{a(d)}}{M_g (s - s_1)} \left[ \lg \frac{x_1}{r} + 0,217 (\xi - \xi_1) \right] \quad (21)$$

Wartości współczynników oporów hydraulicznych  $\xi$ ,  $\xi_1$  i  $\xi_2$  należy określić z tabl. 3, zgodnie z 3.2.1, przyjmując

$$A = \frac{l}{M_g} \text{ i } B_n = \frac{M_g}{x_n}$$

Współczynnik filtracji w warstwie dolnej  $k_d$  należy obliczać z wzoru (10) zgodnie z 3.2.1.

**4.2.2. Obliczenie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$  gdy  $k'_d > 10 k'_g$ .** Obliczenie współczynnika filtracji w warstwie dolnej  $k_d$  należy wykonać na podstawie próbnego pompowania z otworu hydrogeologicznego, którego filtr obejmuje warstwę dolną przyjmując umownie, że strop warstwy napinającej leży na poziomie spągu warstwy górnej (rys. 11). Do obliczenia  $k_d$  należy stosować wzory (22) lub (23).



Rys. 11. Obliczenie  $k_d$  gdy  $k'_d > 10 k'_g$ : a) układ warstw w przekroju, b) zastępczy schemat obliczeniowy

Dla węzła hydrogeologicznego z dwoma otworami obserwacyjnymi

$$k_d = \frac{0,366 Q_{d(g)} \lg \frac{x_2}{x_1}}{M_d (s_1 - s_2)} \quad (22)$$

a dla węzła hydrogeologicznego z jednym otworem obserwacyjnym

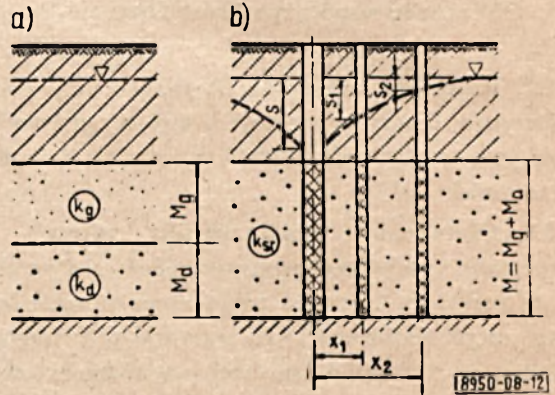
$$k_d = \frac{0,366 Q_{d(g)} \lg \frac{x_1}{r}}{M_d (s - s_1)} \quad (23)$$

Współczynnik filtracji w warstwie górnej  $k_g$  należy obliczać z wzoru (7) zgodnie z 3.2.4.

**4.2.3. Obliczenie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$  gdy  $k'_d < k'_g < 10 k'_d$  lub  $k'_g < k'_d < 10 k'_g$ .**

**4.2.3.1. Próbné pompowanie** należy wykonać zgodnie z 3.2.3.1.

**4.2.3.2. Średni współczynnik filtracji ośrodka** dwuwarstwowego  $k_{fr}$  należy obliczyć wg wzorów (24) lub (25), dla których schemat obliczeniowy przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12. Obliczenie  $k_{fr}$ : a) układ warstw w przekroju, b) zastępczy schemat obliczeniowy

Dla węzła hydrogeologicznego z dwoma otworami obserwacyjnymi

$$k_{fr} = \frac{0,366 Q_{(d+g)} \lg \frac{x_2}{x_1}}{M (s_1 - s_2)} \quad (24)$$

a dla węzła hydrogeologicznego z jednym otworem obserwacyjnym

$$k_{fr} = \frac{0,366 Q_{(d+g)} \lg \frac{x_1}{r}}{M (s - s_1)} \quad (25)$$

**4.2.3.3. Współczynniki filtracji w dolnej warstwie  $k_d$  i w górnej warstwie  $k_g$**  należy obliczać zgodnie z 3.2.3.3. za pomocą wykresu (rys. 7).

KONIEC

**1. WSTĘP**

- 1.1. Przedmiot normy
- 1.2. Zakres stosowania normy
- 1.3. Określenia
- 1.4. Oznaczenia (symbole) wielkości
- 1.5. Normy związane

**2. ZASADY OBLICZEŃ**

- 2.1. Wybór metody obliczeń
- 2.2. Obliczenia współczynników filtracji
- 2.3. Próbné pompowanie
- 2.4. Liczba depresji pompowania pomiarowego
- 2.5. Wielkość depresji
- 2.6. Rodzaj stosowanych węzłów hydrogeologicznych
- 2.7. Dokładność określania współczynników filtracji
- 2.8. Jednostka miary współczynnika filtracji
- 2.9. Stosowanie innych wzorów i metod obliczeniowych

**3. OBLICZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW FILTRACJI PRZY SWOBODNYM ZWIERCIADLE WODY PODZIEMNEJ**

- 3.1. Obliczanie współczynników filtracji dla  $u \leq \frac{1}{6}$  oraz  $u \geq 6$ 
  - 3.1.1. Kolejność obliczeń
  - 3.1.2. Obliczanie współczynnika filtracji w warstwie o większej przewodności
  - 3.1.3. Obliczanie współczynnika filtracji w warstwie o mniejszej przewodności
- 3.2. Obliczanie współczynników filtracji dla  $\frac{1}{6} < u < 6$ 
  - 3.2.1. Obliczanie współczynników filtracji, jeżeli  $H_g \geq H_a$

- 3.2.2. Obliczanie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$  gdy  $H_g < H_a$  oraz  $k_g \geq k'_d$
- 3.2.3. Obliczanie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$  gdy  $H_g < H_a$  oraz  $k'_d < k'_g < 10k'_d$  lub  $k'_g < k'_d < 10k'_g$ 
  - 3.2.3.1. Próbné pompowanie
  - 3.2.3.2. Średni współczynnik filtracji ośrodka dwuwarstwowego
  - 3.2.3.3. Współczynniki filtracji w warstwie dolnej  $k_d$  i w warstwie górnej  $k_g$
- 3.2.4. Obliczanie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$  gdy  $H_g < H_a$  oraz  $k'_d < 10k'_g$

**4. OBLICZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW FILTRACJI PRZY NAPIĘTYM ZWIERCIADLE WODY PODZIEMNEJ**

- 4.1. Obliczanie współczynników filtracji gdy  $u \leq \frac{1}{6}$  oraz  $u \geq 6$ 
  - 4.1.1. Kolejność obliczeń
  - 4.1.2. Obliczanie współczynnika filtracji w warstwie o większej przewodności
  - 4.1.3. Obliczanie współczynnika filtracji w warstwie o mniejszej przewodności
- 4.2. Obliczanie współczynników filtracji gdy  $\frac{1}{6} < u < 6$ 
  - 4.2.1. Obliczanie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$  gdy  $k'_d > 10k'_d$
  - 4.2.2. Obliczanie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$  gdy  $k'_g > 10k'_g$
  - 4.2.3. Obliczanie współczynników filtracji  $k_d$  i  $k_g$  gdy  $k'_d < k'_g < 10k'_d$  lub gdy  $k'_g < k'_d < 10k'_g$ 
    - 4.2.3.1. Próbné pompowanie
    - 4.2.3.2. Średni współczynnik filtracji ośrodka dwuwarstwowego
    - 4.2.3.3. Współczynniki filtracji w dolnej warstwie  $k_d$  i w górnej warstwie  $k_g$

BG PW

**BN. 003251**



4000000341606