



BARTŁOMIEJ MICHALIK

WBP Zabrze Sp. z o.o.
bmichalik@wbp.zabrze.pl



JOANNA BZÓWKA

Politechnika Śląska
joanna.bzowka@polsl.pl

Obniżenie zwierciadła wody gruntowej doraźnym drenażem pionowym w budownictwie drogowym

Wprowadzenie do metody obniżenia zwierciadła wody gruntowej (ZWG) za pomocą doraźnego drenażu pionowego

W celu odwodnienia jakiegoś obszaru potrzebne jest skorzystanie nie z jednej, lecz z wielu studni [5] (rys. 1). Tak utworzoną grupę studni zastępujemy myślowo jedną studnią zwaną „dużą” lub „centralną”. Promień dużej studni wyznacza się obliczając średnią geometryczną z odległości poszczególnych studni z grupy od geometrycznego środka figury utworzo-

nej przez te studnie. Wzajemne oddziaływanie zespołu studni powoduje wytworzenie lejka depresyjnego odpowiadającego lejowi wytworzonemu przez studnię centralną (rys. 2) [4].

Obliczanie odwodnienia przeprowadza się w dwóch etapach. Pierwszy pozwala na wstępne określenie liczby studni, natomiast drugi polega na weryfikacji wyników etapu pierwszego i ostateczne przyjęcie liczby studni oraz ich rozmieszczenia.

Etap 1 – kroki obliczeniowe

1. Obliczenie przybliżonego promienia dużej studni R_{ds} , według wzorów:

$$R_{ds} = \sqrt{\frac{L_S \cdot B_S}{\pi}} \quad \text{jeśli} \quad \frac{B_S}{L_S} > 0,6 \quad (1)$$

$$R_{ds} = 0,303 \cdot (L_S + B_S) \cdot \left(\frac{B_S}{L_S}\right)^{0,048} \quad \text{jeśli} \quad \frac{B_S}{L_S} \leq 0,6 \quad (2)$$

w których:

L_S – długość obszaru przewidzianego do odwodnienia [m],
 B_S – szerokość obszaru przewidzianego do odwodnienia [m],
(por. rys. 1).

2. Obliczenie promienia depresji studni pojedynczej R , według wzorów:

• przy naporowym zwierciadle wody gruntowej (ZWG)

$$R = 3000 \cdot S \sqrt{k} \quad (3)$$

• przy swobodnym zwierciadle wody gruntowej (ZWG)

$$R = 575 \cdot S \sqrt{k \cdot H} \quad (4)$$

w których:

k – współczynnik wodoprzepuszczalności [m/s],

H – wysokość strefy wodonośnej [m],

S – depresja studni, mierzona przed studnią [m], (por. rys. 2).

3. Obliczenie promienia depresji studni dużej:

$$R_0 = R_{ds} + R \quad (5)$$

4. Obliczenie wydatku studni dużej, według wzorów:

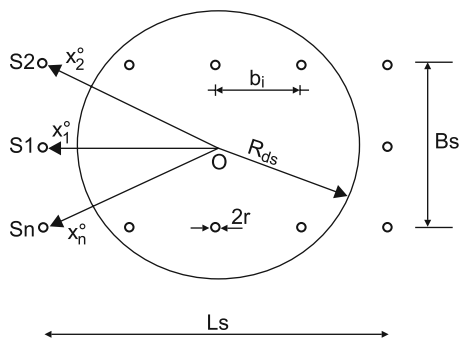
• przy naporowym zwierciadle wody gruntowej (ZWG)

$$Q_{ds} = \frac{2\pi kM(H - h_0)}{\ln R_0 - \ln R_{ds}} \quad (6)$$

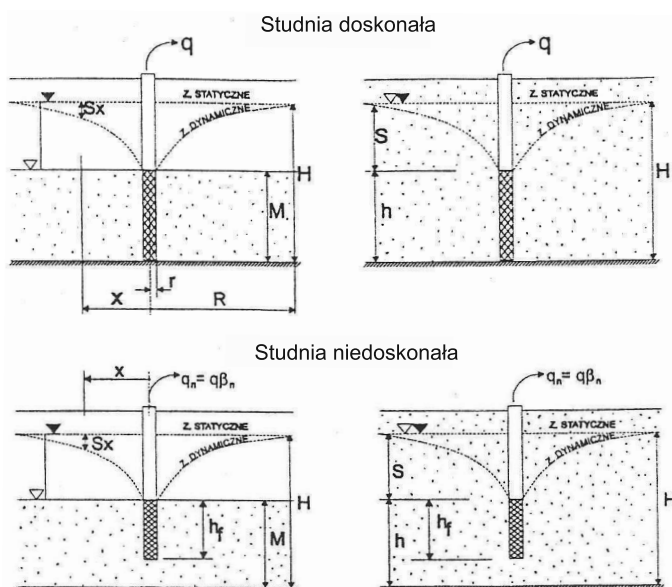
• przy swobodnym zwierciadle wody gruntowej (ZWG)

$$Q_{ds} = \frac{\pi k(H^2 - h_0^2)}{\ln R_0 - \ln R_{ds}} \quad (7)$$

Oznaczenia wg rysunku 2.



Rys. 1. Zastąpienie grupy n studni studnią „dużą” o promieniu R_{ds} [4]



Rys. 2. Wydatek studni pojedynczej [2], [3]

5. Obliczenie wydajności filtracyjnej studni pojedynczej, według wzoru:

$$q_w = 2\pi r h_f v_{dop} z \quad (8)$$

w którym:

r – promień studni pojedynczej [m],

h_f – wysokość filtru [m], przyjmuje się, że $h_f = (0,4 \div 0,8)H$ lub $h_f = (0,4 \div 0,8)M$, (por. rys. 2),

v_{dop} – dopuszczalna prędkość dopływu wody do filtru lub obrypy drenarskiej [m/s],

z – bezwymiarowy współczynnik poprawkowy (w celu uproszczenia obliczeń można przyjąć $z = 1$).

6. Obliczenie liczby studni:

$$n \geq \frac{Q_{ds}}{q_w} \quad (9)$$

7. Rozmieszczenie przyjętej liczby studni wokół odwadnianego obszaru

Studnie powinny być rozmieszczone równomiernie, a odległość między nimi powinna spełniać warunek:

$$b \geq 10\pi r \quad (10)$$

Etap 2 – kroki obliczeniowe

1. Obliczenie promienia dużej studni, według wzoru:

$$R_{ds} = \sqrt[n]{x_1^0 \cdot x_2^0 \cdot x_3^0 \dots x_n^0} \quad (11)$$

w którym:

x_n^0 – odległość n -tej studni na obwodzie od studni dużej (centralnej).

2. Obliczenie promienia depresji studni dużej

Korzysta się ze wzoru (5) podanego w 3 kroku obliczeń etapu 1.

3. Obliczenie wydatku studni dużej

Korzysta się ze wzoru (6) podanego w 4 kroku obliczeń etapu 1.

4. Obliczenie liczby studni

Korzysta się ze wzoru (9) podanego w 6 kroku obliczeń etapu 1.

5. Obliczenie depresji zwierciadła dynamicznego w środku studni dogłębionej (doskonałej)

• przy naporowym zwierciadle wody gruntowej (ZWG)

$$S_0 = \frac{Q_{ds}}{2\pi k M} \ln \frac{R_0}{R_{ds}} \quad (12)$$

• przy swobodnym zwierciadle wody gruntowej (ZWG)

$$S_0 = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q_{ds}}{\pi k} \ln \frac{R_0}{R_{ds}}} \quad (13)$$

6. Sprawdzenie depresji zwierciadła wykonuje się w odniesieniu do studni położonej:

A) najbliżej środka dłuższego boku odwadnianego obszaru,
B) na obwodzie najdalej od studni centralnej (w narożu odwadnianego obszaru).

Przedstawiony poniżej wzór jest stosowany zarówno do punktu A, jak i punktu B:

$$S_A = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q_{ds}}{\pi k} \cdot \left(\ln \frac{R_0}{\sqrt[n]{x_1^A \cdot x_2^A \cdot x_3^A \cdot \dots \cdot x_n^A}} \right)} \quad (14)$$

w którym:

x_n^A – odległość n -tej studni na obwodzie od punktu A lub punktu B.

7. Sprawdzenie poprawności uzyskanych wyników

Sprawdzenie polega na obliczeniu różnicy według wzoru:

$$|S_i - S_0| \quad (15)$$

w którym:

$$|S_i = S_A| \text{ lub } |S_i = S_B|$$

Zatem, jeżeli:

$|S_i - S_0| < 0,5$ – liczba studni lub długość filtru jest za duża;

$|S_i - S_0| = 0,5 \div 1,0$ – projekt odwodnienia jest właściwy;

$|S_i - S_0| > 1,0$ – liczba studni lub długość filtru jest za mała.

Przykład obliczeń

Założenia

W celu sprawdzenia przydatności do budownictwa drogowego wyżej opisanej metody przeprowadzono przykładową analizę [1].

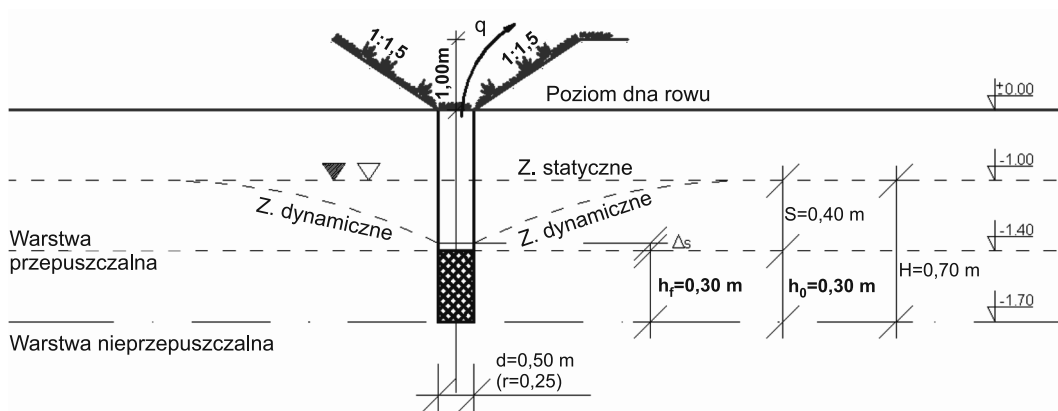
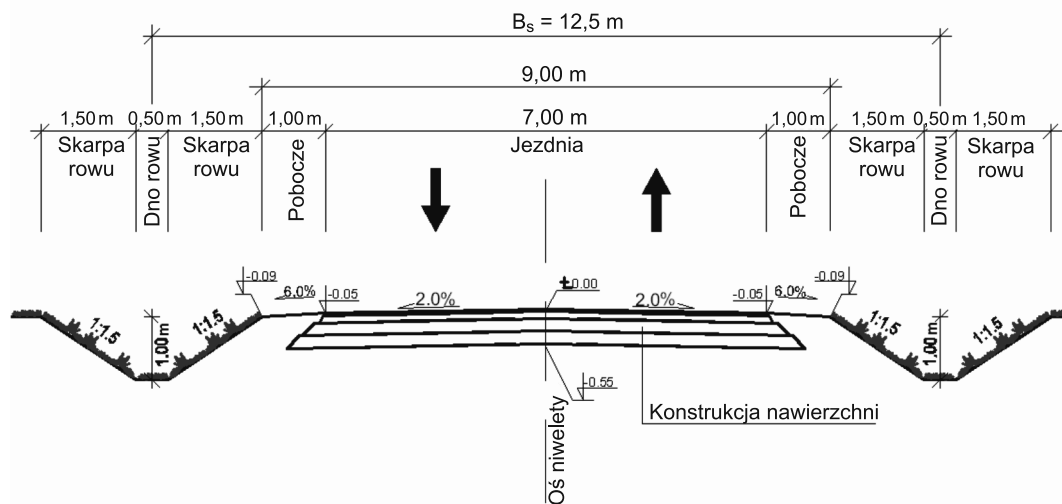
Do obliczeń przyjęto następujące parametry odwadnianej drogi:

- klasa drogi Z1/2 (droga zbiorcza jednojezdniowa z dwoma pasami ruchu)
- kategoria ruchu KR5,
- prędkość projektowa $V_p = 60$ km/h,
- szerokość pasa ruchu 3,5 m,
- szerokość jezdni $2 \times 3,50$ m,
- szerokość poboczy 1,00 m,
- pochylenie poprzeczne jezdni 2,0%,
- pochylenie skarp wykopów i nasypów 1:1,5,
- obciążenie 115 kN/oś,
- skrajnia pionowa min 4,70 m,
- promienie łuków poziomych $R = 400 \div 900$ m.

Przekrój poprzeczny projektowanej drogi pokazano na rysunku 3.

Założono również, że projektowana droga jest drogą tymczasową, która ma służyć przez okres 3 lat. Okres ten wynika z czasu, jaki potrzebny jest na budowę nowego mostu, który uległ zerwaniu w czasie powodzi. Droga będzie łączyła nieczynną obecnie przeprawę z mostem tymczasowym, wybudowanym w odległości 1,5 km od miejsca katastrofy. Dlatego też zdecydowano się na wykorzystanie doraźnego drenażu pionowego z poprawką uwzględniającą wydłużony okres eksploatacji odwodnienia. Po przeciwnej stronie rzeki również powstanie droga o podanych wyżej parametrach, natomiast sposób jej odwodnienia polegać będzie na wykorzystaniu drenażu poziomego. W ten sposób zostaną zebrane dane, które pozwolą na bezpośrednie porównanie tych dwóch metod odwodnienia.

Rys. 3. Przekrój poprzeczny odwadniającej drogi [1]



Rys. 4. Przekrój przez studnię odwadniającą [1]

Odwierty geologiczne przeprowadzone pod projektowaną drogę wykazały, że grunt składa się głównie z piasku drobnego ($l_D=0,50$), a zwierciadło wody gruntowej (ZWG) położone jest 1,0 m poniżej powierzchni terenu. Grubość warstwy piasku drobnego zmienia się od 1,7÷3,0 m. W związku z powyższym zachodzi konieczność obniżenia ZWG o 0,7÷2,0 m. Przekrój przez studnię odwadniającą w przypadku obniżenia ZWG o 0,7 m pokazano na rysunku 4.

Zestawienie przypadków obliczeniowych do projektowanej drogi pokazano w tabeli 1.

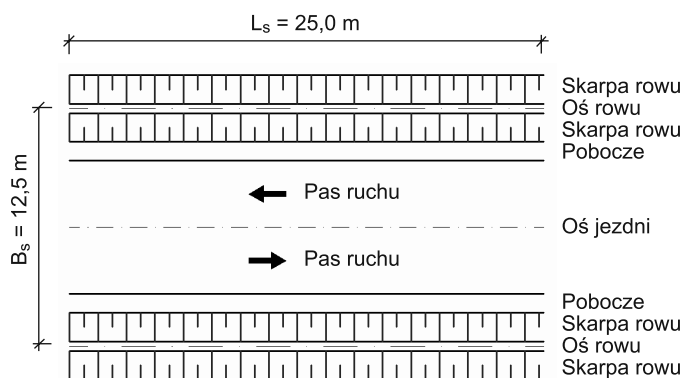
Tabela 1. Zestawienie przypadków obliczeniowych do projektowanej drogi

Odległość obniżenia poziomu ZWG	Długość analizowanego odcinka drogi	
H	L _s	
[m]	[m]	
0,70	25	50
2,00	25	50

Przyjęte do obliczeń długości analizowanego odcinka drogi wynikają z założenia, że wyliczenia przy $L_s=25$ m można wykorzystać nie tylko do odcinków prostych, ale także na łukach. Natomiast wyliczenia przy $L_s=50$ m przeprowadzono w celu weryfikacji uzyskanej liczby studni na krótszym odcinku. Istotne jest sprawdzenie, czy przy dłuższym odcinku uzyskamy zbliżoną liczbę studni czy będzie ona inna.

Obliczenia dla $H=0,7$ m i $L_s=25$ m

Plan przebiegu drogi na odwadnianym odcinku pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Plan przebiegu drogi na odwadnianym odcinku [1]

Etap 1

1. Obliczenie przybliżonego promienia dużej studni:

$$R_{ds} = 0,303 \cdot (L_s + B_s) \cdot \left(\frac{B_s}{L_s} \right)^{0,048} = 10,99 \text{ m} \quad \text{przy} \quad \frac{B_s}{L_s} \leq 0,6$$

2. Obliczenie promienia depresji studni pojedynczej R:

Ponieważ stwierdzono swobodny poziom ZWG oraz przyjęto współczynnik wodoprzepuszczalności piasku drobnego

($I_D=0,5$) równy $5,0 \cdot 10^{-5}$ [m/s], dlatego też promień depresji wynosi:

$$R = 575 \cdot S \sqrt{k \cdot H} = 1,43 \text{ m}$$

3. Obliczenie promienia depresji studni dużej:

$$R_0 = R_{ds} + R = 12,42 \text{ m}$$

4. Obliczenie wydatku studni dużej:

$$Q_{ds} = \frac{\pi k (H^2 - h_0^2)}{\ln R_0 - \ln R_{ds}} = 5,29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

5. Obliczenie wydajności filtracyjnej studni pojedynczej:

$$q_w = 2\pi r h_f v_{dop} = 1,037 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

ponieważ:

$$v_{dop} = \frac{\sqrt{k}}{30} = 2,357 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

6. Obliczenie liczby studni:

$$n \geq \frac{Q_{ds}}{q_w} = 5,103$$

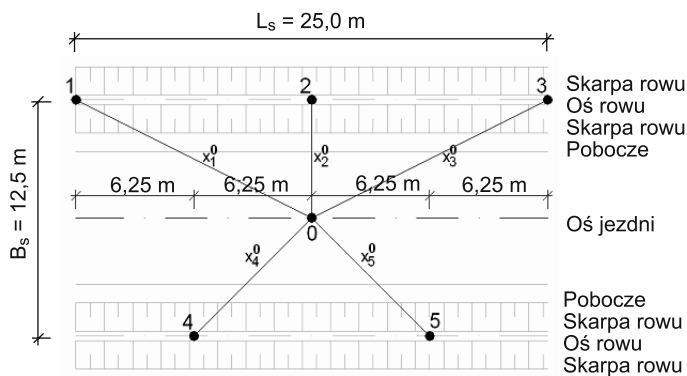
Do dalszych obliczeń przyjęto liczbę studni równą 5.

7. Rozmieszczenie przyjętej liczby studni wokół odwadnianego obszaru

Minimalna odległość między studniami:

$$b \geq 10\pi r = 7,854 \text{ m}$$

Przyjęto rozstaw studni pokazany na rysunku 6.



Rys. 6. Rozmieszczenie pięciu studni na odcinku 25 m [1]

Etap 2

1. Obliczenie promienia studni dużej:

$$R_{ds} = \sqrt[5]{x_1^0 \cdot x_2^0 \cdot x_3^0 \cdot x_4^0 \cdot x_5^0} = 9,91 \text{ m}$$

2. Obliczenie promienia depresji studni dużej:

$$R_0 = R_{ds} + R = 11,34 \text{ m}$$

3. Obliczenie wydatku studni dużej:

$$Q_{ds} = \frac{\pi k (H^2 - h_0^2)}{\ln R_0 - \ln R_{ds}} = 4,799 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Obliczenie liczby studni:

$$n \geq \frac{Q_{ds}}{q_w} = 4,63$$

Przyjęto ostateczną liczbę studni równą 5.

5. Obliczenie depresji zwierciadła dynamicznego w środku studni dogłębionej (doskonałej):

$$S_0 = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q_{ds}}{\pi k} \ln \frac{R_0}{R_{ds}}} = 0,42$$

6. Sprawdzenie depresji zwierciadła w dwóch punktach
Sprawdzenie wykonano w punktach:

A) w środku dłuższego boku odwadnianego obszaru:

$$S_A = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q_{ds}}{\pi k} \cdot \left(\ln \frac{R_0}{\sqrt[4]{x_2^A \cdot x_3^A \cdot x_4^A \cdot x_5^A}} \right)} = -0,661$$

B) w narożu odwadnianego obszaru:

$$S_B = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q_{ds}}{\pi k} \cdot \left(\ln \frac{R_0}{\sqrt[4]{x_1^B \cdot x_3^B \cdot x_4^B \cdot x_5^B}} \right)} = -0,279$$

7. Sprawdzenie poprawności uzyskanych wyników
Sprawdzenie polega na obliczeniu różnicy wg wzoru:

$$|S_i - S_0|$$

zatem:

$$|S_A - S_0| = 1,079 \approx 1,0 \Rightarrow |S_A - S_0| = 1,0 \in (0,5 \div 1,0)$$

$$|S_B - S_0| = 0,699 \approx 0,7 \Rightarrow |S_B - S_0| = 0,7 \in (0,5 \div 1,0)$$

projekt odwodnienia jest właściwy.

W analogiczny sposób przeprowadzono obliczenia w pozostałych przypadkach rozmieszczenia studni na założonych odcinkach drogi. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Obliczenia rozmieszczenia studni na założonych odcinkach drogi

Wartość obniżenia poziomu ZWG	Długość analizowanego odcinka drogi	Liczba studni			
		ETAP 1		ETAP 2	
[m]	[m]	obliczona	przyjęta	obliczona	przyjęta
0,70	25	5,103	5	4,630	5
0,70	50	8,042	8	6,251	6
2,00	25	3,657	4	4,442	5
2,00	50	5,418	6	4,988	5

Wnioski i podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń oraz analizy wyników można stwierdzić:

- parzysta liczba studni upraszcza obliczenia ze względu na powtarzalność odległości między studniami na obwodzie odwadnianego obszaru a studnią centralną;
- na krótszym odcinku obliczeniowym (25 m) otrzymujemy większą liczbę studni w przeliczeniu na kilometr drogi (tab. 2);
- minimalna odległość między studniami obliczana jest ze wzoru (10):

$$b \geq 10\pi r$$

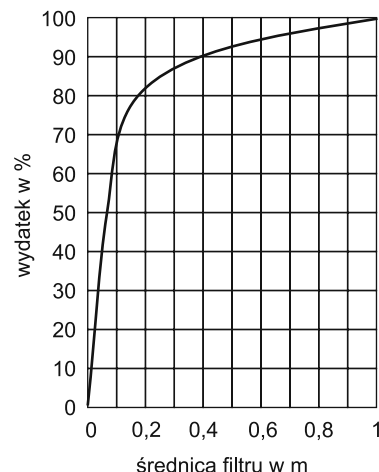
w którym: r – promień studni pojedynczej [m]. Odległość ta zależy wyłącznie od przyjętej średnicy filtra. Wynika z tego, że maksymalna liczba studni na odcinku $L_S=25$ m wynosi 6, a na odcinku $L_S=50$ m wynosi 12, dla promienia studni 0,25 m,

- liczba studni na danym odcinku jest odwrotnie proporcjonalna do przyjętej średnicy studni;
- wydatek studni wzrasta ze zwiększaniem jej średnicy do wartości $d=2r=0,3$ m. Powyżej tej wartości efekt jest już znacznie mniejszy (por. rys. 7);
- zaletą krótszych odcinków obliczeniowych jest możliwość ich zastosowania w przypadku łuków poziomych trasy. Łuk dzielimy na krótkie odcinki proste odpowiadające stycznym. Błąd wynikający z zastosowania tego uproszczenia jest odwrotnie proporcjonalny do promienia łuku.

Przedstawiona metoda obniżenia zwierciadła wody gruntowej stanowi ciekawą alternatywę do innych technik. Metoda ta przede wszystkim powinna być stosowana w przypadku doraźnego obniżania ZWG i do terenów o względnie małej powierzchni. Ograniczenie to wynika ze skomplikowania obliczeń, których stopień potęguje się wraz z ilością studni.

Opisywana metoda może mieć zastosowanie do odwadniania obiektów liniowych, jakimi są drogi, z zastrzeżeniem,

Rys. 7. Zależność wydatku studni od jej średnicy [4]



że dłuższe odcinki zostaną podzielone na mniejsze, na których liczba studni nie przekroczy wartości granicznej, komplikującej niepotrzebnie obliczenia. Działanie to pozwala na uproszczenie obliczeń i ustalenie liczby studni na dłuższych odcinkach.

Przy doborze liczby studni należy zwracać szczególną uwagę na średnicę, gdyż jest ona ściśle powiązana z minimalną odległością między studniami, co z kolei wpływa na ich liczbę i rozmieszczenie.

Bibliografia

- [1] Michalik B. (2010): *Woda gruntowa i zjawiska z nią związane*, Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Gliwice
- [2] Pieczyrak J. (1997a): *Hydrologia wód gruntowych*. „Inżynieria i Budownictwo” nr 1
- [3] Pieczyrak J. (1997b): *Geotechniczne problemy odwadniania wykopów*. „Inżynieria i Budownictwo” nr 4
- [4] Pieczyrak J. (1998a): *Obniżenie zwierciadła wody gruntowej za pomocą doraźnego drenażu pionowego*. „Inżynieria i Budownictwo” nr 3
- [5] Pieczyrak J. (1998b): *Uwagi praktyczne dotyczące doraźnego obniżenia zwierciadła wody gruntowej*. „Inżynieria i Budownictwo” nr 11 ■

Zapraszamy do prenumerowania DROGOWNICTWA w 2012 roku

cena 1 egzemplarza 17,85 zł
prenumerata roczna 214,20 zł } (w tym 5% VAT)

Uprzejmie informujemy Szanownych Prenumeratorów,
że egzemplarze „Drogownictwa” oraz faktury będą wysyłane
po wpłaceniu należnej kwoty na nasze konto:

38 1160 2202 0000 0000 2741 3872

Redakcja