INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr III/2/2016, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 959–970
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2016.3.2.070

OKREŚLANIE PRZEPUSZCZALNOŚCI GRUNTU NA POTRZEBY ODPROWADZANIA ŚCIEKÓW Z OCZYSZCZALNI PRZYDOMOWYCH

Agnieszka Karczmarczyk
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

DETERMINATION OF SOIL PERMEABILITY FOR INFILTRATION OF EFFLUENT FROM ON SITE WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS

Streszczenie

Większość przydomowych oczyszczalni odprowadza ścieki do odbiornika w postaci gruntu, najczęściej za pomocą urządzeń infiltracyjnych. Celem badań było porównanie wybranych metod określania wodoprzepuszczalności gruntu pod kątem oceny jego przydatności jako odbiornika ścieków. Współczynniki filtracji określono w badaniach terenowych (test perkolacyjny), laboratoryjnych (pomiar w aparacie de Wit'a) oraz metodą obliczeniową (na podstawie wyników analizy sitowej). Analizą objęto 7 potencjalnych lokalizacji przydomowych oczyszczalni. Na podstawie krzywych uziarnienia badane grunty zostały sklasyfikowane jako: piasek słabogliniasty, piasek gliniasty i glina piaszczysta. Najwyższe wartości współczynników filtracji badanych gruntów uzyskano w badaniach terenowych, a najniższe metodami obliczeniowymi. Obliczone obciążenia hydrauliczne badanych gruntów we wszystkich przypadkach są znacznie niższe niż wartość LTAR. Przyczyną może być fakt, że wykorzystana do obliczeń zależność była opracowana dla ścieków oczyszczonych mechanicznie i uwzględniała kolmatację systemu odpływającymi z osadnika zawiesinami. W przypadku ścieków biologicznie oczyszczonych rozprowadzanych w badanych gruntach drobnoziarnistych, powierzchnia infiltracji

obliczona na podstawie testu perkolacyjnego zapewni bezpieczne odprowadzanie ścieków przez wiele lat eksploatacji przydomowej oczyszczalni.

Słowa kluczowe: filtracja, grunt, odbiornik, przydomowa oczyszczalnia, ścieki

Abstract

Majority of on-site wastewater treatment plants discharge effluents to the soil by infiltration systems. The aim of the study was to compare choosen methods of determinantion of soil permeability for its use as a receiver for domestic wastewater. Filtration coefficiens were determined in on-site percolation test, laboratory test (de Wit aparatus) and calculation method (base on grain size analysis). Soils from seven different potential locations of on-site wastewater treatment systems were tested. Soils were characterised as sandy loams and loamy sands. The highest values of filtration coefficients were obtained from percolation tests and the lowest from the calculation method. Calculated hydraulic loads in all cases are lower than values of LTAR (Long-Term Acceptance Rate). The possible reason is that used equation was developed for simple septic systems and includes clogging of soil by solids from pre-treated wastewater. In case of biologically treated wastewater distributed in tested fine-grained soils, infiltration surface determined base on the percolation test, will ensure safe disposal of wastewater for long time of operation of on-site wastewater treatment system.

Key words: *filtration, soil, receiver, on-site treatment plant, wastewater*

WSTĘP

Przydomowe oczyszczalnie ścieków mogą być skutecznym sposobem zagospodarowania ścieków na obszarach o rozproszonej zabudowie. Stanowią one alternatywę dla powszechnie stosowanych zbiorników bezodpływowych, które w przypadku nieprawidłowej eksploatacji są niekontrolowanym źródłem zanieczyszczeń w środowisku (Withers i in. 2014). Liczba przydomowych oczyszczalni ścieków w Polsce systematycznie rośnie. W roku 2014 funkcjonowało 181 tys. takich obiektów (GUS 2015). Najczęściej stosowaną technologią wciąż jest drenaż rozsączający, ale powszechne są również oczyszczalnie kontenerowe (osad czynny lub złoża biologiczne), oczyszczalnie hydroponiczne oraz systemy hydrofitowe z podpowierzchniowym pionowym przepływem ścieków. Oczyszczone ścieki odprowadzane są do odbiornika, którym zgodnie z ustawą Prawo wodne (Dz.U. 2001, 115 p.1229) może być woda lub ziemia. Pod pojęciem ziemi rozumie się glebę lub grunt (Błażejewski 2003). Ścieki z oczyszczalni przy-

domowych odprowadzane są najczęściej do gruntu za pomocą podpowierzchniowych urządzeń infiltracyjnych, przy spełnieniu warunku ilości ścieków nie przekraczającej 5 m^3 na dobę i poziomie wód podziemnych co najmniej 1,5 m pod dnem urządzenia (Osmulska-Mróz 1995). Wymagana jakość ścieków odprowadzanych do odbiornika zależy od obszaru w jakim zlokalizowana jest oczyszczalnia (Dz.U 2014, p. 1800).

Celem badań było porównanie trzech metod określania wodoprzepuszczalności gruntu pod kątem oceny jego przydatności jako odbiornika ścieków z przydomowej oczyszczalni. Współczynniki filtracji do porównań określono w badaniach terenowych (test perkolacyjny), laboratoryjnych (pomiar w aparcie de Wit'a) oraz metodą obliczeniową (na podstawie wyników analizy granulometrycznej).

MATERIAŁ I METODY

Aby grunt mógł być odbiornikiem ścieków powinien wykazywać odpowiednią wodoprzepuszczalność (Błażejewski 2003). Współczynnik filtracji zależy od właściwości gruntu, a jego wartość można oznaczyć metodami obliczeniowymi, laboratoryjnymi lub polowymi (Myślińska 1998).

W pierwszym wariancie wodoprzepuszczalność gruntu określono na podstawie testu perkolacyjnego. W pracy wykorzystano wyniki pomiarów czasu wsiąkania przeprowadzonych w miejscu i na głębokości przewidywanego odprowadzenia ścieków z przydomowych oczyszczalni w siedmiu lokalizacjach. Pomiar przeprowadzono w szybiku o wymiarach a=30 cm (szerokość, długość), H=15 cm (głębokość) po wcześniejszym wypełnieniu porów w gruncie i bez naruszania naturalnej struktury gruntu. Podczas formowania szybiku pobrano próbki gruntu do analizy uziarnienia oraz do badań laboratoryjnych. Na podstawie czasu wsiąkania określono klasę przepuszczalności gruntu (wg tabeli 1) oraz obliczono współczynnik filtracji korzystając z zależności CUGW (Błażejewski 2003):

$$k_f = a\frac{\ln(4H_o + a) - \ln(4H_t + a)}{4t}[\frac{cm}{s}] \tag{1}$$

gdzie: a – długość boku szybiku [cm]; H_o – początkowa głębokość wody w szybiku [cm]; H_t – głębokość wody [cm] po czasie wsiąkania t [s].

Wartości współczynnika filtracji w warunkach laboratoryjnych określono w aparacie de Wit'a, umożliwiającym równoczesne badanie 25 próbek gruntu. Próbki do analizy pobrano w stanie nienaruszonym i za pomocą specjalnego chwytaka umieszczono w górnej komorze urządzenia wypełnionej wodą. Filtracja wody w próbkach odbywa się z dołu do góry. Pomiar współczynnika filtracji wykonano przy ruchu ustalonym, mierząc objętość wody przepływającej przez

próbkę w czasie przy stałej różnicy ciśnień (Stąpel 1982). Pomiar wykonano dla 21 próbek (po trzy dla każdej lokalizacji) do momentu ustabilizowania się wartości współczynnika filtracji.

Tabela 1. Podział gruntów na klasy w zależności od ich wodoprzepuszczalności (Błażejewski 2003)
Table 1. Soil percolation classess (Błażejewski 2003)

Klasa przepuszczalności gruntu	Czas wsiąkania wody [min]	Rodzaj gruntu
A	< 2	Rumosze, żwiry, pospółki
B	2-18	Piaski grube i średnie
C	18-180	Piaski drobne i lessy
D	180-780	Piaski pylaste i gliniaste
E	> 780	Gliny, iły

Analizę granulometryczną gruntu wykonano w celu uzyskania parametrów do obliczenia współczynnika filtracji przy wykorzystaniu wzorów empirycznych. Metoda granulometryczna służy wyznaczeniu procentowej zawartości poszczególnych frakcji i wykreśleniu krzywej uziarnienia, co umożliwia określenie rodzaju i nazwy badanego gruntu. Analizę granulometryczną wykonuje się metodami mechanicznymi (analiza sitowa) i sedymentacyjnymi (analiza hydrometryczna). W przypadku badania gruntu, który składa się z ziaren o wymiarach większych i mniejszych od 0,06 mm stosuje się kombinację obu metod (Myślińska 1998). Dla każdej z 7 badanych prób wykonano analizę granulometryczną w trzech powtórzeniach. Na podstawie uzyskanych wyników sporządzono krzywe uziarnienia. Rodzaj gruntu określono na podstawie klasyfikacji uziarnienia gleb i utworów mineralnych PTG (2008). Wartość współczynnika filtracji obliczono wykorzystując zmodyfikowany wzór Hazena w postaci:

$$k_f = 150 \cdot d_{10}{}^2 \cdot (\frac{n}{45})^6 [m \cdot d^{-1}] \tag{2}$$

gdzie: d_{10} – średnica miarodajna [mm], n – porowatość [%].

Może być on stosowany dla d_{10} mieszczących się w przedziale 0,003-0,012 mm (Wolski 1978).

Na postawie współczynników filtracji wyznaczonych powyższymi metodami obliczono dopuszczalne obciążenie hydrauliczne gruntu według wzoru (Błażejewski 1997):

$$q_{dop} = 40 \cdot k_f - \frac{1{,}8}{0{,}3 + \log k_f} [cm \cdot d^{-1}] \tag{3}$$

gdzie: k_f – współczynnik filtracji [$cm \cdot s^{-1}$].

WYNIKI I DYSKUSJA

Test perkolacyjny jest prostą i niewymagającą specjalistycznych umiejętności ani aparatury metodą oceny przepuszczalności gruntu w miejscu potencjalnego rozprowadzenia ścieków. Procedura wykonywania testu jest powszechnie dostępna i nieskomplikowana. Może być on użyteczny w wymiarowaniu urządzeń do odprowadzania ścieków, ale także do infiltracji wód deszczowych (Markovič i in. 2014). Według Błażejewskiego (2003) test perkolacyjny daje najbardziej wiarygodne wartości współczynnika filtracji na potrzeby charakterystyki odbiornika ścieków. Jednak Osmulska-Mróz (1995) za podstawę oceny przydatności gruntu do tego celu uznaje wynik analizy sitowej, a wynik testu perkolacyjnego zaleca traktować jako orientacyjny. Wyniki testów perkolacyjnych wykonanych w siedmiu lokalizacjach zestawiono w tabeli 2. Na podstawie pomierzonych czasów wsiąkania i równania 1 obliczono wartości współczynników filtracji oraz określono charakter przepuszczalności. Badane grunty zakwalifikowano do gruntów o średniej lub słabej przepuszczalności.

Tabela 2. Charakterystyka gruntu na podstawie testu perkolacyjnego
Table 2. Soils characteristic base on the percolation tests

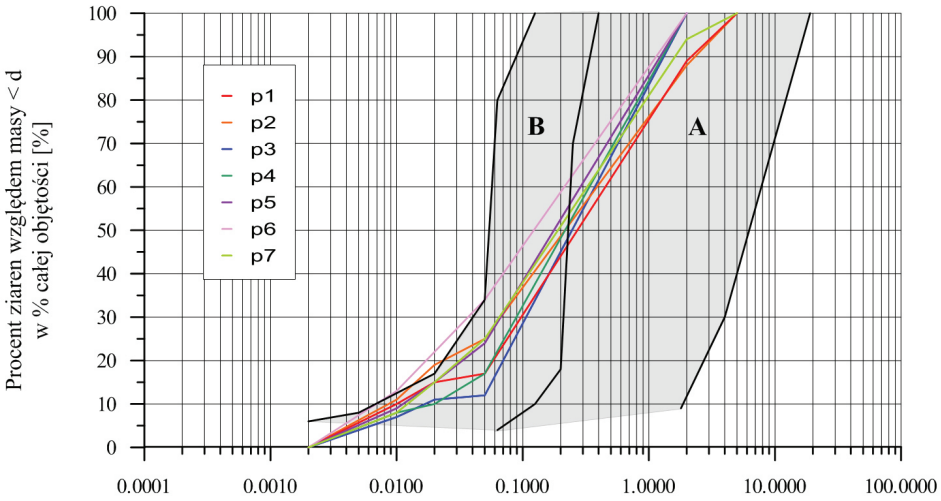
Nr próby	Czas wsiąkania [min, s]	Klasa przepuszczalności (wg tabeli 1)	Współczynnik filtracji [m s^{-1}]	Charakter przepuszczalności (wg Pazdro i Kozerski 1990)
1	31’20”	C	$4{,}18 \cdot 10^{-5}$	średnia/słaba
2	123’00”	C	$1{,}07 \cdot 10^{-5}$	średnia/słaba
3	13’56”	B	$9{,}41 \cdot 10^{-5}$	średnia/słaba
4	35’00”	C	$3{,}74 \cdot 10^{-5}$	średnia/słaba
5	30’00”	C	$4{,}37 \cdot 10^{-5}$	średnia/słaba
6	152’00”	C	$8{,}62 \cdot 10^{-6}$	słaba
7	30’00”	C	$4{,}37 \cdot 10^{-5}$	średnia/słaba

Laboratoryjny pomiar współczynnika filtracji jest niezwykle rzadko stosowany do oceny gruntu jako odbiornika ścieków. Jest to pomiar skomplikowany, czasochłonny i wymagający specjalistycznej aparatury. Pomimo iż metody laboratoryjne, oparte bezpośrednio na prawie Darcy’ego mogą być traktowane jako podstawowe, prowadzi się je na małych próbkach, które mogą nie odzwierciedlać w pełni warunków rzeczywistych. Metoda ta może dawać wartości zaniżone, co w praktyce jednak można uznać za przydatne, gdyż zwiększa się zapas bezpieczeństwa na wypadek kolmatacji systemu (Nieć i Spychała 2014). Wyniki pomiaru współczynnika filtracji w aparacie de Wit’a zestawiono w tabeli 3.

Określony na tej podstawie charakter przepuszczalności kwalifikuje badane grunty do słabo przepuszczalnych i bardzo słabo przepuszczalnych.

Tabela 3. Charakterystyka gruntu na podstawie laboratoryjnego pomiaru współczynnika filtracji
Table 3. Soils characteristic base on the laboratory tests

Nr próby	Współczynnik filtracji [m s^{-1}]	Charakter przepuszczalności (wg Pazdro i Kozerski 1990)
1	$1{,}62 \cdot 10^{-5}$	średnia/słaba
2	$6{,}02 \cdot 10^{-7}$	bardzo słaba
3	$1{,}87 \cdot 10^{-5}$	średnia/słaba
4	$3{,}72 \cdot 10^{-5}$	średnia/słaba
5	$3{,}54 \cdot 10^{-5}$	średnia/słaba
6	$1{,}56 \cdot 10^{-7}$	bardzo słaba
7	$4{,}74 \cdot 10^{-5}$	średnia/słaba



Rysunek 1. Krzywe uziarnienia badanych gruntów na tle krzywych granicznych obszarów A i B wg Naturvårdsverket (2003)
Figure 1. Grain size distribution of tested soils on the background of boundary curves according to Naturvårdsverket (2003)

Analizę granulometryczną gruntu wykonano metodą mechaniczną (analiza sitowa) i sedymentacyjną (analiza hydrometryczna). Na podstawie uzyskanych

wyników sporządzono krzywe uziarnienia (rysunek 1) i przedstawiono je na tle krzywych granicznych wyznaczających obszary A i B według Naturvårdsverket (2003). Na podstawie położenia krzywych w tych obszarach można określić obciążenie hydrauliczne gruntu odbierającego ścieki. Dla krzywych uziarnienia położonych w większości w obszarze A maksymalne obciążenie hydrauliczne nie powinno przekroczyć 4 $cm \cdot d^{-1}$. Jest to właściwe dla gruntów o średnicy ziaren d_{10} > 0,06 mm i d_{50} > 0,25 mm. Dla gruntów o charakterystyce umieszczającej je w większości w polu B, dopuszczalne obciążenie hydrauliczne nie może przekroczyć 3 $cm \cdot d^{-1}$. W przypadku analizowanych gruntów wykorzystanie tej metody nie daje jednoznacznego wyniku, gdyż charakteryzujące je krzywe uziarnienia są równomiernie rozłożone w obu obszarach. Do dalszych porównań przyjęto niższą wartość maksymalnego obciążenia hydraulicznego wynoszącą 3 $cm \cdot d^{-1}$.

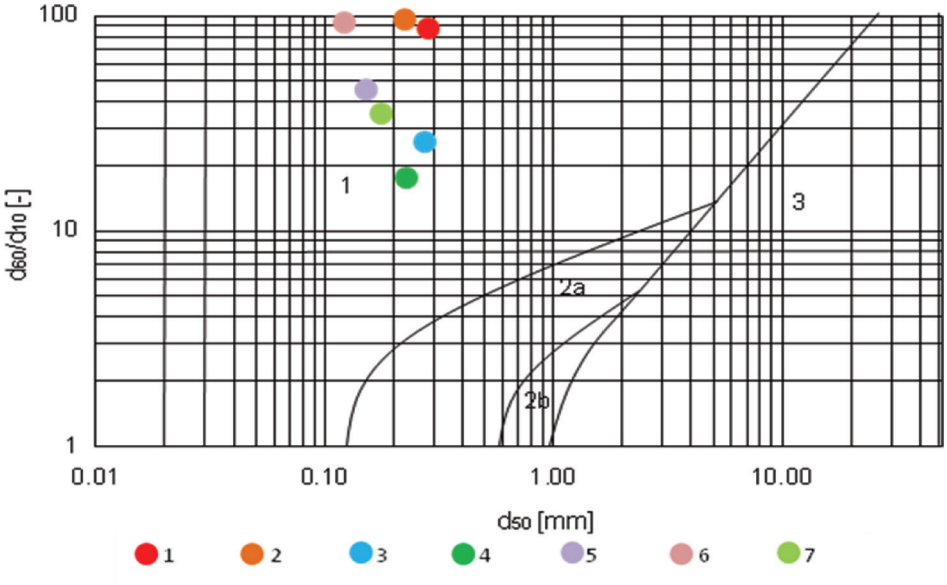
Wynik analizy granulometrycznej pozwolił na określenie rodzaju analizowanych gruntów na podstawie „Klasyfikacji uziarnienia gleb i utworów mineralnych" (PTG 2008). Informacje te wraz z obliczonymi z wykorzystaniem zmodyfikowanego wzoru Hazena (wzór 2) współczynnikami filtracji i określonym charakterem przepuszczalności przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Charakterystyka gruntu na podstawie analizy granulometrycznej
Table 4. Soils characteristic base on the grain size analysis

Nr próby	Rodzaj gruntu (wg PTG 2008)	Współczynnik filtracji [m s^{-1}]	Charakter przepuszczalności (wg Pazdro i Kozerski 1990)
1	glina piaszczysta	$5{,}63*10^{-8}$	bardzo słaba
2	glina piaszczysta	$3{,}61*10^{-8}$	bardzo słaba
3	piasek słabogliniasty	$5{,}07*10^{-7}$	bardzo słaba
4	piasek gliniasty	$9{,}01*10^{-7}$	bardzo słaba
5	piasek gliniasty	$1{,}10*10^{-7}$	bardzo słaba
6	glina piaszczysta	$9{,}01*10^{-9}$	nieprzepuszczalna
7	glina piaszczysta	$1{,}83*10^{-7}$	bardzo słaba

Odczytane z krzywych uziarnienia wartości średnic charakterystycznych ziaren d_{10}, d_{50} i d_{60} umożliwiają ocenę gruntu pod względem przepuszczalności oraz zdolności do oczyszczania ścieków. Służy do tego diagram MESO (Mean Grain Size – Sorting Diagram) (rysunek 2) (Jenssen 1988). Grunty umiejscowione w części 1, to grunty o potencjalnie małej przepuszczalności i znacznym potencjale oczyszczającym. W tej części znalazły się wszystkie grunty analizowane w pracy. Linia rozdzielająca część 1 i 2 charakteryzuje grunty o przepuszczalności 5 m d^{-1}. Część 2 charakteryzuje grunty o potencjalnie dużej prze-

puszczalności. Podstawą podziału części 2 na podsekcje jest zdolność gruntu do zatrzymywania pasożytów: w 2a – całkowite usuwanie, w 2b – tylko w warunkach nienasyconych. Grunty o charakterystyce z sekcji 3 charakteryzują się niewielką zdolnością do zatrzymywania zanieczyszczeń, ale wysoką przepuszczalnością (Jenssen 1988).

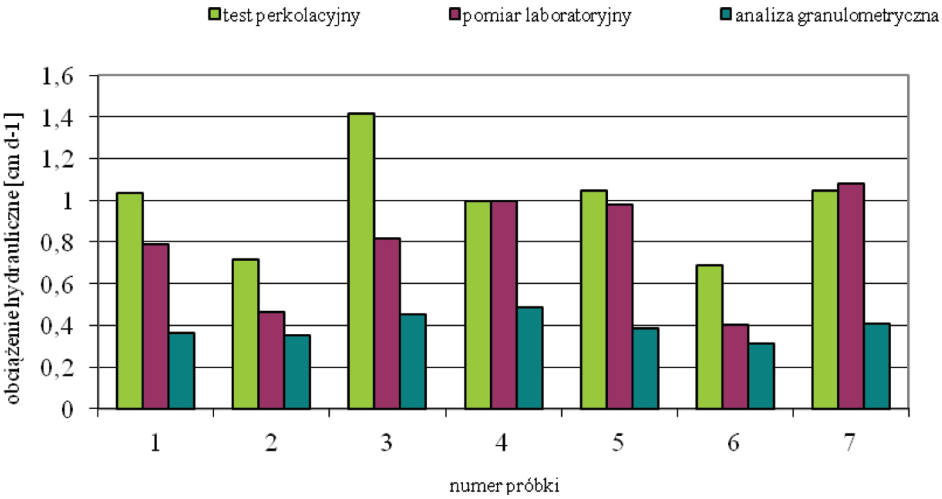


Rysunek 2. Diagram do doboru gruntu z uwzględnieniem zdolności do oczyszczania ścieków (Jenssen 1988). Naniesiono punkty charakteryzujące badane grunty
Figure 2. The MESO (Mean Grain Size – Sorting) diagram for the assessment of soil permeability and wastewater treatment potential (Jenssen 1988). Analysed soils are marked as colour dots

Dopuszczalne obciążenie hydrauliczne określone według równania 3 na podstawie współczynników filtracji uzyskanych w różnych badaniach zestawiono na rysunku 3. W przeważającej liczbie przypadków najwyższe dopuszczalne obciążenia są wynikiem badań terenowych (test perkolacyjny), zbliżone lub niższe wartości daje pomiar laboratoryjny, a najniższe wykorzystanie metody obliczeniowej. Obliczone wartości dopuszczalnego obciążenia hydraulicznego są co najmniej dwukrotnie niższe od wartości 3 $cm \cdot d^{-1}$, mniej korzystnej, za to bardziej bezpiecznej wartości przyjętej na podstawie Naturvårdsverket (2003) (rysunek 1).

Związek pomiędzy rzeczywistą infiltracją a charakterystyką uziarnienia gruntu może być jedynie przybliżony, gdyż w przypadku ścieków istotna jest również ich jakość, dawkowanie, klimat i kształt powierzchni infiltracyjnej

(Jenssen 1988). Podczas rozprowadzania ścieków w gruncie, adsorpcja zanieczyszczeń na jego powierzchni powoduje rozwój mikroorganizmów w postaci biomaty, która dodatkowo zmniejsza szybkość infiltracji ścieków (Osmulska-Mróz 1995). Według Siegrist i in. (2004) w gruntach o bardzo małej przepuszczalności, biomata nie będzie miała istotnego znaczenia i to właśnie grunt będzie decydował o szybkości infiltracji. Jednak w gruntach o większej przepuszczalności może mieć to istotne znaczenie. Potwierdzają to wyniki badań modelowych LTAR (Long-Term Accaptance Rate) przeprowadzonych przez Radcliffe'a i West'a (2009) dla 12 grup granulometrycznych gruntów według klasyfikacji USDA, do której również odnosi się klasyfikacja PTG (2008). LTAR odzwierciedla końcowe i stabilne tempo infiltracji w gruncie systematycznie obciążanym ściekami. Na jego podstawie możliwe jest określenie powierzchni infiltracji ścieków zapewniającej bezpieczne odprowadzanie ścieków przez wiele lat eksploatacji przydomowej oczyszczalni. LTAR dla glin piaszczystych wynosi 3,31 $cm \cdot d^{-1}$ a dla piasków gliniastych 4,44 $cm \cdot d^{-1}$ (Radcliffe i West 2009). Są to wartości znacznie wyższe niż obliczone dla badanych gruntów na podstawie równania 3 (rysunek 3).



Rysunek 3. Dopuszczalne obciążenie hydrauliczne gruntu na podstawie wartości współczynników filtracji określonych w różnych badaniach
Figure 3. Hydraulic loads of tested soils, calculated base on the results of different measurements

Odprowadzenie oczyszczonych ścieków do ziemi jest rozwiązaniem korzystnym zarówno dla użytkownika przydomowej oczyszczalni jak i środowiska, jednak przy założeniu że ścieki oczyszczone są biologicznie. Jeszcze

lepszym rozwiązaniem jest odprowadzenie do ziemi tylko nadmiaru oczyszczonych ścieków, który nie może zostać zagospodarowany i wykorzystany w obrębie nieruchomości.

WNIOSKI

1. Wykonanie testu perkolacyjnego jest najprostszą, najmniej pracochłonną oraz najtańszą metodą pomiaru współczynnika filtracji. Zaletą tej metody jest określanie przepuszczalności gruntu w miejscu przeznaczonym na powstanie przydomowej oczyszczalni ścieków. Test perkolacyjny daje najwyższe wartości współczynnika filtracji i co za tym idzie najwyższe dopuszczalne obciążenia hydrauliczne. Nie uwzględnia jednak obniżania się przepuszczalności gruntu w czasie infiltracji ścieków.
2. Analiza granulometryczna jest prostym sposobem określenia rodzaju gruntu, szczególnie w przypadku gruntów gruboziarnistych. W przypadku gruntów o drobniejszym uziarnieniu, takich jak analizowanych w tej pracy, konieczne jest wykonanie bardziej pracochłonnej analizy hydrometrycznej. Obie metody wymagają dostępu do laboratorium. W analizowanych gruntach metodą obliczeniową uzyskano najniższe wartości współczynnika filtracji, a różnice w stosunku do wyników testu perkolacyjnego to nawet trzy rzędy wielkości.
3. Pomiar współczynnika filtracji w aparacie de Wit'a jest najbardziej skomplikowaną i pracochłonną z analizowanych metod. Wymaga dostępu do specjalistycznej aparatury, i chociaż można badać wiele prób jednocześnie, pomiary prowadzi się systematycznie przez kilkadziesiąt dni. Wartości współczynników filtracji uzyskane w tej metodzie w przewadze dają wyniki zbliżone lub niższe od testu perkolacyjnego, ale wyższe od współczynników obliczonych na podstawie krzywej uziarnienia gruntu. Zaletą tej metody jest fakt, że uwzględnia ona obniżanie się współczynnika filtracji w czasie.
4. Obliczone obciążenia hydrauliczne, niezależnie od metody wyznaczania współczynnika filtracji, są znacznie niższe niż zdolność długoterminowego obciążenia gruntu ściekami (LTAR). Dla glin piaszczystych, gdzie LTAR wynosi 3,31 $cm \cdot d^{-1}$, obliczone obciążenia hydrauliczne wahają się w zakresie 0,36÷0,87 $cm \cdot d^{-1}$. W przypadku piasków gliniastych przy LTAR równym 4,44 $cm \cdot d^{-1}$, obciążenia hydrauliczne obliczone w tej pracy kształtują się na poziomie 0,44÷1,15 $cm \cdot d^{-1}$. Wykorzystana do obliczeń zależność została opracowana dla ścieków oczyszczonych mechanicznie i uwzględnia kolmatację systemu odpływającymi z osadnika zawiesinami. W przypadku ścieków biologicznie

oczyszczonych rozprowadzanych w badanych gruntach drobnoziarnistych, powierzchnia infiltracji obliczona na podstawie testu perkolacyjnego zapewni bezpieczne odprowadzanie ścieków przez wiele lat eksploatacji przydomowej oczyszczalni.

LITERATURA

Błażejewski R., 1997: Przydomowe oczyszczalnie ścieków. Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Zarzeczewie, Włocławek, s.67

Błażejewski R., 2003: Kanalizacja wsi. Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Wielkopolski, Poznań, s.351

Dz.U. 2001, 115 p.1229: Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne

Dz. U. 2014, p. 1800: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.

GUS 2015: Infrastruktura komunalna w 2014 r. Informacje i opracowania statystyczne. Główny Urząd Statystyczny Warszawa

Jenssen P.D., 1988: Design criteria for wastewater infiltration systems. W: Ed. Bhamidimarri R. Alternative waste tretament systems. Elsevier Applied Science Published LTD., 77-87

Markovič G., Zeleňáková M., Káposztásová D., Hudáková G., 2014: Rainwater infiltration in the urban areas. WIT Transactions on Ecology and The Environment, 181, 313-320

Myślińska E., 1992: Laboratoryjne badanie gruntów. PWN Warszawa, s. 277

Naturvårdsverket 2003: Små avlopps – anläggningar. Hushållsspillvatten från högst 5 hushåll. Naturvårdsverket Fakta, s. 60

Nieć J., Spychała M., 2014: Hydraulic conductivity estimation test impact on long-term acceptance rate and soil absorption system design. Water 6, 2808-2820

Osmulska-Mróz B., 1995: Lokalne systemy unieszkodliwiania ścieków. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, s.220

Pazdro Z., Kozerski B., 1990: Hydrogeologia ogólna. Wydawnictwa geologiczne. Warszawa, s. 623

PTG 2008: Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze

Radcliffe D.E., West L.T., 2009: Spreadsheet for converting saturated hydraulic conductivity to long-term acceptance rate for on-site wastewater systems. Soil Survey Horizons 50, 20-24

Siegrist R.L., McCray J.E., Lowe K.S, 2004: Wastewater Infiltration into Soil and the Effects of Infiltrative Surface Architecture. Small Flows Quarterly 5 (1), 29-39

Stąpel Z, 1982: Metodyka oznaczania współczynnika filtracji gleb mineralnych do określania rozstawy drenów. Instytut Melioracji iUżytków Zielonych. Warszawa, s.46

Withers P.J.A., Jordan P., May L., Jarvie H.P., Deal N.E., 2014: Do septic tank systems pose a hidden threat to water quality? Frontiers in Ecology and the Environment 12(2): 123-130

Wolski W., 1978: Przewodnik do ćwiczeń z podstaw geotechniki. Mechanika gruntów. Wyd. SGGW w Warszawie, s. 174

Podziękowania

Składam serdeczne podziękowania inż. Izabeli Koprowskiej za wykonanie laboratoryjnych pomiarów współczynnika filtracji oraz dyplomantom i studentom biorącym udział w wykonywaniu testów perkolacyjnych.

Dr inż. Agnieszka Karczmarczyk
agnieszka_karczmarczyk@sggw.pl
Katedra Kształtowania Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wpłynęło: 10.04.2016
Akceptowano do druku: 6.06.2016