INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr II/1/2014, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 159–171
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2014.2.1.012

SKŁADOWISKO ODPADÓW KOMUNALNYCH W CHEŁMKU – ANALIZA OBIEGU WODY W KWATERZE I PODŁOŻU

Mariusz Cholewa[2], Joanna Ceglarz[1], Przemysław Baran[2]
[1]Bank Zachodni WBK S.A., [2]Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

MUNICIPAL LANDFILL SITE IN CHEŁMEK – ANALYSIS OF WATER CIRCULATION IN THE QUARTERS AND GROUND

Streszczenie

Artykuł porusza problem ewentualnych zanieczyszczeń, jakie mogą zagrażać wodom gruntowym i powierzchniowym przez niewłaściwe ulokowanie i zabezpieczenie składowiska przed wymywaniem z niego substancji szkodliwych. Badania zostały przeprowadzone dla zamkniętego składowiska odpadów komunalnych w Chełmku, położonego w zachodniej części województwa małopolskiego. W pracy przeanalizowano kwestie związane z obiegiem wody w kwaterze i podłożu składowiska. Wykorzystując metodę polową Giryńskiego, określono współczynnik filtracji dla odpadów i gruntu znajdującego się w podłożu. Wykonano również badanie składu granulometrycznego, stopnia zagęszczenia, gęstości objętościowej oraz wilgotności naturalnej. Dzięki uzyskanym wartościom możliwe było obliczenie maksymalnej odległości rozprzestrzeniania się substancji szkodliwych o szerokim przedziale lepkości.

Analizując wyniki można stwierdzić, że składowisko zlokalizowane jest zbyt blisko rzeki Przemszy. W przypadku niedostatecznej szczelności podłoża istnieje ryzyko wymycia szkodliwych substancji ze składowiska, a znajdujące się w podłożu piaski drobne nie stanowią wystarczającej bariery przed migracją zanieczyszczeń wraz z wodami gruntowymi.

Słowa kluczowe: składowiska odpadów, współczynnik filtracji, migracja zanieczyszczeń

Summary

The paper concerns the problem of possible contamination, which can be dangerous to the ground and surface water, because of an inappropriate localization and protection from leaching of harmful substances. The tests were carried out on a closed municipal landfill site in Chełmek, located in the west part of Małopolska Province. Issues concerning water circulation through the cells and landfill ground were analyzed. Using Giryński's field method a permeability coefficient was determined for wastes and ground soil. Granulation, compaction degree, bulk density and natural moisture content were also determined. Based on the obtained results a maximum distance of migration of harmful substances with a wide range of viscosity was calculated.

While analyzing the results it was stated that the landfill is located too close to the Przemsza river. In case of an insufficient ground sealing there is a risk of leaching of harmful substances from the landfill and fine sands that are in the ground are not a sufficient barrier to contamination migration that will happen along with the ground water.

Key words: *landfillds, permeability coefficient, contamination migration*

WPROWADZENIE

Celem składowisk komunalnych jest gromadzenie odpadów w taki sposób, aby zagwarantować bezpieczeństwo szeroko pojętego środowiska naturalnego. Niewłaściwe zabezpieczenie przed niepożądaną filtracją przez dno oraz przykrycie może doprowadzić do skażenia wód gruntowych (Kocur-Bera 2013, Rosik-Dulewska, Karwaczyńska, Ciesielczuk 2007). Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w celu zabezpieczenia przed wymywaniem szkodliwych substancji z deponowanych odpadów składowisko, powinno być uszczelnione materiałami naturalnymi i syntetycznymi o współczynniku filtracji $k_{10} \leq 1 \cdot 10^{-9}\ m \cdot s^{-1}$. Podczas budowy nowego składowiska kwestia odpowiedniego zabezpieczenia dna kwatery nie jest zadaniem skomplikowanym, jednak w przypadku już istniejących składowisk, które nie posiadają barier przeciwfiltracyjnych, pojawia się problem zatrzymania wymywanych zanieczyszczeń. Obecnie funkcjonujące w Polsce składowiska to bardzo często obiekty powstałe w wyniku legalizacji tzw. „dzikich wysypisk", których początki sięgają lat 70. ubiegłego wieku. Przez kilkadziesiąt lat prowadzono w nich eksploatację pomimo braku warstw uszczelniających, nie zważając na infiltrację odcieków w podłoże. Zmiany prawodawstwa rozpoczęte po roku 2000 – opisane przez Skoczko (2002), a wprowadzone rozporządzeniami Ministra Środowiska

z dnia 9 grudnia 2002 r. oraz 24 marca 2003 r. – zmierzały w kierunku modernizacji lub zamknięcia takich obiektów. Jeśli naturalna warstwa nieprzepuszczalna zalega blisko pod powierzchnią składowiska, jako metodę modernizacji można zastosować ścianki szczelinowe jednofazowe (Wysokiński 2009), które znane są w budownictwie już od 40 lat. Umożliwiają one łatwe odcięcie zanieczyszczonej wody gruntowej bez znaczącej ingerencji w środowisko naturalne. W przypadku, gdy warstwa nieprzepuszczalna zalega zbyt głęboko, aby zastosowanie takich ścianek było ekonomicznie uzasadnione, można zastosować metodę neutralizacji szkodliwych składników wymywanych ze składowiska. Warstwa neutralizująca zbudowana jest z gruntów spoistych stabilizowanych hydratyzowanym lub palonym wapnem, bądź aktywnymi popiołami z węgla brunatnego (Małecki 2006,Szymański 1987).

W przypadku braku uszczelnień w dnie składowiska istotne jest określenie ilości wody, jaka przez nie filtruje oraz jej potencjalnej drogi. Dzięki temu można ocenić ewentualne zagrożenia wynikające z niekontrolowanego odpływu oraz dobrać najbardziej optymalny sposób przeciwdziałania migracji zanieczyszczeń. Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń zależy od warunków hydrodynamicznych, tj. położenia zwierciadła wody i jego zmian, infiltracji opadów oraz wód powierzchniowych. Ważny czynnik stanowi również przesączanie odcieków przez okna hydrogeologiczne.

CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy jest ustalenie możliwego schematu zanieczyszczenia wód gruntowych (a następnie powierzchniowych) przez substancje szkodliwe wymywane wraz z wodami opadowymi, infiltrującymi przez wnętrze kwater składowiska odpadów komunalnych. Dynamikę przebiegu migracji zanieczyszczeń rozpatrzono na przykładzie zamkniętego składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Chełmku. Uszczelnienie dna najstarszych kwater tego składowiska pozostaje niepotwierdzone. Kluczową dla opisania problemu kwestią było rozpoznanie warunków hydrogeologicznych. W celu określenia maksymalnego zasięgu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w gruncie podłoża składowiska przeprowadzono badania mające na celu oznaczenie współczynnika filtracji, składu granulometrycznego, stopnia zagęszczenia, gęstości objętościowej, wskaźnika porowatości oraz wilgotności naturalnej. Współczynnik filtracji gruntów podłoża i odpadów komunalnych oznaczono metodą polową Giryńskiego, a dla piasków podłoża obliczono go również za pomocą wzoru empirycznego Hazena. Wykorzystując wyniki uzyskane na podstawie wykonanych badań, obliczono maksymalny zasięg rozprzestrzeniania się substancji szkodliwych wymywanych przez wody opadowe infiltrujące kwaterę.

CHARAKTERYSTYKA SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH W CHEŁMKU

Lokalizacja i ukształtowanie terenu.

Zamknięte składowisko odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Chełmku usytuowane jest w północnej części gminy, przy drodze wojewódzkiej relacji Chełmek–Jaworzno. Najbliższe otoczenie składowiska stanowią nieużytki oraz tereny leśne tworzące przerywany pas zieleni. W odległości ok. 100 m od składowiska przepływa rzeka Przemsza, za którą znajduje się zbiornik Imieliński (rys. 1).

Źródło: opracowanie własne na podstawie www.zumi.pl
Source: own elaboration based on www.zumi.pl

Rysunek 1. Lokalizacja składowiska odpadów komunalnych w Chełmku
Figure 1. Location of the municipal waste dumping site in Chełmek

Aktualny stan obiektu.

Obiekt jest składowiskiem nadpoziomowym. Jego wierzchowina docelowo wznosi się na około 4–5 m ponad otaczający teren i składa się z pięciu kwater (rys. 2), które nie są już eksploatowane – są zamknięte i podlegają rekultywacji (rys. 3).

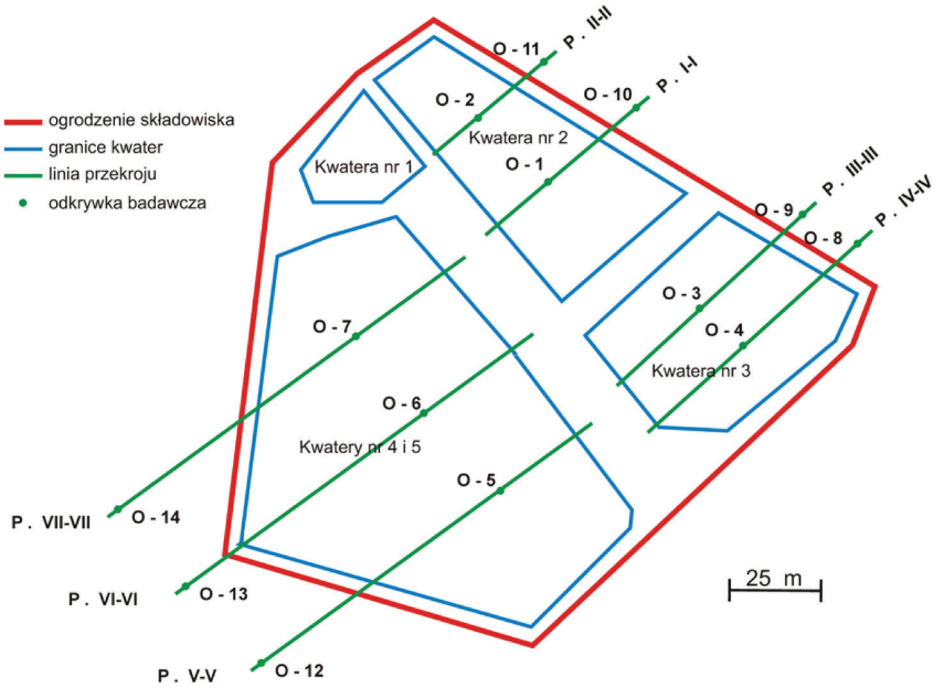
WYNIKI BADAŃ

Charakterystyka składowanych odpadów.

Kwatera nr 1 składowiska służyła do kompostowania odpadów organicznych, w pozostałych składowane były odpady bytowo-gospodarcze z terenu miasta Chełmek oraz okolicznych wsi. Eksploatację prowadzono w sposób typo-

wy dla tego rodzaju obiektu – dowożąc zebrane odpady samochodami i rozprowadzając je za pomocą spycharki w postaci warstw o grubości od 0,5 do 1,0 m. Następnie odpady zagęszczano przez kilkukrotny przejazd spycharki, a ostatecznie przesypywano gruntem dla zmniejszenia uciążliwości zapachowych i ograniczenie roznoszenia przez wiatr lżejszych elementów.

Badania terenowe oraz laboratoryjne obejmowały określenie współczynnika filtracji za pomocą metody Giryńskiego (tab. 1). Nie oznaczono natomiast cech geotechnicznych odpadów komunalnych. Lokalizację odkrywek, w których wykonano oznaczenie współczynnika filtracji, przedstawia rys. 2. Badania wykonano na wierzchowinie kwater (odkrywki O-1 do O-7), odsłaniając warstwę odpadów. Warstwa rekultywacyjna jest w złym stanie – jej grubość i skład granulometryczny oraz nadany spadek wierzchowiny nie zapobiegają infiltracji wód opadowych.



Rysunek 2. Schemat składowiska w Chełmku, rozmieszczenie poszczególnych kwater i lokalizacja przekrojów badawczych

Figure 2. Scheme of the dumping site in Chełmek, layout of the quarters and location of cross-sections

Rysunek 3. Widok na najstarsze kwatery (4 i 5) składowiska w Chełmku, eksploatowane bez uszczelnienia dennego
Figure 3. View of the older quarters (number 4 and 5) of the landfill in Chełmek, exploited without the bottom liner

Tabela 1. Wartości współczynnika filtracji dla odpadów składowiska w Chełmku oznaczone metodą Giryńskiego
Table 1. Permeability coefficient values of wastes dumping site in Chełmek determined sing Giryński's method

Odkrywka nr	Przepływ ustalony Q_{ustal} [$dm^3 \cdot min^{-1}$]	Współczynnik filtracji k_T [$m \cdot s^{-1}$]	Współczynnik filtracji dla wody o temp. 10°C k_{10} [$m \cdot s^{-1}$]
1	1,304	$4,94 \cdot 10^{-5}$	$4,03 \cdot 10^{-5}$
2	0,355	$1,345 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
3	0,304	$1,15 \cdot 10^{-5}$	$0,85 \cdot 10^{-5}$
4	0,587	$2,22 \cdot 10^{-5}$	$1,63 \cdot 10^{-5}$
5	0,202	$0,77 \cdot 10^{-5}$	$0,56 \cdot 10^{-5}$
6	0,443	$1,68 \cdot 10^{-5}$	$1,24 \cdot 10^{-5}$
7	0,314	$1,19 \cdot 10^{-5}$	$0,87 \cdot 10^{-5}$

Źródło: opracowanie własne;
Source: own elaboration

Charakterystyka warunków hydrogeologicznych.

Analizowany teren leży w dolinie rzeki Przemszy. Podłoże tworzą utwory czwartorzędowe zalegające bezpośrednio na utworach triasu. W strefie przypowierzchniowej do 5 metrów zalegają piaski średnie i drobne, wśród których występują soczewki gruntów organicznych. Obliczony na podstawie badań terenowych współczynnik filtracji gruntów piaszczystych wyniósł średnio $k_{10} = 1{,}56 \times 10^{-5}$ m · s^{-1} . Utwory triasowe to przede wszystkim iły pylaste, twardoplastyczne i półzwarte, o miąższości około 70 m. Poziom wody gruntowej waha się od 0 do 1,8 m poniżej powierzchni terenu.

W celu określenia parametrów geotechnicznych gruntów znajdujących się w podłożu składowiska wykonano siedem odkrywek i otworów wiertniczych (O-8 do O-14). Przylegały one do poszczególnych kwater, a ich lokalizacje przedstawia rysunek 2. Po uprzednim rozpoznaniu makroskopowym pobrano grunt do analiz laboratoryjnych. Badania laboratoryjne obejmowały określenie: składu granulometrycznego, stopnia zagęszczenia, gęstości objętościowej, wskaźnika porowatości oraz wilgotności naturalnej. Współczynnik filtracji gruntów podłoża we wskazanych lokalizacjach oznaczono metodą polową Giryńskiego (tab. 2), a dla piasków podłoża obliczono go również wzorem empirycznym Hazena, odczytując średnice z wykresów uziarnienia.

Tabela 2. Wartości współczynnika filtracji w podłożu składowiska oznaczone metodą Giryńskiego oraz policzone wzorem Hazena
Table 2. Permeability coefficient values of the landfill ground, determined using Giryński's method and calculated using Hazen's formula

Odkrywka nr	Przepływ ustalony Q_{ustal} [dm^3 · min^{-1}]	Współczynnik filtracji k_T [m · s^{-1}]	Współczynnik filtracji dla wody o temp. 10°C k_{10} [m · s^{-1}]	Współczynnik filtracji obliczony wzorem Hazena k_{10} [m · s^{-1}]
8	0,462	$1{,}75 \cdot 10^{-5}$	$1{,}35 \cdot 10^{-5}$	$1{,}54 \cdot 10^{-4}$
9	0,373	$1{,}41 \cdot 10^{-5}$	$1{,}08 \cdot 10^{-5}$	$2{,}10 \cdot 10^{-4}$
10	0,314	$1{,}19 \cdot 10^{-5}$	$0{,}92 \cdot 10^{-5}$	$8{,}66 \cdot 10^{-4}$
11	0,493	$1{,}87 \cdot 10^{-5}$	$1{,}44 \cdot 10^{-5}$	$1{,}81 \cdot 10^{-4}$
12	0,696	$2{,}64 \cdot 10^{-5}$	$2{,}03 \cdot 10^{-5}$	$1{,}94 \cdot 10^{-4}$
13	0,699	$2{,}65 \cdot 10^{-5}$	$2{,}04 \cdot 10^{-5}$	$1{,}50 \cdot 10^{-4}$
14	0,702	$2{,}66 \cdot 10^{-5}$	$2{,}05 \cdot 10^{-5}$	$1{,}83 \cdot 10^{-4}$

Źródło: opracowanie własne;
Source: own elaboration

Skład granulometryczny oznaczono za pomocą analizy sitowej [PN-EN ISO 14688-1:2006], a rodzaj gruntu określono przy pomocy normy PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009. Grunt pobrany z odkrywek 8, 9, 10 oraz 11 zakwalifikowano jako piasek drobny (FSa), a grunt z odkrywek 12, 13 oraz 14 – jako piasek średni (MSa). Porowatość oznaczona dla gruntów podłoża składowiska zawierała się w przedziale od 0,40 do 0,46. Gęstość objętościowa wynosiła od 1,41 do 1,69 $Mg \cdot m^{-3}$. Wilgotność piasków na głębokości 0,5 m zawierała się w przedziale od 0,8 do 10%, a na głębokości 1,2 m – od 2 do 19%. Różnice wynikały z lokalizacji poszczególnych odkrywek – mniejsze wilgotności zanotowano w terenie odsłoniętym, a większe w obrębie pasa zieleni. Stopień zagęszczenia oznaczony dla podłoża kwatery 2 wyniósł 0,93, co charakteryzuje grunt jako bardzo zagęszczony. Podłoże kwatery 3 balansuje na granicy średnio zagęszczonego i luźnego (I_D = 0,33). Podłoże kwater 4 i 5 – sąsiadujące z naturalnym terenem zalesionym – to podłoże o zdecydowanie luźnym stanie (I_D = 0,04).

ANALIZA OBIEGU WODY W KWATERZE I PODLOŻU

Przeprowadzone badania miały na celu określenie, czy zanieczyszczenia wymywane z wodami opadowymi, które infiltrują przez wnętrze poszczególnych kwater oraz podłoże, dotrą do przepływającej w okolicach składowiska rzeki Przemszy. Obliczono czas, w jakim woda przefiltruje pionowo przez wnętrze kwatery i piaszczyste podłoże, docierając do zwierciadła wody gruntowej, a także oszacowano, na jaką maksymalną odległość mogą rozprzestrzenić się wymywane zanieczyszczenia. Obliczenia przeprowadzono dla każdego z siedmiu przekrojów badawczych. Ponieważ nieznany jest skład substancji, jakie zostają wymywane do wód gruntowych wraz z wodami opadowymi, do obliczeń przyjęto zastępczo dwa rodzaje zanieczyszczeń o różnych stałych wymiany, odpowiadających benzynie oraz olejowi smarowemu. Pozwala to uzyskać szeroki przedział wartości obejmujących odcieki o różnej gęstości i różnym składzie.

Filtracja przez odpady i podłoże do poziomu wód gruntowych.

Wody opadowe w pierwszej kolejności infiltrują przez wnętrze kwatery, wymywając tym samym szkodliwe substancje. W przypadku braku uszczelnienia dennego migrują głębiej przez strefę aeracji gruntów podłoża do zwierciadła wód gruntowych (rys. 4). W pierwszej serii wykonano obliczenia, które miały na celu określenie, jak szybko infiltrująca woda dostanie się do wód gruntowych.

Założono możliwość wystąpienia przecieków na każdej z kwater składowiska. W kwaterach 4 i 5 uszczelnienie denne nie występuje, natomiast kwatery 2 i 3 uszczelnione są wyłącznie pojedynczymi warstwami geosyntetycznymi. Nie wykonano natomiast warstwy uszczelnienia mineralnego. Istniejące zabez-

pieczenie nie gwarantuje szczelności składowiska (Allen 2000, Rowe , Rimal, Sangam 2009). Geosyntetyczne przesłony uszczelniające ulegają uszkodzeniom na skutek czynników chemicznych (Stessel, Hodge 1995) oraz w wyniku czynników fizycznych i mechanicznych oddziałujących w środowisku (Rowe, Islam 2009).

Czas, w jakim woda przefiltruje przez wnętrze kwater, obliczono w oparciu o uzyskane metodą Giryńskiego wartości współczynnika filtracji dla odpadów komunalnych. Czas ten waha się w zależności od lokalizacji odkrywek i wynosi od 43 godzin dla odkrywki nr 1 w kwaterze nr 1 do 12 dni dla odkrywki nr 5 w kwaterze nr 3. Duża rozpiętość wynika z różnorodności składowanych odpadów oraz ich zagęszczenia.

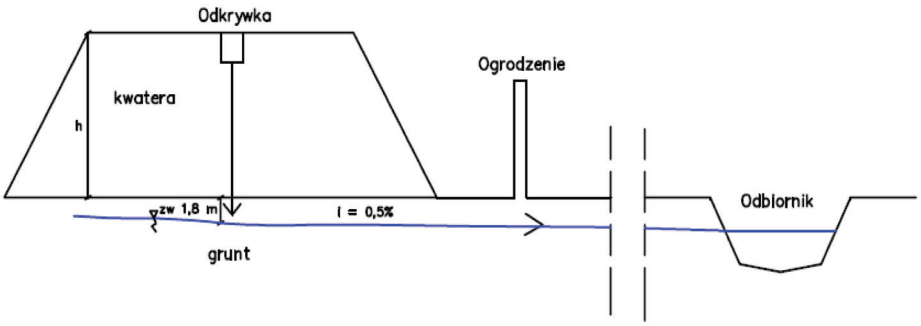
Czas pionowej filtracji w podłożu pomiędzy dnem składowiska a poziomem wód gruntowych obliczono w oparciu o wartości współczynnika filtracji ustalone metodą Giryńskiego dla gruntów podłoża. Przeważają w nim piaski drobne oraz średnie. Czas filtracji waha się od 18 godzin dla odkrywek 12, 13 oraz 14 do 39 godzin w odkrywce nr 10.

Tabela 3. Czas filtracji wody opadowej przez wnętrze kwatery i podłoże składowiska w Chełmku

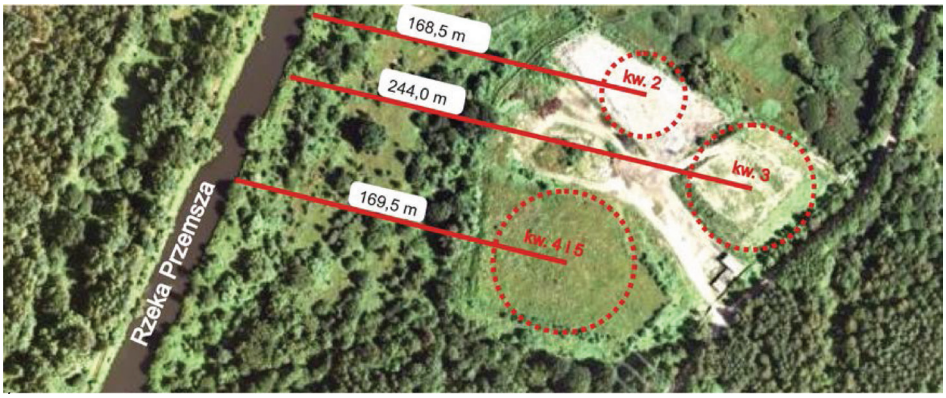
Table 3. Duration of the rainfall filtration through the quarters and ground the landfill in Chełmek

Nr odkrywki	Droga filtracji [m]	Współczynnik filtracji k_{10} [m · s^{-1}]	Czas [h]
1	4,7	0,0000403	43
2	4,7	0,0000110	159
3	5,0	0,0000085	222
4	5,0	0,0000163	116
5	4,0	0,0000056	288
6	4,0	0,0000124	130
7	4,0	0,0000087	185
8	1,8	0,0000135	27
9	1,8	0,0000108	33
10	1,8	0,0000092	39
11	1,8	0,0000144	25
12	1,8	0,0000203	18
13	1,8	0,0000204	18
14	1,8	0,0000205	18

Źródło: opracowanie własne;
Source: own elaboration



Rysunek 4. Schemat przekroju poprzecznego przez składowisko w Chełmku i tereny przyległe
Figure 4. Scheme of the cross-section through the landfill in Chełmek and surrounding areas



Źródło: opracowanie własne na podstawie www.zumi.pl
Source: own elaboration based on www.zumi.pl

Rysunek 5. Średnia odległość kwater składowiska w Chełmku od brzegu rzeki Przemszy
Figure 5. An average distance from the Przemsza river bank to the cells in Chełmek landfill

Migracja zanieczyszczeń w podłożu pod składowiskiem.

Obliczono teoretyczne odległości, na jakie mogą przemieścić się zanieczyszczenia, płynąc wraz z wodami gruntowymi. Znając odległości kwa-

ter od rzeki (rys. 5), można wnioskować, czy dotrą do niej zanieczyszczenia z wód gruntowych.

Maksymalny zasięg rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń został obliczony na podstawie wzoru wprowadzonego przez Zadrogę i Olańczuk-Neyman (2001). Oprócz parametrów charakterystycznych dla danej substancji ropopochodnej we wzorze uwzględniona została również porowatość ośrodka gruntowego, w którym rozchodzi się dana substancja oraz współczynnik filtracji dla tegoż gruntu. Porównując maksymalną odległość, na jaką mogą rozprzestrzenić się zanieczyszczenia, płynąc wraz z wodami gruntowymi, z odległościami odkrywek od rzeki określono, czy lokalizacja składowiska nie stanowi zagrożenia dla czystości jej wód.

Średnia odległość kwatery nr 2 od brzegu rzeki wynosi 168,5 m. Obliczony teoretyczny zasięg rozprzestrzeniania się odcieków o lepkości oleju smarowego to 422 m (tab. 4). Zasięg rozprzestrzeniania się benzyny jest stukrotnie większy. Dla kwatery nr 3, znajdującej się w odległości 244 m od brzegu rzeki, teoretyczna odległość, na jaką mogą migrować odcieki o lepkości oleju smarowego to 669 m. Odcieki o lepkości benzyny mogą się rozprzestrzeniać na odległość 66948 m. Migrujące z kwater 4 i 5 odcieki również będą miały w swoim zasięgu rzekę, gdyż odległość nawet dla odcieków o dużej gęstości wynosi 585 m.

Tabela 4. Zestawienie odległości migracji zanieczyszczeń z poszczególnych kwater składowiska.
Table 4. Distances of contamination migration from each landfill quarters.

Nr kwatery	Średnia odległość kwatery od brzegu rzeki [m]	Teoretyczny maksymalny zasięg rozprzestrzenienia się odcieków o lepkości benzyny [m]	Teoretyczny maksymalny zasięg rozprzestrzenienia się odcieków o lepkości oleju smarowego [m]	Zagrożenie zanieczyszczeniem wód rzeki
2	168,5	42205	422	tak
3	244,0	66948	669	tak
4 i 5	169,5	58505	585	tak

Źródło: opracowanie własne;
Source: own elaboration

PODSUMOWANIE

Obliczenia przeprowadzone w oparciu o oznaczone w terenie i w laboratorium parametry fizyczne odpadów i gruntów podłoża wskazują, że wody

podziemne są silnie narażone na zanieczyszczenie przez odcieki migrujące ze składowiska. Warstwy piasków drobnych i średnich występujące w jego podłożu umożliwiają szybkie rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń. Należy przypuszczać, że od lat 70., kiedy rozpoczęto składowanie odpadów, do chwili obecnej zanieczyszczenia objęły całą miąższość strefy wodonośnej pomiędzy rzeką Przemszą a składowiskiem.

Obliczenia maksymalnego rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń wymywanych ze składowiska wskazują, że zasięg rozchodzenia się takich substancji rozpuszczonych w wodzie gruntowej jest znacznie większy niż odległość odkrywek wykonanych w celu przeprowadzenia badań, co może prowadzić do zanieczyszczenia rzeki. Piaski drobne i średnie, które znajdują się w podłożu składowiska, charakteryzują się dobrą przepuszczalnością i nie chronią przed infiltracją niebezpiecznych substancji. Uszczelnienie powierzchniowe zastosowane w omawianym składowisku nie zapobiega infiltracji wód opadowych do wnętrza kwatery. Może to zagrażać bezpieczeństwu wód gruntowych, ponieważ odległość kwater składowiska od rzeki jest zbyt mała, aby w podłożu przez które filtruje woda, zatrzymane zostały zanieczyszczenia wymywane ze składowiska. Lokalizacja składowiska nieopodal rzeki Przemszy – będącej dopływem Wisły – stanowi poważne zagrożenie, umożliwiając szybkie rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń. Kwestią priorytetową wydaje się zapewnienie skutecznego uszczelnienia powierzchniowego podczas zamykania kwater składowiska.

LITERATURA

Allen, A. (2000). Attenuation Landfills – the Future in Landfilling. *Rocznik Ochrona Środowiska*, *2*, 365–382.

Kocur-Bera K. (2013). Analiza zagrożeń wynikających z lokalizacji tzw. „mogilników" na terenie wybranego województwa. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, 3/3, 233-248.*

Małecki, J. J. (red.) (2006). *Wyznaczanie parametrów migracji zanieczyszczeń w ośrodku porowatym dla potrzeb hydrogeologicznych i ochrony środowiska. Poradnik metodyczny*. Warszawa: Uniwersytet Warszawski. Wydział Geologii.

PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 Badania geotechniczne — Badania laboratoryjne gruntów — Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego.

PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne — Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów — Część 1: Oznaczanie i opis.

Rosik-Dulewska, Cz.; Karwaczyńska, U.; Ciesielczuk, T. (2007). Migracja WWA z nieuszczelnionego składowiska odpadów do wód podziemnych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, *9*, 335–342.

Rowe, R. K.; Islam M. Z. (2009). Impact of Landfill Liner Time-Temperature History on the service Life of HDPE Geomembranes. *Waste Management*, *29*, 2689–2699.

Rowe, R. K.; Rimal, S.; Sangam, H. (2009). Ageing of HDPE Geomembrane Exposed to Air, Water and Leachate at Different Temperatures. *Geotextiles and Geomembranes*, *27*, 137–151.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz.U. 2002 nr 220 poz. 1858 ze zm.).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. 2003 nr 61 poz. 549 ze zm.).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów (Dz.U. 2013 nr 0 poz. 523).

Skoczko, I. (2002). Przystosowanie polskiego prawa ochrony środowiska w zakresie gospodarki odpadami niebezpiecznymi i przemysłowymi do wymogów Unii Europejskiej. *Rocznik Ochrony Środowiska*, *4*, 419–438.

Stessel, R. I.; Hodge, J. S. (1995). Chemical Resistance Testing of Geomembrane Liners. *Journal of Hazardous Materials*, *42*, 265–287.

Szymański, K. (1987). *Migracja odcieków z wysypisk odpadów komunalnych w gruncie*. Koszalin: Wydaw. Uczelniane WSI.

Wysokiński, L. (2009). *Zasady budowy składowisk odpadów*. Warszawa: Instytut Techniki Budowlanej. Dział Wydawnictw.

Zadroga, B., Olańczuk-Neyman, K. (2001). *Ochrona i rekultywacja podłoża gruntowego. Aspekty geotechniczno-budowlane*. Gdańsk: Wydaw. Politechniki Gdańskiej.

Dr inż. Mariusz Cholewa
Dr inż. Przemysław Baran
tel. 12 6624150, 12 6624160
e-mail:m.cholewa@ur.krakow.pl, p.baran@ur.krakow.pl
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki
Uniwersytet Rolniczy
Al. Mickiewicza 24/28
30-059 Kraków

Mgr inż. Joanna Ceglarz
Bank Zachodni WBK S.A.
ul. Rynek 9/11
50-106 Wrocław
tel. 694 501 408
e-mail: ceglarz.joanna@gmail.com