

Małgorzata IWANEK¹, Marcin WIDOMSKI¹, Ireneusz KRUKOWSKI¹
Grzegorz ŁAGÓD¹ i Ewa GORAL¹

BADANIA MODELOWE ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ ZANIECZYSZCZENIA POCHODZĄCEGO Z NIESZCZELNEJ KANALIZACJI DESZCZOWEJ W GRUNTACH TORFOWYCH

MODEL STUDY OF POLLUTANT TRANSPORT STEMMING FROM LEAKING STORM WATER SYSTEM IN PEAT SOILS

Abstrakt: Postępujący gwałtownie rozwój cywilizacyjny prowadzi do uszczelniania nawierzchni coraz większej powierzchni terenów zielonych zajmowanych na parkingi, chodniki i drogi. W większości przypadków tereny te wyposażane są w kanalizację deszczową, do której trafiają splukiwane zanieczyszczenia. Jednym z zanieczyszczeń splukiwanych z powierzchni utwardzonych, w szczególności w okresie zimowym, jest chlorek sodu. Zanieczyszczenia transportowane siecią kanalizacji deszczowej mogą przedostawać się do środowiska gruntowo-wodnego w przypadku awarii lub nieszczelności układu. Akumulacja zanieczyszczeń pochodzących z nieszczelnej kanalizacji deszczowej może negatywnie wpływać na środowisko naturalne, w szczególności na jakość wód gruntowych. Niniejsza praca przedstawia badania modelowe rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia chlorkiem sodu pochodzącym z nieszczelnego kanału deszczowego poprowadzonego przez grunty torfowe. Przewidzenie zasięgu tego zjawiska oraz jego skutków jest zagadnieniem bardzo skomplikowanym, dlatego też do badań modelowych wykorzystano komercyjny program FEFLOW 5.2. Obliczenia numeryczne wykonano na podstawie parametrów przyjętych na podstawie badań terenowych, laboratoryjnych i dostępnej literatury. Uzyskane wyniki badań umożliwiają przeprowadzenie oceny wpływu rozpatrywanego zjawiska na środowisko naturalne. Wykonana analiza wymaga przeprowadzenia badań terenowych potwierdzających prawidłowość przyjętych założeń.

Słowa kluczowe: kanalizacja deszczowa, zanieczyszczenia w ściekach deszczowych, chlorek sodu, modelowanie matematyczne

Rodzaj zanieczyszczeń trafiających do kanalizacji deszczowej na terenach zurbanizowanych zależy głównie od stopnia uprzemysłowienia terenu, aktywności mieszkańców i poziomu ruchu ulicznego, a także od indywidualnej specyfiki samego terenu [1, 2].

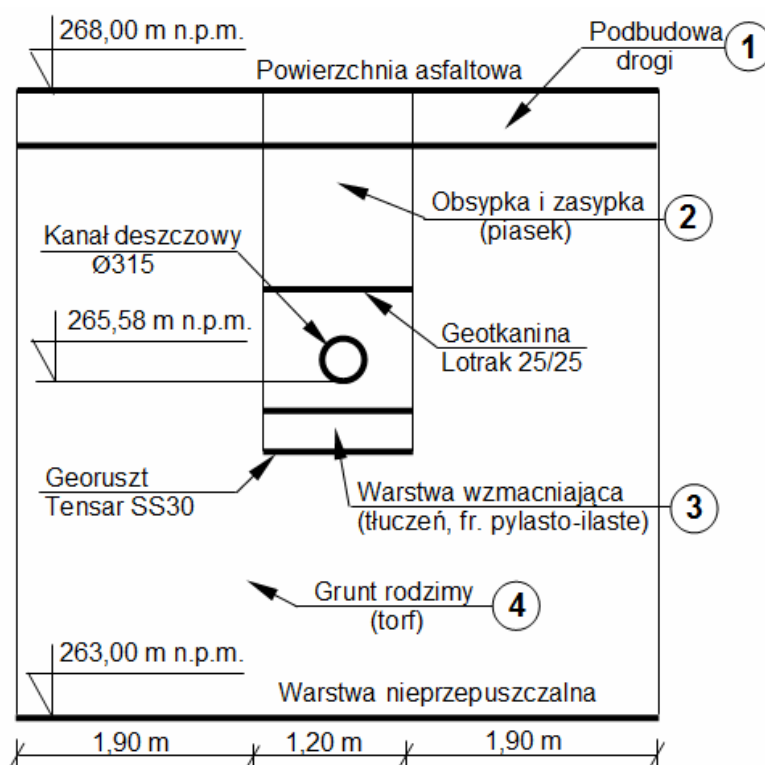
Na ilość trafiających do kanalizacji ścieków deszczowych, oprócz czynników naturalnych (ilość opadu, grubość pokrywy śnieżnej, pora roku, poziom parowania), ma wpływ wielkość pola powierzchni szczelnych i sposób ich pokrycia. Natomiast stężenie zawartych w ściekach deszczowych zanieczyszczeń zdeterminowane jest głównie liczbą dni bezdeszczowych, poziomem zanieczyszczenia atmosfery i splukiwanych powierzchni [2, 3]. Ścieki deszczowe powstają w wyniku splukiwania ulic, parkingów i dachów, są dlatego bogate w substancje ropopochodne, metale ciężkie, materię organiczną, zawiesiny, substancje biogenne, WWA, a w okresie zimowym także w chlorek sodu (NaCl) [3-6].

W środowisku gruntowym NaCl może wpływać na dynamikę mineralizacji materii organicznej, aktywność mikroorganizmów i dostępność substancji pokarmowych dla roślin. Ponadto zwiększa ciśnienie osmotyczne i hamuje wzrost roślin, a po przedostaniu się do wody gruntowej może wpływać na pogorszenie jej jakości [7].

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, tel. 81 538 44 31, email: M.Iwanek@wis.pol.lublin.pl

Metoda badawcza

Obliczenia numeryczne wykonano na podstawie profilu ułożenia przewodu kanalizacji deszczowej w gruncie słabo nośnym w ulicy K.I. Gałczyńskiego w Tomaszowie Lubelskim. Jako źródło chlorku sodu wykorzystano nieszczelny przewód kanalizacji grawitacyjnej deszczowej PVC-U o średnicy zewnętrznej 315 mm. W badaniach przyjęto profil o szerokości 5 m i głębokości 5 m poniżej poziomu terenu. Do jego budowy wykorzystano mapę zagospodarowania terenu z zaznaczonymi punktami odwiertów do badań geologicznych gruntu, wyniki badań geologicznych podłoża gruntowego w ulicy K.I. Gałczyńskiego i szczegóły ułożenia przewodu w gruntach słabonośnych. Schemat z lokalizacją i rozmieszczeniem poszczególnych warstw gruntu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat profilu przyjętego do badań modelowych

Fig. 1. Scheme of profile accepted to model studies

Poszczególne warstwy profilu podzielone zostały na elementy skończone w kształcie trójkątów. Każdemu węzłowi tak utworzonej siatki przyporządkowano parametry fizykowodne gruntu odpowiadające rozpatrywanej warstwie. Parametry te, zestawione w tabeli 1, przyjęte zostały na podstawie badań geologicznych gruntu oraz opracowań literaturowych [8-12].

Parametry fizykochemiczne gruntu w warstwach profilu [8-12]

Tabela 1

Hydraulic and physical parameters of soils in the profile levels [8-12]

Table 1

Warstwa	Parametr krzywej retencji wodnej	Współczynnik miary powierzchni porów	Przepuszczalność w stanie nasycenia	Porowatość gruntu	Maksymalne nasycenie	Resztowe nasycenie
	α [cm ⁻¹]	n [-]	Ks [m·s ⁻¹]	ϵ [-]	Ss [-]	Sr [-]
1	4,100	1,964	1,000·10 ⁻⁹	0,100	1,000	0,000
2	0,010	1,960	0,890·10 ⁻⁴	0,430	1,000	0,105
3	0,070	2,650	0,001·10 ⁻⁴	0,220	1,000	0,159
4	0,026	1,190	0,038·10 ⁻⁴	0,915	1,000	0,000

Parametry transportu zanieczyszczenia chlorkiem sodu (adsorpcji i dyspersji) przyjęto na podstawie dostępnej literatury i przypisano poszczególnym warstwom profilu. Parametry adsorpcji i dyspersji wykorzystane w badaniach modelowych zamieszczono w tabeli 2 [13-15].

Parametry adsorpcji i dyspersji przyjęte do obliczeń numerycznych [13-15]

Tabela 2

Parameters of adsorption and dispersion accepted to numerical calculations [13-15]

Table 2

Warstwa	Współczynnik sorpcji Henry'ego	Współczynnik dyfuzji molekularnej	Współczynnik dyspersji podłużnej	Współczynnik dyspersji poprzecznej
	[-]	[m ² ·s ⁻¹]	[m]	[m]
2	0,1397	1,39·10 ⁻⁸	0,002	0,001
3	0,0235	1,39·10 ⁻⁸	0,002	0,001
4	0,1408	1,39·10 ⁻⁸	0,002	0,001

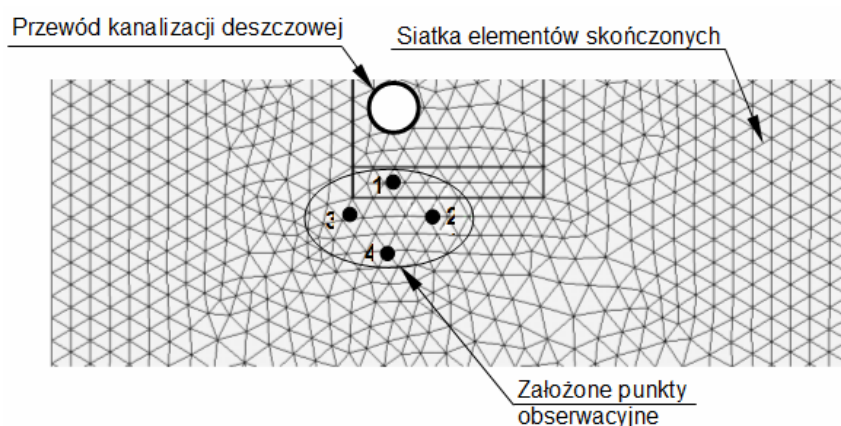
Początkowe nasycenie przyjęte do badań symulacyjnych założono na poziomie 30% dla warstwy nr 1 i 60% dla pozostałych warstw. Początkową wartość stężenia NaCl w gruncie założono 0,00 mg·dm⁻³. Ponadto w badaniach przyjęto, że powierzchniowa warstwa rozpatrywanego profilu, z uwagi na pokrycie warstwą bitumiczną o grubości około 6 cm, jest szczelna, przez co do podłoża nie przedostają się wody opadowe. Badany profil glebowy składa się zarówno z warstwy gruntu rodzimego, zdeteminowanej przez torf, jak i warstwy mineralnej, utworzonej w trakcie budowy przewodu (podsypka i zasyпка). Na głębokości około 5 m poniżej poziomu terenu znajduje się warstwa szarego pyłu ilastego, którą w badaniach modelowych potraktowano jako nieprzepuszczalną.

Przyjęto, że podczas awarii przewodu będą wydostawały się z niego ścieki deszczowe w ilości 5,00 dm³·s⁻¹. Stężenie wydostającego się ze ściekami NaCl założono na podstawie badań przeprowadzonych przez Instytut Ochrony Środowiska w Warszawie w latach 1998-1999, które pokazały, że stężenie NaCl w ściekach opadowych zawierało się w przedziale 1,0÷9900,0 mg·dm⁻³ [16]. Do badań symulacyjnych przyjęto wartość 20,00 mg·dm⁻³.

Jako podstawowe narzędzie pozwalające na przeprowadzenie badań symulacyjnych zastosowano komputerowy program FEFLOW 5.2., wykorzystujący metodę elementów skończonych, będący produktem niemieckiej firmy WASY GmbH Berlin, Institut for

Water Resources Planning and Systems Research, FEFLOW Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System [17-19].

W celu odczytu stężeń chlorku sodu w kolejnych krokach czasowych symulacji pod przewodem kanalizacji deszczowej założono cztery punkty referencyjne. Fragment profilu pokazujący rozmieszczenie poszczególnych punktów obserwacyjnych przedstawiono na rysunku 2.



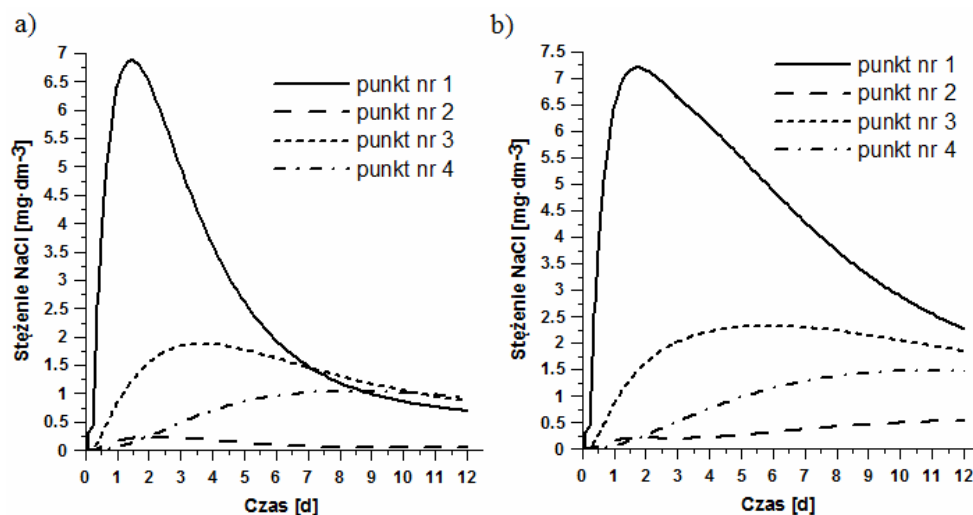
Rys. 2. Fragment profilu z punktami obserwacyjnymi

Fig. 2. Fragment of profile with observation points

Badania symulacyjne przeprowadzono dla dwóch różnych czasów trwania awarii przewodu kanalizacji deszczowej: wariant 1 - czas trwania awarii 1 doba, wariant 2 - czas trwania awarii 3 doby. Symulacje prowadzono przez okres 12 dób niezależnie od przyjętego wariantu obliczeniowego.

Analiza wyników

Zmiany stężenia NaCl w kolejnych krokach czasowych dla awarii trwającej 1 dobę przedstawiono na rysunku 3a. W każdym z punktów referencyjnych stężenie chlorku sodu stopniowo wzrasta, a po przekroczeniu pewnej wartości stopniowo maleje. Największą wartość stężenia $6,88 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ zaobserwowano w punkcie nr 1 po czasie 1,422 doby od rozpoczęcia symulacji. Najmniejsze wartości stężenia przez cały okres symulacji odnotowano dla punktu nr 2. Rozkład stężenia NaCl w zależności od czasu dla awarii trwającej 3 doby przedstawiono na rysunku 3b. Analogicznie do rysunku 3a stężenie zanieczyszczenia w gruncie stopniowo rośnie, a po osiągnięciu pewnej wartości ulega spadkowi. Największa uzyskana wartość $7,20 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ dla czasu 1,691 doby w punkcie obserwacyjnym nr 1 przy awarii trwającej 3 doby jest większa od maksymalnej wartości przy awarii przez 1 dobę o $0,32 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Najniższe wartości przy awarii trwającej 3 doby uzyskano dla punktu nr 2 w całym okresie symulacji. W każdym z punktów obserwacyjnych w kolejnych krokach czasowych zaobserwowano większe wartości dla awarii trwającej 3 doby w porównaniu z awarią trwającą 1 dobę.



Rys. 3. Zmiany stężenia NaCl w czasie 12 dób: a) awaria przez 1 dobę, b) awaria przez 3 doby

Fig. 3. Changes of the concentrations NaCl in time 12 days: a) failure lasting of 1 day, b) failure lasting of 3 day

Wnioski

Przeprowadzone badania symulacyjne pokazują, że wzrost czasu trwania awarii powoduje wzrost stężenia chlorku sodu w rozpatrywanym profilu, co potwierdzają wartości stężeń uzyskane w założonych punktach obserwacyjnych. Wartość maksymalna stężenia NaCl dla awarii trwającej 3 d wyniosła $7,20 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ i była większa o $0,32 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ od maksymalnej wartości $6,88 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ dla awarii trwającej 1 d. Na podstawie widocznych zmian opóźnienia szczytowych stężeń w kolejnych punktach referencyjnych można powiedzieć, że front zanieczyszczeń podlega stopniowemu przemieszczaniu się w głąb profilu glebowego, co może prowadzić do przedostawania się NaCl do wody gruntowej. Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań symulacyjnych stanowią źródło wiedzy, która może być wykorzystana przy wykonywaniu oceny oddziaływania na środowisko nieszczelnych przewodów kanalizacji deszczowej. Przeprowadzona analiza wymaga sprawdzenia założeń przyjętych w badaniach symulacyjnych.

Literatura

- [1] Duke L.D. i Chung Y.J.: *Industrial storm water pollution prevention: effectiveness and limitations of source controls in the transportation industry*. Waste Manage., 1995, **15**(8), 543-558.
- [2] Gnecco I., Berretta C., Lanza L.G. i La Barbera P.: *Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy*. Atmos. Res., 2005, **77**, 60-73.
- [3] Badin A.L., Faure P., Bedell J.P. i Delolme C.: *Distribution of organic pollutants and natural organic matter in urban storm water sediments as a function of grain size*. Sci. Total Environ., 2008, **403**, 178-187.
- [4] Ociepa E., Kisiel A. i Lach J.: *Ochrona wód powierzchniowych przed zrzutami ścieków deszczowych z sieci kanalizacyjnych*. Proc. ECOpole, 2009, **3**(1), 115-120.
- [5] Odnevall Wallinder I., Hedberg Y. i Dromberg P.: *Storm water runoff measurements of copper from a naturally patinated roof and from a parking space. Aspects on environmental fate and chemical speciation*. Water Res., 2009, **43**, 5031-5038.
- [6] Zoppou Ch.: *Review of urban storm water modes*. Environ. Modell. Software, 2001, **16**, 195-231.

- [7] Xiao-gang L., Feng-min L., Qi-fu M. i Zhi-jun C.: *Interaction of NaCl and Na₂SO₄ on soil organic C mineralization after addition of maize straws*. Soil Biol. Biochem., 2006, **38**, 2328-2335.
- [8] Basile A., Mele G. i Terribile F.: *Soil hydraulic behaviour of a selected benchmark soil involved in the landslide of Sarno 1998*. Geoderma, 2003, **117**, 337-340.
- [9] Olszta W.: *Podstawy inżynierii wodnej środowiska*. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2004.
- [10] Sarang S. i Sastry S.K.: *Diffusion and equilibrium distribution coefficients of salt within vegetable tissue: Effects of salt concentration and temperature*. J. Food Eng., 2007, **82**, 377-382.
- [11] Schwarzel K., Simunek J., Stoffregen H., Wessolek G. i Van Genuchten M.Th.: *Estimation of the unsaturated hydraulic conductivity of peat soils: Laboratory VERSUS FIELD DATA*. Vodose Zone J., 2006, **5**, 628-640.
- [12] Widomski M.: *Ocena wpływu zabezpieczeń przeciwoerozyjnych na warunki wilgotnościowe w profilu glebowym*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Lublin 2007, 43, 39-67.
- [13] Gorczevska-Langner W.: *Badanie transportu substancji rozpuszczonej w nienasyconym ośrodku gruntowym*. [w:] *Pomiary hydrauliczne w inżynierii sanitarnej*. Zeszyt Monograficzny, Pruszcz Gd.-Gdańsk: Agni-PG, 2007, **4**, 73-77.
- [14] Maciejewski S.: *Procesy przepływu rozpuszczonych w wodzie substancji w gruncie nienasyconym*. Biblioteka Naukowa Hydrotechnika, **26**, Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk 1998.
- [15] Nutzman G. i Maciejewski S.: *Modelling studies for determining unsaturated flow components in a sandy soil during dual tracer test*. Computational methods in water resources. Proc. XIV Conf., Elsevier, Amsterdam 2002, **1**(2), 33-40.
- [16] Goral E.: *Rozprzestrzenianie się zanieczyszczenia gruntu torfowego chlorkiem sodu pochodzącym z nieszczelnej kanalizacji deszczowej - badania modelowe*. Praca dyplomowa napisana pod kierunkiem M. Iwanek. Lublin 2009.
- [17] Diersch H.J.G.: *FEFLOW 5.3 Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System, User's Manual*. WASY GmbH, Berlin 2006.
- [18] Trefry M.G. i Muffels C.: *FEFLOW: a finite-element ground water flow and transport modeling tool*. Ground Water, 2007, **45**(5), 525-528.
- [19] Zhao Ch., Wang Y., Chen, X. i Li B.: *Simulation of the effects of groundwater level on vegetation change by combining FEFLOW software*. Ecol. Modell., 2005, **187**, 341-351.

MODEL STUDY OF POLLUTANT TRANSPORT STEMING FROM LEAKING STORM WATER SYSTEM IN PEAT SOILS

Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology

Abstract: Rapid civilization development results in sealing of increased area of undeveloped terrains transformed into parking lots, pavements and roads. In most cases these basins are equipped with drainage system transporting the washed pollutants. One of the pollutants transported by surface run-off, particularly in winter, is sodium chloride. Pollutants transported in the network of the storm water system can enter the groundwater environment in case of the damage or the leak of the system. The pollutants leaving sewage system can accumulate and affect the environment and the quality of groundwater. This paper presents the model studies of the sodium chloride stemming in peat soil during failure of storm water system. Prediction of this phenomenon range and its results are very complicated problems, thus the commercial program FEFLOW 5.2., WASY was used in our model studies. The numerical calculations were performed on the basis of input data obtained by field and laboratory measurements as well as the available literature. The obtained results enabled the influence of the considered phenomenon on the environment to be estimated. The performed analysis demands validation confirming the correctness of the modeling assumptions.

Keywords: storm water system, pollutions in rain wastewaters, sodium chloride, mathematical modeling