



**Referat wygłoszony w dniu 21 stycznia 2026r. na posiedzeniu
Komisji Nauk Geologicznych PAN Oddział w Krakowie**

Polska Akademia Nauk
Oddział w Krakowie
Komisja Nauk Geologicznych

dr hab. inż. Anna Żurek, prof. AGH

AGH w Krakowie

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej

e-mail: zurek@agh.edu.pl; ORCID: 0000-0002-4584-8203

**Zjawisko przepływu uprzywilejowanego w strefie aeracji
a zagrożenie wód podziemnych**

Strefa aeracji jest pierwszą od powierzchni terenu warstwą gruntu, w której – obok wody pod różnymi postaciami – występuje także powietrze. Strefa ta – zwana także nienasyconą – występuje pomiędzy powierzchnią terenu a zwierciadłem wody podziemnej, poniżej której znajduje się strefa nasycona, czyli saturacji (Żurek, 2024). O szybkości infiltracji – procesu wsiąkania wody pochodzącej głównie z opadów i następnie przesączania się jej do strefy saturacji – decyduje rozkład wilgotności w profilu strefy aeracji. Rozkład ten jest bardzo zmienny w czasie. Wraz z infiltrującą wodą mogą także migrować zanieczyszczenia. Spośród wszystkich substancji rozpuszczonych w wodzie najszybciej migrują zanieczyszczenia trwałe, które przemieszczają się z prędkościami zbliżonymi do przepływu wody. Ocena prędkości migracji zanieczyszczeń trwałych przez strefę aeracji jest niezbędna w zagadnieniach dotyczących zagrożenia wód podziemnych (Żurek, 2024).

Zmienność warunków przepływu w strefie aeracji znajduje szczególny wyraz w występowaniu zjawiska przepływu uprzywilejowanego (*preferential flow*) (Hillel, 2004; Hendriks, 2010; Lewis & Sjöström, 2010; Nimmo, 2012). Uprzywilejowane drogi filtracji w strefie aeracji to rodzaj naturalnych „by-passów”, którymi przemieszcza się szybsza – i z reguły zdecydowanie mniejsza – składowa przepływu (Kutílek & Nielsen, 1994; Berg et al., 2001). Większa i wolniejsza składowa (domena) przepływu – określanego przepływem rozproszonym – porusza się przestrzenią porową matrycy gruntu (Gerke & van Genuchten, 1993; Durner & Flühler, 1996; Larsson & Jarvis, 1999; Richards et al., 2005; Hendriks, 2010; Rimon et al., 2011).

Określenie: przepływ uprzywilejowany jest pojęciem ogólnym, stosowanym do określenia szybszej składowej przepływu niezależnie od przyczyn warunkujących jego powstanie. Składowa ta wyprzedza front infiltrującej wody, który porusza się z prędkością przeciętną. Przepływ uprzywilejowany występuje powszechnie, ale przyczyny jego powstawania są bardzo zróżnicowane i jedynie częściowo rozpoznane (Beven & Germann, 1982; Hillel, 1987; Wang et al., 1998; Nimmo, 2012). Wyróżnia się trzy główne formy przepływu uprzywilejowanego: przepływ makroporami (*macropore flow*), przepływ rozgałęziony („palczasty”) (*fingered flow*) oraz przepływ kominowy (*funnel flow*) (Miyazaki, 2006; Hendriks, 2010; Nimmo, 2012). Zjawisko przepływu uprzywilejowanego komplikuje opis procesu infiltracji, przepływu wody i transportu masy w strefie aeracji (Nimmo, 2012). Możliwość szybszej migracji zanieczyszczeń wraz z przepływem uprzywilejowanym powoduje ograniczenie zdolności ochronnych strefy nienasyconej, a szczególnie jej najpłytszej części, czyli warstwy gleby. Skutkuje to większym zagrożeniem dla jakości wód podziemnych (Hillel, 1987; Richards et al., 2005). Stwierdzony badaniami wpływ zjawiska przepływu uprzywilejowanego może sięgać głębokości nawet 10 metrów, ale najczęściej wpływ ten jest obserwowany głównie w płytkiej strefie przypowierzchniowej (Hendriks, 2010).

Literatura:

- Berg W., Čenčur Curk B., Fank J., Feichtinger F., Nützmann G., Papesch W., Rajner V., Rank D., Schneider S., Seiler K.-P., Steiner K.-H., Stenitzer E., Stichler W., Trček B., Vargay Z., Veselič M. & Zojer H., (2001). Tracers in the Unsaturated Zone. Beiträge zur Hydrogeologie, 52, Graz, 7-102.
- Beven K. & Germann P., (1982). Macropores and water flow in soils. Water Resour. Res., 18, 1311-1325.
- Durner W. & Flühler H., (1996). Multi-domain model for pore-size dependent transport of solutes in soils. Geoderma, 70, 281–297.
- Gerke H.H. & van Genuchten M.T., (1993). A dual porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes in structured porous media. Water Resour. Res., 29, 305–319.
- Hendriks M.R., (2010). Introduction to physical hydrology. Oxford University Press, 334s.
- Hillel D., (1987). Unstable flow in layered soils: a review. Hydrological Processes, 1, 143–147.
- Hillel D., (2004). Introduction to environmental soil physics. Elsevier, Academic Press, 494s.
- Kutílek M. & Nielson D.R., (1994). Soil hydrology. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, Germany, 370s.
- Larsson M.H. & Jarvis N.J., (1999). Evaluation of a dual-porosity model to predict field-scale solute transport in a macroporous soil. Journal of Hydrology, 215, 153–171.
- Lewis J. & Sjöström J., (2010). Optimizing the experimental design of soil columns in saturated and unsaturated transport experiments. Journal of Contaminant Hydrology, 115, 1–13.
- Miyazaki T., (2006). Water Flow in Soils. CRC Press, Taylor & Francis Group, 418s.
- Nimmo J.R., (2012). Preferential flow occurs in unsaturated conditions. Hydrol. Process., 26, 786–789.
- Richards K., Coxon C.E. & Ryan M., (2005). Unsaturated zone travel time to groundwater on a vulnerable site. Irish Geography, 38 (1), 57-71.

Rimon Y., Nativ R. & Dahan O., (2011) Physical and chemical evidence for pore-scale dual-domain flow in the vadose zone. *Vadose Zone J.*, 10(1), 322–331.

Wang Z., Feyen J., & Ritsema C.J., (1998). Susceptibility and predictability of conditions for preferential flow. *Water Resour. Res.*, 34, 2169–2182.

Żurek A. J., (2024). Charakterystyka procesów przepływu, przekształceń jakościowych wody i migracji zanieczyszczeń w strefie aeracji na podstawie badań w lizymetrach. Wydawnictwa AGH, Kraków, 303s.