



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014–2020

Deponieworkshop Zittau-Liberec 2017

Deponiebau - EU-Wasserrahmenrichtlinie - Stoffströme und Deponierückbau

09.-10. November 2017



Skládkový workshop Žitava-Liberec 2017

Výstavba skládek - Směrnice EU, kterou
se stanoví rámec pro činnost Společenství
v oblasti vodní politiky -
látkové proudy a odtěžování skládek

9.-10. listopadu 2017

Nutzung der numerischen Modellierung zur Bewertung der Kapillarsperre

Užití numerického modelování při posuzování kapilární bariéry

Barbora Krijt¹; Jiří Mls²

Kurzfassung

Die Kapillarsperre stellt eine der alternativen Methoden zur Abdichtung von Deponien dar. Gegenüber einer traditionellen mineralischen Dichtung liegt ihr Vorteil in einem geringeren Preis und einer längeren Lebensdauer. Um Parameter eines Modells der Retentionskurven zu erhalten werden meistens nur Drainagestrecken verwendet. Wie aus gegenwärtigen Studien aber hervorgeht, kommt es insbesondere im Fall von Kapillarsperren bei der Anwendung nur einer Drainagestrecke zu einer wesentlichen Überbewertung der Kapillarsperren. Ein unabdingbares Bestandteil von Analysen und Planungen von Kapillarsperren sollte somit die Aufnahme der Hysterese sein. Dieses Projekt ist auf eine numerische Modellierung der Auswirkungen der Hysterese auf die Wirksamkeit der Kapillarsperre ausgerichtet. Es wurden mehrere Varianten numerischer Modelle von zwei Kapillarsperren im Programm S2D aufgestellt. Die Modelle umfassten jedes Mal den Drainagen-, sowie den Bewässerungsteil der Retentionskurven. Folgend wurden die Ergebnisse der Modelle verglichen und das Maß des Effektes der Hysterese für die Wirkung der Kapillarsperren festgestellt.

Abstrakt

Kapilární bariéra je jedna z alternativních metod využívaná k odizolování skládek. Její výhodou oproti tradičním minerálním těsněním je nižší cena a delší životnost. Pro získání parametrů modelu retenčních křivek jsou obvykle používány jen drenážní větve. Současné studie ale ukazují, že obzvláště v případě kapilárních bariér dochází při použití jen drenážní větve retenčních křivek k výraznému nadhodnocení účinnosti kapilárních bariér. Zahrnutí hysterese by tedy mělo být nezbytnou součástí analýz a navrhování kapilárních bariér. Tento projekt je zaměřen na numerické modelování vlivu hysterese na účinnost kapilární bariéry. Bylo sestaveno několik variant numerických modelů dvou kapilárních bariér v programu S2D. Modely vždy zahrnovaly jak drenážní tak zvlhčovací větve retenčních křivek. Výsledky modelů byly následně porovnány a byla zjištěna míra efektu hysterese na účinnost kapilárních bariér.

1 Úvod

Kapilární bariéra je metoda používaná k odizolování skládek. Její účinnost je srovnatelná s porovnání s nejčastěji používanou metodou minerálního těsnění. Její princip je založen na specifických vlastnostech toku vody v nenasycované zóně. Skládá se ze dvou nakloněných vrstev lišících se různou zrnitostí. Horní vrstva nazývaná kapilární vrstva je složená z jemnozrnné půdy. Spodní vrstva označovaná jako kapilární blok zahrnuje hrubozrnné půdy. Těsnící efekt

¹Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2, barbora.havlikova@natur.cuni.cz

²Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2, jiri.mls@natur.cuni.cz

kapilární bariéry je založen na faktu kdy při určitém rozmezí tlakové výšky má kapilární vrstva větší hydraulickou vodivost než kapilární blok. Voda, která infiltruje do kapilární bariéry stéká po kapilárním rozhraní (mezi kapilární vrstvou a kapilárním blokem) místo aby se vsakovala do kapilárního bloku [5].

Laboratorní testy funkčností hydraulických bariér pro různé materiály kapilární vrstvy i kapilárního bloku byly provedeny na Ruhrské universitě v Bochumi [8]. Základem výzkumu bylo provedení měření odtoku jak z kapilární vrstvy, tak z kapilárního bloku za různých podmínek a různých časově závislých infiltrací do kapilární vrstvy. Výsledkem bylo hodnocení účinnosti několika kapilárních bariér při různých podmínkách. Nicméně výsledky získané ze zmíněných měření byly ovlivněny hysteresí půdní vlhkosti. Hysterese je ve většině numerických simulací, které jsou jedním z hlavních nástrojů pro studování efektivity kapilárních bariér, zanedbána [[4],[7]]. Morris and Stormont (1998) ale uvádějí, že hysterese má na účinnost kapilární bariéry výrazný vliv na tokové a tlakové podmínky a neměla by být při jejím navrhování zanedbána [3].

Základním principem numerického modelování v nenasycené zóně je řešení Richardsovy rovnice. Rovnice obsahuje dvě neznámé funkce: vlhkost θ a tlakovou výšku h a jeden parametr K . Jelikož rovnice obsahuje dvě neznámé funkce a jeden parametr je pro její řešení nutné ji zkombinovat s další doplňující rovnicí, kterou bývá nejčastěji retenční křivkou v následující formě:

$$h = h(\theta) \quad (7)$$

nebo

$$\theta = \theta(h) \quad (8)$$

Jelikož je retenční křivka použita nejen pro řešení Richardsovy rovnice, ale také pro definování funkce $K(h)$ je její přesné určení velmi důležité pro správnost numerických modelů.

Bylo provedeno laboratorní měření hydraulických charakteristik materiálů používaných pro navrhování kapilární bariéry a to tak aby bylo možné zahrnout hysterese retenční křivky v navazujícím numerickém modelování. Dále byla hodnocena efektivita kapilárních bariér v závislosti na hydraulických charakteristikách. Na laboratorní měření navázalo numerické modelování, u kterého bylo využito získaných výsledků z laboratorních experimentů.

2 Fyzikální charakteristiky studovaných materiálů

Při laboratorních experimentech na Ruhrské universitě v Bochumi byly zkoumány 4 materiály kapilární bariéry. Experimenty byly provedeny tak, aby byly získány obě větve retenční křivky, odvodňovací i zvlhčovací, a tím i hysterese daných materiálů. Měřené materiály jsou shrnuty následovně:

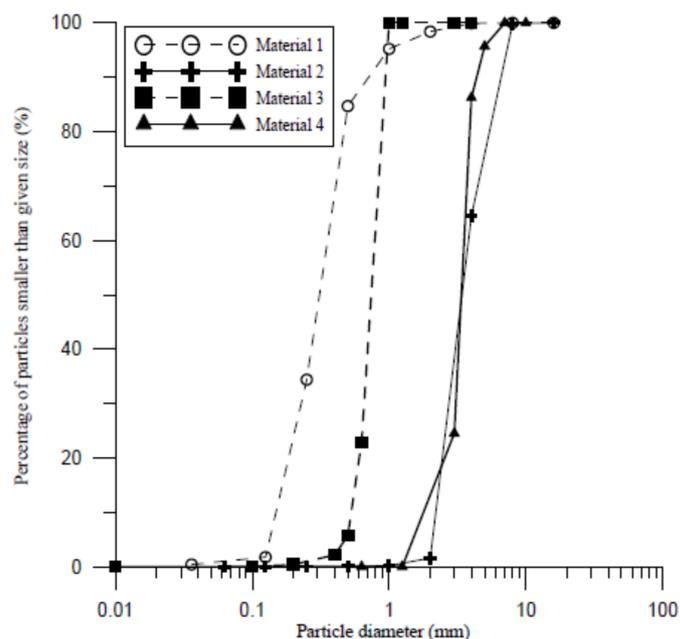
Materiál č. 1: kapilární vrstva kapilární bariéry č. 1,

Materiál č. 2: kapilární blok kapilární bariéry č. 1,

Materiál č. 3: kapilární vrstva kapilární bariéry č. 2,

Materiál č. 4: kapilární vrstva kapilární bariéry č. 2.

Zrnitostní křivka všech čtyř materiálů je znázorněna na Obrázku 1.



Obrázek 1: Zrnitostní křivky studovaných materiálů.

3 Laboratorní měření

Pro měření retenčních křivek daných materiálů byla zvolena podtlaková aparatura na vržená podle Havlíčka a Myslivce (1965) [1]. Výhoda podtlakové aparatury oproti ostatním metodám spočívá v jednoduchém měření jak odvodňovací tak i zvlhčovací větve retenční křivky. Většina ostatních metod umožňuje měření jen odvodňovací větve nebo je k měření zvlhčovací větve zapotřebí speciálních úprav [2].

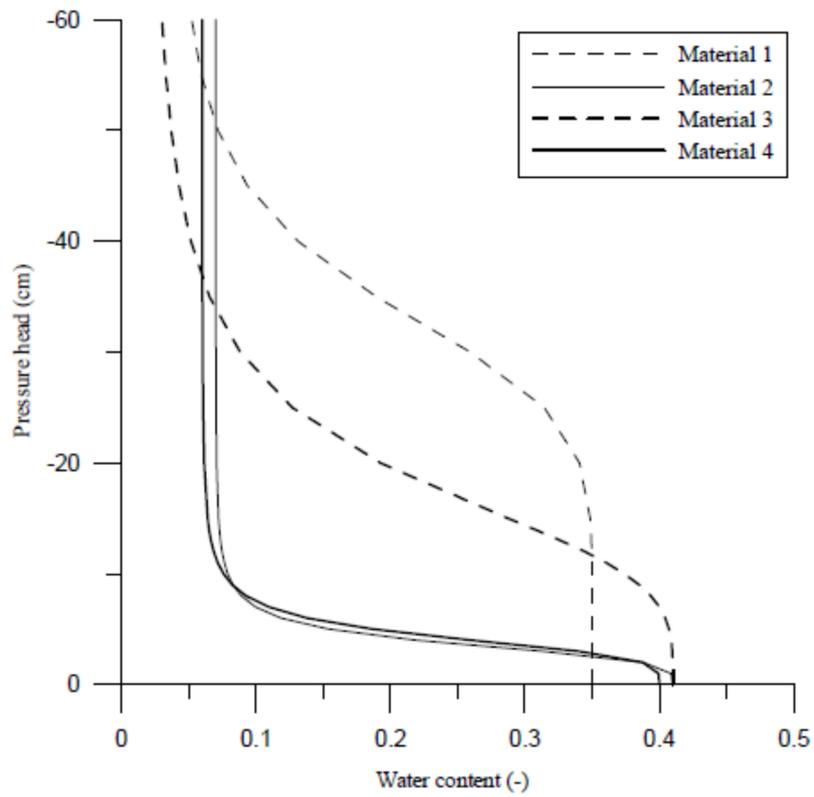
Měření bylo prováděno nastavováním hodnoty tlakové výšky a to v krocích od 0,5 do 20 cm. Každé změně tlakové výšky odpovídá i změna vlhkosti v daném vzorku. Pro každou křivku retenční křivky bylo naměřeno minimálně 10 bodů. Pro získání daných křivek se vycházelo ze saturovaného vzorku a pomocí snižování tlakové výšky bylo dosaženo residuální vlhkosti. V bodě residuální vlhkosti se začala měřit zvlhčovací větve retenční křivky zvyšováním tlakové výšky.

Množství vody ve vzorku bylo ovlivněno výparem, který bylo nutné následně zahrnout do výpočtu a vyhodnocení naměřených výsledků.

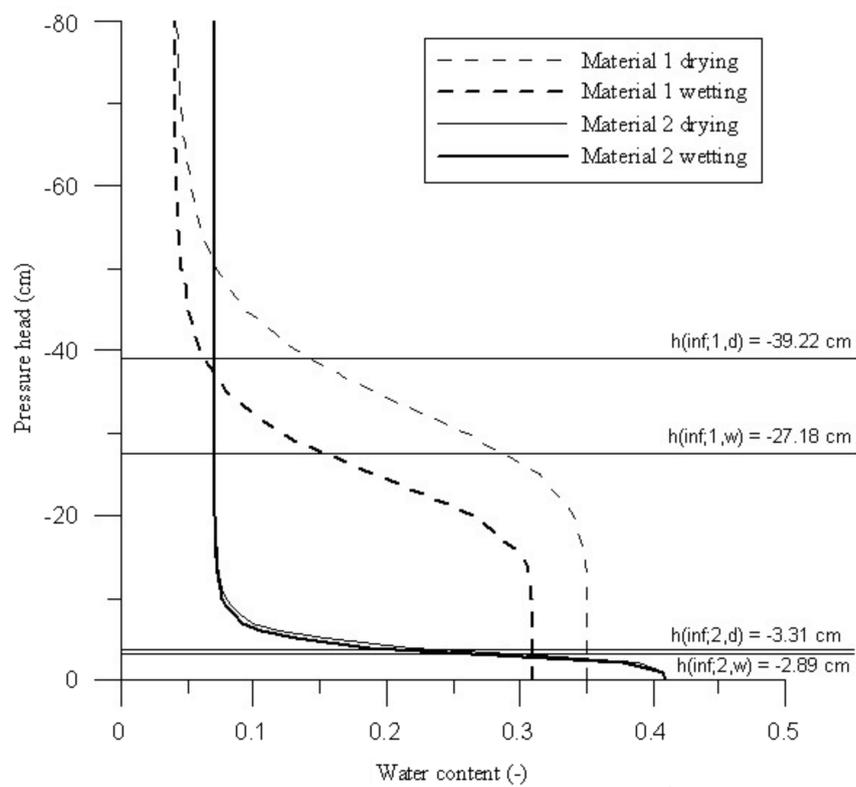
4 Výsledky laboratorních experimentů

Na každém vzorku byla měřena jak odvodňovací tak zvlhčovací větve retenční křivky. Dále byla měřená nasycená hydraulická vodivost pomocí porosimetru a to při konstantních rozdílech hydraulických výšek.

Program RETC code [6] byl použit pro určení parametrů α a n pro všechny vzorky a každou větve retenční křivky. Naměřená data byla následně použita pro vyhodnocení hydraulických charakteristik čtyř měřených materiálů. Výsledné retenční křivky jsou znázorněny na Obrázku 2. Hysterese retenčních křivek kapilární bariéry č. 1 je na Obrázku 3.



Obrázek 2: Retenční křivky studovaných materiálů.



Obrázek 3: Hysterese retenčních křivek kapilární bariéry č. 1.

5 Diskuze

Předešlá měření provedená na Ruhrské universitě v Bochumi ukazují na vyšší efektivitu kapilární bariéry č. 1 oproti kapilární bariéře č. 2. Rozdíly v hydraulických vodivostech jsou větší u kapilární bariéry č. 2. Na druhou stranu samotný rozsah tlakové výšky je větší pro kapilární bariéru č. 1. Ukazuje se tedy, že použití inflexních bodů retenčních křivek by bylo pro určení efektivit kapilárních bariér vhodnější než použití hydraulických vodivostí jak tomu bylo doposud. Rozdíl tlakových výšek je navíc u všech kapilárních bariér menší u zvlhčovací větve než u odvodňovací. Při navrhování kapilární bariéry se používá pouze odvodňovací větve retenční křivky, čímž dochází k nadhodnocení její efektivit.

6 Závěr

Z naměřených dat bylo vyhodnoceno, že pro posuzování efektivit kapilárních bariér je vhodnější použití inflexních bodů retenčních křivek než hydraulických vodivostí. Z výsledků vyplývá, že je důležité zahrnout hysterese do numerických modelů kapilárních bariér. Pokud je hysterese retenční křivky zanedbána a použije se pouze odvodňovací větve, dojde k nadhodnocení účinnosti kapilární bariéry.

Numerické modely, které přímo navazují na laboratorní měření, jsou zaměřeny na určení vlivu hysterese na účinnost kapilární bariéry a jsou nadále zpracovávány

Literatura

- [1] Havlíček, J.; Myslivec, A.: The influence of saturation and stratification on the hearing properties of certain soils. *Proc. 6th Int. Conf. Soil and Mech. Found. Engineering*, 1965: s. 235–239, univ. of Toronto Press.
- [2] Kuráž, V.; Kučerová, A.; M., K.: Využití genetických algoritmů pro aproximaci retenčních čar. *Pedologické dny, Velké Bílovice*, 2003.
- [3] Morris, C. E.; Stormont, J. C.: Evaluation of numerical simulations of capillary barrier field tests. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1998: s. 201–213.
- [4] Oldenburg, C. M.; Pruess, K.: On numerical modeling of capillary barriers. *Water Resources Research* 29, 1993: s. 1045–1056.
- [5] Pícha, P.: Laboratory testing of the capillary barrier. *Acta Universitatis Carolinae - Geologica*, 2004: s. 29–36.
- [6] Van Genuchten, M. T.; Lei, J. F. J.; R, Y. S.: The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. 1991.
- [7] Webb, S. W.: Generalization of Ross tilted capillary barrier diversion formula for different two-phase characteristic curves. *Water Resources Research* 33, 1997: s. 1855–1859.
- [8] Wohnlich, S.: Untersuchungsbericht-Dichtigkeits-nachweis der Kombikapillardichtung (KKD), in 3.Kipprinnenversuch. 2006.