

MODELIRANJE UČINKOVITOSTI KONČNE PREKRIVKE NA ODLAGALIŠČIH Z NUMERIČNIMI IN ANALITIČNIMI MODELI

POVZETEK: Na območju odlagališča hidrometalurške jalovine Boršt je bila izvedena ocena učinkovitosti predvidene končne prekrivke s pomočjo dveh modelov (HELP in HYDRUS-2D). Modeliran je bil tok skozi štiri različne tipe prekrivk, s pomočjo bilančne analize in analize občutljivosti pa je bila določena njihova učinkovitost in vpliv posameznih parametrov na njihovo učinkovitost. Tovrstna analiza je pokazala, da dajeta oba modela konsistentne rezultate, čeprav temeljita na različnih predpostavkah, imata različen obseg veljavnosti in imata tudi različen pristop k računanju. Na ta način je ob odsotnosti terenskih podatkov za kalibracijo povečano zaupanje v rezultate modela bodočega končnega prekrova.

MODELING LANDFILL FINAL COVER PERFORMANCE USING NUMERICAL AND ANALYTICAL MODELS

SUMMARY: On mill tailing landfill Boršt an evaluation of future final cover hydrological performance was done using two models (HELP and HYDRUS-2D). Groundwater flow through 4 types of final cover designs was modeled. By water balance and sensitivity analysis hydrogeological performance as well as partial influence of certain parameter on this performance was assessed. We showed that both models give mostly consistent results even though HELP and HYDRUS-2D use substantially different approach. The results of the two models are largely consistent on the relative scale where different designs and materials show same proportions, but they are also consistent in some parts on the absolute scale although to a bit lesser extent. Good agreement between the results and the completed sensitivity analysis give extra information on future final cover performance and add to reliability of the performed predictions.

UVOD

Eno najpomembnejših vprašanj pri modeliranju naravnih procesov je, v kakšni meri model dejansko odraža terenske pogoje in kakšna je zanesljivost dobljenih rezultatov. Negotovost izhaja iz serije predpostavk, poenostavitev, ocen in interpretacije opravljenih meritev. Kalibracija modelov obstoječih objektov je izvedena z usklajevanjem rezultatov modeliranja z izmerjenimi podatki, model pa je uporaben, ko je potrjena njegova napovedovalna sposobnost. Pri optimizaciji bodočih objektov teh metod ne moremo uporabiti, tako da mora biti zanesljivost modela preverjena z drugimi postopki.

Eden izmed načinov določanja zanesljivosti je primerjava med različnimi matematičnimi kodami, kjer so rezultati dveh matematičnih predstavitev istega konceptualnega modela kritično preverjeni in primerjani. Razlike med modeli morajo biti vzete v zakup, čeprav bi morala v teoriji dva različna modela, ki predstavljata isti koncept, dati isti rezultat. Na ta način se neskladja med modeli lahko razdeli na tiste, ki so posledica pomanjkljive matematične definicije fizikalnega problema in na tiste, ki se pojavijo zaradi same razlike med kodami. Študija te vrste je bila opravljena na primeru končnega prekrova na odlagališču hidrometalurške jalovine Boršt, Žirovski vrh.

METODOLOGIJA

Ocena učinkovitosti prekrova je bila opravljena z analizo vodnega ravnotežja s komercialnimi programi in sicer s HELP modelom (Schroeder, 1994) in HYDRUS-2D (Šimunek et al, 1999). Prvi je standardno orodje za hidrogeološko oceno odziva odlagališča, drugi pa je numerično orodje za kalkulacijo podzemnega toka vode in transporta v zasičeni in nezasičeni coni. Z namenom zasnovanja prekrova, ki bi zmanjšal infiltracijo padavinske vode v telo odlagališča, je bila izvedena študija v treh stopnjah: izbira najustreznejšega tipa prekrova, izbira najustreznejših materialov ter analiza občutljivosti.

Končni prekov je bil v začetku zasnovan kot petplastni sistem, toda kasneje so bile s strani neodvisnih raziskovalcev podane še tri druge variante, ki so omogočale primerjavo različnih in izbiro najustreznejših tipov prekrova (Slika 1). Pri modeliranju so bili upoštevani tako materiali, ki so prisotni na lokaciji kot tudi nekateri drugi materiali iz Slovenije. Ker transportni stroški materiala predstavljajo pomemben del celotnih stroškov izgradnje prekrova, je bila analiza usmerjena tudi v primerjavo avtohtonih in neavtohtonih materialov. Analiza občutljivosti je bila izvedena z namenom ugotavljanja vpliva debeline ter vodoprepustnosti tesnilne plasti na učinkovitost prekrova.

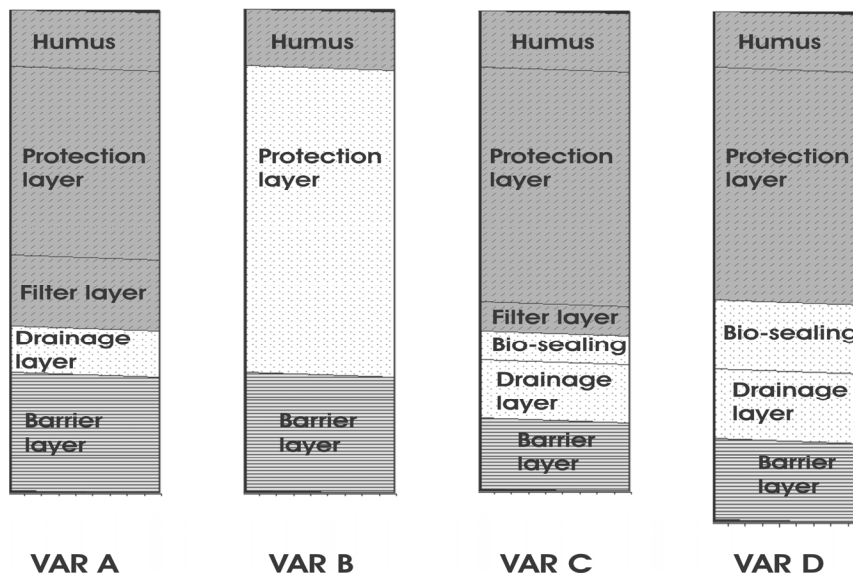
LOKACIJA

Odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt je locirano blizu zaprtega uranovega rudnika Žirovski vrh na lokaciji, ki jo s hidrogeološkega vidika opredelimo kot slabo prepustno. To seveda ne izključuje možnosti pojavljanja podzemne vode, kar je bilo posebej vidno leta 1995, ko je podzemna voda sprožila plaz na odlagališču in na nekaterih delih v okolici. Od takrat je bilo na tem območju izvedenih kar nekaj hidrogeoloških študij.

REZULTATI IN DISKUSIJA

Tip končnega prekrova

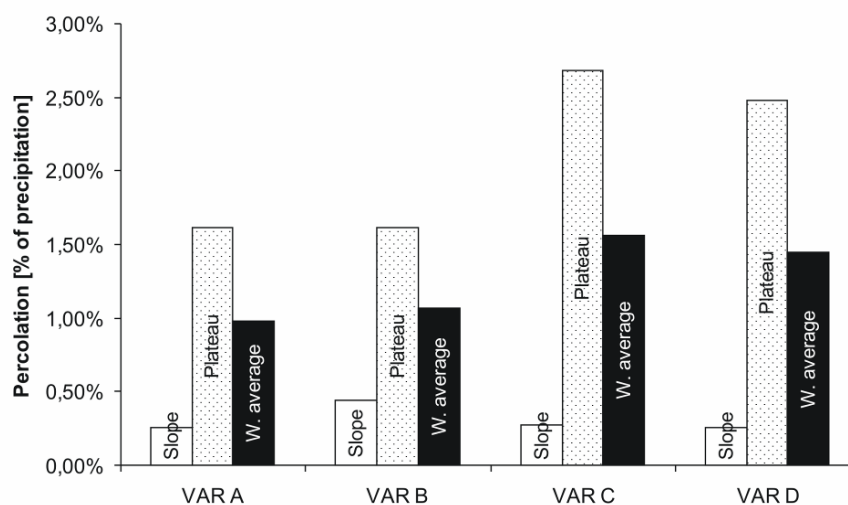
Analizirane so bile 4 variante končnega prekrova, poimenovane VAR A do VAR D (Slika 1).



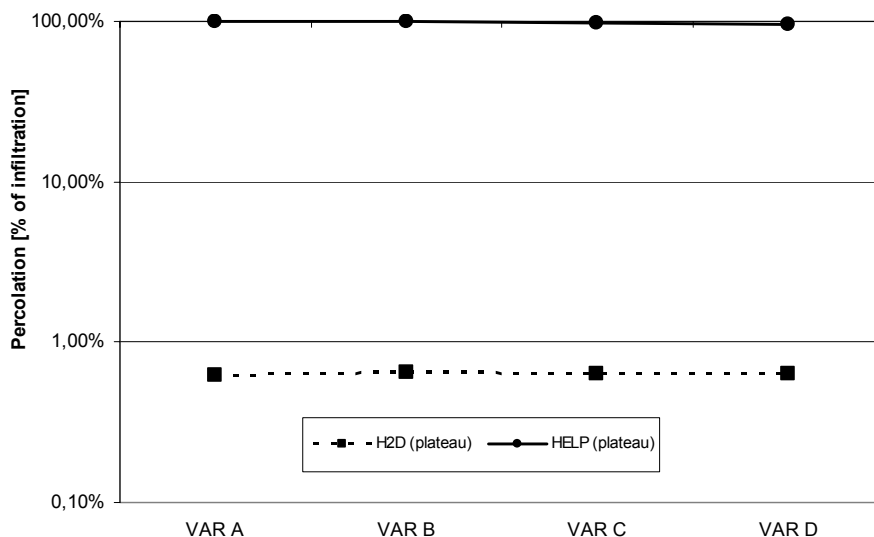
Slika 1. Štirje analizirani tipi končnega prekrova na odlagališču Boršt, Žirovski vrh

Glavni cilj vrednotenja učinkovitosti končnega prekrova je določitev posameznih komponent bilančne analize, med katerimi so posebej pomembni posamezni deli infiltrirane vode. Razmerje med infiltrirano vodo (vsa voda, ki ne izhlapi ali odteče površinsko) in perkolacijo (zgolj vertikalno pronicajoča voda, ki izteka iz spodnjega roba prekrova v odpadke) je tako uporabljeno za primerjavo učinkovitosti različnih variant končnega prekrova pri odvajanju meteornih voda od telesa odlagališča.

Perkolacija je bila v večini primerov znatno višja skozi prekrive na platoju kot na pobočjih, kar je posledica manjšega lateralnega potenciala odvodnjavanja.

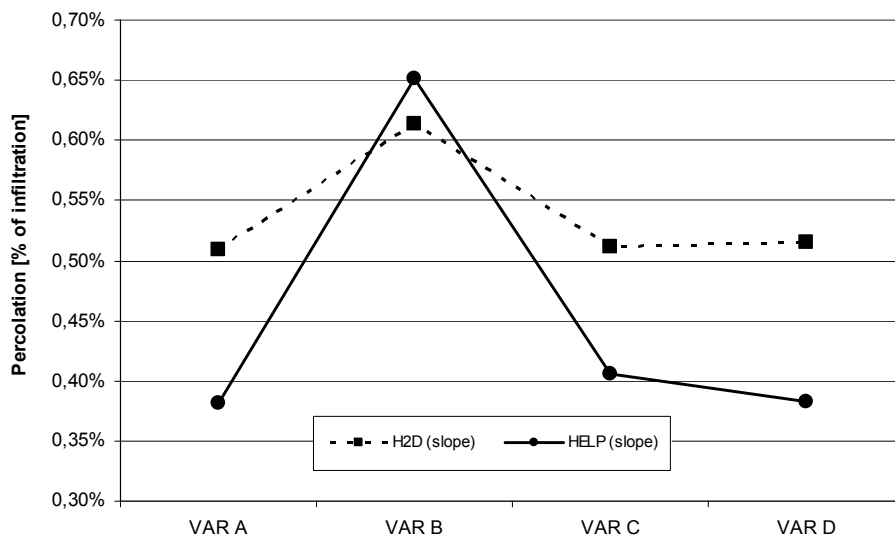


Slika 2. Odstotek perkolacije skozi končni vrhni prekriv na pobočju in na platoju ter površinsko obteženo povprečje perkolacije za posamezen tip prekrova



Slika 3. Perkolacija na platoju, izražena kot odstotek infiltrirane vode za različne tipe prekrova, izračunana s programoma HELP in HYDRUS-2D

Vodoprepustnost in debelina plasti mejne plasti sta glavna dejavnika perkolacije na platoju. Višja perkolacija je prisotna pri variantah C in D, ki imata tanjšo mejno plast. Če opazujemo le količino infiltrirane vode, modela kažeta zelo različne rezultate na platoju. HELP model iz sistema odstrani veliko količino infiltrirane vode preko perkolacije, medtem ko HYDRUS-2D še vedno daje večji poudarek lateralni drenaži. To je posledica dejstva, da HELP ne upošteva učinkov kapilarne sukcije, ki je značilna za drobnozrnate sedimente. Zaščitna plast je glavni dejavnik perkolacije na pobočnih delih prekrova. Večja perkolacija na pobočju B je posledica nižje prepustnosti zaščitne plasti, ki služi kot drenažna plast.



Slika 4. Perkolacija na pobočjih, izražena kot odstotek infiltrirane vode za različne tipe vrhnjega prekrova, izračunana s programoma HELP in HYDRUS-2D

Površinsko obtežena povprečna perkolacija (Slika 2), ki predstavlja odstotek perkolacije skozi celotno območje obravnavanega tipa prekrova, kaže pol-odstotno znižanje pri variantah A in B v primerjavi z

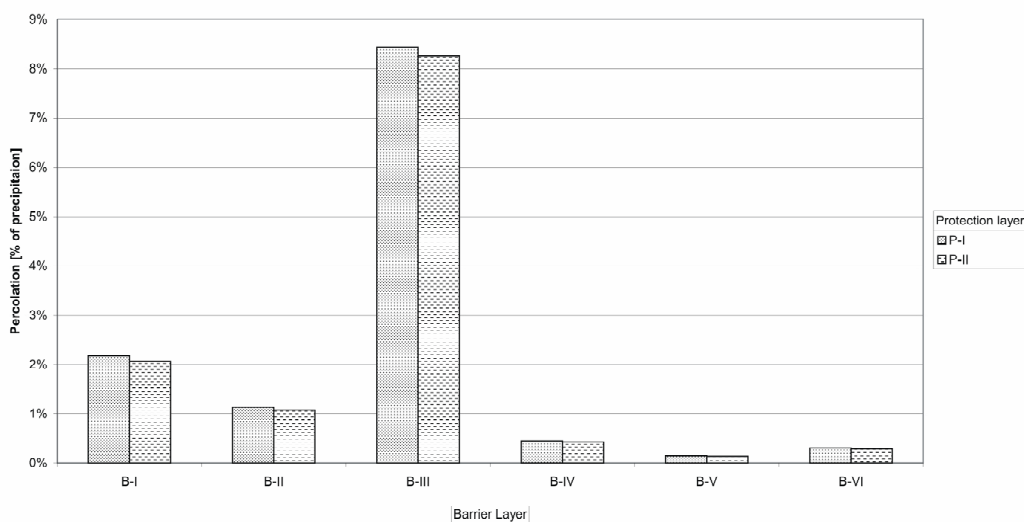
variantama C in D, kar nakazuje na to, da moramo optimalno varianto iskati med prvima dvema alternativama. Zaradi majhne razlike med variantama A in B, je bolj sprejemljiva preprostejša triplastna verzija B (v primerjavi s petplastno verzijo A).

Materiali

Materiali za zaščitne in tesnilne plasti (Tabela 1) so bili izbrani glede na njihovo učinkovitost na pobočnih delih prekrova variante B. Pobočni del je bil izbran, saj kaže večjo odvisnost od izbora materialov ter dejstva, da predstavlja skoraj polovico močno plazovitega prekrivnega območja.

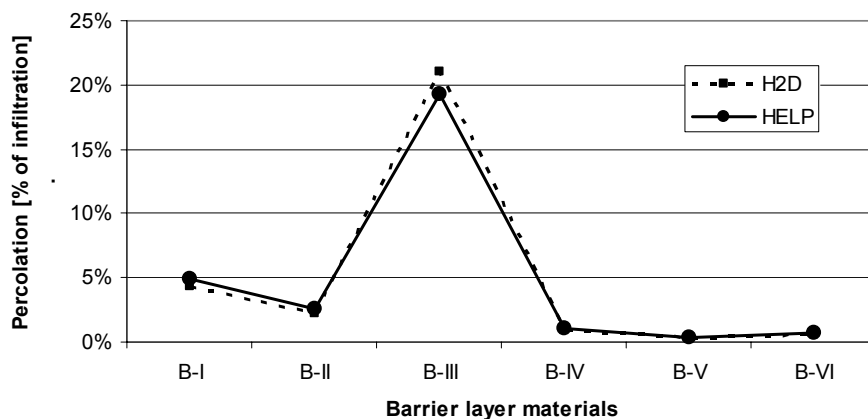
Preglednica 1. Splošne lastnosti uporabljenega materiala

SLOJ	POROZNOST	K_s [m/s]
H (humus)	0,346	7,07E-05
P-I	0,160	7,07E-05
P-II	0,200	1,56E-04
B-I	0,339	1,10E-07
B-II	0,296	5,65E-08
B-III	0,465	2,24E-08
B-IV	0,390	7,42E-09
B-V	0,427	1,49E-08
B-VI	0,304	5,42E-07



Slika 5. Odstotek perkolacije skozi pobočni vrhni prekov (variante B) za različne tesnilne in zaščitne plasti (6 materialov za tesnilne plasti je razporejenih po x-osi, medtem ko sta dva različna zaščitna materiala označena z različnima šrafurama)

Kontrolni faktor pri izboljšavi končnega prekrova glede na izbiro materialov je izbira materiala tesnilne plasti (Slika 5). Vendarle ne smemo spregledati tudi vpliva lateralne drenažne plasti, zato je potrebno vedno iskati bolj prepustni zaščitni material, ki lažje drenira vodo.



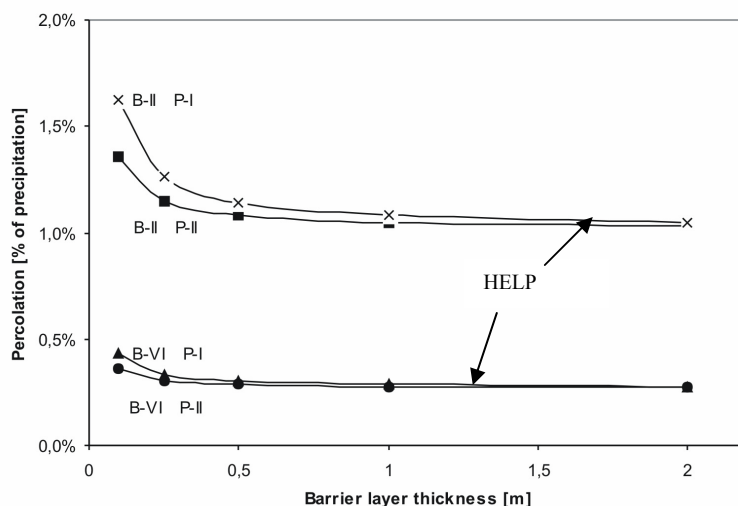
Slika 6. Perkolacija izražena kot odstotek infiltrirane vode za različne materiale tesnilnih plasti, dobljena z izračunom s programoma HELP in HYDRUS-2D

ANALIZA OBČUTLJIVOSTI

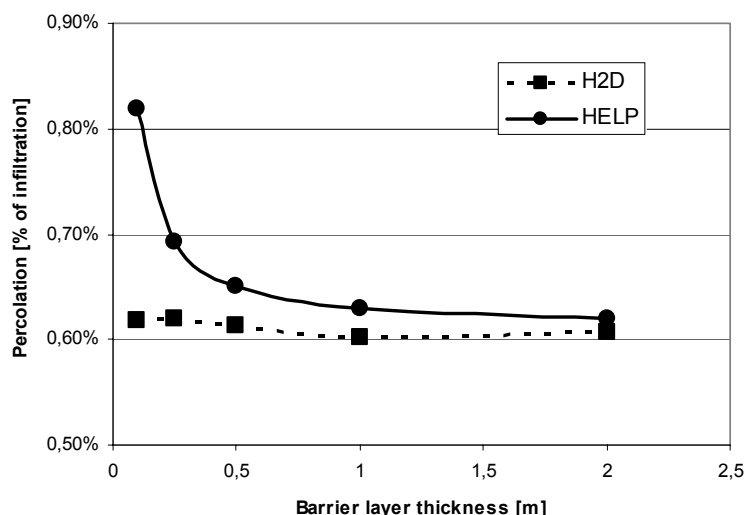
Debelina mejne plasti

Debelejša tesnilna plast pomeni boljše hidravlične karakteristike prekrova. S povečevanjem debeline mejne plasti se vpliv perkolacije postopoma zmanjšuje in s tem postane manj pomembno, kateri material je uporabljen za zaščitno plast, ker mejna plast prevzame večjo vlogo v procesu (še večjo v primeru nižje vodoprepustnosti).

HYDRUS-2D kaže manjši vpliv debeline mejnih plasti na perkolacijo kot HELP, kar je lahko posledica tega, da HYDRUS-2D za relevanten del plasti, ki je sposobna ločevanja vode v lateralno drenažo in perkolacijo, upošteva le skrajni zgornji del mejne plasti.



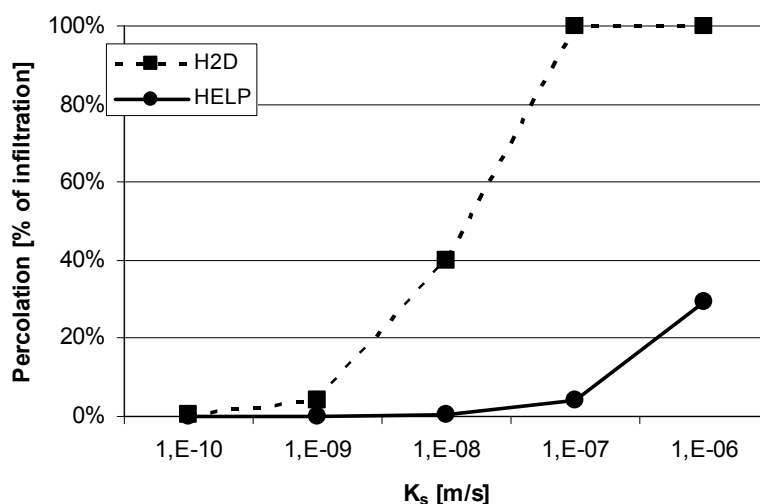
Slika 7. Perkolacija skozi vrhni prekov glede na debelino mejne plasti za dva mejna materiala in dva zaščitna materiala (HELP)



Slika 8. Perkolacija izražena kot odstotek infiltrirane vode glede na debelino mejne plasti, dobljena s programoma HELP in HYDRUS-2D

Vodoprepustnost tesnilne plasti

Vodoprepustnost tesnilne plasti se je izkazala za najbolj pomemben dejavnik pri določevanju učinkovitosti končnega prekrova (Slika 9). Vpliv zmanjševanja vrednosti K_s na perkolacijo se počasi zmanjšuje, ko se približujemo nizkim vrednostim. Glede na infiltrirani del toka vode, prekriv na določeni točki višanja K_s mejne plasti v HYDRUS-2D modelu izgubi vso sposobnost lateralnega dreniranja vode, tudi če je K_s manjši kot tisti v zaščitni plasti, saj je razlika v kapilarnem tlaku med plastema nezadostna. Bolj direktni HELP model kaže boljšo korelacijo med perkolacijo in vrednostmi K_s .



Slika 9. Perkolacija izražena kot odstotek infiltrirane vode glede na vodoprepustnost tesnilne plasti

ZAKLJUČEK

Rezultati kažejo, da oba modela kljub različnim pristopom dajeta konsistentne rezultate. Rezultati modelov so v veliki meri konsistentni predvsem na relativni ravni, kjer se kažejo enaka razmerja med različnimi tipi prekrova in med različnimi materiali, prav tako pa so rezultati v nekaterih delih konsistentni na absolutni ravni. Skladnost med rezultati obeh modelov ter izvedena analiza občutljivosti daje dodatno informacijo o učinkovitosti končnega prekrova in povečuje zanesljivost izvedene napovedi.

LITERATURA

Schroeder, P.R., Dozier T.S., Zappi, P.A., McEnroe, B.M., Sjstrom, J.W., Peyton, R.L. (1994). The Hydrologic Evaluation Of Landfill Performance (HELP) Model : Engineering Documentation for Version 3. EPA/600/R-94/168b, September 1994, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Washington, DC.

Šimunek, J., Šejna, M., Genuchten, M.Th. van (1999). The HYDRUS-2D Software package for Simulating the Two-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, version 2.0. pp. 227, U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California.