

MODELovanie INFILTRÁCIE VODY DO PÓDY S PUKLINAMI

Viliam Novák, Jirka Šimůnek

**INFILTRATION MODELING INTO SOIL WITH CRACKS.** The submodel FRACTURE as a part of simulation model of soil water movement in the SPAC system HYDRUS - ET is briefly presented. Submodel allows to simulate water infiltration from soil surface and simultaneously infiltration from soil cracks into soil matrix. There are needed only two additional parameters in comparison to infiltration into homogeneous soil simulation: crack porosity- soil water content relationship and specific cracks length on soil surface. Infiltration curves as well as cumulative infiltration curves as results of simulation for different conditions are presented and thus demonstrated the importance of cracks for infiltration process.

**KEY WORDS:** soil cracks, infiltration, heavy soils, computer model

Úvod

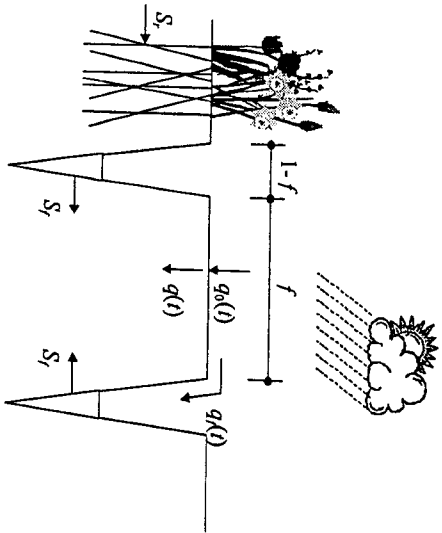
Pôdy často obsahujú množstvo nehomogenít, ako sú výsušné pukliny, medziagregátové póry, alebo makropóry biologického pôvodu. Tieto heterogenity ovplyvňujú pohyb vody a roztokov tak, že vytvárajú nehomogénne polia rýchlosti prúdenia s výrazne sa líšiacimi rýchlosťami (Lechner et al., 1994, Lechner, 1998). Takéto javy sa obvykle označujú ako preferované prúdenie. Tento typ prúdenia môže byť významný hlavne v ťažkých, napučajúcich pôdach s puklinami.

Osobitným problémom je infiltrácia do pôdy. Väčšina prirodzených pôd je nehomogénna a dôsledkom tohoto javu je preferované prúdenie s nehomogénnymi rýchlosťami poliami a z toho vyplývajúce nerovnomerné rozdelenie vlhkosti v oblasti infiltrácie.

Špecifickým problémom je infiltrácia vody zo zrážok alebo závlah do ťažkých, málo priepustných pôd. Infiltrácia do takýchto pôd, ktoré sú nasýtené vodou je pomalá a často je pozorovaný povrchový odtok. V suchých obdobiach sa v ťažkých pôdach vyskytujú pukliny. Existencia puklín v takýchto pôdach môže zvýšiť rýchlosť infiltrácie a znížiť, alebo zabrániť povrchovému odtoku. Negatívnou črtou existencie výsušných puklín v pôde je ich vysoká vodivosť pre kvapaliny, ktorá

môže spôsobiť rýchly prienik roztokov pod koreňovú oblasť pôdy, mimo dosahu koreňov. Ak prenikne roztok do podzemných vôd, môže spôsobiť ich znečistenie. Pri simulácii infiltrácie vody do pôdy, sa úloha makropórov skoro vždy zanedbáva. Spravidla sa predpokladá, že prenos vody v pôde je možné charakterizovať rovnou typu Richardsa, ktorá je vhodná pre simuláciu prenosu vody v homogénnych pôdných profiloch zložených z rozdielnych, ale homogénnych vrstiev pôdy. Väčšina pôd však obsahuje makropóry a z nich sú vertikálne pukliny najvýznamnejšie. Použitie klasickej rovnice Richardsa vedie k simulácii infiltrácie vody do pôdy, ktorá dáva nižšie hodnoty infiltrácie rýchlosti a výsledné obsahy vody v pôde sú nižšie v porovnaní s meranými hodnotami. Určenie súčiniteľov hydraulikkej vodivosti pôdy tak, ako boli definované Darcom, t.j. ich meranie na reprezentatívnych objemoch pôdy nie je v puklinovej pôde možné, pretože elementy nehomogenity sú veľké. Je preto nevhodný systém pôdných puklín uvážiť osobitne.

Pre ilustráciu je možné uviesť puklinovú pórovitosť  $P_c$  (t.j. pórovitosť vytvorenú puklinami) zistenú v lokalite Marsta, (Švédsko), ktorá mala hodnotu  $P_c = 0.078 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , čo znamená, že na naplnenie puklín vodou pri maximálnej hodnote  $P_c$  by bola potrebná 78 mm vrstva vody. Takéto úhny zrážok počas jednej zrážkovej epizódy sú na Slovensku zriedkavé. Čo je tiež veľmi dôležité je to, že aj menšia plocha povrchu puklín (t.j. plocha puklín pripadajúca na jednotku povrchu pôdy) môže byť viacnásobkom plochy povrchu pôdy, ku ktorej sa plocha puklín vzťahuje (Novák, Žaludná, 1998).



Obv. 1. Schéma submodelu FRACTURE. Zrážky, alebo závlahy, (sú označené ako potenciálna infiltrácia rýchlosť  $q_0$ ) padajú na povrch pôdy a infiltrujú do pôdy rýchlosťou  $q$ , ak je povrch pôdy nenasýtený vodou, platí  $q = q_0$ , čo znamená, že intenzita infiltrácie sa rovná intenzite zrážky. Pri nasýtení povrchovej vrstvy pôdy vodou platí  $q < q_0 = f(t)$ , čo znamená, že rýchlosť infiltrácie je nižšia, ako je intenzita zrážok. Rozdiel  $q_0 - q$  je povrchový odtok, alebo vtok do puklín.

Je preto potrebné navrhnuť také metódy simulácie infiltrácie vody do pôdy s puklinami, ktoré budú vhodne charakterizovať ich úlohu v tomto procese. Je známych viacero pokusov o tvorbu takýchto modelov, výsledky však nie sú uspokojivé (van Genuchten, 1991). Príčinou je hlavne spôsob kvantifikácie geometrických vlastností puklín. Najčastejšie sa schematizujú pravidelnou sieťou puklín. Iný spôsob parametrizácie systému puklín publikovali Slawinski et al. (1996), ktorí rozdelenie puklinovej pórovitosti pod povrchom pôdy určujú zo závislosti medzi vlhkosťou a puklinovou pórovitosťou, ale sieť puklín v pôde (t.j. ich menšia dĺžka a šírka puklín) sa zvolí podľa vybranej schémy.

Submodel FRACTURE, umožňujúci simuláciu infiltrácie vody do pôdy s puklinami, ktorý predkladáme, je možné zaradiť medzi modely, ktoré osobitne uvažujú infiltráciu vody cez povrch pôdy a infiltráciu vody do puklín a z nich do blokov nepopraskej pôdy, do tzv. pódnjej matrice.

### Koncepcia modelu

Schéma submodelu FRACTURE, ktorá umožňuje simuláciu vody do pôdy s puklinami je na obr. 1. Zrážky, alebo závlahy (sú označené ako potenciálna infiltrácia rýchlosť  $q_0$ ) padajú na povrch pôdy a infiltrujú do pôdy rýchlosťou  $q$ , ak je povrch pôdy nenasýtený vodou, platí  $q = q_0$ , čo znamená, že intenzita infiltrácie sa rovná intenzite zrážky. Pri nasýtení povrchovej vrstvy vodou platí  $q < q_0 = f(t)$ , čo znamená, že rýchlosť infiltrácie je nižšia, ako je intenzita zrážok. Rozdiel  $q_0 - q$  sa realizuje ako povrchový odtok, alebo vteká do puklín. Predpokladáme, že povrchový odtok, alebo vtok vody do pôdných puklín sa začne až po dosiahnutí nejakej minimálnej, „kritickej“ hrúbky vrstvy vody na povrchu pôdy  $h_c$ .

Infiltrácia teda prebieha dvomi spôsobmi:

- 1) infiltrácia cez povrch pôdy,
  - 2) horizontálna infiltrácia z puklín do pôdy
- vtok vody do puklín a simultánna infiltrácia do pôdy cez vnútorný povrch puklín, s premenlivou tlakovou výškou.

### Submodel FRACTURE

Submodel FRACTURE je časťou SVAT modelu HYDRUS-ET (Šimunek et al., 1997, Novák, Šimunek, 1998). Základom modelu je jednorozmerná rovnica Richardsovho typu, obsahujúca tiež zdrojový člen, ktorý kvantifikuje horizontálnu infiltráciu prítok. Prítok vody z puklín do matrice pôdy je opísaný rozšírením Richardsovej rovnice o zdrojový člen, podľa Feddesa et al., (1988):

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ k(h, z) \left( \frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S_r(z) + S_f(z) \quad (1)$$

kde  $h$  je tlaková výška pôdnej vody [L],  $t$  je čas [T],  $z$  je vertikálna vzdialenosť [L], (kladná smerom hore),  $k$  je nenasýtená hydraulická vodivosť [L<sup>-1</sup>],  $S_r(z)$  je odoberný člen (odber vody koreňmi) [L<sup>3</sup> L<sup>-3</sup> T<sup>-1</sup>], kvantifikuje množstvo vody odobratej koreňmi, je zahrnutý v Richardsovej rovnici s negatívnym znamienkom,  $S_f(z)$  je intenzita horizontálnej infiltrácie vody z puklín do pôdy, v takých istých jednotkách ako predtým, avšak znamienko člena  $S_f(z)$  je kladné.

Zdvojový člen  $S_f(z)$ , t.j. intenzita horizontálnej infiltrácie z vodou naplnenej časti puklín do pôdnej matrice je v submodeli FRACTURE určená podľa koncepcie Greena – Ampsta:

$$S_f = \left( K(z) \frac{h_0 - h_f}{l_f} \right) A_c \quad (2)$$

kde  $K$  je nasýtená hydraulická vodivosť [L<sup>-1</sup>],  $h_0$  je tlaková výška na povrchu infiltrácie [L],  $h_f$  je tlaková výška (negatívna) na čele infiltrácie v hĺbke  $l_f$  od povrchu infiltrácie [L],  $A_c$  je merný povrch puklín [m<sup>2</sup> m<sup>-3</sup>].

Hodnoty  $K$  a  $A_c$  môžu byť merané,  $h_f$  je hodnota  $h$  na infiltráčnom čele vo vzdialenosti  $l_f$  pod povrchom pôdy. Môže byť vypočítaná opäť podľa Greena – Ampsta:

$$l_f = \sqrt{l_f^2 + 2K \frac{h_0 - h_f}{\theta_s - \theta_i} t} \quad (3)$$

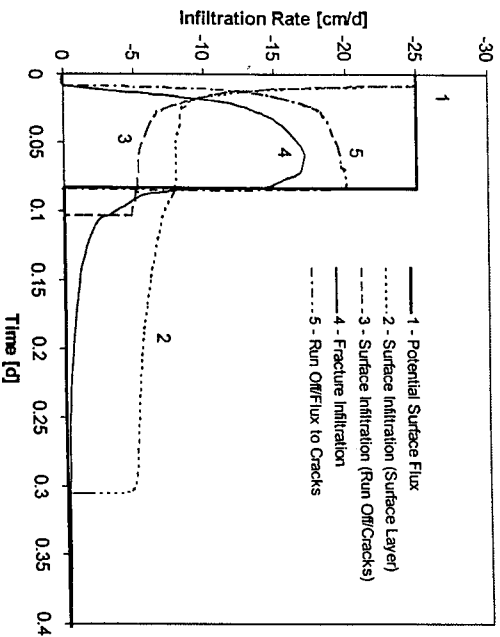
Kde  $l_f$  je poloha čela infiltrácie za jednotku času od začiatku infiltrácie ( $t = 1$  min.),  $\theta_i$  a  $\theta_s$  sú počiatková a nasýtená vlhkosť pôdy,  $t$  je časový interval od začiatku infiltrácie.

### Vstupné veličiny submodelu FRACTURE

Okrem vstupných veličín potrebných do modelu HYDRUS - ET, (alebo tiež do modelu GLOBAL) sú pre submodel FRACTURE potrebné nasledovné parametre: - *závislosť medzi puklinovou pórovitosťou  $P_c$  hmotnostnou vlhkosťou pôdy  $w$ , ( $P_c = f(w)$ ).* Táto závislosť je charakteristickou pôdy a je ju možné určiť jednoduchým postupom v laboratóriu na odobratých vzorkách pôdy, (Novák, 1976) - *meria dĺžka puklín  $l_c$ , je dĺžka puklín na jednotkovej ploche povrchu pôdy, (m m<sup>-2</sup>) a je ju možné určiť meraním v teréne.*

### Výsledky modelovania

Uvádzame výsledky modelovania infiltrácie vody do pôdy s puklinami pre ťažkú pôdu v lokalite Marsta pri Uppsale (Švédsko). Merania vstupných hodnôt boli vykonané v rámci projektu NOPEX, v rokoch 1995 -1997, (Novák, 1999).



Obr. 2. Výsledky numerického experimentu so simulovaným dažďom s intenzitou  $q_0 = 25 \text{ mm d}^{-1}$  a trvaním 2 hodiny. Nasýtená hydraulická vodivosť je  $K = 5 \text{ cm d}^{-1}$ . Infiltráčne krivky: (1) potenciálna infiltrácia, (2) infiltrácia do pôdy bez puklín s vrstvou vody akumulovanej na povrchu pôdy, (3) infiltrácia cez povrch pôdy s povrchovým odtokom, (4) infiltrácia z puklín do matrice pôdy, (5) infiltrácia do pôdy s puklinami.

Závislosť medzi puklinovou pórovitosťou  $P_c$  hmotnostnou vlhkosťou pôdy  $w$ , ( $P_c = f(w)$ ), pre hornú 20 cm vrstvu pôdy v tejto lokalite a tiež sieť puklín na povrchu pôdy v lokalite Marsta pri Uppsale sú v práci Nováka a Zahradnej, (1998).

Zaujímavými výsledkami modelovania infiltrácie vody do pôdy s puklinami sú infiltráčne krivky na obr.2 pre zrážku s intenzitou  $q_0 = 25 \text{ mm h}^{-1}$  ktorá trvala 2 hodiny, teda zrážkový úhm bol 50 mm. Čiary kumulatívnych infiltrácií, ktoré boli získané integráciou čiar z obr.2, sú na obr. 3.

---

**ACTA HYDROLOGICA SLOVACA**

---

**Ročník 1, č. 1, 2000**

ACTA - HYDROLOGICA SLOVACA je časopis Ústavu hydrologie  
Slovenskej akadémie vied.

Obsahuje články z vedných odborov horskej hydrologie, pôdnej fyziky,  
hydroekológie územia, nižšej hydrologie a výpočtovej hydrodynamiky.

Zodpovedná redaktorka: Vlasta Štekaurová

Redakčná rada:

František Burger

Pavol Miklánek

Pavla Peckárová

Július Šútor

Vychádza dva razy ročne. Vydáva a rozširuje Ústav hydrologie Slovenskej  
akadémie vied, Račianska 75, P.O.Box 94, 938 11 Bratislava, Slovenská  
republika,

ISSN 1335-6291