

Mihael BRENČIČ
dr., univ.dipl.inž.geol., Geološki zavod Slovenije

Jure KRIVIC
univ.dipl.inž.geol., Geološki zavod Slovenije

HIDROLOŠKA BILANCA PREKRIVK NA DEPONIJAH

POVZETEK: V prispevku podajamo pregled metodologije za izračun vodne bilance prekrivk na deponijah odpadkov. Izračuni temelje na matematičnem opisu toka vode v nezasičenem poroznem mediju. Na kratko so prikazani analitični modeli, ki izhajajo iz van Genuchtenovega modela. Sledi kratek pregled programskega paketa HYDRUS, ki omogoča takšne izračune ter prikaz rezultatov modeliranja na prekrivkah, ki so predlagane za izvedbo na območju Rudnika Žirovski vrh v zapiranju. Prikazani rezultati temeljijo na analizi občutljivosti, s katero smo preverjali hidravlično vlogo zaščitne in tesnilne plasti znotraj prekrivke. Modeliranje je pokazalo, da je ob ustrezni izbiri materialov prenikanje padavinske vode skozi prekrivko moč zmanjšati pod 5% v celotni vodni bilanci.

HYDROLOGICAL BALANCE OF LANDFILL COVERS

SUMMARY: In the article methodology for water balance calculations of landfill covers is presented. Calculations are based on mathematical description of unsaturated water flow through porous media. Analytical models that rely on van Genuchten equation are given. This overview is followed by short presentation of HYDRUS platform that enables modeling of unsaturated flow. The methodology is illustrated by water balance calculations of waste dump covers of Žirovski vrh uranium mine. Sensitivity analysis of sealing and protective layers was performed and it was illustrated that with proper material selection it is possible to diminish percolation of rainfall water below 5% in total.

UVOD

Pri odlaganju odpadkov se srečujemo s problemi emisij številnih plinov, ki povzročajo neprijetne vonje ali druge škodljive vplive, zelo pogosto pa nastopa tudi nevarnost eksplozije. Tudi prodiranje vode v deponijsko telo predstavlja velik problem, saj se tako povečuje količina izcednih vod in s tem vpliv na vodno okolje in tla. Da bi vse te efekte preprečili, se na deponijah izvajajo različne prekrivke, katerih izvedba je prav zaradi tega nujna tudi v skladu z veljavno zakonodajo. Prekrivke na deponijah odpadkov so inženirske bariere, ki so namenjene zmanjševanju ali odpravljanju negativnih vplivov odpadkov na različne komponente okolja, od zraka do podzemnih voda.

Vloga prekrivk je v veliki meri odvisna od tipa odpadkov, ki jih prekrivamo. V splošnem je njihova primarna funkcija dvojna. Prva naloga prekrivke je, da prepreči zatekanje in infiltracijo vode v deponijsko telo. S tem se prepreči spiranje in izluževanje onesnaževal iz telesa deponije v okolje in prepreči napajanje deponije z vodo, kar poveča stabilnost deponije. Druga naloga prekrivke je, da prepreči izhajanje onesnaževal iz deponije v plinastem stanju. Za doseganje takih nalog se uporabljajo večplastne prekrivke, pri katerih vsaka plast služi določenemu namenu. Prekrivka dosega željene rezultate le kot celota, saj se lastnosti plasti medsebojno dopolnjujejo. Navadno prekrivke vsebujejo glinasto plast, plast peščenega materiala ter plast humusa. Glinasta plast preprečuje zatekanje vode v deponijo in izhajanje plinov, peščena plast zagotavlja lateralno odvajanje vode in ščiti glinasto plast pred zmrzaljo in izsuševanjem, humus pa zagotavlja ugodne razmere za razvoj vegetacije. Poznamo tudi monotone prekrivke, ki so sestavljene le iz enega samega materiala.

Projektiranje prekrivk je obsežen inženirski postopek, ki terja dobro poznavanje materialov, tako s stališča njihovih mehanskih lastnosti, kot tudi s stališča hidravličnih karakteristik. V dosednji praksi je izvedba prekrivk temeljila predvsem na izkustvenih pristopih, v zadnjem času pa se vse bolj uveljavljajo tudi postopki projektiranja, ki temeljijo na izračunih. Tak pomemben postopek je tudi ocena hidrološke bilance projektirane prekrivke. V okviru bilančne analize prekrivke moramo predvideti kako se bo prekrivka odzivala na padavine. Pri tem dajemo poudarek trem komponentam odtoka. Najpomembnejša komponenta odtoka, ki jo na prekrivki ocenjujemo je vertikalna komponenta. To je količina vode, ki se skozi prekrivko infiltrira v deponijo. Ta komponenta odtoka nakaže s kakšno količino izcednih voda bomo imeli opravka, posredno pa tudi kakšne bodo emisije onesnaževal. Pogosto nas zanima tudi koliko vode odteka bočno znotraj prekrivke. Ta podatek je pomemben predvsem za dimenzioniranje kanalov in drenaž na bermah brežin. Z analizo bočnega toka skozi prekrivko lahko preverimo tudi vpliv toka vode na njeno stabilnost, saj se lahko v slabo izvedeni prekrivki oblikujejo nasičena območja, ki povzročijo zdrs posameznih plasti prekrivke. Tudi analiza površinskega odtoka in evapotranspiracije je pomembna, saj lahko z ustreznim dimenzioniranjem zgornjih plasti prekrivke v veliki meri zmanjšamo infiltracijo skozi celotno prekrivko, hkrati pa zmanjšamo erozijo zaradi prehitrega odtoka.

V nadaljevanju prispevka podajamo osnovna izhodišča za določitev vodne bilance prekrivk na deponijah odpadkov. Prikazane so osnovne enačbe toka vode skozi nezasičen porozni medij. Sledi opis programske opreme, ki jo uporabljamo pri modeliranju toka vode skozi prekrivke. V sklepnem delu prispevka je podan primer izračuna hidrološke bilance prekrivke na območju Rudnika Žirovski vrh.

METODOLOGIJA

Modeliranje toka vode v nezasičenem območju

V nasprotju z modeliranjem toka podzemne vode v zasičenem območju vodonosnika, kjer opis toka temelji na Darcyevi enačbi za stacionarni tok in na difuzijski parcialni diferencialni enačbi za nestacionarni tok, je za modeliranje toka v nezasičenem coni na razpolago večje število matematičnih modelov. V osnovi je tok v nezasičenem mediju moč opredeliti z Richardsonovo parcialno diferencialno enačbo, ki pa je nelinearna in zaradi tega težje rešljiva. Da bi se tem problemom predvsem pri izračunih kompleksnejših geometrij izognili, je bilo v preteklosti razvito večje število modelov, ki segajo od povsem empiričnih enačb, preko semiempiričnih in do povsem teoretično izvedenih modelov.

Najpogosteje uporabljen model toka v nezasičeni coni je van Genuchtenov model. Van Genuchtenova enačba (van Genuchten, 1980) podaja potek krivulje vlaženja in sušenja za posamezno zemljinu. To krivuljo imenujemo desukcijska krivulja. Krivulja prikazuje odvisnost kapilarnega tlaka (h) od vsebnosti vode (θ). Krivulja je previloma nelinearna in se od zemljine do zemljine zelo razlikuje. Na kratko si oglejmo kako je definiran van Genuchtenov model.

Stopnja nasičenja z vodo je definirana kot (Fetter, 1993) (1)

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (1)$$

kjer so

θ - vsebnost vode v tleh

θ_s - vsebnost vode v nasičenih tleh

θ_r - rezidualna vsebnost vode v tleh

Kapilarni tlak je definiran kot (2)

$$h = -\frac{\psi_m}{\rho_w g} \quad (2)$$

kjer so

ψ_m – matrični potencial

ρ_w – gostota vode

g - težnostni pospešek

Osnovni enačbi van Genuchtena za vsebnost vode (θ) in koeficient prepustnosti (K) sta definirani kot (van Genuchten, 1980) (3) in (4):

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha|h|)^n)^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$K(h) = \begin{cases} K_s K_r(h) & h < 0 \\ K_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

kjer je K_r (5)

$$K_r = S_e^\tau \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (5)$$

K_r – relativni koeficient prepustnosti

K_s – koeficient prepustnosti nasičene zemljine

α , m in n so konstante, ki definirajo obliko krivulje, τ pa je empirična konstanta z vrednostjo 0.5. Za m velja: $m=1-1/n$.

Parametri θ_r , θ_s , n , α in K_s so vhodni podatki pri izračunu modela (Šimůnek et al., 1999) in so značilni za posamezno zemljinu.

Programska oprema

Z analitičnimi modeli lahko izračunavamo le enostavne geometrije prekrivk. Če želimo analizirati bolj kompleksno geometrijo moramo uporabiti numerično modeliranje. Za analizo, katere rezultate podajamo v nadaljevanju, smo uporabili programski paket Hydrus, ki ga sestavljata programa Hydrus-

1D (Šimůnek et al., 1998) in Hydrus-2D (Šimůnek et al., 1999). Prvi program omogoča enodimenzionalno modeliranje, drugi pa dvodimenzionalno.

Modeliranje enodimenzionalnega toka je bilo opravljeno z namenom, da ugotovimo, kakšni so medsebojni odnosi med posameznimi materiali v prekrivki. V primeru, ko tok poteka v več smereh, enodimenzionalni model ni primeren. Takrat lahko služi le za kvalitativno oceno procesov in primerjavo različnih scenarijev, vendar pa kvantitativni zaključki o hitrosti toka in časih posameznih dogodkov niso možni.

Dvodimenzionalno modeliranje simulira odtekanje vode v ravnini, ki je navadno postavljena navpično in v smeri vpadnice modelirane geometrije. Z dvodimenzijskim modelom je moč podrobno preučiti vpliv geometrije modela na tok vode.

Izkušnje kažejo, da se enodimenzionalno in dvodimenzionalno modeliranje se dobro dopolnjujeta. Z enodimenzionalnim modelom je mogoče zadovoljivo rešiti vprašanje izbire in lastnosti posameznih materialov, z dvodimenzionalnim modelom pa preučiti obnašanje vgrajenih materialov v preiskovanih objektih z znano geometrijo.

REZULTATI

Splošna izhodišča za izračun

V sanacijska in zapiralna dela na širšem območju pridobivalnega prostora Rudnika Žirovski vrh je vključena tudi sanacija odlagališč jamske jalovine na Jazbecu in hidrometalurške jalovine na Borštu. Zaradi prisotnosti radioaktivnih mineralov v odloženih materialih, so le ti pomemben vir emisij radona v ozračje in zaradi spiranja s padavinsko vodo tudi vir radioaktivnih komponent v površinski in podzemni vodi. S predhodnimi študijami so bile na območju obeh deponij analizirane različne prekrivke. Skupna značilnost teh prekrivk je bila ta, da so bile sestavljene iz večjega števila plasti. Namen izvedbe prekrivk na jaloviščih je preprečevanje emisij radona in napajanja jalovine s padavinsko vodo. Zaradi zmanjšanja dotokov padavin v jalovino se bo izboljšala stabilnost deponije, zmanjšalo se bo izluževanje onesnaževal, preprečeno bo zmrzovanje in izsuševanje glinaste radonske zaporne plasti, hkrati pa bo jalovina zaščitena pred erozijo.

Izračune prekrivk smo izvajali v več fazah. V prvi fazi smo izhajali iz geometrije, ki je bila predvidena s projektom prekrivke (Sladič & Kvaternik, 2000). S projektom predvidena prekrivka je bila sestavljena iz petih plasti. Prva plast nad jalovino je plast gline. Njena naloga je preprečiti izhajanje plinov, predvsem radona, iz jalovišča. Nad glinasto plastjo leži plast prodna in nad njo plast debelozrnatega peska. Ti dve plasti tvorita kapilarno bariero, prodna plast pa poskrbi še z dodatno drenažo. Skupaj preprečujeta zatekanje meteorne vode v jalovišče. Nad njima leži plast peščene ilovice ali podobnega avtohtonega materiala, ki ščiti spodnje plasti pred zmrzaljo in daje osnovo zgoraj ležeči humusni plasti. Humusna plast omogoča zatravitev jalovišča.

V letu 2003 so bile na območju jalovišča Jazbec izvedene tri poizkusne prekrivke. Izvedba na brežinah je nakazala vrsto problemov, zaradi česar je bila predlagana poenostavljena izvedba prekrivke s tremi plastmi: tesnilno, zaščitno in humusno plastjo (Petkovšek et al., 2003). Tako kot pri predlaganem projektu, je namen tesnilne plasti predvsem preprečevanje emisij radona in prenikanja padavinske vode v jalovino. Zaščitna plast je namenjena zaščitni tesnilne plasti, humusna plast pa naj bi omogočala zatravitev in zarast z nizkim rastlinjem.

Določitev hidravličnih karakteristik zemljin

Pri izračunu toka vode skozi nezasičeno območje se pogosto pojavijo številni problemi, saj je na razpolago le malo podatkov o hidravličnih parametrih, ki jih zahtevajo posamezni modeli. Skoraj vedno je na razpolago podatek o koeficientu nasičene prepustnosti, saj je to dokaj pogosta laboratorijska preiskava. Ostale podatke moramo pridobiti naknadno z dodatnimi laboratorijskimi ali terenskimi meritvami. Ob pomanjkanju časa pogosto uporabimo nekoliko drugačno pot.

Pri analizi, ki jo podajamo v nadaljevanju smo hidravlične karakteristike materialov določili na podlagi analize literaturnih podatkov ter z ekspertnim modulom Rosetta, ki je sestavni del programskega paketa Hydrus-2D. Ekspertni modul omogoča določitev hidravličnih parametrov na podlagi analize granulometričnih krivulj. Granulometrične krivulje so bile pridobljene med izvajanjem poizkusnih polj (Petkovšek et al., 2003) in predstavljajo dejanske materiale in ne projektno zahtevane karakteristike.

Hidravlični parametri posameznih plasti v prekrivki so podani v preglednici 1.

Preglednica 1. Hidravlični parametri materialov analizirane prekrivke (1 – humusna plast, 2 – zaščitna plast, 3 – tesnilna plast, 4 – jalovina v podlagi prekrivke).

plast	material	θ_r	θ_s	$\alpha(1/m)$	n	K (m/s)
1	humus	0,0662	0,4545	5,139	1,456	6E-06
2	meljast pesek	0,067	0,578	0,023	5	1E-07
3	melj	0,0434	0,3531	2,645	1,317	2E-06
4	jalovina	0,0338	0,3411	1,118	1,505	4E-06

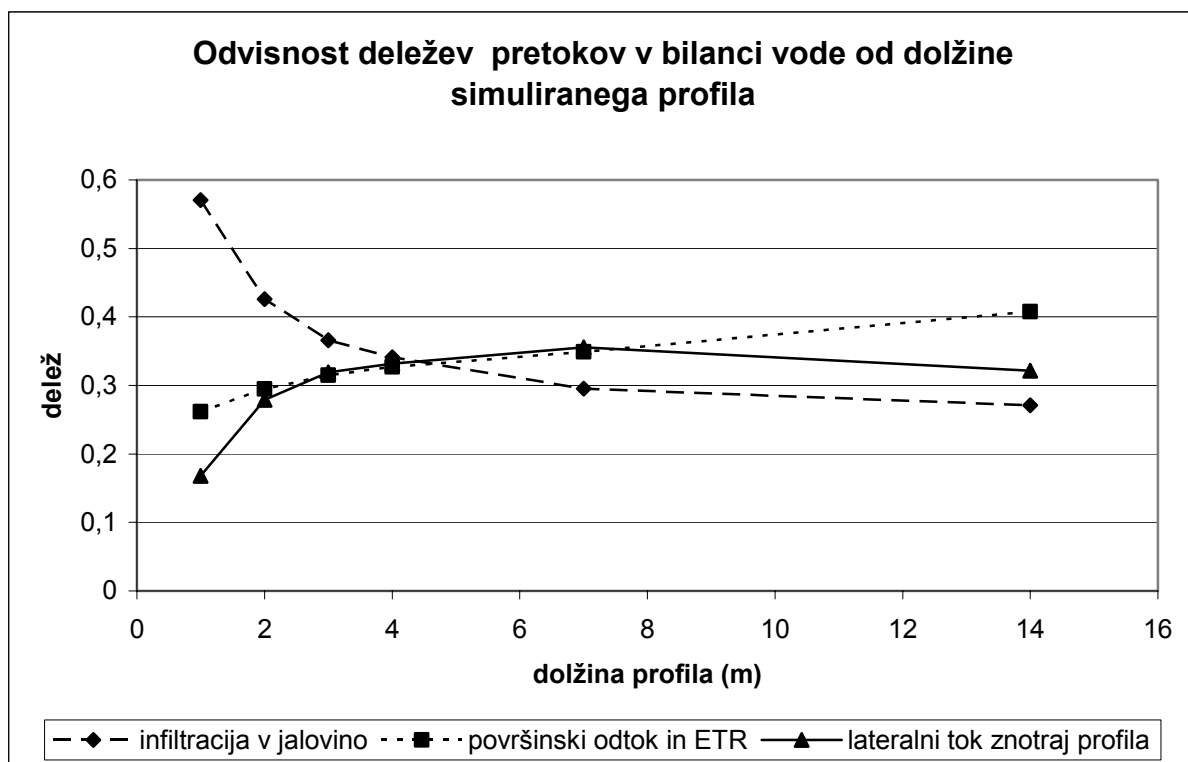
Vpliv dolžine modeliranega profila na zanesljivost izračunov

Modeliranje dolgih, tankih in strmih plasti je numerično zelo zahtevno. Čas izračunov in njihova nestabilnost se s podaljševanjem profila izrazito povečujeta. Modeliranje profila v realnih dimenzijah bi bilo predolgotrajno in prezahtevno, zato smo izračune izvedli na krajšem odseku.

V prekrivki na pobočju se oblikujejo območja z lateralnim tokom. Količina vode v lateralnem toku se z dolžino profila povečuje, kar neposredno vpliva na hidravlične lastnosti prekrivke s tem pa tudi na spremembe v celotni bilanci. Z analizo občutljivosti smo skušali podati deleže posameznih komponent bilance v odvisnosti od dolžine prekrivke. Rezultati izračuna so podani na sliki 1.

Izrazite razlike v deležih posameznih tokov znotraj bilance vode v prekrivki se pojavljajo med izračuni za odseke dolžine do 4 metre. Primerjava rezultatov izračunov za odseke dolžin nad 4 metri pokaže, da med njimi ni bistvenih razlik. Razlike deležev so pri prekrivkah daljših od 4 m pod 10%.

Delež lateralnega toka znotraj prekrivke se z dolžino simuliranega odseka povečuje, saj je tok skozi tesnilno plast manjši, kot vertikalni dotok. Tako se v zaščitni plasti voda »kopiči« in lateralno odteka. Zaradi po dolžini vedno večje vsebnosti vode v zaščitni in posledično tudi humusni plasti se z daljšanjem odseka infiltrira vedno manjši delež padavin, kar pomeni, da se delež površinskega odtoka povečuje. Delež vode, ki se infiltrira v jalovino, se tako s podaljševanjem odseka zmanjšuje.



Slika 1. Delež posameznih komponent vodne bilance na prekrivki v odvisnosti od dolžine simuliranega profila.

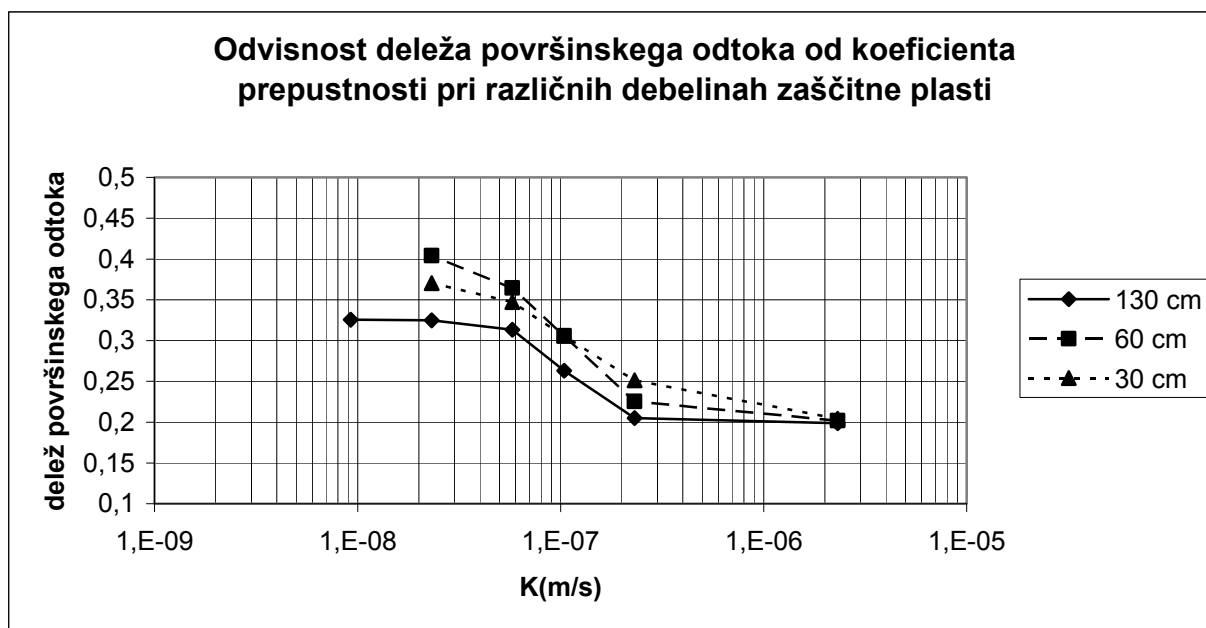
Na podlagi zgornjih primerjav je bil za nadaljnjo analizo občutljivosti prekrivke izbran odsek dolžine 5 m, ki še zagotavlja zadovoljivo točne rezultate in hkrati omogoča dovolj hitre izračune.

Vpliv debeline zaščitne plast na hidravlične lastnosti prekrivke

Delovanje prekrivke je odvisno od hidravličnih lastnosti posameznih materialov in debeline posameznih plasti. Da bi ugotovili vpliv teh faktorjev na tok vode skozi prekrivko, smo spreminjali koeficient prepustnosti zaščitne plasti (2. plast) na intervalu od 10^{-8} do $5 \cdot 10^{-6}$ m/s. Izračune smo izvedli za tri različne debeline zaščitne plasti: 30, 60 in 130 cm. Ostali hidravlični parametri materialov so ostali nespremenjeni. Rezultati izračuna so podani na sliki 2.

Pri višjih koeficientih prepustnosti pri zasičenju debelina plasti nima bistvenega vpliva na vodno bilanco prekrivke. Večje razlike v deležu infiltrirane vode so opazne pri nižjih koeficientih prepustnosti, vendar pa tudi pri teh vrednostih debelina zaščitne plasti ne vpliva toliko na tesnost prekrivke, kot sam koeficient prepustnosti pri zasičenju. Iz slike 2 je razvidno, da se bistveno zmanjšanje deleža infiltrirane vode dogodi takrat, ko se koeficient prepustnosti pri zasičenju zmanjša z $2 \cdot 10^{-7}$ na $6 \cdot 10^{-8}$ m/s. Iz podanih rezultatov sledi, da zaščitna plast pri koeficientih prepustnosti zasičenja nad 10^{-7} m/s ne vpliva na tesnost prekrivke.

Rezultati modeliranja kažejo, da je optimalna debelina zaščitne plast okoli 60 cm. V primeru, da je plast tanjša (30 cm), je delež vode, ki uspe prodreti skozi to plast, večji. Pri debelejši plasti (130 cm) je delež površinskega odtoka manjši, vendar ne na račun večjega pronicanja vode skozi prekrivko, temveč na račun večjega lateralnega toka vode znotraj zaščitne plasti.



Slika 2. Delež površinskega odtoka v celotni vodni bilanci prekrivke v odvisnosti od debeline zaščitne plasti.

Vpliv hidravličnih lastnosti tesnilne plasti na tesnost prekrivke

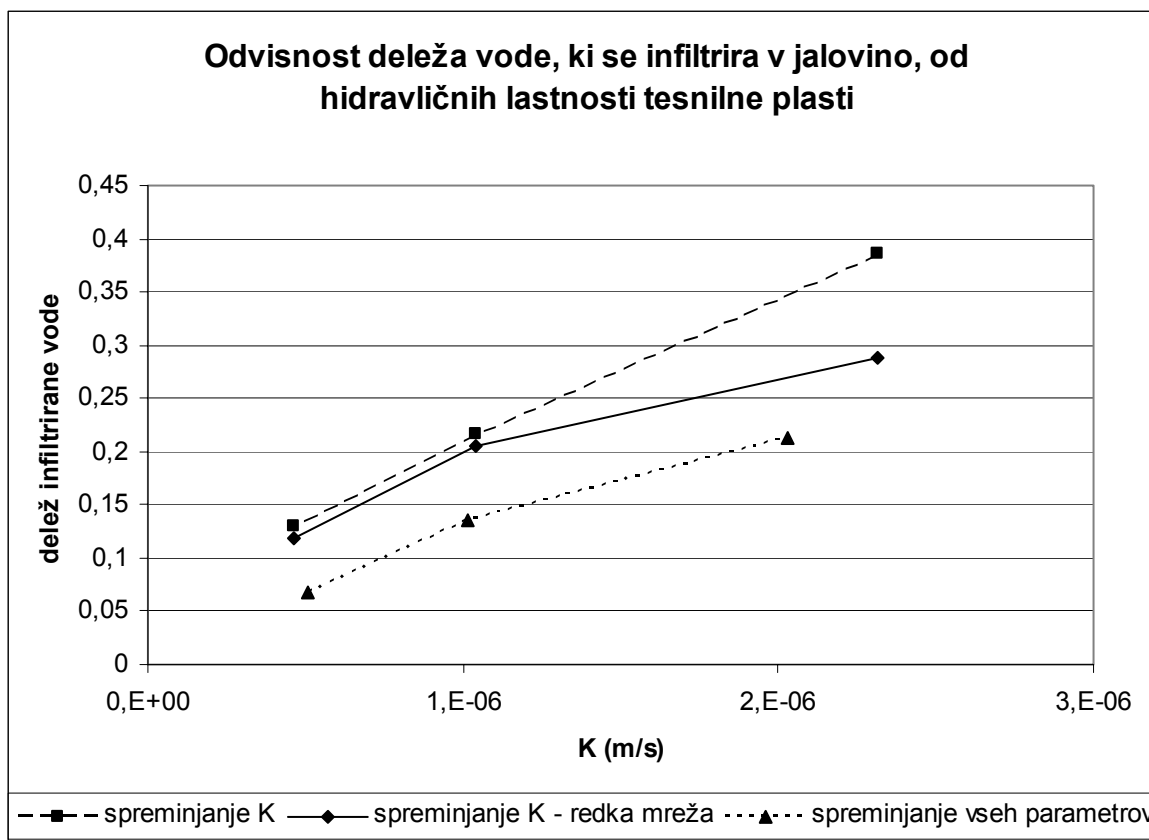
Na hidravlične lastnosti prekrivke najbolj vplivajo lastnosti tesnilne plasti. Podobno kot pri zaščitni plasti smo tudi pri tesnilni plasti izvedli analizo občutljivosti. Z analizo smo poskušali podati povezavo med lastnostmi materiala tesnilne plasti in deležem vode, ki se skozi prekrivko infiltrira v jalovino. Hidravlične karakteristike, razen koeficienta prepustnosti pri zasičenju, ki smo ga spreminjali, so podane v tabeli 1.

Pri izračunih, ki jih podajamo v nadaljevanju so se pojavljali številni problemi. Ti problemi se navezujejo predvsem na numerično stabilnost izračunov. Tako so bili izračuni izvedeni z redko in gosto mrežo, primerjalna analiza pa je pokazala, da se ti rezultati med seboj razlikujejo. Rezultati izračuna so podani na sliki 3.

Hidravlične lastnosti materialov so med seboj povezane, zato pristop s spreminjanjem zgolj enega parametra ne pokaže vseh verjetnih sprememb v vodni bilanci prekrivke. Z namenom, da bi poleg koeficienta prepustnosti v zasičenem stanju, opazovali še vpliv drugih hidravličnih parametrov na vodno bilanco prekrivke, smo analizo občutljivosti opravili še s spreminjanjem drugih hidravličnih parametrov. Te parametre smo ponovno pridobili z modulom Rosetta in sicer tako, da smo zadržali enako granulometrično sestavo zemljine v tesnilni plasti, kot je bila ugotovljena s terenskimi preiskavami na testnih poljih (40% peska, 33% melja in 28% gline), spreminjali pa smo gostoto zemljine. Parametri, ki smo jih pridobili s takšnim postopkom, so podani v preglednici 2.

Preglednica 2. Parametri tesnilne plasti za analizo občutljivosti – sprememba parametrov v odvisnosti od gostote zemljine.

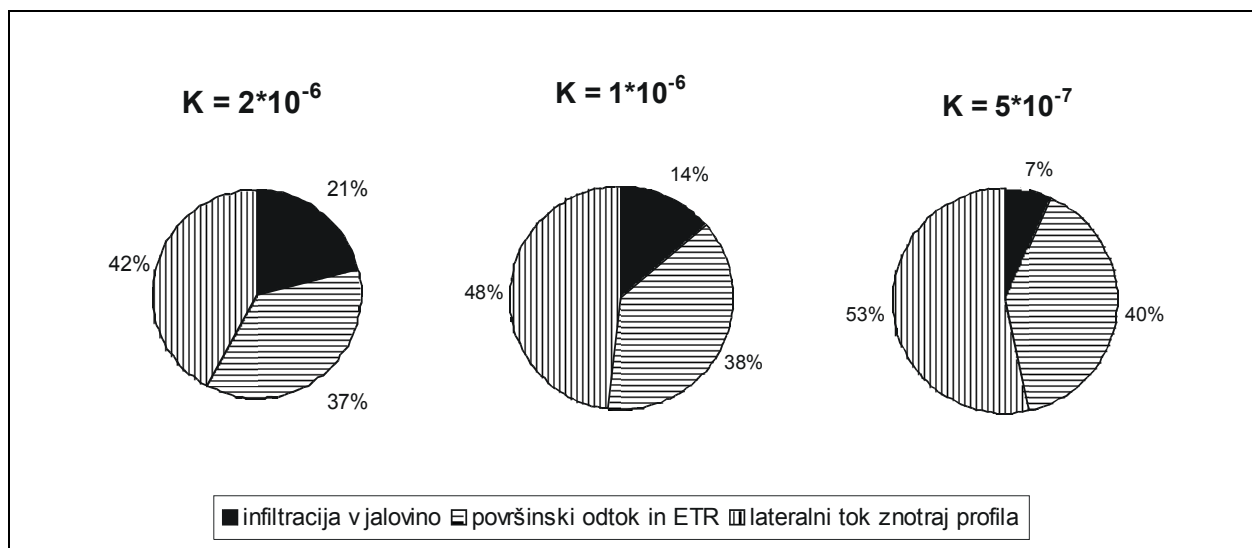
gostota (gr/cm ³)	θ_r	θ_s	$\alpha(1/m)$	n	K (m/s)
1,82	0,0552	0,3201	3,0332	1,2526	5E-07
1,7	0,0639	0,3464	3,2749	1,2882	1E-06
1,53	0,0749	0,3871	3,6492	1,3381	2E-06



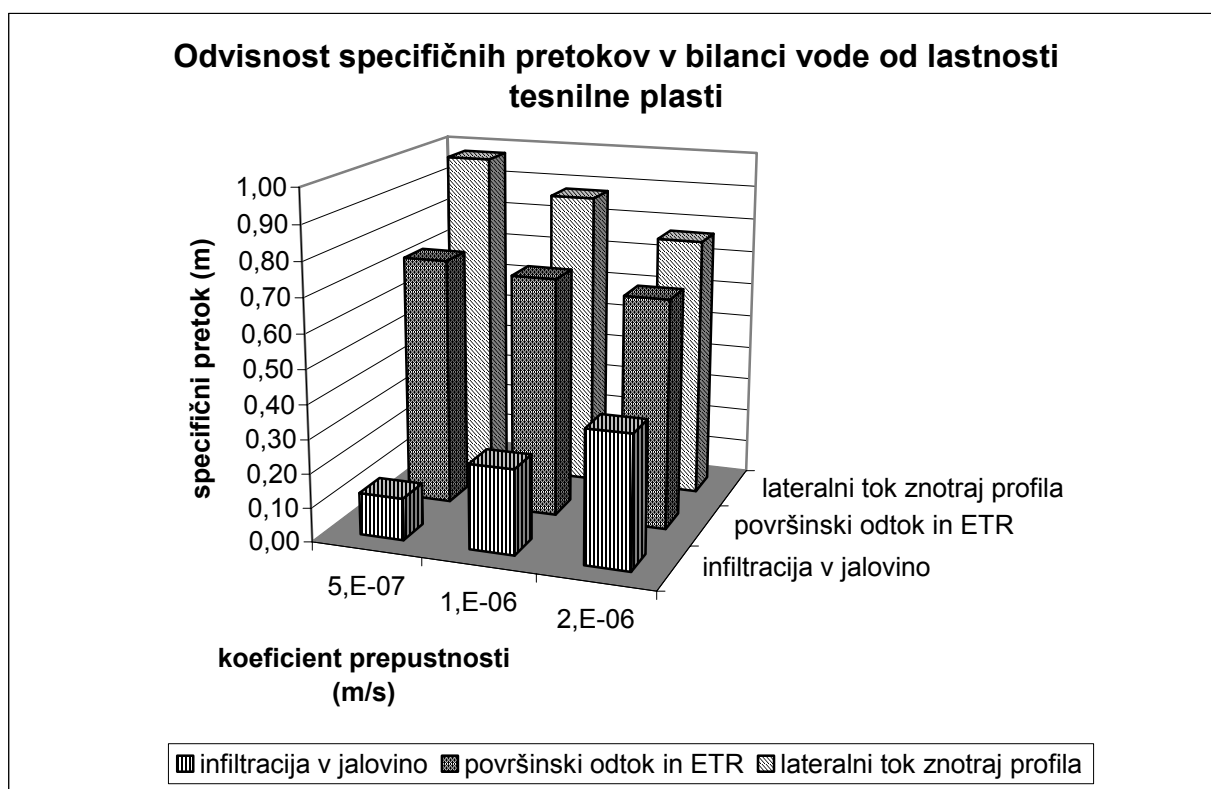
Slika 3. Rezultati analize občutljivosti glede na gostoto mreže in glede na različne koeficiente prepustnosti tesnilne plasti pri zasičenju.

Rezultati izračunov seveda potrjujejo predpostavko, da se delež vode, ki se infiltrira v tesnilno plast, zmanjšuje z zmanjševanjem koeficienta prepustnosti tesnilne plasti v zasičenem stanju. Toda bolj kot to so pomembni izračuni, ki kažejo na deleže infiltracije. Pri prepustnostih tesnilne plasti 10^{-6} m/s pronica skozi prekrivko manj kot 15% vse padavinske vode, pri koeficientu prepustnosti $5 \cdot 10^{-7}$ m/s pa le še nekaj več kot 5%. Čeprav izračuni za nižje prepustnosti zaradi problemov s stabilnostjo numeričnega modela niso bili izvedeni, pa lahko iz trendov na sliki 3 razberemo, da bo pri nižjih prepustnostih delež infiltracije skozi prekrivko padel še dodatno in da bo delež infiltrirane zelo majhen.

Za celotno razumevanje hidrološke bilance prekrivke je pomembna tudi analiza odnosa med vsemi tremi komponentami odtoka s prekrivke. Primerjave med komponentami hidrološke bilance prekrivke so podane na slikah 3 in 4. Na sliki 3 so podani deleži posameznih komponent odtoka, na sliki 4 pa so podani specifični pretoki, ki nam pomagajo oceniti tudi pretočne količine vode skozi prekrivko in s tem tudi prispevek padavinske vode k odtoku z območja deponije. Z naraščanjem prepustnosti tesnilne plasti se povečuje vertikalni tok skozi prekrivko, zaradi tega se zmanjšuje predvsem lateralni tok znotraj prekrivke.



Slika 4. Primerjava med deleži komponent odtoka vodne bilance prekrivke glede na različne koeficiente prepustnosti v zasičenem stanju v tesnilne plasti.



Slika 5. Prikaz specifičnega pretoka posamezne komponente v vodni bilanci prekrivke.

ZAKLJUČEK

Odlagališča odpadkov predstavljajo velik potencialni vpliv na okolje, zaradi tega jih je v fazi načrtovanja in projektiranja ter kasneje v fazi uporabe potrebno obravnavati celovito. Pomemben prispevek pri tem igra poznavanje ineterakcije odlagališča in vodnega okolja, saj je voda poleg zraka najpomembnejši transportni medij pri prenosu onesnaževal z območja odlagališča v okolje.

V skladu s tehničnimi normativi in zahtevami zakonodaje je odpadke na odlagališčih potrebno prekriti s prekrivko. Vloga prekrivke je večstranska, najpomembnejši nalogi sta gotovo zmanjševanje emisij plinov, ki nastajajo v deponiji, in preprečevanje infiltracije padavinske vode v območje z odpadki. Pri projektiranju prekrivke se pogosto zastavlja vprašanje kakšen bo prispevek padavinskih voda k izcednim vodam po izvedbi prekrivke. Na to vprašanje je moč odgovoriti z modeliranjem vodne bilance prekrivk.

Izračun vodne bilance prekrivke je možen na podlagi uporabe analitičnih ali numeričnih modelov. Zlasti slednji se pokažejo kot zelo uporabni tam, kjer je geometrija prekrivke nekoliko bolj zapletena. Modeli temeljijo na opisu toka vode v nezasičenem poroznem mediju, s tem pa tudi na nekoliko drugačnih hidravličnih parametrih, kot je to običaj pri modeliranju toka vode v zasičenem poroznem mediju.

V prispevku smo podali primer numeričnega modeliranja prekrivke na območju Rudnika Žirovski vrh. Pri simulacijah smo uporabili programski paket Hydrus-2D (Šimůnek et al., 1999), ki se je izkazal za zelo učinkovito in uporabniku prijazno orodje. Z modeliranjem smo preverili vplive različnih materialov na komponente odtoka padavinske vode. Ti podatki predstavljajo izhodišče za nadaljnje delo, predvsem za oceno vpliva padavinskih voda na bilanco emisij v izcednih vodah.

Pri uporabi opisanih modelov se srečujemo predvsem s problemi, ki se nanašajo na zanesljivo oceno hidravličnih parametrov, saj je na razploago le malo zanesljivih podatkov, ki bi izhajali iz materialov, ki bodo dejansko uporabljeni pri izvedbi prekrivk.

Uporabo opisanih modelnih orodij priporočamo tudi v fazi izvajanja del in v fazi, ko prekrivke prevzamejo svojo vlogo. Zlasti na odlagališčih, ki imajo potencialno večji vpliv na okolje in predstavljajo večje tveganje, je te modele moč uporabiti za preigravanje različnih scenarijev ter za ekstrapolacijo točkovnih podatkov monitoringa v prostor.

LITERATURA

- (1) Fetter, C.W. (1993). Contaminant hydrogeology. 458 strani, Macmillan Publishing Company, New York.
- (2) Sladič, R., Kvaternik, K. (2000). Rudarski projekt za izvajanje del; Končna ureditev jalovišča hidrometalurške jalovine Boršt. RGS d.d., neobjavljeno arhiv RŽV.
- (3) Šimůnek, J., Šejna, M. & van Genuchten, M.Th. (1998). The HYDRUS-1D Softwar package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, version 2.0. 178 strani, U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California.
- (4) Šimůnek, J., Šejna, M. & van Genuchten, M.Th. (1999). The HYDRUS-2D Softwar package for Simulating the Two-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, version 2.0. 227 strani, U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California.
- (5) van Genuchten, M.Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sciences Society of America Journal, 44, 892 – 898. Madison, Wisconsin.
- (6) Petkovšek, A., Mejes, B. (2003). Zaključno poročilo izvajanja strokovnega nadzora na poskusnih poljih prekrivk jalovišč Boršt in Jazbec. GI-ZRMK, neobjavljeno arhiv RŽV.