

MODELLING OF GROUNDWATER DEIRONIZATION IN AQUIFERS

ŪDENS ATDZELŽOŠANAS MODELĒŠANA PAZEMES ŪDENS HORIZONTAM

A. Spalviņš, J. Šlangens, I. Lāce, T. Juhna, V. Kurpelis

Atslēgas vārdi: ūdens atdzelžošana, datormodelēšana, atdzelžošana pazemes ūdens horizontā, reinfiltrācija

Latvijas artēziskajiem pazemes ūdeņiem dzelzs (Fe) saturs var sasniegt 4 mg/l, kas daudzkārt pārsniedz normu 0.2 mg/l dzēramajam ūdenim. Nepieciešams šādu ūdeni atdzelžot. Latvijā gandrīz nemaz neizmanto videi draudzīgo in situ – atdzelžošanu pazemē tieši ūdeni saturošajā iezī. Ja iezī iesūknē ar skābekli (O_2) bagātinātu ūdeni, norisinās ģeokīmiskais process, kura rezultātā ūdens atbrīvojas no tajā izšķīdušā Fe. Lai labāk izprastu šo procesu, tika veikta tā datormodelēšana. Izmantota programmatūra Groundwater Vistas, kuras komponentes MODFLOW (pazemes ūdens plūsmu modelis) un RT3D (ķīmisko reakciju modelis) veidoja datormodeļa kodolu.

Ievads

Dzelzs anaerobajā pazemes ūdenī atrodas galvenokārt izšķīdušā divvērtīga dzelzs Fe^{2+} formā, bet nonākot virszemē, kontaktā ar skābekli, tas oksidējas un izkrīt nogulsnēs grūti šķīstošu savienojumu veidā. Šī procesa būtība tiek plaši pielietota pazemes ūdens atdzelžošanai. Latvijā dzelzs izdalīšanai tradicionāli visbiežāk izmantotā ir oksidēšanas un sekojošas dzidrināšanas metode.

Alternatīvs pazemes ūdens attīrīšanas paņēmieni ir atdzelžošana pazemes ūdens horizontā, jeb reinfiltrācija, kuras modelēšana ir iekļauta šajā pētījumā.

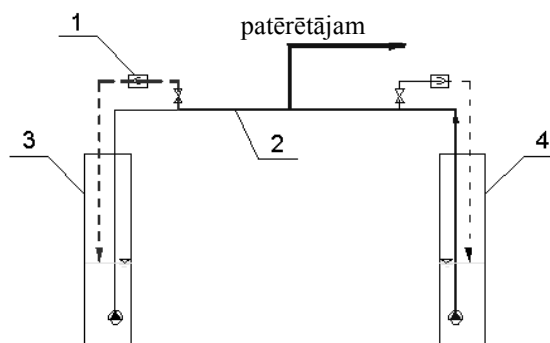
Reinfiltrācijas pielietošana pazemes ūdens atdzelžošanai

Ūdens atdzelžošanai pazemes ūdens horizontā, daļa no iegūtā artēziskā ūdens tiek bagātināta ar skābekli kā oksidētāju un iesūknēta atpakaļ ūdens nesējslānī, kur tiek izveidota aeroba zona. Vēlāk, atsūknējot pazemes ūdeni no šīs zonas, fizikāli ķīmiskā procesa rezultātā, ūdenī esošais dzelzs tiek saistīts uz iezu virsmas grūti šķīstošu savienojumu veidā. Reinfiltrācijas metodes efektivitātes novērtēšanai svarīgs parametrs ir efektivitātes koeficients $e = Q_a / Q_i$, kur Q_a , Q_i – atsūknētā un injicētā ūdens tilpumi. Praksē, $12 > e > 3$ [1].

Reinfiltrāciju parasti ierīko esošā ūdens ieguves sistēmā. Šeit var izšķirt divus gadījumus – kad pieejams tikai viens urbums un , kad pieejami vairāki urbumi.

Aplūkosim otro gadījumu, kura tehniskais aprīkojums parādīts 1. att. Metode paredz katra urbuma darbību ūdens iegūšanas vai iesūknēšanas režīmā. Ūdens atdzelžošanas procesā daļa ūdens, kas izsūknēts no urbuma 4, tiek bagātināts ar skābekli ierīcē 1, un pa caurulēm 2 iesūknēts ūdensnesēja iezos caur urbumu 3. Pēc noteikta ūdens daudzuma Q_i iesūknēšanas, urbums 3 tiek pārslēgts atsūknēšanas režīmā – no urbuma var iegūt tilpumu Q_a atdzelzota ūdens. Daļa no ūdens Q_a (pēc tā bagātināšanas ar skābekli) tiek izmantota iesūknēšanai urbumā 4, utt.

Divu urbumu sistēmai atdzelžošanas metode tika izmēģināta Kokneses ūdensgūtvei [5]. Šīs ūdensgūtves parametri izmantoti datormodelēšanas eksperimentiem.



1. att. Reinfiltrācijas iekārtu principālā shēma divu urbumu gadījumā

Reinfiltrācijas modeļa izveidošana

Literatūrā [1] aprakstītā reinfiltrācijas modelēšanas pieredze saistīta ar datormodeļa PHREEQC-2 [3] izmantošanu. Tas ņem vērā daudzus reinfiltrāciju ietekmējošus faktorus un modelēšanas rezultāti ir tuvi eksperimentāli iegūtajiem datiem. Tomēr modeļa sarežģītība un universālais raksturs ļoti apgrūtina tā lietošanu.

Reinfiltrācijas modelis izveidots uz programmatūras Groundwater Vistas [2] bāzes. Tā paredzēta telpisku pazemes ūdens plūsmu modelēšanai (MODFLOW) un ķīmisko reakciju pētīšanai (modelis RT3D). Abi

minētie modeļi ir minētās programmatūras komponentes.

Atdzelžošanas procesa pētīšanai ir jāizmanto ūdens līmeņu izmaiņu sadalījums s , kuru rada ūdens atsūkšanās/iesūkšanās urbumā. Sadalījumu s [m] spiediena ūdens horizontā ar izotropiem parametriem dod formula [5]:

$$s = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R}{r}, \quad (1)$$

kur

Q – urbuma debits [m^3/dienn];

k – horizonta filtrācijas koeficients [m/dienn];

m – horizonta biezums [m];

R – urbuma ietekmes rādiuss [m],

r – attālums līdz urbumam; ja $R = r$, tad $s = 0$.

Kokneses gadījumā: $R = 1500$ m; $m = 35.0$; $k = 5.5$ m/dienn.

Funkcijas s izolīnijas ir apli, kuru centrs atrodas urbumā. Pētāmās problēmas īpatnība ir mazais attālums $r=R_i$, kas raksturo telpu ap urbumu, kurā notiek atdzelžošanas process. Šo lielumu dod formula:

$$R_i = \sqrt{\frac{Qt}{\pi mn}}, \quad (2)$$

kur

t – atsūkšanās/iesūkšanās laiks [dienn];

n – horizonta porainība.

Piemēram, Koknesei atsūkšanās debits $Q_a = 240$ m^3/dienn ; $n = 0.1$; $t = 7$ dienn; $R_i = 12.3$ m.

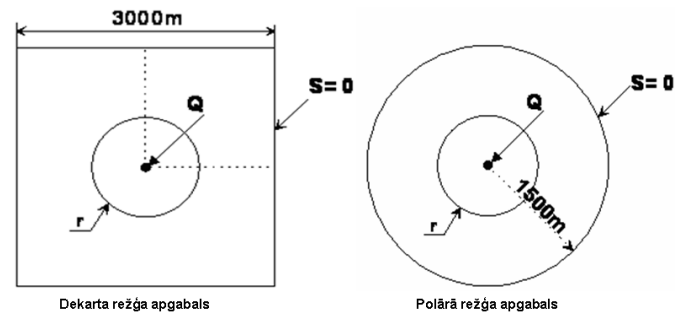
Mazo R_i dēļ, praktiski nekādu ietekmi uz atdzelžošanas procesu pazemē neatstāj citu urbumu darbība un reģionālā ūdens plūsma. Tāpēc formula (1) izmantojama reinfiltrācijas metodes hidroģeoloģiskā režīma aprakstam.

Parasti sadalījumam s lieto divdimensiju (2D) režģa modeļus Dekarta koordinātu sistēmā (x, y). Režģa modelis ir hidroģeoloģiskās problēmas aproksimācija, kuru iegūst ar galīgo starpību metodi. Tradicionāli sistēmā MODFLOW būtu jāizmanto kvadrātveida apgabals ar malas garumu $(2 \times 1500 \text{ m}) = 3000$ m (skat 2. att.). Uz kvadrāta perimetra fiksēti robežnoteikumi $s = 0$, bet tā centrā realizēts urbums ar debitu Q .

Šādu klasisku xy režģi nav lietderīgi lietot atdzelžošanas procesa pētīšanai, jo izmantojot aproksimācijas soli $h = 0.25$ m, kopīgais režģa punktu skaits N būs nepieļaujami liels: $N = (3000/0.25)^2 = 144 \times 10^6$. Bez tam xy - režģis nav ērts radiāla sadalījuma (1) modelēšanai.

Izdevīgāk modeli veidot polārajā koordinātu sistēmā (r, φ). Tad būtu jāizmanto modeļa apgabals riņķa formā, kura rādiuss ir 1500 m (skat. 2. att.). Taču arī šāds

modelis ir pārāk sarežģīts, jo formula (1) faktiski apraksta procesu 1D telpā.



2. att. Modeļa režģa izvēle

Šāda modeļa formulēšanai jāizmanto parciālais diferenciālvienādojums radiālai plūsmai [4]:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial s}{\partial r} \right) = q + \mu \frac{\partial s}{\partial t}, \quad (3)$$

kur

q – plūsmas avots atdzelžošanas procesa modelēšanai;

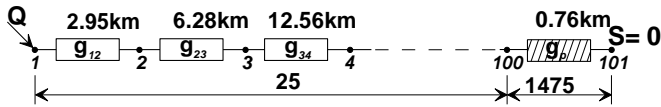
μ – ūdens atdeves koeficients, kuru izmanto laikā mainīgu (nestacionāru) hidroģeoloģisko procesu aprakstam, kuri varētu būt svarīgi īsu atsūkšanās/iesūkšanās ciklu gadījumam.

Ja vienādojuma (3) abas puses reizina ar r , tad iegūst bāzes formulu 1D režģa modeļa veidošanai taisnei, kura modelē visu apli ar telpas leņķi $\varphi = 2\pi$, t.i., šādā modelī saglabājas sākotnējā Q vērtība un $m = \text{const}$. Taču citi modeļa parametri tiek reizināti ar transformācijas konstanti $T = 2\pi r$: $k_r = Tk$, $n_r = Tn$, $\mu_r = T\mu$, $q_r = Tq$. Vajadzība transformēt ūdens horizonta porainību n izriet no faktiskās plūsmas ātruma v formulas:

$$v = \frac{k \text{ grad } s}{n} = \frac{k_r \text{ grad } s}{n_r}, \quad (4)$$

jo transformācijas rezultātā funkcija s , ātrums v un gradients $\text{grad } s = (s_i - s_{i+1})/\Delta_{i,i+1}$ nemainās. Gradianta izteiksmē s_i, s_{i+1} ir funkcijas vērtības taisnes punktos $i, i+1$; $\Delta_{i,i+1}$ – attālums starp šiem punktiem.

Pieņemsim, ka taisnes nogrieznis ar garumu 1500 m aproksimēts ar 1D režģi, kuram pielietota augšminētā parametru transformācija. Aproksimācijas solis $\Delta_{i,i+1} = h = 0.25$ m; urbums ar debitu Q atrodas nogriežņa sākuma punktā (mezglā ar indeksu $i = 1$), nogriežņa beigu punktā ($i = 101$) uzdots robežnoteikums $s = 0$ (skat. 3. att.). Modeļa pirmie 100 mezgli aproksimē 25 m garu posmu; modeļa pēdējais elements aizvieto $(1500 = 25) \text{ m} = 1475$ m garu posmu, kurš veido tās vides ekvivalentu, kurā atdzelžošanas process netiek pētīts.



3. att. 1D- transformētā režģa elementi ($km = 5.5 \times 35.0$)

Izmantojot formulu (1), var iegūt izteiksmi funkcijai $s_{i,i+1}$ starp blakus novietotiem režģa mezgliem i un $i+1$ ($\Delta_{i,i+1} = h$), ja $r = ih$:

$$s_{i,i+1} = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{r+h}{r} \approx \frac{Q}{2\pi km} \cdot \frac{1}{i+0.5} = \frac{Q}{m \cdot k_{i+0.5}}; \quad (5)$$

$$k_{i+0.5} = 2\pi(i+0.5)k, \quad g_{i,i+1} = T_i k m,$$

kur

$k_{i+0.5}$ ir transformētais filtrācijas koeficients, kurš definēts režģa hidrauliskās vadāmības $g_{i,i+1}$ viduspunktam;

T_i – bezdimensionāls transformācijas koeficients;

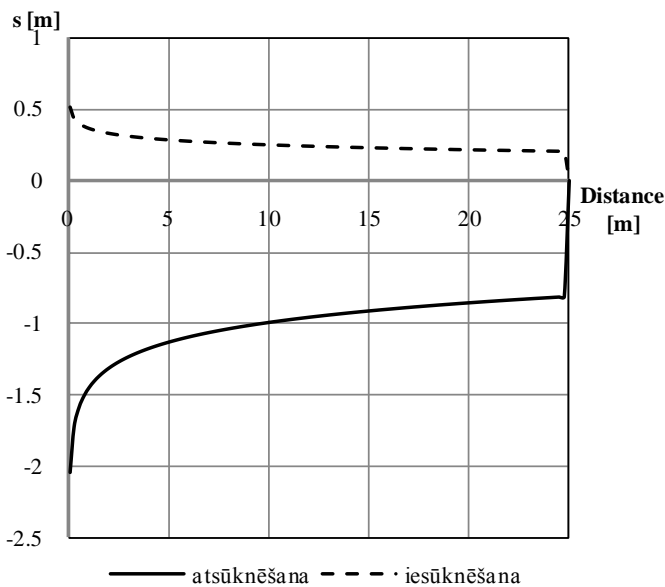
$g_{i,i+1}$ – hidrauliskā vadāmība elementam, kurš savieno mezglus i un $i+1$.

Sistēmā MODFLOW 1D-modeļa transformācijas koeficientus T_i definē šādi:

$$T_1 = 2.93; T_i = 2\pi(i-1),$$

$$\text{ja } i = 2, 3, \dots, 100; T_{101} = 0.76, \quad (6)$$

kur T_1 un T_{101} izteiksmes atšķiras no vispārīgās T_i aprēķina formulas; T_1 kalpo urbuma saskaņošanai ar 1D režģi, bet T_{101} kalpo neizmantojot režģa vides ekvivalenta (vadāmības $g_{100,101} = g_p$) iegūšanai.



4. att. Pazeminājumu/paaugstinājumu s profili atsūkņēšanas/iesūkņēšanas etapiem

Modeļa mezglos tiek aprēķinātas pazeminājuma/paaugstinājuma vērtības s_a un s_i ūdens atsūkņēšanas un iesūkņēšanas etapiem. To grafiki (skat. 4. att.) praktiski sakrīt ar formulas (1) doto rezultātu. Režģa posmā $i = 100 - i = 101$ atrisinājums lēcienveidīgi izmainās līdz vērtībai $s = 0$.

Atsūkņēšanas eksperimentā lieto $Q_a = -240 \text{ m}^3/\text{dienn}$, iesūkņēšanas etapam $Q_i = 60 \text{ m}^3/\text{dienn}$ kā plūsmas robežnoteikumus.

Atdzelzšanas procesa modelēšana

Hidroģeoloģiskais modelis radiālai plūsmai tiek realizēts MODFLOW vidē. Vienkāršākā gadījumā modelis ir stacionārs, taču modificētajā atsūkņēšanas ciklā (skat. tālāk) tiek realizēta nestacionāra q plūsmas funkcija. Tad modelis strādā nestacionārā režīmā.

Elementārais modelis

Kā RT3D testa variants tiek izmantots jau gatavs divu komponentu modelis momentānai reakcijai. Kā pirmā komponente kalpo skābeklis O_2 , bet kā otrā - dzelzs Fe. Transporta modelī jādefinē sākuma koncentrācijas C_{O_2} , C_{Fe} un reakcijas stohiometriskā konstante, kuras vērtība ir 7.0. Iesūkņēšanas ciklam $C_{O_2} = 0$, $C_{Fe} = 3.0 \text{ mg/l}$. Skābekļa koncentrācija injicētajam ūdenim $C_{O_2} = 3.0$. Ja $Q_i = 60 \text{ m}^3/\text{dienn}$, tad formula (2) prognozē, ka injicētā ūdens fronte 6 diennaktīs pārvarēs attālumu $R_t = 5.7 \text{ m}$. Var sagaidīt, ka tikai šajā modeļa sākuma posmā notiek ūdens atdzelzšana. Nolūkā iegūt informāciju par laikā mainīgajām koncentrācijām C_{O_2} un C_{Fe} , modelī ir izveidoti 3 virtuāli novērošanas punkti mezglos: $i = 1, i = 12, i = 23$. Šie punkti atbilst aktīvā posma R_t sākumam, vidum un beigām. Izvēlētajiem laika momentiem var vizualizēt koncentrāciju profilus visai modeļa taisnei. Transporta modeļa laika solis ir 0.1 dienn. Aprēķina metode injekcijas ciklam HMOC (Hybrid method of characteristics), atsūkņēšanas ciklam FD (Finite Difference).

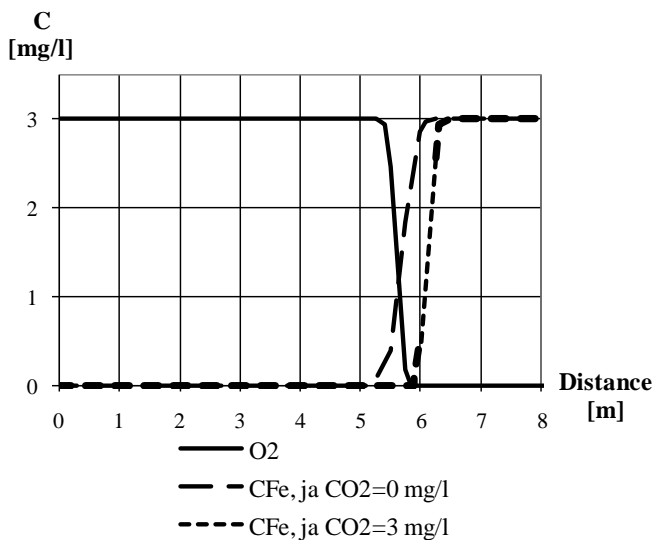
Ar RT3D sistēmas palīdzību vispirms mēģinājām rast atbildes uz šādiem jautājumiem:

- vai transformēta 1D modelī lielums R_t atbilst formulas (2) prognozei iesūkņēšanas etapam ($Q = 60 \text{ m}^3/\text{dienn}$; $t = 6 \text{ dienn}$; $R_t = 5.72 \text{ m}$;
- kā notiek $O_2 \leftrightarrow Fe$ reakcija iesūkņēšanas etapā;
- kā notiek $O_2 \leftrightarrow Fe$ reakcija atsūkņēšanas etapā un kāds ir cikla lietderības koeficients e .

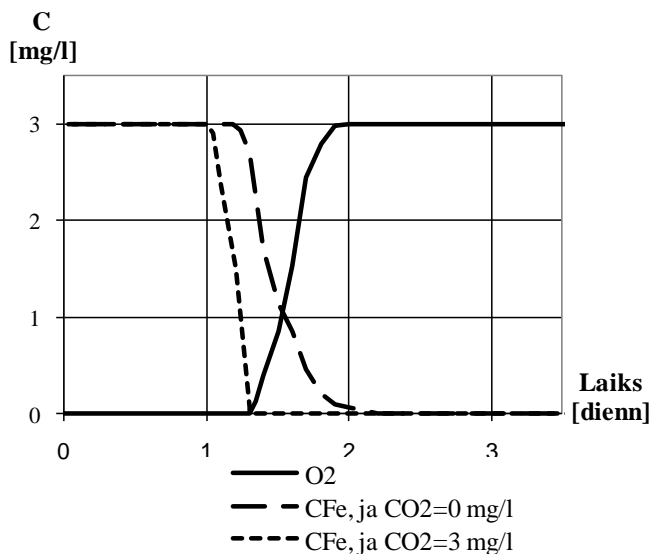
Ja iesūkņēšanas etapā izmanto ūdeni ar $C_{O_2} = 0$, tad iegūst C_{Fe} profilu, kurš parādīts 5. att. Tā pozīcija labi atbilst lielumam $R_t = 5.7 \text{ m}$. Koncentrācijas C_{Fe} hidrogrāfs punktā MW2 dots 6. att.

Ja iesūknēšanai izmanto ūdeni ar $C_{O_2} = 3.0$ mg/l, tad C_{Fe} profils (5. att.) nedaudz nobīdās pa labi attiecībā pret to profilu, kurš aprēķināts versijai $C_{O_2} = 0$. No 5. att. var secināt, ka C_{O_2} un C_{Fe} profili saskaras punktā, kurš praktiski sakrīt ar $R_t = 5.7$ m. Hidrogrāfi C_{Fe} un C_{O_2} punktā MW2 doti 6. att.

Salīdzinot ar $C_{O_2} = 0$ variantu, hidrogrāfs C_{Fe} mainās straujāk un tā koncentrācija sāk izmainīties agrāk. Hidrogrāfi C_{Fe} un C_{O_2} saskaras laika punktā ar koordināti $t = 1.3$ dienn. Minētās atšķirības variantiem $C_{O_2} = 0$ un $C_{O_2} = 3.0$ mg/l var skaidrot ar ķīmiskās reakcijas ietekmi. Jāatzīmē, ka izmantotais reakcijas modelis neievēro sorbciju, kuras dēļ Fe un O_2 frontes iesūknēšanas etapa laikā atdalīsies un tāpēc reakcija $O_2 \leftrightarrow Fe$ ir iespējama tikai etapa sākumā. Sorbcijas procesā daļa O_2 tiek izlietota aktīvas plēvītes radīšanai uz poru telpas virsmas, un tāpēc O_2 frontes kustības ātrums būs mazāks par tīra ūdens ($C_{O_2} = 0$) kustības ātrumu.



5. att. Profili koncentrācijām pēc 6 ūdens iesūknēšanas diennaktīm

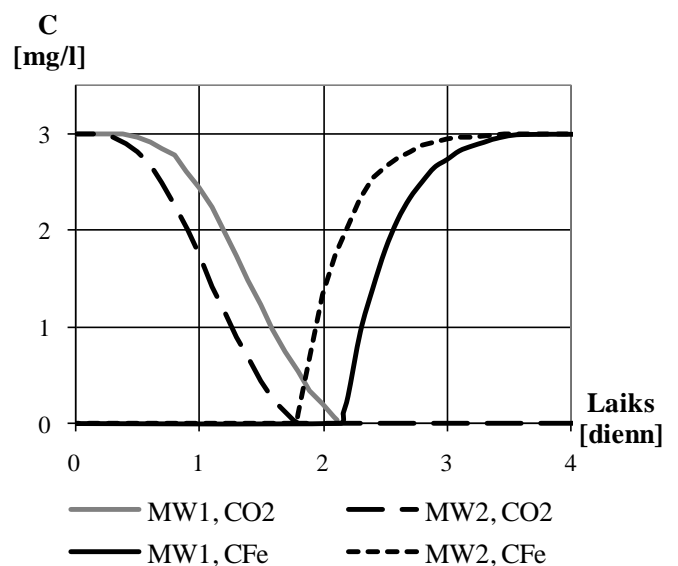


6. att. Iesūknēšanas stadijas koncentrāciju hidrogrāfi punktā MW2 (3 m no urbuma)

Atsūknēšanas procesam profili C_{O_2} un C_{Fe} , kuri iegūti kā iesūknēšanas etapu rezultāts, tiek izmantoti kā koncentrāciju sākuma sadalījums vielām Fe un O_2 .

Atsūknēšanas stadijas hidrogrāfi C_{O_2} un C_{Fe} punktos MW1 un MW2 doti 7. att. Redzams, ka urbumā MW1 Fe parādās jau pēc 2.1 diennakts. Hidrogrāfu izstieptā forma daļēji skaidrojama ar izmantotās FD metodes ievērojamo skaitlisko dispersiju, taču tikai šī metode deva stabilus rezultātus atsūknēšanas etapam.

Procesa lietderību nosaka attiecība $e = 2.1 \times 240 / 6 \times 60 = 1.4$, t.i., atsūknēta atdzelžotā ūdens tilpums tikai nedaudz pārsniedz iesūknētā ūdens tilpumu. Šis rezultāts liecina, ka ar elementāro ātrās reakcijas modeli nevar ticami skaidrot atdzelžošanas procesu.



7. att. Atsūknēšanas stadijas koncentrāciju hidrogrāfi punktos MW1 un MW2 (0.25 m un 3.0 m attālumā no urbuma)

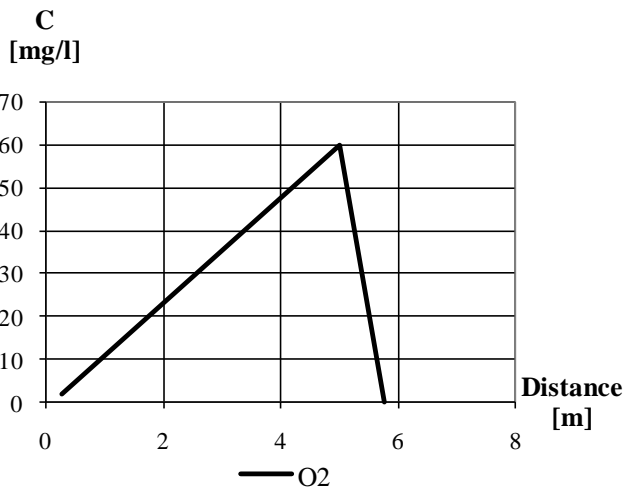
Modelis ar aktīvās plēvītes ekvivalentu

Papildinātā skaitliskā eksperimentā modelī ievēdām aktīvās virsmas ekvivalentu q distancei R_t (skat. 8. att.). Šis ekvivalents realizēts ar 23 plūsmas avotiem q_i . Katra avota debīts ir 0.1 m³/dienn, avotu koncentrācija C_{O_2} atbilst 8. att. sadalījumam. Avotam q_{20} , kurš atrodas 5 metru attālumā no bāzes urbuma: $C_{O_2} = 60$ mg/l. Šo sadalījumu veidojot, ņemta vērā jau minētā sakarība $q_i = T_i q$. Kopīgais debīts $0.1 \times 23 = 2.3$ m³/dienn praktiski nemaina s funkciju, jo urbuma atsūknēšanas debīts $Q_a = 240 \gg 2.3$ m³/dienn. Avotu q kopa modelē Fe reakciju ar aktīvo slāni atsūknēšanas etapā. Pagaidām izmantota stohiometriskā konstante 7, taču visticamākais, ka šim procesam jāizmanto cita konstantes vērtība.

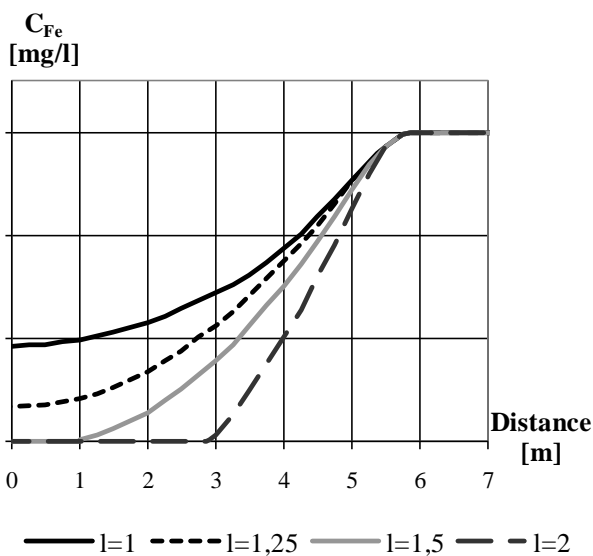
Modelētie C_{Fe} profili pie dažādām avotu intensitātēm ($l = 1.0; 1.25; 1.50; 2.0$) pēc 8 dienām

redzami 9. att. Ja $l = 1.0$ un 1.25 , tad pēc 2.6 un 3 dienām punktā MW1 parādās C_{Fe} (skat. 10. att.), kuras vērtība sasniedz stabilus līmeņus $C_{Fe} = 0.92$ mg/l un $C_{Fe} = 0.44$ mg/l. Ja $l = 1.5$ un 2.0 , tad C_{Fe} punktā MW1 neparādās (skat.9. att.).

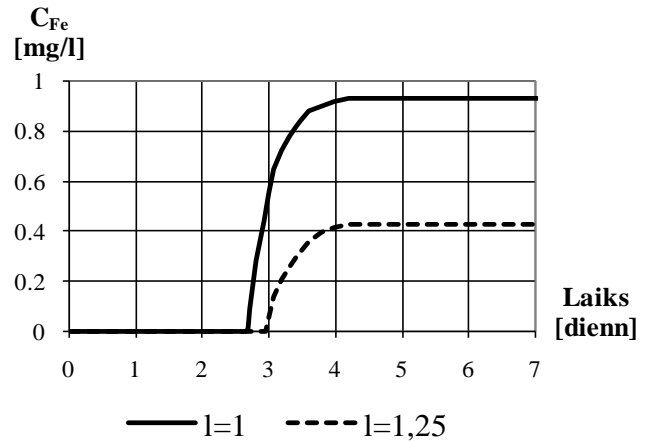
Eksperiments ar papildus avotu kopu q ir sekmīgs, jo parāda, ka elementāro divu komponentu reakcijas modeli ir iespējams būtiski papildināt. Tomēr pieņēmums, ka aktīvā kārtiņa (avotu kopa q) eksistē visu laiku, nav pareizs. Šī iemesla dēļ bija jāpāriet uz nestacionāru q modeli, kurš ņem vērā, ka aktīvā kārtiņa ar laiku noārdās, ja tā netiek atjaunota iesūkņēšanas etapā.



8. att. Modeļa modificēšana nolūkā ievērot aktīvo plēvīti. Papildus O_2 avotu q un to intensitātes sadalījums adsorbējošā slāņa imitācijai



9. att. Atsūkņēšanas stadijas Fe koncentrācijas profili pēc 8 dienn pie dažādām papildus O_2 avotu intensitātēm l (1,0; 1,25; 1,5; 2,0)

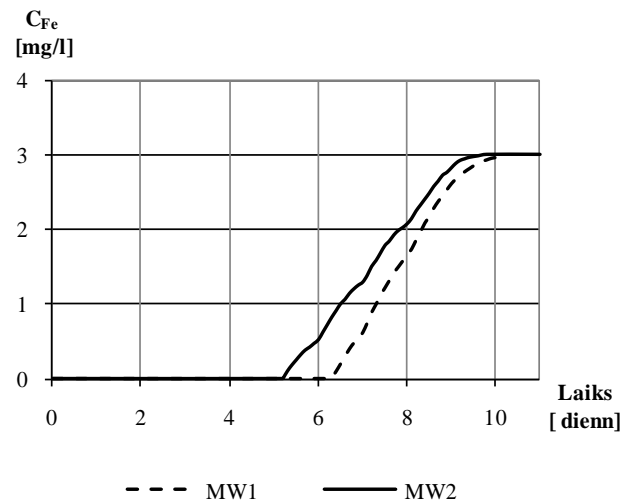


10. att. Atsūkņēšanas stadijas dzelzs koncentrācijas hidrogrāfi punktā MW1 (0.25 m no urbuma) pie papildus skābekļa avotu intensitātēm 1,0 un 1,25

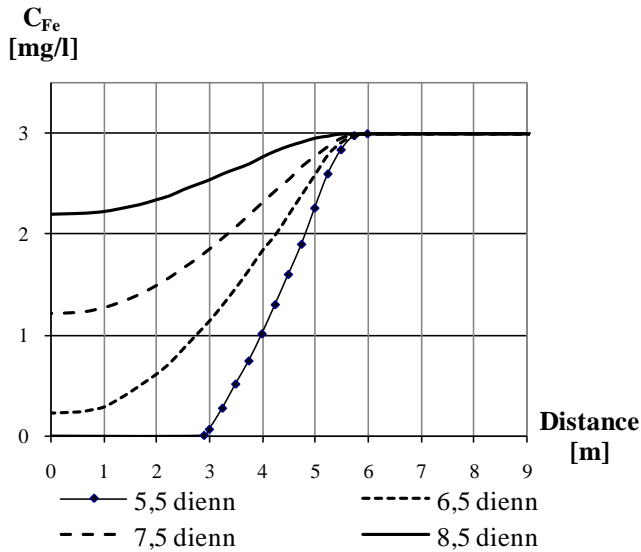
Nestacionārais modelis

Nestacionārā režīma eksperimentam, kā bāzes variants tika ņemta avotu intensitāte $l = 2.0$. Desmit dienu garš modelēšanas intervāls tika sadalīts sešos laika posmos ar dilstošu avota q intensitāti pēc pirmajām 5 diennaktīm: 6.dienn= 1.0; 7.dienn = 0.75; 8.dienn = 0.5; 9.dienn = 0.25; 10.dienn = 0.0.

Koncentrāciju C_{Fe} hidrogrāfi punktos MW1 un MW2 parādīti 11. att. Pēc $t = 6.3$ dienn atsūkņēšanas urbumā (MW1) parādās Fe. Pēc $t = 10$ dienn $C_{Fe} \sim 3.0$ mg/l, t.i., modelis ievēro aktīvās plēvītes izžušanas faktu. Profili C_{Fe} pēc 5.5; 6.5; 7.5; un 8.5 dienn parādīti 12. att. Te redzams, ka samazinoties q avotu intensitātei, C_{Fe} palielinās. Eksperiments pierāda, ka nestacionārie q avoti jau pareizāk ataino atdzelžošanas procesu. Diemžēl, pagaidām mūsu rīcībā nav q avotu intensitātes vadības algoritma, kurš būtu balstīts uz dziļākām teorētiskām atziņām par aktīvās plēvītes izveidošanos un noārdīšanos.



11. att. C_{Fe} hidrogrāfi atsūkņēšanas stadijā punktos MW1 un MW2, ja skābekļa avoti ir nestacionāri



12.att. Atsūkņēšanas stadijas C_{Fe} profili dažādām dienām no procesa sākuma, ja O_2 avoti ir nestacionāri

Secinājumi

1. Izveidots 1D reinfiltrācijas modelis MODFLOW vidē sistēmā Groundwater Vistas;
2. Izmantota modelējošā programma RT3D (Groundwater Vistas sistēmā) atdzelžošanas procesa pētīšanai;
3. Konstatēts, ka atdzelžošanas procesā galvenā loma ir aktīvai plēvītei uz poru telpas virsas, tiešajai reakcijai starp Fe un O_2 ir otršķirīga nozīme;
4. Modelēta konstantas un nestacionāras aktīvās plēvītes ekvivalenta ietekme;
5. Modeli papildinot, to var izmantot reālas atdzelžošanas sistēmas darbības prognozēšanai.

Literatūras saraksts

1. Appelo C.A.J., Drijver B., Hekkenberg R., de Joughe M. Modeling In Situ Iron Removal from Ground Water. – *Ground Water*, 1999. Vol.37(6), p.811-817.
2. Environmental Simulations, Inc. (2004) Groundwater Vistas. Guide to Using.
3. Parkhurst D.L., Appelo C.A.J. User's Guide to PHREEQC-2, On-Line. http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/html/final.html (20.06.2009.).
4. Овчинников И.К. / Теория поля / Издательство НЕДРА, Москва, 1979, 352 стр.
5. Kurpelis V. Ūdens atdzelžošanas modelēšana pazemes ūdens horizontā. Maģistra darbs. Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga, 2009, 59 lpp.

Aivars Spalvins, Dr.sc.ing.

Janis Slangens, Dr.sc.ing.

Inta Lace, M.sc.ing.

Riga Technical University, Faculty of Computer Science and Information Technology
Environment Modelling Centre

Address: 1/4 Meza str., Riga, LV-1048, Latvia

Phone: +371 7089511

E-mail: emc@cs.rtu.lv

Talis Juhna, Dr.sc.ing.,

Vitalijs Kurpelis, M. sc. ing.

Riga Technical University, Faculty of Building and Civil Engineering

Department of Water Engineering and Technology

Address: 16/20 Azenes str., Riga, LV-1048, Latvia

Phone: +371 7615191

E-mail: talisj@bf.rtu.lv

A. Spalvins, J. Slangens, I. Lace, T. Juhna, V. Kurpelis.

Modelling of groundwater deironization in aquifers

For groundwater in Latvia, the iron (Fe) content may reach 4 mg/l that considerably exceeds the standard value 0.2 mg/l allowed for drinking water. Iron removal from groundwater is necessary. In Latvia, rather rarely, the environment friendly *in situ* method is used for iron removal within aquifer where water enriched with oxygen (O_2) is injected. Then geochemical reaction results in removal of dissolved iron from groundwater. In order to investigate this process, its computer simulation was carried out. The program GROUNDWATER VISTAS was applied. The model contained the MODFLOW system (model of groundwater flows) and RT3D module (simulation of chemical reactions).

А. Спалвиньш, Я. Шланген, И. Лаце, Т. Юхна, В. Курпелис. Моделирование метода удаления железа из подземной воды в водоносных горизонтах

Содержание железа (Fe) в подземных водах Латвии может достигать 4 мг/л, что многократно превышает норму 0.2 мг/л для питьевой воды. Поэтому необходимо это железо удалить. В Латвии очень редко применяется дружественный для окружающей среды *in situ* метод, когда в горизонт закачивается вода обогащенная кислородом (O_2). В результате геохимической реакции из воды удаляется растворенное в ней железо. С целью изучения этого процесса было проведено компьютерное моделирование. Использовалась программа GROUNDWATER VISTAS, чьи компоненты MODFLOW (модель потока подземной воды) и RT3D (модель химической реакции) образовали ядро этой модели.