

*Alise Babre, Aija Dēliņa*  
*Latvijas Universitāte, Latvija*

## **ŪDENS INFILTRĒŠANĀS APSTĀKĻU NOTEIKŠANA AKTĪVĀS ŪDENS APMAIŅAS ZONAI LATVIJĀ, IZMANTOJOT SKĀBEKĻA IZOTOPU SASTĀVA ANALĪZI**

### **Abstract.**

#### **Application of Oxygen isotopes in determination of formation conditions within active water exchange zone in Latvia territory**

Stable isotopes may serve as natural tracers and can indicate water infiltration conditions and indirectly indicate the time of infiltration. Therefore, this study attempts to determine conditions in which water in different aquifers of Latvia territory were infiltrated to establish water residence time in underground, thus attempting to conduct mixing places between groundwater of different origin. Object of this study is active water exchange zone. During the study 37 samples for oxygen stable isotopes was taken for analysis from sample places distributed in the whole Latvian territory. Ten different aquifers were sampled ranging from 7 to 132 meters below sea level. Additional 19 new CFCs data from depths up to 84 m.b.s.l., together, with data from previous researches was used to verify hypotheses set from isotope data. Oxygen-18 data shows that values in active exchange zone vary between -9.5‰ and -13.1‰ (VSMOW) with the mean weighted values approximately -11.1‰  $\delta^{18}\text{O}$ . Most of wells were samples were taken for CFC's analysis groundwater duration time since infiltration is approximately 35 - 45 years. Further research should and will be maintained.

*Atslēgas vārdi: stabilie izotopi, CFC, Baltijas artēziskais baseins, pazemes ūdeņi*

### **Ievads**

Šis pētījums veikts pazemes ūdeņu aktīvas ūdens apmaiņas zonas veidošanās un aprites likumsakarību noskaidrošanai, pamatojoties uz skābekļa stabilo izotopu un hlortlorogļūdeņražu analīžu rezultātiem. Iepriekš veiktajos pētījumos par pazemes ūdens resursu papildināšanās un plūsmas īpatnībām maz pievērsta uzmanība pazemes ūdens aprites likumsakarību un ūdens uzturēšanās ilguma horizontos noskaidrošanai. Pētījumā iegūtie rezultāti palīdzēs plānot ūdens ieguves apjomus un ķīmiskā piesārņojuma izplatību gan horizonta ietvaros, gan to starpā.

Plaši skābekļa izotopu pētījumi pazemes ūdeņos veikti arī citās Baltijas artēziskā baseina teritorijās, galvenokārt, Lietuvā un Igaunijā. Latvijā līdz šim tikuši veikti stabilo izotopu mērījumi nokrišņu ūdeņos Rīgas meteostacijā laikposmā no 1980 -1989 gadiem, savukārt CFC pētījumi 2002.–2005. gadā lauksaimniecības ietekmes uz seklo pazemes ūdeņu horizonta – gruntsūdeņu kvalitāti, GEUS un LVĢMC kopprojekta ietvaros. Apjomīgā pazemes ūdeņu ekspluatācija ir pazeminājusi pazemes ūdens līmeņus vairākās pilsētās - Rīgā, Liepājā un Jelgavā, kas var būtiski ietekmēt arī dzeramā ūdens kvalitāti, jo mainās gan filtrācijas ātrumi, gan pieplūstošā ūdens avoti pazemes ūdens horizontos, kuri tiek intensīvāk izmantoti.

## **Pētījumu teritorijas hidroģeoloģiskā uzbūve**

Latvijas pazemes ūdeņi ietilpst Baltijas artēziska baseina centrālajā daļā. Pazemes ūdeņu galvenie resursi atrodas ūdeņi labi vadošo slāņu porās un plaisās. Pēc ūdens apmaiņas ātruma, hidroģeoloģisko griezumu Latvijā veido trīs hidroģeoloģiskās zonas, t.i., aktīvas ūdens apmaiņas, palēninātas un stagnantās ūdens apmaiņas zonas (Levins u.c. 1998: 5). Aktīvo ūdens apmaiņas zonu veido pazemes ūdeņi, kas atrodas no zemes virsas līdz pirmajam reģionālajam sprostslnānim. Latvijā to veido vidusdevona Narvas svītas mazcaurlaidīgie nogulumu. Aktīvās ūdens apmaiņas zonas biezums Latvijas teritorijā ir mainīgs un tas svārstās no dažiem metriem Latvijas ziemeļu daļā, līdz aptuveni 600 metriem Latvijas DR daļā (Levins u.c. 1998: 7).

Hidroģeoloģiskā zona iedalīta 14 ūdens horizontos, kas apvienoti sešos pazemes ūdens kompleksos. Kvartāra un Arukilas-Amatas ūdens kompleksi, sakarā ar to plašo izplatību gandrīz visā Latvijas teritorijā un ievērojamo ūdens caurlaidīgo slāņu biezumu, tiek visplašāk izmantoti centralizētajā un decentralizētajā ūdens apgādē.

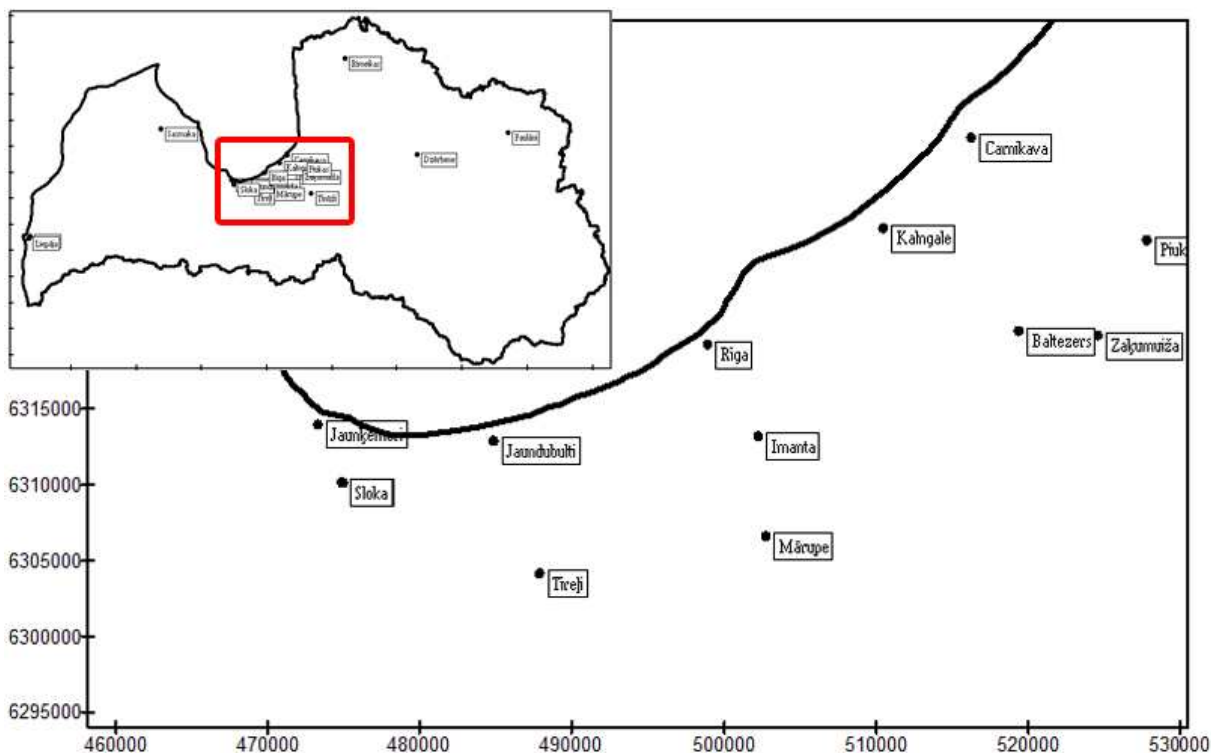
Aktīvās ūdens apmaiņas zona ir galvenais dzeramā ūdens avots Latvijā, tajā dominē hidroģēnkarbonātu kalcija tipa saldūdeņi un sulfātu tipa saldūdeņi, kuru sausne nepārsniedz 0.1-0.45 g/l, lai gan atsevišķos iecirkņos sastopami arī sulfātu kalcija un hlorīdu nātrija iesāļūdeņi, kuru kopējā mineralizācija ir lielāka un sasniedz attiecīgi 3 - 3.6 g/l (Levins u.c. 1998: 8).

## **Materiāls un Metodes**

Pētījuma lauka darbi norisinājušies 2010. gada rudens un ziemas periodā, kuru ietvaros iegūti 37 paraugi Latvijas teritorijā. Paraugoti, galvenokārt, pazemes ūdens monitoringa posteņu urbumi, veicot to atsūkņēšanu, kā arī atsevišķi ekspluatācijas urbumi. Paraugu izkliede pētījumu teritorijā ir nevienmērīga un lielākā daļa paraugoto urbumu atrodas Rīgas rajonā (1. attēls). Veiktas 37 skābekļa izotopu analīzes, kā arī 19 vietās ievākti paraugi CFC analīžu veikšanai. Papildus izmantoti skābekļa izotopu analīžu rezultāti par 6 paraugošanas vietām Latvijā, kas publicēti Mokrik et al. 2009 :887 pētījumā.

Stabilie izotopi ir atomi, kuru kodols satur to pašu protonu daudzumu, bet dažādu neitronu skaitu, kas nosaka to masas atšķirības, kas tādējādi ietekmē to sastopamību dažādos dabiskos un mākslīgos materiālos (Hoefs 2009: 6). Šīs atšķirības, kā arī plašā elementa sastopamība dabā nosaka skābekļa izotopu plašo pielietojamību pazemes ūdeņu pētījumos. Attiecība starp vieglāko un smagāko skābekļa izotopu tiek izteikta promilēs attiecībā pret okeāna ūdeni, kas ir vispārpieņemts standarts stabilo izotopu mērījumiem ūdens vidē.

Tādejādi iespējams secināt par pētāmā pazemes ūdens objekta veidošanās apstākļiem, galvenokārt, klimatiskajiem; virszemes ūdens objektu vai citu ūdens horizontu ietekmi, kā arī, kombinācijā ar citam metodēm, par ūdens uzturēšanās laiku pazemē (Clark *et al.* 1997: ).



1. attēls. **Paraugošanas posteņu telpiskais novietojums**

Salīdzinoši jaunu, t.i., 50 – 60 gadus vecu, pazemes ūdeņu datēšanā tiek izmantota hlrorfluorogļūdeņražu (CFC) koncentrāciju noteikšana pazemes ūdeņos. CFC ir stabili sintētiski organiskie savienojumi, kuri tiek izmantoti dzesēšanas sistēmās kopš 1930-tiem gadiem. CFC savienojumus ir iespējams izmantot jaunu pazemes ūdeņu datēšanā, jo: (1) CFC koncentrācija atmosfērā pēdējo 50-60 gadu laikā ir rekonstruēta; (2) šo savienojumu šķīdība ūdenī ir zināma un (3) to koncentrācijas atmosfērā un pazemes ūdeņos ir pietiekami augstas, lai būtu izmērāmas (Kresic 2009). Nosakot CFC-11 (trihlorfluormetāns  $CFCl_3$ ), CFC-12 (dihlorodifluormetāns  $CF_2Cl_2$ ) un CFC-113 (trihlortrifluoretāns  $C_2F_3Cl_3$ ) koncentrāciju pazemes ūdeņos, un salīdzinot to ar references līknēm par šo savienojumu koncentrāciju atmosfērā, ir iespējams noteikt laiku, kad šie savienojumi ir nonākuši pazemē kopā ar infiltrācijas ūdeņiem.

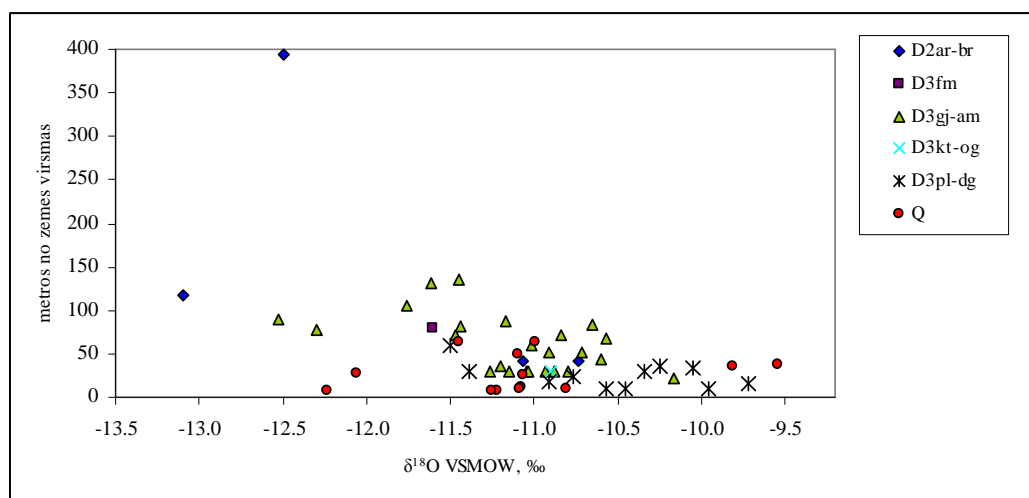
Skābekļa izotopu analīzes veiktas TTU Ģeoloģijas institūta Izotopu – paleoklimatoloģijas nodaļas masas spektrometra laboratorijā, izmantojot Thermo Fisher Scientific firmas Delta V Advantage masas spektrometru, rezultātu analīzi veica laboratorijas eksperts Tõnu Martma. CFC analīzes veiktas GEUS CFC laboratorijā pēc Busenberga un

Plumera aprakstītās metodes, izmantojot gāzu hromatogrāfu ar EDC detektoru. Rezultātu analīzi veica laboratorijas eksperts Troels Laier.

## Rezultāti un Diskusija

Skābekļa-18 novērojumi nokrišņos Latvijas teritorijā veikti laika periodā no 1980. līdz 1989. gadam. Meteoroloģiskajā stacijā Rīgā, vidējā svērtā vērtība daudzgadu periodā nokrišņos ir  $-9.7 \delta^{18}\text{O}\text{‰}$ . Tāpat ir novērojams, ka samazināts skābekļa-18 saturs ir ziemas un agra pavasara mēnešos, bet paaugstinātas vērtības vasaras mēnešos (IAEA/WMO, 2006). Nokrišņu gada svārstības ir ievērojamas pa mēnešu vidējām svērtajām vērtībām  $\delta^{18}\text{O}$  janvāri vidēji tas ir  $-12.32\text{‰}$ , bet jūnija nokrišņos ir vismazāk samazinātas vērtības, t.i., aptuveni  $-7.63\text{‰}$ .

Pazemes ūdeņu aktīvas ūdens apmaiņas zonā noteiktas skābekļa-18 vērtības ir robežās no  $-9.5$  līdz  $-13.1 \delta^{18}\text{O}\text{‰}$ . Vidēji skābekļa-18 saturs ir  $-11.1 \delta^{18}\text{O}\text{‰}$ , kas ievērojami atšķiras no vidējām svērtajām daudzgadu nokrišņu vērtībām. Tas varētu būt skaidrojams ar pazemes ūdens papildināšanās apstākļiem, jo pazemes ūdens barošanās visintensīvāk norisinās pavasara mēnešos, kad arī nokrišņos vērojamas zemākas  $\delta^{18}\text{O}$  vērtības. Būtiska ietekme ir arī horizonta ieguluma dziļumam, kā arī lokālai ģeoloģiskajai uzbūvei.



### 2. attēls. $\delta^{18}\text{O}$ vērtības dažādos pazemes ūdens horizontos un kompleksos

Vērojams, ka  $\delta^{18}\text{O}$  saturs samazinās pieaugot parauga ņemšanas dziļumam, jo visos paraugos, kas ņemti dziļāk par 100 m, vērtības ir zemākas par  $-11.5\text{‰}$ . Atšķirīgs ir arī vērtību sadalījums pa pazemes ūdens horizontiem (2. attēls). Lielākā vērtību amplitūda ir kvartāra pazemes ūdeņos, kur  $\delta^{18}\text{O}$  vērtības svārstās no  $-9.5$  līdz  $-12.2\text{‰}$ , vidēji veidojot  $-11.1\text{‰}$ . Raksturīgi, ka augstākās un zemākās vērtības lokalizējas tieši Rīgas rajonā (1. tabula). Minimālās vērtības,  $-12.1\text{‰}$  un  $-12.2\text{‰}$ , konstatētas Jaundubultu un Carnikavas paraugos, savukārt augstākās vērtības kvartāra horizontā konstatētas Baltezera ūdensgūtnē, attiecīgi  $-9.5\text{‰}$  un  $-9.8\text{‰}$ , ko iespējams skaidrot ar pazemes ūdens mākslīgo papildināšanu šajā iecirknī, t.i., salīdzinoši labo teritorijas apūdeņošanu no virszemes ūdens objektiem.

D<sub>3</sub>pl-dg horizontiem raksturīgas augstākas δ<sup>18</sup>O vērtības, kur tās ir robežās no -9.7‰ līdz 11.5‰, bet vidēji sastāda -10,6‰. Minimālās vērtības konstatētas Jaundubultu un Mārupes postenī, attiecīgi -11.4‰ un -11.5‰, kur salīdzinoši dziļāk iegul paraugojamie horizonti. Savukārt, maksimālās vērtības fiksētas Slokas un Jaunķemeru posteņos, t.i., -9.7‰ un -10.0‰, kur paraugojamie horizonti atrodas seklāk.

Dziļāk iegulošajos D<sub>3</sub>gj-am horizontos vērtību amplitūda arī ir liela, tā variē robežās no -10.2 – 12.5‰, savukārt, vidējās vērtības atbilst -11.1‰. Gaujas un Amatas horizontos minimālās vērtības ir Rīgas un Carnikavas urbemos, bet mazāk negatīvas vērtības konstatētas Sasmaka un Piukas posteņos.

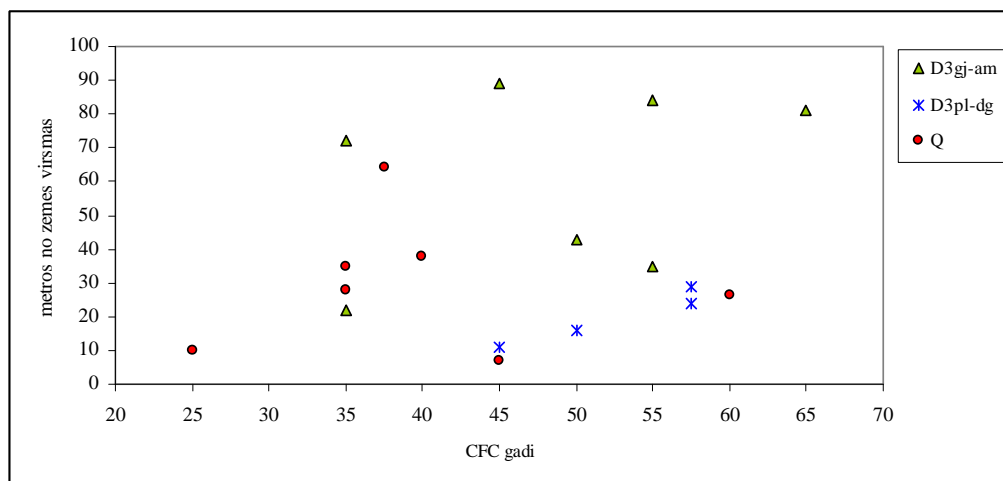
Visdziļāk iegulošajos vidusdevona Arukilas un Burnieku (D<sub>2</sub>ar-br) ūdens horizontos raksturīgs samazināts skābekļa-18 saturs, kas vidēji ir -11.9‰ svārstoties robežās no -10.7‰ līdz 13.1‰. Horizonta ieguluma dziļuma ietekme šajos horizontos ir vizizteiktākā, minimālās vērtības ir Rīgā, kas ir arī minimālās Latvijas pazemes ūdeņos konstatētās, t.i., -13.1‰, bet maksimālās Rimeiku postenī, kur tas atrodas tieši zem morēnas nogulumiem un veido pirmo pamatiežu ūdens horizontu šajā teritorijā.

Tabula. 1

**Paraugu ievākšanas vietas un noteiktās δ<sup>18</sup>O vērtības un CFC gadi** (paraugi 1-37 ievākti projekta „PUMA” ietvaros; paraugi 37 - 43 Mokrik et al., 2009: 887)

Vieta	Parauga Nr	Horizonts	δ18O	CFC, gadi	Vieta	Parauga Nr	Horizonts	δ18O	CFC, gadi
Jaunķemeri	1	D3slp	-10.0		Zaķumuiža	23	D3gj	-10.83	
Tīreļi	2	D3slp	-10.1		Zaķumuiža	24	D3gj	-10.71	
Tīreļi	3	D3am	-11.4	> 60	Zaķumuiža	25	Q	-11.06	~60
Tīreļi	4	D3gj	-11.6		Rīga	26	D3gj	-12.29	
Baltezers	5	Q	-10.8		Sloka	27	D3gj	-11.45	
Baltezers	6	Q	-9.5	30-50	Sloka	28	D3gj	-11.47	~35
Baltezers	7	D3gj	-10.6		Tīnūži	29	D3pl-slp	-10.76	55-60
Baltezers	8	D3gj	-11.8		Tīnūži	30	D3dg	-10.57	~45
Baltezers	9	Q	-9.8	30-40	Piukas	31	D3gj	-10.60	~50
Sloka	10	D3am	-11.2	50-60	Piukas	32	D3gj	-10.66	~55
Sloka	11	D3pl	-9.7	40-60	Piukas	33	Q	-11.07	~55
Carnikava	12	D3gj	-12.5	40-50	Imanta	34	D3pl	-10.25	
Carnikava	13	Q	-12.1	~35	Imanta	35	D3am	-10.91	
Kalngale	14	Q	-11.0	35-40	Imanta	36	D3gj	-11.17	
Kalngale	15	Q	-11.5		Sasmaka	37	D3gj-am	-10.8	
Jaundubulti	16	D3pl	-11.4	55-60	Dzērbene	38	Q	-11.1	
Jaundubulti	17	Q	-12.2	~45	Mārupe	39	D3pl-dg	-11.5	
Rimeikas	18	Q	-11.2		Liepāja	40	D3fm	-11.6	
Rimeikas	19	D2br	-11.1		Liepāja	41	D2ar-br	-12.5	
Rimeikas	20	D2br	-10.74		Rīga	42	D2ar-br	-13.1	
Sasmaka	21	D3gj	-10.17	~35	Paulāni	43	D3kt-og	-10.9	
Sasmaka	22	D3gj	-11.02						

Kā redzams 3. attēlā, ūdens uzturēšanās laiks horizontos ir ļoti mainīgs un daudzķārt, neskatoties uz ievērojamo horizonta ieguluma dziļumu pazemes ūdens aprites ātrums ir ievērojams. Kā rāda rezultāti, paraugos, kas ievākti dziļāk par 70 metriem ūdens vecums nav jaunāks par 35 gadiem, tajā pat laikā ir salīdzinoši sekli urbumi, tikai 7m, kurā konstatēts salīdzinoši vecāks ūdens, kuru noteiktais vecums ir aptuveni 45 gadi.



3. attēls. Pazemes ūdens infiltrācijas vecums pēc CFC datiem dažādos pazemes ūdens horizontos un kompleksos

Likumsakarības vai korelācija starp ūdens noteikto vecumu un skābekļa-18 vērtībām nav novērota. Skābekļa-18 vērtības vietās, kur noteikts ūdens uzturēšanās vecums, svārstās robežās no -9.5 līdz -12.5 ‰.

### Secinājumi

Aktīvās ūdens apmaiņas zonā Latvijā pazemes ūdens skābekļa izotopu saturs ir novērots nedaudz atšķirīgs un vidēji samazināt pret nokrišņu monitoringa datiem, līdzīga situācija ir novērota arī citviet Baltijas artēziskā baseina teritorijā (Raidla et al 2008: 229).

Pētījuma gaitā vērojams, ka  $\delta^{18}\text{O}$  vērtības samazinās gan pieaugot paraugošanas dziļumam, kā arī tuvāk pazemes ūdens atslodzes vietām, piemēram, seklāk iegulošajos horizontos Rīgas apkārtnē, kur vērtības ir augstākas un zemākas vērtības dziļākos horizontos, ar atsevišķiem izņēmumiem, kur lokāla hidroģeoloģiskās uzbūves ietekme varētu būt lielāka.

Salīdzinoši lielos dziļumos, pat sasniedzot 70 metrus, ūdens papildināšanās norisinās diezgan strauji un CFC noteiktais ūdens uzturēšanās laiks atsevišķos gadījumos nepārsniedz 40 gadus.

Sakarā ar to, ka skābekļa-18 satura izmaiņas pazemes ūdeņos nosaka daudzi faktori, tādi kā iežu šķīšana, ūdens masu sajaukšanās un sākotnējais to saturs, tad vienotas pieejas to interpretācijai nav un tālāku secinājumu veikšanai nepieciešams uzkrāt apjomīgāku pētījumu

materiālu. Salīdzinoši nelielā CFC datu kopa neļauj noteikt tiešas likumsakarības starp ūdens uzturēšanās vecumu un izotopu signālu tajos.

Iegūtie rezultāti ir ļoti daudzveidīgi, kas lielā mērā ir atkarīgi no lokālas ģeoloģiskās uzbūves un hidroģeoloģiskā režīma, tādēļ to interpretācija būtu veicama vadoties pēc vairākiem mainīgiem ūdens apriti noteicošajiem faktoriem.

### **Pateicības**

Pētījums veikts ESF projekta „Starpnozaru zinātnieku grupas un modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem,” projekta Nr. 9/0212/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/060 ietvaros.

### **Bibliogrāfija**

1. Clark I., Fritz P. (1997) *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. CRC Press, New York, p. 2-108
2. Hoefs J. (2009) *Stable Isotope Geochemistry*. 6th Edition. Springer, Berlins 23, p. 136-224
3. Kresic, N. (2009) *Groundwater resources: sustainability, management, and restoration*. McGraw-Hill Inc., 852
4. Levins I., Levina N., Gavena I. (1998) *Latvijas pazemes ūdeņu resursi*. Rīga. Valsts Ģeoloģijas dienests. 24 lpp
5. Mokrik R., Mažeika J., Baublytė A., Martma T. (2009) The groundwater age in the Middle-Upper Devonian aquifer system, Lithuania. *Hydrogeology Journal*, 17: 871–889
6. Raidla V., Kirsimäe K., Vaikmäe R., Jõelett A., Karro E. (2008) Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian–Vendian aquifer system of the Baltic Basin. *Chemical Geology* 258 219–231
7. IAEA/WMO (2006) *Global Network of Isotopes in Precipitation*. The GNIP Database. Pieejams: <http://www.iaea.org/water>