

---

# Svarbiausi požeminio vandens cheminės sudėties formavimosi dėsningumai Vilniaus vandenvietėse

---

**Algirdas Klimas,  
Mantas Plankis**

Klimas A., Plankis M. The main regularities of groundwater chemistry formation at Vilnius wellfields. *Geologija*. Vilnius. 2003. No. 43. P. 28–35. ISSN 1392-110X.

Groundwater chemistry at Vilnius wellfields is a function of the natural and anthropogenic factors. Monitoring data show that  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations are useful indicators of the deep, saline water intrusion and/or groundwater pollution at Vilnius wellfields. Degradation of organic matter supplied from the rivers or from the polluted water-table aquifer increases the alkalinity of pumped water and in pumped aquifers creates the anoxic environment favorable for Fe and Mn increment.

**Keywords:** groundwater chemistry, aquifers, wellfields, pollution, Vilnius, Lithuania

Received 31 March 2003, accepted 30 April 2003

Algirdas Klimas, Mantas Plankis. Vilnius Hydrogeology Ltd., J. Basanavičiaus 37–1, LT-2009 Vilnius, Lithuania

---

## ĮVADAS

Požeminio vandens kokybę formuoja gamtiniai ir antropogeniniai veiksniai. Svarbiausi tarp pirmųjų yra fiziniai geografiniai ir geologiniai-hidrogeologiniai veiksniai, tarp antrųjų – požeminio vandens eksploatacija ir tarša (Klimas, 1994). Tad ir požeminio vandens cheminę sudėtį Vilniaus vandenvietėse formuoja įvairios šių veiksnių ir jų inicijuotų procesų kombinacijos. Vyraujančius veiksnius ir procesus galima atskleisti nuodugnai ištyrus gamtines ir antropogenines Vilniaus vandenviečių eksploatacijos sąlygas.

Vilniaus geriamojo vandens šaltinių centralizuotos eksploatacijos ištakos siekia XVI a. pradžią, kai ir dabar egzistuojančių Vingrių šaltinių vanduo mediniais vamzdžiais pasiekdavo miesto gyventojų namus ir viešojo naudojimo vandens kolonėles (Jurkštas, 1990; Vilniaus..., 2001). XIX a. antrojoje pusėje mieste pradėta gręžti gręžinius į tarp sluoksninio vandens horizontus, o XX a. pradžioje Bernardinų sode (dabar Sereikiškių parkas) buvo suprojektuota ir pradėjo veikti pirmoji miesto vandenvietė. Duomenų apie tų laikų šaltinių ir gręžinių vandens kokybę nėra išlikę. Tik antrojoje XX a. pusėje, kai augantiems miesto poreikiams geriamajam vandeniui tenkinti pradėta ieškoti naujų vandens šaltinių, imta įrenginėti naujas vandenvietes, analizuoti vandens kokybės jose problemas (Klimas ir kt., 1995).

Iki 1990 m. mieste buvo eksploatuojama jau 20 vandenviečių. Daugelio iš jų debitai pasiekė leistinas ribas – patvirtintų išteklių kiekį – ar net jį vir-

šijo. Esant maksimaliam vandenviečių debitui išryškėjo įvairios požeminio vandens kokybės problemos, kurios gerokai priklauso nuo vandenviečių gamtinių ir antropogeninių sąlygų įvairovės. Mat nors visos Vilniaus vandenvietės eksploatuoja praktiškai tik kvartero storumės tarp sluoksninius vandenį, jų išteklių ir kokybės formavimosi šaltiniai yra skirtingi. Jiems išryškinti ir vertinti pasitelkiami daugiametės stebėsenos duomenų analizės, modeliavimo ir kiti metodai.

## TYRIMŲ METODIKA

Tyrimų objektu pasirinkę požeminio vandens cheminę sudėtį Vilniaus vandenvietėse, turime išanalizuoti gausią faktinę medžiagą apie jos būklę, tos būklės pokyčius laike, nustatyti jų priežastis, įvertinti pasekmes.

Vilniaus vandenvietėse yra didžiulis duomenų bankas apie požeminio vandens kokybę – jame patalpinta daugiau kaip 9300 įvairių vandens cheminių analizių, seniausios iš jų atliktos dar 1951 metais. Daugiausia duomenų apie bendrą požeminio vandens cheminę sudėtį, tačiau pastaraisiais dešimtmečiais miesto vandenvietėse gana intensyviai buvo tiriama ir kai kurie specifiniai vandens kokybės rodikliai, susiję su požeminio vandens antropogenine tarša, – aromatiniai ir daugiacikliai aromatiniai angliavandeniliai, chloroorganiniai junginiai ir pan. (Arustienė ir kt., 1998). Be to, duomenų bankuose yra labai daug informacijos apie vandenviečių debitus ir

požeminio vandens lygį jose įvairiausiais jų eksploatacijos laikotarpiais. Todėl analizuodami visus šiuos duomenis ir aiškindamiesi požeminio vandens cheminės sudėties formavimosi dėsningumus Vilniaus vandenvietėse pasitelkėme tris metodų grupes:

1) požeminio vandens išteklių formavimosi šaltinių kiekybinį vertinimą remiantis vandenviečių eksploatacijos režimo analize ir matematinio modeliavimo metodais;

2) požeminio vandens cheminės sudėties formavimosi šaltinių vertinimą pasitelkiant trendų, faktoriinę analizę ir kraingą;

3) vandenviečių tipizavimą pagal požeminio vandens išteklių kiekio ir kokybės formavimosi šaltinius.

Analizuojant vandenviečių eksploatacijos režimą, jų geologinės-hidrogeologinės sąlygos turi būti gerai žinomos. Kiekybiškai vertinant požeminio vandens išteklių formavimosi šaltinius reikalingi duomenys apie visų sąveikaujančių vandeningųjų horizontų statinį vandens lygį, t. y. vandens lygį iki vandenviečių eksploatacijos pradžios, bei per visą vandenviečių eksploataciją. Būtinai duomenys apie visus vandenviečių debitų pokyčius. Krantinių vandenviečių atveju reikalingi duomenys apie eksploatuojamąjį horizontą maitinančios upės vandens lygį. Šiuo metu yra sukurtas visų Vilniaus vandenviečių erdvinis nuolat veikiantis modelis, todėl nėra sunku kiekybiškai įvertinti požeminio vandens išteklių formavimosi šaltinius kiekvienoje vandenvietėje bet kuriuo jos eksploatacijos laikotarpiu ir juos atitinkančias šių vandenviečių kaptazo sritis, t. y. du svarbiausius dalykus, lemiančius vandenvietėje imamo vandens kokybę.

Požeminio vandens cheminės sudėties analizę vandenvietėse paprastai pradėdame nuo foninės būklės, t. y. būklės iki vandenvietės eksploatacijos pradžios, įvertinimo. Šiam tikslui geriausiai tinka vandenviečių žvalgybos duomenys. Toliau analizuojami įvairių vandens kokybės rodiklių trendai koreliuojant juos su vandenviečių debitų ir išteklių formavimosi šaltinių pokyčiais. Ryšiams tarp įvairių požeminio vandens cheminės sudėties rodiklių atskleisti bei atitinkamai jiems sugrupuoti pasitelkiama faktoriinė analizė, o šių rodiklių skirtumams vandenviečių teritorijose išryškinti taikomas kraingio metodas (Davis, 1986).

Apibendrinus duomenis apie požeminio vandens išteklių kiekio ir kokybės formavimosi panašumus ir skirtumus vandenvietėse galima jas atitinkamai sugrupuoti, o reprezentacijai parinkti tipiškiausias iš jų.

## FAKTAI

Vilniaus vandenviečių hidrogeologinės sąlygos yra gerai ištirtos, nes daugelis jų buvo nuodugnai žvalgomos, skaičiuoti ir modeliuoti požeminio vandens eksploatacijos ištekliai jose (Klimas ir kt., 1995). Kaip žinia, visose Vilniaus vandenvietėse eksploatuojamas iš esmės tas pats tarpmoreninis vandeningasis horizontas (agII-Ižm-dn). Jo požeminio vandens išteklius daugiau ar mažiau papildo kaimyninių horizontų vanduo, įskaitant pjūvio viršuje esantį gruntinį bei giliau slūgsančius ikikvarterinius horizontus, talpinančius dažniausiai nebegėlą vandenį. Kai kuriose vandenvietėse eksploatacijos metu požeminį vandenį maitina paviršinis (upių) vanduo. Visų šių šaltinių vandens cheminė sudėtis bei jų maišymosi proporcijos iš esmės ir lemia vandenvietėse gaunamo požeminio vandens cheminę sudėtį.

Pagal požeminio vandens išteklių formavimosi šaltinius Vilniaus vandenvietes galima suskirstyti į keturias tipines grupes (1 pav.). Daugelis miesto vandenviečių yra Neries slėnyje. Požeminio vandens išteklius jose eksploatacijos metu daugiau (Jankiškės) ar mažiau (Bukčiai, Vingis, Trinapolis, Verkiai, Turniškės, Smėlynė, Pečiukai, Viriai, Karveliškės, Nemenčinė) papildo upės vanduo. Be to, Jankiškėse produktyvusis horizontas yra atviras gruntinis, o visose kitose išvardytose krantinėse miesto vandenvietėse šis horizontas nuo upės yra daugiau ar mažiau izoliuotas. Nors Žemųjų Panerių vandenvietė yra netoli Neries, upė jos nemaitina – atvirą gruntinį horizontą čia maitina tik atmosferos krituliai ir galingas požeminio tarpsluoksninio vandens srautas, tekantis į vandenvietę iš už Ne-

| Tipinis pjūvis | Vandenvietės   |
|----------------|--|
|                | Žemieji Paneriai   |
|                | Jankiškės  |
|                | Bukčiai, Vingis, Trinapolis, Verkiai, Turniškės, Smėlynė, Pečiukai, Viriai, Karveliškės, Nemenčinė |
|                | Sereikiškės, Tupatiškės-Pučkoriai, Naujoji Vilnia, Aukštieji Paneriai, Trakų Vokė, Pagiriai        |

1 pav. Geologinių-hidrogeologinių pjūvių tipai Vilniaus vandenvietėse  
Fig. 1. Types of geological-hydrogeological profiles at Vilnius wellfields

ries slėnio ribų. Atskirą grupę sudaro Vilnios (Sereikiškės, Tupatiškės-Pučkoriai, Naujoji Vilnia) ir Vokės (Pagiriai, Trakų Vokė, Aukštieji Paneriai) slėniuose esančios Vilniaus vandenvietės, kuriose minėtų upių vanduo apima tik nedidelę eksploatacinių išteklių dalį. Kadangi beveik visos miesto vandenvietės yra Neris ir jos intakų slėniuose, t. y. požeminio vandens ištakos zonose, jose stebima didesnė ar mažesnė nereguliuojamo vandens prietaka iš apačios.

Nepaisant gana skirtingų požeminio vandens išteklių formavimosi sąlygų, visose Vilniaus vandenvietėse požeminio vandens cheminė sudėtis iš pirmo žvilgsnio atrodo gana vienoda: tai tipiškas kalcio, kalcio-magnio hidrokarbonatinis vanduo, kurio vidutinė bendroji mineralizacija svyruoja 200–400 mg/l diapazone, vanduo vidutiniškai kietas (4–6 mg-ekv/l), hidrokarbonatų koncentracija jame kinta nuo 200 iki 300 mg/l, sulfatų – 30–80 mg/l, chloridų – 20–60 mg/l, šiame vandenyje yra palyginti nedaug neoksiduotos organinės medžiagos (permanganato skaičiaus vertės 1–2,5 mg/I<sub>O</sub><sub>2</sub>) ir nemažai geležies (apie 1 mg/l) bei mangano (0,1–0,2 mg/l). Tačiau visų šių ir kai kurių kitų požeminio vandens cheminės sudėties rodiklių faktinės vertės vandenvietėse, konkrečiuose eksploataciniuose gręžiniuose yra labiau kaitios, nei ką tik minėta. Be to, jos kinta laike keičiantis vandenviečių debitams bei jų formavimosi šaltiniams. Tuos pokyčius išryškina Vilniaus vandenvietėse seniai ir gerai organizuotos ilgalaikės stebėsenos duomenys.

Beveik visose miesto vandenvietėse yra duomenų apie foninę/gamtinę išteklių kiekio ir kokybės būklę. Kadangi praktiškai visose vandenvietėse maksimalaus debito metu (t. y. iki 1990 metų) buvo įsisavintas ar net kartais viršytas patvirtintas požeminio vandens eksploatacinių išteklių kiekis, yra unikali galimybė patikrinti skaičiavimų ir modeliavimo patikimumą, patikslinti filtracinius parametrus ir pakoreguoti pradinės bei ribines modelių sąlygas, taigi ir šių išteklių formavimosi šaltinius, išryškinti vandens kokybės pokyčius.

Preliminarų vaizdą apie bendriausius požeminio vandens cheminės sudėties pokyčius vandenviečių eksploatacijos metu galima susidaryti iš 1 lentelės duomenų, kurioje ši sudėtis tipinėse vandenvietėse dabar ir maksimalių debitų metu lyginama su gamtine/fonine būkle.

Foninėmis pavadinome apskaičiuotas vidutinės vandens cheminės sudėties rodiklių vertės vandenvietėse iki jų eksploatacijos pradžios. Su jomis yra lyginamos vidutinės tų rodiklių vertės, nustatytos maksimalaus šių vandenviečių debito metu ir per pastaruosius 3 metus, kai debitas buvo mažiausias. Žinoma, kaip ir visos vidutinės vertės, medianinės ar vidurkinės rodiklių vertės išlygina, „maskuoja“ nemažus vandens kokybės skirtumus pačių vandenviečių eksploataciniuose gręžiniuose. Be to, maksimalų debitą vandenvietės pasiekė ne vienu metu. Yra ir dar viena problema – kaip žinia, vandens kokybės

1 lentelė. Vidurkinės/medianinės kai kurių vandens kokybės rodiklių vertės tipinėse Vilniaus vandenvietėse įvairiais jų eksploatacijos laikotarpiais

Table 1. Average values of some water quality characteristics at Vilnius wellfields in various periods of pumping

| Vandenvietė    | Laikotarpis* | Vandens kokybės rodikliai mg/l (jei nenurodyta kitaip) |     |     |     |                               |                               |                 |                              |                              |                 |      |
|----------------|--------------|--|-----|-----|-----|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|------|
|                |              | BM   | BK  | PS  | pH  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Fe <sub>b</sub> | Mn   |
| Žemųjų Panerių | 1            | 280  | 4,2 | 1,9 | 7,2 | 160                           | 17                            | 6               | 0                            | 0,1                          | 0,1             | –    |
|                | 2            | 300  | 4,5 | 3,5 | 7,8 | 240                           | 30                            | 15              | 0,6                          | 0,8                          | 0,5             | 0,22 |
|                | 3            | 270  | 5,3 | 0,9 | 7,5 | 270                           | 20                            | 5               | 0,9                          | 0,15                         | 1,1             | 0,1  |
| Jankiškių      | 1            | 200  | 3,2 | 2,0 | 7,5 | 180                           | 18                            | 5               | 0                            | 0,1                          | 0,3             | –    |
|                | 2            | 360  | 5,7 | 4,0 | 7,6 | 280                           | 75                            | 40              | 3                            | 0,2                          | 0,6             | 0,13 |
|                | 3            | 310  | 6,0 | 1,5 | 7,5 | 250                           | 40                            | 25              | 3                            | 0,15                         | 0,4             | 0,14 |
| Bukčių         | 1            | 230  | 4,1 | 1,5 | 7,4 | 240                           | 18                            | 8               | 0                            | 0,1                          | 0,5             | –    |
|                | 2            | 320  | 5,0 | 2,9 | 7,8 | 240                           | 40                            | 20              | 2,5                          | 0,1                          | 0,45            | 0,23 |
|                | 3            | 340  | 6,4 | 1,9 | 7,4 | 260                           | 50                            | 30              | 0,2                          | 0,15                         | 0,8             | 0,08 |
| Vingio         | 1            | 280  | 5,2 | 1,0 | 7,2 | 250                           | 40                            | 20              | –                            | 0,05                         | 0,4             | –    |
|                | 2            | 300  | 6,5 | 3,0 | 7,5 | 280                           | 75                            | 35              | 2,1                          | 0,1                          | 0,2             | 0,15 |
|                | 3            | 400  | 7,5 | 1,0 | 7,4 | 305                           | 90                            | 50              | 2,6                          | 0,05                         | 0,35            | 0,13 |
| Virių          | 1            | 215  | 3,4 | 1,5 | 7,3 | 200                           | 15                            | 5               | 0                            | 0,1                          | 0,1             | –    |
|                | 2            | 350  | 5,4 | 1,7 | 7,7 | 240                           | 80                            | 60              | 0                            | 0,1                          | 0,4             | 0,17 |
|                | 3            | 300  | 5,0 | 1,8 | 7,7 | 260                           | 60                            | 30              | 0,8                          | 0,3                          | 1,0             | 0,12 |
| Trakų Vokės    | 1            | 250  | 4,5 | 1,0 | 7,5 | 240                           | 13                            | 5               | 0                            | 0,3                          | 0,7             | –    |
|                | 2            | 270  | 5,0 | 2,0 | 8,0 | 260                           | 25                            | 10              | 0                            | 0,5                          | 1,6             | 0,11 |
|                | 3            | 300  | 5,4 | 1,5 | 7,6 | 290                           | 35                            | 15              | 1,0                          | 0,3                          | 0,7             | 0,12 |

\* – 1 – iki eksploatacijos pradžios, 2 – maksimalių debitų metu, 3 – 2000–2002 metais; BM – bendroji mineralizacija (sausas liekana), BK – bendrasis kietumas mg-ekv/l, PS – permanganato skaičius, mg/l O<sub>2</sub>.

pokyčiams, skirtingai nei vandens lygiui, stabilizuotis reikia daug daugiau laiko, ir stacionarus jos režimas vandenvietėse ne visada pasiekiamas arba jis gerokai nesutampa su maksimalaus debito laikotarpiu.

## DISKUSIJA

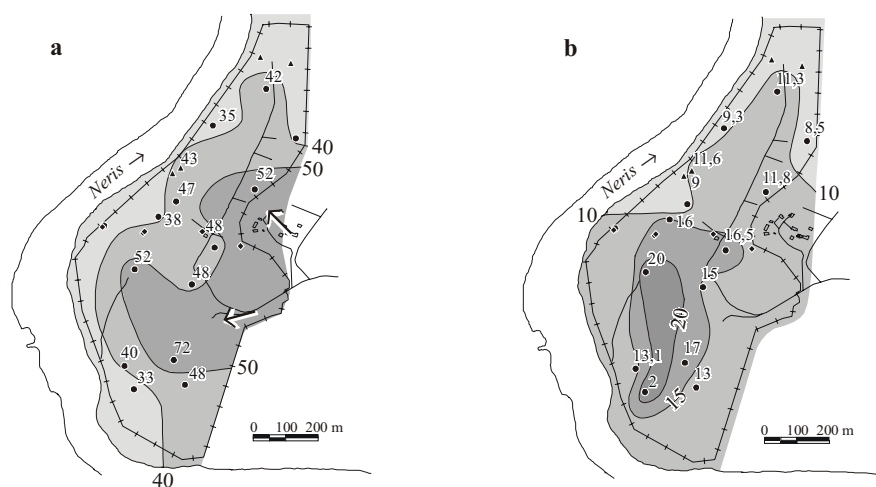
Ir iš tokių apibendrintų duomenų matome, kad beveik visų rodiklių vertės praktiškai visose vandenvietėse esant maksimaliam jų debitui išaugo (žr. 1 lentelę). Išimtis yra geležis ir manganas, iš dalies – amonis, kurių vertės dažniausiai tuo metu sumažėjo. Prieštaringi permanganato skaičiaus vertės pokyčiai maksimalaus debito metu – jie yra ir teigiami, ir neigiami. Nuo 1990 m. Vilniaus vandenviečių debitui mažėjant daugelio požeminio vandens cheminės sudėties rodiklių vertės taip pat sumažėjo, tačiau ne visos ir ne visur. Pirmoje lentelėje aiškiai matyti, kad beveik visose vandenvietėse debitui mažėjant didėjo hidrokarbonatų, kai kur ir geležies, rečiau – sulfatų koncentracija. Akivaizdu, kad požeminio vandens kokybės pokyčius vandenvietėse jų debitui mažėjant ir didėjant lėmė skirtingi veiksniai, o kai kurie iš jų aiškiai nepriklausė nuo vandenviečių debito. Todėl reikalinga detalesnė visų šių rodiklių verčių pokyčių analizė.

Yra žinoma, kad tokių požeminio vandens cheminės sudėties rodiklių, kaip bendrosios mineralizacijos, bendrojo kietumo, sulfatų, chloridų, vertės dažniausiai lemia elementarus skirtingos cheminės sudėties įvairaus vandens kiekio susimaišymas (Klimas, 1994). Didesnių šių rodiklių verčių šaltiniu gali būti tarša ir/ar gamtinis nekondicinis (didesnės mineralizacijos) vanduo (Климас, 1991). Kyla klausimas, ar iš šių rodiklių verčių pokyčių galima nustatyti juos sukėlusias priežastis, t. y. ar pagal juos galima at-

skirti taršą nuo nekondicinio vandens prietakos (Klimas, Gregorauskas, 2002)? Šiems tikslams galima panaudoti tik tokius konservatyvius rodiklius, kaip chloridai, iš dalies – sulfatai, nes gėlo vandens bendrąją mineralizaciją paprastai lemia hidrokarbonatų koncentracija jame, o bendrąją kietumą –  $\text{HCO}_3^-$  koncentraciją atitinkančios Ca ir Mg katijonų analičių vertės. Visas jas lemia kiti procesai, susiję su karbonatinės pusiausvyros pokyčiais požeminėje hidrosferoje (Apello, Postma, 1993).

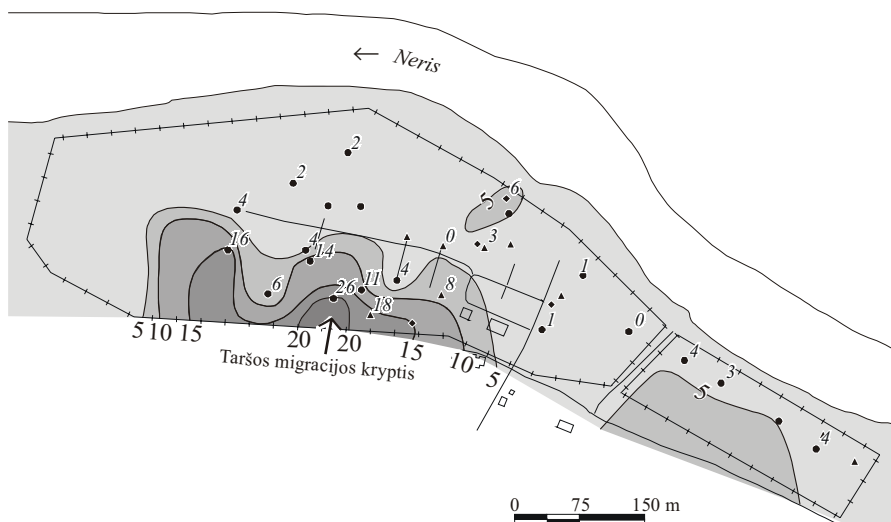
Logiška būtų manyti, kad tais atvejais, kai šių rodiklių verčių augimas nepriklauso nuo vandenviečių debito, jis yra taršos intensyvumo funkcija. Tuo tarpu tų pačių rodiklių augimas tiesiai proporcingai vandenvietės debitui praktiškai vienareikšmiškai nurodo giluminį nekondicinio vandens šaltinį. Iš 1 lentelės matome, kad pagal šį kriterijų Bukčių, Vingio ir Trakų Vokės vandenvietėse  $\text{Cl}^-$  ir  $\text{SO}_4^{2-}$  jonų koncentracijos rodo antropogeninę taršą, o Žemųjų Panerių, Jankiškių ir Virių vandenvietėse (ypač pastarojoje) pagrindiniu šių jonų šaltiniu yra giluminio vandens prietaka. Tačiau trendų analizę tikslinga papildyti kraigingo metodu sudarytomis tų pačių rodiklių pasiskirstymo vandenviečių gręžiniuose schemomis (2 pav.). Iš jų matome, kad šiuo konkrečiu atveju sulfatai į Bukčių vandenvietę neabejotinai migruoja iš šono, iš Lazdynėlių rajono, ir yra susiję su tarša, tuo tarpu pagrindinis chloridų šaltinis čia yra greičiausiai giluminis. Dar vienu taršos identifikacijos kriterijumi gali būti  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  santykis: giluminės prietakos atveju jis lieka daugiau ar mažiau pastovus, o taršos atvejais kinta. Bukčiuose šio koeficiento vertė Lazdynėlių link išauga nuo 2 iki 5.

Tiesioginiu požeminio vandens antropogeninės taršos rodikliu, kaip žinoma, yra nitratai. Iš 3 pav. matome, kad į Jankiškių vandenvietę jie patenka iš šono, iš buvusio Jankiškių kaimelio ir iš už jo buvusio seno sąvartyno. Tuo tarpu amonis gali rodyti ir tiesiogią, „šviežią“ taršą, būti nitratų redukcijos bedeguonėje aplinkoje produktu ir dar geogeninės kilmės, t. y. rodyti nebegėlo vandens prietaką iš gilių horizontų (Klimas, Paukštys, 1993). Todėl amonio šaltiniai gali būti labai įvairūs. Apskritai amonio koncentracija vandenvietėse (ne tik Vilniaus) ilgainiui didėja, net ir jų debitui mažėjant, nes ilgą laiką teršiamuose ir eksploatuojamuose vandeninguosiuose horizontuose mažėja ištirpusio deguonies išteklių ir formuojasi bedeguon-



2 pav. Sulfatų (a) ir chloridų (b) koncentracijos Bukčių vandenvietės eksploataciniuose gręžiniuose 1993–2002 metais (mg/l)

Fig. 2. Concentrations of sulphates (a) and chlorides (b) in production wells of Bukčiai wellfields in 1993–2002 (mg/l)



3 pav. Nitratų koncentracijos Jankiškių vandenvietės eksploataciniuose gręžiniuose 1993–2002 metais (mg/l)

Fig. 3. Concentrations of nitrates in production wells of Jankiškių wellfields in 1993–2002 (mg/l)

nė aplinka, itin palanki bedeguonėms azoto junginių formoms, t. y. ir amoniui, kauptis. Tai matome ir iš 1 lentelės duomenų.

Paprastai su tarša būna susijusi ir permanganato skaičiaus, rodančio lengvai oksiduojamos organinės medžiagos kiekį vandenyje, vertė (Arustienė, Juodkasis, 2001). Tačiau ši medžiaga gali būti ir antrinės kilmės, t. y. ji gali susidaryti pačiame vandeningajame horizonte, o jos šaltiniu gali tapti organinė medžiaga, išsklaidyta vandenį talpinančiuose gruntuose (palaidota organinė medžiaga), ją gali produkuoti požemyje gyvenantys mikroorganizmai (Klimas, 1994). Kadangi deguoninėje aplinkoje organinė medžiaga sparčiai oksiduojama, o bedeguonėje ji sunaudojama redukcijos reakcijose, jos koncentraciją požeminiame vandenyje ir permanganato skaičiaus vertę lemia šių medžiagų sunaudojimo ir pasipildymo tempo santykis (Klimas, 2002). Vis dėlto iš 1 lentelės duomenų daroma išvada, kad šio rodiklio vertės aiškiai priklauso nuo vandenviečių debito. Tai reiškia, kad čia vyrauja išoriniai organinės medžiagos šaltiniai – tarša (Žemieji Paneriai, Bukčiai) ar upės vanduo (Jankiškės).

Geležies ir mangano koncentracijas požeminiame vandenyje, kaip žinia, lemia požemyje susiformavusi geocheminė aplinka – bedeguonėje aplinkoje šių metalų vandenyje visada yra daugiau nei deguonies turinčiame vandenyje (Крайнов, Швец, 1987). Kadangi paviršiniame vandenyje, ypač žiemą, ištirpusio deguonies paprastai būna daugiau nei požeminiame, krantinėse vandenvietėse maksimalaus jų debito metu, kai upės jas ypač intensyviai maitina, geležies (ir mangano) pumpuojamame vandenyje būna palyginti nedaug (pvz., Jankiškės, Vingis, Viriai; 1 lentelė). Sumažėjus

tokių vandenviečių debitui, o kartu ir upės vandens prietakai, Fe ir Mn koncentracijos pumpuojamame vandenyje išauga. Tačiau svarbiausia, kad progresuojanti tarša, kaip minėjome amonio atveju, eksploatuojamame horizonte sukuria bedeguonę aplinką, palankią Fe (ir Mn) vandenyje kauptis. Dėl šios priežasties mažėjant tokių vandenviečių debitui šių metalų koncentracijos požeminiame vandenyje dažniausiai didėja.

Pagaliau hidrokarbonatų koncentraciją vandenyje lemia anglirūgštės sąveika su karbonatiniais gruntais, o pagrindiniu CO<sub>2</sub> šaltiniu yra organinės medžiagos destrukcija – dalyvavimas oksidacijos-redukcijos reakcijose (Klimas, 2002).

Vilniaus vandenvietėse, kaip minėjome permanganato skaičiaus verčių komentare, vyrauja išoriniai organinės medžiagos šaltiniai – upių vanduo ir tarša. Tik Jankiškėse, tipinėje krantinėje vandenvietėje, jos debitui, t. y. ir upės vandens prietakai, sumažėjus HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> koncentracija taip pat sumažėjo. Visose kitose vandenvietėse ji tik didėjo, bylodama apie progresuojančią aplinkos, taip pat ir požeminio vandens taršą mieste (Klimas, 1995).

Tiesioginiais antropogeninės taršos indikatoriais, be jau minėtų nitratų, yra tokios specifinės toksinės medžiagos, kaip sunkieji metalai ir kai kurie dirbtiniai organiniai junginiai. Sunkiųjų metalų migracijai požemyje Vilniuje, kaip ir kitose Lietuvos vandenvietėse, nėra palankių sąlygų (Климас, 1988). Tačiau kiek didesnės, lyginant su fonu, švino, nikelio, rečiau kadmio, arseno, gyvsidabrio koncentracijos fiksuojamos būtent tose vandenvietėse, kur tokio pobūdžio tarša yra galima, t. y. šalia pramonės rajonų esančiose Žemųjų Panerių, Aukštųjų Panerių, Vingio vandenvietėse (Klimas, 1999). Pastarojoje nuolat aptinkami ir požeminio vandens taršos aromatiniais (benzenu) bei chloruotais angliavandeniliais (tri- ir tetrachloretenais) pėdsakai (2 lentelė).

Tačiau kaip ir visos organinės medžiagos, šie toksiniai organiniai junginiai požemyje sparčiai yra išskirdami anglirūgštę, tirpinančią karbonatus ir toliau didinančią vandens šarmingumą.

Suprantama, kad trumpame straipsnyje visos požeminio vandens cheminės sudėties įvairovės Vilniaus vandenvietėse neįmanoma aprėpti. Sunku glausta forma parodyti jos pokyčius per kelis dešimtmečius, kurių metu šių vandenviečių debitas pirmiausiai kelis

2 lentelė. Aromatiniai ir chloruoti angliavandeniliai Vin-  
gio vandenvietėje  
Table 2. Aromatic and chlorinated hydrocarbons at Vin-  
gis wellfield

| Vandens šaltinis | Trichloretenas (TCE) µg/l | Tetrachloretenas (PCE) µg/l | Benzenas µg/l |
|------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|
| Grėž. Nr. 16*    | 9,77                      | 6,34                        | –             |
| Grėž. Nr. 12*    | 1,92                      | 3,44                        | –             |
| Grėž. Nr. 12A*   | 3,38                      | 3,62                        | –             |
| Grėž. Nr. 9A*    | 4,70                      | 1,01                        | –             |
| Mišinys 1*       | 6,55                      | 0,0                         | –             |
| Mišinys 2**      | 2,75                      | 5,22                        | –             |
| Mišinys 3***     | –                         | –                           | 2,03          |

\* – 2002 12 02, \*\* – 2002 05 15, \*\*\* – 1999 11 08.

ar net keliolika kartų išaugo, o per pastaruosius 12–13 metų beveik tris kartus sumažėjo. Natūralu, kad neliko stabili ir požeminio vandens cheminė sudėtis vandenvietėse. Tik geresnis šių pokyčių supratimas bei įvertinimas sudarys prielaidas ir ateityje sostinės gyventojus aprūpinti geros kokybės geriamuoju vandeniu. Taigi tyrimus šia kryptimi reikia tęsti ir plėsti.

## IŠVADOS

- Svarbiausius požeminio vandens cheminės sudėties formavimosi dėsningumus Vilniaus ir kitose Lietuvos vandenvietėse lemia gamtiniai ir antropogeniniai veiksniai. Svarbiausi gamtiniai veiksniai yra vandenviečių geologinė sandara, hidrogeologinės ir hidrologinės sąlygos, o antropogeniniai – požeminio vandens eksploatacija ir tarša. Įvairios šių veiksmų kombinacijos ir lemia požeminio vandens cheminę sudėtį miesto vandenvietėse.

- Siekdami išryškinti šios sudėties formavimosi dėsningumus visų pirma įvertiname požeminio vandens eksploatacinių išteklių formavimosi šaltinius ir vandens kokybę juose, vėliau, analizuodami daugiamėčių stebėjimų duomenis apie požeminio vandens cheminės sudėties pokyčius vandenvietėse, šiuos šaltinius identifikuojame ir patiksliname.

- Nustatyta, kad pagal Cl<sup>-</sup> ir SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> jonų koncentracijų pokyčius vandenvietėse galima identifiкуoti jų šaltinius: giluminę mineralizuoto vandens iškrovą ar taršą. Pirmuoju atveju Cl<sup>-</sup> ir SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> jonų koncentracijos didėja ir mažėja tiesiai proporcingai vandenvietės debitui, antruoju atveju jos nuo debito praktiškai nepriklauso. Be to, pirmuoju atveju SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> santykis išlieka daugiau ar mažiau pastovus laike, antruoju atveju jis kinta.

- Pagrindiniu organinės medžiagos šaltiniu Vilniaus vandenvietėse yra upių vanduo ir užterštas gruntinis vanduo. Tik pirmuoju atveju augant van-

denviečių debitui auga ir vieno iš organinės medžiagos kiekio vandenyje rodiklių – permanganato skaičiaus – vertė. Yranti organinė medžiaga didina požeminio vandens šarmingumą ir karbonatinį jo kiektumą, t. y. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ir Ca, Mg jonų koncentracijas jame. Irdama organinė medžiaga sąlyginai izoliuotuose vandeninguosiuose horizontuose didina Fe, Mn, kartais ir NH<sub>4</sub><sup>+</sup> koncentraciją požeminiame vandenyje. Todėl šių jonų koncentracijos nuo vandenviečių debitų praktiškai nepriklauso.

- Tiesioginių taršos indikatorių – nitratų, sunkiųjų metalų, toksinių organinių junginių – koncentracijos Vilniaus vandenvietėse dažniausiai menkos, tačiau padidintos jų analizių vertės paprastai fiksuojamos pramoninių zonų supamose vandenvietėse.

- Reikia tęsti požeminio vandens cheminės sudėties tyrimus Vilniaus vandenvietėse, nes sostinės gyventojus būtina aprūpinti tik geros ir labai geros kokybės geriamuoju vandeniu.

## Literatūra

- Apello C. A. J., Postma D. 1993. Geochemistry, groundwater and pollution. Rotterdam, Brookfield: A. A. Balkema. 536 p.
- Arustienė J., Juodkasis V., Kadūnas K. 1998. Organinės medžiagos tyrimai Lietuvos gėlame požeminiame vandenyje. *Litosfera*. 2. 144–156.
- Arustienė J., Juodkasis V. 2001. Gėlo požeminio vandens organinių medžiagų suminių rodiklių koreliaciniai ryšiai. *Geologija*. 36. 44–55.
- Davis J. C. 1986. Statistics and data analysis in geology. New York: John Wiley and Sons. 646 p.
- Jurkštas J. 1990. Senojo Vilniaus vandenys. Vilnius: Moks-las. 140 p.
- Klimas A. 1993. Vilniaus vandens šaltiniai ir miesto plėtra. *Geologijos akiračiai*. 2. 55–57.
- Klimas A. A. 1994. Fresh groundwater quality formation regularities under technogenic impacts. *Scientific papers*. 5. 56 p.
- Klimas A. 1995. Impacts of urbanization and protection of water resources in Vilnius District, Lithuania. *Hydrogeology Journal*. 3(1). 24–35.
- Klimas A. 1999. Bendra geriamojo vandens kokybė, pastangos optimizuoti vandenviečių naudojimą, dabartinė gruntinio vandens monitoringo programa ir Vilniaus hidrogeologijos pasiūlymai eksploatuojant vandenvietes ir atliekant jų monitoringą. *Seminaro „Vilniaus miesto geriamojo vandens kokybė ir vandenviečių apsauga“ pranešimų rinkinys*. Vilnius: Technika. 13–20.
- Klimas A. 2002. Oksidacijos-redukcijos procesų vaidmuo formuojantis požeminio vandens cheminei sudėčiai. *Geologija*. 40. 46–54.
- Klimas A., Gregorauskas M. 2002. Groundwater abstraction and contamination in Lithuania as geoindicators of environmental change. *Environmental Geology*. 42(7). 767–772.
- Klimas A., Kadūnas K., Diliūnas J., Alminas A., Zuzevičius A., Tamošaitis J., Klimkaitė I., Kavaliauskienė J., Čes-nulevičius A., Dilys K. 1995. Paviršinio ir požeminio vandens būklės vertinimas plečiantis Vilniaus miestui. Vilnius: Žalioji pasaulis. 69 p.

Klimas A., Paukštys B. 1993. Nitrate contamination of groundwater in the Republic of Lithuania. *NGU Bulletin*. 424. 75–85.

Vilniaus vandentiekiai – 500 metų. 2001. *Jubiliejinės konferencijos „Vilniaus vandentiekiai – 500 metų“ pranešimai*. „Vilniaus vandenys“. 48 p.

Žemaitis L. 2000. Organinės medžiagos Lietuvos geriamajame vandenyje. *Sveikatos aplinka*. 1. 9–12.

Климас А. И. 1988. Микроэлементы в пресных подземных водах Литвы. *Геохимия*. 3. 367–375.

Климас А. И. 1991. Формирование качества подземных вод в условиях интенсивной эксплуатации и загрязнения. *Советская геология*. 12. 62–70.

Крайнов С. Р., Швец В. М. 1987. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. Москва: Недра. 237 с.

**Algirdas Klimas, Mantas Plankis**

### THE MAIN REGULARITIES OF GROUNDWATER CHEMISTRY FORMATION AT VILNIUS WELLFIELDS

S u m m a r y

Groundwater chemistry at Vilnius wellfields is a result of the interaction of natural and anthropogenic factors. Geological-hydrogeological and hydrological conditions are the main factors of the first group, and groundwater abstraction and pollution dominates among the factors of the second group. Various combinations of all those factors govern groundwater chemistry at Vilnius wellfields.

The main sources of formation of groundwater resources and chemistry at Vilnius wellfields are groundwater flow, surface water infiltration, leakage from the water-table aquifer, and saline water intrusion from the deeper aquifers.

For identification of the main sources of groundwater formation, two main anions –  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Cl}^-$  – were used. Only in polluted groundwater the concentration of those anions usually did not depend on the pumping rate at the wellfields. In the case of saline water intrusion, similar relations are distinctly seen. Moreover, in the latter case the  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  ratio is constant, but it usually varies when groundwater is polluted.

River water and polluted shallow groundwater are two main sources of organic matter in pumped water at Vilnius wellfields. In the first case, the concentration of organic matter in pumped water (as  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ) increases with the pumping rate. In the second case the  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  value does not depend on the volume of abstracted groundwater. Degradation of organic matter increases groundwater alkalinity, i.e. the concentration of  $\text{HCO}_3^-$  and thus the concentrations of Ca and Mg. Degradation of organic matter in the semiconfined aquifers increases the concentration of Fe, Mn and  $\text{NH}_4^+$  in groundwater. Therefore the concentrations of those ions also do not depend upon the pumping rate at the wellfields.

The concentrations of the direct indicators of pollution (nitrates, heavy metals and VOC) at the Vilnius wellfields are very low. Nevertheless, those indicators are present only at the wellfields located in industrial zones of the city.

**Альгирдас Климас, Мантас Планкис**

### ВАЖНЕЙШИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ВИЛЬНЮССКИХ ВОДОЗАБОРАХ

Р е з ю м е

Важнейшие закономерности формирования химического состава подземных вод на Вильнюсских водозаборах определяются природными и антропогенными факторами. Среди природных факторов главными являются геолого-гидрогеологические и гидрологические условия, а среди антропогенных – водоотбор подземных вод и их загрязненность. Различные комбинации этих факторов и определяют химический состав подземных вод на городских водозаборах.

С целью выявить важнейшие закономерности формирования химического состава подземных вод методом моделирования определены главные источники формирования их эксплуатационных запасов на водозаборах, которыми являются: поток подземных вод, протекающий по эксплуатируемому водоносному горизонту, инфильтрация поверхностных и грунтовых вод, а также разгрузка глубинных вод.

Источники формирования запасов подземных вод и их химический состав идентифицировались с помощью двух главных анионов – сульфатов и хлоридов. Только в случае загрязнения подземных вод рост концентрации этих анионов в отбираемой воде не зависит от дебитов водозаборов. При глубинной разгрузке такая зависимость отчетливо прослеживается. Кроме того, в таких случаях обычно не изменяется во времени и соотношение сульфаты / хлориды.

Основными источниками органических веществ в подземных водах на Вильнюсских водозаборах являются речные и загрязненные грунтовые воды. В первом случае концентрация органических веществ в подземных водах, показателем которой является перманганатная окисляемость, возрастает вместе с дебитом водозаборов, во втором – не зависит от него. Деградация (окисление) органических веществ увеличивает щелочность и карбонатную жесткость подземных вод, т. е. концентрацию гидрокарбонатов, кальция и магния. Деградация органических веществ в изолированных и слабоизолированных пластах повышает концентрацию железа, марганца и аммония в подземных водах. Поэтому концентрация этих ионов в подземных водах практически не зависит от дебита водозаборов.

Концентрация прямых индикаторов загрязнения подземных вод – нитратов, тяжелых металлов, токсических органических соединений – на Вильнюсских водозаборах обычно незначительна. Однако их присутствие и даже некоторое повышение их концентрации обычно фиксируются на водозаборах, расположенных в промышленных районах города.