

Marius Gregorauskas, UAB „Vilniaus hidrogeologija“

Vytautas Juodkazis, Vilniaus universitetas

Algirdas Klimas, UAB „Vilniaus hidrogeologija“

POŽEMINIO VANDENS EKSPLOATAČINIŲ IŠTEKLIŲ VERTINIMO NUOSTATOS

Projektas „Požeminio vandens išteklių vertinimas

Lietuvoje ♦ 2007–2025“

Anotacija

Gregorauskas M., Juodkazis V., Klimas A. Požeminio vandens eksploatacinių išteklių vertinimo nuostatos // Geologijos akiračiai. ISSN 1392 – 0006. Vilnius, 2008, Nr. 3–4, 21–34 p.

Siekiant įvertinti požeminio vandens išteklius, skirtus Lietuvos miestų ir miestelių viešojo geriamojo vandens tiekimui laikotarpiui iki 2025 metų, atliekami hidrogeologiniai tyrimai. Nors Lietuvoje yra pakankamai gausūs požeminio vandens ištekliai, tačiau intensyvėjant paviršinei taršai ir griežtėjant reikalavimams geriamojo vandens kokybei, daugelyje šalies vietovių gero vandens stinga. Be to, Lietuva, kaip Europos Sąjungos narė, laikosi jos direktyvų (Directive 2000/60/EC; Directive 2006/118/EC), kuriose reikalaujama, kad išgaunant požeminį vandenį nebūtų neleistinai pažeistas upių režimas ir sausumos bei vandens sistemų ekologinė būklė. Todėl vertinant išteklius būtina tobulinti hidrogeodinaminių tyrimų metodologiją, suformuluoti nuostatas, ribojančias požeminio vandens gavybos poveikį aplinkai.

Straipsnyje išteklių vertinimo metodologija grindžiama kompleksu metodų, pirmiausia – matematinio modeliavimo metodais. Taip pat nustatyti svarbiausi apribojimai, susiję su intensyvia požeminio vandens gavyba: pirma, gruntinio vandens lygio žeminimu siekiant išvengti poveikio sausumos ekosistemoms (labiausiai – augalijai); antra, upių nuotėkio panaudojimu požeminio vandens išteklių formavimui, kad nenukentėtų vandens ekosistemos (labiausiai – ichtiofauna).

Abstract

Gregorauskas M., Juodkazis V., Klimas A. Groundwater safe yield assessment principles. Geologijos akiračiai. ISSN 1392-0006. Vilnius, 2008. No. 3–4, pp. 21–34.

In order to assess the groundwater resources for public supply of drinking water to Lithuanian towns and settlements by 2025, the hydrogeological investigations are being performed. Although Lithuania is rather rich in groundwater, due to intensifying pollution of the surface and stricter regulations applied for drinking water quality, good water is lacking in many areas. Moreover, Lithuania as the EU member, is to meet the EU directives (Directive 2000/60/EC; and Directive 2006/118/EC), which specify that during extraction of groundwater the river regime and environmental state of land and water systems should not be negatively affected. Therefore, the hydrogeodynamical research methods should be improved and principles limiting groundwater extraction impact on the environment formulated.

The article presents resources assessment methodology that is based on a set of methods, first of all the mathematical modelling. Then, the key limitations related to intensive groundwater extraction are defined: firstly, sinking of shallow groundwater table in order to avoid impact on land ecosystems (mainly vegetation), and secondly, use of river runoff to recharge the groundwater resources in order to avoid damage to aquatic ecosystems (mainly fish populations).

Keywords: available groundwater resources, public water supply, groundwater quality

Received 02 September 2008, accepted 19 October 2008

Vilnius University, Čiurlionio 21, LT-03101, Vilnius, Lithuania

Tel. +370 5 2398279, e-mail: vytautas.juodkazis@gf.vu.lt

Žmogus gali apsieiti be daugelio dalykų, tačiau negali gyventi nenumalšinęs troškulio. Tam reikalingas vanduo. Tačiau jis negali būti bet koks – vanduo turi būti saugus vartoti žmogui. Todėl geriamajam vandeniui, kuris tiekiamas viešojo vandentiekio tinklais, keliami griežti kokybės reikalavimai. Įvykdyti minėtus normatyvinius

reikalavimus paprasčiau, jei viešajam vandens tiekimui naudojamas ne paviršinis upių ar/ir ežerų, o požeminis vanduo, kuris yra geriau apsaugotas nuo paviršinės ir atmosferinės taršos. Tačiau ne visose šalyse yra pakankamai dideli gėlo požeminio vandens ištekliai, todėl dažnai susiduriama su rimtomis žalio paviršinio upių ir

ežerų vandens, skirto gėrimui, kokybės gerinimo problemomis. Dalis sausrinėje klimatinėje zonoje esančių šalių apskritai stokoja gėlo vandens ir todėl geriamojo vandens tiekimo problemai spręsti priverstos investuoti į viešojo vandentiekio sistemų statybą ir eksploataciją nemažai lėšų. Nors Lietuvoje yra pakankamai dideli požeminio vandens išteklių, tačiau čia taip pat susiduriama su viešojo vandens tiekimo problemomis, kurių sprendimo sėkmė priklauso nuo laiku pateiktos informacijos apie požeminio vandens išteklių telkinius bei jų teritorinį pasiskirstymą. Kad tai vyktų sklandžiai, reikalinga konkreti geriamojo vandens tiekimo politika, kuri paprastai kuriama 20–25 metams.

Strateginiai požeminio vandens išteklių vertinimo tikslai

Žalio požeminio vandens išteklių vertinimo tikslai priklauso nuo šalies geriamojo vandens tiekimo politikos: pirma, nuo viešojo vandens tiekimo sistemų organizavimo principų, vandens tiekimo centralizavimo lygmenų; antra, nuo geriamojo vandens suvartojimo normų ir jo poreikio atskirose tiekimo sistemose; trečia, nuo reikalavimų vandens kokybei.

Lietuvoje dabar veikia 47 stambios ir apie 700 smulkių viešojo vandens tiekimo įmonių. Suprantama, kad tokia sistema nėra gera, nes smulkių įmonių tiekiamo vandens savikaina yra didelė, dažnai jos būna nerentabilios. Be to, smulkioms įmonėms sunku užtikrinti tiekiamo vandens kokybei keliamus reikalavimus. Todėl Lietuvoje numatoma geriamąjį vandenį tiekiančias įmones stambinti, kartu sujungiant ir joms priklausančias vandens tiekimo sistemas. Geriamojo vandens tiekimo sistemos reorganizacija turėtų būti įgyvendinta iki 2015 m., nes iki to laiko Lietuvos Vyriausybė Europos Sąjungai yra įsipareigojusi visus šalies gyventojus aprūpinti geros kokybės vandeniu, atitinkančiu galiojančių normatyvinių dokumentų reikalavimus. Stambinant geriamojo vandens tiekimo sistemas, bus atsisakoma mažų vandenviečių ir, suprantama, orientuojamasi į našesnes. Tačiau kada reorganizacija bus įgyvendinta realiai, nėra aišku.

Pagal bendrą šalies geriamojo vandens tiekimo politiką, požeminio vandens išteklių turi būti vertinami regioniniu mastu, siekiant išaiškinti galimų (prognozinių) požeminio vandens telkinių našumą, jų vandens kokybę ir lokalizaciją vandens vartotojų atžvilgiu. Kad požeminio vandens išteklių būtų įvertinti kryptingai, kad lai-

ku būtų pateikti duomenys, reikalingi geriamo vandens tiekimo sistemų reorganizavimui, buvo parengti du dokumentai: * „Požeminio vandens naudojimo ir apsaugos 2002–2010 metų strategija“ (A. Domaševičius, V. Juodkazis, K. Kadūnas ir A. Klimas, 2002,) ir * „Lietuvos požeminio vandens išteklių įvertinimo ir naudojimo geriamojo vandens tiekimui programa 2005–2025 metams“ (V. Juodkazis, 2004). Kadangi pakankamas finansavimas ištekliams įvertinti nebuvo laiku skirtas, požeminio vandens išteklių tyrimai iš esmės buvo pradėti tik 2007 m.

Metodologinės požeminio vandens vertinimo nuostatos

Požeminio vandens ištekliams vertinti taikomi įvairūs metodai ir sprendimai, kurių visuma sudaro atliekamų tyrimų metodologiją. Reikia pažymėti, kad regioniniu mastu išteklių vertinami trečią kartą. Pirmą kartą analitiniais metodais jie buvo įvertinti 1960–1980 m. laikotarpiui, antrą – matematinio modeliavimo metodais 1980–2000 m. laikotarpiui (šiame vertinime nebuvo sprendžiami vandens ingredientų migracijos klausimai). Trečiasis vertinimas skirtas nustatyti gėlo požeminio vandens išteklių kiekį, kuriuo šalis galės disponuoti per artimiausius 25 metus. Trečiojo regioninio išteklių vertinimo metu bus sprendžiami ne tik filtraciniai, bet ir migraciniai (išteklių kiekio ir kokybės) prognozavimo uždaviniai. Be to, bus atsižvelgta į griežtesnius požeminio vandens gavybos poveikio aplinkai reikalavimus. Taigi galima kalbėti apie naujus išteklių vertinimo metodologijos bruožus, kuriuos lemia: * geologinė–hidrogeologinė Baltijos artezinio baseino sandara; * papildomų šaltinių panaudojimo požeminio vandens eksploataciniams ištekliams formuoti galimybės; * griežtesni reikalavimai žalio požeminio vandens kokybei; * griežtesni nei anksčiau aplinkosauginiai reikalavimai (negali būti pažeistos normalios sausumos bei vandens ekosistemų funkcionavimo sąlygos).

Geologinės–hidrogeologinės sąlygos. Baltijos artezinio baseino gėlo vandens zona, kurios storis Lietuvoje siekia apie 100–350 m, sudaro *dauglasluoksnės sistemas*. Tai – geologiniai kūnai, sudaryti iš persisluoksniojančių vandeningų ir mažai laidžių nuogulų. Požeminio vandens ištekliams vertinti taikant matematinio modeliavimo metodus, gamtinės sąlygos schematizuojamos. Viršutinėje hidrogeologinės sistemos dalyje išskiriamas grūntinis (nespūdinis) vandeningasis sluoksnis (GVS),

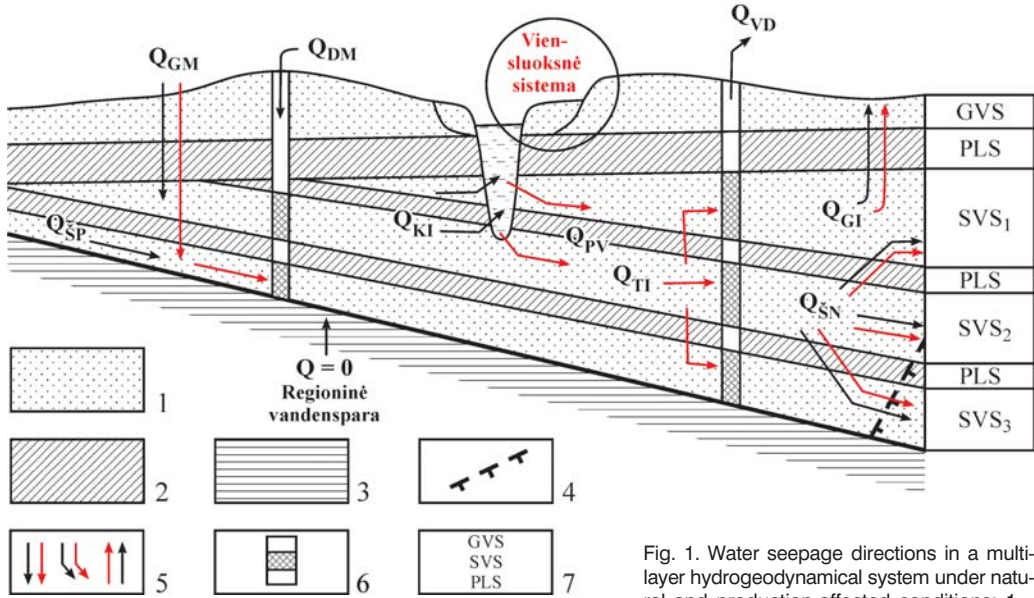


Fig. 1. Water seepage directions in a multi-layer hydrogeodynamical system under natural and production-affected conditions: 1 – water-bearing rocks; 2 – semi-permeable rocks; 3 – non-permeable rocks; 4 – mineral water contour (quality deterioration factor possible during the extraction of drinking groundwater); 5 – drinking groundwater flow directions: natural (black) and production-damaged (red) conditions; 6 – water intake (Q_{VD}) and artificial recharge unit (Q_{DM}) (a filter); 7 – aquifer and aquiclude codes: GVS – shallow aquifer; SVS – confined aquifer; PLS – semi-permeable layer (aquiclude).

1 pav. Vandens filtracijos kryptys daugiasluoksnėje hidrogeodinaminėje sistemoje esant natūralioms ir eksploatacijos sutrikdytoms sąlygoms: 1 – vandeningos uolienos; 2 – pusiau laidžios uolienos; 3 – nelaidžios uolienos; 4 – mineralinio vandens kontūras (požeminio geriamojo vandens eksploatacijos metu galimas kokybės blogėjimo veiksnys); 5 – požeminio geriamojo vandens judėjimo kryptys: natūraliose (juoda spalva) ir eksploatacijos sutrikdytose (raudona spalva) sąlygose; 6 – darbinė vandenvietė (Q_{VD}) ir dirbtinė mitybos įrenginio (Q_{DM}) gręžinio dalis (filtras); 7 – vandeningųjų ir pusiau laidžių sluoksnių kodiniai pavadinimai: GVS – gruntinis vandeningasis sluoksnis; SVS – spūdinis vandeningasis sluoksnis; PLS – pusiau laidus sluoksnis.

kuris slūgso ant pirmojo ištisai išplitusio pusiau laidaus sluoksnio (PLS₁). Žemiau pirmojo pusiau laidaus sluoksnio slūgso spūdiniai vandeningieji sluoksniai: pirmasis (SVS₁), antras (SVS₂) ir trečias (SVS₃). Aktyvios apykaitos zonos apačioje slūgso absoliučiai nelaidi regioninė vandenspara, per kurią ryšys su žemiau slūgsančiais vandeningaisiais sluoksniais galimas tik per tektoninio trupinimo zonas (1 pav.). Daugiasluoksnės sistemos – sudėtingi trimatčiai geologiniai kūnai, kuriuose vandens filtracija vyksta tiek horizontaliai (vandeninguoju sluoksniu), tiek vertikalčiai (per pusiau laidžius sluoksnius – vandensparas.). Todėl pirmasis metodologijos bruožas – būtinybė pagrįsti sudėtingos daugiasluoksnės sistemos schematizavimą ir vertinti išteklius matematinio modeliavimo metodais.

Eksploatacinių išteklių formavimosi šaltinių samprata. Svarbiausiu aktyvios apytakos zonos gėlo požeminio vandens išteklių susidarymo šaltiniu natūraliomis, eksploatacijos nesutrikdytomis sąlygomis yra krituliai, kurie patenka į gruntinį vandeningąjį sluoksnį, o iš jo infiltracijos būdu – į spūdinis

vandeninguosius sluoksnius (Q_{INF}). Kartu su šonine prietaka (Q_{SP}), kuri už nagrinėjamo segmento ribų taip pat susidarė dėl kritulių infiltracijos, tai sudaro teigiamą daugiasluoksnės hidrogeologinės sistemos (jos segmento) dalį ir yra vadinama dinaminiais požeminio vandens ištekliais ($Q_{INF} + Q_{SP} = Q_{DIN}$). Šis į daugiasluoksnę sistemą patenkantis vandens kiekis pastoviai iš jos išteka: * dalis vandens nuteka sluoksniu už sistemos ribų (Q_{SN}); * dalis vandens suteka į upes centruotos ištakos pavidalu (Q_{KI}); * likusi vandens dalis, filtruodamasi vertikalčiai iš apačios žemės paviršiaus link per mažai laidžias nuogulas, išsklaidytos ištakos pavidalu patenka į gruntinį vandeningąjį sluoksnį (Q_{GI}).

Atsinaujinančių požeminio vandens išteklių daugiamečio balanso atveju abi vandens balanso dalys yra lygios:

$$Q_{INF} + Q_{SP} = Q_{KI} + Q_{GI} + Q_{SN} \quad (1)$$

Eksploatuojant spūdinis vandeninguosius sluoksnius, natūrali hidrodinaminė sistema

sutrikdoma, nes vandeninguosiuose sluoksniuose krinta vandens lygis ir slėgis, o tai keičia ir išteklių formavimosi šaltinius (žr. 1 pav.).

Eksploatacijos metu mažėja koncentruota ištaka į upes Q_{KI}^* , išsklaidyta ištaka į gruntinį vandeningąjį sluoksnį Q_{GI}^* ir šoninis nuotėkis Q_{SN}^* . Eksploatuojant spūdinčius vandeninguosius sluoksnius, atsiranda trys papildomi požeminio vandens eksploatacinių išteklių šaltiniai: * dažniausiai padidėja pritekėjimas iš gruntinio vandeningojo sluoksnio bei šoninė prietaka ($Q_{INF}^* + Q_{SP}^*$); * paviršinis (upių, ežerų) vanduo, pritekantis į vandeninguosius sluoksnius sumažėjus juose slėgiui, Q_{PV}^* ; * tamprieji ištekliai Q_{TI}^* , kurie susidaro vandeningoje sistemoje sumažėjus slėgiui (vandens tūris padidėja dėl tampriųjų jo savybių). Be to, atskirais atvejais galima ir dirbtinė požeminio vandens mityba Q_{DM}^* , kuri priskiriama papildomiems ištekliams. Papildomi ištekliai Q_{PAP}^* – tai ištekliai, kurių nebuvo spūdinėje hidrogeodinaminės sistemos dalyje natūraliomis sąlygomis, tačiau jie papildė sistemos išteklius joje sumažėjus slėgiui:

$$Q_{INF}^* + Q_{SP}^* + Q_{PV}^* + Q_{TI}^* + Q_{DM}^* = Q_{PAP}^* \quad (2)$$

Be to, reikia įvertinti ir tris negatyvias aplinkybes, susijusias su papildomų išteklių susidarymu: pirma, su iš aplinkos pritraukiamu paviršiniu vandeniu į sluoksnį gali patekti teršiančių medžiagų bei patogeninių mikroorganizmų, dėl ko gali pablogėti vandens kokybė; antra, intensyvios požeminio vandens gavybos metu iš upių ir ežerų paimamas didesnis ar mažesnis kiekis vandens, o tai gali pažeisti nusistovėjusią vandens ekosistemų pusiausvyrą; trečia, intensyvios požeminio vandens gavybos atvejais gali neleistina pažemėti gruntinio vandens lygis, o tai gali sutrikdyti aeracijos zonos vandens balansą ir augalijos bei sausumos ekosistemų funkcionavimą. Todėl būtini ekologiniai reikalavimai, kuriais galima būtų vadovautis vertinant požeminio vandens intensyvios gavybos poveikį aplinkai. Pirmoji paminėta aplinkybė susijusi su galima vandens kokybės kaita, antroji ir trečioji – su aplinkos sistemų ekologinės būklės kaita.

Reikalavimai žaliai požeminio vandens kokybei. Pagrindinis Lietuvoje galiojantis normatyvinis dokumentas yra Lietuvos Respublikos higienos norma HN 24:2003. Tačiau Europos Sąjungos valstybėse, kaip minėta, galioja ir dvi ES direktyvos „Bendroji vandens politikos“ (2000) ir „Požeminio vandens“ (2006), kuriose numatyta, kad, vertinant požeminio vandens eksploatacinius

išteklisius ir prognozuojant jų kokybę, būtina nustatyti reglamentuojamų vandens ingredientų kitimo eksploatacijos metu tendrus, priskiriant požeminio vandens eksploataciniams ištekliams tik tą vandens kiekį, kuris gali būti išgautas neviršijant atskiriems reglamentuojamiems geriamojo vandens ingredientams 75 % DLK ribą. Šis reikalavimas negalioja indikatoriniams ingredientams (pavyzdžiui, geležiai, manganui), kurie ruošiant žalią požeminį vandenį gėrimui yra iš vandens šalinami įprastais būdais, nenaudojant cheminių reagentų.

Kalbant apie ES direktyvos reikalavimus, būtina pažymėti, kad jie aktualūs tik nedidelei daliai Lietuvos teritorijoje susidaranciu eksploatacinių išteklių, daugiausia susijusių su devono ir kreidos vandeningaisiais sluoksniais. Pagrindinė požeminio vandens eksploatacinių išteklių dalis susidaro kvartero aliuvio nuogulose ir tapmoreniniuose vandeninguose sluoksniuose, kur vandens kokybė yra gera ir mažai keičiasi eksploatacijos metu.

Aplinkosauginiai–ekologiniai reikalavimai. Jų pagrindinė nuostata – nepažeisti normalių sausumos bei vandens ekosistemų funkcionavimo sąlygų. Ši, kaip ir vandens kokybės reikalavimo nuostata, atsispindi *eksploatacinių išteklių* apibrėžime, pateiktame lietuviškajame „Enciklopediniame hidrogeologinių terminų žodyne“ ir ES požeminio vandens išteklių formuluotėje. Pastaruoju atveju požeminio vandens ištekliai, kuriuos galima išgauti ir panaudoti geriamojo vandens tiekimui, verčiant į anglų į lietuvių kalbą, ne visai prasmingai pavadinti *turimų išteklių* terminu. Be to, ir termino apibrėžimas reikalauja papildomo aiškinimo (žr. užsklandą). Tačiau principinio skirtumo tarp užsklandoje pateiktų *eksploatacinių* ir *turimų* išteklių definicijų nėra, nes jų kiekis išreiškiamas ta pačia matematinė priklausomybe. Be to, vertinant išteklius, laikomasi ES nuostatų, kad *nebūtų smarkiai paženktas susijusioms su požeminiu vandeniu sausumos ekosistemoms, o reglamentuojami vandens kokybės rodiklių tendrai neviršytų 75 % DLK.*

Vykdam aplinkosauginius reikalavimus, būtina tiksliai nustatyti išteklių formavimosi šaltinius. Parankiausia ši klausimą spręsti taikant matematinio modeliavimo metodus, ypač kai vertinami stambių daugiasluoksnių požeminio vandens sistemų ištekliai, kurie yra išgaunami ne vienos, bet daugelio vandenviečių. Principinė nuostata, kuria vadovaujantis atsižvelgiama į ekologinius ES direktyvos reikalavimus intensyvios požeminio vandens gavybos rajonuose,

Eksploataciniai ištekliai – požeminio vandens kiekis, kuris gali būti paimtas iš vandeningojo sluoksnio techniniu bei ekonominiu atžvilgiu racionaliu būdu, užtikrinant, kad hidrodinaminis telkinio režimas ir jo poveikis aplinkai neviršys nustatyto lygmens, o išgaunamo vandens kokybė atitiks normatyvinių dokumentų reikalavimus per visą vandenvietės eksploatavimo laiką.

Turimi ištekliai – tai ilgalaikis metinis požeminio vandens telkinio bendro atsinaujinimo vidurkis, atėmus ilgalaikį metinį debitą, kurio reikia, kad susiję paviršiniai vandenys pasiektų 4 straipsnyje nurodytus ekologinius kokybės tikslus, ženkliu nesuprastėtų tokių vandenų ekologinę būklę ir nebūtų smarkiau pakenkta susijusioms žemės ekosistemoms (oficialus vertimas).

remiasi balansine formule (3), kur žvaigždute pažymėti eksploataciniai (turimi) ištekliai, susiformavę eksploatacijos metu:

$$Q^*_{IS} = \alpha \cdot Q_{DIN} + (\beta \cdot Q^*_{TI+GR} / t) + Q^*_{PAP} \quad (3)$$

čia Q^*_{IS} – eksploataciniai požeminio vandens ištekliai; α – atsinaujinančių dinaminį išteklių (požeminio vandens srauto Q_{DIN}) panaudojimo koeficientas; β – neatsinaujinančių talpinių (tamprųjų ir gravitacinių Q^*_{TI+GR}) išteklių panaudojimo koeficientas; Q^*_{PAP} – papildomi ištekliai, kurie patenka į daugiasluoksnę sistemą tik eksploatacijos metu; t – laikas, per kurį talpiniai ištekliai bus išgauti (žvaigždute pažymėti ištekliai, kurie formuojasi vandeningųjų sluoksnių eksploatacijos metu).

Poveikis aplinkai priklausys nuo to, kokią dalį dinaminį (α) ir statinių (β) išteklių iš sluoksnio paimsime, ir kiek į daugiasluoksnę sistemą eksploatacijos metu pritekės paviršinio vandens bei susidarys kitų papildomų išteklių (Q^*_{PAP}).

Vertinant išteklius išskiriamos ir *vienasluoksnės hidrogeodinaminės sistemos*, kurios yra sudedamoji daugiasluoksnių sistemų dalis, tačiau iš bendros sistemos išskiriamos dėl struktūros paprastumo ir lokalaus poveikio aplinkai. Jos dažniausiai būna susijusios su gruntinio vandens

naudojimu zandrinėse (smėlingose) lygumose ir upių slėniuose, kur plačiai išplitusios fliuvioglacialinės ir aliuvinės nuogulos (žr. 1 pav.). Šių sistemų požeminio vandens eksploataciniai ištekliai bus vertinami analitiniais hidrodinaminiais metodais.

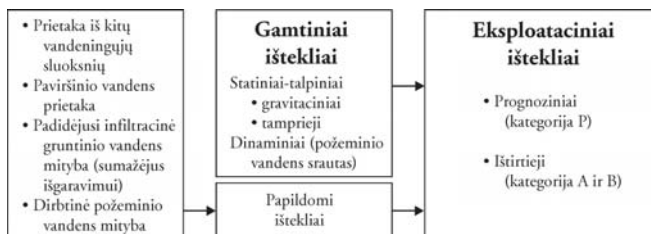
Kad skaitytojui būtų lengviau suvokti požeminio vandens natūraliai ir eksploatacijos metu susidarančių išteklių vienovę, pateikiame jų klasifikacijos schemą (2 pav.).

Požeminio vandens eksploatacinių išteklių vertinimo nuostatos

Europos Sąjungos direktyvoje aplinkosauginiai-ekologiniai reikalavimai nėra konkretizuoti, joje tik nurodoma, kad išgaunant požeminį vandenį būtina užtikrinti gerą požeminio vandens būklę, nepažeidžiant geros paviršinio vandens bei sausumos ekosistemų būklės. Lietuvoje tokių oficialių ekologinių reikalavimų taip pat nėra. Taigi klausimas dėl bent kiek konkretesnės ekologinių reikalavimų formuluotės lieka neišspręstas, o dinaminį, talpinių ir papildomų išteklių panaudojimas vandenviečių debitui formuoti tiek regioniniu mastu, tiek ir lokaliuose eksploatuojamų vandenviečių poveikio zonoje turi būti patikėtas išteklius vertinančių specialistų kompetencijai. Aptarti aplinkosauginiai reikalavimai reikalauja ir naujų ekspertinių vertinimų bei sprendimų, kurie galutinai bus suformuluoti atlikus projekte numatytus tyrimus. Todėl žemiau pateiktas nuostatas reikėtų traktuoti kaip darbinę hipotezę.

Vandeningųjų sluoksnių lygio žeminimo apribojimai. Požeminio vandens lygio žeminimas ribojamas dėl dviejų priežasčių: pirma, egzistuoja techniniai reikalavimai, susiję su gręžinių įranga ir hidraulika; antra, siekiant apsaugoti aplinką nuo negatyvių reiškinių (sausumos ekosistemas – augalus ir vandens ekosistemas – ichtiofauną). Sprendimą dėl maksimaliai galimo spūdinio ir nespūdinio požeminio vandens lygio vandeninguosiuose sluoksniuose priima projekto vykdytojas.

♦ Eksploatuojant *daugiasluoksnes* sistemas, tarp spūdinų vandeningųjų sluoksnių vyksta sudėtingas slėgio ir spūdžio



2 pav. Gėlo požeminio vandens išteklių klasifikavimas.

Fig. 2. Classification of fresh groundwater resources.

persiskirstymo procesas. Tokiu atveju galima kalbėti apie vandeninguosius sluoksnius *donorus* ir sluoksnius *akceptorius*, – vandenį atiduodančius ir vandenį gaunančius (eksploatuojamus vandeninguosius) sluoksnius. Vandens lygio pažemėjimas eksploatacijos metu priimamas atsižvelgiant į geologines ir hidrogeologines sąlygas, tačiau nesusausinant sluoksnio ir paliekant 3–5 m rezervą filtrui bei giluminiam siurbliui įrengti. Jeigu, tarkim, daugiasluoksnėje sistemoje eksploatuojami du vandeningieji sluoksniai, tai vandens lygio pažemėjimo apribojimai nustatomi atsižvelgiant į racionaliausią vandens gavybės variantą.

Išgaunant vandenį iš daugiasluoksnių hidrodinaminių sistemų spūdinųjų vandeningųjų sluoksnių, jų donoru tampa gruntinis vanduo. Šiuo metu nėra sukaupta patikimų žinių apie galimą gruntinio vandens lygio kritimą ir to reiškinio ekologines pasekmes. Tačiau galima teigti, kad šis reiškinys sausumos ekosistemoms gali kelti grėsmę tik nedideliuose vandenviečių kaptazo sričių plotuose. Be to, ženkliau lygio kritimas gali pasireikšti lygumose, padengtose moreniniu priemoliu, kur infiltracinės mitybos modulis yra minimalus (apie 0,1–1,0 l/s km²).

Hidrogeologinių procesų matematinio modeliavimo patirtis rodo, kad regioniniu mastu gruntinio vandens lygis nenukris daugiau nei 0,2–0,5 m, o kaptazo srityse, esančiose nepalankiausiose sąlygose (dideli vandenviečių debitai, blogos gruntinio vandens infiltracinės mitybos sąlygos), neviršys 1–1,5 m. Tai – gruntinio vandens lygio žeminimo lygmuo, kuris praktikuojamas įrengiant drenažo sistemas žemdirbystės laukuose bei drenažą pramoninės ir civilinės statybos objektuose. Patirtis rodo, kad toks lygio kritimas neturi akivaizdžių ekologinių pasekmių, – dėl to Lietuvoje problemų nėra kilę. Tiksliai daugiasluoksnių sistemų gruntinio vandens lygio kritimo ribos bus aptartos gavus duomenų apie matematiniais modeliais imituojamas prognozinės situacijas. Galimos ekologinės grėsmės atveju bus mažinami vandenviečių debitai.

♦ Vienasluoksnės gėlo požeminio vandens sistemos, naudojamos Lietuvoje žalio vandens gavybai, susijusios su * pusiau apribotais nespūdiniais vandeningaisiais sluoksniais, turinčiais hidraulinį ryšį su upe; * neapribotais nespūdiniais vandeningaisiais sluoksniais, kurių eksploatacijos metu lygio depresija nesiekia natūralių sluoksnio ribų.

Pirmasis atvejis susijęs su upės slėniais, t.y. su krantinių infiltracinių vandenviečių eksplo-

tacija. Šiuo atveju upės vanduo yra pastovus požeminio vandens eksploatacinių išteklių formavimosi šaltinis, todėl šio tipo vandenvietės eksploatuojamos esant nuostoviam dinaminiam lygiui. Požeminis vanduo tokiu atveju yra susikaupęs gana siaurame, dažniausiai pirmos ar antros viršsalpinių terasų, ruože. Apvandeninto aliuvio storis Lietuvos teritorijos didžiųjų upių slėniuose siekia 10–16 m (išskyrus pergilintus slėnius). Eksploatuojant krantines infiltracines vandenvietes, gruntinio vandeningojo sluoksnio lygį galima žeminti iki pusės vandeningojo sluoksnio storio.

Antrasis atvejis susijęs su vandenvietėmis, kai požeminis vanduo išgaunamas iš vienasluoksnių nespūdinųjų vandeningųjų sistemų, kurios eksploatacijos metu neturi hidraulinio ryšio su paviršiniu vandeniu. Dažniausiai tai ledyno tirpsmo vandens sukloti, nemažus plotus užimantys fluvioglaciacinių nuogulų masyvai. Tipiškas tokių hidrogeologinių sąlygų atvejis – Pietryčių Lietuvos smėlėtoji lyguma, kur fluvioglaciacinių nuogulų storis siekia 40–60 m. Šiuo atveju taip pat galioja pusės apvandeninto sluoksnio vandens lygio žeminimo galimybė. Dažniausiai fluvioglaciacinių nuogulų išplitimo teritorijos yra miškingos, todėl vertinant prognozinis išteklius būtina roboti gruntinio vandens lygio pažemėjimus ir vandenviečių depresijų dydį, apsiribojant būtiniausiu geriamojo vandens poreikio tenkinimu, neprognozuojant ar tik saikingai numatant rezervines vandenvietes ateičiai. Kai kuriose teritorijose, pavyzdžiui, pelkėse, priskirtose saugomoms teritorijoms ir patenkančioms į „NATURA–2000“ tinklą, gruntinio vandens lygio pažemėjimas iš viso neleidžiamas – jis turi išlikti natūralios daugiametės lygio kaitos intervale.

Poveikio paviršiniam vandeniui apribojimai. Europos Sąjungos direktyvoje nurodoma, kad, išgaunant iš vandeningųjų sluoksnių požeminį vandenį, turi ženkliau nesuprastėti paviršinių vandenų ekologinė būklė ir kad nebūtų smarkiau pakenkta su tuo susijusioms žemės ekosistemoms, pirmiausia – ichtiofaunai. Kadangi oficialių LR aplinkos ministerijos reikalavimų šiai situacijai riboti nėra, tai vandens ekosistemų saugos požiūriu, vertinant požeminio vandens išteklius tiek daugiasluoksnių, tiek vienasluoksnių hidrogeodinaminių sistemų atvejais, būtina laikytis šių reikalavimų: * prognozinis požeminis nuotėkis į upes negali būti mažesnis nei jų minimalaus 30 parų debito vidurkio norma; * vandens lygis ežeruose negali pažemėti žemiau

daugiametio gamtinio minimalaus lygio vidurkiu altitudės.

Eksploatacinių išteklių regioninio vertinimo eiga. Išteklių vertinimo metu turi būti nustatyti visi išteklius formuojantys šaltiniai – infiltracinė mityba (dinaminiai ištekčiai), talpiniai ir papildomi ištekčiai (žr. 1 ir 2 pav.), įvertintas paviršinio vandens kiekis, pritekantis į vandeninguosius sluoksnius iš upių. Siūlomas toks išteklių vertinimas daugiasluoksnėse sistemose ir lokaliuose plotuose:

- * veikiančiose vandenvietėse bei išvalgytuose plotuose modelyje imituojama patvirtintų išteklių gavyba ir žiūrėta, ar juos galima paimti nenusižengiant aukščiau nurodytiems vandens kokybės bei aplinkosaugos reikalavimams;
- * papildomai užduodami perspektyviniai kitų miestų bei miestelių poreikiai ($> 10 \text{ m}^3/\text{d}$) ir žiūrėta, ar laikantis nustatytų reikalavimų gali būti išgautas papildomas vandens kiekis;
- * jeigu daugiasluoksnėse sistemose yra likę plotų, kur gali būti papildomai organizuota požeminio vandens gavyba, juose imituojama papildoma vandens gavyba rezervinėse vandenvietėse iki tokio kiekio, kol tenkinami minėti reikalavimai.

Išteklių vertinimui taikant hidraulinius metodus, jo kiekiui apskaičiuoti taikant analitinius metodus ir skaičiavimo schemas atitinkančias hidrodinamines formules, laikomasi aukščiau nurodytos procedūros reikalavimų. Aukščiau paminėti gruntinio vandens lygio pažemėjimo ir požeminio nuotėkio į paviršinio vandens telkinius sumažėjimo kriterijai darbo eigoje gali būti tikslinami atsižvelgiant į projekto vykdymo metu gautus rezultatus.

Požeminio vandens eksploatacinių išteklių vertinimo ypatumai

Šiame požeminio vandens išteklių vertinimo etape ypatingas dėmesys skiriamas žalio požeminio kokybei, todėl daug dėmesio skiriama vandeningųjų sistemų cheminės požeminio vandens sudėties teritorinei kaitai nustatyti. Šių tyrimų rezultatų metodikai paaiškinti pateiksime du pavyzdžius.

Vadovaujantis aukščiau aptartais metodiniais principais, 2007–2011 m. bus įvertinti šalies turimi požeminio vandens ištekčiai. Šis darbas jau vykdomas ir yra gauti kai kurie rezultatai, kurie pateikiami. Be to, tokių tyrimų programą Lietuvos geologijos tarnyba inicijavo dar

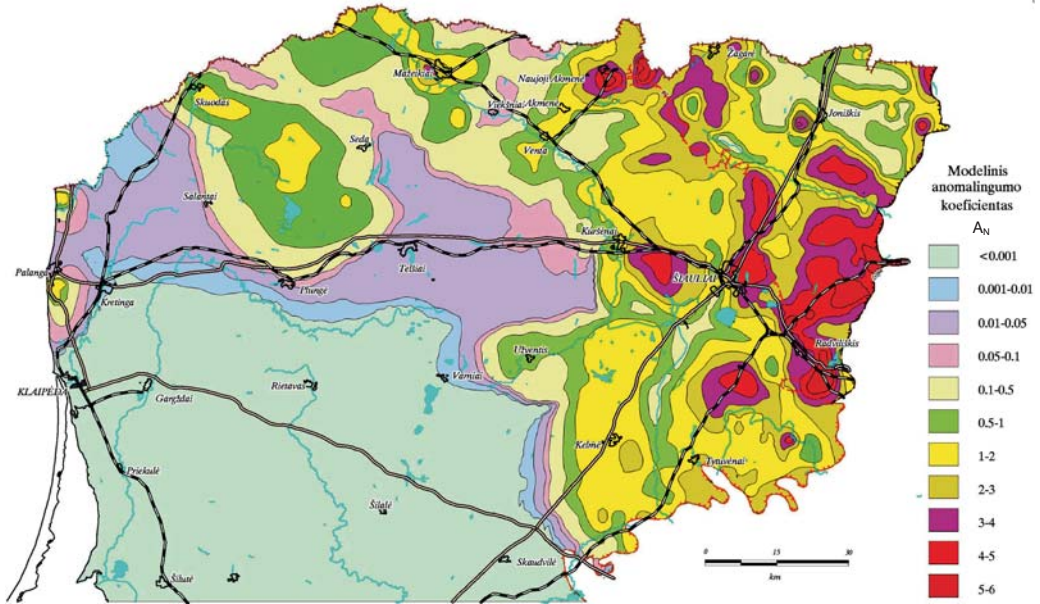
prieš dešimt metų (Gedžiūnas, 1999), buvo pradėti tyrimai (Gregorauskas ir kt., 2003), tačiau dėl lėšų trūkumo jie nebuvo užbaigti. Tiesa, tuomet dar nebuvo Požeminio vandens direktyvos ir galiojo senoji geriamojo vandens higienos norma HN 24:1998 (dėl to dar teks grįžti prie tuomet modeliuotos daugiasluoksnės viršutinio paleozojaus hidrodinaminės sistemos). Šiame straipsnyje pateikdami ir anksčiau gautus rezultatus, norime parodyti, su kokiomis problemomis susiduria hidrogeologai ir kaip jas sprendžia.

Viršutinio paleozojaus hidrodinaminės sistemos (VPHS) eksploataciniai požeminio vandens ištekčiai, kaip minėta, buvo vertinti 1999–2003 m. Ši hidrodinaminė sistema užima šiaurės vakarinį Lietuvos pakraštį, dalis jos yra Latvijoje ir po Baltijos jūra (Gregorauskas ir kt., 2003), tad modeliuotos teritorijos plotas gana didelis – apie 35 tūkst. km^2 , tačiau tik šiek tiek daugiau nei pusė šio ploto yra Lietuvoje.

VPHS sudaro trys pagrindiniai vandeningieji sluoksniai ir kompleksai: viršutinio permio (P_2), viršutinio permio–viršutinio famenio ($P_2 + D_3 \text{ fm}$) ir viršutinio devono Stipinų ($D_3 \text{ st}$). Specifinis šios sistemos bruožas – jos izoliuotumas, nes didesnėje jos išplitimo teritorijos dalyje minėtus vandeninguosius sluoksnius dengia 100–250 m storio triaso ir jūros sistemų molio danga. Gana patikimai ši sistema izoliuota ir iš apačios.

Kuriant VPHS modelį, buvo panaudota gausi faktinė medžiaga – daugiau kaip 4 tūkst. gręžinių informacija, 1:200 000 ir 1:50 000 mastelių geologinės-hidrogeologinės nuotraukos duomenys, vandenviečių ir valstybinio monitoringo duomenys, ankstesnių šiai teritorijai sudarytų modelių rezultatai. Tai – duomenys apie vandeningųjų ir mažai laidžių darinių litologiją, filtracines savybes, kraigo ir pado padėtį, storius, požeminio vandens lygį ir jo cheminę sudėtį. Modelyje buvo įskaitytos 34 pagrindinės ir 185 smulkesnės vandenvietės.

Kalibruojant modelį, buvo atkurtas vandeningųjų sluoksnių pjezometrinųjų lygių eksploatacijos nepažeistas režimas ir net 65 vandenviečių eksploatacijos pažeistas režimas. Po to modelyje buvo įvertinti VPHS dinaminiai ištekčiai, kurie šioje itin uždaroje hidrodinaminėje sistemoje labai nedideli – tik 101,5 tūkst. m^3/d . Net ir tokios labai uždaros sistemos pagrindiniu mitybos šaltiniu yra gruntinis vanduo (92,6 % viso mitybos kiekio). Be to, modelis parodė, kad šios uždaros hidrodinaminės sistemos eksploatacija turės tik minimalią įtaką šio regiono upių



3 pav. Prognostinis gruntinio vandeningojo sluoksnio užterštumo anomalijų poveikis spūdiniam permio-famenio vandeningam kompleksui (prognozuojant į teršiančių medžiagų destrukcijos procesus, užterštam gruntiniam vandeniui vertikaliai filtruojantis per mažai laidžius sluoksnius, atsižvelgta nebuvo).

Fig. 3. Prognosticated impact of shallow aquifer pollution anomalies on the confined Permian-Famennian water-bearing complex (destruction of pollutants during vertical seepage of shallow groundwater low-permeable layers was not taken into account).

nuotėkui, – tik keliose upėse jis gali sumažėti ne daugiau kaip 3,8 %.

Praktiškai tik rytiniame pakraštyje VPHS izoliacija iš viršaus ir apačios gerokai sumažėja (3 pav.), – galima užteršto gruntinio vandens įtaka permio-famenio vandeningam kompleksui. Modeliavimas parodė, kad net neįvertinus per tekančio vandens savaiminio valymosi, tarša į šį kompleksą galėtų patekti tik keliose vietose ir tik pačiame rytiniame VPHS pakraštyje.

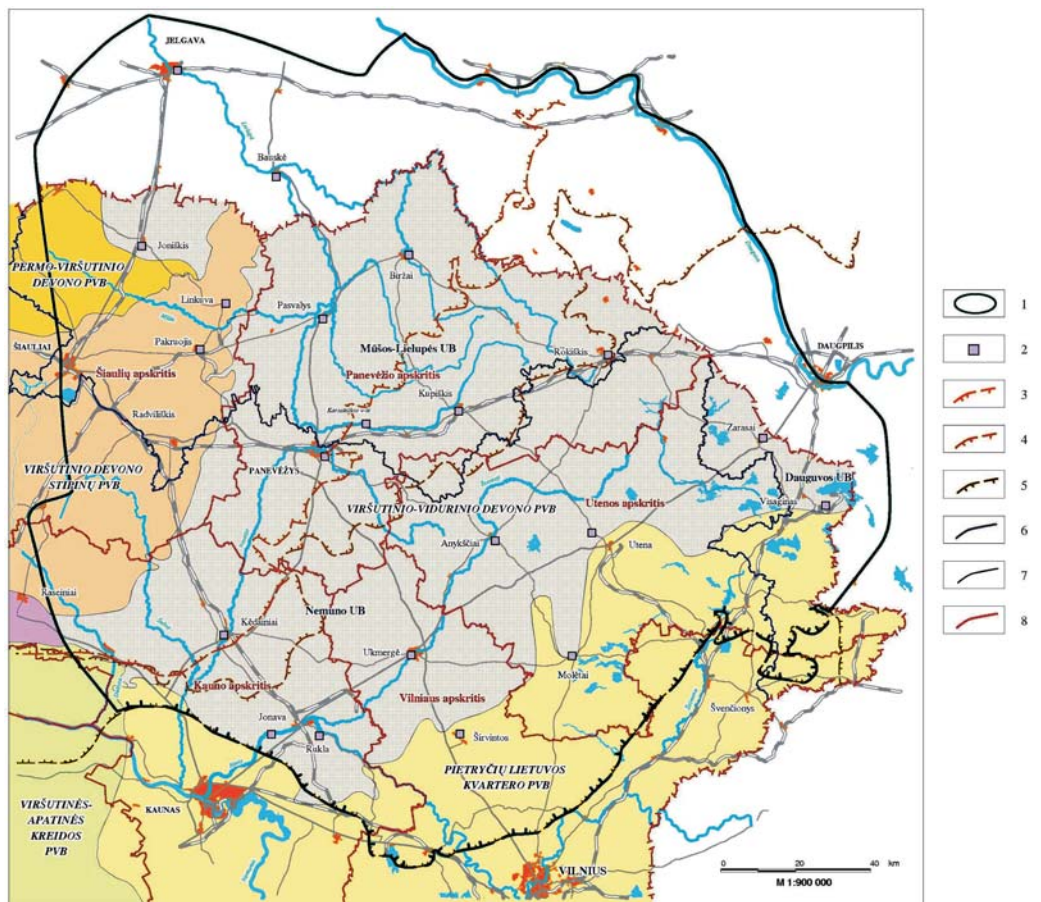
Modeliuojant gruntinio vandens užterštumo poveikį giliau slūgsančių sluoksnių spūdinio vandens kokybei, naudojamas suminio anomalingumo koeficientas (A_N). Jam nustatyti imama bet kuri tyrėją dominančio gruntinio vandens taršą apibūdinančio cheminės vandens sudėties rodiklio vertė (C_i), kuri lyginama su jo fonine verte (C_o). Gautas santykis vadinamas koncentracijos koeficientu ($K_i = C_i/C_o$). Taršą apibūdinančių vandens kokybės rodiklių koncentracijos koeficientų suma sudaro anomalingumo koeficiento (A_N) skaitinę vertę, kuri, kaip minėta, naudojama taršai prognozuoti.

Vertinant VPHS eksploatacinius išteklius, dar nebuvo „Požeminio vandens direktyvos“, todėl esama ir būsima šios sistemos požeminio vandens cheminė būklė buvo vertinama pagal tuo metu galiojusios geriamojo vandens higienos

normos HN 24:1998 reikalavimus dviem šios sistemos vandens komponentams, arba probleminiams rodikliams, – sulfatams (DLK – 450 mg/l) ir chloridams (DLK – 350 mg/l). Kadangi pagal dabar galiojančią higienos normą abiem anijonams DLK yra vienoda (250 mg/l), šiuo metu vertinant VPHS eksploatacinius išteklius, jie bus mažesni ir kiek kitaip pasiskirstę nei buvo gauta anksčiau (Gregorauskas ir kt., 2003) (lentelė).

Lentelė. Viršutinio paleozojaus hidrodinaminės sistemos eksploataciniai požeminio vandens ištekliai (Lietuvos teritorijoje)

Išteklių formavimosi šaltinis	Kiekis, m ³ /d	Vandenviečių debito %
Mitybos iš gruntinio vandeningojo sluoksnio, upių bei Baltijos jūros prieaugis	258610	72,8
<i>iš gruntinio sluoksnio</i>	230230	64,8
<i>iš upių</i>	14380	4,1
<i>iš Baltijos jūros</i>	14000	3,9
Ištakos į gruntinį sluoksnį, upes bei Baltijos jūrą sumažėjimas	68825	19,4
<i>į gruntinį sluoksnį</i>	40925	11,6
<i>į upes</i>	17100	4,8
<i>į Baltijos jūrą</i>	10800	3,0
Šoninės prietakos iš Latvijos prieaugis	19700	5,6
Šoninio nuotėkio į Latviją sumažėjimas	5215	1,5
Vandengraža	2650	0,7
Iš viso (vandenviečių debitas)	355000	100



4 pav. Viršutinio-vidurinio paleozojaus hidrodinaminės sistemos matematinio modelio teritorija: 1 – modeliujamos teritorijos riba; 2 – svarbiausios vandenvietės; vandeninių sluoksnių (kompleksų) išsipleišėjimo ribos: 3 – Įstro–Tatulos, 4 – Kupiškio–Suosos, 5 – Šventosios–Upninkų; 6 – upių baseinų ribos; 7 – požeminio vandens baseinų ribos; 8 – apskričių ribos.

Fig. 4. Area where mathematical modelling was applied for the Upper-Middle Palaeozoic hydrodynamical system: 1 – boundary of the modelled area; 2 – main wellfields; 3–5 – boundaries of wedging of aquifers (their complexes): 3 – Įstra–Tatula, 4 – Kupiškis–Suosa, 5 – Šventoji–Upninkai; 6 – river basin boundaries; 7 – groundwater basin boundaries; 8 – county boundaries.

Įdomu tai, kad, lyginant gautus duomenis (355 tūkst. m³/d žr. lentelę) su beveik prieš 30 metų atliktų tyrimų duomenimis, šios sistemos požeminio vandens eksploatacinių išteklių kiekis yra labai artimas – 344 tūkst. m³/d (Иодказис, 1980), t.y. skirtumas tik 11 tūkst. m³/d.

Viršutinio-vidurinio devono hidrodinaminė sistema (VVDHS) yra didžiausia iš keturių Lietuvos hidrodinaminių sistemų. Ji užima vos ne trečdalį Lietuvos, šiaurėje pereina į Latvijos, rytuose – į Baltarusijos teritorijas, vakaruose jos riba yra šiek tiek į rytus nuo linijos Šiauliai–Raseiniai, o pietuose jos išsipleišėjanti riba beveik sutampa su Neries slėniu (4 pav.). Iš kitų sistemų ji išsiskiria ne tik dydžiu, bet ir sudėtinga struktūra bei hidrogeo-

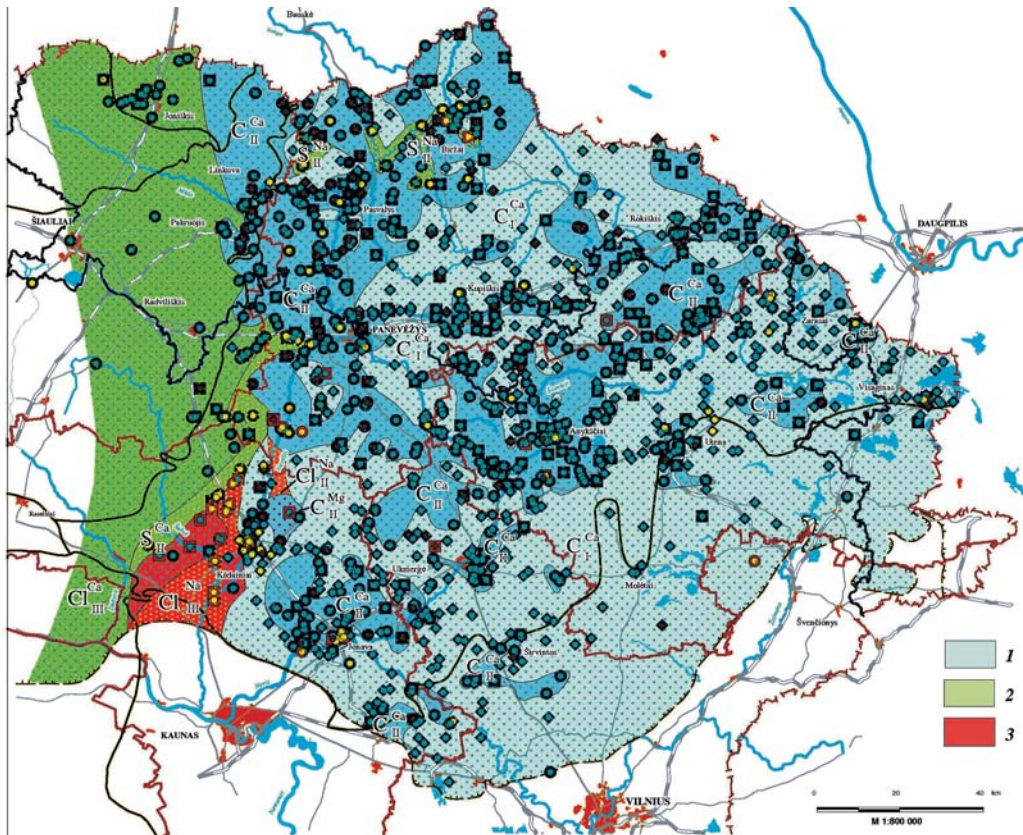
cheminių vandens savybių teritorine kaita. VVDHS sudaro viršutinio-vidurinio devono vandeningieji ir juos skiriantys sluoksniai, tarp kurių svarbiausi – Įstro–Tatulos (D₃ys+tt), Kupiškio–Suosos (D₃kp+ss) ir Šventosios–Upninkų (D₃šv+D₂up) vandeningieji sluoksniai bei kompleksai. Iš viršaus VVDHS dengia kvartero vandeningos ir ne itin vandeningos nuogulos, o apačioje slūgso vidurinio devono Narvos regioninė vandenspara, kai kur suskaldyta tektoninių lūžių. Sudarant VVDHS modelį, buvo panaudota 7610 gręžinių medžiaga (iš jų 540 yra Latvijoje ir Baltarusijoje). Modeliuojamoje teritorijoje yra per 300 vandenviečių, kurių eksploatacijos duomenys buvo panaudoti modelį kuriant ir kalibruojant.

Vienas sudėtingiausių klausimų, su kuriuo susiduria hidrogeologai modeliudami tokias hidrodinamines sistemas, yra vandens kokybės, arba, kalbant direktyvų kalba, požeminio vandens cheminės būklės, problema. VVDHS, kaip minėta, nėra išimtis, greičiau, atvirkščiai (Климас, 1974; 1975; 1996).

Požeminio vandens išteklių cheminei būklei ir kokybei Lietuvoje, kaip žinoma, daugiausia įtakos turi gamtiniai ir antropogeniniai veiksniai, tiksliau – jų sąveika (Климас, 2003). Prie svarbiausių požeminio vandens sudėtį lemiančių gamtinių veiksnių priskirtini fizikiniai-geografiniai, geologiniai ir hidrogeologiniai, prie antropogeninių – požeminio vandens tarša ir intensyvi eksploatacija. Tarp fizikinių-geografinių veiksnių svarbiausi klimatiniai (krituliai–infiltracija) ir orografiniai (reljefas, hidrografinis tinklas), o tarp geologinių-hidrogeologinių – geostuktūriniai (vandeningųjų sluoksnių slūgsojimas, perdangos), litologiniai-petrografiniai

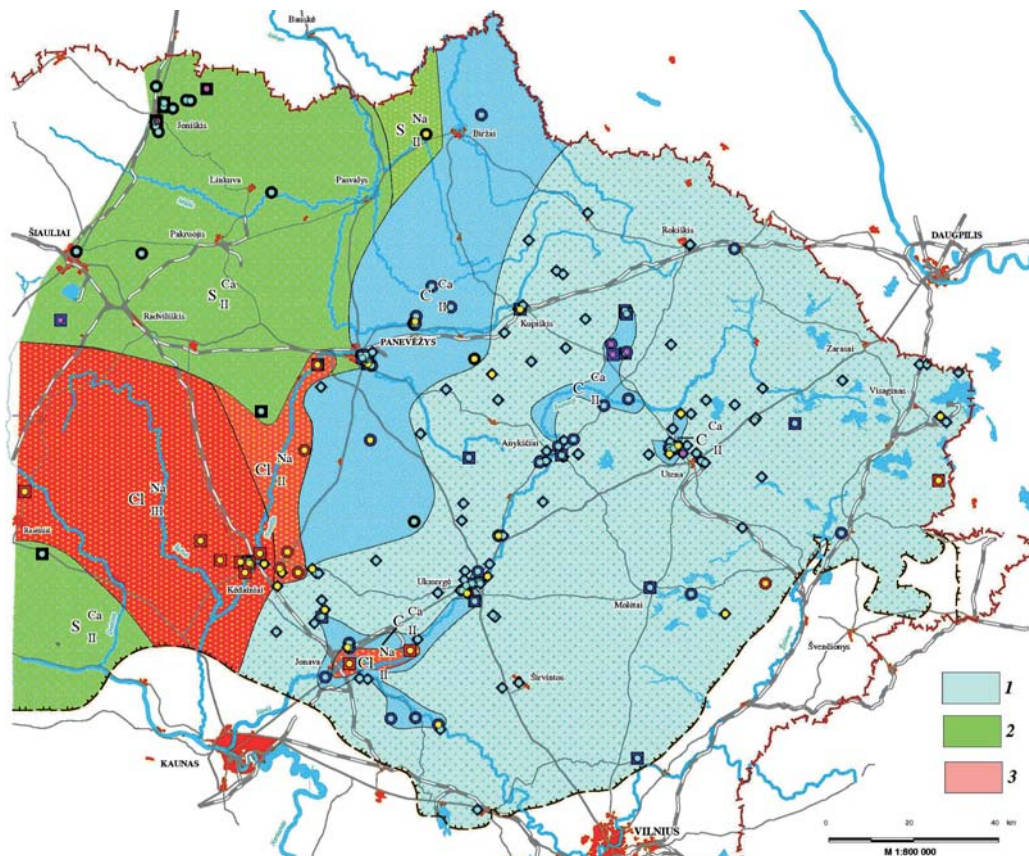
(požeminį vandenį talpinančios uolienos) ir hidrogeodinaminiai (vandeningųjų sluoksnių tarpusavio ryšiai ir ryšys su žemės paviršiumi) veiksniai.

Šių veiksnių įtakai VVDHS požeminio vandens cheminei būklei išryškinti buvo sudaryta net keliasdešimt hidrocheminių žemėlapių ir schemų. Nustatyta, jog esminės šios būklės problemos susijusios su VVDHS vakariniu pakraščiu, gana siaura pereinamąja gėlo ir mineralizuoto vandens zona. Ši zona $D_3\text{šv}+D_2\text{up}$ komplekse ypač gerai matyti hidrocheminiuose žemėlapiuose, sudarytuose pagal O. Aliokino klasifikaciją (Алекин, 1970). Beje, seniai žinoma, kad net 200 m storį siekiančio $D_3\text{šv}+D_2\text{up}$ komplekso požeminio vandens cheminės būklės formavimosi dėsningumams išryškinti būtina sudaryti du žemėlapius – viršutinei ir apatinei jo daliai (Климас, 1974). Pagal naujausius duomenis sudaryti tokie žemėlapiai pateikti 5 ir 6 pav. Jų duomenimis grindžiamas



5 pav. Šventosios–Upinkų vandeningojo komplekso viršutinės dalies hidrocheminis žemėlapis (vandens tipai pagal O. Aliokino klasifikaciją): 1 – hidrokarbonatinis; 2 – sulfatinis; 3 – chloridinis

Fig. 5. Hydrochemical map of the upper part of Šventoji–Upinkai water-bearing complex: water types according to O. Alekin: 1 – hydrocarbonate; 2 – sulphate; 3 – chloride.



6 pav. Šventosios – Upinkų vandeningojo komplekso apatinės dalies hidrocheminis žemėlapis (vandens tipai pagal O. Aliokino klasifikaciją): 1 – hidrokarbonatinis; 2 – sulfatinis; 3 – chloridinis.

Fig. 6. Hydrochemical map of the lower part of Šventoji-Upinkai water-bearing complex: water types according to O. Alekin: 1 – hydrocarbonate; 2 – sulphate; 3 – chloride.

ir šios hidrodinaminės sistemos hidrocheminės būklės konceptualus modelis.

Požeminio vandens cheminės būklės konceptualus modelis. Kadangi esminių klimatinėjų skirtumų VVDHS išplitimo teritorijoje nėra, gėlo ir mineralizuoto vandens pereinamajai zonai susidaryti iš gamtinių veiksnių čia svarbus tik orografinis (aukštumos ir žemumos, upių slėniai ir tarpupiai), t.y. požeminio vandens mitybos ir ištakos sričių pasiskirstymas, iš dalies lemiantis ir hidrodinaminio veiksnio įtaką VVDHS cheminei būklei.

VVDHS rytinėje dalyje (mitybos srityje), komplekso viršutinėje ir apatinėje dalyse išplitęs mažiau mineralizuotas kalcio hidrokarbonatinis požeminis vanduo (ypač tarpupiuose), o vakarų (regioninės ištakos) kryptimi šio vandens mineralizacija didėja – čia vanduo tampa kalcio, natrio sulfatinio ar chloridiniu. Šia kryptimi didėja ir pagrindinių indikatorinių anijonų (sulfatų ir

chloridų) koncentracijos. Daugeliu atvejų manyti, kad net ir palyginus nedideli upių slėniai turi įtakos požeminio vandens cheminei būklei (žr. $D_3\text{šv}+D_2\text{up}$ komplekso viršutinės dalies hidrocheminį žemėlapi, Nevėžio žemupio slėnį, kur yra „išlindęs“ chloridinis vanduo).

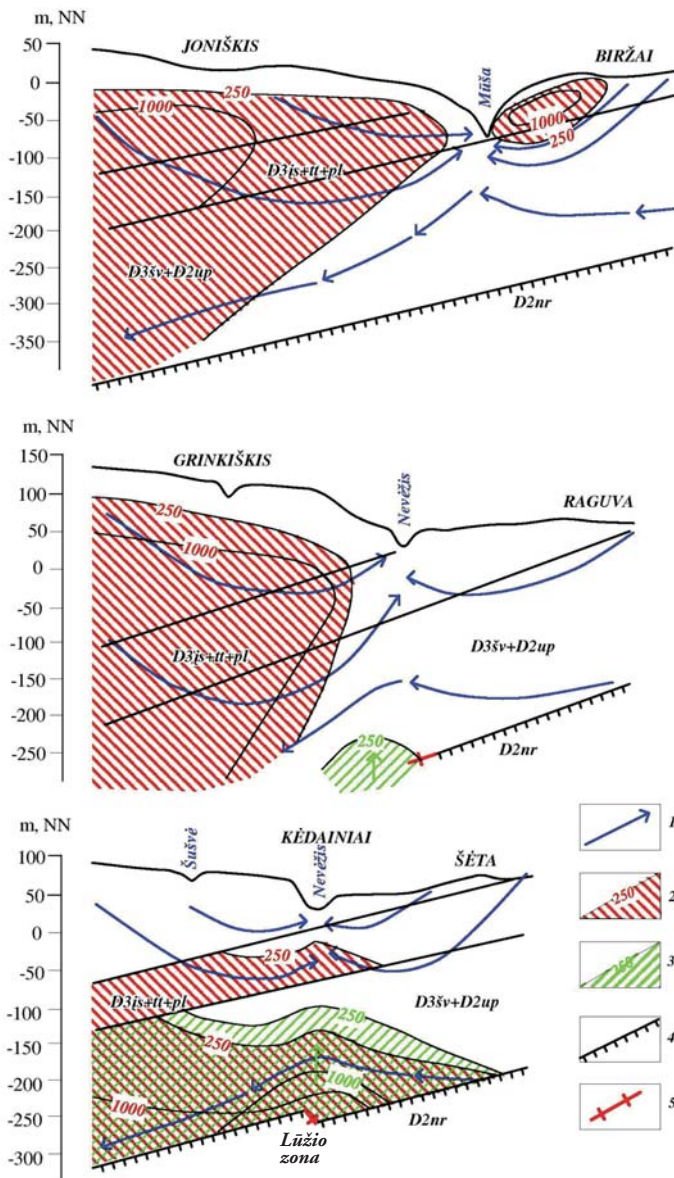
Dar didesnę įtaką VVDHS cheminei būklei turi geologiniai-hidrogeologiniai veiksniai. Pirmiausia, sluoksniams nyrant gilyn vakarų kryptimi (geostruktūrinis veiksnys), visuose juose mažai mineralizuotą vandenį keičia labiau mineralizuotas, nes čia pasireiškia hidrodinaminis veiksnys, t.y. išryškėja horizontalus, o vertikalus kryptimi – ir vertikalus hidrocheminis zoniškumas. Be to, VVDHS cheminei būklei ne mažiau svarbus ir litologinis-petrografinis veiksnys – gipso išplitimas $D_3\text{tt}$ sluoksniuose. Ten, kur yra gipso, ne tik $D_3\text{tt}$, bet ir gilesnių sluoksnių vandenyje daug sulfatų. Tačiau didžiausią įtaką šioms procesams daro hidrodinaminio ir

litologinio-petrografinio veiksnių kombinacija (7 pav.). Pavyzdžiui, ties Kėdainiais galingas gėlo vandens srautas, tekantis $D_3\text{šv}+D_2\text{up}$ kompleksu, toli įsiterpia į sulfatinio vandens zoną, išplitusią šio komplekso apačioje ir jo kraige slūgsančiuose gipso–dolomito sluoksniuose. Kiek šiauriau, į vakarus nuo Panevėžio, sulfatinis vanduo iš viršaus užpildo ir viršutinę šio komplekso dalį, bet aktyvi Nevėžio įtaka dar kiek gėlina viršutinę gipso–dolomito sluoksnių dalį. Dar šiauriau, ties Joniškiu, beveik visą VVDHS užpildo sulfatinis vanduo, per gipsingus

sluoksnius tekantis šiaurės rytų kryptimi, Latvijos link.

Faktai rodo, kad antropogeniai veiksniai VVDHS požeminio vandens išteklių cheminę būklę ir kokybę veikia gerokai stipniau. Požeminio vandens eksploatacija net ir anksčiau negalėjo kiek nors labiau pakeisti šios galingos, turtingos požeminio vandens išteklių sistemos cheminės būklės (Klimas, 2006). Ši aplinkybė gerokai pristabdė ir kito veiksnio – taršos – įtaką. Taigi konceptualus VVDHS požeminio vandens išteklių cheminės būklės formavimosi modelis atrodytų taip (žr. 5, 6, 7 pav.):

♦ Rytinėje VVDHS išplitimo dalyje, Aukštaičių aukštumose ir jų vakarinėse atšlaitėse (VVDHS regioninėje mitybos srityje) maždaug iki Nevėžio visuose šios sistemos vandeninguosiuose sluoksniuose išplitęs mažos mineralizacijos (maždaug iki 500 mg/l) kalcio hidrokarbonatinis I arba II tipo vanduo ($C_{I,II}^{Ca}$, C_{II}^{Ca}). Lokaliai išplitęs III (C_{III}^{Ca}) šio vandens tipas siejamas su tarša (Klimas, 2003). Apskaičiuota, kad tokio vandens plotai šioje VVDHS išplitimo srityje, viršutinėje $D_3\text{šv}+D_2\text{up}$ komplekso dalyje, sudaro 18–19 %. Galima tvirtinti, kad šiame



7 pav. Konceptualus regioninių požeminio vandens srautų ir sulfatų bei chloridų koncentracijų formavimosi modelis pereinamojoje kondicinio/nekondicinio vandens zonoje: 1 – tėkmės linijos; 2 – $C_{SO_4} > 250$ mg/l; 3 – $C_{Cl} > 250$ mg/l; 4 – vandenspara, 5 – tektoninis lūžis.

Fig. 7. A conceptual model of the regional groundwater flows and formation of sulphate and chloride concentrations in the transit zone between the conditioned and unconditioned water: 1 – flow lines; 2 – sulphates > 250 mg/l; 3 – chlorides > 250 mg/l; 4 – aquiclude, 5 – tectonic fracture.

plote toks yra gruntinio-paviršinio vandens „indėlis“ į šių sluoksnių turimus išteklius. Modelyje jį galima patikslinti ir pagal hidrokarbonatų koncentracijos prieaugį šioje srityje, viršutinėje $D_3\text{šv}+D_2\text{up}$ komplekso dalyje: Aukštaičių aukštumose ši koncentracija lygi 400–450 mg/l, o į rytus ir į vakarus ji sumažėja iki 350 mg/l. Šį skirtumą (12,5–22,2 %) realiausiai galima paaiškinti iš viršaus į šį kompleksą patenkančių taršių, pirmiausia – organinių medžiagų degradacija požemyje (Klimas, 2002). Šiuo atveju tie procentai irgi rodytų procentinį gruntinio-paviršinio vandens „indėlių“ į $D_3\text{šv}+D_2\text{up}$ komplekso viršutinės dalies turimus požeminio vandens išteklius.

♦ Į vakarus nuo linijos Rokiškis–Kupiškis–Troškūnai–Šėta, VVDHS viršutinėje dalyje atsiradus $D_3\text{kp}+ss$ dolomito sluoksniams, visuose sistemos vandeninguosiuose sluoksniuose įsivyrąja C_{II}^{Ca} , C_{II}^{Mg} vandens tipai, o nuo linijos Biržai–Panevėžys–Kėdainiai, kur $D_3\text{tt}$ sluoksniuose yra gipso, pirmiausia $D_3\text{tt}$, o po to ir $D_3\text{kp}+ss$ sluoksniuose aptinkama S_{II}^{Ca} vandens tipas (žr. 5 pav.).

♦ $D_3\text{šv}+D_2\text{up}$ komplekso viršutinėje dalyje vandens tipas ir sulfatų koncentracijos dydis pirmiausia ir labiausiai priklauso nuo hidrodinaminio veiksnio: SO_4 koncentracija pradeda didėti tik į vakarus nuo Nevėžio, Lėvens, Mūšos (žemupio) (žr. 7 pav.), nors gipso $D_3\text{tt}$ sluoksniuose jau yra gerokai ryčiau, ypač šiaurėje, Mūšos baseine. Taigi galima tvirtinti, kad plote į vakarus nuo Nevėžio–Lėvens–Mūšos žemupio gipsingas $D_3\text{tt}$ sluoksniuose vanduo per tūkstančius metų užpildė $D_3\text{šv}+D_2\text{up}$ komplekso viršutinę dalį, – tai ypač akivaizdu Joniškėje.

♦ Šio komplekso apatinės dalies vandens cheminę būklę lėmė iš esmės tik hidrodinaminis veiksnys (žr. 6 pav.): pavyzdžiui, tik padidėjusios mineralizacijos vandens prietaka iš apačios galima paaiškinti tai, jog S_{II}^{Ca} vandens

tipas apatinėje komplekso dalyje Mūšos baseine pasirodo gerokai toliau į rytus nei viršutinėje dalyje (t. y. jo šaltinis yra ne viršuje, o apačioje), o Nevėžio vidurupyje ir žemupyje komplekso apačioje vyrauja Cl_{III}^{Na} , Cl_{III}^{Na} vandens tipai, kuriuos formuoja tokio vandens prietaka iš apačios. Beje, ši aplinkybė ypač akivaizdi Kėdainiuose. Būtent šiame vandenyje yra šiek tiek padidėjusios dviejų toksinių rodiklių (boro ir fluoro) koncentracijos, tačiau šis padidėjimas labai mažas, todėl vertinant išteklius į jį atsižvelgti nebūtina (Klimas, Mališauskas, 2007).

Baigiamosios pastabos

Daugelyje pasaulio šalių egzistuoja praktika kas 20–25 metus patikslinti geriamojo vandens poreikio bei turimų išteklių balansą. Ši praktika taikoma ir Lietuvoje, kur gėrimui vartojamas tik požeminis vanduo. Šiuo metu pradėtas vykdyti projektas, kurio tikslinė paskirtis – nustatyti geriamojo vandens poreikį ir įvertinti požeminio vandens išteklius, reikalingus Lietuvos miestų ir miestelių viešojo vandens tiekimo sistemoms laikotarpiui iki 2025 metų. Išteklių vertinimo darbų ypatumus lemia tai, kad jie turi būti vykdomi laikantis Europos Sąjungos direktyvų (Directive 2000/60/EC; Directive 2006/118/EC), kuriose suformuluoti griežtesni reikalavimai. Jie susiję ne tik su vandens kokybe, bet ir su būtinybe įvertinti poveikį aplinkai – sausumos ir vandens ekosistemoms, kur šioms įtakos gali turėti intensyvi požeminio vandens gavyba. Tam, kad galima būtų įgyvendinti projekte numatytus tikslus, patikslinta tokių darbų metodologija ir suformuluotos nuostatos, apribojančios neigiamą intensyvios požeminio vandens eksploatacijos poveikį sausumos ir vandens ekosistemoms.

Literatūra

- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy.
- Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the Protection of Groundwater Against Pollution and Deterioration.
- Gedžiūnas, P., Gregorauskas, M., Klimas, A. Antroji regioninio požeminio vandens išteklių įvertinimo stadija // Geologijos akiračiai, Nr. 3 (35). – 1999. – P. 16–25.
- Gregorauskas, M., Klimas, A., Plankis, M. Požeminio vandens išteklių vertinimas pagal 2000/60/EC direktyvą // Geologijos akiračiai, Nr. 3–4 (51–52). – 2003. – P. 30–34.
- Juodkasis, V. Geriamasis vanduo – aktuali Lietuvai dabarties problema // Geologijos akiračiai, Nr. 2. – 2004. – P. 6–15.
- Klimas, A. Oksidacijos–redukcijos procesų vaidmuo formuojantis požeminio vandens cheminei sudėčiai // Geologija, Nr. 40. – 2002. – P. 46–54.
- Klimas, A. Vandens kokybė Lietuvos vandenvietėse // Pokyčių studija. – Vilnius, 2006. – 487 p.

- Klimas, A. Regularities of fresh groundwater quality formation in Lithuania / Abstract of Habilitation Thesis. – Vilnius, 1996. – 91 p.
- Klimas, A., Mališauskas, A. Boras ir kiti retesnieji mikroelementai Lietuvos gėlo požeminio vandens sluoksniuose // Geologijos akiračiai, Nr. 3 (67). – 2007. – P. 34–41.
- Domaševičius, A., Juodkazis, V., Kadūnas, K., Klimas, A. Požeminio vandens naudojimo ir apsaugos 2002–2010 metų strategija. – Vilnius, 2002. – 83 p.
- Алекин, О.А. Основы гидрохимии. – Ленинград, 1970. – 443 с.
- Иодказис, В.И. Формирование и освоение эксплуатационных ресурсов подземных вод Прибалтики. – Вильнюс, 1980. – 176 с.
- Климас, А.И. Связь пьезометрических уровней и химического состава подземных вод в средней части бассейна р. Нявежис // Вопросы формирования ресурсов подземных вод Южной Прибалтики (Труды ЛитНИГРИ, вып. 23). – Вильнюс, 1974. – С. 138–143.
- Климас, А.И. Гидрогеологические и гидрохимические условия пресных напорных вод Южной Прибалтики и прогноз их изменения под влиянием эксплуатации / Автореферат канд. дис. – Вильнюс, 1975. – 23 с.

Summary

Groundwater Safe Yield Assessment Principles

Project: Assessment of Groundwater Resources in Lithuania for 2007–2025

It is common in many countries to check the balance between the drinking water demand and its resources. This approach is also used in Lithuania that uses only groundwater for drinking. Now the project is launched to determine drinking water demand and assess groundwater resources, which are necessary for public water supply in Lithuania's towns and settlements for the period by 2025. The specificity of resources assessment is related to the obligation to follow the EU directives (Directive 2000/60/EC; and Directive 2006/118/EC), which specify stricter requirements. They are related not only to water quality, but also to the potential impact for the environment, i.e. land and water ecosystems, due to intensive groundwater extraction. In order to meet the project goals, the methodology of such works should be adjusted.

When water is extracted from multi-layer hydrodynamical systems of confined aquifers, its donor is shallow groundwater. Now there are not enough data available about the sinking of shallow groundwater table and its environmental consequences. Nevertheless, such phenomenon in land ecosystems is thought to cause risk only in small well-field recharge areas. Moreover, more significant water table sinking could appear in plain areas covered with till loam, where the recharge module is minimum—about 0.1–1.0 l/s per sq. km.

Experience gained in mathematical modelling of hydrogeological processes shows that on a regional scale the shallow groundwater water table will not sink more than 0.2–0.5 m, while that in recharge areas being under unfavourable conditions (high water intakes, bad shallow groundwater recharge conditions) shall not exceed 1–1.5 m. Such is water table sinking level that is observed in drained agricultural fields or industrial areas and construction sites. As a rule, such level sinking causes no environmental consequences. Nevertheless, the potential scale of shallow water table sinking in the multilayer systems will be adjusted by means of mathematical simulation. If the environmental risk is obtained, the safe yield rate will be lowered.

The EU Directive 2000/60/EC specifies that during extraction of groundwater from aquifers, the environmental state of surface water should not be deteriorated and related water ecosystems, first of all fish populations, should not be impaired. Since there are no official requirements from the Lithuanian Environment Ministry to limit this situation, the requirements for groundwater resources in both multi-layer and one-layer systems are based on water ecosystem security approach: * prognosticated groundwater runoff into rivers should not be lower than the minimum 30-day discharge rate; * water level in the lakes should not drop below the long-term natural minimum average altitude.

The article presents the most important formulated principles. Cartographic pictures of systematised hydrogeochemical data used for mathematical simulation are given to characterise the intricate variations of groundwater chemistry.