

**Požeminio vandens hidrogeodinaminių tyrimų raida**

**Vytautas Juodkazis<sup>1</sup>, Robert Mokrik<sup>1</sup>, Marius Gregorauskas<sup>2</sup>**

*(<sup>1</sup>Vilniaus universitetas, <sup>2</sup>UAB „Vilniaus hidrogeologija“)*

Juodkazis, V., Mokrik, R., Gregorauskas, M., 2011. Development of hydrogeodynamical investigations of groundwater resources. *Baltica*, Vol. 24, Special Issue // Geosciences in Lithuania: challenges and perspectives, 31–42. Vilnius. ISSN 0067–3064.

**Abstract** Main stages of the development of investigations of regional groundwater resources in Lithuania are shown. Methodology of hydrogeodynamical investigations, principles of localization and parametrization of hydrogeodynamical systems and use of mathematical models for evaluation of groundwater resources and structure of their balance are discussed.

**Keywords** hydrogeodynamical systems, groundwater resources, mathematical models, Lithuania.

Vytautas Juodkazis [vytautas.juodkazis@gf.vu.lt], Robert Mokrik [robert.mokrik@gf.vu.lt], Vilnius University, Department of Hydrogeology and Engineering Geology, 21/27, M. K. Čiurlionio, 03101 Vilnius, Lithuania; Marius Gregorauskas [vh@mail.itl.lt], JSC Vilnius Hydrogeology, 37, J. Basanavičiaus, 03001 Vilnius, Lithuania. Manuscript submitted 5 May 2011, accepted 15 July 2011.

**ĮVADAS**

Mokslo institucijų jubiliejai nužymi juos kūrusių ir puoselėjusių specialistų nueitą kelią, kuriame būta tiek šviesių vilčių ir pasitenkinimo pasiektais rezultatais, tiek ir kartėlio dėl nesėkmių, nulemtų ne tik asmeninių priežasčių, bet ir politinės bei socialinės aplinkos kaitos. *Geologijos ir geografijos institutas* buvo įkurtas 1941 m. birželio 11 d. – po Lietuvos Respublikos aneksijos, o iki Lietuvos gyventojų masinio trėmimo į Sibirą buvo likę tik kelios dienos. Tais pat metais birželio 22 d. Sovietų sąjungos vakariniame pasienyje sugriaudėjo pabūklai – vokiečiai žygiavo nugalėti sovietus, tačiau patys buvo sutriuškinti. 1945 m. gegužės 8 d. Vokietija pasirašė besąlygiškos kapituliacijos aktą. Suprantama, kad per visą karo ir pokario kovų bei žmonių trėmimo laikotarpį Lietuvoje normalaus mokslinio darbo nebuvo – tauta grūmėsi ir gydėsi karo žaizdas. Geologijos ir geografijos instituto bendradarbiai tyrė naudingųjų iškasenų telkinius, vykdė kitus, atstatomajam pokario laikotarpiui aktualius tyrimus.

1953 m. pirmuoju TSKP sekretoriumi tapo Nikita Chruščiovas – buvo pasmerktas Stalino kultas, prasidejo lyg ir „liberalėnis“ laikotarpis – sovietinėms respublikoms buvo suteikta daugiau ekonominės ir

kultūrinės veiklos laisvių. Lietuvos geologijai tai buvo paranku – buvo įkurta *Lietuvos geologijos valdyba*, kuriai buvo suteikta teisė koordinuoti ir finansuoti visus geologinius tyrimus. Geologijos ir geografijos institutas buvo reorganizuotas: geografai liko LMA sistemoje, o geologai buvo „perduoti“ TSRS geologijos ministerijos žinion. Nesigilinant į reformos „anatomiją“ galima teigti, kad 1963 m. naujai Lietuvoje suformuotas *Geologijos institutas* mūsų šalies geologijos tyrimų istoriją papildė ne vienu Lietuvos ir kitų Baltijos šalių teritorijų gelmių pažinimui vertingu darbu. Institutas buvo gerai finansuojamas, jo direkcija ir mokslo taryba sukūrė tam laikotarpiui tobulą instituto struktūrą, suformavo darbingą mokslininkų kolektyvą, kurio daugelis buvo Vilniaus universiteto auklėtiniai. Tad instituto personalas išliko lietuviškas.

1972 m. institutas persikėlė į naują pastatą, aprūpintą modernia, tuometiniu požiūriu, aparatūra ir laboratorine įranga. Institute buvo įkurtas *Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos skyrius*, kurio mokslininkai nuėjo kelią nuo aprašomosios regioninės hidrogeologijos iki sudėtingų erdviųjų požeminio vandens filtracijos ir migracijos modelių kūrimo bei vandens išteklių ir jų kokybės prognozavimo, taip pat moderniosios hidrochemijos ir aplinkos hidrogeologijos problemų sprendimo.

Atkūrus Lietuvos nepriklausomybę ir privatizavus hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos verslą, dalis institute pradėtų darbų buvo tęsiama Vilniaus universiteto Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos katedroje bei privačiose įmonėse, nes valstybė nebesugebėjo reikiamai finansuoti mokslo institutuose išplėtotų tyrimų.

## MODERNIOSIOS HIDROGEOLOGIJOS LINK

Geologija ir atskiros jos veiklos kryptys bei šakos konkretaus „daikto“ nesukuria. Jos tyrimo produktas yra informacija apie giluminę teritorijos sandarą, uolienų medžiaginę sudėtį ir naudingųjų iškasenų telkinių pasiskirstymą, apie jų panaudojimą pramonei ar kitos paskirties verslui. Tai specifinė paslaugų sfera, kuri klesti, jeigu yra konkretus valstybinis ar/ir socialinis užsakymas. Sovietiniais metais „galinga“ sąjunginė Geologijos ministerija visus geologinius tyrimus finansavo iš valstybės biudžeto – tiek regioninius kartografavimo, tiek ir naudingųjų iškasenų paieškos bei žvalgymo darbus. Gauti rezultatai privalėjo būti patikimi, jų priėmimo tvarka buvo griežtai reglamentuota – visos ataskaitos recenzuojamos, skaičiavimai tikrinami ekspertų. Lėšos sumanytiems darbams būdavo adekvačios projektams ir numatytos tiek rutiniams, tiek ir inovaciniams tyrimams. Tai sudarė sąlygas specialistams siekti gerų rezultatų ir tobulėti profesiniu požiūriu.

**Hidrogeodinaminių tyrimų raida.** Žvelgiant istoriniu požiūriu, galima sakyti, kad iki XX a. pirmosios pusės hidrogeologiniai tyrimai beveik nebuvo vykdomi – buvo domimasi mineralinių šaltinių vandens savybėmis, taip pat gręžiami pavieniai gėlo vandens gręžiniai. Atkūrus 1918 m. Lietuvos nepriklausomybę, Kaune buvo įkurtas *Lietuvos universitetas*. Jame veikė dvi geologinės paskirties katedros, kurioms vadovavo profesoriai Mykolas Kaveckis ir Juozas Dalinkevičius (būsimieji pokario kartos geologų mokytojai). Jie organizavo geologinius tyrimus, tačiau lėšų jų atlikimui, ypač lauko darbams, valstybė skyrė mažai. Tai suprantama – Lietuva kėlėsi po šimtmetinės carinės Rusijos okupacijos, kaip dabar keliasi po sovietinės. Todėl hidrogeologijos srityje buvo nuveikta nedaug.

Poreikis vandens gręžiniams ir viešojo vandentiekio paslaugoms labai išaugo sovietiniais metais, kuriantis kolūkiams ir naujoms gamykloms bei spartinant gyvenamųjų namų statybą miestuose. Tad atsirado paklausa ir moksliniu pagrindu susistemintai hidrogeologinei informacijai. 1959 m. gynimui disertaciją apie prekartero uolienų požeminį vandenį pristato Maskvos universiteto aspirantūrą baigęs Alfonsas Kondratas, o 1962 m. – tame pačiame universitete disertaciją apie kvartero nuogulų požeminį vandenį parengęs Algimantas Ignatavičius. Tais pat metais disertaciją apie Vilniaus apylinkių geologines ir hidrogeologines sąlygas gynė ir Vilniaus universiteto docentas Leonas Ričardas Petrusis. Tuomet, kalbėdami apie hidrogeolo-

gijos mokslo ateitį, geologai postringavo, kad hidrogeologams Lietuvoje daugiau nėra ką veikti - „*Kondratas parašė disertaciją apie prekartero uolienų, o Ignatavičius - apie kvartero nuogulų požeminius vandenis. Tad daugiau nėra ką bedaryti*“. Jie neįžvelgė ateities. Ši maža regioninių požeminio vandens tyrimų pradžia susilaukė didelio tęsinio, tačiau tam reikėjo keisti tyrimų metodologiją – aprašomąjį regioninės hidrogeologijos „stilių“ keisti informatyvesniais hidrogeodinaminių sistemų vandeningųjų sluoksnių schematizavimo bei parametrizavimo metodais, naudoti hidrogeologinių procesų matematinio modeliavimo techniką. Po to hidrogeologijos tyrimų kryptyje dar buvo parengtos ir sėkmingai apgintos 25 disertacijos.

Šis metodologinis posūkis buvo sąlygotas objektyvių priežasčių – išteklių vertinimo tikslumas visų pirma priklauso nuo hidrogeologinio žvalgymo darbų detalumo ir vertinimo metodikos tobulumo bei valstybės požiūrio į problemos sprendimą – tuometinio liaudies ūkio planuose buvo numatyta tokia tvarka, kad kas 20–25 metai reikėjo patikslinti, kokiais geriamojo vandens ištekliais disponuoja valstybė. Tad dabar jau galime kalbėti apie tris prognozių požeminio vandens išteklių vertinimo kartas (etapus): I – 1960–1980 m. (Juodkasis 1966; Diliūnas 1973); II – 1980–2000 m. (Juodkasis 1980 ir kt.) ir III – 2005–2025 m. (Juodkasis, Mockevičius ir kt. 2004). III-sios kartos tyrimai neužbaigti, rezultatai dėl finansavimo stokos neapibendrinti. Nors požeminio vandens eksploataciniai ištekliai buvo vertinami skirtingu laiku ir skirtingose teritorijose, visais atvejais buvo laikomasi tų pačių metodinių principų – vertinami potencialūs (regioniniu mastu) ir perspektyvūs (lokalizuoti palankiausiose hidrogeologiniuose ir ekonominiuose požiūriais vietovėse) ištekliai; I ir III kartų požeminio vandens vertinimas buvo atliekamas tik Lietuvos teritorijoje, o II-sios - visose trijose Baltijos šalyse ir Karaliaučiaus (Kaliningrado) srityje.

Vertinant minėtas tris kartas moksliniu požiūriu, galima sakyti, jog didžiausias I-sios kartos tyrimo nuopelnas glūdi tame, kad atliekant atskirų sluoksnių eksploatacinių išteklių hidrodinaminius tyrimus buvo panaudotos ne vien standžiosios, bet ir tampriosios geofiltracijos analitinės formulės – tuo adekvačiau buvo atspindėtos požeminio vandens išteklių skaičiavimo schemas ir ribinės sąlygos (izoliuoti ir neizoliuoti sluoksniai su ribų bei filtracijos režimo charakteristikomis) bei nutiestos gairės link daugiasluoksnių hidrogeologinių sistemų trimačių modelių sudarymo, kitaip tariant, buvo pereita į aukštesnį analitinių metodų teorinį lygmenį. Analitinių sprendinių metodai turi vieną esminį trūkumą – jie skaičiavimais negali pilnai apibūdinti hidrogeologinių sąlygų įvairovės bei sudėtingumo, pavyzdžiui, gamtinio požeminio nuotėkio pokyčio eigos, sluoksnių sudėtingų ribinių sąlygų ir parametrų heterogeniškumo, determinuoto hidraulinio ryšio tarp gretutinių sluoksnių, vandens telkinių ir gręžinių sąveikos.

II-osios kartos tyrimai svarbūs tuo, kad jie, vėlgi, pirmą kartą Baltijos šalių regione buvo atlikti matematinio modeliavimo metodais, taikant tinklinį elektro-hidrogeodinaminių analogijų metodą, įgalinusį sukurti daugiasluoksnių hidrogeologinių sistemų regioninius matematinis modelius. Tyrimai buvo atlikti visame Baltijos artezinio baseino 190 tūkst. km<sup>2</sup> plote (Juodkasis 1980 ir kt.). Tokio masto hidrogeodinaminių procesų modeliavimo darbai tuometinėje Sovietų sąjungoje buvo atlikti pirmą kartą. Neatsitiktinai 1979 metais Tarptautinės hidrogeologų asociacijos (THA) prašymu, Maskva (sąjunginės Geologijos ministerija ir Mokslų akademija) tarptautinį simpoziumą, skirtą požeminio vandens ištekliams vertinti, pasiūlė organizuoti Vilniuje, Geologijos instituto bazėje. Tačiau minėti tyrimai taip pat turėjo vieną trūkumą – jų metu nebuvo prognozuojami teršiančių medžiagų migracijos, požeminio vandens galimos taršos, procesai.

III-sios kartos tyrimus buvo numatyta atlikti 2007–2011 m. Tačiau, kaip minėta, jie nėra užbaigti. Reikia tikėtis, kad pagerėjus valstybės ekonominei būklei, III kartos išteklių programoje numatyti tyrimai bus tęsiami (Juodkasis, Mockevičius ir kt. 2004). Tarp visų kitų tyrimų uždavinių, kurie svarbūs požeminio geriamojo vandens išteklių kiekio ir kokybės vertinimui 2005–2025 m. laikotarpiui, būtina pažymėti, kad aptariamoms kartoms tyrimai atlikti naudojant šiuolaikines kompiuterines programas, o tai leidžia sukurti požeminio geriamojo vandens valstybinę informacinę sistemą (duomenų bazę), kurioje būtų sukaupti pastoviai veikiantys Lietuvos hidrogeodinaminių sistemų matematiniai modeliai ir kita, su ištekliais susijusi informacija. Įgyvendinus programoje numatytus uždavinius III-osios kartos tyrimų rezultatai įgalintų tvarkyti mūsų šalies geriamojo vandens ūkį modernių informacinių technologijų lygmenyje.

**Hidrogeodinaminių tyrimų metodologija** – tai būtinų metodų visuma atliekant požeminio vandens išteklių kiekybinį ir kokybinį vertinimą. Naudojamų metodų visuma priklauso nuo tiriamo objekto dydžio – lokalaus ar regioninio, taip pat nuo jo sudėtingumo, su kuriuo visuomet susiduriama, kai tiriamo objekto plotas siekia dešimtis tūkstančių kvadratinių kilometrų. Tokiais atvejais, siekiant palengvinti tyrimo procesą, tiriamą objektą būtina suskaidyti į sudedamąsias dalis – iš geologinės aplinkos (artezinio baseino) išskirti geologinius kūnus, sudarančius vientisus savarankiškus darinius – *hidrogeodinamines sistemas*, kurioms būdingi šie bruožai: • jos yra daugiasluoksnės, jų struktūrą lemia įvairaus laidumo sluoksnių išsidėstymas sistemoje; • sistemos viduje egzistuoja glaudūs hidrauliniai ryšiai tarp atskirų sistemos elementų; • kiekviena laisvai iš aplinkos išskirta hidrogeodinaminė sistema turi išorinius ryšius, kuriuos reikia įvertinti ir priimti arba atmesti, atsižvelgiant į jų svarbą galutiniams tyrimo rezultatams. Hidrogeodinaminėse sistemose esantis požeminis vanduo yra veikiamas meteorologinių (infiltracinė mityba), hidrologinių – (ištaka į upes ir žemės paviršių) ir antropogeninių (teršiančių medžiagų skvarba gilyn) procesų. Visi šie procesai yra sudėtingi ir reikalauja kiekybinio įvertinimo. Galima sakyti, kad

minėtų regioninių tyrimų metodologija galutinai buvo suformuluota ir įgyvendinta II-sios kartos išteklių įvertinimo metu – 1972–1980 m. Taip buvo žengtas svarbus žingsnis nuo *aprašomosios link moderniosios skaitmeninės hidrogeologijos*, kurios metodologija III-sios kartos tyrimuose buvo toliau tobulinama ir išplėta (įskaitant ir požeminio vandens monitoringo uždavinius) pasitelkiant šiuolaikinę skaičiavimo programinę įrangą bei moderniosios hidrogeochemijos ir izotopinių tyrimų metodus (Appelo, Postma 1993; Juodkasis, Mažeika, Petrošius 1995; Mokrik 2003; Klimas 2006, Gregorauskas 2009 ir kt.) (1 lentelė).

#### **Hidrogeodinaminių sistemų išskyrimo principai.**

Jie buvo suformuluoti atliekant II-sios kartos regioninius tyrimus ir rėmėsi monokline Baltijos artezinio baseino sluoksnių slūgsojimo ir susiklostymo struktūra bei aktyvios požeminio vandens zonos, slūgsančios ant „absoliučiai“ nelaidžios vandensparos, išskyrimu. Minėto artezinio baseino plote buvo išskirtos 4 stambios hidrogeodinaminės sistemos (Juodkasis, Mokrik, Zuzevičius 1975). Tai akivaizdžiai iliustruoja pateiktas pjūvis, kuriame pavaizduoti uolienu sluoksniai iš šiaurės rytų nirsta pietvakarių link, o visa modeliuojama daugiasluoksnė sistema slūgso ant regioninės absoliučiai nelaidžios vandensparos, kuri sudaryta iš Narvos karbonatinių molių uolienu. Kaip pavyzdį pateiksime vienos iš jų (VVD HGS) modelio fragmentą, sudaryto vertinant požeminio vandens išteklius 2005–2025 m. laikotarpiui (Juodkasis, Mockevičius ir kt. 2004; Gregorauskas 2009). Skirtingai nuo aprašomosios hidrogeologijos, pjūvis suskirstytas į laidžius vandeningus ir mažai laidžius bei absoliučiai nelaidžius sluoksnius. Per mažai laidžius sluoksnius vyksta vertikalus hidraulinis ryšys tarp vandeningųjų sluoksnių, tad pjūvis atspindi trimatės filtracijos procesus su tarpsluoksniniais pertekėjimais daugiasluoksneje stovimeje. Naudojant naują metodologiją iš esmės pasikeitė ir hidrogeodinaminių sistemų struktūros schematizavimo, o tuo pačiu ir požeminio vandens kartografavimo principai. Remiantis šiais principais 1980 m. buvo sudaryti Baltijos šalių prekartero ir kvartero hidrogeologiniai 1:500 000 mastelio žemėlapiai, kuriuose, skirtingai nuo ankstyvesnių aprašomosios regioninės hidrogeologijos laikotarpio žemėlapių, yra kartografuoti ir mažai laidūs sluoksniai (Baltijos šalių prekartero ... 1980; Baltijos šalių kvartero ... 1980). Šių žemėlapių pagrindu II-sios kartos išteklių įvertinimui buvo sudaryti 1:200 000 ir 1:400 000 mastelio vandeningųjų bei mažai laidžių sluoksnių specialieji žemėlapiai.

<sup>1</sup> Gregorauskas, M. 2009. Viršutiniojo–viduriniojo paleozojaus hidrogeodinaminės sistemos turimi požeminio vandens ištekliai. Projektas „Požeminio vandens ištekliai Lietuvoje 2005–2025“. Vilnius, UAB „Vilniaus hidrogeologija“ (rankraštis, LGT fondai).

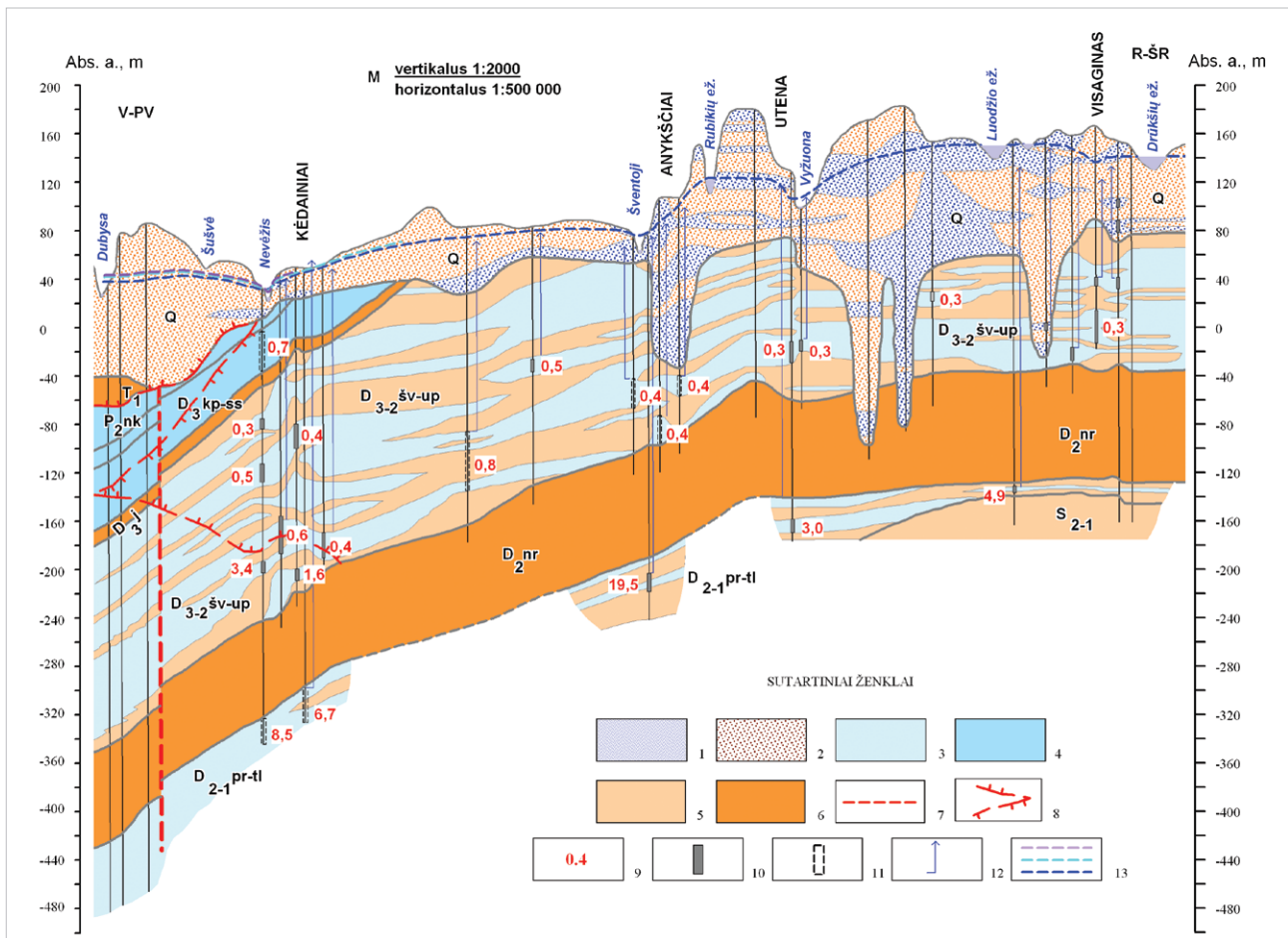
<sup>2</sup> Juodkasis, V., Mockevičius, J. (ats. vykd.) ir kt. 2004. Požeminio geriamojo vandens ištekliai 2005–2025. Vilnius, LMA ir LGT, 57 pp. (rankraštis, LGT fondai).

1 lentelė. Hidrogeodinaminių sistemų (HGS) ir jų struktūrinių elementų bei procesų vertinimo etapai ir metodologija.

Tyrimo karta ir etapas	Sistemos struktūra, geofiltracija bei hidrauliniai ryšiai	Metodų kompleksas	Rezultatų panaudojimas
<b>I-oji.</b> Gėlo požeminio vandens vandeningų kompleksų išskyrimas	Izoliuoti ir neizoliuoti vandeningi sluoksniai, jų ribinės sąlygos bei filtracijos režimo charakteristika	Telkinių ir vandenviečių hidrogeologinių sąlygų tipizavimas, analitiniai išteklių įvertinimo metodai	Liaudies ūkio vandens vartojimo perspektyvinis planavimas
<b>II-oji.</b> HGS arteziniuose baseinuose išskyrimas ( <b>1-sis etapas</b> )	Sistemos apimties ir jos ryšio su atmosferos bei su sūriu giluminiu požeminiu vandeniu išaiškinimas	Regioninis geologinių, hidrogeologinių ir hidrologinių duomenų sisteminimas	Preliminarus conceptualaus hidrogeodinaminės sistemos unifikuotos stratigrafijos ir išteklių įtakojančių veiksnių apskaitos variantas
HGS schematizacija ir jų struktūrinių elementų išskyrimas: a) elementų išskyrimas; b) struktūros sandaros išaiškinimas ( <b>2-sis etapas</b> )	Hidrogeodinaminė ir litofacinė stratifikacija: • laidūs - vandeningi sluoksniai; • mažai laidūs sluoksniai, neužtikrinantys HGS vandeningų sluoksnių izoliacijos	Litofacijinių žemėlapių, geofizikinių tyrimo gręžiniuose kreivių, gręžinių hidraulinio išbandymo ir monitoringo duomenų sisteminimas	Vandeningų ir mažai laidžių sluoksnių filtracinių savybių lauko ir laboratorinių tyrimų metodų pagrindimui
HGS filtracinių ir migracinių parametų nustatymas ir apibendrinančių žemėlapių sudarymas ( <b>3-sis etapas</b> )	Horizontalios ir vertikalios filtracijos parametrai - $k_f$ , $k_p$ ; pratakumo coef. - $km$ ; pjezo- ir lygio laidumo coef. $a$ ; povaginė varža, $\Delta L$ ; uolienu aktyvus poringumas ir kt.	Hidrauliniai gręžinių išbandymo metodai ir jų duomenų interpretacija bei grafikiniai analizės metodai, naudojant kompiuterines programas	Informacija vandeningųjų ir mažai laidžių sluoksnių hidrogeologinių parametų žemėlapių sudarymui, naudojamų HGS matematinių modelių kūrimui
HGS matematinio modelio kalibravimas ir verifikavimas bei prognoziniai sprendimai ( <b>4-sis etapas</b> )	Modelinių dydžių palyginimas su faktiniais infiltracinės mitybos, ištakos į upes, vandeningųjų sluoksnių pjezometrinį lygių bei trimačio požeminio srauto filtracijos greičių duomenimis	Elektros analogijos ir skaitmeninės matematinio modeliavimo metodai, radioaktyviųjų ir stabilųjų izotopų tyrimo metodai.	Prognozinis požeminio vandens išteklių vertinimas pagal HGS, administracinius rajonus ir regionus
<b>III-oji.</b> HGS matematinio modelio kalibravimas ir verifikavimas bei prognoziniai sprendimai	II-sios kartos etapų medžiagos restruktūrizacija, adaptacija paviršinio vandens telkiniams-baseinams ir naujų duomenų interpretacija	Skaitmeninės filtracijos ir migracijos procesų kompiuterinės programos	Išteklių ir jų kokybės vertinimas pagal upių baseinų (UBR) ir administracinius rajonus

**Hidrogeodinaminių sistemų parametrizavimas.** Aprašomosios hidrogeologijos laikais (XIX a. I-ji pusė iki XX a. II pusės pabaigos) svarbiausiu parametru, nusakančiu požeminio vandens filtracijos procesą, buvo filtracijos koeficientas ( $k$ ) Minėto koeficiento vertės buvo nustatomos labai apytiksliai. Tam dažniausiai buvo naudojami pavienių gręžinių trumpalaikių išpumpavimų duomenys: gręžinio debitas ( $Q$ ) ir vandens lygio kritimas ( $S$ ). Po to, pasitelkus žinomą Diupijui formulę, apskaičiuojamas minėtas

koeficientas ( $k$ ) ar sluoksnio pratakumo koeficientas ( $km$ ). Tačiau jau senai žinoma, kad matuojant vandens lygio kritimą centriniame (išpumpuojamajame) gręžinyje, jis yra didesnis negu už gręžinio sienelės. Šis reiškinys yra gerai žinomas specialistams ir aptartas literatūroje (Schneider 1973; Juodkasis 1992; Delluer 1999 ir kt.). Todėl nustatytos  $k$  vertės dažniausiai būdavo tolimos nuo tikrosios parametro vertės. Be to, antroje XX a. pusėje specialistams pamačius, kad intensyvaus požeminio vandens



1 pav. Viršutiniojo–viduriniojo paleozojaus hidrogeodinaminės sistemos (VVD HGS) hidrogeologinis pjūvis (pagal M. Gregorauską, 2009): 1 – kvartero vandeningos uolienos; 2 – kvartero pusiau laidžios uolienos; 3 – ikikvarterinės vandeningos terigeninės uolienos; 4 – ikikvarterinės karbonatinės vandeningos uolienos; 5 – ikikvarterinės pusiau laidžios uolienos; 6 – vandensparos; 7 – spėjamas tektoninis lūžis; 8 – gėlo vandens paplitimo riba; 9 – požeminio vandens bendroji mineralizacija, g/l; 10–11 – gręžinio darbinė dalis: 10 – su filtru, 11 – be filtro; 12 – vandens spūdis; 13 – modelinis dabartinis pjezometrinis lygis (iš viršaus): Įstro–Tatulos, Kupiškio–Suosos bei Šventosios–Upninkų vandeningųjų sluoksnių.

išteklų gavybos atveju daugiasluoksnėse izoliuotose sistemose išsivysto nenusistovėjęs režimas, o neizoliuotose – prietaka iš gretutinių sluoksnių bei apribotų spūdių palaikančių kontūrų, todėl atsirado ir tiems atvejams skirtos formulės, aprašančios minėtus procesus sudėtingesnėmis lygtimis. Taip pat buvo sukaupta vandenviečių režiminių stebėjimų medžiaga, leidžianti pagal eksploatacijos režimą vertinti patikimus parametrus. Litologinių žemėlapių duomenų palyginamoji analizė leido pagrįstai apibendrinti parametrų pasiskirstymą plote. Daugiasluoksnių storių filtraciją aprašantys diferencialinių lygčių sistemų algoritmai suteikdavo galimybę nustatyti vandensparų filtracijos koeficientus. Taip II-sios kartos išteklių įvertinimo etape vandensparų filtraciniai parametrai preliminariai buvo vertinami skaitmeniniais matematinio modeliavimo metodais, daugiasluoksnės storių stacionarios filtracijos procesams nagrinėti panaudojant diferencialinių lygčių sistemų sprendimui baigtinių skirtumų metodą. Gauti rezultatai buvo pritaikyti elektros analogijos principu sukurtų regioninių matematinų modelių kalibravimui. Požeminio vandens apytakos greičiams pagrįsti bu-

vo nustatoma radioizotopų koncentracija. Giliau slūgsančių permio, devono ir kambro–vendo bei ordoviko–kambro vandeningų sluoksnių atveju matematinų modelių pagrindimui buvo panaudoti  $^{14}\text{C}$  koncentracijų pasiskirstymo duomenys. Kvartero storių atveju, kartu su radioanglies, pradėti trichio požeminiame vandenyje tyrimai, nes vandens apykaitos procesai čia vyksta sparčiau (Juodkasis, Mažeika, Petrošius 1995). Taigi, HGS parametrizacijos etapas rėmėsi jau žymiai didesniu sunkiau nustatomų hidrogeologinių parametrų ir rodiklių skaičiumi. Dabar jie plačiai naudojami išteklių vertinimo matematinio modeliavimo atveju, sprendžiant tiek filtracinius, tiek ir medžiagos (teršalų) migracijos uždavinius. Hidrogeologinių procesų modeliavimui skirtos programinės įrangos kūrimu užsiima daug visame pasaulyje žinomų specialistų. Lietuvoje daugiausiai naudojama JAV Geologijos tarnybos (MODLOW2000, MODFLOW2005, MODPATH3.0), Alabamos universiteto (MT3D, MT3DMS) sukurta kompiuterinė programinė įranga, jos valdymui, rezultatų analizei bei grafiniam vaizdavimui – JAV kompanijos *Environmental Simulations Inc.* (<http://www.groundwatermodels.com>) licencinė programinė sistema *Groundwater Vistas*.

## POŽEMINIO VANDENS IŠTEKLIAI IR VANDENVIEČIŲ DEBITŲ FORMUOJANTYS ŠALTINIAI

Gėlo požeminio vandens telkinių išteklių sistemingi tyrimai taikant hidrodinaminius metodus Lietuvoje buvo pradėti 1961–1962 m., kai Lietuvos geologijos valdybos Hidrogeologinėje ekspedicijoje buvo įkurtas specialus padalinys, skirtas požeminio vandens telkinių paieškai ir žvalgymui. Pirmą kartą regioniniai gėlo požeminio vandens eksploataciniai ištekliai įvertinti 1966 m., panaudojus analitinius sprendimų metodus virtualiai gręžinių, išsidėsčiusių „didelių šulinių“ principu, sistema, padalinus visą vandeningųjų sluoksnių plotą tolygaus žingsnio tinklu ir prognozei užsiduodant maksimaliai leistiną požeminio vandens lygio pažemėjimą (Juodkasis 1966). Parinktas kvadratinis tolygus tinklis įgalino įvertinti potencialių išteklių kiekį, kurį galima būtų paimti iš vandeningojo sluoksnio, maksimaliai pažeminus jame vandens lygį ne daugiau kaip 100 metrų. Tačiau duotoji schema buvo negyvybinga, nes tiesiog nėra būtinybės įrengti virtualių vandenviečių abstrakčiai, toli nuo realios gyvenimui būdingos situacijos. To laikmečio išteklių įvertinimo tikslas buvo tik teoriškai aprobuoti galimus potencialius prognozinis požeminio vandens eksploatacinius išteklius ir palyginti jų potencialą ir mastą su respublikos ūkio vandens poreikiais 1980 m.. Sovietiniais metais tolimesni išteklių tyrimai įgavo itin platų mastą, nes plečiantis miestams ir statant gyvulininkystės fermas kolektyviniuose ūkiuose reikėjo vis daugiau geriamojo vandens. 1999 m. Lietuvoje jau buvo išžvalgyta apie 100 vandenviečių, kurių bendras našumas siekė 2 mln. m<sup>3</sup> per parą. Visi tyrimai buvo atlikti laikantis naujos kartos metodologijos principų ir hidrogeologinių tyrimų kondicinių reikalavimų. Minėtų darbų metu susikaupė nemažas patikimai nustatytų hidrogeologinių parametrų bankas, kuris pakankamai gerai charakterizavo požeminių tėkmių savybes, taip pat ir kitus parametrus bei vandeningųjų sluoksnių ir upių sąryšio rodiklius (Diliūnas 1973). Tuo metu, Geologijos institute didelis dėmesys buvo skiriamas ir mažai laidžių sluoksnių filtracinių savybių bei požeminio vandens absoliutaus „amžiaus“ (jo buvimo požemyje laiko) nustatymui (Juodkasis, Paltanavičius 1978; Zuzevičius, Juodkasis 1979; Juodkasis, Mžeika, Petrošius 1995 ir kt.), taip pat požeminio ir Baltijos jūros vandens ryšio išaiškinimui, intensyviai eksploatuojant vandenvietes pajūrio zonose (Gregorauskas, Juodkasis, Mokrik 1984 ir kt.). Visos šios priemonės, sudarė galimybę integruotų elektrinių varžų tinklų ir požeminio srauto filtracijos analogijų metodu, naudojant patikimus hidrogeodinaminius parametrus ir trimačius matematinius HGS modelius, 1977 m. įvertinti Baltijos šalių teritorijos (190 tūkst.

km<sup>2</sup> plote) prognozinis eksploatacinius išteklius (Juodkasis 1980 ir kt). Šis stambus projektas buvo atliktas bendradarbiaujant keturių valstybių hidrogeologams: Lietuvos (atsakingas vykdytojas) bei Latvijos, Estijos ir Rusijos (Karaliaučiaus srities teritorija). Aptarto projekto rezultatai parengė dirvą toliau tobulinti požeminio vandens išteklių vertinimo ir jų kartografavimo metodiką, naudojant šiuolaikinę kompiuterinę techniką.

Dabartinis regioninių eksploatacinių požeminio vandens įvertinimo etapas, paremtas erdviniais skaitmeniniais požeminio vandens filtracijos ir taršos migracijos matematiniais modeliais, apima 2003–2009 metų laikotarpį. Ištekliai vertinami taip pat regioniniu mastu, uždavus modelyje perspektyvinį centralizuotų vandenviečių ar ūkio subjektų ir kitų vartotojų požeminio vandens poreikį 2025 metams. Pagal ES direktyvą 2000/60/EB išteklių valdymo tikslams taikoma upių baseinų pasiskirstymo schema. Lietuvos teritorija suskirstyta upių hidrologinio tinklo pagrindu į *Nemuno ir Ventos, Lielupės bei Dauguvos upių baseinų rajonus* (UBR) ir vandeningų sluoksnių ar kompleksų hidrologinių balansinių sistemų principu į *požeminio vandens telkinių–baseinus*. UBR matematiniai modeliai apėmė beveik visą respublikos teritoriją ir joje išskirtus požeminio vandens baseinus, sudarančius atskiras balansines hidrodinamines sistemas, kur naudojamas gėlas geriamasis vanduo: Pietryčių Lietuvos kvartero (Q), Vakarų Žemaičių kvartero (Q), viršutinės–apatinės kreidos (K<sub>2</sub>+K<sub>1</sub>), permo–viršutinio devono (P<sub>2</sub>+D<sub>3</sub>fm), viršutinio devono Stipinų (D<sub>3</sub>st) ir viršutinio–vidurinio devono (D<sub>3-2</sub>šv-up).

**Išteklių vertinimas, naudojant modeliavimo techniką.** Matematiniam modeliui, imituojančiam realias hidrogeologines sąlygas ir jose vykstančius procesus, galioja tokie pagrindiniai reikalavimai: modelyje turi atsispindėti modeliuojamo objekto struktūra (hidrogeodinaminės sistemos elementų išsidėstymas), modeliuojamame objekte vykstantys procesai ir sistemos ryšiai su išoriniais veiksniais. Aukšto hierarchinio lygmens hidrogeodinamines sistemas sudaro gana daug elementų (vandeningieji ir mažai laidūs sluoksniai bei jų ryšys su paviršiniu ir atmosferos vandeniu ir kt.), tarp kurių vyksta sudėtingi vertikalios ir horizontalios filtracijos procesai. Tad gamtinės hidrogeodinaminės sistemos yra gan sudėtingi tyrimų objektai. Sudėtingą sistemą galima supaprastinti schematizuojant hidrogeologines sąlygas, tačiau įvertinus sistemos elementų ir jos išorinių ryšių svarbą rezultato patikimumui. Matematinis modeliavimas remiasi diferencialinių lygčių sistema, aprašančia erdvinis (trimačius) požeminio vandens filtracijos ir taršos migracijos procesus požeminėje hidrosferoje. Erdviniuose modeliuose trimatė požeminio vandens filtracija izotropinėje aplinkoje bendru atveju aprašoma lygtimi:



$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_{zz} \frac{\partial H}{\partial z} \right) - q = \mu \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (1)$$

čia  $k$  – filtracijos koeficientas;  $H$  – spūdis;  $q$  – debitas;  $x, y, z$  – linijinės koordinatės;  $\mu$  – vandengražos koeficientas;  $t$  – laikas.

Erdvinis vandenyje ištirpusios medžiagos pernešimas modelyje aprašomas lygtimi:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (v_i C) + \frac{q_s}{n} C_s + \sum_{k=1}^N R_k, \quad (2)$$

čia  $C$  – vandenyje ištirpusio cheminio elemento koncentracija;  $t$  – laikas;  $x_i$  – atstumas pagal atitinkamos Dekarto koordinatės ašį;  $D_{ij}$  – hidrodinaminės dispersijos koeficientas;  $v_i$  – tikrasis filtracijos greitis;  $q_s$  ir  $C_s$  – papildomo taršos prietakos arba nuotekos šaltinio debitas ir koncentracija;  $n_{ak}$  – aktyvus poringumas;

$\sum_{k=1}^N R_k$  – cheminių reakcijų parametras, apjungiantis sorbciją, biodegradaciją, radioaktyvų skilimą ir kitus procesus.

Turint kalibruotą erdvinį požeminio vandens filtracijos modelį, atskiruose jo blokuose užduodamas tam tikras elementarių dalelių skaičius  $p$  ir modeliuojama jų migracija trimatėje baigtinių skirtumų celėje pagal tėkmės liniją erdvėje ir laike. Bendru atveju tokia migracija ( $x$  koordinatės kryptimi) aprašoma lygtimi:

$$x_p(t_2) = x_1 + \left( \frac{1}{A_x} \right) \left\{ v_{x_p}(t_1) \exp(A_x \Delta t) - v_{x_1} \right\}, \quad (3)$$

čia  $A_x = \frac{v_{x_2} - v_{x_1}}{\Delta x}$ ,  $x_p$  – elementarios dalelės padėtis skaičiuojamuoju laiko momentu;  $x_1$  – elementarios dalelės padėtis pradinio laiko momentu;  $v$  – tikrasis srauto tėkmės greitis;  $t_1$  ir  $t_2$  – pradinis ir skaičiuojamasis laiko momentai (analogiškos lygtys yra ir migracijos  $y$  bei  $z$  koordinačių ašių atžvilgiu atveju).

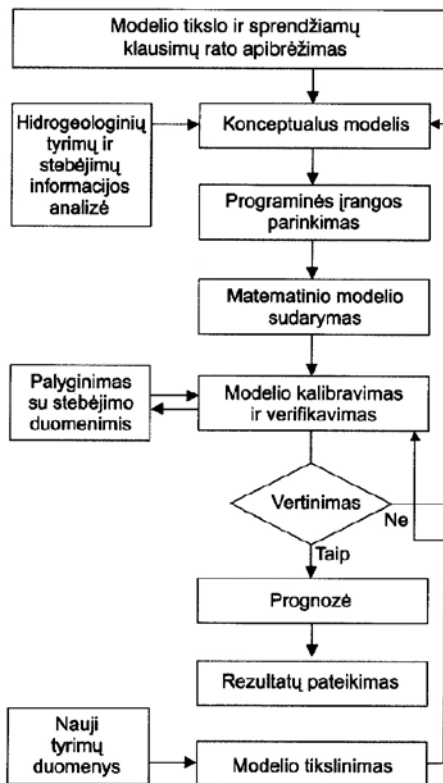
Pažvelgus įdėmiau į formules matosi, kad lygčių sprendimui be hidrogeologinės stratifikacijos – sluoksnių suskirstymo į laidžius ir pusiau laidžius, dar būtini ir hidrogeologiniai parametrai bei rodikliai, iš kurių svarbiausieji yra:  $H$  – sluoksnio spūdis;  $k$  – filtracijos koeficientas;  $a$  ir  $a_1$  – pjezo ir lygio laidumo koeficientai,  $\mu$  – vandengraža ir kiti (žr. simbolių aiškinimą po formulėmis). Svarbiausieji yra  $H$ ,  $k$  ir  $\mu$ , kurie nustatomi gręžiniuose, atliekant juose vandeningųjų sluoksnių hidrodinaminis bandymus. Tad šie parametrai, neskaitant retrospektyvinės rutininės medžiagos,

turėjo būti nustatyti įsisavinant naujus tyrimo metodus dar Vilniaus universitete paruošiant tam tikslui naujas metodikas įsisavinusius jaunos specialistus. Nesigilinant į būtinas modelio kūrimo, kalibravimo ir verifikavimo procedūras, schemas pavidalu pateiksime tik jų atlikimo seką (2 pav.). Matematinio modelio koncepcijai sukurti reikalingi regioniniai geologiniai pjūviai ir žemėlapiai, kuriems sudaryti reikalinga daugelio gręžinių medžiaga. Tad ši gausi retrospektyvinė medžiaga turi būti susisteminta ir pateikta geologinių pjūvių bei žemėlapių pavidalu. Beje, pirminiam mo-

#### **Pagrindinių žemėlapių, sudaromų turimų–eksploatacinių išteklių vertinimui, sąrašas:**

- faktinės medžiagos – panaudotų gręžinių lokalizacijos;
- vandeningųjų ir vandensparinių sluoksnių pado, kraigo ir storio;
- gruntinio vandens laisvojo paviršiaus;
- spūdinių vandeningųjų sluoksnių pjezometrinis paviršius: natūralus ir dabartinis (eksploatacijos pažeistose sąlygose);
  - vandeningųjų sluoksnių filtracijos, pratakumo ir aktyvaus poringumo koeficientų verčių;
  - hidrogeocheminis vandeningųjų sluoksnių;
  - pagalbiniai vandenviečių monitoringo ir požeminio vandens kokybės zonų žemėlapiai;
  - požeminio vandens turimų–eksploatacinių išteklių ir vandenviečių išteklių formavimosi zonų.

delio variantui sukurti būtina atitinkamai parengti ir seriją hidrogeologinių žemėlapių, kurių minimalus sąrašas pateiktas 2 paveiksle.



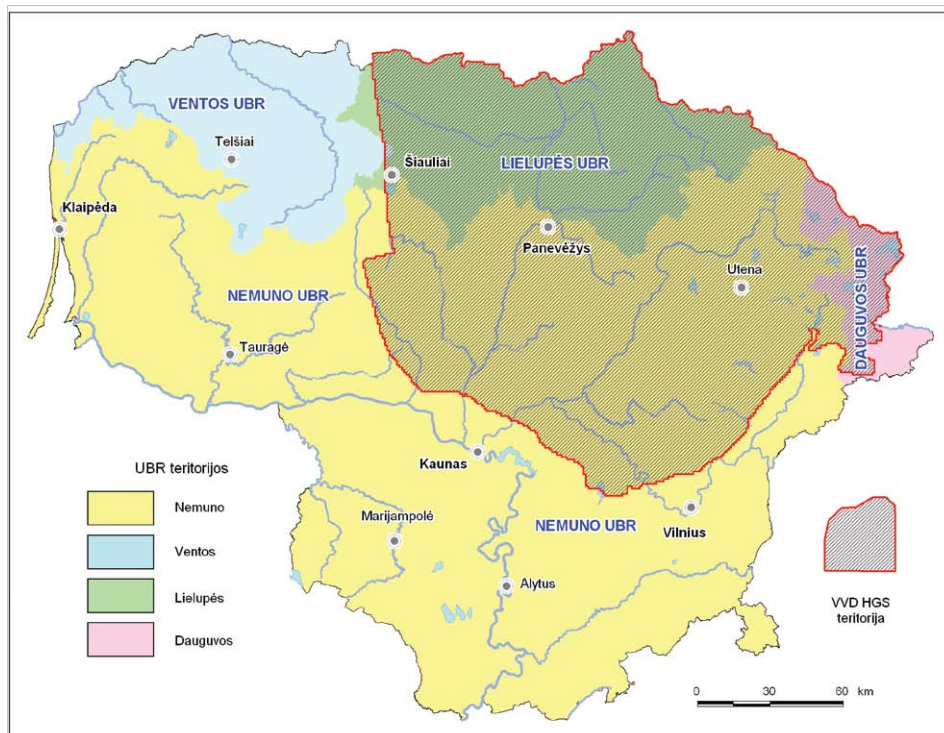
Požeminis vanduo turi hidraulinį ryšį su paviršiniu vandeniu, tad išgaunant didelius jo kiekius iš vandeningųjų sluoksnių galimas poveikis aplinkai: gruntinio, pelkių ir ežerų vandens lygio nuslūgimas, upių debito

sumažėjimas, sausumos ir vidaus vandenų ekosistemų egzistavimo sąlygų pablogėjimas. Todėl yra nemažai nuostatų, į kurias reikia atsižvelgti, vertinant išteklius matematinio modeliavimo metodais.

## HIDROGEODINAMINIŲ SISTEMŲ POŽEMINIO VANDENS IŠTEKLIŲ BALANSO STRUKTŪRA

Didžiausią kokybinį šuolį nuo aprašomosios link dinaminės hidrogeologijos galima stebėti susipažįstant su HGS požeminio vandens išteklių balanso struktūra, kurioje atsispindi visi sudėtingo požeminio srauto ir jo ryšio su atmosferos bei paviršinės hidrosferos vandenimis, o tuo pačiu galimybė suprasti, iš kokių gamtinių vandens resursų formuojasi eksploatuojamos vandenvietės debitas. Tai svarbu tiek vandens tiekimo įmonei, saugant išgaunamo gręžiniais vandens kokybę, tiek ir požeminio vandens monitoringą vykdančioms institucijoms. Todėl šiame straipsnio skirsnyje, vienu konkrečiu pavyzdžiu bus pademonstruotos išteklių vertinimo matematiniais ir balansiniais metodais galimybės bei didžiulis Geologijos ir geografijos instituto, mininčio 70-tąsias įkūrimo metines, indėlis vertinant labai svarbios mūsų kraštui naudingosios iškaskenos – gėlo požeminio vandens išteklius ir pagrindžiant jų racionalios eksploatacijos metodologines nuostatas.

Minėtam pavyzdžiui pasirinkta *viršutiniojo–viduriniojo devono hidrodinaminė sistema (VVD HGS)*, kurios vandeningi sluoksniai pasižymi ne tik litologine įvairove, bet ir sudėtinga susisluoksniavimo struktūra



3 pav. Upių baseinų rajonų (UBR) ir viršutinio–vidurinio devono hidrogeodinaminės sistemos (VVD HGS) ribos Lietuvos teritorijoje.

(žr. 1 pav.). Parengus modelį, kuris šiuo atveju apėmė 17750 km<sup>2</sup> teritorijos plotą (3 pav.), ir jį verifikavus, pirmiausiai yra vertinamas nepažeisto režimo gruntinio vandens sluoksnio balansas. Šiuo pirmuoju tyrimo žingsniu norima įsitikinti, ar modelis yra adekvatus gamtinėse sąlygose vykstančiam požeminio ir paviršinio vandens apytakos procesui. Jeigu infiltracinės mitybos ir ištakos į upes minimalaus daugiamečio nuotėkio kiekiai yra adekvatūs – leistinos paklaidos ribose, yra laikoma, kad modelį galima naudoti tolimiesiems tyrimams.



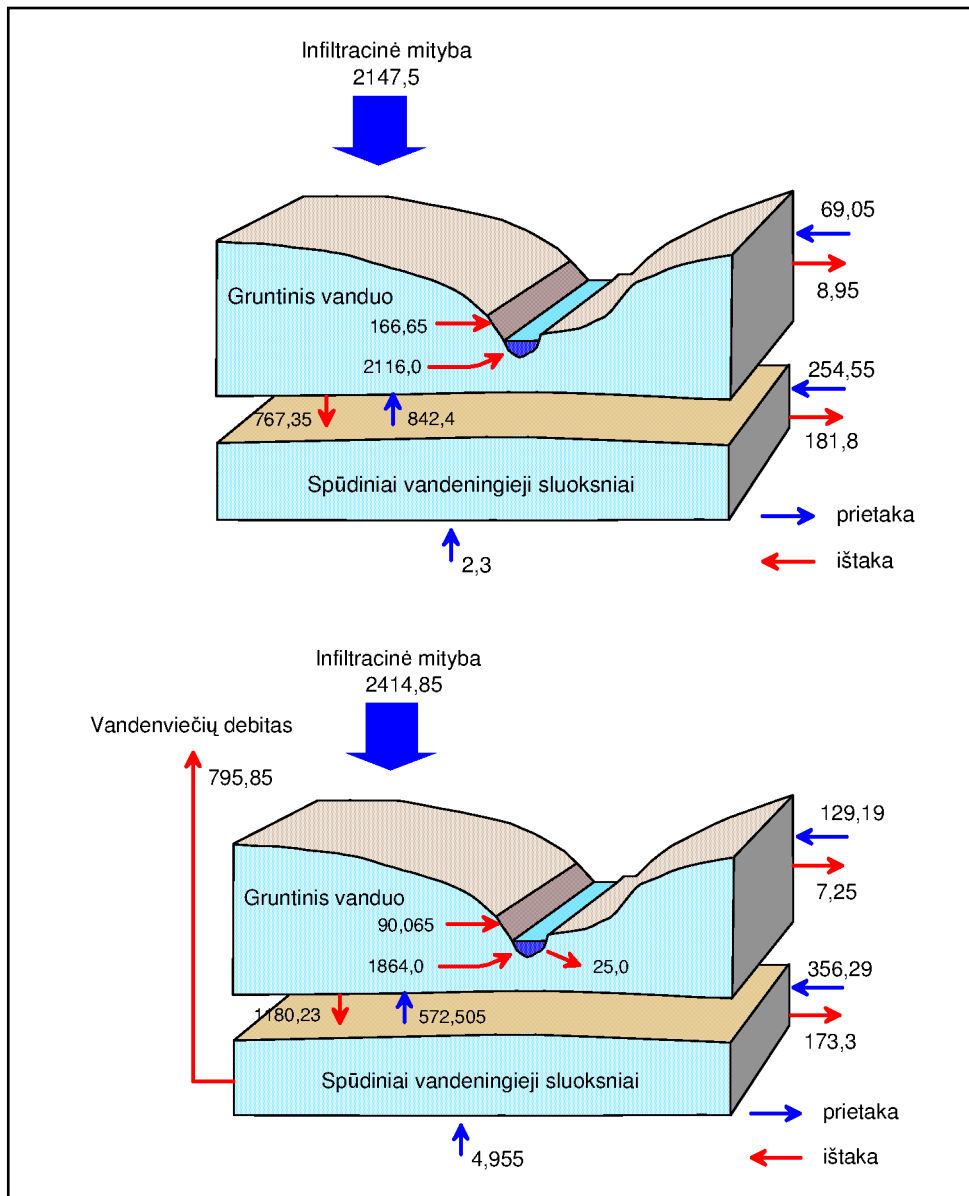
2 lentelė. Modelinis VVD HGS nepažeisto režimo požeminio vandens balansas.

Prietaka			Ištaka		
Šaltinis	Kiekis		Šaltinis	Kiekis	
	tūkst. m <sup>3</sup> /d	mm/metai		tūkst. m <sup>3</sup> /d	mm/metai
<i>Gruntinis vandeningasis sluoksnis</i>					
1. Infiltracinė mityba	2147,5	44,8	1. Ištaka į paviršinio vandens telkinius, Iš viso: t.t. į upes į ežerus	2116,0 2065,75 50,25	44,13 43,1 1,03
2. Prietaka iš PVB spūdinų sluoksnių	842,4	17,32	2. Ištaka upių slėnių šlaituose	166,65	3,45
3. Šoninė prietaka	69,05	1,42	3. Ištaka į HGS spūdinius sluoksnius	767,35	15,78
			4. Šoninis nuotėkis	8,95	0,18
<b>Iš viso:</b>	<b>3058,95</b>	<b>63,54</b>	<b>Iš viso:</b>	<b>3058,95</b>	<b>63,54</b>
<i>HGS spūdiniai vandeningieji sluoksniai</i>					
1. Gruntinio vandens prietaka	767,35	15,78	1. Ištaka į gruntinį vandenį	842,4	17,32
2. Šoninė prietaka	254,55	5,23	2. Šoninis nuotėkis	181,8	3,74
3. Prietaka iš apačios	2,3	0,05			
<b>Iš viso:</b>	<b>1024,2</b>	<b>21,06</b>	<b>Iš viso:</b>	<b>1024,2</b>	<b>21,06</b>

3 lentelė. Prognozinis modelinis VVD HGS požeminio vandens balansas.

Prietaka			Ištaka		
Šaltinis	Kiekis		Šaltinis	Kiekis	
	tūkst. m <sup>3</sup> /d	mm/metai		tūkst. m <sup>3</sup> /d	mm/metai
<i>Gruntinis vandeningasis sluoksnis</i>					
1. Infiltracinė mityba	2414,85	49,66	1. Ištaka į paviršinio vandens telkinius, Iš viso: t.t. į upes į ežerus	1864,0 1813,95 50,050	38,33 37,31 1,03
2. Prietaka iš PVB spūdinų sluoksnių	572,505	11,77	2. Ištaka upių slėnių šlaituose	90,065	1,85
3. Šoninė prietaka	82,28	1,69	3. Ištaka į PVB spūdinius sluoksnius	1180,230	24,27
4. Prietaka iš upių	25,0	0,51	4. Šoninis nuotėkis	7,25	0,15
5. Vandengraža	46,91	0,96			
<b>Iš viso:</b>	<b>3141,545</b>	<b>64,61</b>	<b>Iš viso:</b>	<b>3141,545</b>	<b>64,61</b>
<i>PVB spūdiniai vandeningieji sluoksniai</i>					
1. Gruntinio vandens prietaka	1180,23	24,27	1. Ištaka į gruntinį vandenį	572,505	11,77
2. Šoninė prietaka	356,27	7,33	2. Šoninis nuotėkis	173,3	3,56
3. Prietaka iš apačios	4,955	0,1	3. Vandenviečių debitas	795,85	16,37
4. Vandengraža	0,2	0,004			
<b>Iš viso:</b>	<b>1541,655</b>	<b>31,71</b>	<b>Iš viso:</b>	<b>1541,655</b>	<b>31,71</b>

Dažniausiai gamtinių ir eksploatacinių požeminio vandens išteklių balansai pateikiami lentelių pavidalu, nes taip skaitytojui pateikiama išsamesnė informacija. 2 lentelėje pateikti skaičiai rodo, kad VVD HDS daugiasluoksnio modelio aplinkos vandens apytakos rate „sukasi“ apie 1024 tūkst. vandens per parą. Lentelėje taip pat nurodyti vandens apytaką formuojantieji vandens šaltiniai ir jų indėlis į bendrą vandens apykaitos srautą. 3 lentelėje nurodyta vandens apytaka, kai gėlo vandens sluoksniai yra intensyviai eksploatuojami. Šiuo atveju, išgaunant iš VVD HGS 795, 85 tūkst. m<sup>3</sup>/d, bendra vandens apytaka aptariamoje sistemoje padidėja ir sudaro 1541, 66 tūkst. m<sup>3</sup>/d (4 pav.).



4 pav. Modelinis VVD HGS nepažeisto požeminio vandens režimo balansas (viršuje) ir požeminio vandens balansas intensyvios eksploatacijos sąlygomis (tūkst. m<sup>3</sup>/d, vandengraža pridėta prie šoninės prietakos).

Palyginus šių dviejų požeminio vandens balanso sudedamųjų dalių pokyčius (žr. 3 lentelę), galima įvertinti VVD HGS išteklių formavimosi šaltinius (4 lentelė).

4 lentelė. Prognoziniai VVD HGS požeminio vandens išteklių formavimosi šaltiniai.

Išteklių formavimosi šaltinis	tūkst. m <sup>3</sup> /d	% nuo vandenviečių debito
1. Prietakos iš gruntinio vandeningojo sluoksnio prieaugis	412,88	51,88
2. Ištakos į gruntinį vandeningąjį sluoksnį sumažėjimas	269,9	33,91
3. Šoninės prietakos prieaugis	101,72	12,78
4. Šoninio nuotėkio sumažėjimas	8,5	1,07
5. Prietakos iš apačios prieaugis	2,65	0,33
6. Vandengraža	0,2	0,03
<b>Iš viso (vandenviečių debitas):</b>	<b>795,85</b>	<b>100</b>

5 lentelė. Prognozinis požeminio nuotėkio į VVD HGS paviršinio vandens telkinius sumažėjimas.

Upės pabaseinio pavadinimas	Požeminis nuotėkis, tūkst. m <sup>3</sup> /d		Nuotėkio sumažėjimas		
	Nepažeisto režimo metu	Prognozuojamas	tūkst. m <sup>3</sup> /d	l/s iš km <sup>2</sup>	%
Šventosios	1103,25	968,3	134,95	0,28	12,2
Nevėžio	215,605	176,3	39,305	0,1	17,5
Neries	111,5	93,1	18,4	0,34	16,5
Dubysos	17,55	17,5	0,05	0,0025	0,3
Dauguvos	116,25	113,5	2,75	0,05	2,4
Mūšos	263,425	229,845	33,58	0,11	12,7
Nemunėlio	244,6	223,455	21,145	0,13	8,6
Lielupės	43,82	42,0	1,82	0,03	4,1
<b>Iš viso:</b>	<b>2116,0</b>	<b>1864,0</b>	<b>252,0</b>	<b>0,16</b>	<b>11,8</b>

Iš 4 lentelės matyti, jog pagrindiniai HGS išteklių formavimosi šaltiniai yra mitybos prieaugis ir ištakos sumažėjimas. Šie du šaltiniai formuoja beveik 86% išteklių. Eksploatuojant vandenvietes prognoziniiais debita, modelinė grunto vandens prietaka į HGS spūdinis vandeninguosius sluoksnius, palyginus su nepažeisto režimo sąlygomis, išauga 412,88 tūkst. m<sup>3</sup>/d, o spūdinis HGS sluoksnių vandens ištaka į grunto ir paviršinius vandenis sumažėja 269,9 tūkst. m<sup>3</sup>/d, kas formuoja atitinkamai 51,9% ir 33,9% vandenviečių debito. Praktiškai visas likęs išteklių kiekis formuojasi šoninės prietakos prieaugio sąskaita – 101,72 tūkst.

m<sup>3</sup>/d arba 12,8% vandenviečių debito. Vandengražos ir prietakos iš apačios indėlis yra labai nežymus (žr. 5 lentelę).

Eksploatuojant vandenvietes prognoziniiais debita, požeminis nuotėkis į upes ir kitus paviršinio vandens telkinius dėl HGS spūdinis sluoksnių vandens ištakos į viršų sumažėjimo ir šių sluoksnių mitybos iš viršaus prieaugio sumažėja 11,8% arba 252 tūkst. m<sup>3</sup>/d, kas sudaro 31,7% vandenviečių debito (5 lentelė). Prognozuojami VVD HGS požeminio vandens ištekliai sudaro 27,7% jos infiltracinės mitybos kiekio.

## BAIGIAMOSIOS PASTABOS

Antrasis pasaulinis karas nusiaubė Europą. Todėl XX a. antroje pusėje visos valstybės ypatingą dėmesį skyrė „išbalansuoti“ karo metu krašto ūkio atstatymui. Tam buvo reikalingos žaliavos, energijos šaltiniai, požeminis gėlas vanduo. Tad minėtas laikotarpis geologijos mokslui ir geologinėms įmonėms tapo „aukso amžiumi“, nes reikėjo ieškoti naujų naudingųjų iškasenų telkinių, tobulinti jų paieškos ir žvalgymo metodus bei kompleksinių tyrimų metodikas. Lietuva nebuvo išimtis ir todėl, nežiūrint okupacinio režimo, geologiniai tyrimai buvo gerai finansuojami. Besikuriančiam 1963 m. po reorganizacijos Geologijos institutui tai buvo parankus metas – per palyginus trumpą laiką visose geologinių tyrimų kryptyse buvo pasiekta ženklių rezultatų.

Hidrogeologinių tyrimų srityje buvo padarytas reikšmingas šuolis nuo aprašomosios hidrogeologijos link regioninių požeminio vandens išteklių ir hidrogeodinaminių procesų tyrimų naudojant matematinius modelius, o tų modelių patikrai pasitelkiant platų spektrą hidrogeocheminių ir izotopinių metodų. Šiame straipsnyje taip pat pateiktas modernių skaitmeninių metodų taikymo vienoje iš hidrogeologijos kryptų – regioninių dinaminių ir eksploatacinių požeminio vandens išteklių tyrimuose pavyzdys.

## Literatūra

- Appelo, C.A.J., Postma, D., 1933. *Geochemistry, groundwater and pollution*. A. A. Balkema Publisher, Brookfield, 536 pp.
- Baltijos šalių prekvartero uolienų hidrogeologinis 1:500 000 mastelio žemėlapis su aiškinamuoju tekstu. 1980. Ats. red. V. Juodkasis. Leningradas, Nedra (rus. ir angl. k.).
- Baltijos šalių kvartero uolienų hidrogeologinis 1:500 000 mastelio žemėlapis su aiškinamuoju tekstu. 1980. Ats. red. V. Juodkasis. Leningradas, Nedra (rus. ir angl. k.).
- Delleur, W. J. (Ed.), 1999. *The Handbook of Groundwater Engineering*. Boca Roton CRS Press and Heidelberg Springer Verlag.
- Diliūnas, J. 1973. *Nemuno ir Neries upių slėnių požeminio vandens naudojimo perspektyvos*. Vilnius, Mintis, 120 pp. (rus. k.).
- Gregorauskas, M., Juodkasis, V., Mokrik, R., 1984. Jūros ir požeminio vandens sąveikos dinamika. Tyrimo ir matematinio modeliavimo problemos. Baltijos jūros ekosistemos tyrimo ir matematinio modeliavimo problemos: tarptautinis projektas „Baltika“. Leningradas, leid. 2, 31–42 (rus. k.).
- Juodkasis, V., 1966. *Lietuvos artezinio vandens eksploatacinių išteklių vertinimas*. Vilnius, Geologijos institutas, 144 pp. (rus. k.).

- Juodkasis, V., 1980. *Pabaltijo požeminio vandens eksploatacinių išteklių susidarymas ir išsavinimas*. Vilnius, Mokslas, 176 pp. (rus. k.).
- Juodkasis, V. 1992. *Požeminio vandens išteklių įvertinimo metodikos pagrindai*. Vilnius, Mokslas, 214 pp.
- Juodkasis, V., Mokrik, R., Zuzevičius, A., 1975. Baltijos artezinio baseino hidrogeologinių sąlygų schematizavimas gėlo požeminio vandens eksploatacinių išteklių regioniniam vertinimui // Tarptautinio seminaro – „Baltijos artezinio baseino gėlo požeminio vandens eksploatacinių išteklių regioninis vertinimas“. Vilnius, Periodika, 23–31 pp. (rus. k.).
- Juodkasis, V., Paltanavičius, J., 1978. Filtration properties of slightly permeable layers of the Baltic artesian basin and methods of their investigation. *Annales Instituti Geologici Hungarici* 59, 163–168.
- Juodkasis, V., Mažeika, J., Petrošius, R., 1995. *Radioizotopiniai metodai ekologinėje hidrogeologijoje*. *Geologija* 18, 132 pp.
- Klimas, A., 2006. *Vandens kokybė Lietuvos vandenvietėse. Pokyčių studija*. Vilnius, Vandens tiekėjų asociacija, 487 pp.
- Mokrik, R., 2003. *Baltijos baseino paleohidrogeologija. Neoproterozojus ir fanerozojus*. Vilnius, VU leidykla, 331 pp.
- Schneider, H. 1973. *Wassererschliessung*. Essen, Vulkan-Verlag, 883 pp.
- Zuzevičius, A., Juodkasis, V., 1979. Baltijos šalių gėlo požeminio vandens regioninio eksploatacinių išteklių įvertinimo ypatumai. Kn. *Baltijos šalių požeminio vandens eksploatacinių išteklių regioninio vertinimo ypatumai*. Vilnius, 4–13 (rus. k.).