



BALTIJOS ARTEZINIO BASEINO ŠVENTOSIOS–UPNINKŲ VANDENINGOJO KOMPLEKSO POŽEMINIO VANDENS GAMTINIŲ RESURSŲ MODELINIS ĮVERTINIMAS

Modestas BUJANAUSKAS¹, Marius GREGORAUSKAS², Robert MOKRIK³

VU CHGF Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos katedra

El. paštas: ¹modestas.bujanauskas@gf.stud.vu.lt; ²marius.gregorauskas@gf.vu.lt; ³robert.mokrik@gf.vu.lt

Anotacija. Šventosios–Upninkų vandeningojo komplekso požeminio vandens gamtiniai resursai įvertinti panaudojant bendrą erdvinį 3D Baltijos artezinio baseino (BAB) matematinį modelį. Modelis sukurtas ir kalibruotas panaudojant gausią geologinio–hidrogeologinio kartografavimo, gręžinių, monitoringo bei įvairių tyrimų informaciją. Modeliavimo rezultatai parodė, kad Šventosios–Upninkų vandeningasis kompleksas pasižymi dideliais gamtiniais požeminio vandens resursais, kurie siekia 3,4 mln. m³/d. Pagrindinis jų formavimosi šaltinis yra prietaka iš gruntinio bei aukščiau slūgstančių spūdinų vandeningųjų sluoksnių – 3,3 mln. m³/d (97 %). Didžioji dalis gamtinių resursų išteka į gruntinį ir aukščiau slūgstančius spūdinius vandeninguosius sluoksnius – 2,0 mln. m³/d (59 %), upes – 1 mln. m³/d (30 %), Baltijos jūrą – 238 tūkst. m³/d (7 %). Jų formavimą sąlygoja gretimų vandeningųjų ir vandeniui silpnai laidžių sluoksnių geologinė–hidrogeologinė sąranga, infiltracinė mityba ir iškrovos ypatumai į upių tinklą bei Baltijos jūros šelfe. Komplekso gamtinių resursų pasiskirstymas Baltijos regione nevienodas. Didžioji išteklių dalis koncentruojasi Baltijos bei Kuršo aukštumų ruožuose, kurie yra intensyviausios komplekso mitybos sritimis. Didėjant komplekso slūgsojimo gyliui dėl mažėjančios mitybos iš aukščiau slūgstančių vandeningųjų sluoksnių jo gamtinių resursų kiekis mažėja. Sudarytas filtracinis modelis ateityje suteiks galimybę įvertinti vandeningojo komplekso eksploatacinius požeminio vandens išteklius visame Baltijos regione.

Reikšminiai žodžiai: matematinis modeliavimas, požeminis vanduo, gamtiniai resursai, Baltijos artezinis baseinas.

Įvadas

Šventosios–Upninkų vandeningasis kompleksas paplitęs visose trijose Baltijos šalyse bei Baltijos jūroje, jis yra pagrindinis gėlo geriamojo vandens šaltinis vidurio bei šiaurės rytų Lietuvoje ir didžiojoje Latvijos dalyje. Kompleksas pasižymi sudėtingomis geologinėmis–hidrogeologinėmis sąlygomis. Jis sudarytas iš daugybės vandeningų ir silpnai laidžių vandeniui sluoksnių. Vandeningos uolienos – tai smulkiagrūdžiai, rečiau vidutin-grūdžiai, aleuritingi, silpnai sucementuoti smiltainiai ir smėliai, o silpnai laidžios vandeniui uolienos – tankūs smėlingi moliai, aleuritai ir aleurolitai. Vandeningajame komplekse vandeningų smiltainių ir smėlių filtracinės savybės gana skirtingos, jos priklauso nuo granulometrinės sudėties, sucementavimo, molingumo. Uolienu filtracijos koeficientas kinta nuo 1–4 iki 10–15 m/d, o vandens pratakumo koeficiento vertės tiesiogiai susijusios su komplekso efektyviu (vandeningos dalies) storiu.

Bendras komplekso storis siekia 200 m ir daugiau, efektyvus storis sudaro 40–70 % bendro storio (Byčko, Mokrik, Vares, Vienožinskis ir Viigand, 1980; Juodkazis, 1979; Geology..., 1997). Rytinėje Lietuvos dalyje, šiaurinėje Latvijos bei pietinėje Estijos dalyje kompleksas slūgso po kvartero nuogulomis, likusioje paplitimo teritorijoje po vidurinio–viršutinio Paleozojaus dariniais. Vandeningojo komplekso kraigas gelmėja pietvakarių kryptimi nuo 80–120 iki –900 – –1100 abs. a. m. Kompleksas slūgso ant ištisinės regioninės Narvos vandensparos ir regioniniu mastu yra gerai izoliuotas nuo žemiau slūgstančio vidurinio ir apatinio devono terigeninio komplekso. Komplekso gamtinių resursų formavimąsi veikiantys gamtiniai procesai neapsiriboja valstybių sienomis ir vyksta visame Baltijos regione. Todėl bendro valstybinių sienomis neapriboto filtracinio modelio sukūrimas leidžia juos įvertinti visoje komplekso paplitimo teritorijoje.

Tyrimo tikslas buvo įvertinti gamtinių resursų kiekį ir jų formavimosi šaltinius visoje Šventosios–Upninkų vandeningojo komplekso paplitimo teritorijoje.

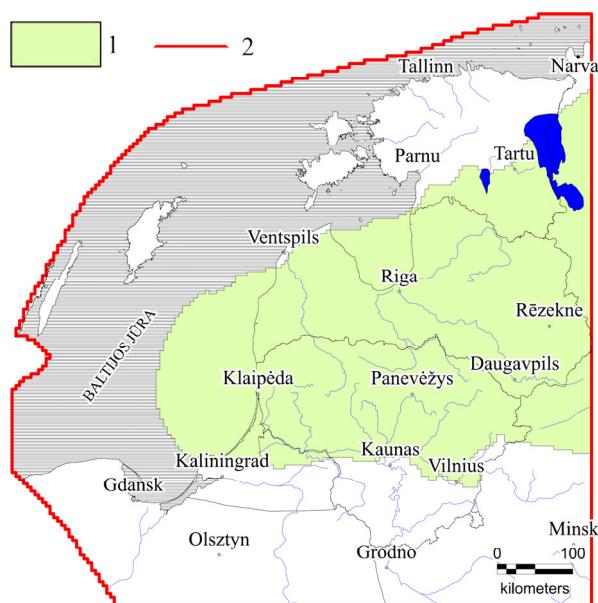
Metodika

Viršutinio–vidurinio devono Šventosios–Upninkų vandeningojo komplekso požeminio vandens gamtiniai resursai buvo įvertinti panaudojant bendrą viso Baltijos artezinio baseino 3D filtracinį modelį, kuris sudarytas susisteminius ir apibendrinus gausią geologinio–hidrogeologinio kartografavimo, gręžinių, monitoringo bei įvairių tyrimų informaciją:

1. Leibniz'o instituto sudarytą Baltijos jūros regiono skaitmenį topografinį žemėlapi (Seifert, Tauber ir Kayser, 2001);
2. Baltijos regiono prekvartero uolienų hidrogeologinius žemėlapius ir pradinis duomenis surinktus, kuriant BAB modelį elektrohidrogeodinaminių analogijų metodu (Juodkasis ir Zuzevičius, 1979; Byčko et al., 1980; Juodkasis, 1980; Mokrik, 2003);
3. Lenkijos hidrogeologinius duomenis (Dowgiallo, Plochnewski ir Szpakiewicz, 1974);
4. Lietuvos geologijos tarnybos fonduose sukauptą prekvartero storumės geologinio–hidrogeologinio kartografavimo, gręžimo, požeminio vandens monitoringo, kitų geologinių–hidrogeologinių tyrimų informaciją bei anksčiau sudarytų regioninių bei lokalių matematinių modelių duomenis (Gregorauskas, Klimas ir Plankis, 2003; Gregorauskas, Klimas ir Bendoraitis, 2012; Bitinas, 2015).

Erdvinis požeminio vandens filtracijos matematinis modelis sudarytas modeliuojamą požeminės hidrosferos storumę, apimančią vandeninguosius ir vandeniui silpnai laidžius darinius nuo žemės paviršiaus iki kristalinio pamato, horizontalia ir vertikalia kryptimis suskaidant į skaičiuojamuosius blokus. Kiekviename bloke numatomos filtracijos koeficiento reikšmės, pradinės bei ribinės sąlygos. Požeminio vandens filtracijos procesų modeliavimui panaudota JAV Geologijos tarnybos licencinė programinė įranga MODFLOW2005, kurioje erdvinis požeminio vandens filtracijos procesus požeminėje hidrosferoje aprašo diferencialinių lygčių sistemos, aproksimuotos baigtinių skirtumų metodais (Harbaugh, 2005). Programos valdymui, rezultatų analizei bei grafiniam atvaizdavimui taikyta JAV kompanijos *Environmental Simulations Inc.* licencinė programinė sistema *Groundwater Vistas Enterprise v6* (Rumbaugh, J. O. ir Rumbaugh, D. B., 2011).

Matematinio modelio filtracinėje schemoje pagal geologinių–hidrogeologinių sąlygų ypatumus išskirtas 31 modeliuojamas sluoksnis. BAB filtracinis modelis apima 493 000 km² teritoriją, kurioje Šventosios–Upninkų vandeningasis kompleksas užima 182 300 km² plotą (36,9 % viso modelio ploto) (1 paveikslas).



1 paveikslas. Modeliuojamos teritorijos schema:
1 – Šventosios–Upninkų vandeningojo komplekso paplitimo teritorija, 2 – BAB filtracinio modelio riba

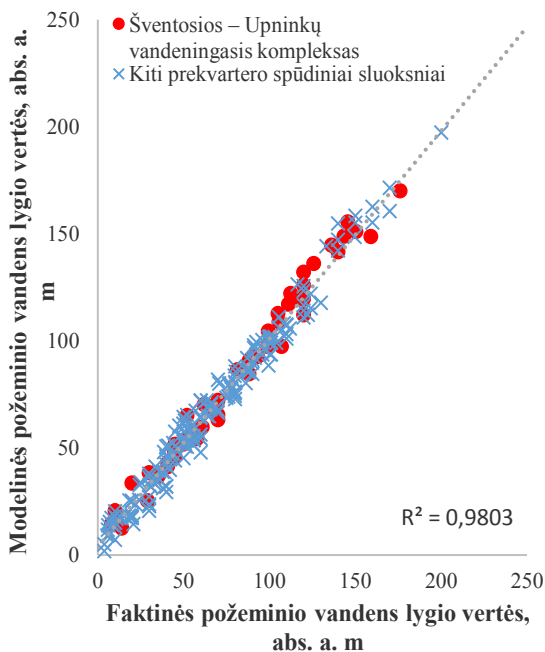
Modelyje ji suskaidyta į skaičiuojamuosius blokus kas 5000 m. Bendras skaičiuojamųjų blokų skaičius visuose modeliuojamuose sluoksniuose – 614823. Vandeninguose sluoksniuose buvo modeliuojama tiek vertikali, tiek horizontali, o silpnai laidžiuose – tik vertikali nuostovi filtracija.

Modelio kalibravimas atliktas bandymų bei klaidų metodu, kurio metu, išanalizavus modeliuojamos teritorijos geologinę ir hidrogeologinę informaciją bei galimas filtracijos koeficiento verčių kaitos ribas, modeliuotojas pats šias vertes koreguoja ir tikslina, siekdamas gauti kuo geresnę modelinių rezultatų ir faktinių stebėjimų sutaptį leistinos paklaidos ribose. Kalibravimo metu buvo atkurti visų modeliuojamų spūdinųjų vandeningųjų sluoksnių nepažeisto režimo piezometriniai paviršiai (iki požeminio vandens eksploatacijos pradžios), kurie buvo lyginami su faktiniais požeminio vandens lygio matavimais gręžiniuose (2 paveikslas). Kalibravimo rezultatai pateikti 1 lentelėje, kurioje matyti, jog vidutinio kvadratinio nuokrypio tarp modelinių ir faktinių požeminio vandens lygio verčių santykis su faktinių vandens lygio verčių intervalu (SRMS) Šventosios–Upninkų vandeningajame komplekse siekia 3,7 %, o likusiuose sluoksniuose – 3 %.

Leistina regioninių požeminio vandens modelių paklaida SRMS < 10 % (Barnett et al., 2012), todėl galima teigti, kad sukalibruotame modelyje gautas faktinių ir modelių požeminio vandens lygio verčių sutapimas yra pakankamai geras.

1 lentelė. Filtracinio modelio kalibravimo rezultatai

Vandeningasis sluoksnis / kompleksas	Kalibravimui naudotų taškų skaičius	Modelinio vandens lygio	
		Vidutinė paklaida, m	SRMS, %
Šventosios–Upninkų	53	-2,66	3,7
Kiti prekartero spūdiniai sluoksniai	189	-1,56	3,0



2 paveikslas. Faktinių požeminio vandens lygio verčių palyginimas su modelinėmis

Verifikuojant modelį nustatyta, kad gautos modelinės požeminio vandens gamtinių resursų vertės yra pakankamai artimos nustatytoms ankstesniuose lokaliuose modeliuose (didžiausia paklaida neviršija 20 %) (Gregorauskas et al., 2012).

Modelinis požeminio vandens gamtinių resursų pasiskirstymas Šventosios–Upninkų vandeningojo komplekso paplitimo teritorijoje išreikštas jų modulio M – vandens požeminio nuotėkio tūrio per laiko vienetą iš baseino ploto vienetą vertėmis:

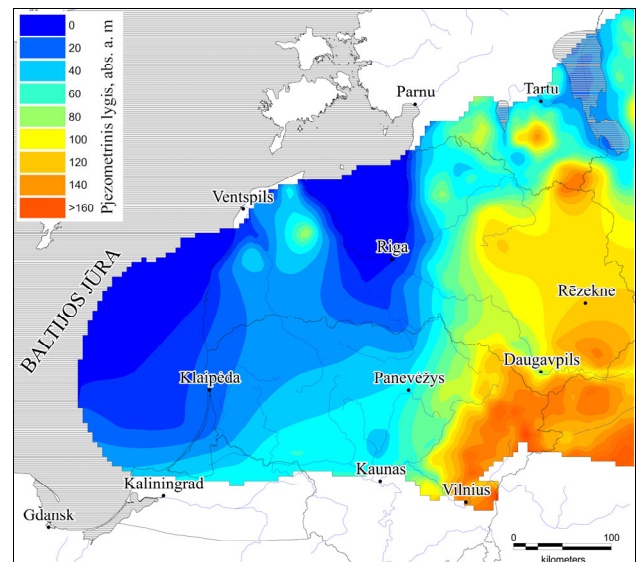
$$M = \frac{Q}{F}, \quad (1)$$

čia M – požeminio vandens gamtinių resursų modulis, l/s iš km²; Q – gamtiniai požeminio vandens resursai, l/s; F – jų formavimosi plotas, km².

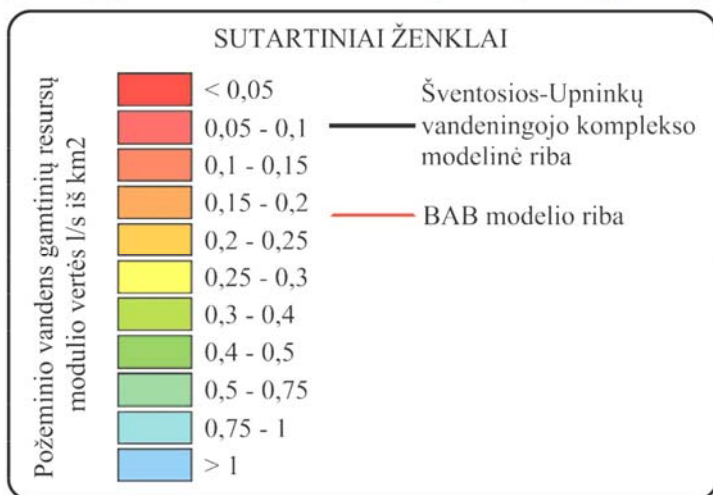
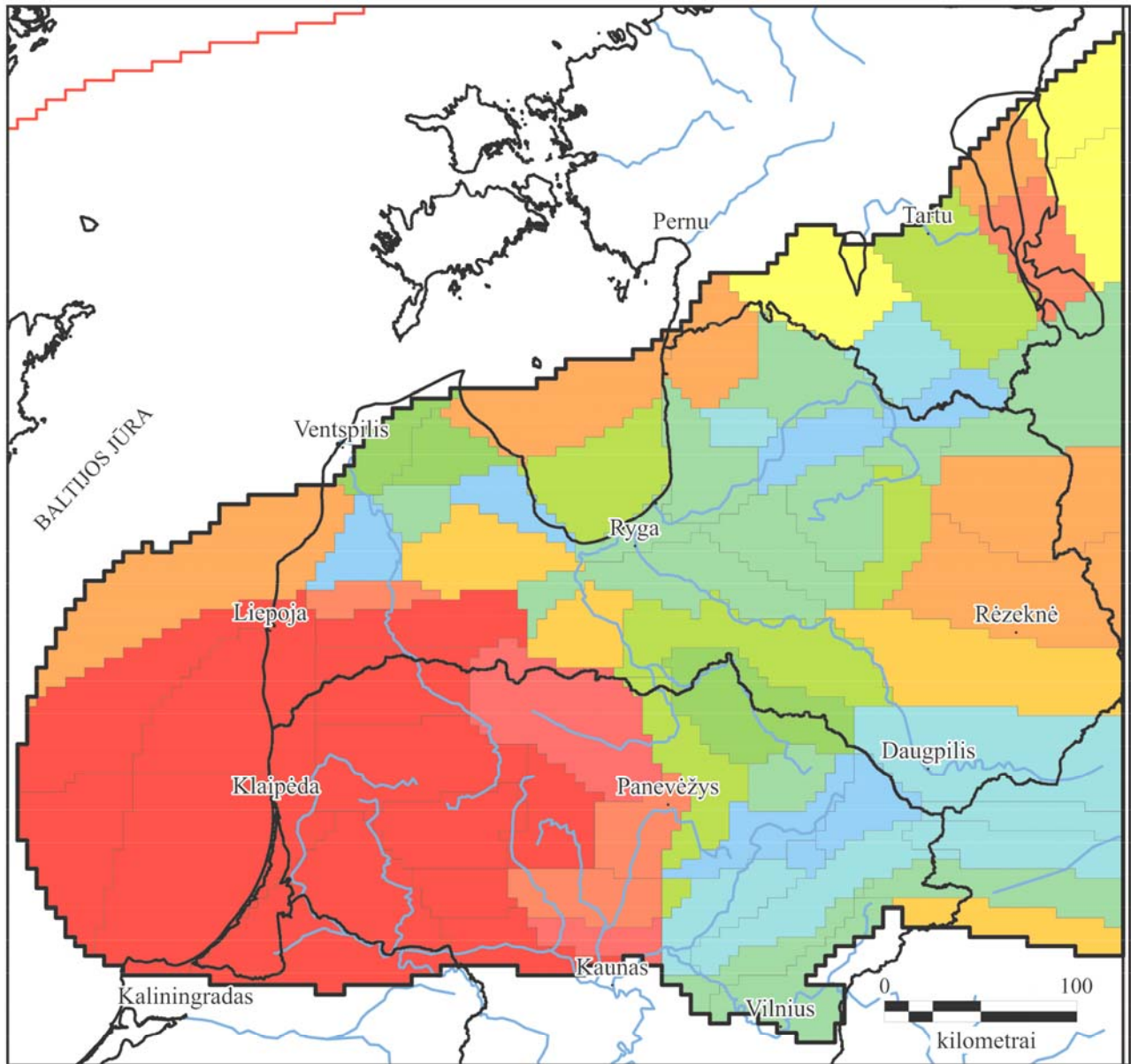
Atskiri gamtinių resursų formavimosi plotai, kuriuose apskaičiuotas gamtinių resursų modulis, išskirti pagal modelio kalibravimo metu gautas vandeningojo komplekso bei jį iš viršaus ir apačios apribojančių vandensparų filtracijos koeficiento vidutinių verčių zonas (4 paveikslas).

Rezultatai ir jų analizė

Stacionarios filtracijos modeliavimo metu atkūrus Šventosios–Upninkų vandeningojo komplekso pjezometrinį paviršių gamtinėmis sąlygomis, t. y. iki intensyvios vandenviečių eksploatacijos pradžios, matyti, kad jis kinta dideliame intervale nuo 0 iki 220 abs. a. m (3 paveikslas). Aukščiausias pjezometrinis lygis (>80 abs. a. m) aptinkamas komplekso mitybos srityse – Baltijos aukštumose jo rytinėje paplitimo dalyje bei lokaliai Kuršo aukštumose, šiaurės vakarų Latvijoje. Baltijos aukštumose vyrauja didesnės už 120 abs. a. m, o vietomis net už 160 abs. a. m pjezometrinio lygio altitudės. Čia vandeningasis kompleksas slūgso aktyvios apytakos zonoje, iškart po kvartero.



3 paveikslas. Šventosios–Upninkų vandeningojo komplekso modelinis pjezometrinis paviršius



4 paveikslas. Požeminio vandens gamtinių resursų modulio verčių pasiskirstymas Šventosios-Upninkų vandeningajame komplekse

2 lentelė. Šventosios–Upninkų vandeningojo komplekso gamtiniai resursai ir jų formavimosi šaltiniai

Prietaka			Ištaka		
Šaltinis	Kiekis		Šaltinis	Kiekis	
	tūkst. m ³ /d	mm/metai		tūkst. m ³ /d	mm/metai
1. Prietaka iš gruntinio ir aukščiau slūgsančių spūdinųjų vandeningųjų sluoksnių	3332	6,7	1. Ištaka į gruntinį ir aukščiau slūgsančius spūdinius vandeninguosius sluoksnius	2027	4,0
			2. Ištaka į Baltijos jūrą	238	0,5
			3. Ištaka į upes	1030	2,1
2. Prietaka iš žemiau slūgsančių vandeningųjų sluoksnių	107	0,2	4. Ištaka į žemiau slūgsančius vandeninguosius sluoksnius	144	0,3
Iš viso	3439	6,9	Iš viso	3439	6,9

Baltijos aukštumose bei Kuršo aukštumose vakarinėje Latvijoje, vykstant intensyviai komplekso mitybai iš aukščiau slūgsančių vandeningųjų sluoksnių, yra susikoncentravusi didžioji komplekso gamtinių resursų dalis – vyrauja išteklių modulio reikšmės, didesnės už 0,3 l/s iš km², o vietomis siekiančios 1 ir daugiau l/s iš km² (4 paveikslas). Šventosios–Upninkų vandeningojo komplekso gamtinių resursų modulio verčių ties Rėzekne sumažėjimas iki 0,15 l/s iš km² greičiausiai yra susijęs su šioje zonoje esančiu nedideliu duomenų kiekiu apie vandensparos, skiriančios Dauguvos–Pliavinių ir Šventosios–Upninkų vandeninguosius kompleksus, filtracinius parametrus bei jų regioninę kaitą ir ateityje gali būti tikslinamas.

Vakarų kryptimi, didėjant kompleksą dengiančių nelaidžių uolienu storiui ir komplekso slūgsojimo gyliui, vertikali požeminio vandens mityba mažėja arba iš viso nevyksta (Juodkazis, 1979). Artėjant link regioninės ištakos sritys Baltijos jūroje, pjezometrinis lygis žemėja nuo 70 iki 0 abs. a. m (3 paveikslas). Žemiausias vandens lygis stebimas regioninės ištakos srityse Baltijos jūroje į vakarus nuo Klaipėdos ir Liepojos bei Rygos įlankoje – nuo 0 iki 30 abs. a. m. Ties Žemaičių bei rytų Kuršo aukštumų ruožu, kaip ir Dauguvos–Pliavinių vandeningajame komplekse, išsiskiria lokali Šventosios–Upninkų komplekso mitybos sritis. Tai rodo, kad požeminis vanduo per aukščiau slūgsančią Jaros regioninę vandensparą prasiskverbia iš Dauguvos–Pliavinių į Šventosios–Upninkų vandeningąjį kompleksą. Dėl sulėtėjusios mitybos turimas gamtinių resursų kiekis šioje srityje yra nedidelis, o modulio reikšmės mažesnės už 0,05 l/s iš km² (4 paveikslas).

Požeminio vandens srauto kryptis iš Baltijos aukštumų rytinėje komplekso paplitimo dalyje yra nukreipta Rygos įlankos bei vakarų Lietuvos link. Lokaliai srauto

kryptį veikia upių (Dauguvos, Lielupės, Nemunėlio, Gaujos, Šventosios, Neris ir kt.) slėniai bei ežerai (Peipaus – Pskovo, Vertsjervo ir kt.). Šventosios–Upninkų požeminio vandens srautas iš Žemaičių ir Kuršo aukštumų yra nukreiptas vakarų Lietuvos ir Baltijos jūros bei centrinės Latvijos ir Rygos įlankos link.

Modeliavimo rezultatai rodo, kad Šventosios–Upninkų vandeningasis kompleksas pasižymi dideliais požeminio vandens gamtiniais resursais, kurie siekia 3,4 mln. m³/d (6,9 mm/metus) (2 lentelė). Didžiąją jų dalį formuoja prietaka iš gruntinio ir aukščiau slūgsančių spūdinųjų vandeningųjų sluoksnių – 3332 tūkst. m³/d (6,7 mm/metus arba 97 %). Dauguma atsinaujinančių gamtinių resursų išteka į Šventosios–Upninkų kompleksą dengiančius vandeninguosius sluoksnius 2027 tūkst. m³/d (59%), upes 1030 tūkst. m³/d (30 %), o likusi dalis į Baltijos jūrą (238 tūkst. m³/d arba 7 %) bei žemiau slūgsančius spūdinius vandeninguosius sluoksnius – 144 tūkst. m³/d arba 4 %.

Išvados

1. Matematinio modeliavimo metodais įvertinus Šventosios–Upninkų vandeningojo komplekso gamtinius resursus nustatyta, kad jie yra dideli – 3,4 mln. m³/d, tačiau jų pasiskirstymas komplekso paplitimo teritorijoje dėl skirtingų hidrogeologinių–geologinių, geomorfologinių sąlygų nevienodas.

2. Didžioji resursų dalis koncentruojasi Baltijos aukštumų ruože bei šiaurinėje Kuršo aukštumų dalyje. Vakarinėje Lietuvos dalyje dėl didėjančio komplekso slūgsojimo gylio ir prastų filtracinių savybių jo požeminio vandens gamtinių resursų kiekis ženkliai mažėja.

3. Pagrindinis požeminio vandens gamtinių resursų formavimosi šaltinis yra prietaka iš gruntinio ir aukščiau slūgsančių spūdinų vandeningųjų sluoksnių, formuojanti apie 97 % jų kiekio.

4. Intensyviausia požeminio vandens ištaka vyksta į kompleksą dengiančius vandeninguosius sluoksnius bei upes – atitinkamai 59 % bei 30 % gamtinių resursų kiekio.

Literatūra

- Barnett, B., Townley, L., Post, V., Evans, R. E., Randall, H., Peeters, L., Richardson, S., Werner, A., Knapton, A., & Boronkay, A. (2012). *Australian groundwater modelling guidelines*. National Water Commission. 191 p.
- Bitinas, J. (2015). *Erdvinių žemės gelmių išteklių tyrimai*. Vilnius: LGT. Lietuvos geologijos tarnybos fondai. 243 p. (Rankraštis).
- Byčko, G., Mokrik, R., Vares, H., Vienožinskis, V. ir Viigand, A. (1980). *Baltijos šalių teritorijos prekartero uolienu hidrogeologinis 1:500 000 mastelio žemėlapis*. V. Juodkakis (Red.). 1982. Leningradas, VSEGEI.
- Dowgiallo, J., Plochniewski, Z., & Szpakiewicz, M. (1974). *Map of mineral water in Poland*. Warsaw: Geological institute.
- Gregorauskas, M., Klimas, A. ir Bendoraitis, A. (2012). *Kainojoaus-mezozojaus hidrogeologinės sistemos turimi požeminio vandens išteklių*. Projektas: Požeminio vandens išteklių vertinimas Lietuvoje. Vilnius: Lietuvos geologijos tarnybos fondai. 175 p. (Rankraštis).
- Gregorauskas, M., Klimas, A. ir Plankis, M. (2003). *Viršutinio paleozojaus hidrodinaminės sistemos regioninių požeminio vandens išteklių įvertinimas. (Šiaurės-Vakarų Lietuvos permio, Žagarės, Stipinų vandeningieji horizontai): baigiamoji ataskaita*. Projektas: Požeminio vandens išteklių vertinimas Lietuvoje. Vilnius: Lietuvos geologijos tarnybos fondai. 122 p. (Rankraštis).
- Harbaugh, Arlen W. (2005). *MODFLOW-2005: the U.S. Geological Survey modular ground-water model—the ground-water flow process*. USGS Numbered Series 6-A16. Techniques and Methods. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/tm/2005/tm6A16/>
- Juodkakis, V. (1979). *Pabaltijo hidrogeologijos pagrindai*. Vilnius: Mokslas. 140 p.
- Juodkakis, V. 1980. *Pabaltijo požeminio vandens eksploatacinių išteklių susidarymas ir įsisavinimas*. Vilnius: Mokslas. 176 p.
- Juodkakis, V. ir Zuzevičius, A. (1979). *Baltijos šalių gėlo požeminio vandens regioninio eksploatacinių išteklių įvertinimo ypatumai*. Vilnius, p. 4-13.
- Mokrik, R. (2003). *Baltijos baseino paleohidrogeologija. Neoproterozojus ir fanerozojus*. Vilnius: VUL. 333 p.
- Raukas, A. & Teedumae, A. (Eds.). (1997). *Geology and mineral resources of Estonia*. Tallinn: Estonian Academy Publishers. 436 p.
- Rumbaugh, J. O., & Rumbaugh, D. B. (2011). *Groundwater Vistas version 6. Guide to Using*. Environmental Simulations, Inc. 221 p.
- Seifert, T., Tauber, F., & Kayser, B. (2001). *A high resolution spherical grid topography of the Baltic Sea* (2nd ed.). Poster #147. Stockholm: Baltic Sea Science Congress. Retrieved from <https://www.io-warnemuende.de/topography-of-the-baltic-sea.html>

THE MODEL EVALUATION OF THE BALTIC ARTESIAN BASIN OF SVENTOJI – UPNINKAI AQUIFER NATURAL RESOURCES OF UNDERGROUND WATER COMPLEX

M. Bujanauskas, M. Gregorauskas, R. Mokrik

Summary

Groundwater resources of the Sventoji–Upninkai aquifer system was evaluated using a 3D mathematical model of groundwater flow, which covers the whole territory of the Baltic artesian basin (BAB). The model was developed and calibrated using geological and hydrogeological data from different sources: geological maps, information from boreholes, groundwater monitoring and various surveys. Simulation results show that the Sventoji–Upninkai aquifer system has significant groundwater resources, which reaches up to 3.4 million m³/d. The amount of groundwater resources is formed by recharge from upper-laying shallow and artesian groundwater aquifers – 3.3 million m³/d (97%). Most of the groundwater resources discharges into upper-laying shallow and artesian groundwater aquifers – 2.0 million m³/d (59%), rivers – 1 million m³/d (30%) and the Baltic Sea – 238 thousand m³/d (7%). The formation of groundwater resources is determined by the hydrogeological features of aquifers and aquitards, rates of infiltration recharge and discharge into the river network and the Baltic Sea offshore. The largest amount of the resources concentrates on the sections of the Baltic and Kurzeme highs, where the most intensive infiltration recharge takes place. As the depth of the aquifer increases, due to decreasing recharge from adjacent aquifers, the amount of groundwater resources in the Sventoji–Upninkai aquifer system significantly decreases. The development of the numerical model is expected to provide an opportunity to evaluate available groundwater resources in Sventoji–Upninkai aquifer system throughout the Baltic region.

Keywords: groundwater flow model, groundwater resources, Baltic artesian basin.