



VILNIAUS UNIVERSITETAS
CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS
CHEMIJOS / GEOMOKSLŲ INSTITUTAS
HIDROGEOLOGIJOS IR INŽINERINĖS GEOLOGIJOS KATEDRA

Modestas Kartenis

Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos studijų programa
Magistro baigiamasis darbas

ROKIŠKIO MIESTO VANDENVIETĖS APSAUGOS ZONOS
ĮVERTINIMAS MATEMATINIO MODELIAVIMO METODAIS

Darbo vadovas
Asist. dr. Marius Gregorauskas

Vilnius 2024



VILNIUS UNIVERSITY
FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES
INSTITUTE OF CHEMISTRY / GEOSCIENCES
DEPARTMENT OF HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

Modestas Kartenis

Hydrogeology and engineering geology study programme
Master thesis

**ASSESSMENT OF THE PROTECTION ZONE OF ROKIŠKIS
CITY WELLFIELD USING MATHEMATICAL MODELLING
METHODS**

Scientific adviser
Assit. Prof., dr. Marius Gregorauskas

Vilnius 2024

TURINYS

ĮVADAS	4
1. ROKIŠKIO RAJONO HIDROGEOLOGINIŲ TYRIMŲ APŽVALGA	5
2. TYRIMŲ RAJONO GEOLOGINĖS-HIDROGEOLOGINĖS SĄLYGOS	8
3. TYRIMŲ METODIKA.....	16
4. VANDENVIETĖS CHARAKTERISTIKA.....	20
4.1 Bendrieji duomenys ir geologinės sąlygos	20
4.2 Hidrogeologiniai parametrai	20
4.3 Eksploatacija ir požeminio vandens lygis.....	31
4.4 Požeminio vandens cheminė sudėtis ir kokybė	31
5. MATEMATINIO MODELIAVIMO REZULTATAI	35
5.1 Filtracinis modelis ir požeminio vandens gamtiniai resursai.....	35
5.1.1 Modelio filtracinė schema ir ribinės sąlygos	35
5.1.2 Modelio kalibravimo rezultatai ir patikslintos filtracinių parametų vertės	37
5.1.3 Požeminio vandens gamtiniai resursai	38
5.2 Migracinis modelis, vandenvietės kaptazo sritys ir išteklių formavimosi šaltiniai	45
5.2.1 Prognozinės kaptazo sritys	45
5.2.2 Požeminio vandens išteklių formavimosi šaltiniai	49
6. VANDENVIETĖS APSAUGOS ZONA	50
6.1 Galiojantys dokumentai ir reikalavimai	50
6.2 Apsaugos zonos nustatymas	51
IŠVADOS	53
LITERATŪROS SĄRAŠAS	54
SANTRAUKA.....	56
SUMMARY.....	57
PRIEDAI	58
1 priedas. Modelyje užduotos filtracijos koeficiento vertės	58

IVADAS

Temos aktualumas. Geriamojo vandens ištekliai yra bene didžiausias kiekvienos valstybės turtas, todėl, siekiant išsaugoti gerą požeminio vandens kokybę, itin svarbi yra jo apsauga nuo taršos. Tai ypač aktualu urbanizuotų teritorijų vandenvietėms, kurios dažnai yra šalia miestų pramoninių rajonų ar apsuptos potencialių taršos židinių. Todėl hidrogeologiškai pagrįstas vandenviečių apsaugos zonų, t.y. teritorijų, kuriose būtų ribojama tam tikra ūkinė veikla, saugant požeminį vandenį nuo taršos, nustatymas tampa vis aktualesniu, ypač plečiantis žaliosios politikos kursui.

Darbo tikslas – matematinio modeliavimo metodais įvertinti Rokiškio vandenvietės apsaugos zoną bei vandenvietės požeminio vandens išteklių formavimosi šaltinius.

Matematiniam modeliui sukurti panaudota Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos katedros turima licencinė programinė įranga Groundwater Vistas Professional v.6 ir Aquifer Win32 (Rumbaugh, 2011a, 2011b).

Darbo uždaviniai:

- Sudaryti Rokiškio miesto apylinkų požeminės hidrosferos erdvinį (3D) matematinį modelį.
- Patikslinti vandenvietėje eksploatuojamo Šventosios-Upninkų komplekso filtracinius parametrus.
- Modeliavimo metodais nustatyti prognozes vandenvietės kaptažo sritis ir jos apsaugos zoną, atsižvelgiant į hidrodinaminę sąveiką su gretimomis vandenvietėmis.
- Įvertinti Šventosios-Upninkų komplekso gamtinius resursus Rokiškio apylinkėse ir nustatyti vandenvietės išteklių formavimosi šaltinius.

Darbo naujumas:

- Papildžius naujais duomenimis ankstesnių metų regioninio viršutinio-vidurinio devono hidrodinaminės sistemos modelio fragmentą, sudarytas Rokiškio apylinkų požeminės hidrosferos matematinis modelis.
- Šiuolaikiniais metodais patikslinti Šventosios-Upninkų komplekso filtraciniai parametrai Rokiškio vandenvietėje.
- Nustatyta vandenvietės apsaugos zona, atsižvelgiant į jos hidrodinaminę sąveiką su gretimomis vandenvietėmis.
- Įvertinti Šventosios-Upninkų komplekso gamtiniai resursai Rokiškio apylinkėse ir jų formavimosi šaltiniai.
- Įvertinti vandenvietės požeminio vandens išteklių formavimosi šaltiniai.

Darbo praktinė reikšmė. Sudarytas matematinis modelis ateityje gali būti panaudotas vertinant mieste naujai atsirasiančių vandenviečių ar privačių gręžinių išteklius bei apsaugos zonas ir planuojant ūkinės veiklos plėtrą.

Informacijos šaltiniai. Darbas parengtas naudojantis Lietuvos geologijos tarnybos fonde sukaupta archyvine Rokiškio miesto bei kitų stambesnių rajono vandenviečių žvalgybos, požeminio vandens išteklių įvertinimo bei matematinio modeliavimo medžiaga, ją papildžius rajone per pastarąjį dešimtmetį į Šventosios-Upninkų kompleksą išgręžtų naujų gręžinių duomenimis.

1. HIDROGEOLOGINIŲ TYRIMŲ ROKIŠKIO RAJONE APŽVALGA

Didžioji dalis hidrogeologinių tyrimų Rokiškio rajone yra atlikta, siekiant įvertinti vandenviečių požeminio vandens išteklius, regioninius požeminio vandens srauto gamtinius resursus, jų formavimosi dėsninumus, bei vykdant požeminio vandens monitoringo darbus.

Pirmieji detalūs hidrogeologiniai tyrimai rajone atlikti 1987-1989 metais, vertinant Rokiškio miesto vandenvietės požeminio vandens eksploatacinius išteklius (Bendoraitis, 1989). Jų metu vandenvietėje buvo išgręžta 10 žvalgybinių-eksploatacinių gręžinių, atlikti 1-8 parų trukmės jų hidrodinaminiai išbandymai 320-1920 m³/d debitu, nustatyti produktyviojo Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso filtraciniai parametrai bei analitiniais metodais įvertinti vandenvietės požeminio vandens ištekliai. Nustatyta, jog šio vandeningojo komplekso viršutinės dalies vandens pratakumo koeficientas km vidutiniškai siekia apie 350 m²/d, apatinės – 150 m²/d, o vandenvietės ištekliai – 17 tūkst. m³/d (A kategorija – 9,7 tūkst. m³/d, B kategorija – 7,3 tūkst. m³/d) (Bendoraitis, 1989).

2002 m. UAB „HGN Hydrogeologie Baltic“ atliko Pagojų, Onušio, Lukštų, Jūžintų, Salų, Kalvių, Laukagalių, Laibgalių, Meldučių, Kriaunų, Panemunėlio ir Panemunėlio geležinkelio stoties vandenviečių hidrogeologinius tyrimus ir sanitarinių apsaugos zonų įvertinimus (Saulis ir kt., 2002). Vandenvietėse buvo atlikti trumpalaikiai gręžinių išpumpavimai, nustatyti eksploatuojamų kvartero ir devono sluoksnių filtraciniai parametrai, vandenviečių apsaugos zonos įvertintos WHPA pusiau analitiniuose modeliuose pagal tuo metu galiojusios higienos normos HN 44:2000 reikalavimus.

2007 metais, Lietuvos geologijos tarnybai iniciavus projektą „Požeminio vandens išteklių įvertinimas Lietuvoje“, buvo pradėtas visų šalies hidrodinaminių sistemų turimų požeminio vandens išteklių įvertinimas pagal ES Bendrosios vandens politikos direktyvos 2000/60/EC reikalavimus (Directive ..., 2000). Šioje direktyvoje turimi požeminio vandens ištekliai suprantami kaip vandens kiekis, kurį galima saugiai išgauti iš hidrodinaminės sistemos, neviršijant leistino požeminio vandens lygio pažemėjimo bei nedarant neleistino poveikio požeminio vandens kokybei, paviršinio vandens nuotėkiui bei ekosistemoms. Lietuvos turimi požeminio vandens ištekliai šiame projekte buvo vertinami erdviniuose (3D) skaitmeniniuose požeminio vandens filtracijos ir masės pernešimo matematinuose modeliuose.

Viršutinio–vidurinio paleozojaus hidrogeologinės sistemos (VVP HGS) modelyje (Gregorauskas ir kt., 2008), į kurį pateko ir Rokiškio rajonas, nustatyta, jog rajono turimi požeminio vandens ištekliai, atitinkantys minėtus Direktyvos reikalavimus, siekia 54 tūkst. m³/d.

Vėliau šis VVP HGS matematinis modelis buvo panaudotas modeliuojant požeminio ir paviršinio vandens sąveiką Nemuno, Lielupės ir Dauguvos upių baseinuose bei sudarant šių upių baseinų valdymo planus Europos komisijai pagal ES Bendrosios vandens politikos direktyvos 2000/60/EC ir Požeminio vandens apsaugos nuo taršos ir jo būklės blogėjimo direktyvos 2006/118/EC reikalavimus. Tuo pačiu šiame modelyje buvo įvertintas ir nagrinėjamo Rokiškio rajono požeminis nuotėkis, pasklidosios ir sutelktosios taršos poveikis požeminiam vandeniui, kiekybiškai įvertinta požeminio vandens ir jame sukauptų teršiančių medžiagų ištaka į paviršinio vandens telkinius, požeminio vandens eksploatacijos poveikis paviršiniam vandeniui ir NATURA 2000 teritorijoms. Gauti rezultatai panaudoti Lielupės upių baseino, į kurį patenka Rokiškio rajonas, valdymo planų priemonių programose (Vaitiekūnienė ir kt., 2011).

2009 m. UAB „Vilniaus hidrogeologija“ atliko UAB „Lamikara“ vandenvietės Rokiškyje hidrogeologinius tyrimus bei požeminio vandens išteklių įvertinimą (Bendoraitis, 2009). Šioje vandenvietėje gręžiniu Nr. 12349 eksploatuojamas giliai, po Narvos regionine vandenspara slūgsančio Pernu-apatinio devono (D_{2pr}-D₁) vandeningojo komplekso požeminis mineralinis vanduo,

siekia 100 m³/d, jis atliktas pusiau analitiniame AquiferWin32 matematiname modelyje (Rumbaugh, 2011b).

Daugelyje smulkesnių rajono vandenviečių įvairiu laikotarpiu taip pat yra atlikta nemažai hidrogeologinių tyrimų, dažniausiai susijusių su požeminio vandens išteklių įvertinimu. Svarbesni jų yra UAB „Rokiškio aliejinė“ vandenvietės (Daugėla, Sakalauskienė, 2019), UAB „Spectator NT“ vandenvietės (Drevalienė, 2022), Aleknų, Didsodės, Lašų, Lukštų, Pakriaunių, Panemunio, Ragelių vandenviečių (Gerdvilis ir kt., 2022), UAB "Žiobiškio kompleksas" vandenvietės (Gražulis, Šeirys, 2011), Skemų socialinės globos namų vandenvietės (Kmeliauskaitė, 2018a), vandenvietės (Kmeliauskaitė, 2018b), AB "Vilniaus degtinė" Obelių spirito vadyklos vandenvietės (Palaitis ir kt., 2012) išteklių ir apsaugos zonų įvertinimo metu atlikti tyrimai.

Visose stambesnėse rajono vandenvietėse, kurių debitas viršija 100 m³/d, jau ne vieną dešimtmetį yra vykdomas požeminio vandens monitoringas (Rokiškio ..., 2022; 2024; Saulis, Viteika, 2017; Dragūnaitė, 2021). Jo ir aukščiau minėtų tyrimų rezultatai yra panaudoti šiame darbe, sudarant rajono požeminės hidrosferos matematinį modelį.

2. TYRIMŲ RAJONO GEOLOGINĖS – HIDROGEOLOGINĖS SĄLYGOS

Tyrimų rajonas apima maždaug 40x50 km teritoriją (2.1 pav.) ir yra gerokai didesnis už Rokiškio miesto vandenvietės įtakos zoną. Toks jo dydis pasirinktas su tikslu modelyje įvertinti ne tik miesto vandenvietės apsaugos zoną, bet ir panagrinėti Rokiškio apylinkių požeminio vandens srauto kaitos ypatybes bei vandenvietės išteklių formavimosi dėsningumus.

Šiame skyriuje pateikiami rajono faktinės medžiagos ir geologinių-hidrogeologinių sąlygų žemėlapiai yra sudaryti, ruošiant jau minėtą viršutinio-vidurinio paleozojaus hidrogeologinės sistemos (VVP HGS) matematinį modelį (Gregorauskas ir kt., 2008), į kurį pateko ir Rokiškio rajonas. Darbo autoriaus jie yra pakoreguoti ir papildyti, panaudojant nuo 2008 metų į Šventosios-Upninkų kompleksą išgręžtų gręžinių duomenis.

Rajono geologinė sandara yra gana sudėtinga (2.2 pav.). Nagrinėjamų klausimų sprendimui svarbi tik viršutinė geologinio pjūvio dalis, sudaryta iš kvartero (Q), viršutinio-vidurinio devono, t.y. pliavinių (D_{3pl}), Šventosios (D_{3šv}), Upninkų (D_{2up}) svitų uolienu, kuriose glūdi gėlas požeminis vanduo. Kaip žinia, giliau slūgso vidurinio devono Narvos regioninė vandenspara (D_{2nr}), sudaryta iš 92-99 m storio silpnai vandeniui laidžių mergelių su molio ir dolomito tarp sluoksniais, skirianti gėlo ir mineralizuoto vandens zonas. Šios vandensparos kraigas, palinkęs į vakarus – šiaurės vakarus, čia slūgso 200-260 m gylyje (nuo -90 – -100 iki -170 – -180 m NN). Žemiau šios vandensparos, vidurinio-apatinio devono vandeningajame komplekse, paplitęs požeminis vanduo, kuriame ištirpusių druskų kiekis siekia 4-8 g/l (Bendoraitis, 1989; Saulis ir kt., 2002; Gregorauskas ir kt., 2008).

Hidrogeologiniu požiūriu nagrinėjamoje nuogulų stovymėje išskiriami šie vandeningieji sluoksniai ir kompleksai (iš viršaus žemyn):

- kvartero vandeningasis kompleksas;
- pliavinių arba Kupiškio-Suosos vandeningasis sluoksnis;
- Šventosios-Upninkų vandeningasis kompleksas.

Bendras kvartero darinių storis būna gana įvairus: didžiausias – rytinėje rajono dalyje, aukštumose (iki 80-110 m), mažiausias (apie 10-40 m) – šiaurvakarinėje dalyje. Jų padas daugiausia sutinkamas 20-99 m abs. aukštyje. Tai įvairaus amžiaus ir litologinės sudėties ledynų ir jų tirpsmo vandenų suklotos nuogulos – vandeningas smėlis, žvyras bei silpnai laidūs vandeniui moreninis priemolis, priesmėlis, aleuritas, molis.

Kvartero vandeningajame komplekse (Q) galima išskirti gruntinį ir keletą tarp sluoksnių (tarp moreninių) spūdinių vandeningųjų sluoksnių.

Gruntinis vanduo – tai požeminis vanduo, slūgsantis pirmame nuo žemės paviršiaus (gruntiniame) vandeningajame sluoksnyje. Jis iš viršaus yra atviras, t.y. jo nedengia vandensparos (silpnai laidūs ar nelaidūs vandeniui dariniai), jame susikaupęs vanduo neturi spūdzio ir yra maitinamas infiltruojantis atmosferiniams krituliams. Nagrinėjamame rajone gruntinis vanduo glūdi smėlingose viršutinio pleistoceno ir holoceno nuogulose, o vietomis – išdūlėjusiuose moreniniuose priemoliuose, priesmėliuose. Šio horizonto storis nedidelis – dažniausiai jis neviršija 2-4 metrų. Gruntinio vandens srauto struktūra rajone yra sudėtinga. Jis teka iš aukštesnių žemės reljefo vietų į žemesnes, nuteka (išsikrauna) į upes, upelius, ežerus, jis srūva ir gilyn – į kitus vandeninguosius horizontus, tapdamas vienu iš pagrindinių jų mitybos šaltinių. Gruntinio vandens lygis rajone sutinkamas apie 0,5-8 m gylyje. Šį vandenį iš savo šulinių dar semia nemaža dalis Rokiškio rajono gyventojų.

Tarpsluoksninis vanduo glūdi Baltijos-Grūdės (agl III bl-gr), Grūdės-Medininkų (agl III-II gr-md), Medininkų-Žemaitijos (agl II md-žm), Žemaitijos-Dainavos (agl II žm-dn), Dainavos-Dzūkijos (agl II dn-dz) tarpmoreniniuose vandeninguosiuose horizontuose. Tiek minėtus kvartero, tiek ir giliau slūgsančius devono tarpsluoksninius horizontus iš viršaus dengia, o iš apačios asloja silpnai laidžios arba beveik nelaidžios vandeniui uolienos, todėl juose glūdintis požeminis vanduo dažniausiai būna spūdinis. Kvartero vandeningieji horizontai nėra plačiai paplitę. Kaip matome iš geologinio pjūvio (2.2 pav.), Rokiškio rajone kvartero nuogulose vyrauja silpnai laidūs vandeniui moreniniai priemoliai, priemėliai. Visgi atskirose vietose pasitaiko nemažų smėlio-žvyro linzių, kurių storis siekia 5-35 m (vidutinis – apie 5-15 m). Požeminio vandens pjezometrinis lygis slūgso nuo 1,5-7 m (reljefo pažemėjimuose) iki 20-24 m (aukštumose) gylyje. Šie horizontai nėra labai vandeningi, gręžinių vidutinis lyginamasis debitas (debito ir vandens lygio pažemėjimo santykis) – apie 0,1-0,3 l/s. Vanduo gėlas, magnio kalcio hidrokarbonatinis, jo bendroji mineralizacija siekia 0,2-0,6 g/l (Bendoraitis, 1989; Saulis ir kt., 2002; Gregorauskas ir kt., 2008).

Pliavinių horizonto nuogulų storumė rajone sudaryta iš kaveringų, plyšiuotų dolomitų (**Kupiškio-Suosos vandeningasis sluoksnis – D_{3kp-s}**) ir žemiau slūgsančių nelaidžių vandeniui mergelių (Jaros vandenspara – D_{3jr}). Minėtas vandeningasis horizontas paplitęs tik vakarinėje ir kai kur centrinėje rajono dalyje, jis ištirtas gana menkai. Jo kraigas slūgso 10-38 m gylyje (62-87 m NN), storis – 0,5-35 m. Uolienų vandeningumas, priklausomai nuo jų plyšiuotumo ir kaveringumo, būna labai įvairus: gręžinių lyginamieji debitai svyruoja nuo 0,1 iki 12 l/s. Šio horizonto vandens pratakumo koeficiento km reikšmės dažniausiai neviršija 50-100 m²/d. Jame paplitęs kalcio magnio hidrokarbonatinis vanduo, kurio bendroji mineralizacija – 0,2-0,3 g/l (Bendoraitis, 1989; Saulis ir kt., 2002; Gregorauskas ir kt., 2008).

Šventosios-Upninkų vandeningasis kompleksas (D_{3-2šv-up}) plačiai išplitęs ne tik visame Rokiškio rajone, bet ir toli už jo ribų. Tai svarbiausias šiaurės rytų Lietuvos regiono geriamojo vandens šaltinis. Jis eksploatuojamas beveik visose didesnių Rokiškio rajono gyvenviečių vandenvietėse, o taip pat centralizuotoje Rokiškio miesto vandenvietėje.

Šis kompleksas sudarytas iš daugybės vandeningų (smėlis, silpnai sucementuotas smiltainis) ir silpnai laidžių vandeniui (molis, aleuritas, aleurolitas) sluoksnių, kurių bendras storis nagrinėjamoje teritorijoje siekia 170-230 m. Šio komplekso kraigas slūgso 40-110 m gylyje (ties 20-100 m NN altitudėmis) (2.3 pav.). Smėlis (smiltainis) dažniausiai būna smulkiagrūdis, rečiau – vidutingrūdis, vietomis molingas. Jo sluoksnių storis labai įvairus – nuo 1-3 iki 25-30 m. Vandensparinių sluoksnių storis siekia iki 15-20 m. Smėlingų dariniai sudaro iki 65-75% bendro Šventosios-Upninkų komplekso storio. Taigi efektyvus komplekso (jo vandeningos dalies) storis siekia 130-170 m (Bendoraitis, 1989; Saulis ir kt., 2002; Gregorauskas ir kt., 2008).

Šio komplekso požeminio vandens srautas teka iš rytų į vakarus, šiaurės vakarus (2.4 pav.). Iš šiame paveiksle pateikto hidroizopjezių žemėlapiu matome, kad požeminio vandens pjezometrinis paviršius aukščiausiai pakilęs šiaurinėje ir pietrytinėje rajono dalyse (110-120 m NN), vakarų kryptimi jis žemėja iki 80-90 m NN. Be to, tam tikra šio srauto dalis krypsta į šiaurės rytus, Dauguvos slėnio link. Didesnioji rajono dalis yra komplekso mitybos srityje, kurioje požeminio vandens lygis slūgso 15-35 m gylyje. Iškrovos srityse, t.y. reljefo pažemėjimuose, ypač vakarinėje rajono dalyje, vandens lygis slūgso prie pat žemės paviršiaus, o vietomis gręžiniai fontanuoja.

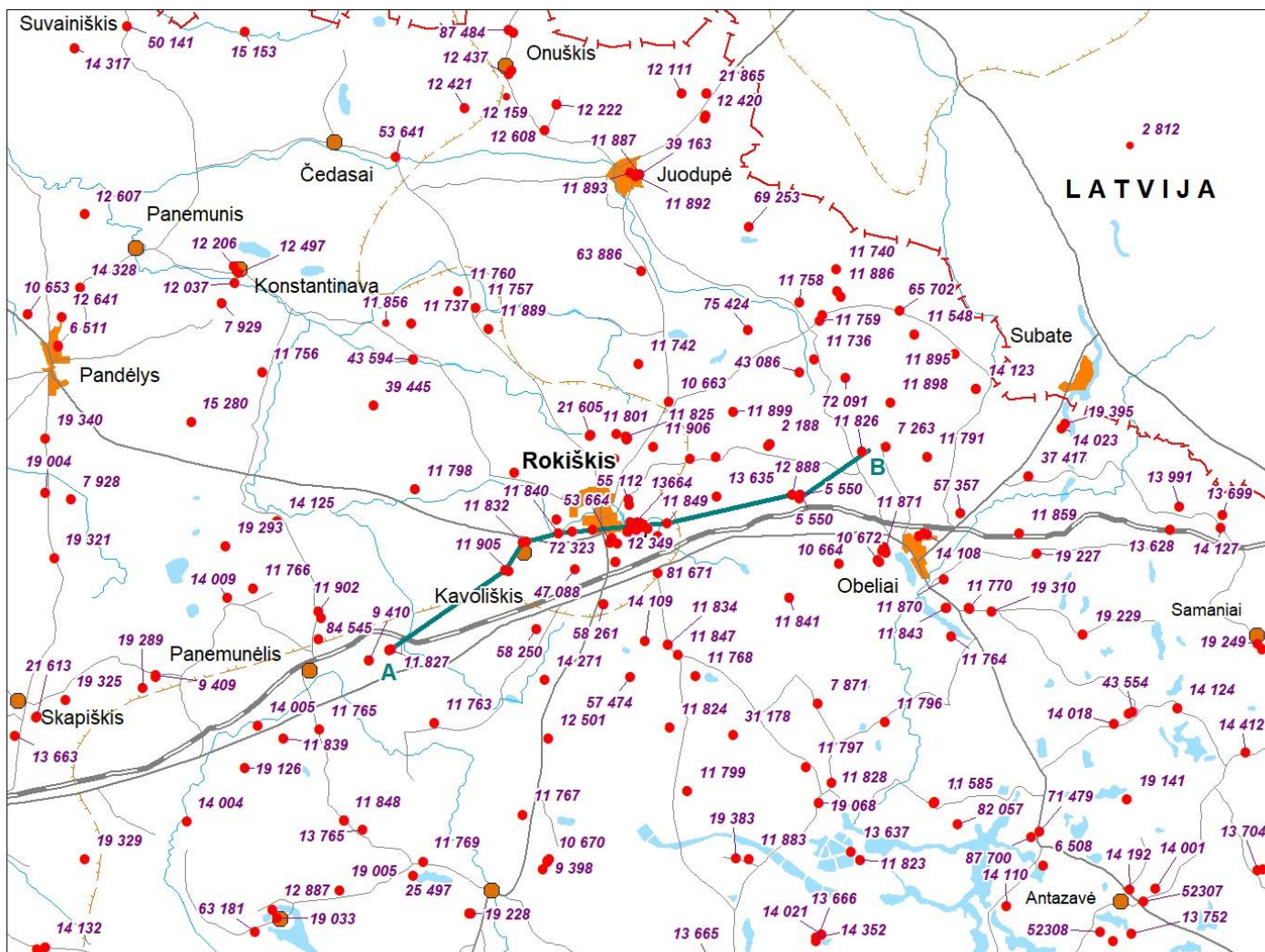
Atskirų komplekso sluoksnių vandeningumas gana nevienodas, todėl į juos įrengtų gręžinių lyginamasis debitas kinta 0,1-2,5 l/s ribose (vyraujančios reikšmės – 0,2-1 l/s). Atliekant detalius tyrimus Rokiškio m. vandenvietėje, nustatyta, kad viršutinės komplekso dalies nuogulų filtracijos koeficiento k reikšmės siekia 4-10 m/d. Apatinėje dalyje, padidėjus smiltainių molingumui, k reikšmės mažesnės – 1-7 m/d. Atskirų vandeningų sluoksnių filtracinio laidumo koeficientas km būna

nuo 10-50 iki 200-270 m²/d, o viso Šventosios-Upninkų komplekso suminis km – 400-600 m²/d (Bendoraitis, 1989; Gregorauskas ir kt., 2008). Pvz., tiriant Rokiškio vandenvietę, nustatyta, kad bendras komplekso km čia siekia 500 m²/d, o sąlyginai išskirtų viršutinės ir apatinės komplekso dalių km atitinkamai sudaro 350 ir 150 m²/d (Bendoraitis, 1989).

Visame rajone komplekso vanduo gėlas (0,2-0,7 g/l), kalcio magnio hidrokarbonatinis, jo kokybė nebloga, išskyrus padidintą geležies, mangano koncentraciją (Gregorauskas ir kt., 2008).

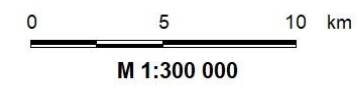
Nedideli (3-6 m) spūdžių skirtumai rodo, jog atskiri Šventosios-Upninkų komplekso vandeningieji sluoksniai turi gerą hidraulinį ryšį. Be to, ir visas šis kompleksas tampriai hidrauliškai susijęs su aukščiau slūgsančiais Kupiškio-Suosos ir kvartero horizontų vandenimis. Taigi vandenviečių požeminio vandens eksploataciniai išteklių formuojasi ne tik iš gamtinio Šventosios-Upninkų komplekso srauto, bet ir pertekant vandeniui iš viršaus, iš kvartero vandeningojo komplekso, įskaitant ir gruntinį horizontą. Nustatyta, jog vidutinė pertekėjimo parametro B reikšmė, charakterizuojanti Šventosios-Upninkų komplekso mitybą iš viršaus, siekia 14000-26000 m (Bendoraitis, 1989).

Eksplatuojant vandenvietes ir žemėjant produktyviųjų tarpsluoksnių horizontų vandens lygiui, potencialiai prastesnės kokybės gruntinio vandens pertekėjimas gilyn tampa intensyvesnis. Į tai būtina atsižvelgti, nustatant vandenviečių apsaugos zonas.



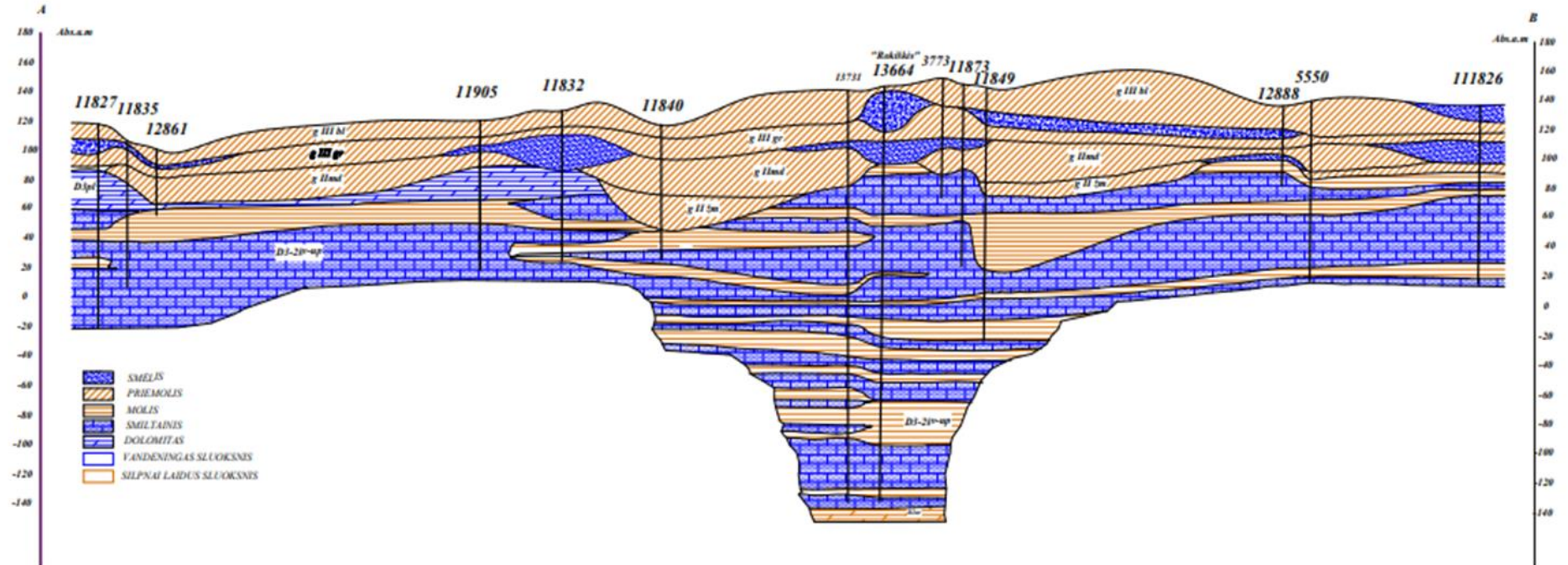
SUTARTINIAI ŽENKLAI

- 1253 gręžinys ir jo numeris žemės gelmių registre
- nagrinėjama vandenvietė
- Kupiškio-Suosos vandeningojo sluoksnio paplitimo riba
- A B geologinio-hidrogeologinio pjūvio linija

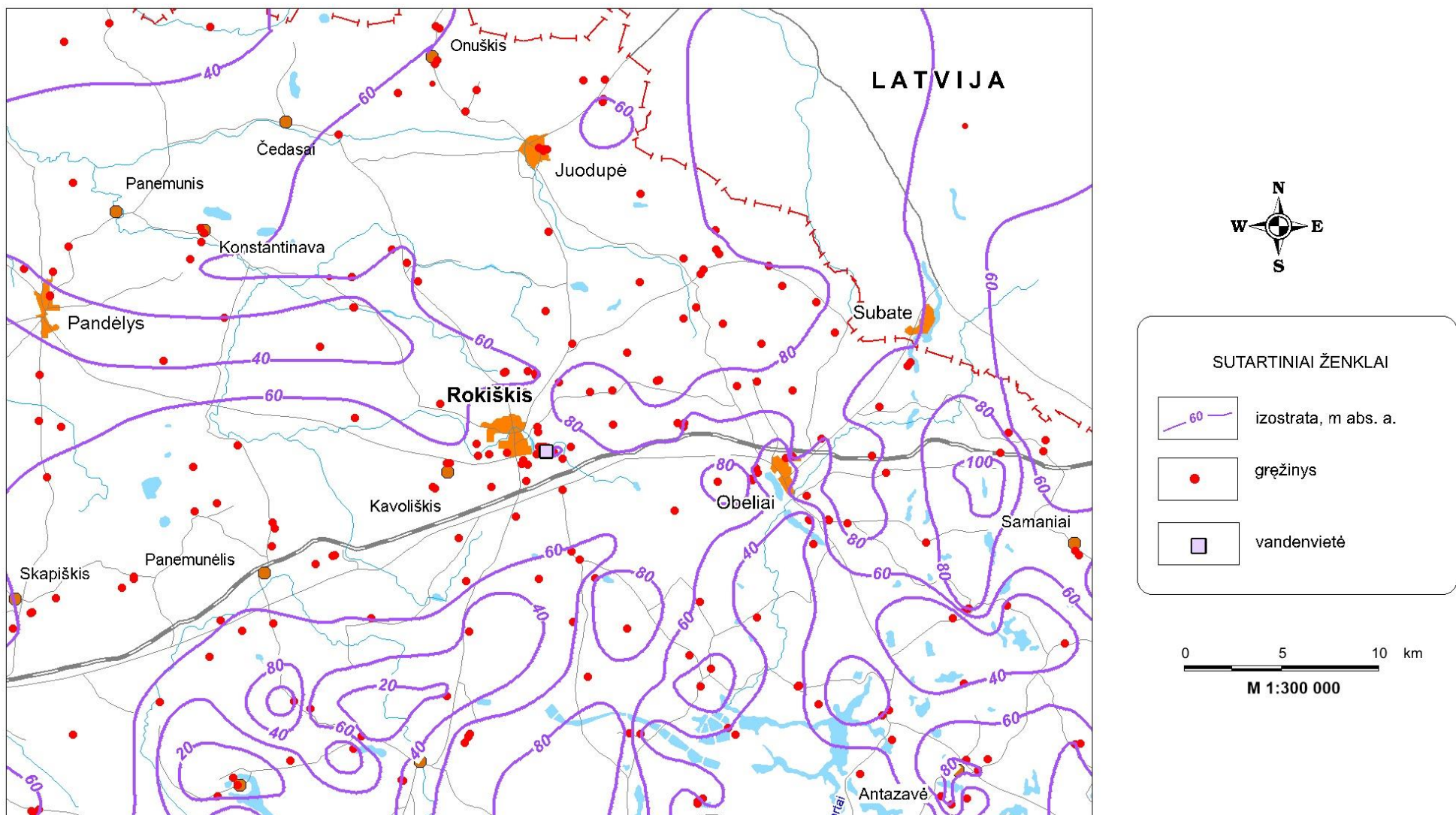


2.1 pav. Tyrimų rajono faktinės medžiagos schema

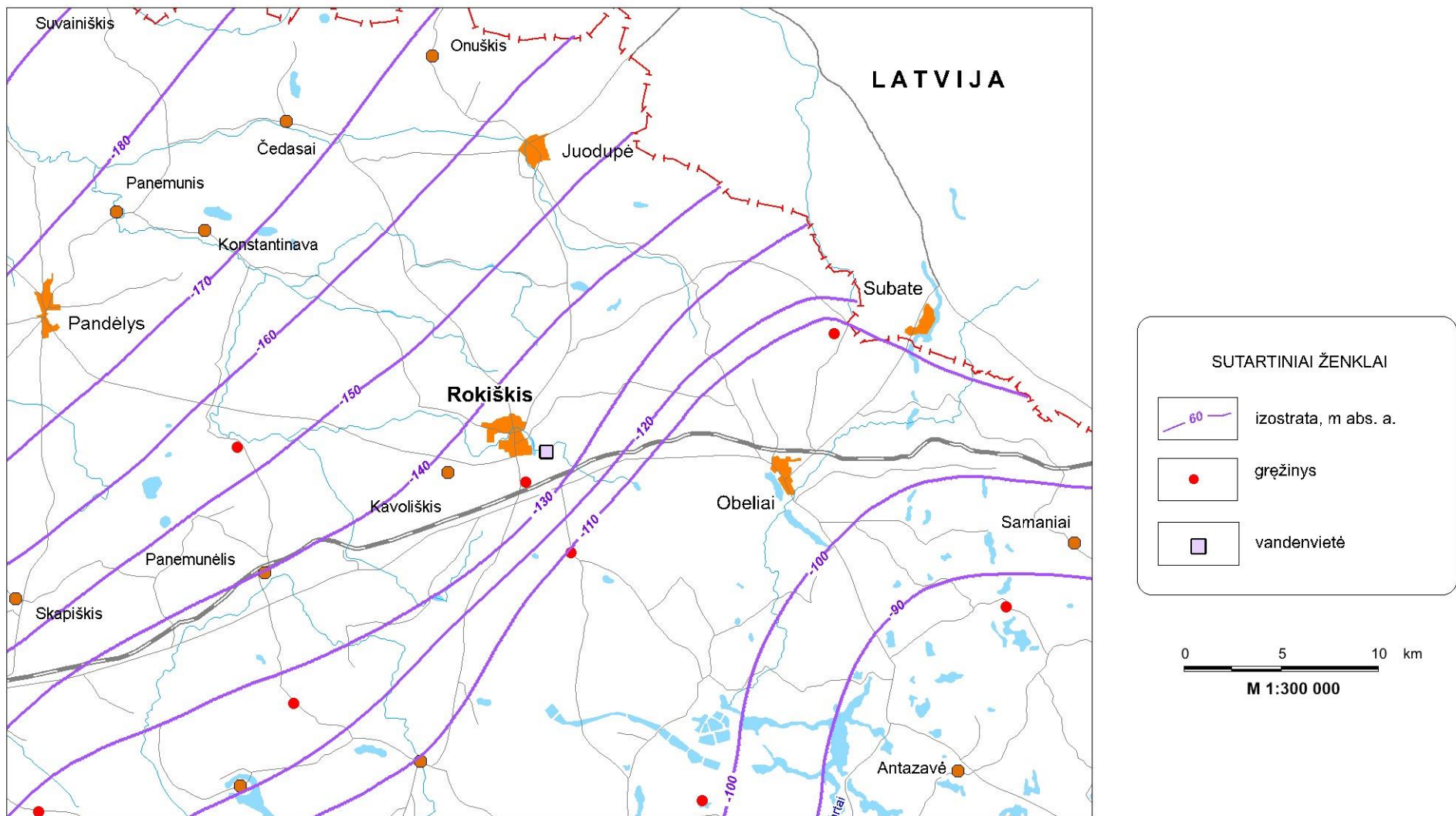
M Vertikālais 1:2000
 Horizontālais 1:300000



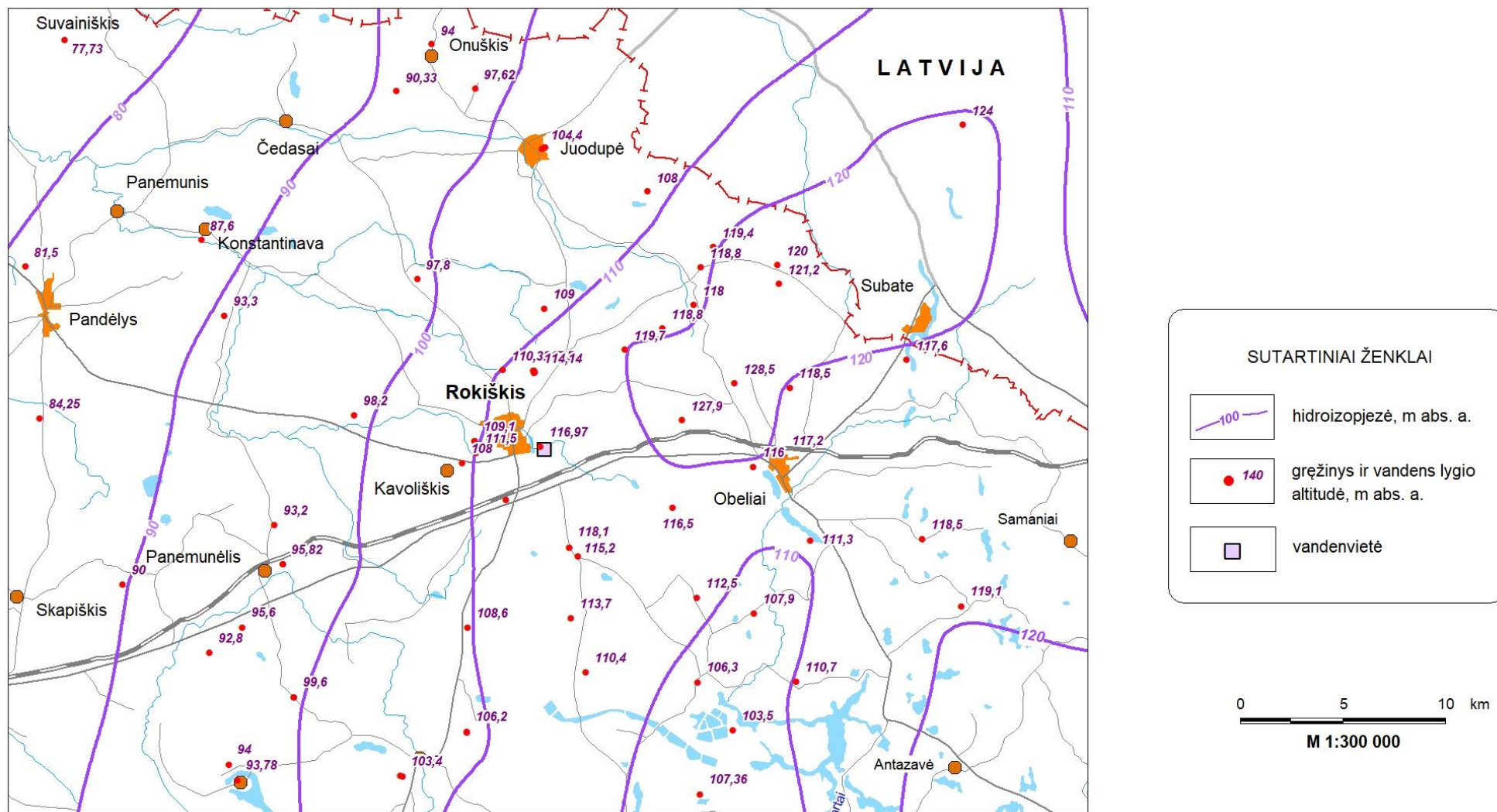
2.2 pav. Reģionālais ģeoloģiskais-hidroģeoloģiskais pjūvis



2.3 pav. Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso kraigo paviršius



2.4 pav. Narvos regioninės vandensparos kraigo paviršius (pagal Gregorauskas ir kt., 2008)



2.5 pav. Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso dabartinis pjezometrinis paviršius

3.TYRIMŲ METODIKA

Kaip minėta, Rokiškio vandenvietės apsaugos zona buvo nustatoma erdviniame filtraciniame ir pusiau analitiniame matematiniuose modeliuose, kurių sudarymui buvo apibendrinta gausi geologinių–hidrogeologinių tyrimų medžiaga bei panaudota šiuolaikinė programinė įranga.

Naudotos geologinės–hidrogeologinės informacijos šaltiniai. Nagrinėjamų klausimų sprendimui buvo naudojami šie informacijos šaltiniai:

- Lietuvos geologijos tarnybos fonde sukaupta Rokiškio miesto vandenvietės detalios žvalgybos ir požeminio vandens išteklių įvertinimo medžiaga (Bendoraitis, 1989).
- Kitų stambesnių rajono vandenviečių (AB „Rokiškio sūris, Juodupės, Pandėlio, Obelių, Panemunėlio, Ilzenbergo dvaro ir kt.) fondinė požeminio vandens išteklių įvertinimo medžiaga (Saulis ir kt., 2002; Daugėlaitė ir kt., 2017; Saulis, Tamulevičius, 2019; Bendoraitis, Gregorauskas, 2021 ir kt.).
- 2008 metais sudaryto viršutinio-vidurinio devono hidrogeologinės sistemos (VVD HGS) erdvinio regioninio matematinio modelio rezultatai ir duomenys (Gregorauskas ir kt., 2008).
- Požeminio vandens monitoringo vandenvietėse duomenys (Rokiškio..., 2022; 2024; Saulis, Viteika, 2017).
- 2010-2024 metais rajone į Šventosios-Upninkų kompleksą išgręžtų gręžinių pasų duomenys, esantys žemės gelmių registre (www.lgt.lt).

Visa ši informacija buvo panaudojama, sudarant ar tikslinant modeliui reikalingų kiekvieno sluoksnio bazinių geologinių–hidrogeologinių žemėlapių (vandeningųjų ir vandensparinių sluoksnių pado, kraigo ir storio; gruntinio vandens lygio ir spūdinių vandeningųjų sluoksnių pjezometrinio paviršiaus; vandeningų sluoksnių filtracijos ir vandens pratakumo koeficientų) komplektą, kurie vėliau buvo talpinami į modelį.

Matematinio modeliavimo metodika. Hidrogeologinių procesų matematinis modeliavimas remiasi diferencialinių lygčių sistema, aprašančia erdvinę (trimatę) požeminio vandens filtraciją ir taršos migraciją požeminėje hidrosferoje (Juodkasis ir kt., 2012). Erdviniuose modeliuose trimatę požeminio vandens filtracija izotropinėje aplinkoje bendru atveju aprašoma lygtimi (McDonald, Harbaugh, 1988; Harbaugh ir kt., 2000; Harbaugh, 2005):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial H}{\partial z} \right) - q = \mu \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (3.1)$$

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

Sudarant erdvinius požeminio vandens filtracijos matematinius modelius, visa modeliuojama požeminės hidrosferos storumė (vandeningieji ir vandeniui silpnai laidūs dariniai) yra suskaidoma į skaičiuojamuosius blokus tiek horizontalia, tiek vertikalia kryptimis. Gautame erdviniame skaičiuojamųjų blokų tinkle, kiekviename atskirame bloke uždavus reikalingus filtracinius parametrus ir pradines bei ribines sąlygas, yra sprendžiama aukščiau pateikta diferencialinė lygtis arba jų sistemos (Juodkasis ir kt., 2012).

Rajono požeminio vandens filtracijos matematinio modelio sudarymui panaudota Geomokslų instituto Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos katedros turima JAV Geologijos tarnybos licencinė programinė įranga MODFLOW2005, kuri požeminio vandens filtracijos diferencialinių lygčių

sistemą aproksimuoja baigtinių skirtumų metodu (Harbaugh, 2005). Jos valdymui, grafiniam vaizdavimui bei rezultatų analizei taikyta katedroje turima JAV kompanijos Environmental Simulations Inc. licencinė programinė sistema Groundwater Vistas Enterprise v6 (Rumbaugh ir Rumbaugh, 2011).

Atsižvelgdami į hidrogeologines sąlygas, pakankamai sudėtingą požeminio vandens srauto konfigūraciją bei siekdami rezultatų tikslumo ir patikimumo, šiame darbe panaudojome pusiau analitinius matematinius modelius.

Rokiškio iš netoliese esančios AB „Rokiškio sūris“ vandenviečių kaptazo sričių ir apsaugos zonų įvertinimui panaudotas pusiau analitinis AquiferWin32 migracinis modelis (Rumbaugh, 2011b). Jo pagrindą sudaro Theiso (3.2) bei Hantush'o ir Jacob'o (3.3) analitiniai sprendimai, aprašantys vandens lygių pažemėjimą neapribotame izoliuotame sluoksnyje ar vykstant vertikaliam pertekėjimui per santykinę vandensparą (Harbaugh, 2011b):

$$S = \frac{Q}{4\pi km} w(u), \quad (3.2)$$

$$S = \frac{Q}{4\pi km} w\left(u, \frac{r}{B}\right), \quad (3.3)$$

čia S – požeminio vandens lygio pažemėjimas, m; Q – debitas, m³/d; k – vandeningojo sluoksnio filtracijos koeficientas, m/d; m – vandeningojo sluoksnio storis, m; $w(u)$ – Theiso gręžinio funkcija; $w(u, r/B)$ – Hantusho gręžinio funkcija; r – atstumas, m; B – pertekėjimo faktorius.

$$B = \sqrt{\frac{kmm_0}{k_0}}, \quad (3.4)$$

čia m_0 – vandeningąjį sluoksnį dengiančių silpnai laidžių darinių storis, m; k_0 – šių darinių filtracijos koeficientas, m/d.

Sąveikaujančių gręžinių suminis lygio pažemėjimas įvertinamas superpozicijos principu.

Pusiau analitiniuose modeliuose modeliuojamas pjezometrinis paviršius gali būti horizontalus ar pakrypęs tam tikru kampu, kurį nusako srauto gradientas. Požeminio vandens lygis konkrečiame taške (x, y) laiko momentu (t) įvertinamas taip:

$$\phi(x, y, t) = C - G(x \cos \alpha + y \sin \alpha) - \sum_{j=1}^n S_j, \quad (3.5)$$

čia ϕ - požeminio vandens lygis, m; G – regioninis požeminio vandens srauto gradientas; α – kampas tarp regioninio srauto gradiento ir X ašies; S_j – gręžinyje j nustatytas lygio pažemėjimas; C – konstanta. Ji įvertinama taip:

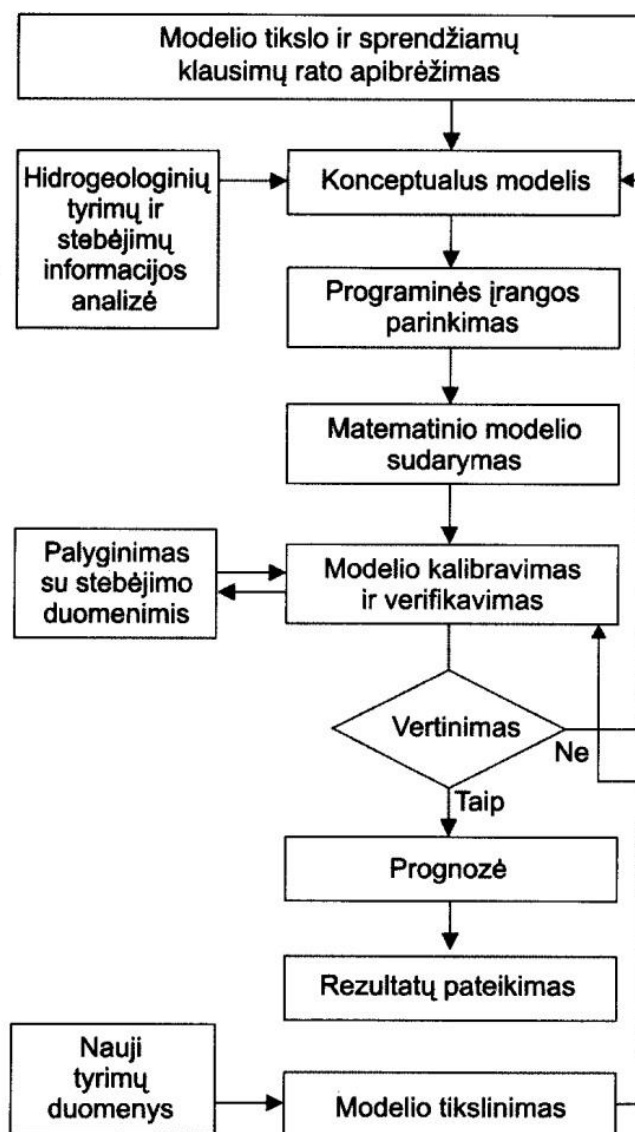
$$C = \phi_r + G(x_0 \cos \alpha + y_0 \sin \alpha), \quad (3.6)$$

Čia ϕ_r – požeminio vandens lygis atskaitos taške (*reference head*); x_0 ir y_0 – šio taško X ir Y koordinatės.

Pusiau analitiniame modelyje, uždavus požeminio vandens srauto kryptį bei gradientą, skaičiavimai atliekami tolygaus skaičiuojamojo tinklo, kuriuo padengiama modeliuojama teritorija,

blokuose. Gautame pjezometriniame paviršiuje analitiniais sprendimais yra įvertinamas elementarių vandens dalelių migracijos atstumas nuo gręžinių pagal požeminio vandens srauto tėkmės linijas ir apibrėžiama vandenvietės kaptazo sritis (Rumbaugh, 2011b).

Matematinis modeliavimas, kaip vandens filtracijos ir medžiagų migracijos vandeninguosiuose sluoksniuose imitacijos procesas, yra nuosekli konkrečių procedūrų seka (3.1 pav.) (Juodkasis ir kt., 2012):



3.1 pav. Matematinio modelio sudarymo procedūrų seka (Juodkasis ir kt., 2012)

- Modelio tikslo ir sprendžiamų klausimų rato apibrėžimas. Suformuojami modelio tikslai ir uždaviniai, t.y. apsisprendžiama į kokius klausimus modelis turi atsakyti.
- Turimos geologinės–hidrogeologinės informacijos analizė. Analizuojama modeliuojamos teritorijos visa turima geologinių–hidrogeologinių tyrimų medžiaga, požeminio vandens lygio ir kokybės kitimo stebėjimų duomenys, vandenviečių eksploatacijos režimas, įvairios paskirties regioniniai geologiniai, hidrogeologiniai, hidrocheminiai, litologiniai žemėlapiai, gręžinių išbandymo duomenys ir kt. Sudaromas modeliuojamos teritorijos bazinių

geologinių–hidrogeologinių, hidrocheminių žemėlapių, pjūvių, monitoringo informacijos komplektas.

- Išanalizavus apie modeliuojamą teritoriją sukauptus duomenis, sudaromas konceptualus modelis – suformuojama pažiūrų apie modeliuojamo objekto struktūrą ir jame vykstančius procesus visuma. Modeliuotojas suformuoja koncepciją, kaip jo manymu vyksta procesai, kuriuos reikės imituoti modelyje, kurie iš jų yra pirmacilės svarbos, ką reikės įskaityti, o ką ne.
- Programinės įrangos parinkimas – parenkama programinė įranga, galinti geriausiai realizuoti sudarytą konceptualų modelį.
- Matematinio modelio sudarymas:
 - ✓ Schematizuojamos modeliuojamos teritorijos hidrogeologinės sąlygos, t.y. gamtinė geologinė–hidrogeologinė situacija, kuri dažniausiai yra gana sudėtinga, supaprastinama ir privedama prie konceptualaus modelio lygmens. Vandeningieji ir mažai laidūs sluoksniai, atsižvelgiant į tarpusavio hidraulinio ryšio sąlygas, gali būti stambinami, t.y. apjungiami į kompleksus, arba atvirksčiai, atsižvelgiant į modelio tikslus, dalinami į smulkesnius struktūrinius vienetus.
 - ✓ Numatomas horizontalus ir vertikalus skaičiuojamųjų celių (blokų) tinklas, modeliuojamas procesas diskretizuojamas laike.
 - ✓ Numatomos pradinės ir ribinės sąlygos, jų tipas, realizavimo vietos modelyje
 - ✓ Sudaroma modeliuojamos teritorijos hidrogeologinių sąlygų filtracinė schema.
 - ✓ Filtracinė schema perkeliama į modeliavimo programinę įrangą, užduodamos filtracinių ir migracinių parametrų vertės.
- Modelio kalibravimas ir verifikavimas. Galima teigti, jog tai yra pagrindinis modeliavimo etapas. Kiekvienas hidrogeologinis modelis yra kalibruojamas, t.y. jame atkuriami gamtoje jau stebėta situacija – požeminio vandens lygio ar kokybės kitimas modeliuojamoje teritorijoje, dažnai apimantis kelių dešimtmečių laikotarpį, o gauti modelyje rezultatai lyginami su faktiniais stebėjimų duomenimis. Kalibravimo metu tikslinami vandeningųjų ir silpnai laidžių darinių filtraciniai ir migraciniai parametrai, siekiant gauti modeliavimo rezultatų ir faktinių stebėjimų sutapimą leistinos paklaidos ribose. Kai toks sutapimas pasiekiamas, sprendžiami įvairūs prognozės uždaviniai – pavyzdžiui, kas bus, jei modeliuojamos vandenvietės debitą padidinsime iki maksimaliai leistino ar įrengsime naują vandenvietę, kaip pasikeis požeminio vandens kokybė, jei atsiras nauji taršos židiniai ir panašiai. Jei kalibravimo metu gauti rezultatai prieštarauja stebėjimų duomenims, tada grįžtama atgal (žr. 3.1 pav.) ir kuriamas naujas konceptualus ir matematinis modelis. Tokia procedūra kartojama tol, kol gaunamas patenkinamas modeliųjų rezultatų ir faktinių stebėjimų sutapimas.
- Jeigu modeliuotoje teritorijoje vėliau yra atliekami nauji hidrogeologiniai tyrimai ir gaunami nauji duomenys, modelis gali būti tikslinamas. Nauja informacija patalpinama į modelį, vėl atliekamas jo kalibravimas, žiūrima, kaip gauti modeliniai rezultatai atitinka naujus faktinių stebėjimų duomenis. Jeigu nėra modeliųjų rezultatų ir faktinių stebėjimų sutapimo leistinos paklaidos ribose, tuomet vėl tikslinamas konceptualus modelis ir visa procedūra kartojama iš naujo (žr. 3.1 pav.). Taigi tam tikra prasme matematinis modelis yra pastoviai veikiantis, nes gali būti nuolat papildomas ir tikslinamas.

4. VANDENVIETĖS CHARAKTERISTIKA

4.1 Bendrieji duomenys ir geologinės sąlygos

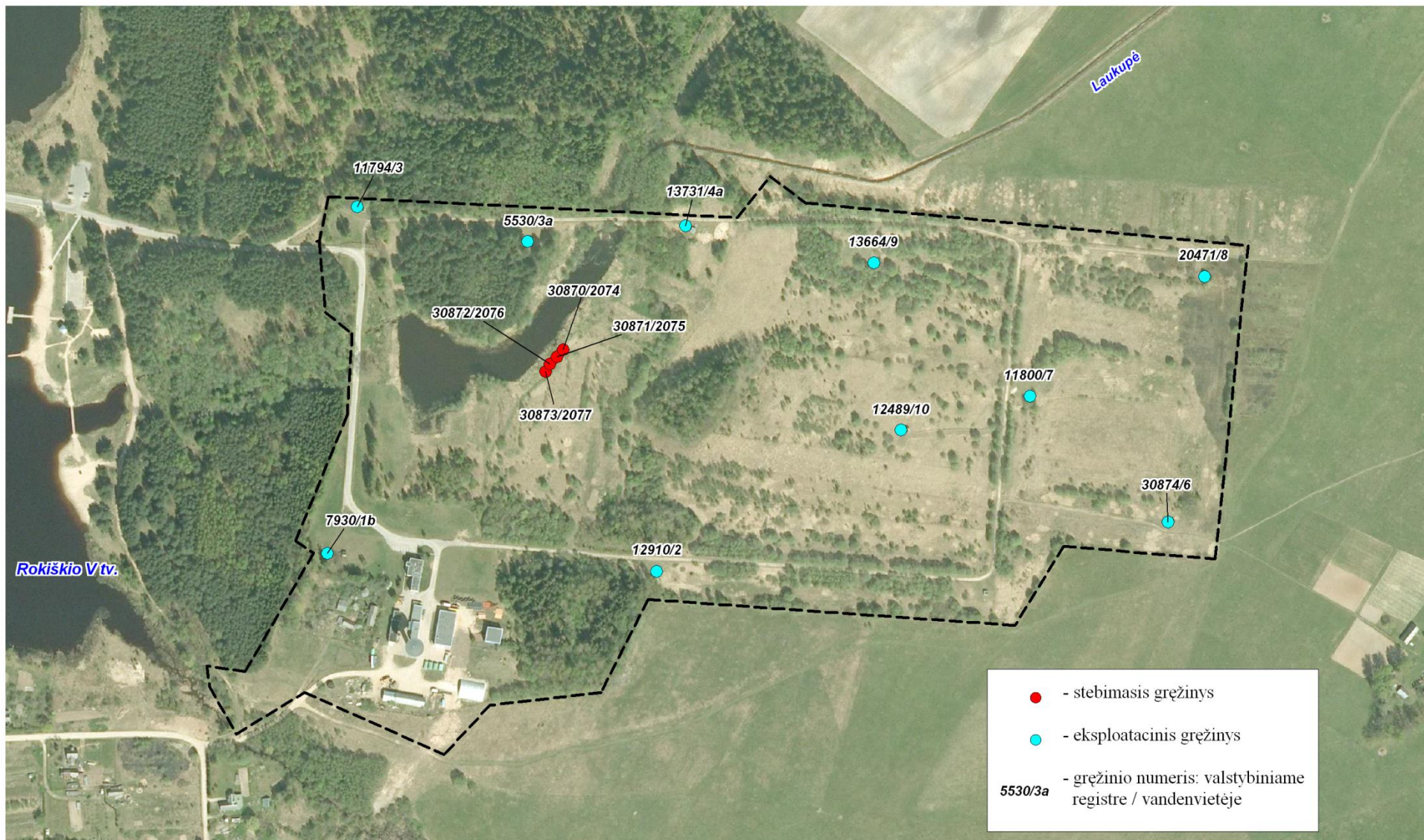
Rokiškio vandenvietė yra rytiniame Rokiškio miesto pakraštyje, Paluknės g-vėje (2.1, 4.1 pav.). Joje yra 10 gavybos gręžinių, kurių dauguma įrengti į Šventosios-Upninkų (D₃₋₂šv-up) vandeningojo komplekso vidurinių intervalą (4.1 lentelė). Be to, šioje vandenvietėje yra gan didelis stebimųjų gręžinių tinklas - 4 stebimieji gręžiniai, įrengti centrinėje vandenvietės dalyje ir naudojami 4 vandeningųjų sluoksnių vandens lygiams stebėti (4.1 lentelė).

4.1 lentelė. Rokiškio vandenvietės gavybos ir stebimieji gręžiniai

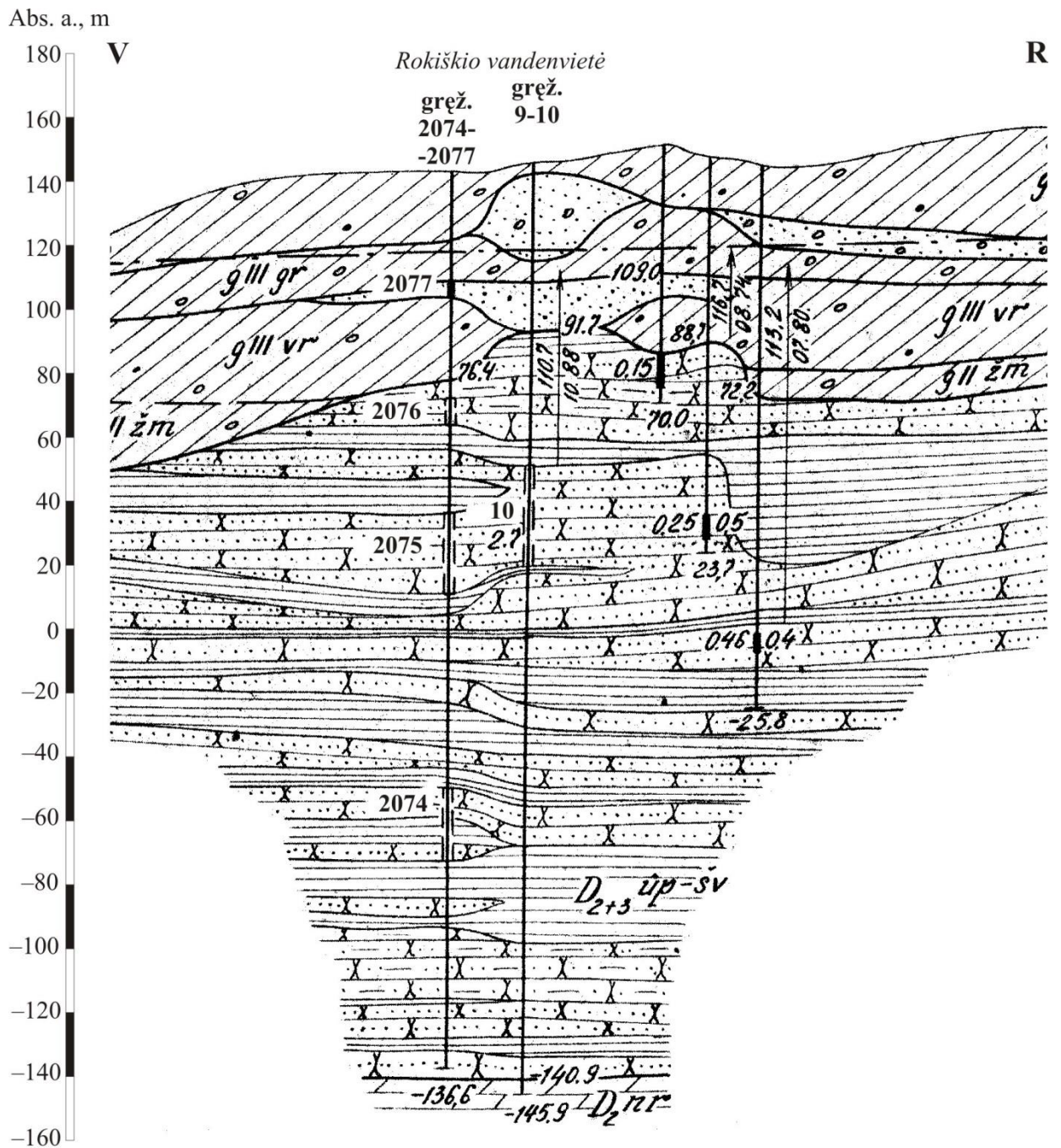
Gręžinio Nr.			Gręžinio koordinatės (LKS-94)		Gręžimo metai	Žiočių abs. a., m Gylis, m	Vand. sluoksnis eksploatuojamas intervalas nuo-iki, m
Valstybinio registro	Paso	Vandenvietėje	X	Y			
<i>Gavybos gręžiniai</i>							
7930	4647	1b	6203466	600311	1980	<u>144,04</u> 213	<u>D₃₋₂šv-up</u> 178-205
12910	949	2	6203450	600605	1964	<u>140</u> 175	<u>D₃₋₂šv-up</u> 110-167
11794	1197	3	6203775	600338	1966	<u>141,16</u> 150	<u>D₃₋₂šv-up</u> 118-138
5530	4452	3a	6203744	600490	1987	<u>141,14</u> 166	<u>D₃₋₂šv-up</u> 105-130
13731	3189	4a	6203758	600631	1978	<u>141,13</u> 157	<u>D₃₋₂šv-up</u> 112-146
11800	2992	7	6203608	600941	1977	<u>142,2</u> 168	<u>D₃₋₂šv-up</u> 115-135
13664	3043	9	6203725	600799	1977	<u>141,38</u> 159	<u>D₃₋₂šv-up</u> 110-150
30874	30874	6	6203494	601062	1988	<u>144,1</u> 126	<u>D₃₋₂šv-up</u> 94-126
20471	20471	8	6203713	601094	1993	<u>141,72</u> 170	<u>D₃₋₂šv-up</u> 126-155
12489	5099	10	6203576	600823	1990	<u>142,5</u> 147	<u>D₃₋₂šv-up</u> 117-132
<i>Stebimieji gręžiniai</i>							
30870	2074	2074	6203628	600506	1988	<u>140,41</u> 277	<u>D₃₋₂šv-up</u> 190-214
30871	2075	2075	6203628	600506	1988	<u>140,41</u> 130	<u>D₃₋₂šv-up</u> 105-130
30872	2076	2076	6203628	600506	1988	<u>140,41</u> 78	<u>D₃₋₂šv-up</u> 69-78
30873	2077	2077	6203628	600506	1988	<u>140,41</u> 48	<u>agl III-II gr-md</u> 33-38

Rokiškio vandenvietė yra detalai išžvalgyta, jos ištekliai (17 tūkst. m³/d) yra aprobuoti 1989 metais (Bendoraitis, 1989). Požeminio vandens monitoringas (su vandens lygio stebėjimais) šioje vandenvietėje yra vykdomas nuo 1988 m. Vandenvietės ir ją supančios aplinkos būklė gera. Vandenvietėje yra vykdoma vandenruoša.

Kai kurie papildomi duomenys apie vandenvietę pateikiami 4.2 lentelėje.



4.1 pav. Rokiškio vandenvietės schema (M 1:5000) (Rokiškio....., 2024)



4.2 pav. Geologinis-hidrogeologinis pjūvis per Rokiškio vandenvietę (Bendoraitis, 1989, Rokiškio..., 2024)

4.2 lentelė. Duomenys apie Rokiškio vandenvietę (pagal Rokiškio..., 2022;2024)

Charakteristikos	Duomenys
Vandenvietės centro koordinatės (LKS-94)	X=6203600; Y=600690
Vandenvietės kodas žemės gelmių registre	92
Produktyvusis vandeningasis sluoksnis	D ₃₋₂ šv-up
Eksploatacijos pradžia	1964 m.
Vidutinis 2023 m. išgauto vandens kiekis	2985 m ³ /d
Aprobuoti požeminio vandens eksploataciniai ištekliai	17 tūkst. m ³ /d: pagal kategorijas: A – 9,7 tūkst. m ³ /d; B- 7,3 tūkst. m ³ /d
Eksploatacinių gręžinių skaičius	10
Stebimųjų gręžinių skaičius	4
Gamtinė produktyviojo intervalo vandens lygio altitudė, m abs. a.	117,2÷117,5
Produktyviojo intervalo vandens lygio altitudė 2023 m., m abs. a.	112,84
Probleminiai vandens kokybės rodikliai	Geležis, manganas, amonis

Vandenvietėje yra eksploatuojamas 52-96 m gylyje slūgsantis Šventosios–Upninkų vandeningasis kompleksas. Kompleksą dengiančioje kvartero storumėje dominuoja silpnai vandeniui laidūs vidurinio-viršutinio pleistoceno (Žemaitijos, Dainavos, Grūdų, Baltijos) dariniai – moreniniai priemoliai ir priesmėliai (4.2 pav.). Vandeningi tarpmoreniniai dariniai (agl III-II gr-md) kvartero pjūvyje paplitę sporadiškai, yra nedidelio storio bei menkų filtracinių savybių, todėl vandens tiekimui netinkami.

Narvos regioninės vandensparos kraigas vandenvietėje slūgso 275 m gylyje, tad Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso storis vandenvietėje kinta nuo 179 iki 223 m, o jo efektyvus storis – nuo 120 iki 150 m (apie 67%). Šiuo metu veikiančiuose vandenvietės gręžiniuose yra eksploatuojama vidurinė ir viršutinė šio komplekso dalys, kur gręžinių filtrai yra įrengti 94–170 m gylio intervale. Tikrai vienas gręžinys (Nr. 7930) yra įrengtas į šio komplekso apatinės dalies intervalą, slūgsantį 178–205 m gylyje.

Vandenį talpina vidutingrūdis ir smulkiagrūdis silpnai sucementuotas smiltainis, apatinėje vandeningojo komplekso dalyje dažniau pasitaiko smulkiagrūdžiai smėliai ir smiltainiai, kurių molingumas didėjant gyliui didėja. Produktyvųjį vandeningąjį kompleksą nuo mineralizuoto (4-8 g/l) vandens prietakos iš apačios patikimai izoluoja regioninė 92-99 m storio Narvos svitos mergelių vandenspara.

4.2 Hidrogeologiniai parametrai

Produktyviojo Šventosios-Upninkų filtracinių parametrų patikslinimui panaudoti vandenvietės žvalgybos metu atliktų gręžinių hidrodinaminių išbandymų (išpumpavimų) duomenys. Šių bandymų metu vandenvietėje buvo atlikti dešimties žvalgybinių-eksploatacinių gręžinių vienos-aštuonių parų trukmės išpumpavimai, vėliau iki kelių parų buvo stebimas vandens lygio atsistatymas.

Hidrodinaminių išbandymų duomenys tuomet jie buvo apdoroti rankiniu būdu, naudojant grafoanalitinį pusiau logaritminių grafikų metodą. Jo esmė ta, kad yra sudaromas vandens lygio pažemėjimo (*S*) laike (*lgt*) grafikas, kuriame parenkama tokia vandens lygio pažemėjimų atkarpa, kad visi jos taškai kuo arčiau „gultųsi“ ant tiesės. Tuomet pagal galinius šios atkarpos taškus atitinkamomis formulėmis yra įvertinami sluoksnio filtraciniai parametrai – vandens pratakumo koeficientas *km* ir pjezolaidumo koeficientas *a*. Šių išbandymų rankinio apdorojimo rezultatai pateikti 4.3 pav. (Bendoraitis, 1989).

Пробные откачки из скважин 1, 2, 3, 5, 6, 7, 10

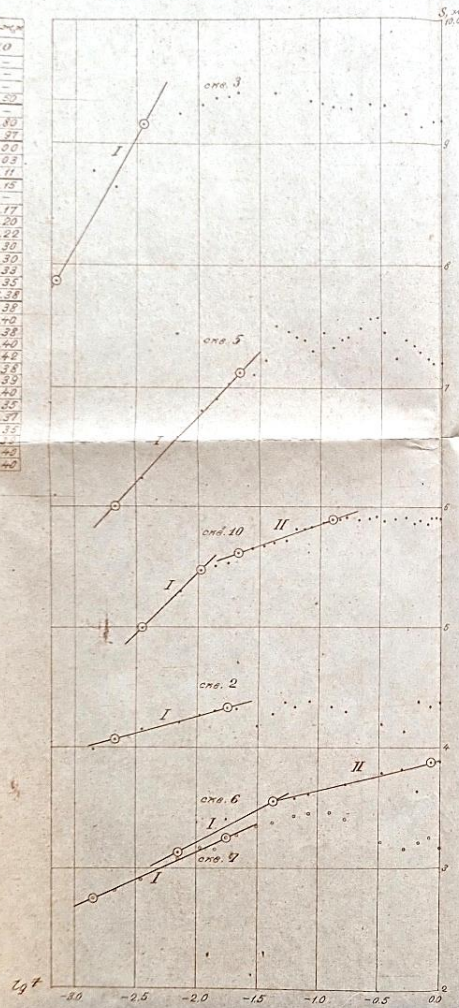
Понижение

№ скв.	г	сут	lg t	Понижение уровня воды в скважинах							
				1	2	3	5	6	7	10	
1	0.0167	0.00089	-3.16	-	7.86	-	-	-	-	-	-
2	0.0283	0.00121	-2.86	3.98	8.76	-	-	-	-	-	-
3	0.05	0.00201	-2.46	4.21	8.64	8.20	-	-	-	-	-
5	0.0833	0.00297	-2.46	4.15	8.28	6.28	-	-	-	-	-
6	0.117	0.00416	-2.31	-	-	-	6.31	-	-	-	-
10	0.167	0.00624	-2.16	4.21	8.24	6.58	3.71	3.84	-	-	2.80
15	0.225	0.00904	-1.98	4.21	8.30	6.81	-	-	3.77	2.97	-
20	0.283	0.0129	-1.86	4.20	8.37	7.00	-	-	-	3.16	3.00
25	0.347	0.0174	-1.76	4.23	8.37	7.22	3.21	3.26	-	-	3.03
30	0.4	0.0228	-1.68	4.22	8.41	7.42	-	-	-	3.27	3.11
40	0.567	0.0328	-1.56	-	-	-	-	-	-	-	3.18
45	0.725	0.0461	-1.51	4.18	-	-	3.43	3.36	-	-	-
50	0.833	0.0544	-1.46	-	-	-	3.21	-	-	-	-
60	1.0	0.0647	-1.38	4.28	8.40	7.50	3.26	3.38	-	-	3.20
75	1.25	0.0821	-1.28	4.37	-	-	-	-	-	-	3.22
90	1.5	0.0981	-1.20	4.33	-	-	3.58	3.47	-	-	3.23
105	1.75	0.113	-1.14	-	-	-	-	-	-	-	3.20
120	2.0	0.128	-1.08	4.38	8.33	7.53	3.62	3.46	-	-	3.23
150	2.5	0.164	-0.98	-	-	-	3.52	-	-	-	3.25
200	3.2	0.212	-0.90	4.41	8.23	7.72	-	-	-	-	3.28
250	4.0	0.263	-0.84	-	-	-	3.71	-	-	-	3.30
300	4.5	0.298	-0.81	-	-	-	-	-	-	-	3.30
400	5.67	0.377	-0.74	-	-	-	-	-	-	-	3.33
500	6.33	0.417	-0.72	-	-	-	-	-	-	-	3.33
600	7.25	0.461	-0.70	-	-	-	-	-	-	-	3.33
750	8.67	0.514	-0.67	-	-	-	-	-	-	-	3.35
900	10	0.567	-0.66	-	-	-	-	-	-	-	3.35
1041	12	0.633	-0.65	-	-	-	-	-	-	-	3.40

Расчетные формулы:

$$K_m = \frac{0.183 \cdot Q}{C}, C = \frac{S_2 - S_1}{lg t_2 - lg t_1}$$

Графики временного прослеживания понижения уровня воды



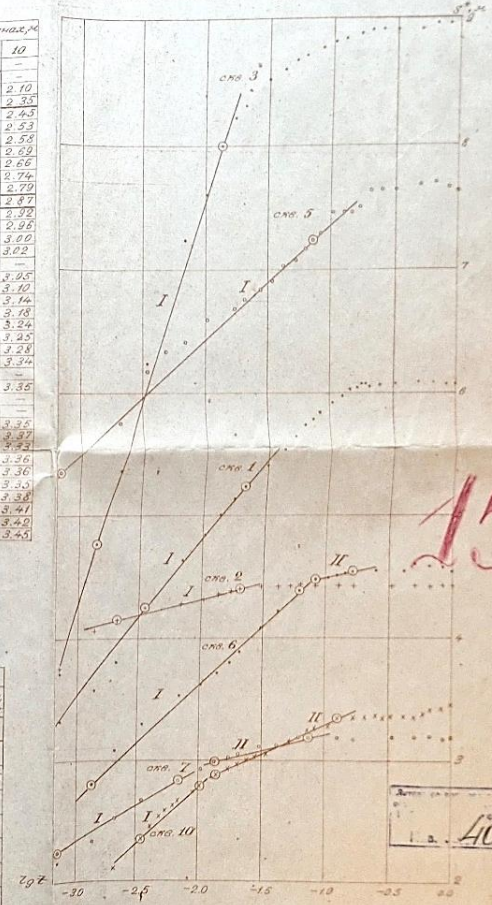
Восстановление

№ скв.	г	сут	lg t	Восстановление						
				1	2	3	5	6	7	10
1	0.0167	0.00089	-3.16	3.31	3.74	3.70	5.35	2.77	2.75	-
2	0.0283	0.00121	-2.86	3.45	4.05	3.76	-	-	2.80	2.34
3	0.05	0.00201	-2.46	3.80	4.14	4.56	5.15	3.08	2.53	2.10
5	0.0833	0.00297	-2.46	4.24	4.22	6.22	6.17	3.30	2.67	2.35
6	0.117	0.00416	-2.31	-	-	-	-	-	-	2.45
7	0.167	0.00624	-2.16	-	-	-	6.33	-	-	2.53
8	0.225	0.00904	-1.98	-	-	-	-	-	-	2.58
9	0.283	0.0129	-1.86	-	-	-	-	-	-	2.69
10	0.347	0.0174	-1.76	4.63	4.27	7.22	6.41	3.52	2.83	2.66
15	0.467	0.0254	-1.68	-	-	-	-	-	-	2.74
20	0.567	0.0328	-1.68	4.84	4.31	7.59	6.58	3.62	2.92	2.70
25	0.633	0.0377	-1.66	5.09	4.35	7.98	-	-	-	2.87
30	0.725	0.0461	-1.62	5.13	4.38	8.20	6.07	3.80	3.02	2.92
40	0.833	0.0544	-1.61	-	-	-	6.31	3.89	3.05	2.96
45	0.867	0.0574	-1.58	-	-	-	6.02	-	-	3.00
50	0.933	0.0617	-1.57	5.40	4.42	8.31	-	4.08	3.11	-
60	1.0	0.0671	-1.54	-	-	-	-	6.00	-	3.25
75	1.25	0.0821	-1.48	5.04	4.42	8.67	7.08	-	-	3.16
90	1.5	0.0981	-1.40	5.73	4.42	8.71	7.15	4.39	3.17	3.18
105	1.75	0.113	-1.34	5.78	-	-	7.28	-	-	3.24
120	2.0	0.128	-1.28	5.83	4.42	8.77	7.23	4.27	3.18	3.25
150	2.5	0.164	-1.20	5.94	-	-	7.29	-	-	3.28
200	3.2	0.212	-1.14	6.06	4.42	8.84	7.45	4.51	3.18	3.34
250	4.0	0.263	-1.08	6.07	-	-	7.46	4.53	-	-
300	4.5	0.298	-1.07	6.04	4.42	8.87	7.45	4.54	3.17	3.35
400	5.67	0.377	-1.05	6.06	-	-	-	-	-	3.38
500	6.33	0.417	-1.04	6.06	-	-	-	-	-	3.38
600	7.25	0.461	-1.03	6.05	-	-	8.91	7.63	-	3.35
750	8.67	0.514	-1.02	6.06	-	-	8.91	7.63	4.54	3.37
900	10	0.567	-1.01	6.07	4.41	8.91	7.63	4.54	3.15	3.36
1041	12	0.633	-1.00	6.07	4.41	8.91	7.67	4.60	3.16	3.35
1500	15	0.694	-0.99	6.07	4.41	8.98	7.68	4.59	3.19	3.41
2000	20	0.834	-0.98	6.06	4.42	8.95	7.68	4.56	3.19	3.40
2400	24	1.0	-0.97	6.06	4.42	8.93	7.63	4.54	3.18	3.45

Исходные данные и результаты расчетов

№ скв.	Q, м³/сут	Понижение					Восстановление						
		S ₁ , м	S ₂ , м	lg t ₁	lg t ₂	C	K _м , м/сут	S ₁ , м	S ₂ , м	lg t ₁	lg t ₂	C	K _м , м/сут
I отрезок													
1	640	-	-	-	-	-	4.24	5.23	-2.46	-1.68	1.27	0.2	-
2	320	4.07	4.33	-2.68	-1.76	0.28	2.09	4.14	4.40	-3.88	-1.80	0.6	2.25
3	524	7.86	9.15	-3.16	-2.46	1.84	5.2	4.76	7.98	-2.86	-1.60	3.0	3.0
5	540	6.00	7.12	-2.68	-1.62	1.12	8.8	5.35	7.23	-3.16	-1.14	0.95	1.06
6	785	3.17	3.56	-2.16	-1.38	0.5	2.87	2.80	4.38	-2.86	-1.20	0.95	1.51
7	720	2.75	3.26	-2.86	-1.76	0.46	2.86	2.25	2.83	-3.16	-2.16	0.58	2.27
10	1041	2.30	2.97	-2.46	-1.98	0.38	1.94	2.35	2.79	-2.46	-1.98	0.32	2.07
II отрезок													
6	785	3.36	3.87	-1.38	-0.80	0.24	3.99	4.47	4.54	-1.08	-0.78	0.23	0.25
10	1041	3.11	3.38	-1.68	-0.90	0.35	3.44	2.87	3.34	-1.86	-0.90	0.49	3.89
7	720	-	-	-	-	-	-	2.98	3.15	-1.86	-1.14	0.28	4.71

Графики временного прослеживания восстановления уровня воды



15

4018

Выполнено в лаборатории гидрогеологии и гидроинженерии Литовского гос. университета (1989) А. Бендорайтис

Примечание: Сводный лист исходных данных и результатов по различным пробным откачкам

Статья опубликована в журнале "Водные ресурсы" (1989) С. Русина

4.3 pav. Vandenvietės detalios žvalgybos metu atlikto gręžinių hidrodinaminio išbandymo duomenų rankinio apdorojimo rezultatai (Bendoraitis, 1989)

Gręžinių hidrodinaminių išbandymų rankinio apdoravimo metodo trūkumas yra tam tikras subjektyvumas, nes nėra aiškių kriterijų, kurią atkarpa geriausiai paimti – kiekvienam interpretatoriui gali atrodyti kitaip ir gautis skirtingi filtraciniai parametrai. Šiuolaikinėse metodikose tam naudojami statistiniai metodai – tiesė tarp pasirinktos atkarpos taškų pravedama mažiausių kvadratų metodu ir apie pasirinktos atkarpos tinkamumą sprendžiama pagal taškų nuokrypio vidutinę absoliutinę paklaidą (Rumbaugh, 2011b).

Šiame darbe, naudojant AquiferWin32 programinę įrangą, atliktas gręžinių hidrodinaminio išbandymo duomenų apdorojimas dviem variantais:

1) panaudojant tuos vandens lygio pažemėjimo ar jo atsistatymo taškus, kurie buvo naudojami rankiniame apdorajime, žvalgant vandenvietę;

2) parinkus atkarpas, kada yra mažiausias visų jos lygio pažemėjimo ar atsistatymo taškų nuokrypis nuo tiesės (mažiausia vidutinė absoliutinė paklaida).

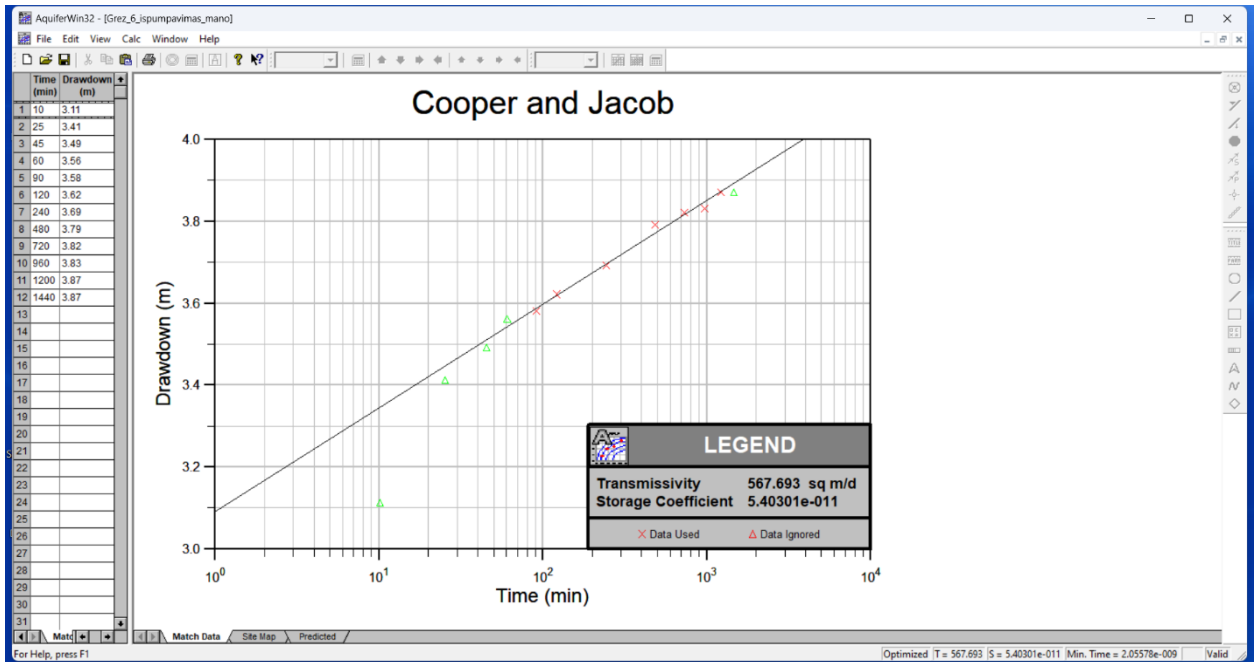
Hidrodinaminių išbandymų, kurie buvo naudoti filtracinių parametų patikslinimui, duomenys pateikti 4.3 lentelėje.

4.3 lentelė. Gręžinių hidrodinaminių išbandymų, naudotų Šventosios-Upninkų komplekso filtracinių parametų patikslinimui, duomenys

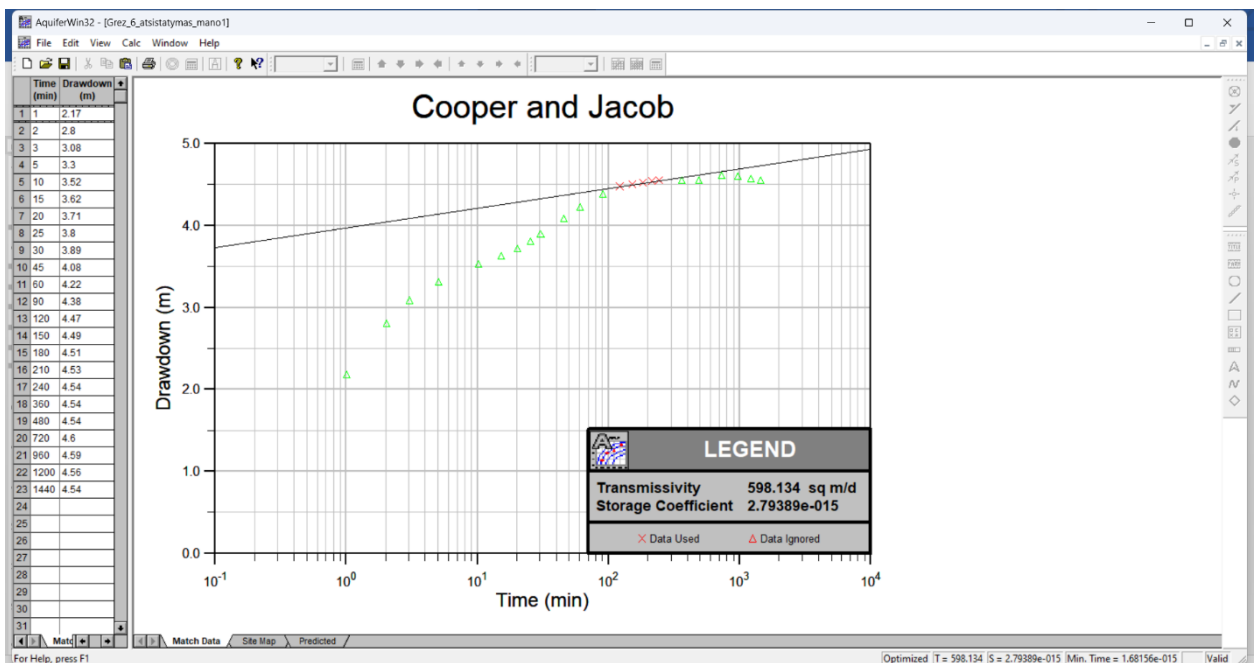
Eil. Nr.	Išpumpuojamo gręž. Nr.	Stebimojo gręž. Nr.	Išpumpavimo debitas, m ³ /d	Vandens lygio kaitos stadija	Atstumas iki stebimojo gręž., m	Trukmė, d
Bandomieji išpumpavimai						
1.	5	5	540	Pažemėjimas	-	1
2	6	6	785	Pažemėjimas	-	1
		6	-	Atsistatymas	-	1
3.	7	7	720	Pažemėjimas	-	1
		7	-	Atsistatymas	-	1
4.	10	10	1041	Pažemėjimas	-	1
		10	-	Atsistatymas	-	1
Tiriamasis išpumpavimas iš gręžinio Nr. 6						
5.	6	6	1920	Pažemėjimas	-	7
		2			32	
		7		Atsistatymas	585	7,1
		10			595	

Skaičiavimai atlikti vandens lygio pažemėjimo bei atsistatymo atvejams tiek nestacionarios, tiek kvazistacionarios filtracijos režimo metu. Pirmas yra būdingas išpumpavimo pradžioje ir apibūdina vandeningojo komplekso intervalo, į kurį įrengti išbandomų gręžinių filtrai, filtracinius parametrus. Kvazistacionarus režimas būdingas išpumpavimo pabaigai ir atspindi viso komplekso apibendrintas filtracines savybes.

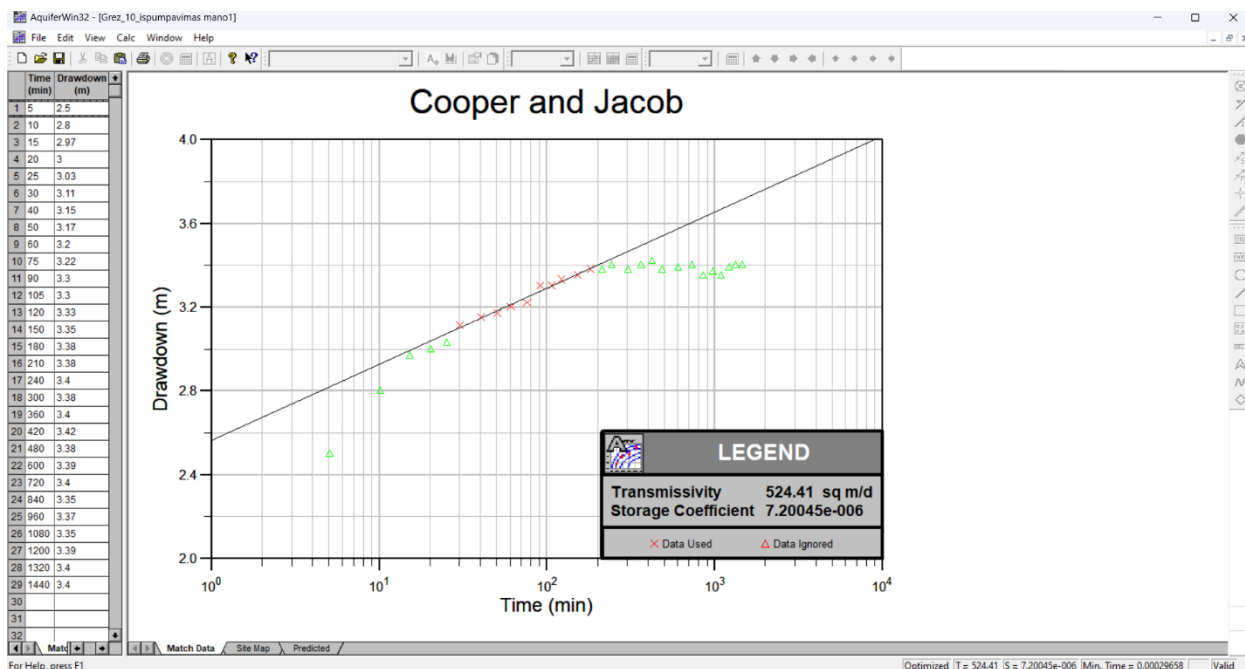
Skaičiavimų rezultatai pateikti 4.4-4.11 pav. ir 4.4 lentelėje. Jie rodo, kad Šventosios-Upninkų komplekso viršutinės dalies patikslintos vandens pratakumo koeficiento vertės yra apie 190-290 m²/d, apatinės – apie 90 m²/d, o vyraujantis apibendrintas viso komplekso vandens pratakumas – apie 520-540 m²/d. Jos yra artimos išteklių įvertinimo metu gautoms vertėms, kurios atitinkamai siekė 200-270 m²/d, 40-100 m²/d bei 500 m²/d, ir toliau buvo tikslinamos sudarytame rajono požeminės hidrosferos matematiname modelyje (žr. 5 darbo skyrių).



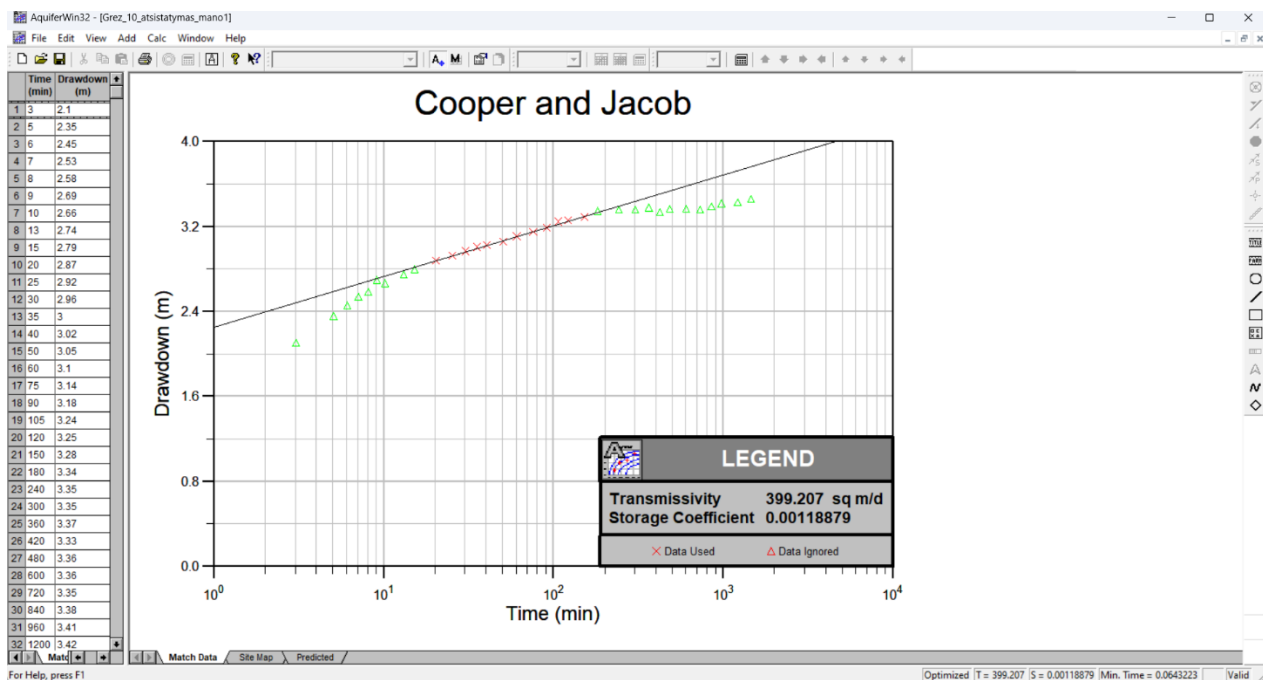
4.4 pav. Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso filtraciniai parametrai Rokiškio vandenvietėje, nustatyti pagal vandens lygio pažemėjimo duomenis kvazistacionarios filtracijos metu gręž. 6



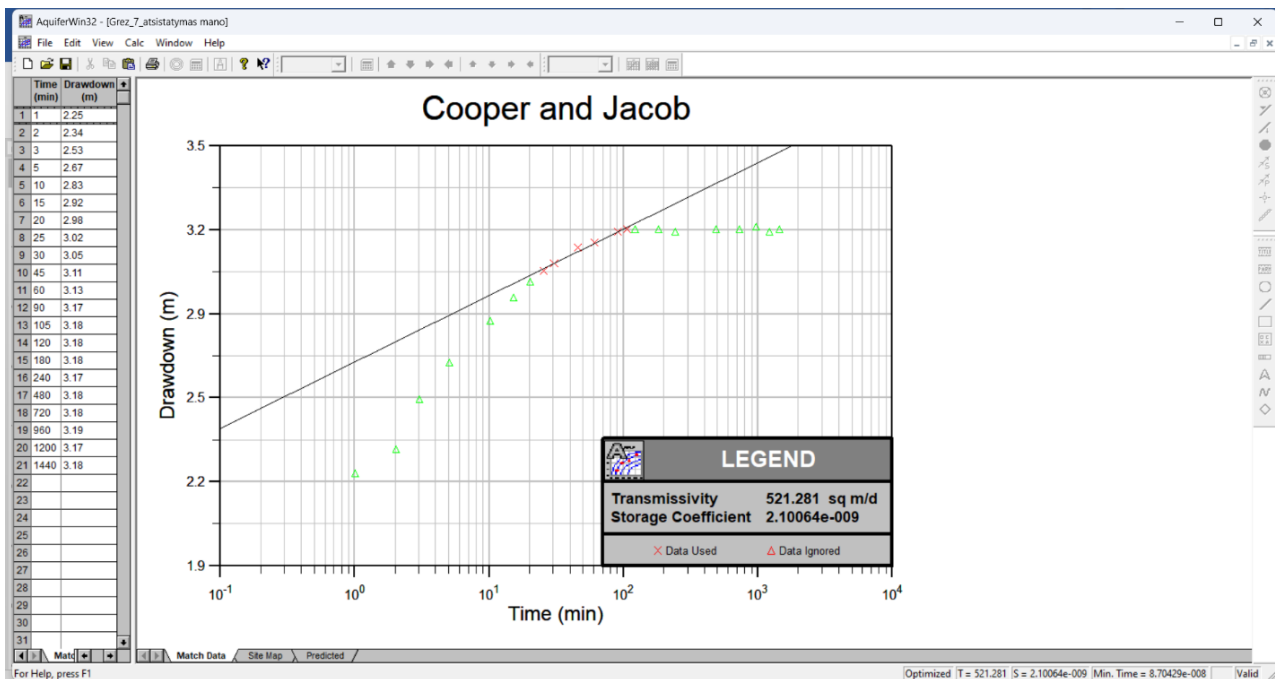
4.5 pav. Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso filtraciniai parametrai Rokiškio vandenvietėje, nustatyti pagal vandens lygio atsistatymo duomenis kvazistacionarios filtracijos metu gręž. 6



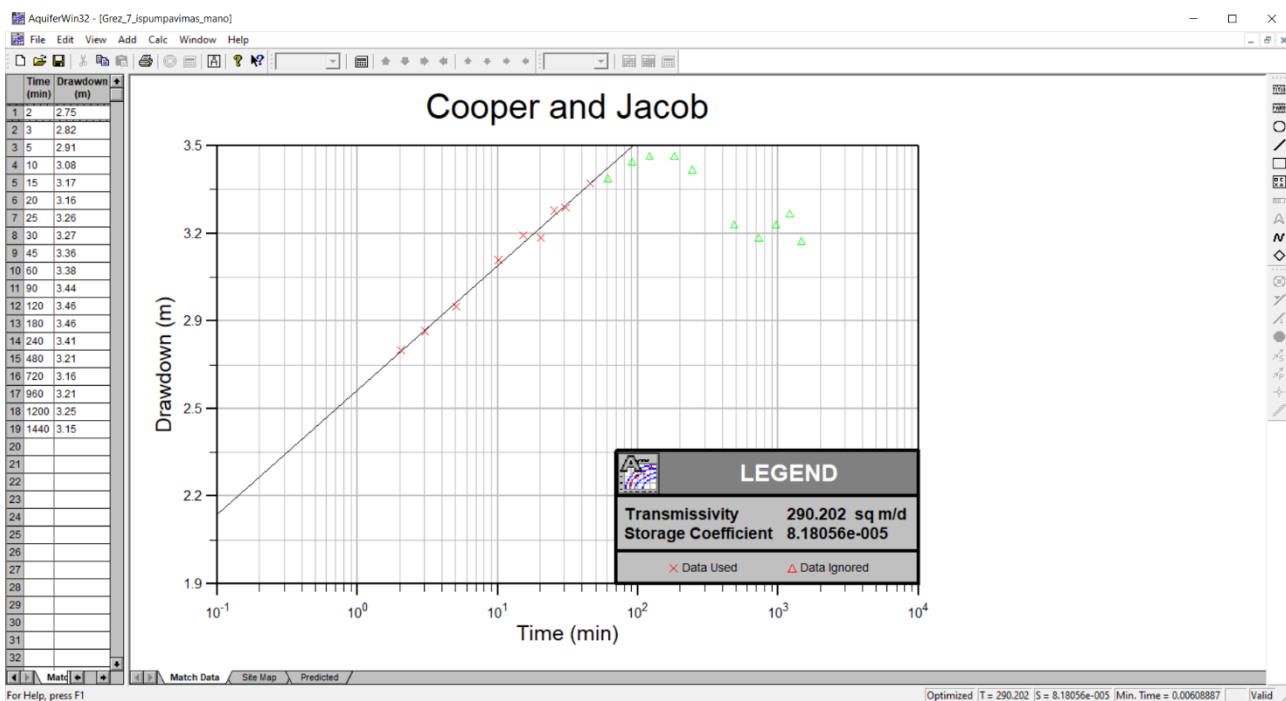
4.6 pav. Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso filtraciniai parametrai Rokiškio vandenvietėje, nustatyti pagal vandens lygio pažemėjimo duomenis kvazistacionarios filtracijos metu gręž. 10



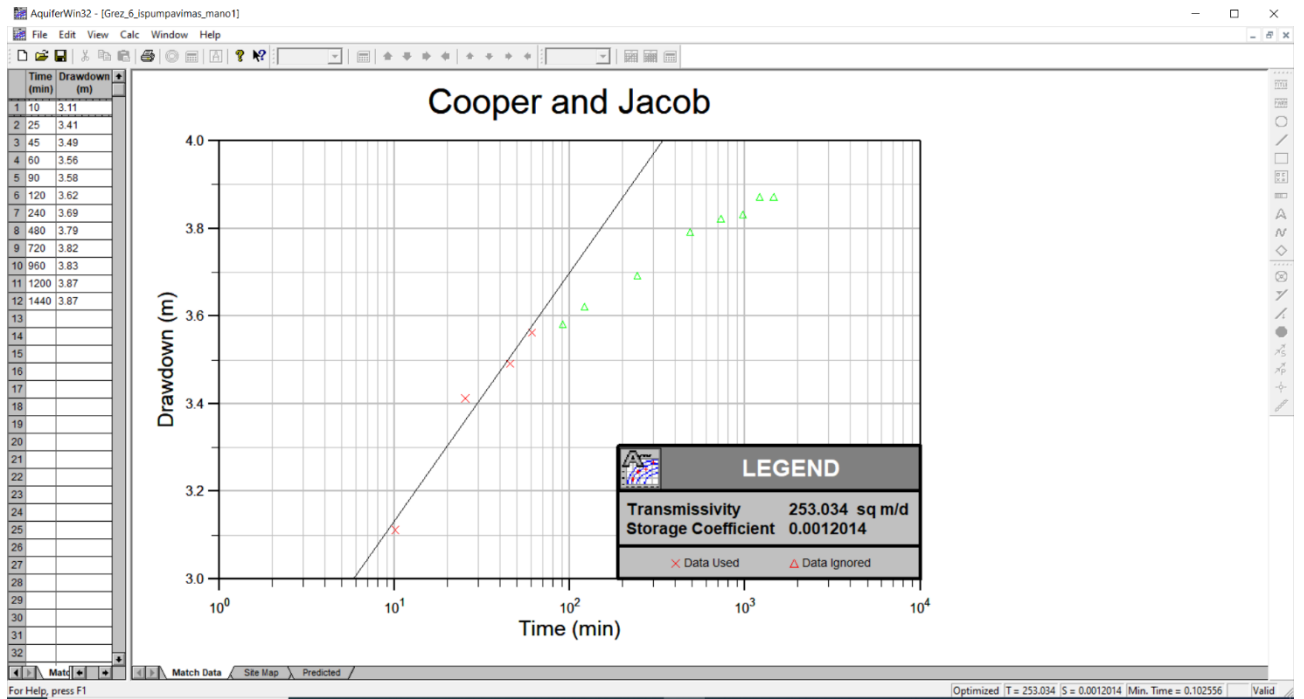
4.7 pav. Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso filtraciniai parametrai Rokiškio vandenvietėje, nustatyti pagal vandens lygio atsistatymo duomenis kvazistacionarios filtracijos metu gręž. 10



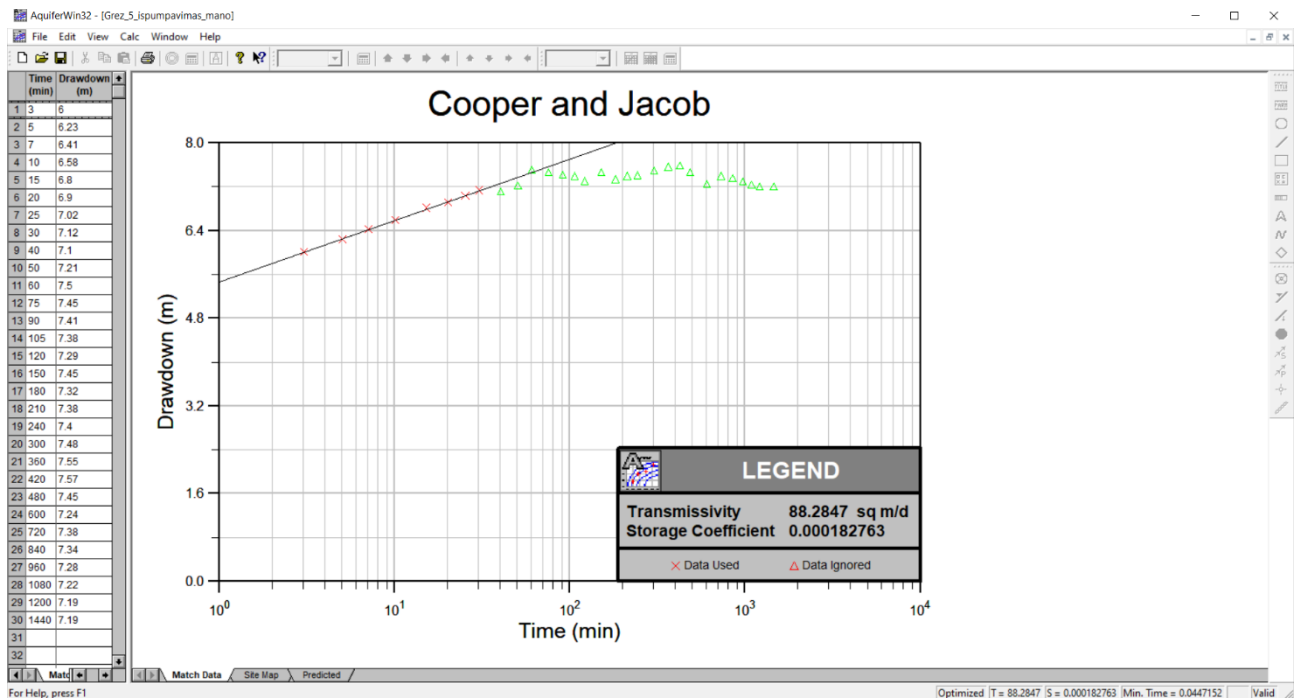
4.8 pav. Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso filtraciniai parametrai Rokiškio vandenvietėje, nustatyti pagal vandens lygio atsistatymo duomenis kvazistacionarios filtracijos metu gręž. 7



4.9 pav. Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso filtraciniai parametrai Rokiškio vandenvietėje, nustatyti pagal vandens lygio išpumpavimo duomenis nestacionarios filtracijos metu gręž. 7



4.10 pav. Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso filtraciniai parametrai Rokiškio vandenvietėje, nustatyti pagal vandens lygio pažemėjimo duomenis nestacionarios filtracijos metu gręž. 6



4.11 pav. Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso filtraciniai parametrai Rokiškio vandenvietėje, nustatyti pagal vandens lygio išpumpavimo duomenis nestacionarios filtracijos metu gręž. 5

4.4 lentelė. Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso filtracinių parametrų Rokiškio vandenvietėje, nustatytų pagal gręžinių hidrodinaminio išbandymo duomenis skirtingais metodais, palyginimas

Gręž. Nr.	Stadija	Filtracijos režimas	Rankinis apdorojimas		AquiferWin32 rezultatai pagal rankinio apdorojimo taškus			AquiferWin32 rezultatai pagal naujai parinktus taškus		
			S, m (nuo-iki)	KM, m ² /d	S, m (nuo-iki)	KM, m ² /d	Δ	S, m (nuo-iki)	KM, m ² /d	Δ
Bandomieji išpumpavimai										
5	Pažemėj.	Nestacionarus	6,0-7,12	88	6,0-7,12	88	0,009	6,0-7,12	88	0,009
6	Pažemėj.	Kvazistacionarus	3,56-3,87	599	3,56-3,87	585	0,0093	3,58-3,87	568	0,0078
	Atsistat.	Kvazistacionarus	4,49-4,54	625	4,49-4,54	572	0,0014	4,47-4,54	598	0,0017
	Pažemėj.	Nestacionarus	3,11-3,56	287	3,11-3,56	253	0,025	3,11-3,56	253	0,025
7	Atsistat.	Kvazistacionarus	2,98-3,18	471	2,98-3,18	484	0,0088	3,02-3,18	521	0,0063
	Pažemėj.	Nestacionarus	2,75-3,26	286	2,75-3,26	287	0,018	2,75-3,36	290	0,015
10	Pažemėj.	Kvazistacionarus	3,15-3,38	544	3,15-3,38	508	0,0108	3,11-3,38	524	0,0106
	Atsistat.	Kvazistacionarus	2,87-3,34	389	2,87-3,34	401	0,0011	2,92-3,28	417	0,0006
Tiriamasis išpumpavimas iš gręžinio Nr. 6										
6	Pažemėj.	Nestacionarus	7,36-8,68	208	7,36-8,68	197	0,035	7,36-8,72	193	0,032
		Kvazistacionarus	9,36-10,51	576	9,36-10,51	564	0,776	9,36-10,22	540	0,219
	Atsistat.	Kvazistacionarus	9,56-10,89	495	9,56-10,89	507	0,573	9,89-10,89	563	0,343
2	Pažemėj.	Nestacionarus	0,84-2,52	201	0,84-2,52	155	0,108	0,24-3,15	170	0,089
		Kvazistacionarus	3,59-5,09	517	3,59-5,09	554	0,627	4,36-6,05	532	0,531
	Atsistat.	Kvazistacionarus	3,94-5,29	488	3,94-5,29	507	0,573	3,62-5,6	528	0,285
7	Atsistat.	Kvazistacionarus	0,32-1,25	676	0,32-1,25	652	0,075	0,32-1,28	621	0,054
10	Pažemėj.	Kvazistacionarus	0,2-0,95	502	0,2-0,95	537	0,251	0,24-1,12	524	0,228

Pastaba: S – vandens lygio pažemėjimas; KM – vandens pratakumo koeficientas; Δ - vidutinė absoliutinė paklaida

4.3 Eksploatacija ir požeminio vandens lygis

Didžiausią debitą vandenvietė buvo pasiekusi 1991 metais, kai per parą vidutiniškai buvo išgaunama 7090 m³ vandens. Vėliau vandenvietės debitas nuosekliai mažėjo iki 2005 metų (apie 2750 m³/d), nuo 2006 iki 2014 metų ūgtelėjo iki 3970 m³/d, vėliau kiek sumažėjo, o pastaraisiais metais keletą metų stabilizavosi vidutiniškai 2800-3000 m³/d intervale (4.5 lentelė, 4.12 pav.). 2023 metais vandenvietėje buvo išgaunama 16-19% jos išteklių, siekiančių 17 tūkst. m³/d, kiekio.

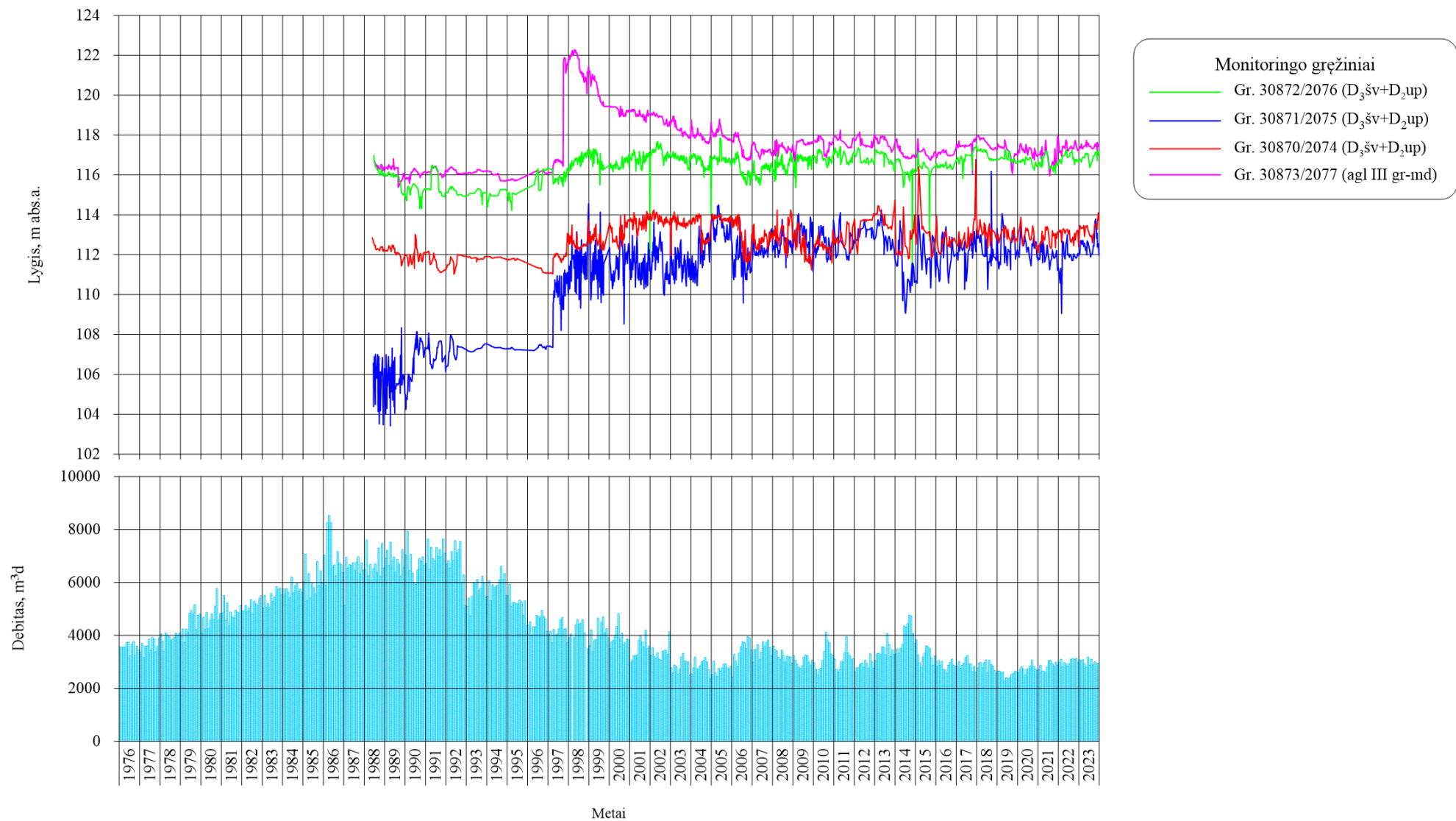
4.5 lentelė. Rokiškio vandenvietės debitas 2013-2023 m. (Rokiškio..., 2024)

Metai	Vidutinis mėnesinis debitas, m ³ /d												Vidutinis metinis debitas, m ³ /d
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2013	3046	3314	3325	3294	3574	3558	3269	4066	3654	3200	3457	3285	3420
2014	3290	3485	3325	3515	3666	4355	4312	4448	4764	4730	4072	3964	3971
2015	3830	3263	2963	2787	3186	3342	3608	3568	3495	3138	2865	3229	3273
2016	2638	3048	2874	3018	2716	2693	2567	2877	2977	3106	2871	2831	2868
2017	2841	3013	2749	2874	2952	3163	3245	2896	2934	2630	2821	2609	2894
2018	2764	2950	2971	2778	2963	3073	2589	3063	2900	2852	2673	2567	2845
2019	2653	2653	2586	2613	2269	2408	2376	2391	2519	2559	2645	2623	2524
2020	2590	2701	2823	2731	2513	2705	2743	2854	3060	2821	2730	2682	2746
2021	2699	2870	2646	2660	2592	2810	3049	3050	2930	2845	2985	2880	2835
2022	2988	3096	2820	2971	2931	2838	2925	3104	3121	3103	3135	2984	3001
2023	3074	3034	3085	2924	2793	3177	2872	3101	2888	2997	2927	2945	2985

Prieš vandenvietės eksploataciją, Šventosios-Upninkų komplekso vandens lygis joje nusistovėdavo ties 117.2-117,5 m abs. a. altitute. 2023 metais produktyviausios vidurinės komplekso dalies vandens lygis gręž. 30871/2075 vidutiniškai buvo stebimas ties 112,84 m abs. a., apatinės – (gręž. 30870/2074) 113,35 m abs. a., viršutinės (gręž. 30872/2076) – ties 116,78 m abs. a. altitudėmis (4.12 pav.), taigi dabartinis lygio pažemėjimas yra nedidelis ir siekia iki 4,7 m. Atskirų Šventosios-Upninkų komplekso dalių vandens lygių santykis rodo, kad požeminio vandens išteklius bei jų kokybę ir toliau formuoja viduriniąja komplekso dalimi tekantis požeminio vandens srautas bei jį papildanti vertikali srūva tiek iš apatinės, tiek iš viršutinės komplekso dalies bei aukščiau slūgsančių vandeningųjų darinių (Rokiškio....., 2024).

4.4 Požeminio vandens cheminė sudėtis ir kokybė

Rokiškio vandenvietėje yra išgaunamas vidutinės mineralizacijos ir kietumo kalcio magnio hidrokarbonatinis vanduo. 2023 metų monitoringo duomenimis vandenyje ištirpusių medžiagų koncentracija siekė 582-638 mg/l, savitasis elektros laidis (SEL) – 645-707 μScm^{-1} , bendrasis kietumas svyravo tarp 6,74-7,41 mg-ekv/l. Pagrindiniai katijonai yra kalcis (apie 97-100 mg/l) ir magnis (apie 24-30 mg/l), pagrindinis anijonas – hidrokarbonatas (452-464 mg/l). Požeminiame vandenyje palyginus nedaug chloridų ir sulfatų, tačiau yra gerokai padidintas bendrosios geležies (iki 3,423 mg/l) kiekis. Iš azoto junginių yra nemažai gamtinės kilmės amonio (iki 1,12 mg/l), nitratų ir nitritų nerasta (Rokiškio....., 2024).



4.12 pav. Požeminio vandens lygis ir debito kaita Rokiškio vandenvietėje (Rokiškio....., 2024)

Paskutiniųjų penkerių metų tyrimais nustatytų pagrindinių indikatorių bei kai kurių toksinių vandens kokybės rodiklių koncentracijos 4.6 lentelėje yra palyginamos su geriamojo vandens higienos normos HN 24:2023 reikalavimais.

4.6 lentelė. Požeminio vandens cheminės sudėties rodiklių vertės 2019-2023 metais Rokiškio vandenvietėje (Rokiškio....., 2024)

Rodiklis	Mato vienetas	Analitės vertė 2019/2020/2021/2022/2023 metais, nuo-iki		SRV ir RRV (HN 24:2023)
		Gavybos gręžinių vanduo	Vandens mišinys prieš vandenruošą	
<i>Indikatoriniai ir kiti rodikliai</i>				
BIMK*	mg/l	593-626/545-636/592-600/564-611/582-608	606/600/619/603/638	
SEL*	µScm ⁻¹	510-699/610-764/614-664/645-815	520-689/662-724/648-666/661-737/687-707	2500
pH		7,1-7,9/7,11-8,14/6,95-7,63/7,12-7,6/7,14-7,31	7,12-7,43/7,12-7,55/7,09-7,8/7,24-7,43/7,26-7,57	6,5 – 9,5
Temperatūra	C ⁰	7,8-8,3/7,9-8,3/7,8-8,4/8,1-8,4/7,7-8,1	7,4-7,8/8,1-8,2/7,5-8,3/8-8,6/7,6-8,1	-
BK*	mg-ekv/l	7,14-8,2/7,51-7,62/7,19-7,45/6,92-7,53/6,74-7,26	7,4/7,72/7,54/7,42/7,41	
PI*	mg/l O ₂	2,62-2,77/2,41-3,69/1,38-2,04/0,94-2,04/2,04-3,61	3,85/2,46/1,73/1,57/2,04	5,0
BI*	mg/l O ₂	6,2-7,4/6,1/2,8/3,2-3,6/4,8-9,5	5,6/4,1/8,1/7,2/5	-
Cl ⁻	mg/l	1,96-7,54/1,4-41,04/3,84-7,2/9,62-33,28/2,51-5	8,28/19,85/7,34/8,2/23,14	250
SO ₄ ²⁻	mg/l	2,03-5,54/2,6-18,85/4,09-9,14/6,23-15,58/<1-5	5,58/12,05/5,32/4,88/9,4	250
HCO ₃ ⁻	mg/l	444-463/336-483/442-449/414-417/452-462	451/419/464/449/464	-
Na ⁺	mg/l	7,64-8,13/6,8-13,06/5,49-6,25/6,17-12,49/5,25-5,82	8,06/9,11/6,21/6,53/8,38	200
K ⁺	mg/l	2,11-2,64/1,52-2,2/1,41-1,71/1,29-1,36/1,64-2,21	2,21/1,62/1,66/1,52/1,76	
Ca ²⁺	mg/l	97,62-118,6/105-105,6/99,99-105,5/97,56-105,3/95,77-96,56	102,6/108,4/106,7/105,1/99,92	-
Mg ²⁺	mg/l	27,55-27,71/27,6-28,51/26,52-26,78/24,88-27,62/23,81-29,7	27,72/28,1/26,93/26,41/29,47	-
Fe, bendra	µg/l	2335-3662/2043-3080/2715-3050/2809-2875/3148-3221	3777/3242/1724/2682/3423	200
NH ₄ ⁺	mg/l	<0,02-0,755/<0,02-1,48/0,372-1,387/0,417-0,815/0,867-1,12	0,604/<0,02/0,8/0,836/0,597	0,5
Mn	µg/l	68-92/70-100/51-76/44-100/48-65	72/210/35/72/61	50
Al	µg/l	46/-/-/-	-/-/-190/-	200
Ba	mg/l	-/-1,0/-/0,56	-/-/0,39/-/-	0,7**
<i>Toksiniai rodikliai</i>				
Nitratas	mg/l	<1/<0,1-<1/<1/<1/<1	<1/1,811/<1/<1/<1	50
Nitritas	mg/l	<0,2-2,277/<0,05-<0,2/<0,2/<0,2-0,302/<0,2	<0,2/<0,2/<0,2/<0,2/<0,2	0,5
Švinas	µg/l	-/-/-/-	-/<1/-/-/<1	25
Kadmis	µg/l	-/-/-/-	-/<0,3/-/-/<0,3	5,0
Nikelis	µg/l	-/-/-/-	-/<2/-/-/<2	20
Chromas	µg/l	-/-/-/-	-/<2/-/-/1	50
Varis	µg/l	<1/-/-/-	-/-/-<1	2000
Arsenas	µg/l	<1/-/-/-	-/-/-<1	10
Selenas	µg/l	-/-/-/-	-/-/<1/-	10
Gyvsidabris	µg/l	-/-/-/-	-/<0,1/-/-	1,0
Stibis	µg/l	-/-/-/-	-/-/<1/-	5
Boras	mg/l	-/-0,61/-/-	-/-/-	1,5
Fluoridas	mg/l	-/-0,57/-/-	-/-/-	1,5

Pastaba: SRV, RRV - specifikuota ar ribinė rodiklio vertė pagal HN 24:2023; **patamsinta ir pajuodinta** – analitės vertė viršija HN 24:2023 nurodytą analitės sertifikuotą vertę (SRV); **pajuodinta** - padidėjusi analitės vertė; PI* - permanganato indeksas; BI* - bichromato indeksas; BIMK* - bendras ištirpusių medžiagų kiekis; SEL* - savitasis elektros laidis; ** - pagal Pasaulinės sveikatos organizacijos rekomendacijas; *italic* – ne itin patikima vertė.

Lentelėje matyti, jog Rokiškio vandenvietės gręžiniuose ir mišinyje prieš vandenruošą yra trys gamtinės kilmės probleminiai indikatoriniai vandens kokybės rodikliai – bendroji geležis ($\text{Fe}_{\text{bendr.}}$ 2023 m. 3,148-3,423 mg/l; specifikuota rodiklio vertė (SRV) $<0,2$ mg/l), jos geocheminis palydovas manganas (2023 m. Mn^{2+} 48-65 $\mu\text{g/l}$; SRV <50 $\mu\text{g/l}$) bei amonis (2023 m. NH_4^+ iki 1,12 mg/l; SRV $<0,5$ mg/l). Jų padidėjusios ir SRV viršijančios koncentracijos yra natūralios, gamtinės kilmės, daugeliu atveju nulemtos regioninių procesų, vykstančių požeminėje hidrosferoje (Klimas, 2003).

Tirtų toksinių analizių vertės visada buvo ir yra gerokai mažesnės už leistinas (Rokiškio..., 2024).

5. MATEMATINIO MODELIAVIMO REZULTATAI

5.1 Filtracinis modelis ir požeminio vandens gamtiniai resursai

5.1.1 Modelio filtracinė schema ir ribinės sąlygos

Tyrimų rajono regioninio požeminio vandens filtracijos modelio sudarymui panaudotas 2008 metais LGT ir geologinių įmonių konsorciumo vykdyto projekto „Požeminio vandens išteklių įvertinimas Lietuvoje“ metu sudaryto viršutinio-vidurinio paleozojaus hidrogeologinės sistemos (VVP HGS), jungiančios Šventosios-Upninkų, Kupiškio-Suosos bei Įstro-Tatulos vandeninguosius sluoksnius, matematinio modelio fragmentas, apimantis ir tyrimų rajoną (Gregorauskas ir kt., 2008). Panaudojus nuo 2008 metų išgręžtų naujų gręžinių geologinę-hidrogeologinę informaciją (vandeningų ir silpnai laidžių sluoksnių storiai, jų kraigo-pado altitudės, vandens lygiai, filtracinės savybės), šis fragmentas buvo papildytas ir patikslintas bei iš naujo atliktas jo kalibravimas.

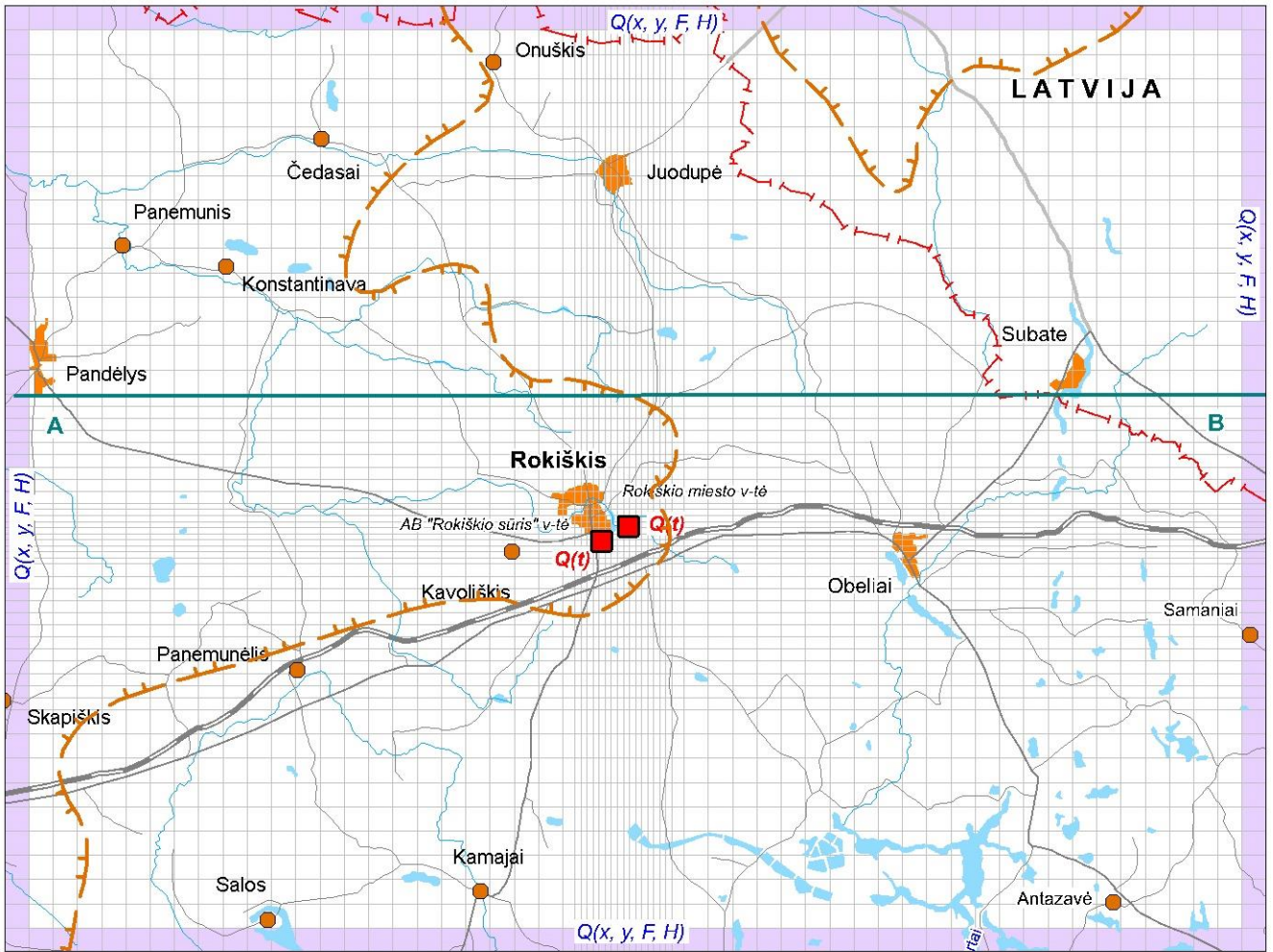
Regioninio požeminio vandens filtracijos modelio schemoje vertikaliame pjūvyje išskirti 3 vandeningi ir 2 vandeniui silpnai laidūs sluoksniai (5.1 lentelė).

5.1 lentelė. Požeminės hidrosferos erdvinio matematinio modelio struktūra

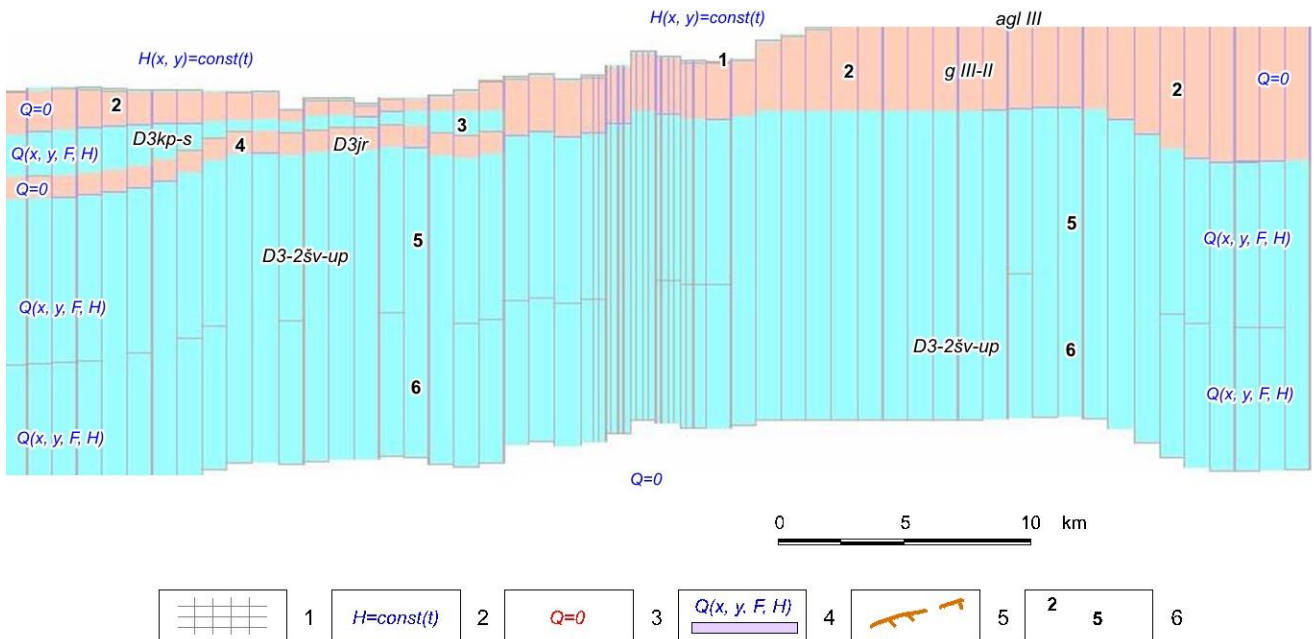
Modelio sluoksnio Nr.	Charakteristika	Hidrogeologinis indeksas	Vandeningumas
1	Gruntinis vandeningasis sluoksnis	agl III	
2	Dariniai, skiriantys gruntinį vandeningąjį sluoksnį nuo žemiau slūgsančių Kupiškio-Suosos ir Šventosios-Upninkų vandeningųjų sluoksnių	g III-II	
3	Kupiškio-Suosos vandeningasis sluoksnis	D _{3kp-s}	
4	Jaros vandenspara, skirianti Kupiškio-Suosos ir Šventosios-Upninkų vandeninguosius sluoksnius	D _{3jr}	
5	Šventosios-Upninkų vandeningasis sluoksnis	D _{3-2šv-up}	
6			
	Narvos regioninė vandenspara	D _{2nr}	

	- vandeningasis sluoksnis
	- vandeniui silpnai laidūs dariniai
	- regioninė vandenspara

Modelyje Šventosios-Upninkų vandeningasis kompleksas yra padalintas į dvi dalis – viršutinę ir apatinę (5.1 lentelė). Viršutinė dalis apima šio komplekso intervalą nuo kraigo (vidutiniškai 60 m gylio) iki 170 m gylio, joje skirtinguose gyliuose yra įrengti 9 vandenvietės gręžinių filtrai (žr. 4.2 lentelė). Šios dalies efektyvus storis – 75 m. Apatinė dalis apima šio komplekso intervalą nuo 180 m gylio iki komplekso pado (275 m gylio), joje yra vienintelis vandenvietės gręžinys Nr. 7930 (žr. 4.2 lentelė). Šios dalies efektyvus storis – 65 m.



Pjūvis A-B



5.1 pav. Modeliuotos teritorijos hidrogeologinių sąlygų filtracinė schema plane ir pjūvyje
 1 – skaičiuojamųjų blokų tinklas; 2-4 ribinės sąlygos: 2 - I-o tipo, 3 – II tipo, 4 – III tipo; 5 – Kupiškio-Suosos sluoksnio išsipleišėjimo riba; 6 – sluoksnio Nr. modelyje

Modelyje buvo įskaitytos tik dvi stambiausios tyrimų rajono vandenvietės – Rokiškio miesto ir AB „Rokiškio sūris“, nes kitos yra nedidelės ir nedaro praktiškai jokios įtakos vandeningų sluoksnių pjezometriniais paviršiams.

Modeliuota teritorija yra suskaidyta į skaičiuojamuosius blokus kas 1000 m, ties modeliuotomis vandenvietėmis jis sutankintas iki 250 m (5.1 pav.). Vandeninguosiuose sluoksniuose buvo modeliuojama tiek horizontali, tiek vertikali filtracija, o juos dengiančiuose silpnai laidžiuose dariniuose - tik vertikali. Vandengraža buvo įskaitoma tik produktyviajame Šventosios-Upninkų vandeningajame komplekse.

Šventosios-Upninkų ir Kupiškio-Suosos vandeningųjų sluoksnių planinėse ribose per filtracinę varžą buvo užduotas į modeliuojamą teritoriją atitekantis ar iš jos nutekantis požeminio vandens srautas, gautas iš VVP HGS regioninio modelio, t.y. III-io tipo (Koši) ribinė sąlyga $Q(x, y, F, \Delta H)$ arba vadinamoji "general head boundary condition" (Rumbaugh, 2011a) (5.1 pav.). Šiuo atveju filtracinė varža F įvertinama pagal formulę:

$$F = K \cdot M \cdot S / L, \quad (5.1)$$

čia K – filtracijos koeficientas; S – modelio bloko plotis; M – vandeningojo sluoksnio storis modelio bloke; L – atstumas nuo modelio kraštinio bloko centro iki taško už modeliuojamos teritorijos ribų, kuriame požeminio vandens lygį vandeningajame sluoksnyje galima laikyti nekintančiu laike, t.y. modeliuojamos vandenvietės jam poveikio nedaro (mūsų atveju tai sudarė 5000 m).

Vandeniui silpnai laidūs dariniai, skiriantys vandeninguosius sluoksnius, modelyje apriboti II tipo (Neumano) ribine sąlyga $Q=0$ (nelaidi riba) (5.1 pav.). Vidinėmis modelio ribinėmis sąlygomis yra modeliuojamos vandenvietės – II-o tipo ribinė sąlyga $Q(t)$.

Viršutine modelio hidrodinamine riba yra gruntinio vandens, ežerų, upių, bei kitų paviršinių telkinių vandens lygis. Modeliuojant buvo laikoma, kad gruntinio vandens ir paviršinių telkinių vandens lygis vandenviečių įtakos zonoje nekito iki šiol ir nekis ateityje, kol gruntinio vandens vertikali srūva į žemiau slūgsantį tarpmoreninį vandeningąjį kompleksą neviršys gruntinio horizonto infiltracinės mitybos. Todėl visame modelyje viršutinėje jo riboje buvo užduota ribinė sąlyga $H(x,y)=const(t)$ (nekintantis laike gruntinio vandeningojo sluoksnio bei paviršinių vandens telkinių lygis) (5.1 pav.). Apatine modelio riba yra regioninė Narvos vandenspara – ribinė sąlyga $Q=0$ (5.1 pav.).

5.1.2 Modelio kalibravimo rezultatai ir patikslintos filtracinių parametrų vertės

Modelio kalibravimas yra vienas pagrindinių jo formavimo etapų, kurio užduotis yra patikslinti vandeningųjų ir vandeniui silpnai laidžių sluoksnių filtracijos koeficientų vertes, kad gauti patenkinamą modelinių vandens lygių sutapimą su jų faktinėmis reikšmėmis gręžiniuose.

Rokiškio miesto apylinkėse Šventosios-Upninkų komplekso viršutinėje ir apatinėje dalyse pradinės filtracinės savybės buvo užduotos pagal miesto vandenvietės detalios žvalgybos duomenis (Bendoraitis, 1989): viršutinėje jo dalyje vandens pratakumo koeficientas km – 350 m²/d (filtracijos koeficientas 4,7 m/d), apatinėje – km 150 m²/d (filtracijos koeficientas 2,3 m/d). Likusioje modeliuotoje teritorijoje šiame komplekse abiejose jo dalyse užduotos vienodos filtracijos koeficiento vertės, tokios pat, kaip ir aukščiau minėtame VVP HGS regioniniame modelyje. Čia

duomenų apie komplekso skirtingų dalių filtracines savybes neturime, o netoliese esančių Biržų ir Zarasų vandenviečių žvalgybos duomenys rodo, jog, tolstant nuo Rokiškio, Šventosios-Upninkų komplekso filtracinės savybės tampa artimos visame jo vertikaliame pjūvyje (Gregorauskas ir kt., 2008). Likusiuose modeliuotuose sluoksniuose pradinės filtracijos koeficientų vertės užduotos tokios pat, kaip VVP HGS regioniniame modelyje.

Buvo atliktas tiek stacionarios (nepažeisto režimo), tiek nestacionarios filtracijos modelių kalibravimas. Pastarajame buvo palyginama faktinė ir modelinė požeminio vandens lygio kaita Rokiškio vandenvietės stebimuosiuose gręžiniuose eksploatacijos eigoje. Tuo tikslu modelyje buvo užduota vidutinio metinio Rokiškio miesto vandenvietės debito kaita 1976-2023 metų, o AB „Rokiškio sūris“ vandenvietėje - 2012-2023 metų laikotarpiais.

Leidžiama modelio paklaida yra 10 proc., paprastai siekiama, kad ji neviršytų kelių procentų. Tam yra sudaromas kalibravimo grafikas, kur X ašyje atidedamos faktinės vandens lygio vertės gręžiniuose, o Y ašyje – jo modelinės vertės. Jei būtų idealus faktinių matavimų ir modelinių rezultatų sutapimas, visi šie grafiko išsidėstytų ant vienos tiesės, nubrėžtos iš ašių susikirtimo taško 45^0 kampu. Taškų išsibarstymas rodo modelio paklaidą, kurią nusako du rodikliai:

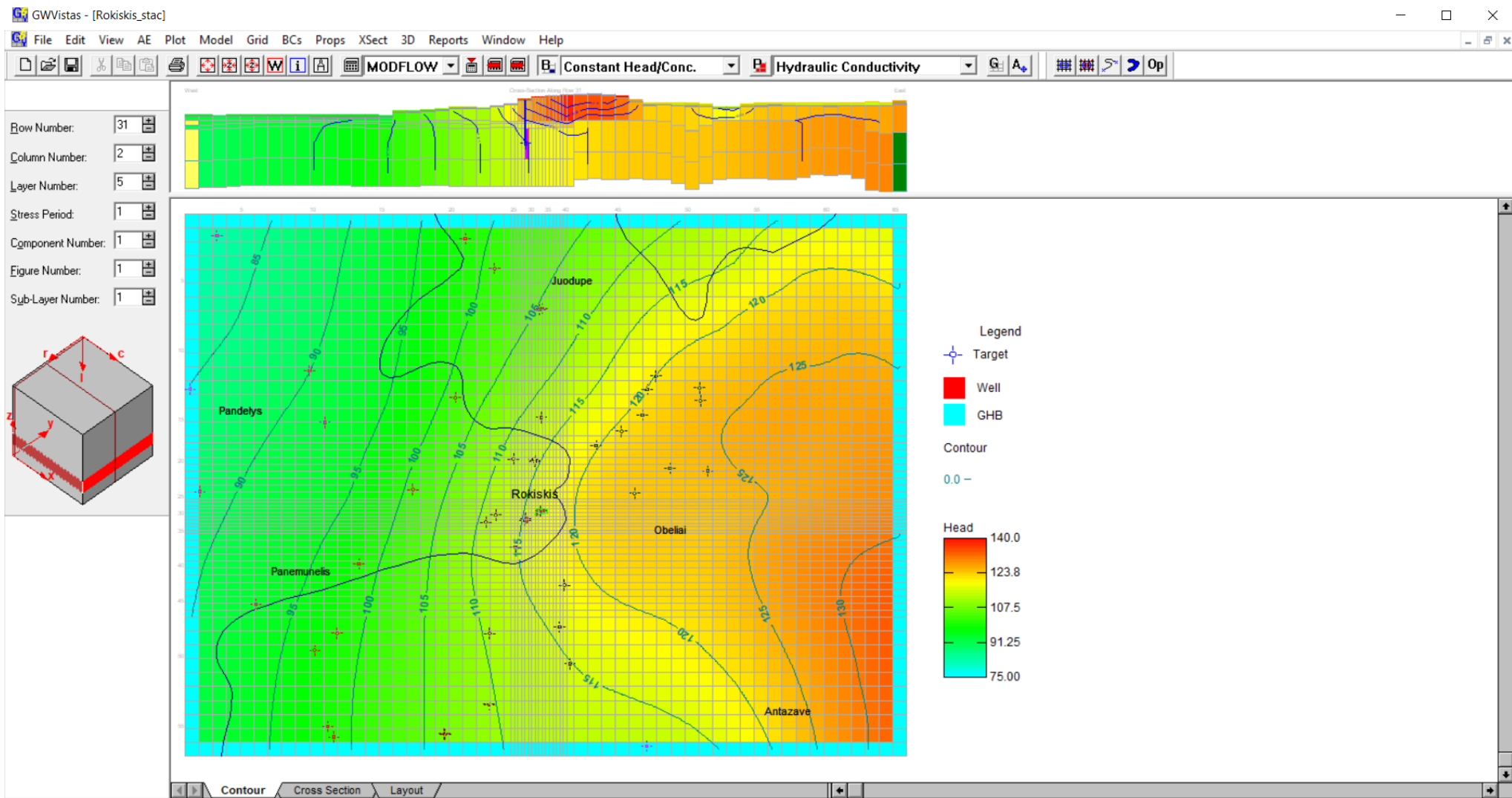
1. *Scaled Abs. Mean* – modelinio vandens lygio vidutinės absoliutinės paklaidos santykis su gręžiniuose stebimo vandens lygio intervalu filtracijos srityje.
2. *Scaled RMS* - modelinio vandens lygio standartinio nuokrypio santykis su gręžiniuose stebimo vandens lygio intervalu filtracijos srityje.

Modelio kalibravimas parodė, kad geriausias faktinių matavimų gręžiniuose sutapimas su modeliniais rezultatais yra kai Šventosios-Upninkų komplekso viršutinėje dalyje ties Rokiškio filtracijos koeficientas yra 4,8 m/d, apatinėje – 2,3 m/d. Tuomet viršutinės komplekso dalies vandens pratakumo koeficientas *km* yra 390 m²/d, apatinės – 150 m²/d, o viso komplekso vandens pratakumas siekia 540 m²/d, kas neblogai sutampa su vidutine Rokiškio v-tės hidrodinaminio išbandymo rezultatu skaitmeninio apdorojimo metu gauta parametro verte. Patikslintos visų modelio sluoksnių filtracijos koeficiento vertės pateiktos 1 priede.

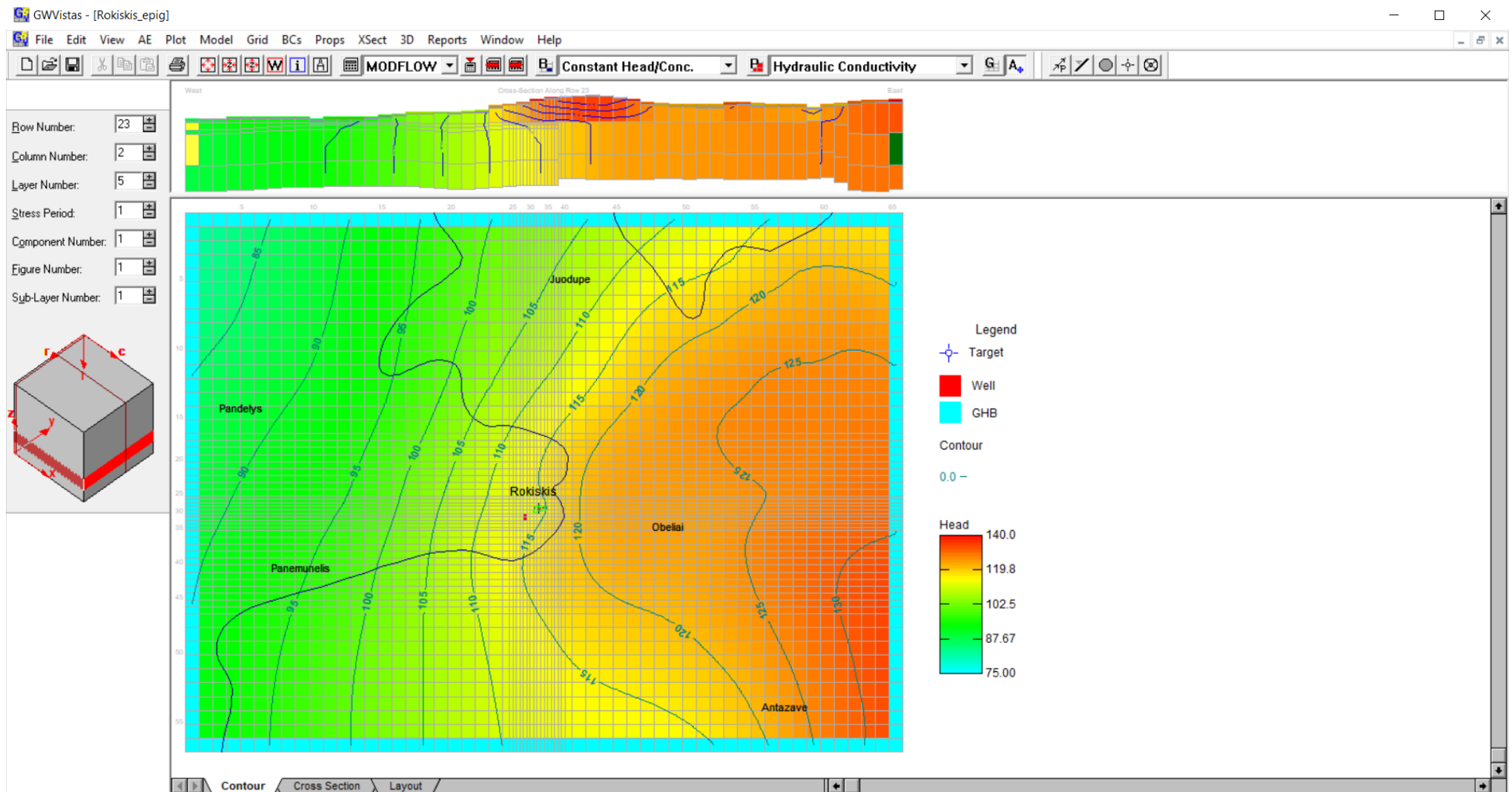
Modeliniai Šventosios-Upninkų komplekso viršutinės dalies nepažeisto režimo ir dabartinis pjezometriniai paviršiai pateikti 5.2 ir 5.3 pav., o modelio kalibravimo grafikai ir jo statistiniai rodikliai – 5.4 ir 5.5 pav. 5.4 pav. matome, kad modelio paklaida, naudojant patikslintas filtracinių parametrų vertes, pagal vieną rodiklį (*Scaled Abs. Mean*) yra 5,5 proc., pagal kitą (*Scaled RMS*) – 6 proc. Faktinio ir modelinio vandens lygio verčių kaitos vandenvietės eksploatacijos eigoje vidutinė absoliutinė paklaida siekia 26 cm (5.5 pav.).

5.1.3 Požeminio vandens gamtiniai resursai

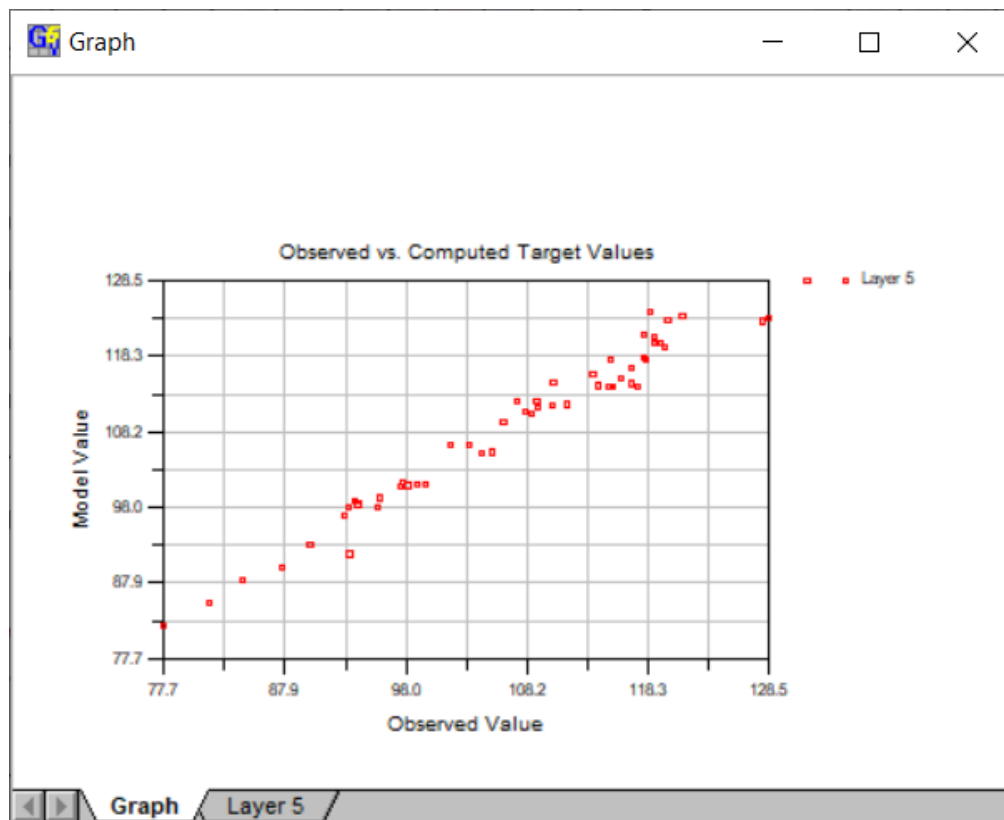
Šventosios-Upninkų komplekso gamtinius resursus modeliuotoje teritorijoje formuoja aukščiau slūgsančių Kupiškio-Suosos ir gruntinio vandeningųjų sluoksnių požeminio vandens vertikali srūva per kompleksą dengiančius vandeniui silpnai laidžius darinius bei pačiu vandeninguoju kompleksu iš gretimų teritorijų atitekantis požeminio vandens srautas.



5.2 pav. Modelinis Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso viršutinės dalies nepažeisto režimo pjezometrinis paviršius



5.3 pav. Modelinis dabartinis Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso viršutinės dalies pjezometrinis paviršius



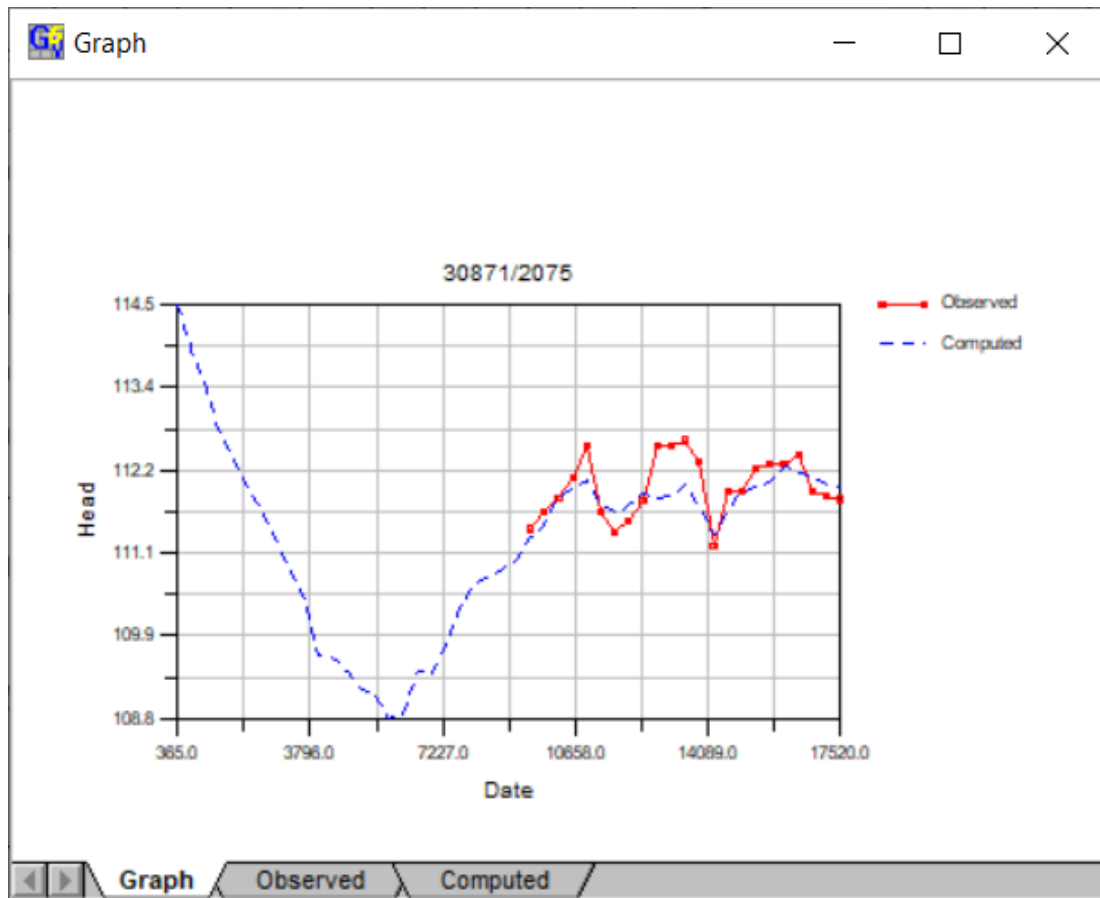
Target Statistics

Target	Residual	Name
101.70	-4.68	19226
103.40	-3.06	19228
104.40	-0.92	11892
105.20	-0.26	11887
106.20	-3.33	10670
106.20	-3.34	9398
107.36	-5.02	14021
108.00	-2.95	11792
109.00	2.00	12501

Residual Mean	= -1.91
Residual Standard Dev.	= 2.39
Absolute Residual Mean	= 2.64
Residual Sum of Squares	=5.25e+002
RMS Error	=3.06
Minimum Residual	= -5.73
Maximum Residual	= 4.96
Range of Observations	= 50.77
Scaled Res. Std. Dev.	= 0.047
Scaled Abs. Mean	= 0.052
Scaled RMS	= 0.060
Number of Observations	= 56

Close

5.4 pav. Modelio kalibravimo grafikas ir statistiniai rodikliai



Target Statistics

Target	Residual	Name
111.17	-0.14	30871/2075(14)
111.35	-0.28	30871/2075(7)
111.40	0.12	30871/2075(1)
111.51	-0.22	30871/2075(8)
111.64	-0.10	30871/2075(6)
111.64	0.18	30871/2075(2)
111.80	-0.09	30871/2075(9)
111.81	-0.16	30871/2075(23)
111.82	0.00	30871/2075(2)

Residual Mean	= 0.14
Residual Standard Dev.	= 0.30
Absolute Residual Mean	= 0.26
Residual Sum of Squares	= 2.54e+000
RMS Error	= 0.33
Minimum Residual	= -0.28
Maximum Residual	= 0.72
Range of Observations	= 1.46

Close

5.5 pav. Faktinio ir modelinio vandens lygio kaitos Rokiškio v-tėje palyginimas

5.6 pav. yra pavaizduoti požeminio vandens srauto tėkmės vektoriai Šventosios-Upninkų vandeningajame komplekse. Jie rodo ne tik požeminio srauto horizontalios tėkmės kryptį skaičiuojamuosiuose blokuose (strėlytės), bet ir vertikalią srauto kryptį per kompleksą dengiančius vandeniui silpnai laidžius darinius (spalva). Mėlyna spalva rodo, jog tose vietose vyksta Šventosios-Upninkų požeminio srauto vertikali srūva aukštyn per kompleksą dengiančius silpnai laidžius darinius į aukščiau slūgsančius Kupiškio-Suosos bei gruntinį vandeninguosius sluoksnius, t.y. jog ši teritorija yra požeminio vandens iškrovos srityje. Raudona spalva rodo atvirkštinį procesą ir nurodo teritoriją, kuri yra mitybos srityje. Modeliavimo rezultatai rodo, jog didesnioji tyrimų rajono dalis (apie 60%), yra Šventosios-Upninkų komplekso mitybos srityje (5.2 lentelė).

5.2 lentelė. Modeliniai D₃₋₂šv-up komplekso mitybos ir iškrovos sričių dydžiai tyrimų rajone

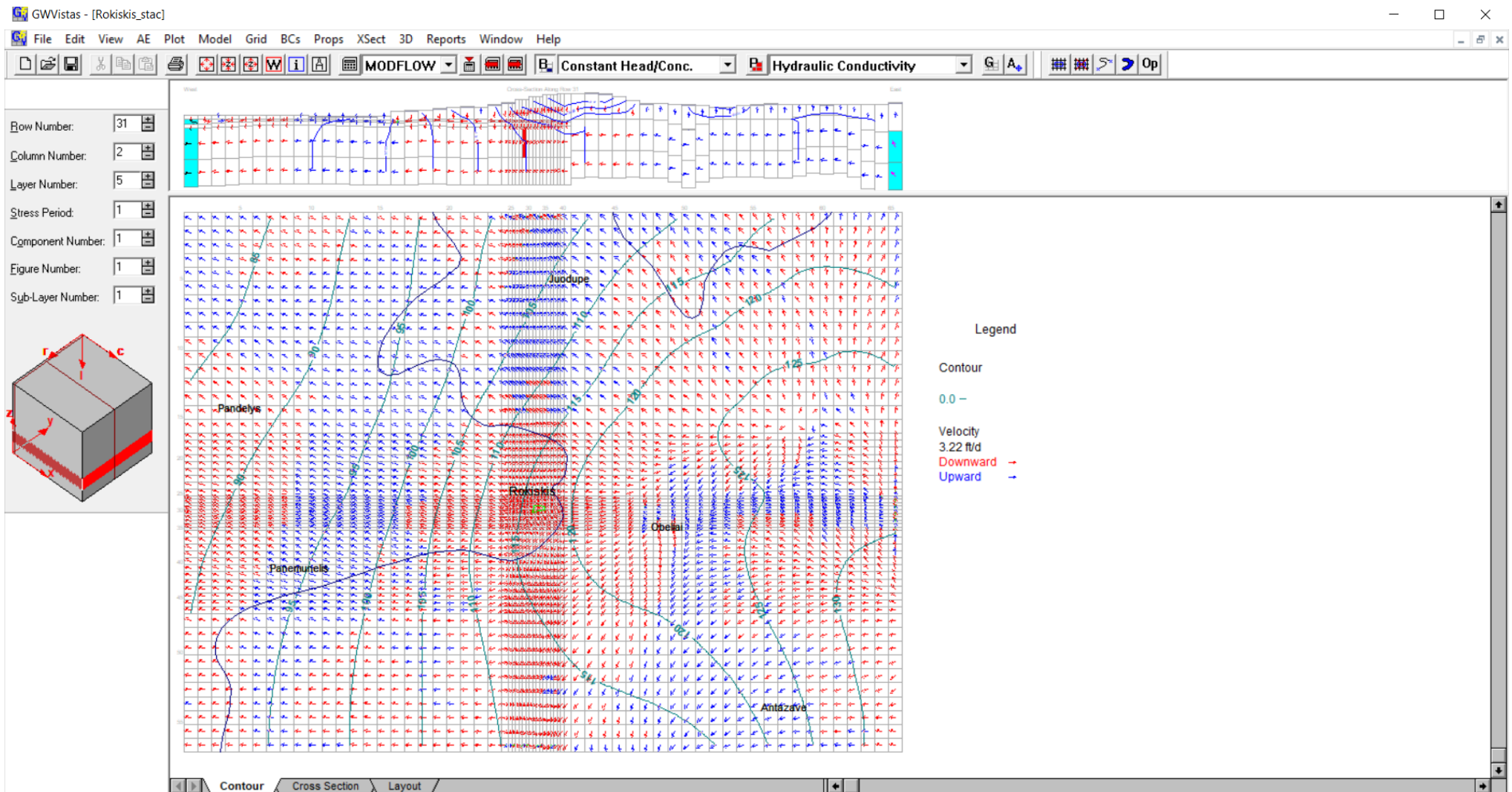
Sritis	Plotas, km ²	% nuo modeliuotos teritorijos ploto
Mitybos	1250	60
Iškrovos	850	40

Modelinis produktyviojo Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso nepažeisto režimo požeminio vandens balansas pateiktas 5.3 lentelėje.

5.3 lentelė. Modelinis D₃₋₂šv-up komplekso nepažeisto režimo požeminio vandens balansas

Prietaka			Ištaka		
Šaltinis	Kiekis		Šaltinis	Kiekis	
	m ³ /d	mm/metai		m ³ /d	mm/metai
1. Iš viršaus, viso:	85750	14,90	1. Į viršų, viso:	45400	7,89
t.t. iš D ₃ kp-s sluoksnio	10900	1,89	t.t. į D ₃ kp-s sluoksnį	13000	2,26
iš gruntinio sluoksnio	74850	13,01	į gruntinį sluoksnį	32400	5,63
2. Šoninė prietaka, viso:	10450	1,82	2. Šoninė ištaka, viso:	50800	8,83
t.t. viršutine D ₃₋₂ šv-up komplekso dalimi	5700	0,99	t.t. viršutine D ₃₋₂ šv-up komplekso dalimi	27800	4,83
apatine D ₃₋₂ šv-up komplekso dalimi	4750	0,83	apatine D ₃₋₂ šv-up komplekso dalimi	23000	4,0
Viso:	96200	16,72	Viso:	96200	16,72
Gamtinių resursų modulis:	0,53 l/s iš km²				

Matome, kad modeliuojamo rajono pagrindinis vandeningasis kompleksas pasižymi dideliais gamtiniais resursais, siekiančiais 96200 m³/d (16,72 mm/metai). Pagrindinis jų formavimosi šaltinis yra požeminio vandens srūva iš D₃kp-s bei gruntinio vandeningųjų sluoksnių per kompleksą dengiančius silpnai laidžius darinius, siekianti 85750 m³/d ir formuojanti 89% gamtinių resursų kiekio. Likusią gamtinių resursų dalį formuoja požeminio srauto prietaka produktyviuoju kompleksu iš su tyrimų rajonu besiribojančių teritorijų (šoninė prietaka).



5.6 pav. Modeliniai požeminio vandens srauto krypties vektoriai Šventosios-Upninkų vandeningajame komplekse

5.2 Migracinis modelis, vandenvietės kaptazo sritys ir išteklių formavimosi šaltiniai

5.2.1 Prognozinės kaptazo sritys

Rokiškio vandenvietės prognozinė kaptazo sričių bei apsaugos zonos įvertinimui panaudota JAV kompanijos Environmental Simulations Inc. licencinė programinė įranga Aquifer^{Win32} (Rumbaugh, 2011b), kurios viena sudėtinė dalis – WinFlow yra skirta požeminio vandens filtracijos bei elementarių vandens dalelių migracijos modeliavimui, naudojant šiuos procesus aprašančių diferencialinių lygčių analitinius sprendimus. Be to, kaptazo sričių įvertinimui papildomai panaudoti ankstesniame skyrelyje aprašyto Rokiškio apylinkių regioninio matematinio modelio rezultatai.

Prognozinis požeminio vandens lygio pažemėjimas Rokiškio vandenvietės gręžiniuose, eksploatuojant ją perspektyviniu 4000 m³/d debitu (Daugėlaitė ir kt., 2017) bei vandenvietės kaptazo sritys Šventosios-Upninkų komplekse įvertinti iš regioninio modelio „iškirptame“ fragmente sudarytame pusiau analitiniame WinFlow modelyje (5.7, 5.8 pav.). Kartu jame buvo modeliuojama ir AB „Rokiškio sūris“ vandenvietės eksploatacija 3000 m³/d debitu, kas atitinka joje aprobuotų išteklių kiekį. Migraciniame modelyje naudoti parametrai ir jų vertės pateikti 5.3.1 lentelėje.

5.3.1 lentelė. WinFlow modelyje naudoti parametrai Rokiškio vandenvietės kaptazo sričių nustatymui

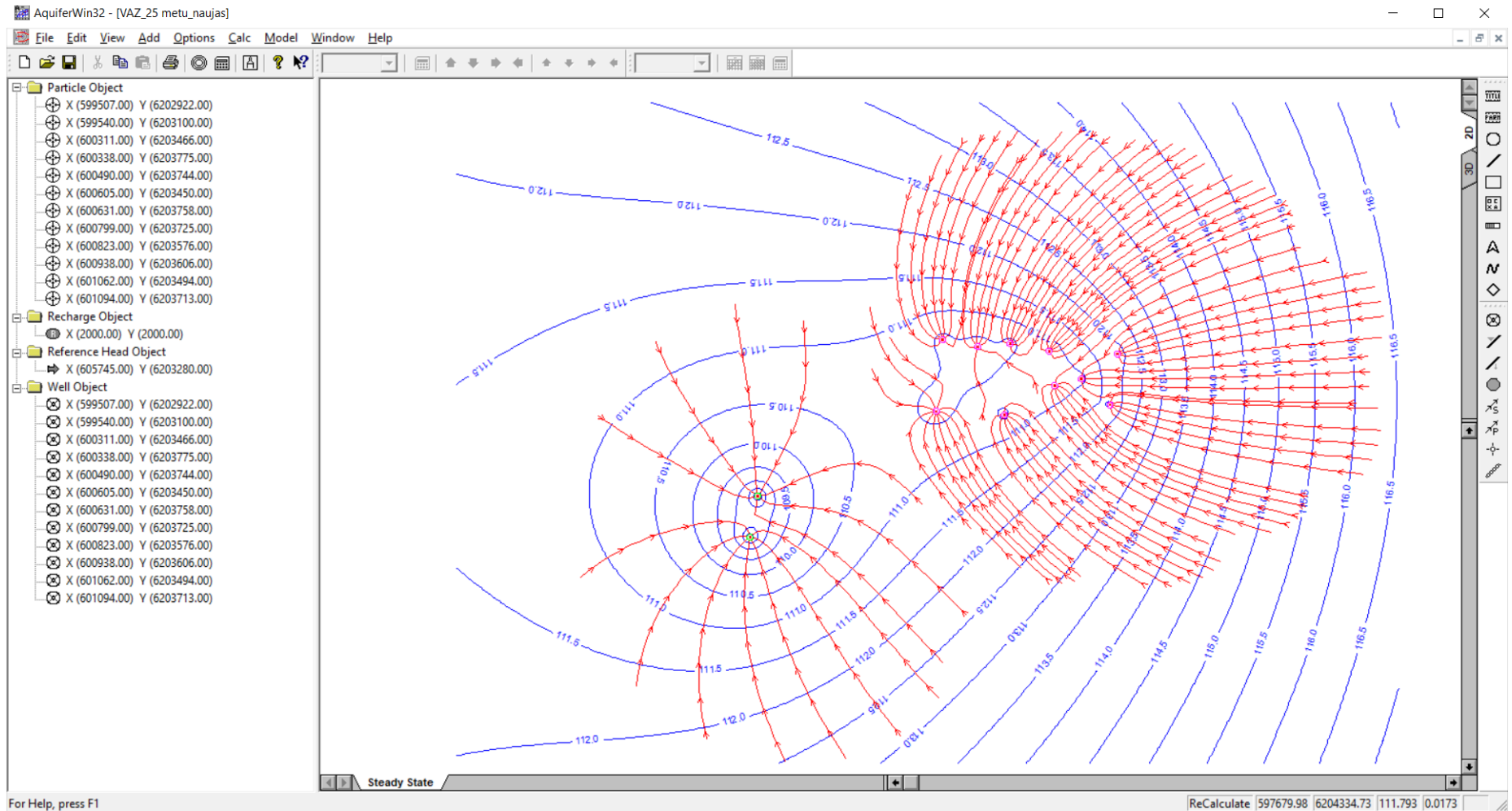
WinFlow modelio parametrai	Parametro vertė
Vandenviečių debitai, m ³ /d: Rokiškio v-tė AB „Rokiškio sūris“ v-tė	4000 3000
Filtracijos koeficientas, m/d	5,2
Sluoksnio storis, m	75
Vandens pratakumo koeficientas, m ² /d	390
Pjezolaidumo koeficientas, m ² /d	2·10 ⁶ *
Požeminio vandens srauto kryptis, °	180*
Požeminio vandens srauto gradientas	0,0012*
Atskaitos taškas (Reference Object): taško koordinatės (LKS-94) vandens lygis jame, m abs. a	X – 6203280; Y – 605745 123,5*

* - pagal regioninio matematinio modelio rezultatus (žr. 5.1 skyrelį)

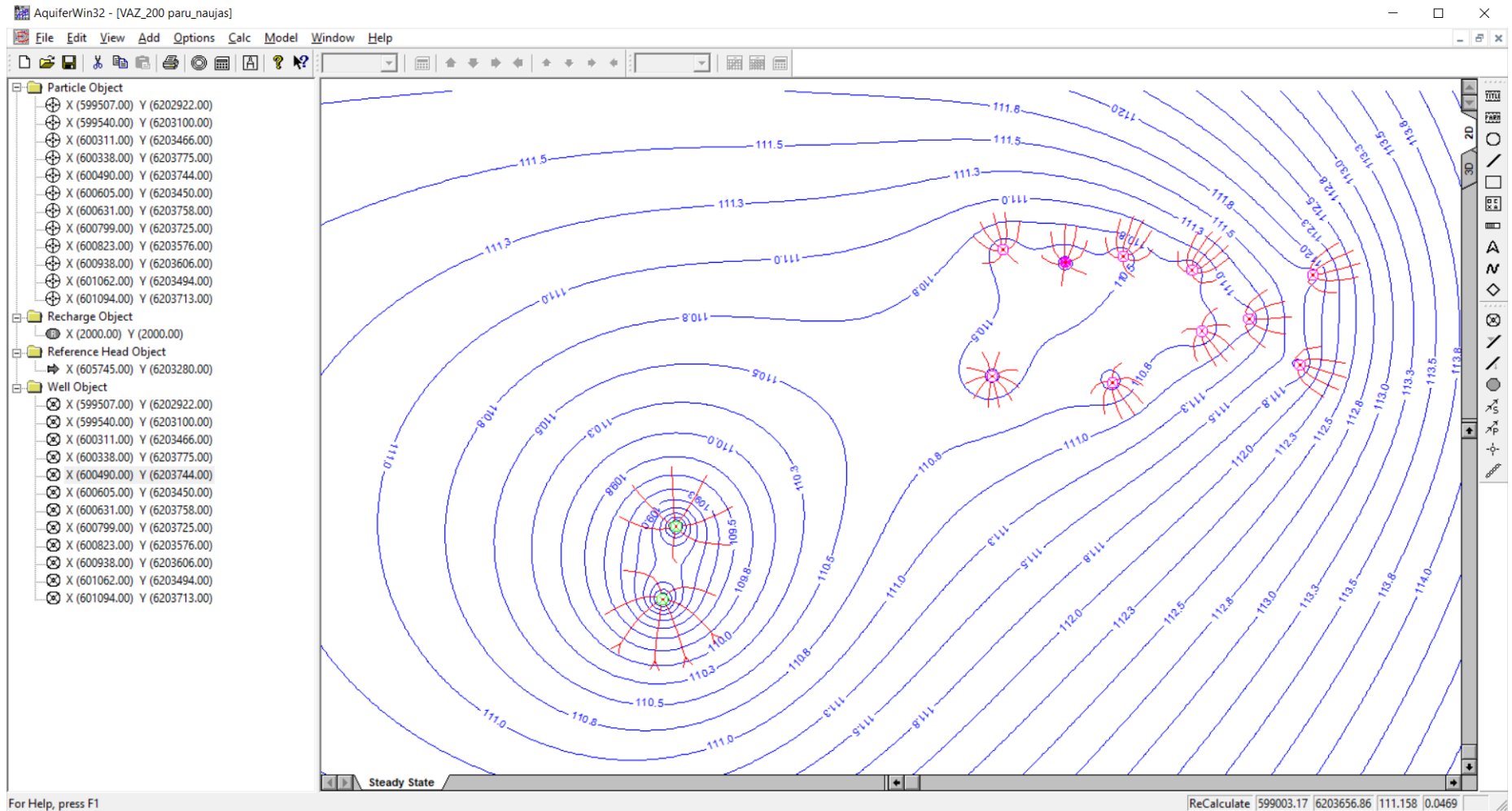
Modeliavimo rezultatai pateikti 5.7-5.9 pav., o Rokiškio vandenvietės kaptazo sričių dydžiai – papildomai 5.4 lentelėje.

5.4 lentelė. Modeliniai prognozinė Rokiškio vandenvietės kaptazo sričių dydžiai

Vandenvietės debitas, m ³ /d	Kaptazo sritis	Kaptazo srities dydis nuo gavybos gręžinių	
		nuo-iki, m	vidutinis (vyraujantis), m
4000	1. Susiformuosianti per 200 parų eksploatacijos laikotarpį	80-125	110
	2. Susiformuosianti per 25 metų eksploatacijos laikotarpį	900-1300	1150



5.7 pav. Prognozinis modelinis Šventosios-Upninkų komplekso pjezometrinis paviršius ir vandenviečių kaptazo sritys, susiformuosiančios per 25 metų eksploatacijos laikotarpį



5.8 pav. Prognozinis modelinis Šventosios-Upninkų komplekso pjezometrinis paviršius ir vandenviečių kaptazo sritys, susiformuosiančios per 200 parų eksploatacijos laikotarpį



5.9 pav. Prognozinės modelinės vandenviečių kaptazo sritys Šventosios-Upninkų vandeningajame komplekse

1 - gavybos gręžinys; 2-5 - modelinės požeminio vandens srauto tėkmės linijos bei kryptys į vandenvietes bei jų kaptazo sritys: 2-3 - susiformuosiančios per 200 parų eksploatacijos laikotarpį, 4-5 - susiformuosiančios per 25 metų eksploatacijos laikotarpį

Kaptažo sritys sumodeliuotos 200 parų bei 25 metų vandenvietės eksploatacijos laikotarpiams. Pirmasis jų reikalingas vandenvietės apsaugos zonos 2-osios (mikrobinės taršos apribojimo juostos), antrasis – VAZ 3-iosios (cheminės taršos apribojimo juostos) nustatymui. Apie tai plačiau – 6 darbo skyrelyje.

5.9 pav. matyti, jog Rokiškio vandenvietė surenka iš rytų, pietryčių bei šiaurės rytų atitekančių požeminio vandens srautą, o AB „Rokiškio sūris“ vandenvietė – požeminį srautą, atitekančių ir vakarų, šiaurės ir pietų-pietryčių. Tarp jų yra ryški požeminė vandenskyra, dalinanti požeminio vandens srautą šiomis kryptimis.

5.2.2 Požeminio vandens išteklių formavimosi šaltiniai

Rokiškio vandenvietės išteklių formavimosi šaltinius galima įvertinti, palyginus D_{3-2šv-up} komplekso viršutinės dalies požeminio vandens balanso sudedamąsias dalis jos 25 metų kaptažo srities teritorijoje nepažeisto režimo metu ir eksploatuojant vandenvietę perspektyviniu 4000 m³/d debitu. Šie balanso elementai pateikti 5.5 lentelėje, o išteklių formavimosi šaltiniai – 5.6 lentelėje.

5.5 lentelė. Modelinis D_{3-2šv-up} komplekso viršutinės dalies požeminio vandens balansas prognozinėje vandenvietės kaptažo srityje

Prietaka		Ištaka	
Šaltinis	Kiekis m ³ /d	Šaltinis	Kiekis m ³ /d
Nepažeisto režimo metu			
1. Iš viršaus	140	1. Į apačią	70
2. Šoninė prietaka	960	2. Šoninis nuotėkis	1030
Viso:	1100	Viso:	1100
Eksploatuojant vandenvietę 4000 m ³ /d debitu			
1. Iš viršaus	220	1. Vandenvietės debitas	4000
2. Šoninė prietaka	3340		
3. Iš apačios	440		
Viso:	4000	Viso:	4000

5.6 lentelė. Rokiškio vandenvietės išteklių formavimosi šaltiniai, ją eksploatuojant 4000 m³/d debitu

Šaltinis	Kiekis	
	m ³ /d	%
1. Šoninio nuotėkio sumažėjimas	1030	25,7
2. Šoninės prietakos padidėjimas	2380	59,5
3. Prietakos iš viršaus padidėjimas	80	2,0
4. Nuotėkio į apačią sumažėjimas	70	1,8
5. Prietakos iš apačios padidėjimas	440	11,0
Viso:	4000	100

5.6 lentelėje matyti, jog pagrindinis išteklių formavimosi šaltinis yra komplekso produktyviaja viršutine dalimi į kaptažo sritį atitekančio požeminio vandens srautas – jo prietakos padidėjimas ir nuotėkio sumažėjimas formuoja 85% išgaunamo vandens kiekio, kitų šaltinių indėlis yra nedidelis. Tai leidžia daryti svarbią metodinę išvadą, jog, vertinant į Šventosios-Upninkų kompleksą įrengtų vandenviečių, kurių debitas siekia tik keletą tūkst. m³/d, išteklius, pakanka įskaityti tik produktyviają komplekso dalį, į kurią įrengti gręžiniai, o ne visą poros šimtų metrų storio komplekso storumą.

6. VANDENVIETĖS APSAUGOS ZONA

6.1 Galiojantys dokumentai ir reikalavimai

Vandenviečių apsaugos zonų (VAZ) sudarymo principai reglamentuojami “Požeminio vandens vandenviečių apsaugos zonų nustatymo tvarkos apraše” (Požeminio....., 2021). VAZ nustatymui yra paruošiamas VAZ projektas, kuriame, vadovaujantis Specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymo (Lietuvos Respublikos....., 2019) 6 straipsnio 1 dalies 4 punktu nustatoma VAZ (Požeminio....., 2021).

Specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatyme (Lietuvos Respublikos....., 2019) pagal ryšio su atmosferiniais krituliais, paviršiniu ir gretimų sluoksnių požeminiu vandeniu pobūdį išskiriamos trys vandenviečių grupės: I – uždaros, II – pusiau uždaros, III – atviros. Čia nagrinėjamoje Rokiškio vandenvietėje požeminis vanduo išgaunamas iš ganėtinai giliai slūgsančio Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso. Ši vandenvietė pagal analogiją su kitomis į šį kompleksą šiaurės rytu Lietuvoje įrengtomis vandenvietėmis yra priskiriama II grupei – pusiau uždaroms vandenvietėms. Tokių vandenviečių eksploatuojami vandeningieji sluoksniai iš viršaus santykinai izoliuoti mažai laidžiais vandeniui sluoksniais (Rokiškio....., 2022; Daugėlaitė ir kt., 2017).

Aplink II grupės gėlo požeminio vandens, kai jį planuojama naudoti kaip geriamąjį, vandenvietes, iš kurių skaičiuojant metinį vidurkį išgaunama vidutiniškai daugiau kaip 100 m³ vandens per parą, yra nustatoma VAZ 1-oji, VAZ 2-oji juostos ir VAZ 3-ioji juostos. Griežto režimo apsaugos (1-oji) juosta skirta saugoti vandenvietę nuo tyčinės ar atsitiktinės taršos, 2-oji juosta skirta apsaugoti vandenvietę nuo mikrobinės (ir cheminės), o 3-ioji juosta – nuo cheminės taršos (Požeminio....., 2021).

Griežto režimo apsaugos juostų dydis VAZ nustatymo tvarkoje (Požeminio....., 2021), konkrečiai reglamentuotas, atsižvelgiant į vandenviečių uždarumą. Nagrinėjamoje II grupės Rokiškio vandenvietėje ši juosta turi būti ne mažesnė kaip 10 m aplink eksploatacinius gręžinius.

Mikrobinės taršos apribojimo (2-osios) juostos dydis turi būti toks, kad mikroorganizmai, patekę į eksploatuojamąjį horizontą, kaptazinio įrenginio nepasiektų būdami gyvybingi. Tarp sluoksniuose vandeninguosiuose horizontuose mikroorganizmai išlieka gyvi iki 200 parų, todėl ir 2-oji VAZ juosta yra skaičiuojama ar modeliuojama šiam laikui (T=200 parų).

Cheminės taršos apribojimo (3-ioji) juosta gali būti sudaryta iš dviejų sektorių - 3a (vandenvietės kaptazo srities gruntiniame vandeningajame sluoksnyje) ir 3b (vandenvietės kaptazo srities eksploatuojamame sluoksnyje). 3a sektoriaus matmenys apskaičiuojami (modeliuojami), atsižvelgiant į tai, kad cheminiai teršalai, patekę į gruntinį vandenį, nepasiektų požeminio vandens vandenvietės per 25-erius metus. Pastaroji kaptazo sritis (VAZ 3a sektorius) yra svarbiausia vandenvietės apsaugos požiūriu, nes iš jos į vandenvietę gali patekti paviršinė tarša.

3b sektoriaus matmenys apskaičiuojami (modeliuojami), atsižvelgiant į tai, kad cheminiai teršalai, tiesiogiai patekę į eksploatuojamą sluoksnį, nepasiektų požeminio vandens vandenvietės per 25-erius metus. Šis sektorius nustatomas tik leidimų naudoti angliavandenilių išteklius plotuose, nustatytuose Lietuvos geologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos direktoriaus įsakyme (Požeminio....., 2021).

VAZ 2-oji ir 3-ioji juostos skaičiuojamos vandenvietėse aprobuotų išteklių kiekiui ir/arba maksimaliam planuojamam vandenvietės debitui. Tad VAZ privalo saugoti ir tų išteklių kokybę, kurie šiuo metu nėra naudojami, tačiau jų gali prireikti ateityje.

6.2 Apsaugos zonos nustatymas

Pagal galiojančius reikalavimus (Požeminio....., 2021) Rokiškio vandenvietės apsaugos zona turi būti sudaryta iš trijų: pirmosios (griežto režimo), antrosios (mikrobinės taršos apribojimo) ir trečiosios (cheminės taršos apribojimo) juostos. Tačiau, kaip parodė atlikti skaičiavimai, VAZ trečiosios juostos 3a sektorius dėl gero vandenvietės izoliuotumo nuo gruntinio vandens joje nesiformuoja, o 3b sektorius nesudaromas, nes vandenvietė nepatenka į leidimų naudoti angliavandenilių išteklius plotus. Tad vandenvietės apsaugos zoną sudaro tik dvi - griežto režimo ir 2-oji juostos.

VAZ pirmosios (griežto režimo) juostos dydis konkrečiai reglamentuotas, priklausomai nuo vandenviečių hidrogeologinių sąlygų grupės (Požeminio....., 2021). Rokiškio vandenvietė yra priskiriama II-ai vandenviečių grupei, todėl jos griežto režimo juosta aplink gavybos gręžinius turi būti ne mažesnė kaip 10 m.

Dabartinė vandenvietės teritorija yra gerokai didesnė už minimalią griežto režimo juostą. Tikslinga ją ir nustatyti kaip VAZ pirmąją, griežto režimo juostą, nes yra reikalinga rezervinė teritorija, jei ateityje tektų pergręžti ar įrengti naujus gręžinius, norint padidinti vandenvietės pajėgumą ar siekiant išgauti visą aprobuotų išteklių (17000 m³/d) kiekį.

VAZ 2-osios (mikrobinės taršos apribojimo) juostos nustatymui buvo sumodeliuota prognozinė vandenvietės eksploatacija 200 parų laikotarpiui, atsižvelgiant į galimą mikroorganizmų gyvavimo laiką tarp sluoksninio vandens horizontuose (Požeminio....., 2021). Ši juosta nagrinėjamoje vandenvietėje yra kiek sąlyginė, nes iš nustatyto nuotolio mikrobiniai teršalai kaptazo įrenginius galėtų pasiekti tik tiesiogiai patekę į eksploatuojamą sluoksnį. Turint omenyje didelį produktyviojo vandeningojo sluoksnio slūgsojimo gylį, tai gali atsitikti tik per blogai prižiūrimus, netvarkingus gręžinius.

Sumodeliuota VAZ 2-oji juosta įvairiomis kryptimis nuo gręžinių yra kiek skirtinga, kaip ir turi būti sudėtingose geologinėse-hidrogeologinėse sąlygose (žr. 5.9 pav.). Remiantis modeliavimo rezultatais (žr. 5.4 lentelę), šią zoną tikslingiausia nubrėžti vyraujančiu 110 m atstumu aplink esamą griežto režimo juostą (vandenvietės teritoriją). Bendras VAZ 2-osios juostos linija apribotos teritorijos plotas siekia 66,4 ha.

Vandenvietės apsaugos zonos schema pavaizduota 6.1 pav.



6.1 pav. Rokiškio miesto vandenvietės apsaugos zonas schema (vandenvietės debitas - 4000 m³/d)

1 - gavybos gręžinys ir jo Nr.; 2 - minimali VAZ griežto režimo juosta; 3 - esama VAZ griežto režimo juosta (vandenvietės teritorija); 3 - VAZ 2 juosta

IŠVADOS

1. Šventosios-Upninkų komplekso filtracinių parametrų patikslinimas šiuolaikiniais metodais, besiremiančiais objektyviais statistiniais kriterijais, parodė, jog komplekso viršutinės dalies produktyviausio intervalo patikslintos vandens pratakumo koeficiento km vertės yra apie 190-290 m^2/d , apatinės – apie 90 m^2/d , o vyraujantis apibendrintas viso komplekso vandens pratakumas – apie 520-540 m^2/d . Modelio kalibravimas, sumodeliavus jame Rokiškio vandenvietės eksploatacijos eigą 1976-2023 metų laikotarpiu, parodė, kad geriausias faktinių matavimų gręžiniuose sutapimas su modeliniais rezultatais yra, kai Šventosios-Upninkų komplekso visos viršutinės dalies ties Rokiškiu filtracijos koeficientas yra 4,8 m/d (km 390 m^2/d), apatinės – 2,3 m/d (km 150 m^2/d), o viso komplekso vandens pratakumas siekia 540 m^2/d .
2. Modeliavimo rezultatai rodo, jog didesnioji tyrimų rajono dalis (apie 60%) yra Šventosios-Upninkų komplekso mitybos srityje. Komplexas pasižymi dideliais gamtiniais resursais, siekiančiais 96200 m^3/d (16,72 mm/metai, resursų modulis 0,53 l/s iš km^2). Pagrindinis jų formavimosi šaltinis yra požeminio vandens srūva iš D₃kp-s bei gruntinio vandeningųjų sluoksnių per kompleksą dengiančius silpnai laidžius darinius, siekianti 85750 m^3/d ir formuojanti 89% gamtinių resursų kiekio. Likusią gamtinių resursų dalį formuoja požeminio srauto prietaka produktyviuoju kompleksu iš su tyrimų rajonu besiribojančių teritorijų (šoninė prietaka).
3. Pagal modeliavimo rezultatus, eksploatuojant vandenvietę 4000 m^3/d prognozinio debitu, pagrindinis požeminio vandens išteklių formavimosi šaltinis yra komplekso produktyviaja viršutine dalimi į vandenvietės kaptazo sritį atitekančias požeminio vandens srautas – jo prietakos padidėjimas ir nuotėkio sumažėjimas formuoja 85% išgaunamo vandens kiekio, kitų šaltinių indėlis yra nedidelis. Tai leidžia daryti svarbią metodinę išvadą, jog, vertinant į Šventosios-Upninkų kompleksą įrengtų vandenviečių, kurių debitas siekia tik keletą tūkst. m^3/d , išteklius, pakanka įskaityti tik produktyviają komplekso dalį, į kurią įrengti gręžiniai, o ne visą poros šimtų metrų storio komplekso storumę.
4. Rokiškio vandenvietės prognozinės kaptazo sritys, sumodeliuotos 200 parų bei 25 metų eksploatacijos laikotarpiams ir įskaitančios sąveiką su gretima AB „Rokiškio sūris“ vandenviete, parodė, jog pirmosios jos dydis yra 80-125 m, antrosios – 900-1300 m aplink vandenvietę, o vandenvietė surenka iš rytų, pietryčių bei šiaurės rytų Šventosios-Upninkų kompleksu atitekančią požeminio vandens srautą.
5. Vandenvietės apsaugos zoną (VAZ) sudaro tik dvi - pirmoji (griežto režimo) ir antroji (mikrobinės taršos apribojimo) juostos. VAZ trečiosios (cheminės taršos apribojimo) juostos čia nėra, nes, kaip parodė atlikti skaičiavimai, VAZ 3a sektorius nesiformuoja dėl gero vandenvietės izoliuotumo nuo gruntinio vandens, o 3b sektorius nesudaromas, nes vandenvietė nepatenka į leidimų naudoti angliavandenilių išteklius plotus. VAZ griežto režimo juostai siūloma prilyginti dabartinę vandenvietės teritoriją, o VAZ antrąją juostą nubrėžti 110 m atstumu, t.y. vyraujančiu 200 parų kaptazo srities dydžiu, aplink griežto režimo juostą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Anderson M. P., Woessner W.W. (1992) Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport. Academic Press, Inc., New York.
- Bear J., Cheng A. H. D. (2010) Modeling groundwater Flow and Contaminant Transport. Springer, 210: 834p.
- Bendoraitis A. (1989) Detaljnaja razvedka podzemnych vod dlia centralizovannogo vodosnabženija g. Rokiškis Litovskoj SSR. V., Vilniaus hidrogeologijos ekspedicijos ataskaita (rusų k.).
- Bendoraitis A. (2009). Požeminio mineralinio vandens išteklių UAB „Lamikara“ vandenvietėje Rokiškyje įvertinimas (hidrogeologinė ataskaita). V., UAB „Vilniaus hidrogeologija“.
- Bendoraitis A., Gregorauskas M. (2021) UAB „Ilzenbergo dvaras“ vandenvietės Rokiškio rajone požeminio vandens išteklių įvertinimas ir apsaugos zonų projektas. V., UAB „Vilniaus hidrogeologija“.
- Daugėlaitė I., Gerdvilis N., Raulinaitis M. (2017) Rokiškio rajono vandenviečių požeminio vandens ištirtų išteklių įvertinimo ataskaita. V., UAB „Daugėla“.
- Daugėla G., Sakalauskiene G. (2019) UAB „Rokiškio aliejinė“ vandenvietės požeminio vandens išteklių įvertinimo ataskaita. V., UAB „Daugėla“.
- 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 (2000).
- Dragūnaitė D., (2021) AB „Vilniaus degtinė“ Obelių spirito varyklos vandenvietės Audronių I k., Obelių sen., Rokiškio r. aplinkos (požeminio vandens) monitoringo programa 2022–2026 metams. V., UAB „Fugro Baltic“.
- Drevalienė G. (2020) Degalinės vandenvietės Rokiškio g. 6, Pandėlio m., Rokiškio r. sav. požeminio vandens išteklių įvertinimas. V., UAB „Vandens harmonija“.
- Drevalienė G. (2022) UAB „Spectator NT“ vandenvietės Rokiškio g. 6, Pandėlio m., Rokiškio r. sav. požeminio vandens išteklių įvertinimo paraiška. V., UAB „Vandens harmonija“.
- Gerdvilis N., Radzevičienė D., Sakalauskiene G. (2022) UAB „Rokiškio vandenys“ Aleknu, Didsodės, Lašų, Lukštų, Pakriaunių, Panemunio, Ragelių vandens išteklių įvertinimo ir apsaugos zonų nustatymo ataskaita. V., UAB „Daugėla“.
- Gražulis M., Šeirys N. (2011) UAB "Žiobiškio kompleksas" vandenvietės Žiobiškio k., Rokiškio kaimiškoji sen., Rokiškio r., požeminio vandens išteklių įvertinimas. V., UAB „Artva“.
- Gregorauskas M., Klimas A., Bendoraitis A. (2008) Viršutinio-vidurinio paleozojaus hidrogeologinės sistemos turimi požeminio vandens ištekliai. Projektas „Požeminio vandens išteklių įvertinimas Lietuvoje“. V., LGF.
- Guobyte R. (1998) Lietuvos kvartero geologinis žemėlapis M 1 : 200 000. Kvartero geologinio žemėlapio M 1:200 000 revizija, nauja redakcija ir parengimas išleidimui. V.,LGF.
- Harbaugh A. W. (2005) MODFLOW-2005 : the U.S. Geological Survey modular ground-water model-the ground-water flow process. Pranešimo Nr.: 6-A16. Prieiga per internetą: <http://pubs.er.usgs.gov/publication/tm6A16>
- Harbaugh A. W., Banta E. R., Hill M. C. , McDonald M. G. (2000) MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model - User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process. Geological Survey (U.S.); Pranešimo Nr.: 2000-92. Prieiga per internetą: <http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr200092>
- Juodkazis V. (1979) Pabaltijo hidrogeologijos pagrindai. Vilnius: Mokslas. 142 p.
- Juodkazis V. (1980) Pabaltijo požeminio vandens eksploatacinių išteklių susidarymas ir įsisavinimas. Mokslas, Vilnius. 176 p.
- Juodkazis V., Gregorauskas M., Mokrik R. (2012) Regioninė hidrogeodinamika: požeminio vandens telkiniai ir ištekliai. Vilnius: Vilniaus universitetas. 248 p.

- Klimas A. (2003) Geriamojo vandens hidrogeochemija. Vadovėlis aukštosioms mokykloms. V., Vilniaus universiteto leidykla, 140 p.
- Kmeliauskaitė J. (2018a) Skemų socialinės globos namų vandenvietės Skemų k., Rokiškio kaimiškoji sen., Rokiškio r. sav., požeminio vandens išteklių įvertinimo ir apsaugos zonos projekto hidrogeologinė ataskaita. V., UAB „Artva“.
- Kmeliauskaitė J. (2018b) UAB „Rokiškio vandenys“ Gediškių vandenvietės Obelių g. 1, Gediškių k., Obelių sen., Rokiškio r. sav., požeminio vandens išteklių įvertinimo ir apsaugos zonos projekto hidrogeologinė ataskaita. V., UAB „Artva“.
- Lietuvos geologija. Monografija. (1994) Sudarė Grigelis A., Kadūnas V. Vilnius, Mokslo ir enciklopedijų leidykla: 447 p.
- Lietuvos higienos norma HN 24:2023. Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai. (2023) TAR 2023-01760.
- Lietuvos Respublikos Specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymas. (2019) TAR 2019-9862.
- McDonald M. G., Harbaugh A. W. (1988) A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. US Geological Survey Reston, VA. Prieiga per internetą: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr83875>.
- Palaitis Ž., Saulis K., Tamulevičius S. (2012) AB "Vilniaus degtinė" Obelių spirito varyklos vandenvietės Audronių I k., Obelių sen., Rokiškio r. sav. požeminio vandens išteklių įvertinimas (aprobacija). V., UAB „Geoaplinka“.
- Požeminio vandens vandenviečių apsaugos zonų nustatymo tvarkos aprašas. (2021) TAR 2021-27315.
- Rokiškio, Juodupės ir Pandėlio vandenviečių poveikio požeminiam vandeniui monitoringo 2022-2026 metais programa. (2022) V., UAB "Vilniaus hidrogeologija".
- Rokiškio, Juodupės ir Pandėlio vandenviečių poveikio požeminiam vandeniui monitoringo (pagal 2022-2026 metų programą) 2023 metų ataskaita. (2024) V., UAB "Vilniaus hidrogeologija".
- Rumbaugh J. O., Rumbaugh D. B. (2011a) Groundwater Vistas version 6. Guide to Using. Environmental Simulations. Environmental Simulations, Inc., 221 p.
- Rumbaugh D., Rumbaugh J. (2011b) Guide to Using AquiferWin32 version 4. Environmental Simulations Inc., 438 p.
- Saulis K., Klimas A., Gregorauskas M., Bendoraitis A. (2002) Rokiškio rajono Pagojų, Onušio, Lukštų, Jūžintų, Salų, Kalvių, Laukagalių, Laibgalių, Meldučių, Kriaunų, Panemunėlio ir Panemunėlio geležinkelio stoties vandenviečių hidrogeologiniai tyrimai ir sanitarinės apsaugos zonų įvertinimas. V., UAB „HGN Hydrogeologie Baltic“.
- Saulis K., Viteika E. (2017) AB „Rokiškio sūris“ vandenvietės Pramonės g. 3, Rokiškis, Rokiškio r. sav. 2012–2016 m. požeminio vandens monitoringo rezultatų apibendrinimas. V., UAB „Geoaplinka“.
- Saulis K., Tamulevičius S. (2019) AB "Rokiškio sūris" vandenvietė Pramonės g. 3, Rokiškyje požeminio vandens išteklių įvertinimas (aprobacija). V., UAB „Geoaplinka“.
- Vaitiekūnienė J., Virbickas T., Daunys D., Taminskas J., Gregorauskas M., Klimas A., Domaševičius A., Paukštys B., Štuopis A., Drevalienė G., Valiuškevičius G., Bukantis A., Stonevičius E., Rimkus E., Kražys J., Štaras A., Povilaitis A., Rimkus A., Kažys J., Štaras A., Povilaitis A., Punys P., Semėnienė D., Oskolokaitė I., Langas V., Strazdaitė I. (2011) Lietuvos vandens telkinių būklė ir ūkinės veiklos poveikis. Atsakingasis redaktorius Bernardas Paukštys. Vilnius. 631 p.

SANTRAUKA

VILNIAUS UNIVERSITETAS CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS

Modestas Kartenis

ROKIŠKIO MIESTO VANDENVIETĖS APSAUGOS ZONOS ĮVERTINIMAS MATEMATINIO MODELIAVIMO METODAIS

Magistriniame darbe, naudojantis Lietuvos geologijos tarnybos fonde sukauptą archyvine Rokiškio miesto bei kitų stambesnių rajono vandenviečių žvalgybos, požeminio vandens išteklių įvertinimo bei matematinio modeliavimo medžiaga, ją išanalizavus ir papildžius rajone per pastarąjį dešimtmetį į Šventosios-Upninkų kompleksą išgręžtų naujų gręžinių duomenimis, sudarytas Rokiškio apylinkių požeminės hidrosferos matematinis modelis. Jis panaudotas pagrindinių darbo uždavinių sprendimui - vandenvietėje eksploatuojamo Šventosios-Upninkų komplekso filtracinių parametru patikslinimui; prognozinių Rokiškio vandenvietės kaptazo sričių ir jos apsaugos zonos nustatymui, atsižvelgiant į hidrodinaminę sąveiką su gretimomis vandenvietėmis; Šventosios-Upninkų komplekso gamtinių resursų Rokiškio apylinkėse ir vandenvietės požeminio vandens išteklių formavimosi šaltinių nustatymui.

Modeliavimo metu nustatyta, jog Šventosios-Upninkų komplekso viršutinės dalies ties Rokiškio filtracijos koeficientas yra 4,8 m/d (vandens pratakumo koeficientas 390 m²/d), apatinės – 2,3 m/d (vandens pratakumo koeficientas 150 m²/d). Modeliavimo rezultatai rodo, jog didesnioji tyrimų rajono dalis (apie 60%) yra Šventosios-Upninkų komplekso mitybos srityje. Komplexas pasižymi dideliais gamtiniais resursais, siekiančiais 96200 m³/d (16,72 mm/metai, resursų modulis 0,53 l/s iš km²). Pagrindinis jų formavimosi šaltinis yra požeminio vandens srūva iš D₃kp-s bei gruntinio vandeningųjų sluoksnių per kompleksą dengiančius silpnai laidžius darinius, siekianti 85750 m³/d ir formuojanti 89% gamtinių resursų kiekio. Likusią gamtinių resursų dalį formuoja požeminio srauto prietaka produktyviu kompleksu iš su tyrimų rajonu besiribojančių teritorijų (šoninė prietaka). Pagal modeliavimo rezultatus, eksploatuojant vandenvietę 4000 m³/d prognoziniu debitu, pagrindinis išteklių formavimosi šaltinis yra komplekso produktyviaja viršutine dalimi į vandenvietės kaptazo sritį atitekantis požeminio vandens srautas – jo prietakos padidėjimas ir nuotėkio sumažėjimas formuoja 85% išgaunamo vandens kiekio, kitų šaltinių indėlis yra nedidelis.

Modeliavimo metodais, įskaitant sąveiką su gretimomis vandenvietėmis, nustatyta Rokiškio vandenvietės apsaugos zoną sudaro tik dvi - pirmoji (griežto režimo) ir antroji (mikrobinės taršos apribojimo) juostos. Griežto režimo juostai siūloma prilyginti dabartinę vandenvietės teritoriją, o apsaugos zonos antrąją juostą nubrėžti 110 m atstumu, t.y. vyraujančiu 200 parų kaptazo srities dydžiu, aplink griežto režimo juostą.

SUMMARY

VILNIUS UNIVERSITY FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES

Modestas Kartenis

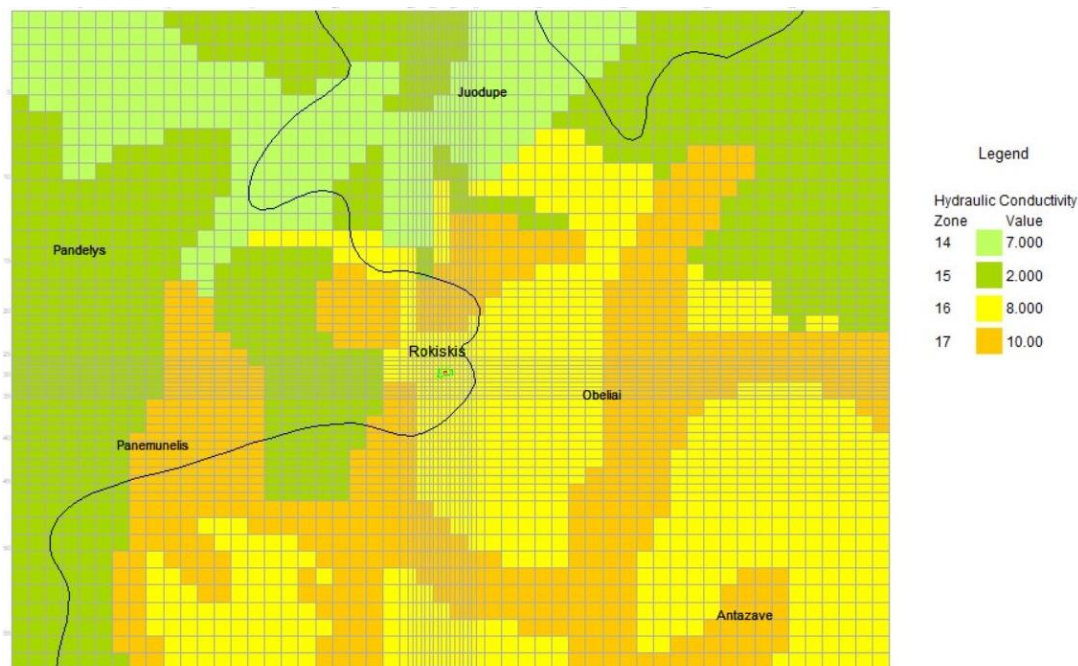
ASSESSMENT OF THE PROTECTION ZONE OF ROKIŠKIS CITY WELLFIELD USING MATHEMATICAL MODELLING METHODS

In the master's thesis, utilizing archival materials from the Lithuanian Geological Survey's database, including reconnaissance, groundwater resource assessment, and mathematical modeling data of Rokiškis city and other major water intakes in the district, a mathematical model of the subsurface hydrosphere in the Rokiškis area was developed. This model was created by analyzing and supplementing the data with information from new boreholes drilled into the Šventoji-Upninkai complex over the past decade. It was used to solve the main tasks of the work: refining the filtration parameters of the Šventoji-Upninkai complex exploited at the water intake; determining the predictive catchment areas and protection zones of the Rokiškis water intake, considering the hydrodynamic interaction with adjacent water intakes; and identifying the natural resources of the Šventoji-Upninkai complex in the Rokiškis area and the sources of groundwater resource formation at the water intake.

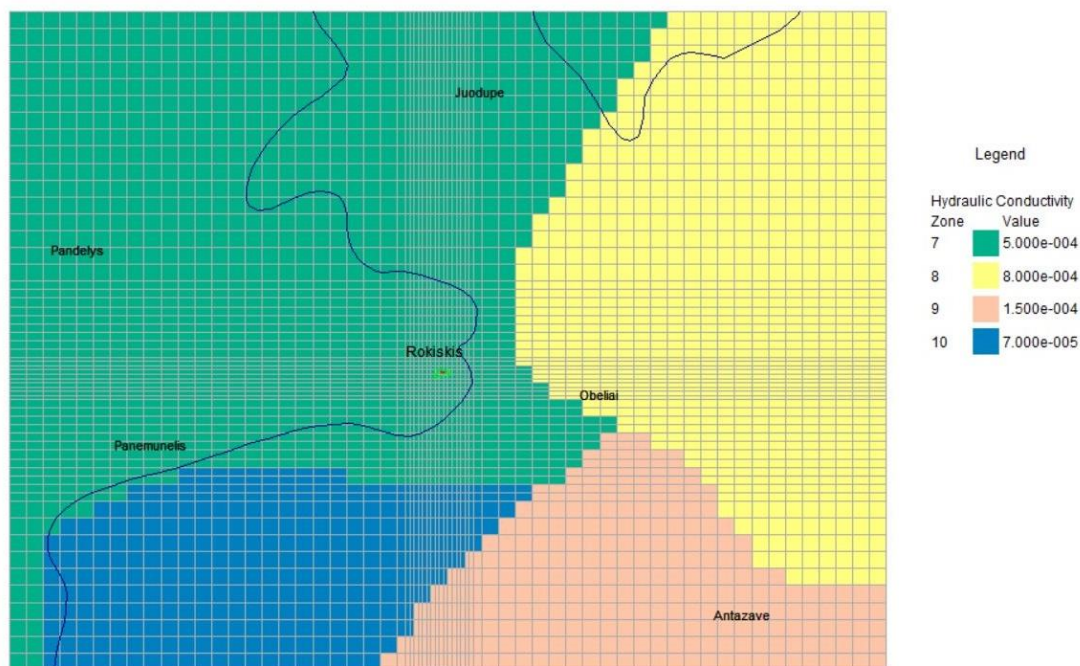
The modeling determined that the filtration coefficient of the upper part of the Šventoji-Upninkai complex near Rokiškis is 4.8 m/d (with a water permeability coefficient of 390 m²/d), and for the lower part, it is 2.3 m/d (with a water permeability coefficient of 150 m²/d). The modeling results show that the majority of the study area (about 60%) is in the recharge area of the Šventoji-Upninkai complex. The complex is characterized by significant natural resources, amounting to 96,200 m³/d (16.72 mm/year, with a resource module of 0.53 l/s per km²). The main source of their formation is the groundwater flow from D3kp-s and the weakly permeable formations covering the groundwater layers of the complex, reaching 85,750 m³/d and forming 89% of the natural resources. The remaining portion of the natural resources is formed by lateral inflow of groundwater from neighboring areas bordering the study area. According to the modeling results, when operating the water intake at a predictive rate of 4,000 m³/d, the primary source of resource formation is the groundwater flow entering the catchment area through the productive upper part of the complex – the increase in its inflow and the decrease in outflow form 85% of the extracted water quantity, with the contribution from other sources being minimal.

The protection zone of the Rokiškis water intake, established through modeling methods, including interaction with adjacent water intakes, consists of only two zones - the first (strict regime) and the second (microbial contamination restriction) zones. It is proposed to equate the strict regime zone to the current territory of the water intake, and to draw the second protection zone at a distance of 110 m, which is the prevailing size of the 200-day catchment area, around the strict regime zone.

MODELYJE UŽDUOTOS FILTRACIJOS KOEFICIENTO VERTĖS



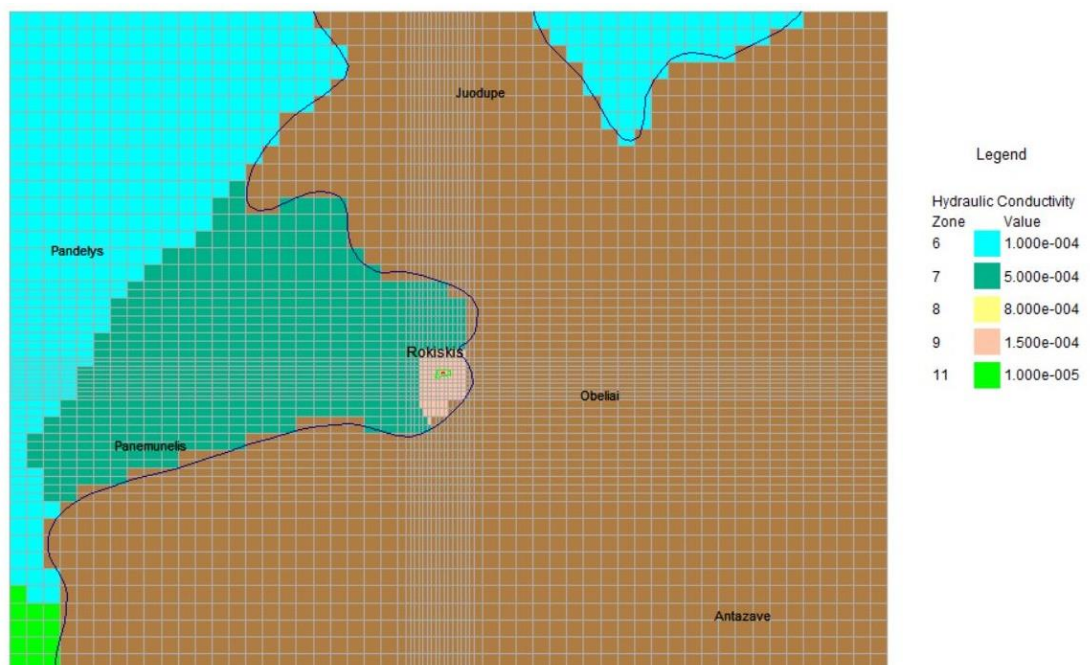
Modelyje užduotos gruntinio vandeningojo sluoksnio filtracijos koeficiento vertės



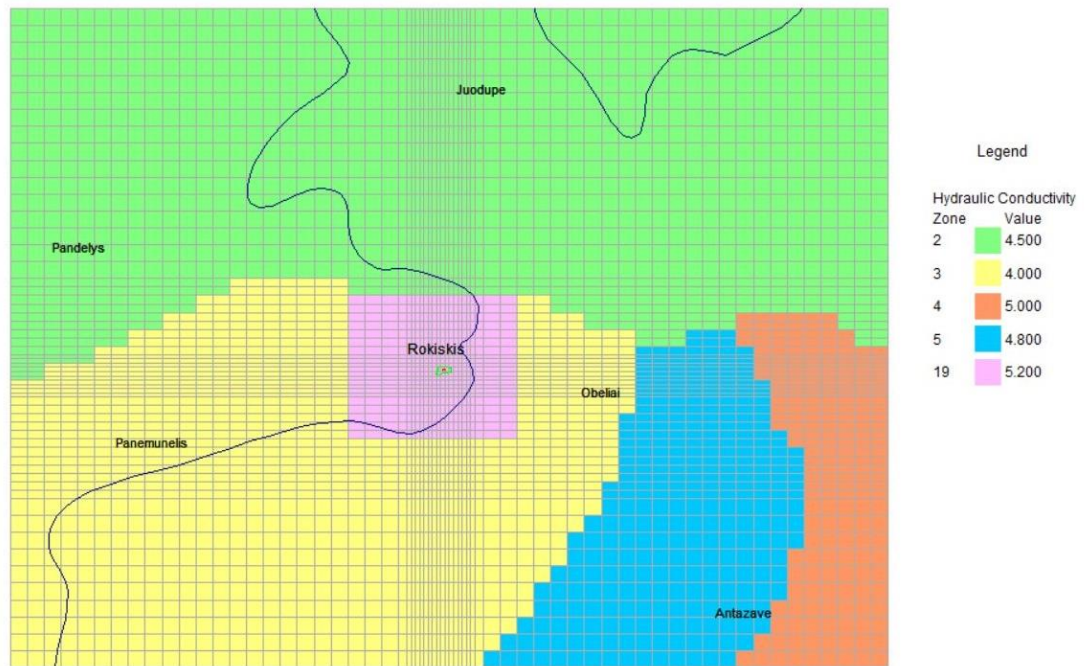
Modelyje užduotos vandeniui silpnai laidžių darinių, skiriančių gruntinį ir žemiau slūgsančius vandeninguosius sluoksnius, filtracijos koeficiento vertės



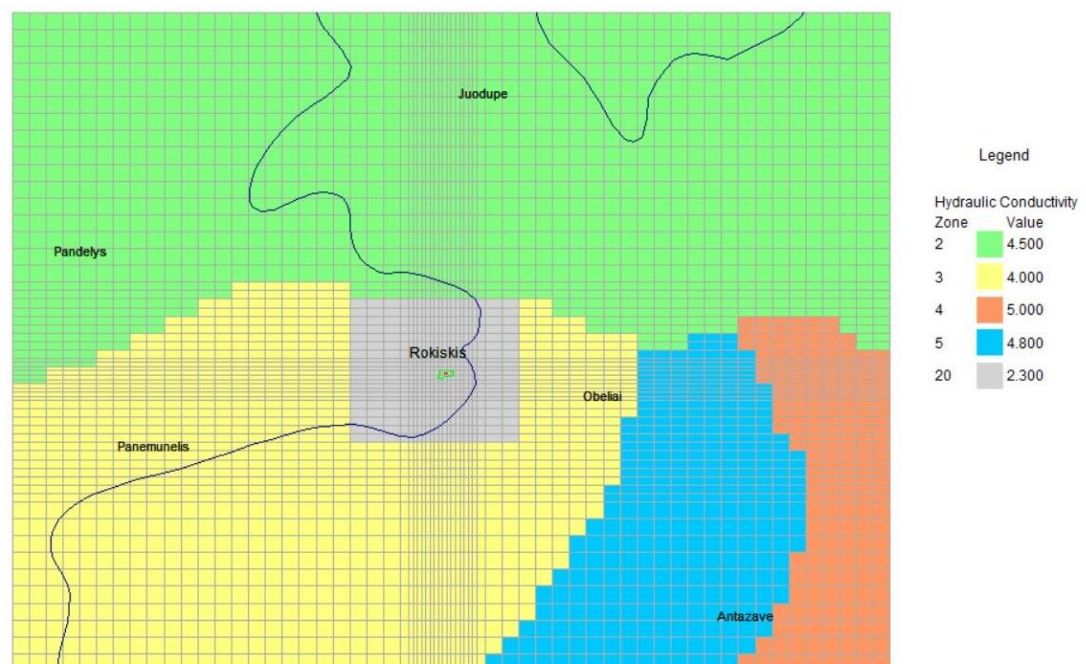
Modelyje užduotos Kupiškio-Suosos vandeningojo sluoksnio filtracijos koeficiento vertės



Modelyje užduotos vandeniui silpnai laidžių darinių, skiriančių Kupiškio-Suosos ir Šventosios-Upninkų vandeninguosius sluoksnius, filtracijos koeficiento vertės



Modelyje užduotos Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso viršutinės dalies filtracijos koeficiento vertės



Modelyje užduotos Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso apatinės dalies filtracijos koeficiento vertės