



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

KĘSTUTIS SURDOKAS
HIDROGEOLOGIJOS IR INŽINERINĖS GEOLOGIJOS STUDIJŲ PROGRAMA
Magistro baigiamasis darbas

**Šiaurės Lietuvos karstinio rajono individualių vandens tiekimo
sistemų įrengimo ypatumai**

Darbo vadovė
dr. doc. Jurga Arustienė

Vilnius, 2021



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

KĘSTUTIS SURDOKAS
HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY STUDY PROGRAM
Master degree

**Peculiarities of Installation of Individual Water Supply Systems in
the Karst District of Northern Lithuania**

Scientific adviser
dr. doc. Jurga Arustienė

Vilnius, 2021

TURINYS

ĮVADAS.....	4
1. KARSTINIŲ VANDENINGŲ SISTEMŲ (GIPSINIO IR DOLOMITINIO KARSTO) PAPLITIMAS EUROPOJE, JŲ VANDENS KOKYBĖ. VANDENS TIEKIMAS KARSTINUOSE RAJONUOSE, REGULIAVIMAS, VANDENS KOKYBĖS GERINIMAS.....	6
1.1 Karstinio reljefo formavimosi ypatumai	6
1.2 Karsto paplitimas Europoje	8
1.3 Karstinių vandeningų sistemų (gipsinio ir dolomitinio karsto) paplitimas Europoje, jų vandens kokybė.....	12
1.4 Vandens tiekimas karstiniuose rajonuose, reguliavimas, vandens kokybės gerinimas	15
2. TIRIAMOJO RAJONO (BIRŽŲ, PASVALIO, PANEVĖŽIO RAJONO SAVIVALDYBĖS ŠIAURINĖ DALIS) APIBŪDINIMAS	20
3. INDIVIDUALIŲ VANDENS TIEKIMO SISTEMŲ ĮRENGIMO KARSTINIAME RAJONE YPATUMŲ ĮVERTINIMAS	25
3.1 Vandens gręžinių įrengimo kaštų priklausomybė nuo geologinių-hidrogeologinių sąlygų.....	27
3.2 Karstinio rajono individualių gręžinių vandens cheminė sudėtis ir kokybė	31
3.3 Požeminio vandens gerinimo įrenginių parinkimo principai	44
3.4 Individualių ūkių vandens tiekimo pasirinkimo/patrauklumą lemiantys veiksniai. Gręžinių daroma įtaka karstui ateities perspektyvoje	46
IŠVADOS	49
SANTRAUKA	51
SUMMARY	53
LITERAŪROS SĄRAŠAS.....	55

IVADAS

Temos aktualumas. Gėlas požeminis vanduo – geriamojo vandens šaltinis. Požeminio vandens išteklių turi būti valdomi remiantis Europos bendrijos direktyvos dėl požeminio vandens apsaugos nuo taršos ir jo būklės prastėjimo (Tarybos direktyvos: 2000/60/EB; 2006/118/EB) nuostatomis, nurodančiomis, kad požeminio vandens išteklių kokybinė ir kiekybinė būklė turi būti stebima ir periodiškai įvertinama. Labai svarbus aspektas - žmogaus poveikis aplinkai. Jusel ir Burinskienė (2019) teigia, kad linijinė ekonomika, kuri buvo taikoma, lėmė, kad žmonijos poreikiai tapo didesni už planetos galimybes. Supratus tokios ekonomikos ribotumą, prasidėjo naujų ekonomikos galimybių paieškos. Šios paieškos atvedė prie žiedinės ir tvarios ekonomikos, kuri autorių teigimu, geriausias būdas spręsti susidariusias problemas, nes ekonomika, aplinkosauga ir socialinės dimensijos sudaro vieną visumą ir įtakoja viena kitą. Tai reiškia, kad ekonominė nauda nebus užtikrinta be aplinkosaugos, kaip ir aplinkosauga be socialinio suvokimo. Itin svarbi socialinė dimensija, kurios pagrindinis tikslas šviesti ir skatinti visuomenę domėtis aplinkosauginėmis problemomis ir prisidėti prie gamtos išsaugojimo ir tausojimo. Vyšniauskaitė (2019) pastebi labai svarbų postūmį ekonomikos ir aplinkosaugos sąsajose. Autorė mini 2019 metų Nobelio premijos laureatus Romerį ir Nordhausą, kurie sukūrė modelius leidžiančius ekonominę naudą, klimato kaitą ir technologinę pažangą pamatyti bendroje ryšių sistemoje ilgalaikėje perspektyvoje, o jų atlikti tyrimai rodo, kad suderinta gamtosauuga su ekonomika ilgalaikėje perspektyvoje yra naudinga. Tačiau pagrindinė problema ta, kad socialinėje terpėje tas suvokimas įsigali gana lėtai. Žmonių sąmoningumas nėra taip greit performuojamas kaip norėtųsi ir tai didžiausias gamtinių ekosistemų tausojimo trikdys.

Jau 2007 metais, remiantis tyrimų duomenimis buvo nustatyta, kad Biržų – Pasvalio požeminio vandens baseine, išskirtame aktyvaus karsto zonoje, vandens kokybė yra pažeidžiama, nes esama rizikos, kad požeminio vandens eksploatacija gali suaktyvinti karstinį procesą ir pabloginti požeminio vandens gamtinį apsaugojimą (Arustienė 2007). Dėl pasikartojančių sausringų vasaros-rudens sezonų, kuomet paviršinio vandens telkiniai ir gruntinio vandens sluoksnis nusenka, individualiam apsirūpinimui geriamuoju vandeniu gyventojai įsirengia gręžinius. Dėl ribotų finansinių galimybių dažniausiai gręžiniai įrengiami į karstėjančius Įstro-Tatulos ar kiek gilesnius Kupiškio-Suosos vandeningus sluoksnius. Toks pasirinkimas nėra palankus dėl dviejų priežasčių - vandens kokybės ir grėsmės karstinio proceso paspartėjimui.

Siekiant karstinių procesų stabilizavimo, be teisinio reglamentavimo įsikišimo, būtinas socialinis aspektas. Vandens gręžinių gylį žmogus renkasi daugiau atsižvelgdamas į ekonominę demenciją, tačiau jei būtų aiški ir žinoma ilgalaikė gamtosauginė ir ekonominė perspektyva, karstinio rajono apsaugą įgyvendinti, pasitelkus socialinę dimensiją, būtų daug paprasčiau.

Temos naujumas. Šiaurės Lietuvos karstinio rajono geologinės-hidrogeologinės sąlygos yra gerai iširtos. Didžiausias dėmesys yra skiriamas karstinio proceso monitoringui, kurio rezultatai skelbiami metinėse Lietuvos geologijos tarnybos ataskaitose. Tačiau naujų darbų, skirtų požeminio vandens kokybei ir skirtingų žmogaus veiklų poveikiui yra mažai. Tyrimų, skirtų individualių gręžinių, kurių skaičius per paskutinius šešerius metus karstiniame rajone padvigubėjo (ŽGR 2020 m. duomenys), įrengimo ypatumams ir ekonomikai aptikti nepavyko. Darbų, skirtų karstinio rajono pagrindinių vandeningų sluoksnių įvertinimui, geriamojo vandens vartotojo požiūriu, kurio pasirinkimą lemia daugiausiai ekonominiai svertai, taip pat nėra, kaip ir aplinkosauginio - socialinio konteksto darbų, kuriame būtų ieškoma sąsajų tarp karstinio regiono išsaugojimo ir socialinio sąmoningumo skatinimo.

Todėl tai ne tik aktuali bet ir nauja tema apimanti tiek karstinį procesą įtakojantį veiksnį – individualių gręžinių įrengimą ir požeminio vandens eksploataciją, tiek analizuojantis šio veiksnio platesnius padarinius – karsto aktyvėjimą, vandens cheminės sudėties kaitą, užterštumą ir kokybę.

Darbo tikslas – įvertinti Šiaurės Lietuvos karstinio rajono pagrindinių vandeningų sluoksnių slūgsojimo sąlygas ir vandens kokybę, lemiančias individualių vandens tiekimo sistemų pasirinkimo ypatumus.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvelgti Europos karstinių regionų paplitimą ir vandeningų sluoksnių vandens kokybę;
2. Aprašyti Europos vandens tiekimo ir gerinimo sistemas karstiniuose regionuose;
3. Įvertinti Šiaurės Lietuvos karstinio rajono pagrindinių vandeningų sluoksnių, naudojamų vandens gavybai geologines-hidrogeologines sąlygas;
4. Naudojantis vandens gręžinių įrengimo techniniais ir ekonominiais skaičiavimais, įvertinti individualių vandens gręžinių, įrengiamų į skirtingus vandeningus sluoksnius sąnaudas (kainą);
5. Įvertinti vandens, išgaunamo iš skirtingų vandeningų sluoksnių Lietuvos karstiniame rajone vandens kokybę, jos, gerinimo poreikį, technologijas, įrengimo ir eksploatavimo ekonominius skaičiavimus;
6. Atsižvelgiant į karstinio rajono vandeningų sluoksnių ypatumus pateikti rekomendacijas individualių vandens sistemų įrengimui atsižvelgiant į ateities aplinkosaugines perspektyvas.

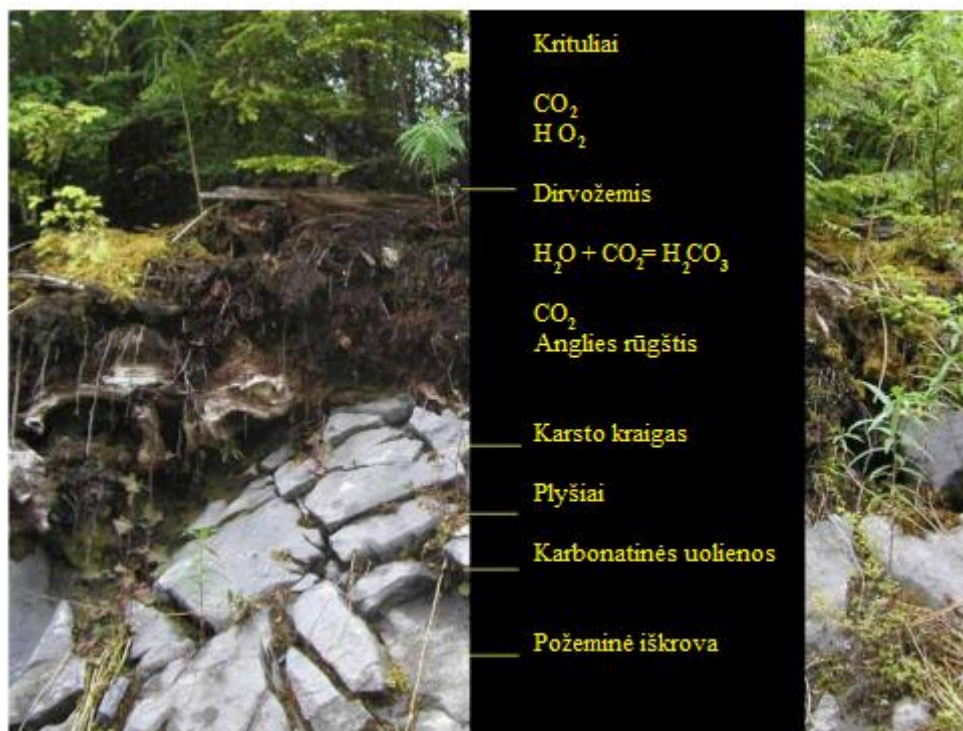
Informacijos šaltiniai. Darbas parengtas naudojantis ankstesnių tyrimų metu karstiniam rajonui sudarytais žemėlapiais ir schemomis, taip pat paties darbo autoriaus išanalizuotais ir susistemintais Žemės gelmių registre registruotų vandens gręžinių, įrengtų 2015-2020 m. hidrocheminių tyrimų duomenimis, įrengtų gręžinių ir vandens gerinimo sistemų ekonominiais duomenimis.

1. KARSTINIŲ VANDENINGŲ SISTEMŲ (GIPSINIO IR DOLOMITINIO KARSTO) PAPLITIMAS EUROPOJE, JŲ VANDENS KOKYBĖ. VANDENS TIEKIMAS KARSTINUOSE RAJONUOSE, REGULIAVIMAS, VANDENS KOKYBĖS GERINIMAS

1.1 Karstinio reljefo formavimosi ypatumai

Karstas, tai kraštovaizdžio tipas išsivystęs karbonatinėse uolienose (klintyse, dolomituose, marmure) arba evaporituose (gipse, anhidrite, akmens druskoje) ir yra apibūdinamas labai įvairiomis formomis – uždaromis paviršiaus depresijomis, gerai išvystytomis požeminio drenažo sistemomis. Karstiniam kraštovaizdžiui būdingas paviršinių drenažinių formų nebuvimas (Stankūnas 2008). Karstinis procesas – karstinio reljefo formavimasis, kurio pagrindinė sąlyga – tirpios uolienos (Gurskienė ir Ivavičiūtė, 2012). Tirpstančios uolienos, dažniausiai klintis, dolomitas, gipsas, tirpsta, kai paviršinis ir požeminis vanduo susiliečia. Ištirpusios uolienos pašalinamos su vandeniu ir atsiranda tuštumos, kurios prisipildo gruntinio vandens ir lemia karstinio reljefo susidarymą.

Karstas yra bendras griovelių, įtrūkimų ir urvų susidarymo terminas, kurį sukelia cheminis ir fizinis vandens poveikis tirpioms uolienoms, įskaitant karbonato sluoksnius (klinčių ir dolomitų), sulfato sluoksnius (gipso) ir halogeno sluoksnius (akmens druska) bei šių reiškinių sukeliama reiškiniai (Stokes, Griffiths, ir Ramsey 2010). Karstas yra anglies apykaitos proceso sudėtinė dalis (1 pav.).



1 pav. Karsto formavimosi procesas. Šaltinis: Stokes, Griffiths, ir Ramsey (2010)

Šiame procese lietus patenka iš atmosferos į dirvožemį ir įsisavina anglies dvideginį (CO₂). Lietaus vanduo su CO₂ sudaro silpną angliavandenilių tirpalą (H₂O + CO₂ = H₂CO₃). Tai silpnai rūgštus vanduo, toks vanduo pamažu ištirpina uolieną ir sukuria didesnes angas ar kanalus, vandeniui tekėti. Ištirpintų karbonatinių mineralų iškritimas savo ruožtu išlaisvina CO₂. Daugelyje karstinių vietovių CO₂ emisijos yra susiję su klintinio tufo (travertino) formavimusi šaltinių iškrovose žemės paviršiuje (Stankūnas 2008). Tai dažniausi humidinės¹ srities reiškiniai, nors karstinis procesas yra siejamas ir su kita rūgštimi – sieros. Dažnai šie procesai susiformuoja aridinėse srityse (sausos ir karšto klimato), kur H₂S talpinantis požeminis vanduo kyla iš didesnių gylių ir patenka į oksidacinę zoną, kur susiformuoja sieros rūgštis, kuri gali formuoti didžiules olas, tokias kaip Karlsbado Kavernos Naujajame Meksike (Stankūnas 2008).

Mechaniniai procesai, tokie kaip srauto korozija (šlifavimas), vamzdynai po gruntu, gręžiniai ar kita intervencija turi reikšmės karsto formavimosi greičiui. Tai kad, hidraulinė intervencija turi reikšmės karsto formavimuisi teigia ir Pavel Bosák (2018). Jo teigimu, naujos energijos įvedimas (hidraulinė galvutė), ar intervencija trikdanti ar keičiant natūralius procesus, gali sukelti karstifikacijos aktyvumą. Stankūnas (2008) teigia, kad pagrindinę įtaką karsto formavimuisi turi įvairi žmogaus veikla (1 lentelė).

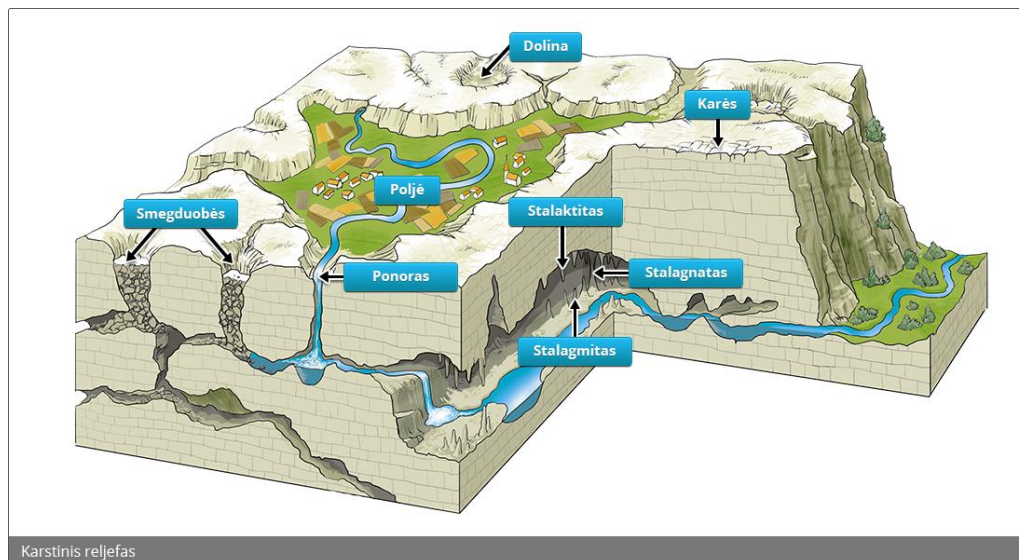
1 lentelė. Įtaka karstiniam procesui.

Įtakojantis veiksnys	Poveikio forma	Poveikis
Žemėnaudos kitimas	Miškų iškirtimas, sąvartynų įrengimas, urvų angų uždarymas ar atidengimas	Nuosėdų kaupimasis, speleotemų formavimasis, požeminio vandens kokybė
Žemdirbystė	Gyvulių ganymas	Suaktyvino karsto procesą
Hidraulinė intervencija	Požeminio vandens intensyvus siurbimas ir vandens lygio bei slėgio sumažėjimas	Smegduobių formavimasis. Karstifikacijos aktyvinimas
Komunikaciniai tinklai	Vamzdynai, gręžiniai	Karstifikacijos aktyvinimas

Sudaryta remiantis: Pavel Bosák (2018) Stankūnas (2008)

Taip pat šio proceso greičiui įtakos turi uolienu rūšis ir grynumas (Stokes, Griffiths, ir Ramsey 2010).

¹ **humidinė sritis.** Drėgno klimato sritis, kurioje krituliai viršija išgaravimą („Humidinė Sritis“ 2008).



Karstinis reljefas

2 pav. Vandens migracija karstiniame reljefe. Šaltinis: Karstiniai Reiškiniai Lietuvoje ir Europoje (2013)

Lietuvos karstinio reljefo areale išskiriamos dvi zonos: aktyvaus karsto ir senojo karsto (Česnulevičius 2011). Dvi zonos išskiriamos dėl skirtingo jo formavimosi laikotarpio. Senasis karstas vyko prieš ledynmečio, ledynmečio ir tarp ledynmečio laikotarpiais („Šiaurės Lietuvos karstinis regionas“, 2019). Senasis reljefas – tai plokščia lyguma su lėkštomis negiliomis daubomis (Česnulevičius 2011). Aktyvaus karsto zonoje gausu stačiašlaičių smegduobių, tačiau šlaitų lėkštėjimo procesai čia gana intensyvūs. Naujesnių įgriuvų Lietuvoje suskaičiuota apie 10 tūkstančių (2018), iš viso jų esama net apie 15 tūkstančių. Naujų smegduobių atsiradimas byloja apie karstinio proceso suaktyvėjimą („Šiaurės Lietuvos karstinis regionas“, 2019). Visas karstinis reljefas priskirtas banguotai lygumai (Česnulevičius 2011).

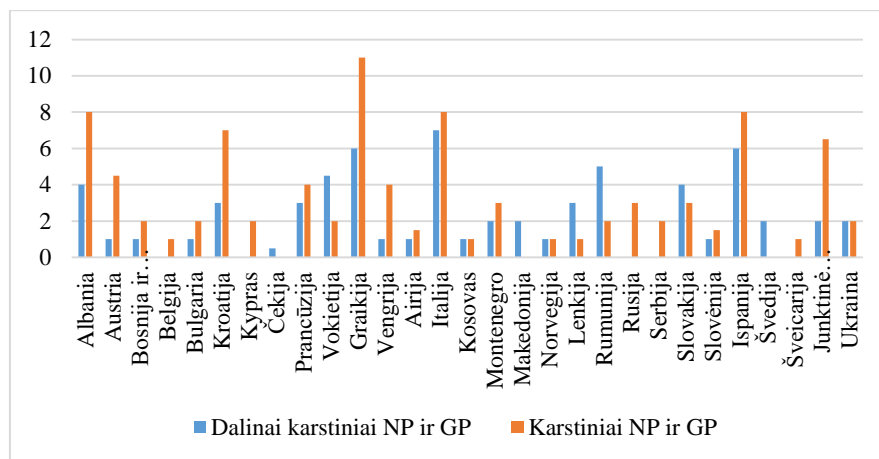
Karsto reljefą Joviā (2006) siūlo klasifikuoti taip: holokarstą, merokarstą, fluviokarstą, tropinį karstą, aridinį ir glacialinį karstą. Karstas taip pat gali būti skirstomas pagal savo morfologinę padėtį.

1.2 Karsto paplitimas Europoje

Kaip jau buvo minėta (žiūr. 1.1 skyrių) karstas susidaro dėl tirpių uolinių. Bakalowicz (2017) teigimu karstiniai dariniai greičiausiai ir daugiausiai paplitę ten kur yra karbonatinės, klinčių ir dolomito uolienos. Pasauliniu mastu šie dariniai užima 12-15 proc. viso žemynų paviršiaus (Bakalowicz, 2017). Williams (2008) teigia, kad tikslaus užimamo ploto procento nustatyti negalima ne dėl sparčios jo kaitos, nes autoriaus teigimu karsto pakitimus galima stebėti praėjus ne mažiau kaip šimtmečiui, tačiau dėl dar nežinomo požeminių karbonatinių uolinių, kurios dalyvauja karsto procese, paplitimo. Williams (2008) teigia, kad karbonatinių uolinių atodangos žemės paviršiuje,

neįskaičiuojant apledėjusių plotų, sudaro 15 milijonų kvadratinų kilometrų. Tai sudarytų 11 proc. žemės paviršiaus ploto, tačiau įvertinus požemines karbonatines uolienas, dalyvaujančias karstiniame procese, šis plotas išauga iki 14-15 proc.

Europoje šių darinių paplitimas yra dar didesnis ir remiantis paskutiniais moksliniais tyrinėjimais sudaro apie 21,6 proc., nes (Telbisz ir Mari, 2020) būtent tiek Europos žemės paviršiaus sudaro karbonatinės uolienos. Autoriaus teigimu šiuo metu labai populiarus karstinis turizmas, o dėl to, kad karstiniai regionai netinkami žemės ūkio ar industriniai veiklai, jų panaudojimas turizmui gana nebloga išėitis. Todėl Europoje yra įsteigti 461 nacionaliniai parkai, kurių bendras plotas siekia 280730 km², iš kurių 106 yra karstiniai ar iš dalies karstiniai (3 pav.).



3 pav. Karstiniai ir daliniai karstiniai nacionaliniai ir gamtos parkai Europoje. Sudaryta remiantis: Telbisz ir Mari (2020)

Daugiausiai NP (nacionalinių parkų) ir GP (gamtos parkų) susijusių su karstu turi Graikija, Albanija, Ispanija, Italija, Kroatija ir Jungtinės karalystės (žiūr. 3 pav.), tačiau Telbisz ir Mari (2020) nagrinėja tik nacionalinius ir gamtos parkus, o vien pagal juos negalima spręsti apie karsto paplitimą, nes kai kurios šalys, tarp jų ir Lietuva tokių parkų nėra sukūrusios, nors karstinių teritorijų taip pat turi. Williams (2008) teigia, kad Ispanija ir Prancūzija pasižymi karstinių regionų gausa. Ispanijoje yra žinomos daugiau nei 30000 karstinės erdmės iš kurių yra keletas urvų, kurių gylis viršija 1000 m. Didelis karsto paplitimas yra ir Viduržemio jūros pakrantėse. Drew (2008) teigia, kad Airijoje karstas vyrauja kalnų ir plokščiakalnių teritorijose. Žemumose esantys karstiniai vandeningi sluoksniai yra nedideli, tačiau plačiai išsibarstę. Drew (2008) teigia, kad Airijoje beveik visi karbonatiniai sluoksniai karstizavosi, nes 80-85 proc. atodangų plotų užfiksuoti karstinis drenažas ar karstinis reljefas. Kadangi karbonatinės nuogulos užima daugiau nei 30000 km² Airijos respublikos paviršiaus ploto, tai visa ši teritorija sąlyginai gali būti laikoma karstine, nors Drew (2008) teigimu ne visur karstifikacijos lygis yra vienodas. Parise, Qiriazzi, ir Sala (2004) teigia, kad net 23 proc. Albanijos teritorijos sudaro tirpios uolienos. Būtent šioje teritorijoje ir vyksta karstiniai procesai. Galima pažymėti kad Albanijoje

karstinės uolienos nėra vien tik karbonatai, labai paplitę evaporitai, kurie taip pat įtakoja karsto susiformavimą (Parise, Qiriazzi, ir Sala, 2004). Tičar ir Ribeiro (2018) teigia, kad Slovėnijoje karsto teritorija užima 8800 km². Labiausiai karstas Slovėnijoje paplitęs Alpių teritorijoje. Aukštos plynaukštės su upių slėniais beveik plikos, jose nėra augmenijos. Čia karstai sudaro net urvų sistemas. Yra žinoma 24 km urvų sistema. Slovėnijoje karstas formuojasi dėl klinties ir dolomito tirpimo ir yra skirstomas į tris tipus: alpių, dinaro ir izoliuotą (Blatnik et al. 2019). Austrijoje kalnuose taip pat susidariusios didelės karstinės sistemos. Čia karsto formavimąsi lemia klinties sluoksniai, rečiau dolomitas ir dar rečiau evaporitai (Christian ir Spötl 2010). Mihevc et al. (2016) teigia, kad Slovėnijoje esantis karstas išsivystęs klintyse ir dolomituose, užima 8800 km² plotą. Alpių kartinis kraštovaizdis sudarytas iš transformuotų plokščiakalnių, kuriuos skiria upių slėniai. Aukštos plynaukštės yra plikos karstinės vietovės, kuriose beveik nėra augmenijos ir dirvožemio. Šiose srityse gausu kritulių ir didelių sniego dangų.

Kadangi Alpės tęsiasi ir kitų šalių teritorijoje (Prancūzijoje, Vokietijoje, Šveicarijoje, Italijoje, Švedijoje), tai visų šių šalių karstinis formavimosi procesas yra panašus ir susijęs su kalnais, bei juose esančiais klinčių sluoksniais. Armėnijoje karstiniai procesai fiksuojami kalnuotose vietovėse. Kalnai įtakos turėjo ir Graikijos karstų formavimuisi. Katsanou (2018) teigia, kad beveik trečdalis Graikijos teritorijos yra karstinė, neš šioje teritorijoje vyrauja mezozojaus karbonatiniai dariniai, tam įtakos turi Alpės. Aplės, o tiksliau jų Dinarų kalnynas turi įtakos Bosnijos ir Hercegovinos bei Kroatijos karstiniam procesams. Kalų teritorijoje vyrauja klintys ir gipsas, kuris sąlygoja karstų formavimąsi (Bonacci, Zeljkovic, ir Galić 2012). Makedonija – Graikijos kaimynė, todėl nenuostabu, kad dolomitinis marmuras ir marmuras dominuoja ir šioje šalyje. Dėl šių uolienu Makedonijoje formuojasi karstas, kuris užima 12 proc. šalies teritorijos (Temovski 2017).

Gasparyan (2009) teigė, kad dar tikrai neatrastos visos olos ir urvai, tam reikalingi platesni tyrimai, tačiau ir taip Armėnijos kalnuose gausu karstinių urvų, o jų formavimosi priežastis – klintis ir dolomitas. Kaukazo kalnai, kurie yra ne tik Armėnijoje, tačiau ir dalyje Rusijos, Gruzijos, Azerbaidžano, Turkijos ir Armėnijos įtakoja karstinius procesus šiuose regionuose. Ekmekç (2005) teigia, kad Kaukazo kalnų masyvuose dominuoja klintys, kuriose ir formuojasi karstas.

Delaby (2001) teigia, kad Belgijoje pagrindiniai karstiniai procesai pastebimi kalnuotose vietovėse. Pagrindas joms formotis yra klintys, Didžiausias Belgijos karstinis urvas yra devono klinčių juostoje. Tunguz ir Dindaroğlu (2019) analizuodami Bosniją ir Hercegoviną svarbiausius karstinius darinius aptinka kalnuotose vietovėse, kur dolomitas yra pagrindinė karstinio proceso susidarymo priežastis. Bosnijoje ir Hercegovinoje yra Vjetrenica urvas, kuris įtraukas į UNESCO paveldo sąrašą. Karsto ekosistema yra šalies pietuose ir pietvakariuose (sausas dolomito plynaukščių regionas). Dažnai tai smėlio kopos ar pilkas dirvožemis, rečiau padengtos aliuviniu dirvožemiu tinkamu

žemdirbystei. Adrijos jūros regionui būdingi karstai. Šiam regionui priklauso ne tik Albanija, Bosnija ir Hercegovina, Kroatija, Italija, Slovėnija, bet ir Juodkalnija. Požeminių karstinių kanalų tinklas išsidėstęs palei visą Adrijos jūros pakrantę. Ten vyrauja klintis, kuri sąlygoja karstinių įdubų formavimąsi (Sekulić ir Radulovic 2019). Beron (2007) teigė, kad 22,7 proc. Bulgarijos teritorijos yra priskiriamas karstiniams, kurioje aptikta virš 5000 urvų ir įdubų.

Pietų Ukraina yra ant gipso juostos, kuri eina iš šiaurės į pietryčius ir tęsiasi apie 300 km. Juostos plotis svyruoja nuo 40 iki 80 km. Ši juosta yra pagrindas kartiniams procesams formotis, Karpatuose karstiniai procesai susiję su klintimi (Klimchouk 1996). Karpatai apima tokias šalis kaip: Čekija, Slovakija, Lenkija, Vengrija, Ukraina, Rumunija ir Serbija. Nováková (2009) teigia, kad šiame kalnų masyve karsto formavimuisi taip pat įtaką turi klintis. Rumunijoje pastebima mezozojaus klintis ir kreidos argilitai (Marin et al. 2015). Gessert (2016) Patvirtina, kad kalnų masyvai nulemia šalių karsto formavimosi panašumus. Marmurinė klintis aptinkama ne tik Serbijoje, bet ir Kosove, kuri tęsiasi kalnų masyvuose. Kosove kaip ir kitose kalvotose apylinkėse karstiniai procesai daugiausiai vystosi iš pirminių įtrūkimų karbonato dariniuose, o besiskverbdamas vanduo sukelia antrinius uolienų lūžius ir uolienų plyšius (Avdullahi et al. 2013).

Slovakijoje, kur karsto plotas siekia daugiau nei 800 km², jis tęsiasi iki Vengrijos, kur karstiniai procesai kalnuose panašūs. Rusijoje įtaką karstui turi Uralo kalnai. Tolmachev (2013) teigia, kad Rusijoje Uralo regionuose karstai kelia didžiausią pavojų, nes jų teritorijoje 90 proc. sudaro karstai. Tarp pavojingų regionų patenka Nižnij Novgorod, Tula, Permė ir k.t. Kitose teritorijose karstas užima iki 30 proc. teritorijų. Čia karsto formavimuisi įtakos turi gipsas, kurio juosta tęsiasi ir Ukrainoje (Andrejchuk 1996). Norvegijoje juostinės karsto zonos stebimos kalnuotose vietovėse. Ten vyrauja klintis, kuri sudaro sąlygas karstams formotis. Norvegijoje gausu karstinių urvų, jų skaičius viršija 600 Skoglund ir Lauritzen (2017). Jungtinėje karalystėje galima aptikti penkių pagrindinių kalkinių uolienų rūšis, tai: dolomitas, klintis, kreida, gipsas ir druskos. Anglijoje ir Velse, Jorke vyrauja klintis, šiaurės rytų Anglijoje vyrauja dolomitas. Kreida paplitusi visoje Anglijoje, pietinėje šalies dalyje ji yra minkštesnė nei šiaurinėje. Gipso karstai, kurie yra apie 3 km pločio ir 100 km ilgio juostoje nusidriekę šiaurės rytų Anglijoje ir įtakoja gipso karstus šiame regione. Druskos sluoksnius galima rasti Triaso sluoksnyje šiaurės rytų Anglijoje (Cooper, Farrant, ir Price 2011).

Portugalijoje būdingos paleozojaus, mezozojaus ir kenozojaus karbonatinės uolienos. Dėl marmuro, dolomitinės klinties, mineralinių nuosėdų ir klinties stebimi karstiniai ir paleo karstiniai reiškiniai (Cunha ir Dimuccio 2008).

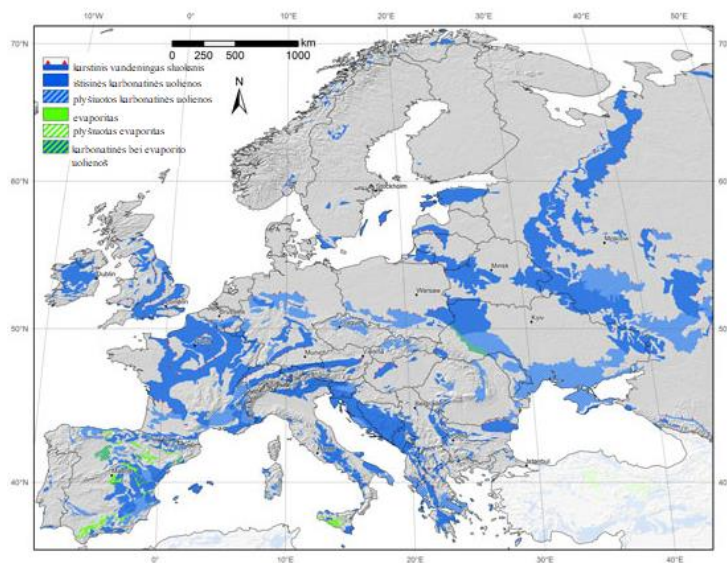
Pabaltijo šalyse karsto procesai nėra visiškai identiški. Karstų formavimuisi Estijos šiaurėje (Tuhalos karsto zona) įtakos turi klintis (Koit 2016). Latvijoje taip pat yra smegduobių, karsto šachtų, žemės nusėdimų. Didžiausiais smegduobių tinklas siekia 138 km². Jis yra Skaistkalnės apylinkėse,

kur yra net 13 smegduobių. Šis regionas yra pietinėje Latvijos dalyje, tai Lietuvos Latvijos pasienis ir yra Baltijos šalių regiono gipso karsto dalis, kuri tęsiasi į pietus ir ryškiausias yra Lietuvos teritorijoje (Tracevska 1988 m.).

Karstiniai reiškiniai Šiaurės Lietuvoje išplitę Biržų, Pasvalio, Panevėžio ir Radviliškio rajonuose, kurie sudaro daugiau nei 10 proc. Lietuvos teritorijos, o intensyvi karstinė zona apima 29,4 tūkst. ha Biržų ir Pasvalio rajonuose. Vien naujesnių įgriuvų (smegduobių) Lietuvoje suskaičiuota daugiau nei 8500, o iš viso jų esama net apie 15 tūkstančių. (Lietuvos Respublikos ir žemės ūkio ministro įsakymas, 2015).

1.3 Karstinių vandeningų sistemų (gipsinio ir dolomitinio karsto) paplitimas Europoje, jų vandens kokybė

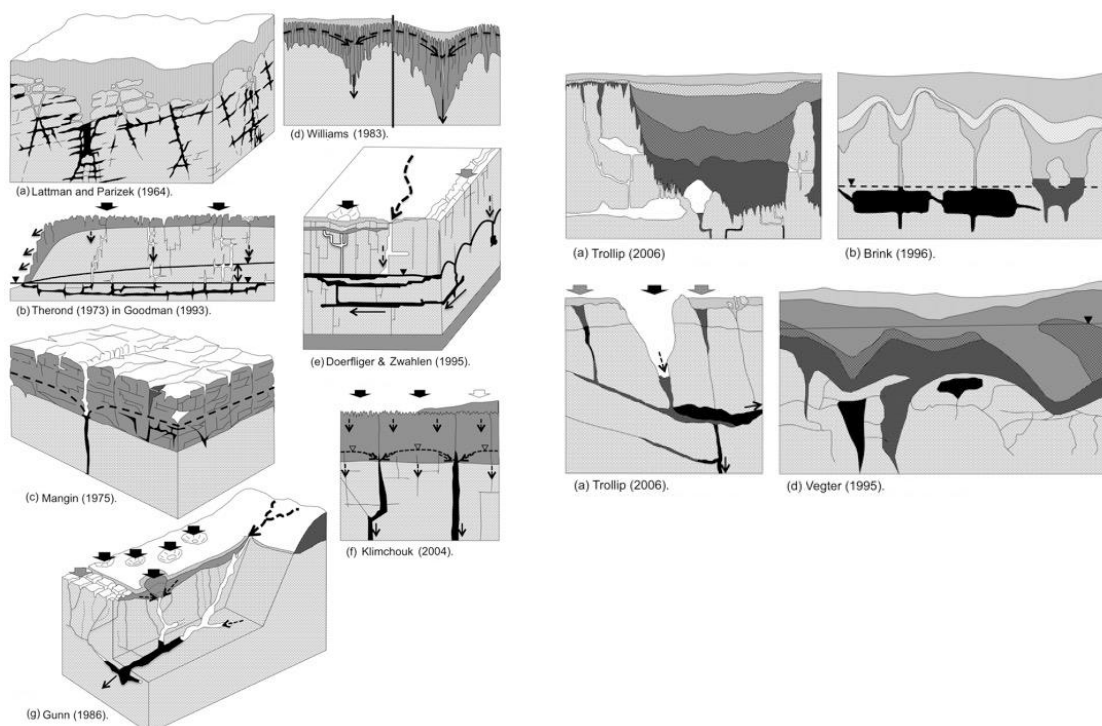
Karstiniai reiškiniai susiję su vandeningu sluoksniu, kuriame kaupiasi ar cirkuliuoja požeminis vanduo. Tai dažnai yra puikus ir labai ypatingo požeminio vandens rezervuaras (Bakalowicz 2017). Pasaulio karstinių vandeningų sluoksnių žemėlapyje matyti, kad didžiausi gėlo vandens resursai yra susikaupę karsto sluoksniuose (4 pav.).



4 pav. Europos karstinio vandenes resursai. Šaltinis: Bakalowicz 2017

Didžiausi karstinio vandens sluoksniai susiformavo karbonatinėse uolienose, bei evaporitų turinčiuose uolienų sluoksniuose. Evaporitų karstines sistemas sudėtingiau panaudoti kaip tiesioginius geriamojo vandens šaltinius dėl didesnių sulfatų koncentracijos juose (Ford ir Williams 2007). Kalnuotose vietovėse ypatingai trūksta geriamojo vandens. Wang et al. (2020) teigia, kad kalnuotuose regionuose kas penktas žmogus turi naudoti karstinio regiono geriamojo vandens resursus. Hilberg ir Schneider (2011) teigia, kad Alpių regione karstinio vandens naudojimas yra populiarus. Porėtas ir

pralaidus dirvožemis lemia karstinio vandens kaupimosi laiką, kuris geriamojo vandens telkiniuose tokiose vietovėse yra gana trumpas, todėl jiems būdinga didelė paviršinė tarša. Pastebėta, kad paviršinė tarša per smegduobes patenka į požemį, todėl aplinkos tarša turi didžiulį poveikį požeminio vandens kokybei (Wagner 2013). Didesne dalimi ji susijusi su žemės ūkiu ir pramonine veikla tokiuose regionuose. Porėtas paviršinis sluoksnis dažnai būna neprisotintas kritulių ir būtent dėl šios priežasties vanduo esantis šioje zonoje būna labiausiai užterštas. Ši zona siejasi su dirvožemiu, bei pereina į gilesnius sluoksnius, kur formuojasi požeminio vandens telkiniai Dippenaar, van Rooy, ir Diamond (2019). Skirtingi autoriai pateikia skirtingus epikarsto modelius, kuriuose aiškiai matyti vandens prasiskverbimas per porėtąjį sluoksnį į gilesnius sluoksnius, kurie vėliau formuoja gėlo vandens šaltinius (5 pav.).



5 pav. Konceptiniai karstinių sistemų modeliai. Šaltinis: Dippenaar, van Rooy, ir Diamond (2019)

Šie modeliai (žiūr. 5 pav.) ne tik parodo paviršinio vandens prasiskverbimą, bet ir jo kaupimąsi viršutiniame sluoksnyje. Būtent šis vanduo būna daugiausiai užterštas biologiniais teršalais bei sulfatais. Priklausomai nuo aplink esančių tirpių uolienujų jo sudėtis skverbiantis gilyn kinta prisotinant jomis (Dippenaar, van Rooy, ir Diamond, 2019).

Autorių teigimu karstinis vanduo, ypač esantis paviršiniuose sluoksniuose, gali turėti įtakos gretutiniams vandeningiems sluoksniams, viskas priklauso nuo sluoksnių pralaidumo. Dažniausiai karstinio vandens kokybė analizuojama dviem aspektais iš biologinės ir cheminės pusės. Biologinis vandens užterštumas yra ne mažiau pavojingas nei cheminis. Wang et al. (2020) apžvelgtas Vokietijos

karstiniuose regionuose darytas tyrimas parodė, kad E. Coli bakterijų lygis mėginiuose leistiną ribą geriamam vandeniui viršijo 103-104 kartus. Tai parodo karstinio vandens pažeidžiamumą, teršalai ne tik kaupiasi karstiniame vandenyje, bet yra jo pernešami, todėl jų galima aptikti visur kur tik prasiskverbia karstinis vanduo. Johnson (1985) analizuodamas dolomitiniuose sluoksniuose susidariusius gėlo vandens resursus teigia, kad jame ištirpusių kietųjų medžiagų kiekis svyruoja nuo 1500 iki 6000 mg/l. Autoriaus teigimu pagrindiniai tokio vandens komponentai yra kalcis, sulfatai ir karbonatai. Būtent tokią vandens sudėtį nulemia gipso ir dolomito sluoksniai iš kurių išgaunamas vanduo. Johnson (1985) pažymi, kad toks vanduo yra labai mineralizuotas ir nėra tinkamas vartoti žmonėms, nebent regionams drėkinti, tačiau didelio kiekio vandens vartojimas turi įtakos karsto formavimuisi. Norint tokį vandenį vartoti kaip geriamąjį žmonėms, reikalingi efektyvūs valymo įrenginiai. Wagner (2013) pastebi, kad negilių karstinių regionų gręžinių ar šulinių vanduo nėra saugus. Jo sudėtis labai priklauso nuo paviršiaus vandens kokybės, todėl vartojamas gali būti tik po filtracijos.

Panno ir Kelly (2015) teigia, kad vandens kokybė kinta priklausomai nuo šulinio (gręžinio) gylio. Arti žemės paviršiaus esančiame sluoksnyje vanduo pasižymi dideliu užterštumu sulfatais, nitratais, tai gilesniuose gręžiniuose vandens cheminė sudėtis yra kitokia. Autorių teigimu dolomitinio sluoksnio vandens pH vertė turėtų būti apie 7,5, Mg/Ca santykis – apie 0,623, tačiau esant plonam klinčių sluoksniui ši koncentracija gali būti kur kas mažesnė. Kalcio ir dolomito koncentracijos kitimas vandenyje gali rodyti tiek gręžinio gylį, tiek ir nenutrūkstamą karstifikacijos procesą. Svarbu pažymėti tai, kad gilesniuose gręžiniuose nitratų, sulfatų ir kitokių paviršiaus teršalų beveik neaptinkama, taip pat ten daug mažesnė ir kalcio koncentracija.

Vandeningojo sluoksnio filtracinės savybės priklauso nuo jų sudarančių uolienuų plyšiuotumo, kaveringumo, sukarstėjimo ir tuštumų užpildymo dolomitiniais miltais laipsnio. Bonacci (2015) taip pat pažymi, kad požeminio vandens cirkuliacija karsto vandeninguose sluoksniuose skiriasi priklausomai ir nuo ne karstinių sluoksnių savybių. Vanduo prasifiltruoja per skirtingus sluoksnius ir kaupia medžiagas iš sluoksnių su skirtingomis savybėmis, todėl ir karstiniame regione jo savybės gali skirtis priklausomai nuo vandens migracijos ir filtracijos per kitus sluoksnius. Dažnai karstiniame regione vanduo yra agresyvus gipsui. Vandens soties kalcio sulfatu deficitas kinta. Jis nėra vienodas, kinta metų bėgyje. Didžiausias esti pavasarį ir rudenį (šiuo laiku intensyviausiai ir vystosi karstas), mažiausias – žiemą ir vasarą. Pasitaiko karstinių regionų, kurių vandeniui būdingas sulfatinis agresyvumas betonui. Lietuvoje vanduo gręžiniuose dažniau gėlas, tik ten, kur pjūvyje paplitęs gipsas arba vyksta filtracija iš aukščiau slūgsančių gipsingų vandeningų sluoksnių, vanduo mineralizuotas (2 lentelė).

Karstinio regiono vanduo iš kitų Lietuvos regionų išsiskiria padidėjusiomis Ca_2^+ , Mg_2^+ ir SO_4^{2-} jonų koncentracijomis. Šių elementų kiekį vandenyje lemia regiono geologinė struktūra ir uolienuų

litologija. Sulfatų, kalcio koncentracija gręžiniuose Lietuvoje svyruoja gana ženkliai, tai sąlygoja skirtingi gręžinių gyiliai ir skirtinga medžiagų koncentracija atskiruose sluoksniuose.

Hartmann ir kt. (2014) teigia, kad galima sudaryti skirtingus karstino regiono vandens migracijos modelius, kurie atspindi karstinio vandens užterštumo sklaidą ir skirtingą sudėtį.

Jebreen ir kt. (2018) teigia, kad norint įvertinti vandens prisisotinimo skirtingomis medžiagomis procesus, reikia aprašyti pagrindinę uolienu mineraloginę sudėtį, nes tie mineralai ir bus atsakingi už chemines reakcijas vandenyje ir jo cheminę sudėtį. Autorių atlikta analizė parodė, kad karstinio regiono vanduo dažniausiai turi sąlyti su kalcitu arba dolomitu. Karstiniai procesai esant šiems mineralams formuojasi intensyviau, nes CO₂ skatina jų tirpimą.

Pagrindiniai mineralizacijos procesai.

Kalcito tirpinimas



Dolomito tirpinimas



Wu ir kt. (2009) atliktame tyrime nustatė, kad požeminis vanduo tyrimo regione turi didelę netik Ca²⁺, Mg²⁺, tačiau ir HCO₃⁻ ir SO₄²⁻ koncentraciją. Chlorido koncentracija didėja ištirpus halitui be garinimo. O Ca²⁺, Mg²⁺, Na koncentracijos bus didesnės, kai ilgalaikė vandens ir uolienu sąveika įvyksta molio turinčiame karbonato vandeningojo sluoksnio sistemoje.

Karsto procesai (karbonato uolienu tirpinimas) lemia Ca, Mg ir Sr išsiskyrimą į vandenį, todėl natūralu, kad šių medžiagų kiekis karstiniame vandenyje yra didesnis. Raguž (2008) teigia, kad karstiniame pietvakarių Europos regione pralaidumas greitai mažėja ir gėlo vandens telkiniai yra maži ir slūgso nedideliame gylyje, tokių telkinių geriamas vanduo yra sūrus.

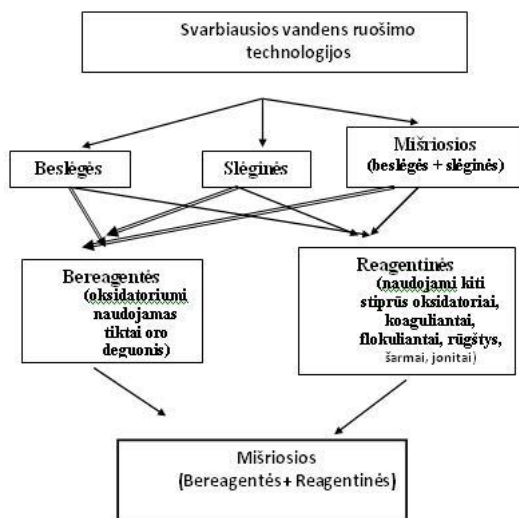
Goldscheider et al. (2020) analizuodami karstinio vandens paplitimą ir kokybę teigia, kad požeminio vandens kokybę karstiniuose regionuose sunku kontroliuoti, nes dažnai karstiniai regionai apjungia kelias šalis ir vandens kokybe turi rūpintis visos šalys, nes kitaip problema nebus išspęsta dėl vandens pernešamų teršalų iš vieno regiono į kitą.

1.4 Vandens tiekimas karstiniuose rajonuose, reguliavimas, vandens kokybės gerinimas

Skirtingų autorių nuomonė dėl karstinių regionų geriamojo vandens išsiskiria. Raguž (2008) teigia, kad siekiant apsaugoti Švedijos karstinio regiono geriamo vandens kokybę, reiktų įvesti tris apsaugos zonas, kurios būtų įteisintos teisiniuose dokumentuose. Autorė siūlo įvesti karstinių teritorijų apsaugą Švedijoje nuo tiesioginės vandens taršos, ir visiškai apriboti antropogeninę veiklą, taip pat įtakoti, kad tiesioginė tarša būtų pašalinta iš tokio regiono. Įvesti mažiau griežtą apsaugą aplink tokias zonas. Čia antropogeninę veiklą riboti su išlygomis. Trečioji zona apimtų šaltinių apsaugą baseine.

Apsauga užtikrinama įstatyminėmis nuostatomis, o tinkamai realizuota, užtikrins geresnę geriamojo vandens kokybę.

Jankausko (2012) teigimu geriamasis vanduo gali būti paruoštas tiek iš paviršinio, tiek iš požeminio vandens. Dėl to naudojamos įvairios vandens ruošimo technologijos (6 pav.).



6 pav. Pagrindinės vandens ruošimo technologijos. Šaltinis: Jankauskas (2012)

Paviršinis vanduo dažnai esti drumstas, todėl jo valymui naudojamos drumstumo nusodinimo priemonės. Požeminio vandens paruošimui, priklausomai nuo poreikio naudojami įvairūs filtrai.

Aktyvūs anglies mechaniniai filtrai naudojami skonio ir kvapo problemoms spręsti, o taip pat ir chloro liekanoms iš vandens šalinti. Teršalai prilimpa prie anglies dalelių, taip pašalindami specifines organines chemines medžiagas (Water Treatment Systems 2010). Naudojami vandens minkštikliai skirti karstinio vandens minkštinimui, jie pašalina ir tokius mineralus kaip kalcį ir magnį.

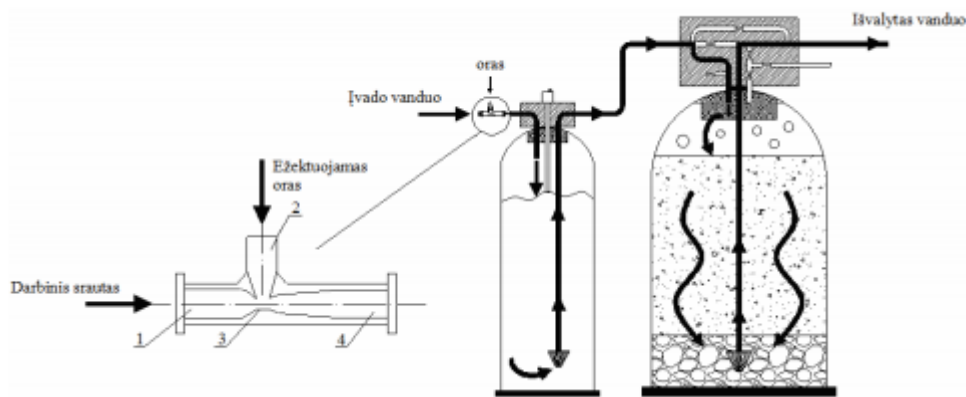
Požeminis vanduo, pasak Jankausko (2012), paruošiamas daug sudėtingiau nei paviršinis, tačiau Lietuvoje naudojamas tik požeminis vanduo. Autorius geriamojo vandens ruošimo metodus skirsto į :

1. Mechaninius (naudojamas fizikinis kūnų judėjimo ir sąveikos principas);
2. Fiziko-cheminis (aeravimas, absorbcija, koaguliavimas, elektroforezė ir pan.);
3. Cheminiai (oksidavimas, rūgštinimas, šarminimas, redukavimas ir pan.);
4. Biologiniai, kai naudojami mikroorganizmai;
5. Mišrieji (Jankausko, 2012).

Prasad ir Danso-Amoako (2014) teigia, kad naudojami vandens valymo (filtravimo įrenginiai) priklauso ne tik nuo to ar naudosisime paviršinį ar požeminį vandenį, tačiau ir nuo jo cheminės sudėties, kuri turi atitikti žmogaus sveikatai nekenksmingas normas. Didžiausia dėmesį autoriai skiria geležies ir mangano šalinimui. Dvorak ir Skipton (2014) teigia, kad apdorojimas fosfato junginiais yra nebrangus būdas vandens valymui, ypač kai yra nedideli medžiagų kiekiai, tačiau jis priduoja

nemalonų skonį bei jo negalima kaitinti, nes kaitinimo procese fosfatai skaidomi ir išsiskiria geležis. Kai geležies ir mangano kiekis vandenyje didelis, autoriai siūlo chlorinimą ir filtravimą. Moser, Beknazarova et al. (2021) teigia, kad geriausiai galutiniam filtravimui tinka aktyvuota anglis, nes ji veikia kaip minkštinkis, padeda panaikinti nemalonų skonį ir kvapą.

Dvorak ir Skipton (2014) vidutiniškam geležies kiekiui pašalinti siūlo naudoti oksiduojančius filtrus. Didelis geležies kiekis šalinamos oksidavimo metodu. Geležis oksiduojama iki kietos masės ir filtruojama. Styra ir Striška (2009) pateikia geležies šalinimo įrenginį, kuris yra ypač populiarus individualiuose namuose (7 pav.)



7 pav. Geriamojo vandens aeravimo sistemų efektyvumo tyrimas. Šaltinis: Styra ir Striška, (2009)

Vandens valymo sistema veikia labai paprastai, paverčiant tirpią geležį (Fe^{2+}) netirpia (Fe^{3+}). Tam vykdomas papildomas oksidavimas – aeravimas. (Styra ir Striška, 2009). Artiola, Farrell-Poe, ir Uhlman (2009) teigia, kad jonų mainų filtrai, kurie pašalina kalcį ir magnį iš vandens yra laikomi vandens minkštikliais. Jie gali taip pat pašalinti įvairius kiekius kitų neorganinių teršalų pavyzdžiui, metalų, tačiau jie nepašalins organinių chemikalų ar radono dujų. Minkštas vanduo gali būti netinkamas gerti dėl savo sūraus skonio ir padidėjusio natrio arba kalio lygio. Kostygin et al. (2007) analizuoja keletą filtrų rinkdami patį efektyviausią, tinkantį vandens minkštinimui ir pateikia išvadą, kad jonų mainų filtras yra efektyviausiais minkštinant vandenį, nes panaudojus tokį filtrą vanduo suminkštėja iki $0,1 \text{ mg ekv.dm}^3$. Ekberg (2016) išbandė vandens minkštinimą oksiduojant vandenį kieta Mn terpe, tačiau tokie filtrai tinkamo rezultato nedavė, nes kietumas buvo sumažintas dalinai. Todėl buvo pridėtas filtravimas anglimi, tada dar chloravimas. Tačiau katijonų mainai davė geriausius rezultatus ir todėl vandens minkštinimui jie geriausiai tinka.

Artiola, Farrell-Poe, ir Uhlman (2009) nagrinėja atvirkštinės osmozės (RO) apdorojimo metodą, kuris skirtas sumažinti ištirpusių kietų medžiagų (TDS) kiekį geriamajame vandenyje. Šiuo būdu yra mažinamas teršalų kiekis, bei cheminės medžiagos, tokios kaip: sulfatai, fluoridai, arsenas, aliuminis,

švinas ir daugelio rūšių organinės cheminės medžiagos. Tačiau šio metodo veikimui būtinas vandens pirminis apdorojimas, toks kaip: dalelių filtravimas, anglies filtravimas (norint pašalinti lakias medžiagas), chlorinimas (dezinfekuoti ir užkirsti kelią mikrobo augimui), pH suregulavimas ar net vandens minkštinimas.

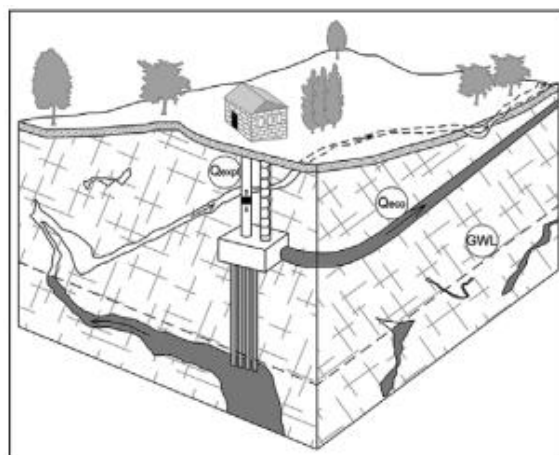
Vandens kokybė ne vienintelė priežastis ribojanti tokio vandens naudojimą. Karstinio vandens naudojimas spartina karstifikacijos procesą, todėl Stevanović ir Milanović (2015) teigimu karstinio vandens naudojimą reikia reguliuoti ne tik teisinėmis, bet ir inžinerinėmis priemonėmis. Stevanović ir Eftimi (2010) teigia, kad Juodkalnija ir Albanija labai kenčia nuo vandens trūkumo karstiniame regione, tai netgi stabdo regiono plėtrą. Todėl būtinas karstinio vandens tiekimo reguliavimas. Stevanović ir Milanović (2015) teigia, kad požeminio vandens reguliavimas galimas dviem būdais:

1. Karstinio vandens gavybos reguliavimas.
2. Reglamentavimas.

Bendrai požeminio vandens gavybą galima reguliuoti taip:

- Reguliuojant išgaunamo vandens kiekį;
- Parenkant tinkamą gręžinių gręžimo gylį;
- Statant požeminius rezervuarus;
- Papildant tuštumas dirbtinai (Stevanović ir Milanović, 2015).

Gręžinių gręžimo gylis ir išpumpuojamo vandens kiekio reguliavimas, tai bene paprasčiausi sprendimai, kurie gali būti reglamentuoti teisiškai. Parise, Closson, ir Stevanovic (2015) teigia, kad pumpavimo apribojimai, tai laikinas sprendimas. Autoriai siūlo įrengti požeminius rezervuarus (8 pav.)



8 pav. Vandens rezervuaro schema. Šaltinis: Parise, Closson, ir Stevanovic (2015)

Zonose, kuriose yra aktyvus požeminio vandens srautas galima sumontuoti siurblius, kurie iš giluminio sluoksnio perpumpuos reikiamą vandens kiekį, kuris užpildytų rezervuarą, o perteklinis vanduo būtų nukreiptas kompensacijos procesui palaikyti. t.y per sausras galima užpildyti senkančias paviršinio vandens tuštumas. Toks sprendimas gali būti įgyvendintas daugelyje karsto vietovių taip

mažinant karsto formavimosi procesą. Jemcov, Milanović ir Milanović (2010) teigia, kad tokių požeminių rezervuarų karstiniuose regionuose yra įrengiama. Kinijoje dviejų požeminių upių santakoje pastatytas didžiausias rezervuaras siekiantis 1333 m ilgio ir 260 m gylio. Stevanovic ir Eftimi (2010) teigia, kad rezervuarų projektai efektingi ir turi nemažai privalumų, tai:

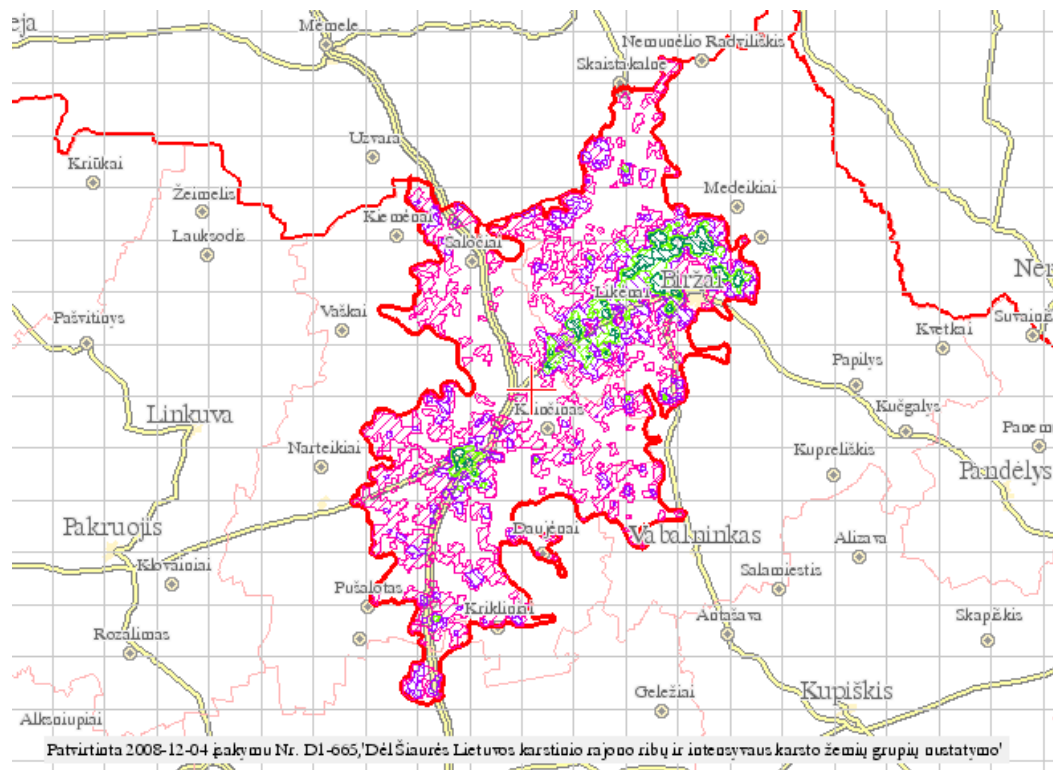
- Jokių problemų dėl infrastruktūros, derlingų žemių išsaugojimas, mažesnė užtvindymo tikimybė ir mažesnės problemos dėl sausros.
- Negresia užtvankos griūtis.
- Nėra vandens garavimo rezervuaro viduje.
- Nėra poveikio vandens kokybei iš išorinių šaltinių.
- Rezervuarai gali gaminti elektros energiją (Stevanović ir Milanović 2015).

Stevanovic, Jemcov ir Milanovic (2007) neneigia, kad rezervuarų ir užtvankų statymas karstiniame regione yra gana kėblus. Reikalingi labai tikslūs skaičiavimai, tačiau ir jie nepadedą pašalinti visų rizikos faktorių. Nors rezervuarai laikomi geriausiu inžineriniu sprendimu, tačiau jie gali neužsipildyti, būtina parinkti tinkamą vietą, kad ji nedarytų poveikio karsto procesui. Todėl nedidelią vandens poreikiui tenkinti geriau rinkti paprastesnius sprendimo būdus, tokius kaip gilesnius gręžinius ar gręžinius su kompensaciniu mechanizmu.

2. TRIAMOJO RAJONO (BIRŽŲ, PASVALIO, PANEVĖŽIO RAJONO SAVIVALDYBĖS ŠIAURINĖ DALIS) APIBŪDINIMAS

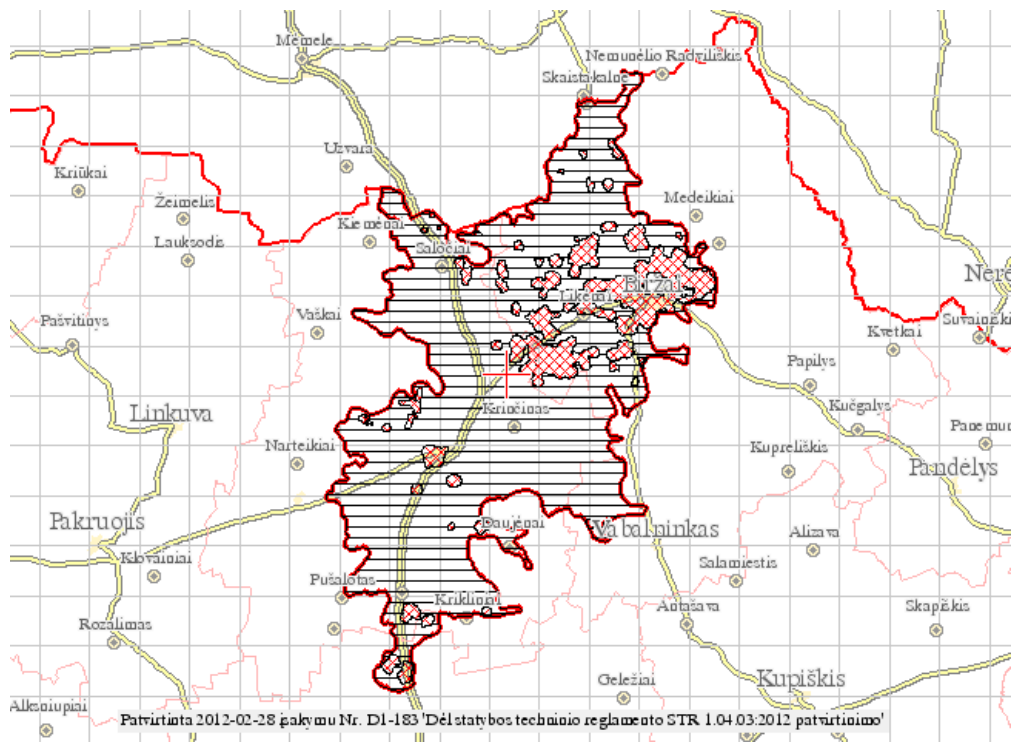
Karstinio rajono ribos nėra galutinės ir tai matyti palyginus skirtingais principais išskirtų ribų žemėlapius. Lietuvos geologijos tarnybos pateiktuose duomenyse matyti, karstinio regiono ribos (9, 10 pav.).

Šiaurės Lietuvoje šiandien žinomos karstinio regiono ribos yra negalutinės ir laikytinos apytikrėmis, jas galima ir reikia koreguoti atsižvelgiant į naujus duomenis ir naudojantis stambaus mastelio žemėlapius, planais. Iš tiesų, gipso karsto apimtos teritorijos plotas yra didesnis, tačiau optimalių natūralių jo ribų nustatymo ir patvirtinimo bus įmanoma siekti kompleksiskai taikant įvairius tyrimo metodus ir disponuojant surinkta naujausia faktine medžiaga. Žvelgiant į šiandieninę situaciją matoma, kad nauji karsto reiškiniai pastebimi ir fiksuojami jau ir už karstinio regiono ribos. Ypač tai aktualu nustatant aktyvaus karsto zonas² (12 pav.)



9 pav. Karstinio regiono ribos. Šaltinis: Lietuvos geologijos tarnyba (2021)

² Aktyvaus karsto zona – teritorija, kurioje viename kvadratiname kilometre yra daugiau nei 20 paviršinių karstinių formų (dėl statybos techninio reglamento str 1.04.03:2004 „Inžineriniai geologiniai tyrimai šiaurės Lietuvos karstiniame rajone“ patvirtinimo)

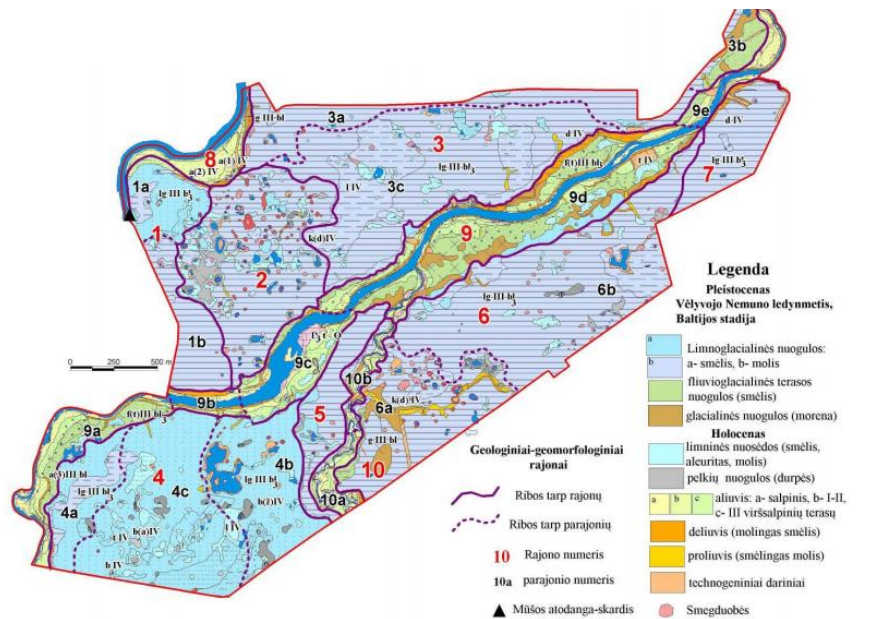


10 pav. Karstinio regiono karstinis aktyvumas. Šaltinis: Lietuvos geologijos tarnyba (2021)

Karstinio regiono ribų kaitai įtakos turi ir atsirandantys nauji karstiniai reiškiniai už nustatytų ribų ir nauji matavimo bei tyrimo metodai, bei technologijos skirti karstiniam reiškiniam fiksuoti ir nustatyti.

Šiaurės Lietuvos karstinio rajono inžinerinės geologinės sąlygos yra ypatingos. Jų sudėtingumą ir savitumą lemia intensyvūs geologiniai procesai ir reiškiniai, sąlygojami rajono geologinės sandaros ir hidrogeologinių sąlygų. Karstas intensyviai vystosi Biržų, Pasvalio, ribotai – Panevėžio ir Radviliškio rajonuose (Lietuvos respublikos aplinkos ministro įsakymas, 2004m.). Kvartero nuogulos karstinėje teritorijoje dengia ištisiniu, bet netolygiu sluoksniu. Vietomis kvartero nuogulų dangos storis tesiekia 1,5 m, didžiausias pergręžtas – 20 m. Stora kvartero nuogulų danga yra moreninių gūbrių paplitimo plote. Plona – 3–3,5 m storio danga būdinga didesniajai Apaščios upės slėnio daliai. Eilėje karstinių muldų, tokiose kaip Pasvalio, Apaščios ar Astravo, kvartero nuogulų storis neviršija 7 m, vidutinis storis muldose – 4–5 metrai. Pasvalio karstinio rajono geologiniame pjūvyje (11 pav.) iki gylio, lemiančio karsto vystymąsi ir teritorijos pastovumą, slūgso kvartero sistemos nuogulos. Po kvartero nuogulomis slūgso Pamūšio ir Įstro svitų uolienos. Jos labiau paplitusios vakarinėje ir šiaurinėje karstinio rajono dalyse. Rytinėje ir centrinėje dalyse jos egzaruotos, po kvartero nuogulomis čia beveik visur (išskyrus nedidelius plotelius, kuriuose paplitusios Pamūšio ir Įstro svitų uolienos) slūgso Tatulos svitos sukarstėjusios uolienos. Pamūšio svitą sudaro susisluoksniavę molis, aleurolitas, domeritas ir molingas dolomitas. Svitos storis dažniausiai 3-5 m. Įstro svitos storis siekia 4-4,5 m. Ją sudaro plyšiuotas, kaveringas dolomitas.

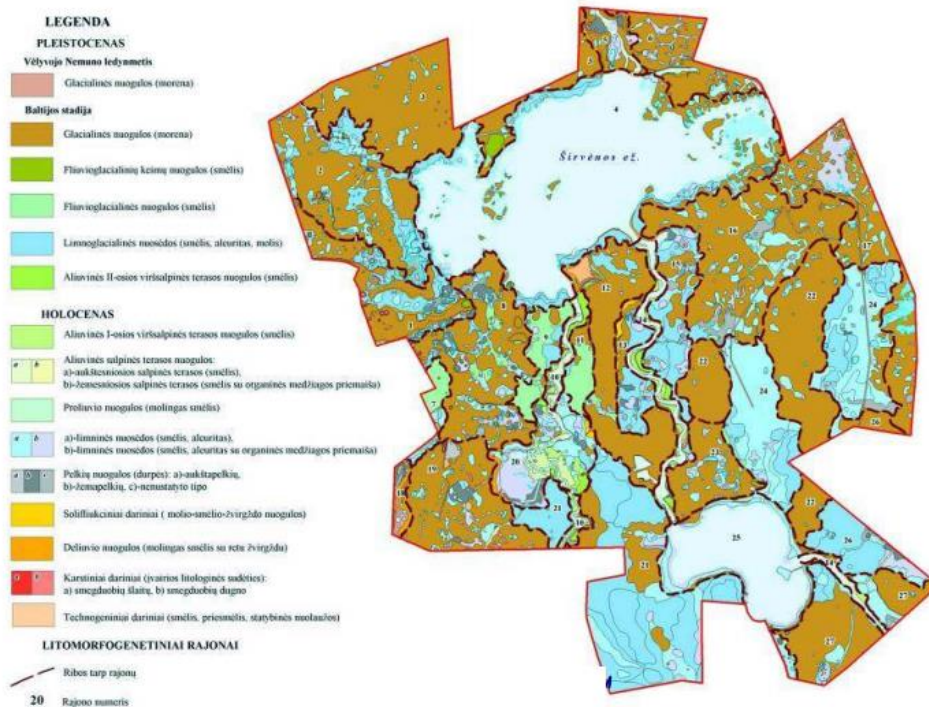
Tatulos svitos gipsingos uolienos slūgso ant banguoto Kupišchio svitos uolienu paviršiaus, gelmėjančio šiaurės vakarų ir vakarų kryptimis. Polinkio kampas – 0,17-0,25 laipsnio, o struktūrinių pakilumų ir įdaubų šlaituose padidėja iki 1-2°. Bendras Tatulos svitos storis siekia 48 m. Tatulos svitą sudaro Nemunėlio, Kirdonių ir Pasvalio sluoksniai. Nemunėlio ir Pasvalio sluoksnius sudaro susisluoksniuojančios uolienos – gipsas, dolomitingas gipsas, gipsingas dolomitas, dolomitas ir domeritas, dedolomitas, dolomitiniai miltai. Nemunėlio sluoksnių storis siekia 20 m, Pasvalio – 25 m. Nemunėlio ir Pasvalio sluoksnius skiria 4-8 m storio Kirdonių sluoksniai, kuriuos sudaro domeritas, molingas dolomitas ir molis.



11 pav. Pasvalio miesto geologinis žemėlapis. (Lietuvos geologijos tarnyba 2010)

Kupiškio ir Suosos svitas sudaro plyšiuotas kaveringas dolomitas. Centrinėje karstinio rajono dalyje kai kur Suosos svitos viršutinėje ir vidurinėje dalyse aptinkami nedidelio storio domerito ir sukarstėjusio gipso tarp sluoksniai. Kupiškio svitos storis kinta nuo 5 iki 10 m, Suosos – nuo 12 iki 19 m.

Remiantis Lietuvos geologijos tarnybos duomenimis, Karstinio regiono teritorijoje paplitęs Nemuno apledėjimo glacialinės (rytinėje dalyje), limnoglacialinės nuogulos (jos paplitusios šiaurės vakarų dalyje), aleuritingas molis. Taip pat esama ir aliuvinių, fluvioglacialinių nuogulų, Holoceno laikotarpio aljuvio (paplitęs upių slėniuose), biogeninės kilmės nuogulų (upių slėnių užpelkėjimai, uždurpėjimai) (žiūr 12 pav.).



12 pav. Biržų miesto kvartero geologinis (Marcinkevičius ir k.t., 2010)

Požeminis vanduo kaupiasi viršutinio devono Įstro-Tatulos, Kupiškio-Suosos ir Šventosios-Upninkų sluoksniuose. Kiekvienas iš vandeningųjų sluoksnių pasižymi tam tikromis jiems būdingomis savybėmis (2 lentelė).

2 lentelė. Vandeningų sluoksnių charakteristikos.

Vandeningojo sluoksnio pavadinimas	Uolienuų sluoksniai	Kraigo slūgsojimo altitudės	Sluoksnio storis
Įstros – Tatulos D ₃ įs-t	Kaverningi dolomitai su mergelio ir gipso tarpsluoksniais.	Ties Panevėžiu, Biržais – 40-60 m. Ties Rokiškio – 60-70m	Vidutinis – 10-15 m, didžiausiais 25-30 m
Kupiškio – Suosos D ₃ kp-s	Sudarytas iš dolomito su mergelio tarpsluoksniais.	10 iki 100 m, mažėja Jelgavos link	Vidutinis – 5-10 m, didžiausiais 12-19 m
Šventosios – Upninkų D ₃ šv+D ₂ up	Sudarytas iš smulkiagrūdžių, vidutigrūdžių, aleuritingų, silpnai sucementuotų smiltainių ir smėlių.	Nuo 60 m – pietryčiuose iki 120 m. Ties vakarine VVD PVB ³ riba siekia 230 m.	Ties Panevėžiu 200 m, link Pasvalio mažėja ir siekia 140 m. Rytų ir pietryčių kryptimi storis sumažėja iki 40-80 m.

Sudaryta remiantis: Juodkazis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

³ Viršutiniojo-vidurinio devono požeminio vandens baseinas

Įstros - Tatulos sluoksnyje Panevėžio, Radviliškio ir Kėdainių kryptimi išryškėja lokali mitybos sritis, ten dalis vandens srauto pasuka į rytus, o kita dalis į vakarus. Analogiškos mitybos sritys išryškėja ir Kupiškio –Suosos bei Šventosios – Upninkų vandeningame sluoksnyje. Kupiškio – Suosos sluoksnis atskirtas Jaros vandenspara, kuri sudaryta iš tankaus mergelio. Šio sluoksnio storis 5-16 m. Šventosios – Upninkų sluoksnis išplitęs visoje teritorijoje, jis sudarytas iš daugybės vandeningų (smulkiagrūdžių, rečiau vidutinio grūdėtumo aleuritingi, silpnos cementacijos smiltainiai ir smėlis) ir silpnai vandeniui laidžių (tankių smėlingų molių, aleuritų ir aleurolitų) sluoksnių. Sluoksnio vandens srautas nuo Aukštaičių aukštumos juda į šiaurės vakarus. Pastebimas nedidelis vandeningojo sluoksnio storio mažėjimas Panevėžio apylinkėse apie 20 m (Juodkazis, Gregorauskas ir Mokrik, 2012).

Karstinio regiono hidrogeninės sąlygos savitos, jas nulemia karstėjimo procesai. Gruntinio vandens sluoksnis išplitęs visoje karsto teritorijoje, išskyrus kai kurias upių slėnių atkarpas ir slūgso 1–6 metrų gylyje nuo žemės paviršiaus. Gruntinio vandens lygis bendrais bruožais atkartoja šiuolaikinį reljefą. Vanduo talpinasi įvairaus rupumo aliuviniame smėlyje, limnoglacialiniame molyje esančiuose dulquio ir smėlio sluoksneliuose ir lėšiuose, moreniniame priemolyje ir priesmėlyje esančiuose smėlinguose lėšiuose ir plyšiuose, o senose ir labai senose smegduobėse – durpėse ir sapropelyje. Moreninio priemolio ir priesmėlio lėšiuose esantis vanduo vietomis spūdinis. Spūdis virš kraigo nežymus, neviršija 1 metro. Pavasarį ir rudenį gruntinio vandens lygis gali nusistovėti prie pat žemės paviršiaus. Vandenyje vyrauja hidrokarbonato, sulfato, kalcio, magnio, rečiau natrio ir kalio jonai. Vanduo normalaus skvarbumo portlandcemento betonui neagresyvus. Paviršinio vandens įtaka karstui priklauso nuo jo infiltracijos, o požeminio vandens poveikį karstui nulemia jo iškrova. Infiltracijos procesams įtakos turi sovietmečiu vykdyta melioracija, kurių metu buvo daug smegduobių užlyginta, į smegduobes išvestos drenažinės sistemos. Tokios vietos yra tiesioginiai infiltraciniai „šuliniai“ per kuriuos paviršinis vanduo ir teršalai gali patekti į požeminį vandenį (Juodkazis, Gregorauskas ir Mokrik, 2012).

Gruntinis vanduo susikaupęs dabartinėse pelkių ir aliuvinėse, viršutinio pleistoceno aliuvinėse, fliuvioglacialinėse ir limnoglacialinėse nuogulose (durpėje, smėlyje, žvyre) ir viršutinėje, plyšiuotoje moreninių priemolių ir priesmėlių dalyje. Vandens slūgsojimo gylis – iki 5 m. Filtracijos koeficiento vertės yra 0,05–2 m/d. Tarpmoreninis vanduo yra susikaupęs Baltijos, Baltijos–Grūdės ir Grūdės–Medininkų ledyno tirpsmo nuogulose (smėlis, žvyras), kurios sudaro sporadiškai paplitusius vandeningus tarp sluoksnius ir lėšius. Jų storis siekia 5–7 m. Šis vanduo turi nedidelį spūdį, jo pjezometrinis paviršius nusistovi 1,5–3 m gylyje (Juodkazis, Gregorauskas ir Mokrik, 2012).

3. INDIVIDUALIŲ VANDENS TIEKIMO SISTEMŲ ĮRENGIMO KARSTINIAME RAJONE YPATUMŲ ĮVERTINIMAS

Individualių gręžinių įrengimo ekonominių sąnaudų įvertinimui, vandens gerinimo poreikio pagrindimui ir geriausių technologijų parinkimui, bei gręžinių ir jų eksploatacijos galimo poveikio jų įtakos karstiniams procesams įvertinimui į reikalingas holistinis požiūris, kuris apjungtų: geologinius, cheminius, inžinerinius, dirvožemio, biologinius, tyrimus.

Norint atlikti tokį vertinimą reikia, kad karstinė sistema būtų patikimai kartografuota. Tyrimo objektu pasirinkti individualūs gręžiniai, įrengti per paskutinius 6 metus į skirtingus karstinio rajono vandeningus sluoksnius.

Metodiniu požiūriu tyrimas išskirtas į kelias dalis.

1. Karstinio regiono individualių gręžinių, įrengtų 2015-2020 m. cheminės sudėties ir kokybės analizė, grupuojant juos pagal vandeningą sluoksnį bei regioną.
2. Tinkamiausių požeminio vandens gerinimo technologijų parinkimas skirtingiems regionams ir skirtingiems vandeningiems sluoksniams karstiniame regione.
3. Gręžinių įrengimo ir eksploatavimo ekonominiai skaičiavimai.
4. Individualių gręžinių galimo poveikio karstiniams procesams ateities perspektyvoje įvertinimas.
5. Rekomendacijų individualių vandens tiekimo sistemų įrengimui, karstiniame rajone parengimas.

Visi Lietuvos teritorijoje įrengti gręžiniai turi būti registruojami Žemės gelmių registre. Įrengus gręžinį individualiam vartotojui, yra privaloma atlikti vandens bendrosios cheminės sudėties tyrimą, į kurį įtraukti šie rodikliai - pH, savitas elektros laidis, bendrasis kietumas, permanganato skaičius, chloridai, sulfatai, hidrokarbonatai, nitratai, nitritai, natrio, kalio, kalcio, magnio, amonio jonai ir geležis, o nuo 2019 m. lapkričio mėn., ir arsenas, o gręžinių įrengtų į prekvartero vandeninguosius sluoksnius, vandenyje papildomai turi būti nustatyti fluoridai ir boras, Vandens kokybė yra vertinama pagal Lietuvos higienos normoje HN 24:2017 nustatytas ribines vertes indikatoriniams ir toksiniams rodikliams. Nors šios higienos normos reikalavimai individualiam vartotojui yra tik rekomendacinio pobūdžio, jie leidžia įvertinti vandens kokybę ir pagrįsti vandens gerinimo poreikį. Žemės gelmių registre registruotų gręžinių geologinių ir vandeningų sluoksnių aprašymo ir cheminės sudėties tyrimų duomenys buvo panaudoti tolimesnėje analizėje. Per paskutinius šešerius metus įrengti 197 gręžiniai į skirtingus vandeningus sluoksnius, jų cheminė analizė atlikta pagal vandens cheminių rodiklių parametrus (3 lentelėje).

3 lentelė. Vandens cheminė sudėtis karstinio regiono grėžiniuose

Rodiklio pavadinimas	Didžiausia leistina koncentracija mg/l
Anijonai:	
Fluoridas, F ⁻ (mg/l)	1,5
Chloridas (Cl ⁻) (mg/l)	250
Sulfatas (SO ₄ ²⁻) (mg/l)	250
Hidrokarbonatas (HCO ₃ ⁻) (mg/l)	nenormuojamas
Karbonatas, CO ₃ ⁻ (mg/l)	nenormuojamas
Nitritas (NO ₂ ⁻) (mg/l)	0,50
Nitratas (NO ₃ ⁻) (mg/l)	50
Katijonai:	
Natris (Na ⁺) (mg/l)	200
Kalis (K ⁺) (mg/l)	nenormuojamas
Kalcis (Ca ²⁺) (mg/l)	nenormuojamas
Magnis (Mg ²⁺) (mg/l)	nenormuojamas
Geležis (II), Fe ²⁺ (mg/l)	0,100
Amonis (NH ₄ ⁺) (mg/l)	0,50
Kitos analizės:	
Geležis bendroji (Fe) (mg/l)	0,2
Vandenilio jonų koncentracija (pH)	6,5 – 9,5
Savitasis elektrinis laidis μS/cm	2500
Boras (mg B/l)	1
Permanganato skaičius (mg O/l)	5,0
Bendras kietumas	nenormuojamas

Šaltinis: (Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija 2017)

Nors vandens kietumas nenormuojamas, tačiau jis nėra pageidaujamas buityje. Labai didelis kietumas lemia elektrinių, santchnikos prietaisų kalkėjimą ir gedimus, todėl vertinant vandens kietumą yra siūloma naudoti vandens minkštinimo filtrus. Vandens kietumo laipsnis priklauso nuo „kalkių“ kiekio vandenyje:

- Labai minkštas -iki 1,2 mg-ekv/l;
- Minkštas 1,2 – 2,4 mg-ekv/l;
- Vidutiniškai kietas (santykinai) 2,4 – 5,0 mg-ekv/l;
- Kietas 5,0 – 7,4 mg-ekv/l;
- Labai kietas 7,4 – 15,0 mg-ekv/l;
- Ypatingai kietas Virš 15,0 mg-ekv/l (Vandens kietumas, UAB „Vandens tyrimai“).

Darbe remiamasi Viršutinio-vidurinio paleozojaus hidrogeologinės sistemos turimų požeminio vandens išteklių vertinimui sudarytų žemėlapių ir skaitmeninių sluoksnių informacija (Gregorauskas, Klimas, 2008). Tyrimo eigą sudaro tokie etapai 13 pav.



13 pav. Tyrimo eiga

Siekiant, kad vandens hidrocheminių tyrimų duomenys atspindėtų dabartinę situaciją ir būtų tarpusavyje palyginami analizei buvo pasirinkti karstinio rajono gręžiniai atsižvelgiant į gręžinio išgręžimo datą. Gręžiniai grupuojami pagal vandeningąjį sluoksnį ir regioną, kuriame jis išgręžtas. Atrinkus ir sugrupavus gręžinius analizuojama jų cheminė sudėtis, bei išvedamos regionui būdingos dedamosios, vyraujantys cheminiai elementai, jų minimalios, maksimalios reikšmės bei vidurkiai.

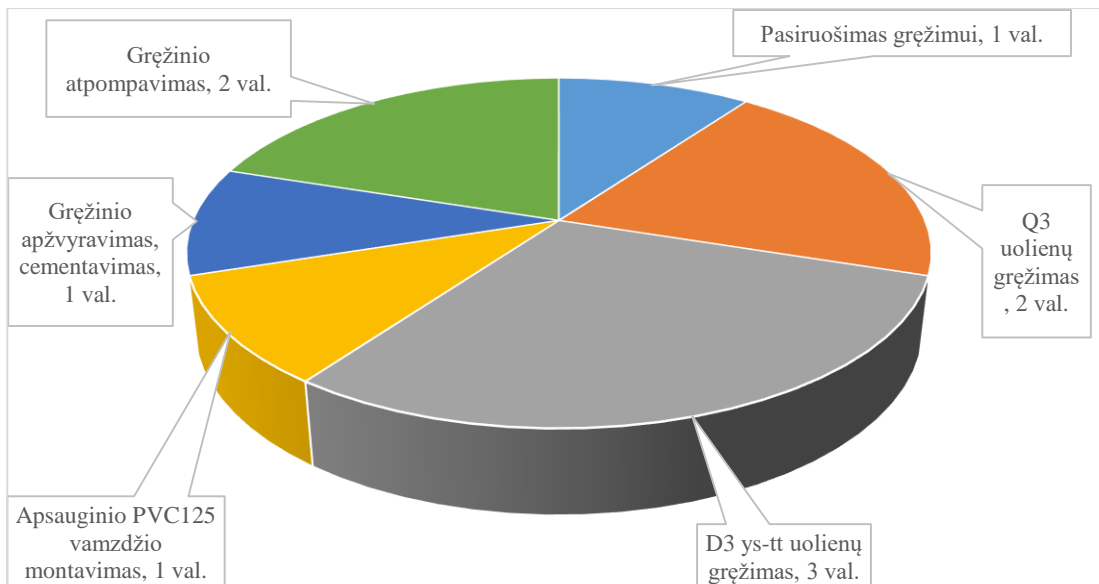
3.1 Vandens gręžinių įrengimo kaštų priklausomybė nuo geologinių-hidrogeologinių sąlygų

Pagal vyraujančius probleminius rodiklius ir remiantis informacija apie vandens valymo technologijas (žiūr. 1.4 skyrių) parenkami tinkamiausi vandens gerinimo įrenginiai bei pateikiami jų įrengimo ir eksploatavimo kaštai. Remiantis karstiniame regione faktiškai įrengiamų 15 gręžinių detaliais techniniais darbo laiko apskaitos duomenimis buvo įvertintos, gręžinių įrengimo į skirtingus vandeningus sluoksnius, sąnaudos (metodika pateikta 4 lentelėje, 14,15,16 pav.). Atliekamas kaštų palyginimas įrengiant ir eksploatuojant aplinkosaugai palankius sprendimus. Karstinis regionas pasižymi savitais gręžimo darbams būdingais dėsningumais - kuo gilesnis gręžinys, tuo ilgiau jis įrenginėjamas laiko prasme. Todėl yra ryšys, tarp gręžinio gylio ir jo gręžimo laiko. Kitose Lietuvos teritorijose tokia tendencija stebima ne visada. Bendrai pasiruošimo darbai trunka nuo 1 iki 1,5 valandos, visa kita darbų trukmė priklauso nuo to iki kokio vandeningo sluoksnio bus gręžiamas gręžinys, o sąnaudos priklauso nuo valandinio darbo užmokesčio tarifo bei sunaudotų medžiagų. Vertinant laiko sąnaudas įrengiant gręžinius, apskaičiuota vidutinė darbo laiko trukmė.

4 lentelė Gręžinių įrengimo operacijų kaštų rūšys

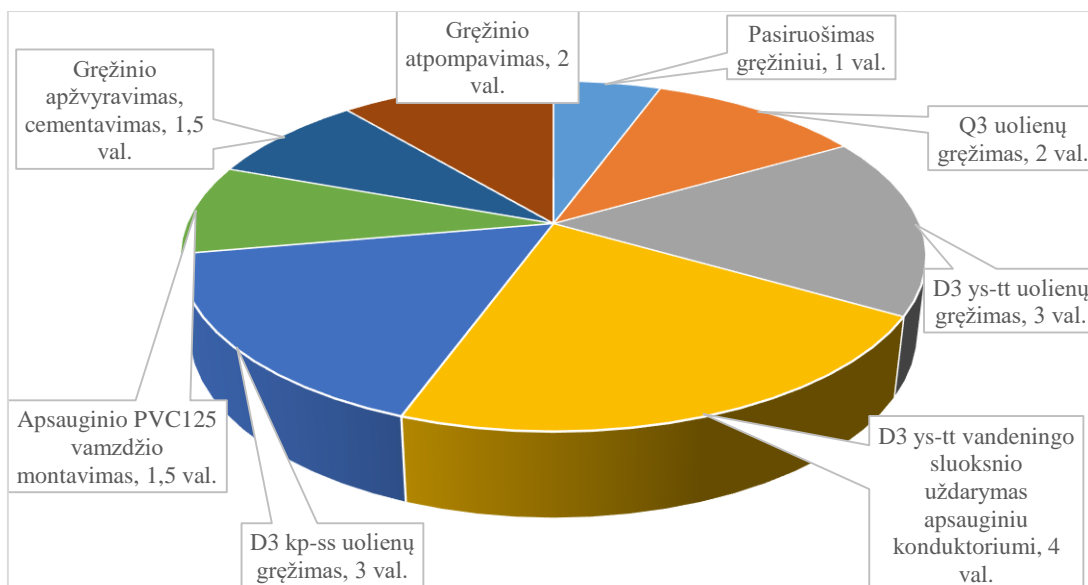
Darbo etapas	Medžiagos	Technika	Žmogiškieji ištekliai	Darbo laikas	Kaštų rūšis
Pasiruošimas gręžiniui	Vanduo, antisolis, bentonitas	Ekskavatorius, vandenvėžė	Gręžėjas, gręžėjo padėjėjas, ekskavatorininkas	1 - 1,5 val.	Darbuotojų darbo užmokestis su mokesčiais, išlaidos medžiagoms, kuro sąnaudos ekskavatoriui, gręžimo agregatui, vandenvėžei, medžiagų transportavimui į objektą, sąnaudos medžiagoms.
Q3 uolienu gręžimas	Gręžimo vamzdžiai, kaltas, kuras	Gręžimo agregatas, vandenvėž.	Gręžėjas, gręžėjo padėjėjas	2 val	Darbo užmokestis su mokesčiais, kuras gręžimo agregatui, vandenvėžei, gręžimo kalto amortizacija, gręžimo vamzdžių amortizacija, gręžimo agregato amortizacija.
D3 is-tt gręžimas	Gręžimo vamzdžiai, kaltas, kuras	Gręžimo agregatas, vandenv.	Gręžėjas, gręžėjo padėjėjas	3 val.	Darbo užmokestis su mokesčiais, kuras gręžimo agregatui bei vandenvėžei, gręžimo kalto amortizacija, gręžimo vamzdžių amortizacija, gręžimo agregato amortizacija.
D3 is-tt VS uždaromas apsauginiu konduktoriu	Kuras, cementas	Apsaugin. konduktorius	Gręžėjas, gręžėjo padėjėjas	4 val.	Darbo užmokestis su mokesčiais, kuras gręžimo agregatui, apsauginio konduktoriaus amortizacija.
D3 kp-ss gręžimas	Gręžimo vamzdžiai, kaltas, kuras	Gręžimo agregatas, vandenvėžė	Gręžėjas, gręžėjo padėjėjas	3-5 val.	Darbo užmokestis su mokesčiais, kuras gręžimo agregatui bei vandenvėžei, gręžimo kalto amortizacija, gręžimo vamzdžių amortizacija, gręžimo agregato amortizacija.
D3 kp-ss VS uždaromas apsauginiu konduktoriu	Kuras, cementas	Apsaugin. konduktorius	Gręžėjas, gręžėjo padėjėjas	4 val.	Darbo užmokestis su mokesčiais, kuras gręžimo agregatui, apsauginio konduktoriaus amortizacija.
D3 jr – D2 šv – D2 up gręžimas	Gręžimo vamzdžiai, kaltas, kuras	Gręžimo agregatas, vandenv.	Gręžėjas, gręžėjo padėjėjas	7 val.	Darbo užmokestis su mokesčiais, kuras gręžimo agregatui bei vandenvėžei, gręžimo kalto amortizacija, gręžimo vamzdžių amortizacija, gręžimo agregato amortizacija.
Apsauginių PVC vamzdžių montavimas	PVC aps. vamzdžiai, filtras	Gręžimo agregatas	Gręžėjas, gręžėjo padėjėjas	1-2,5 val.	Darbo užmokestis su mokesčiais, kuras gręžimo agregatui, gręžimo agregato amortizacija, sąnaudos medžiagoms.
Gręžinio apžyrimas cementavimas	Frankionotas žvyras compacton	Gręžimo agregatas	Gręžėjas, gręžėjo padėjėjas	1-2,5 val.	Darbo užmokestis su mokesčiais, kuras gręžimo agregatui, gręžimo agregato amortizacija, sąnaudos medžiagoms
Gręžinio atpompa-vimas	Elektra, kuras	Kompresorius. siurblys	Gręžėjas, gręžėjo padėjėjas	2-4 val.	Darbo užmokestis su mokesčiais, kuras kompresoriui, elektra giluminiam siurbliui, kompresoriaus ir siurblio amortizacija

Siekiant įvertinti visas įrengimo ir eksploatacijos išlaidas skirtingo gylio gręžiniams skaičiuojamos skirtingos darbo laiko sąnaudos.



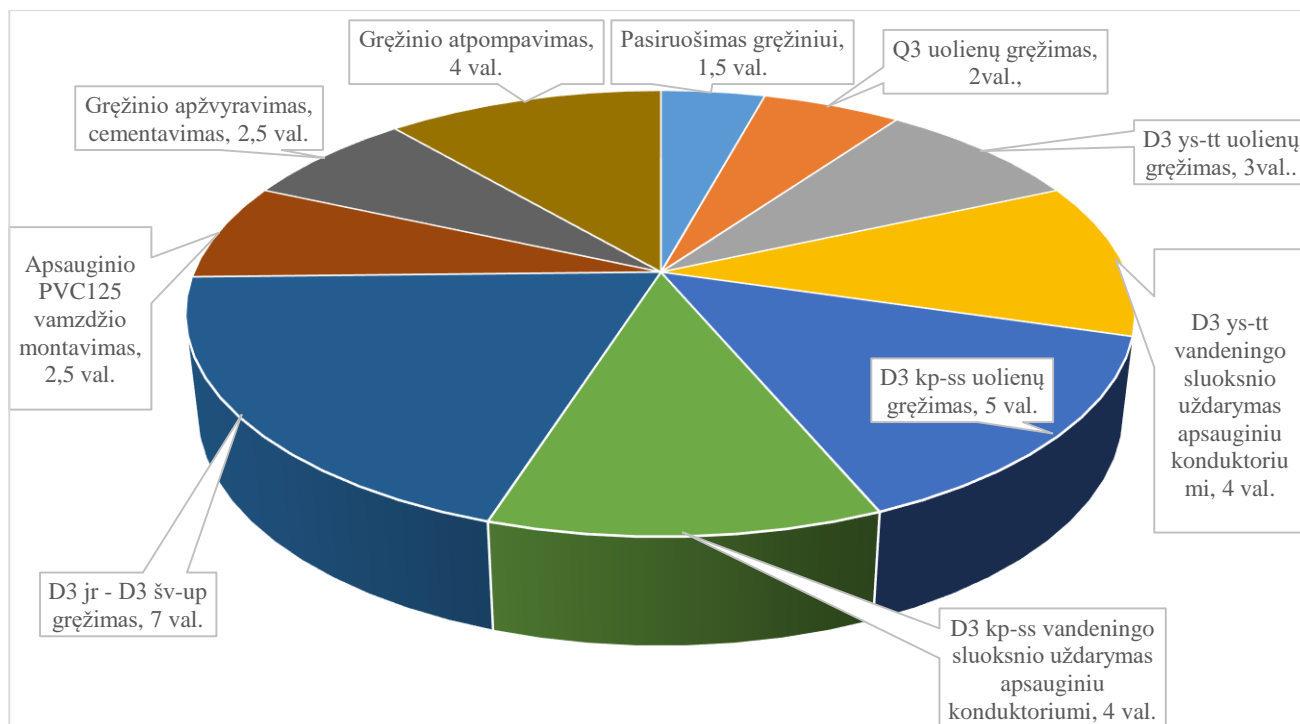
14 pav. Vidutinė vandens gręžinio įrengimo trukmė Istros-Tatulos vandeningame sluoksnyje

Bendra vandens gręžinio Istros – Tatulos vandeningame sluoksnyje įrengimo vidutinė trukmė – 10 val.



15 pav. Vidutinė vandens gręžinio įrengimo trukmė Kupiškio - Suosas vandeningame sluoksnyje

Bendra vandens gręžinio Kupiškio - Suosas vandeningame sluoksnyje vidutinė įrengimo trukmė – 18 val.



16 pav. Vidutinė vandens gręžinio įrengimo trukmė Šventosios- Upninkų vandeningame komplekse

Bendra vandens gręžinio Šventosios- Upninkų vandeningame komplekse vidutinė įrengimo trukmė – 35,5 val.

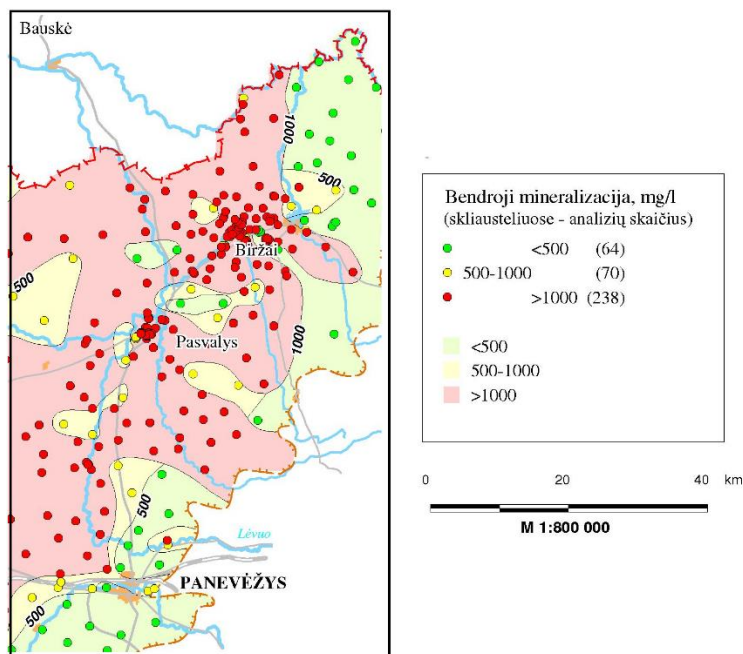
Gręžiant į Įstros - Tatulos vandeningą sluoksnį, didžiausiais laiko sąnaudais sudaro gręžimas per dolomito sluoksnį. Tai yra VII –IX kategorijos uolienos, todėl jos sunkiai gręžiasi ir yra imlios darbo laikui.

Kupiškio - Suosos vandeningojo sluoksnio darbo laiko sąnaudų didžiąją dalį sudaro Įstros - Tatulos ir Kupiškio - Suosos dolomito gręžimas, bei Įstros - Tatulos vandeningojo sluoksnio uždarymas konduktoriumi (žiūr. 15 pav.)

Šventosios - Upninkų sluoksnio didžioji sąnaudų dalis susijusi su dolomito gręžimu (Įstros - Tatulos ir Kupiškio – Suosos svitų) bei D3 jr – D3šv – D2 up uolienu gręžimas. Nuo D3 kp- ss dolomito sluoksnio pado iki reikalingo vandeningo sluoksnio reikalinga pragręžti apie 70 m molio, smėlio, smiltainio uolienu storymę. Taip pat Šventosios - Upninkų gręžinio sąnaudais didina Įstros - Tatulos ir Kupiškio – Suosos vandeningų sluoksnių uždarymas konduktoriumi (žiūr. 16 pav.). Dolomitų sluoksnių gręžimas ir vandeningų sluoksnių uždarymas nulemia darbo laiko ir darbo sąnaudų augimą.

3.2 Karstinio rajono individualių gręžinių vandens cheminė sudėtis ir kokybė

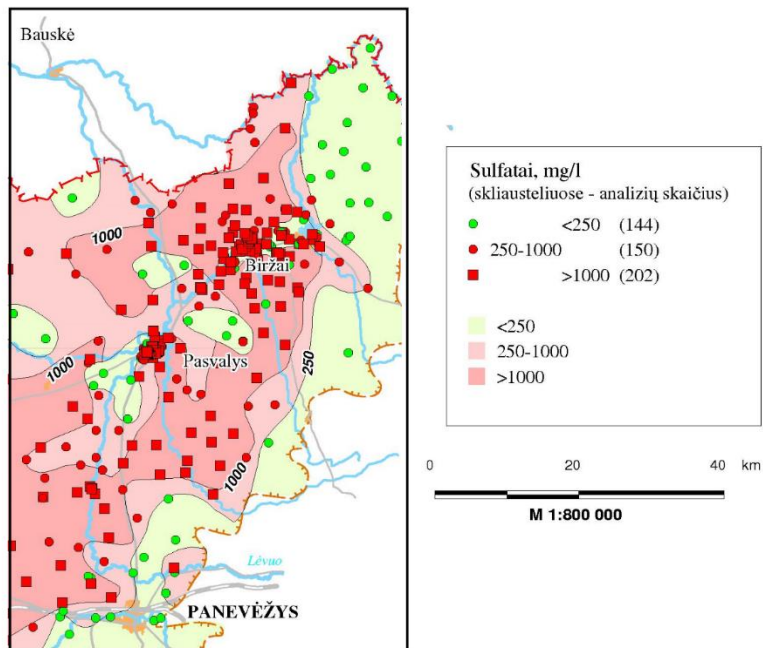
Įstros Tatulos vandeningas sluoksnis. Šio sluoksnio vandens cheminei sudėčiai įtakos turi gipsingi sluoksniai, dėl kurio tirpimo į vandenį patenka sulfatai, kalcis ir magnis ir kurių koncentracijos turi įtakos vandens bendram kietumui ir bendrai mineralizacijai (17, 18 pav.)



17 pav. Bendrosios mineralizacijos pasiskirstymas Įstros - Tatulos vandeningajame sluoksnyje. Šaltinis: Juodkasis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

Visoje Įstros – Tatulos vandeningojo sluoksnio esančio Lietuvoje, teritorijoje randamas didelės bendrosios mineralizacijos vanduo, bendros mineralizacijos reikšmės yra didesnės nei 1000 mg/l. Sporadiškai, kai kuriose vietovėse randama mažesnės mineralizacijos vanduo, nuo 500 iki 1000 mg/l ir iki 500 mg/l. Bendrosios mineralizacijos reikšmės didėja pietvakarių kryptimi.

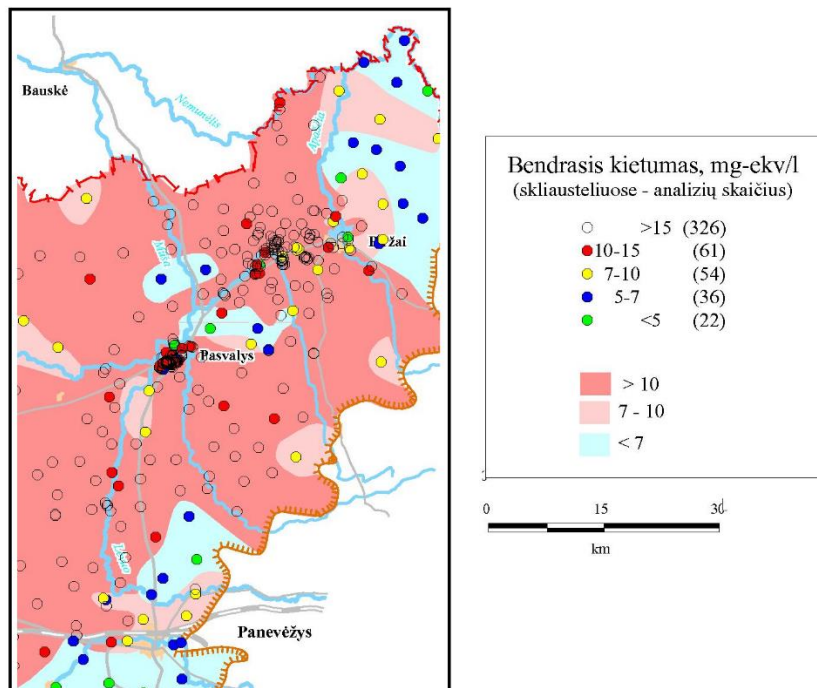
Įstros – Tatulos vandeningame sluoksnyje vyrauja didelės sulfatų koncentracijos (18 pav.). Didelėje dalyje gręžinių vandenyje sulfatų koncentracija viršija 1000 mg/l. Kitoje dalyje gręžinių aptikta sulfatų koncentracija nuo 250 iki 1000 mg/l ir vos keletas sporadiškai paplitusių gręžinių, kuriuose sulfatų koncentracija neviršija higienos normos reikalavimų ir nesiekia 250 mg/l. Sulfatų koncentracijos didėja pietvakarių kryptimi, didėjant sluoksnio slūgsojimo gyliui.



18 pav. Sulfatų koncentracijos Įstros Tatulos vandeningajame sluoksnyje pasiskirstymas.

Šaltinis: Juodkasis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

Chloridų koncentracija šiame sluoksnyje yra gana maža. Bendrojo kietumo paplitimas pateiktas (19 pav.).

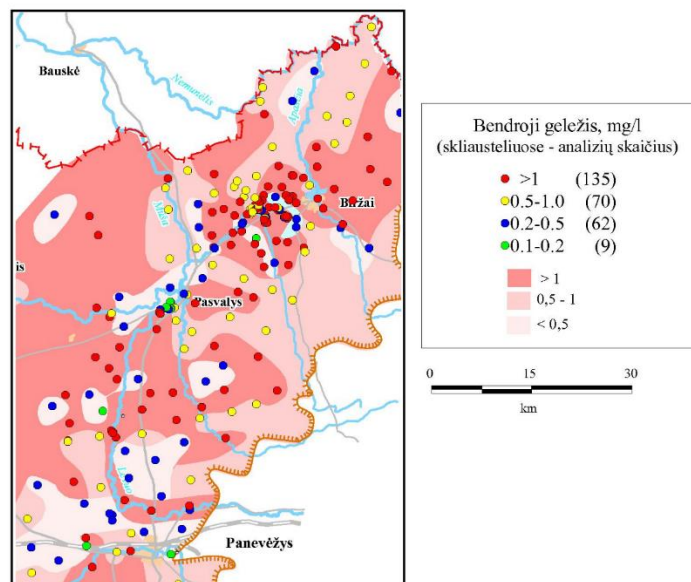


19 pav. Bendrojo kietumo Įstros Tatulos vandeningajame sluoksnyje pasiskirstymas

Šaltinis: Juodkasis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

Įstros – Tatulos vandeningame sluoksnyje stebimas vandens kietumo padidėjimas. Beveik visuose gręžiniuose vanduo yra ypatingai kietas, jo reikšmė viršija 15 mg-ekv/l, vos keletas gręžinių turi mažesnes bendro kietumo vertes vandenyje, kurių koncentracija yra 7-10 mg/l. Ypatingai kietas vanduo paplitęs praktiškai visoje tiriamojoje teritorijoje ir tik sporadiškai išplitę vienas kitas gręžinys į Įstos – Tatulos vandeningą sluoksnį, kur bendro kietumo koncentracija aptinkama mažesnė. Biržų rajono šiaurės - šiaurės rytinėje pusėje bei nedidelėje teritorijoje nuo Pasvalio miesto į šiaurės rytų pusę, gręžiniai aptinkami su mažesne bendrojo kietumo koncentracija. Didžiąją bendro kietumo dalį formuoja sulfatinis, sunkiai iš vandens pašalinamas, vandens kietumas.

Geležies ir amonio kiekis Įstros Tatulos vandeningame sluoksnyje didėja iš rytų į vakarus. Vakaruose jų koncentracija didesnė, tai lemia sluoksnio uždaroumą laipsnis (20 pav.).



20 pav. Bendrosios geležies koncentracijos žemėlapis Įstros Tatulos vandeningame sluoksnyje. Šaltinis: Juodkazis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

Bendroji geležis Įstros - Tatulos vandeningame sluoksnyje pasiskirsčiusi nevienodai, tačiau didelėje gręžinių dalyje aptikta bendrosios geležies koncentracija viršijanti 1000 $\mu\text{g/l}$. Geležies koncentracijos padidėjimas pastebimas Biržų mieste, Pasvalio rajono rytinėje dalyje, ties Likėnais, Pasvalio pietinėje ir pietvakarinėje rajono dalyse. Tuo tarpu šiaurinė bei centro rytinė tiriamojo rajono sritis, pasižymi mažesne bendrosios geležies koncentracija, kuri siekia 500 $\mu\text{g/l}$ – 1000 $\mu\text{g/l}$. Geležies koncentracijos mažėjimas pastebimas nuo Pasvalio miesto į vakarų pusę, kur geležies koncentracija siekia 200 -500 $\mu\text{g/l}$.

Bendri tirtų rajonų Įstros Tatulos vandeningo sluoksnio rodiklių vidurkiai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Vandens cheminė sudėtis Įstros - Tatulos vandeningo sluoksnio gręžiniuose (2015-2020 m.)

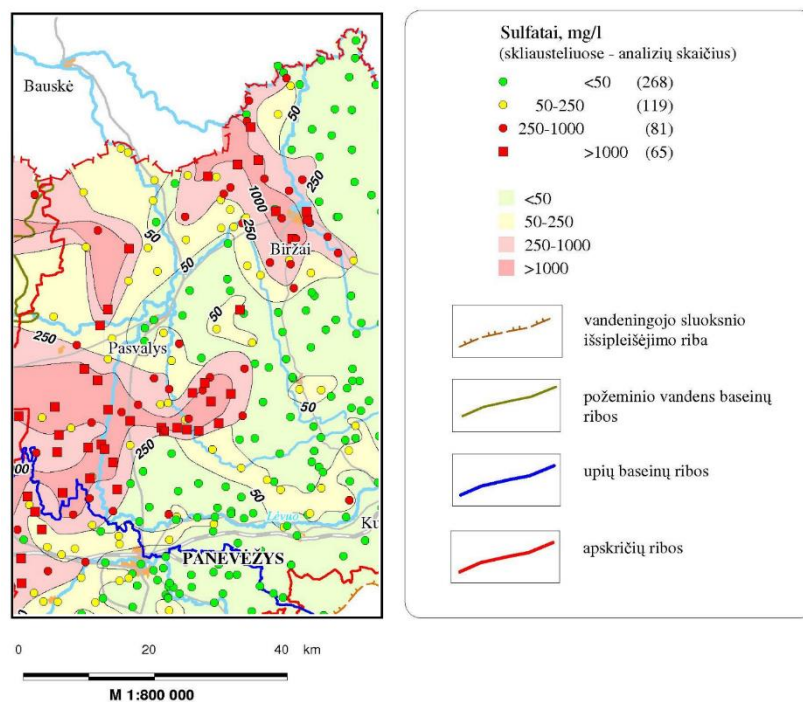
Rodiklio pavadinimas	Didžiausia leistina koncentracija mg/l	Panevėžio raj.			Biržų raj.			Pasvalio raj.		
		min	max	vidur.	min	max	vidur.	min	max	vidur.
Chloridas (Cl^-) mg/l	250	4,85	14,8	11,07	2,4	143	24,72	5,7	21,62	12,5
Sulfatas (SO_4^{2-}) mg/l	250	7,37	1330	684,9	3,5	1351	582,34	23,2	1475	899,72
Hidrokarbonatas (HCO_3^-) mg/l	nenormuojamas	343	458	405,38	276	583	421,72	283	497	390,3
Karbonatas, CO_3^- mg/l	nenormuojamas	0,18	0,43	0,26	0,08	9,2	0,84	0,1	0,61	0,29
Nitritas (NO_2^-) mg/l	0,50	0,05	0,2	0,09	0,01	1,77	0,13	0,01	0,2	0,08
Nitratas (NO_3^-) mg/l	50	0,1	1	0,33	0,05	23,7	1,91	0,05	5,2	1,01
Natris (Na^+) mg/l	200	9,4	20,10	15,48	8	91,3	23,02	15,2	41,6	26,15
Kalis (K^+) mg/l	nenormuojamas	3,5	8,22	5,75	2	7,46	4,54	4,4	13	7,86
Kalcis (Ca^{2+}) mg/l	nenormuojamas	81	633	344,98	72,9	665	322,32	59,10	569	414,43
Magnis (Mg^{2+}) mg/l	nenormuojamas	27,15	44,30	35,12	11,2	50,7	29,19	27,1	116	45,21
Amonis (NH_4^+) mg/l	0,50	0,02	2,06	0,93	0,05	1,78	0,7	0,05	0,82	0,4
Geležis bendroji (Fe) mg/l	0,2	0,07	2,28	0,95	0,02	11	1,88	0,01	3,76	1,03
Vandenilio jonų koncentracija (pH)	6,5 – 9,5	7,11	7,8	7,51	7,06	8,1	7,6	7,08	8	7,53
Savitasis elektrinis laidis ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2500	593	2530	1570,13	506	2540	1419,75	570	2390	1888,1
Permanganato skaičius ($\text{mg O}_2/\text{l}$)	5,0	1,45	13	7,27	0,5	23,5	4,33	0,5	6,02	2,95
Bendras kietumas (mg-ekv./l)	nenormuojamas	6,38	35,2	20,13	4,73	35,44	18,43	5,18	38	25,98

Bendri tirtų rajonų Įstros Tatulos vandeningo sluoksnio rodikliai rodo didelę sulfatų koncentracijų kaitą. Vertintuose rajonuose pasitaiko tik po 1 - 2 gręžinius kur koncentracija neviršija leistinos, tačiau visų rajonų vidurkiai rodo, kad sulfatų koncentracija vandeningame sluoksnyje leistiną ribą viršija 3-4 kartus, o maksimalios koncentracijos daugiau nei 6 kartus. Pasvalio rajone ši koncentracija didžiausia ir siekia 1475 mg/l.. Nitritų norma viršyta tik Biržų rajono 2 gręžiniuose, kituose rajonuose nitritų koncentracija neviršija normos. Geležies koncentracija, vertinant pagal vidurkius yra didesnė nei leistina visuose rajonuose. Mažiausia jos koncentracija fiksuojama Panevėžio rajone, didžiausia Biržų rajone. Biržų ir Pasvalio rajonuose tik dviejuose gręžiniuose geležies koncentracija normos neviršijo. Pasvalio rajone amonio koncentracijos vidurkis yra mažesnis už 0,5

mg/l, tik vieno gręžinio vandenyje nustatyta amonio koncentracija beveik dvigubai viršijanti ribinę. Biržų ir Panevėžio rajonuose amonio koncentracija gręžiniuose neatitinka normų. Biržų ir Panevėžio rajonuose yra tik po 1 gręžinį kur amonio norma vandenyje neviršijama, tačiau vertinant vidurkio reikšmes, Panevėžio rajone koncentracija viršijama beveik dvigubai, o Biržų daugiau nei trigubai. Permanganato skaičiaus reikšmės neatitinka normų Panevėžio raj., Pasvalio rajone tik vieno gręžinio rodikliai neatitinka normos, o Biržų rajone beveik pusėje nagrinėtų gręžinių užfiksuotas nedidelis rodiklio padidėjimas virš ribinių normų. Viename iš gręžinių ši norma viršijama daugiau nei du kartus. Vandens kietumas šiame vandeningame sluoksnyje yra labai didelis. Vertinant pagal vandens kietumo laipsnį, tai net minimalios vertės, siekia vidutinį kietumą, maksimalios reikšmės viršija „Ypatingai kieto“ vandens laipsnio rodiklį, vidutinės vertės taip pat. Toks vandens kietumas fiksuojamas visuose analizuojamuose rajonuose.

Šiame vandeningame sluoksnyje geležies, amonio ir sulfatų koncentracijos yra per didelės geriamam vandeniui ir tik labai ribotuose plotuose jų koncentracijų mažinti nereikia. Į tai reikia atsižvelgti renkantis vandens gerinimo įrenginius.

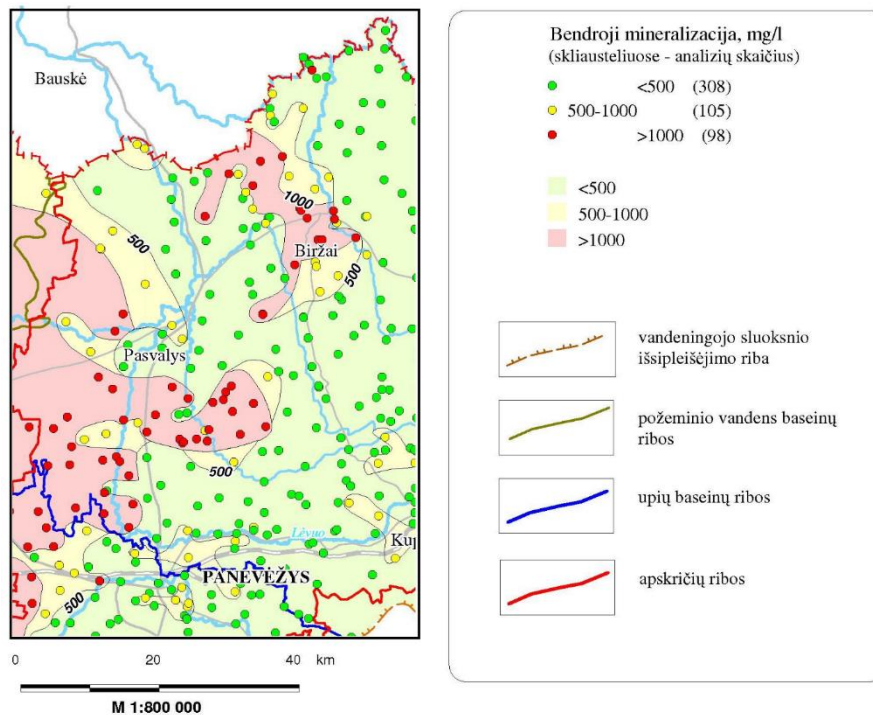
Kupiškio – Suosos vandeningojo sluoksnio vandens sudėtyje aptinkami sulfatai, tačiau skirtingose vietovėse jų reikšmės kinta. Sulfatų koncentracija pastebimai didėja nuo Biržų miesto šiaurės vakarų kryptimi, nuo Pasvalio miesto taip pat šiaurės vakarų kryptimi bei vakarų kryptimi Panevėžio ir Pasvalio rajonų sandūroje. Sulfatų koncentracijos įtaka stipriau pasireiškia tose vietose, kur šį sluoksnį perdengia Įstros Tatulos dariniai (21 pav.).



21 pav. Sulfatų koncentracijos pasiskirstymas Kupiškio - Suosos vandeningame sluoksnyje. Šaltinis: Juodkazis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

Kupiškio – Suosos vandeningame sluoksnyje didžiausios sulfatų koncentracijos (nuo 250 mg/l iki 1000 mg/l) stebimos nuo Biržų į šiaurės vakarų pusę, o kai kuriose vietose ji viršija 1000 mg/l. Vidurinėje ir rytinėje tiriamojoje teritorijos dalyje, kur sluoksniai slūgso iš karto po kvartero danga sulfatų koncentracija aptinkama mažesnė, ji vietomis nesiekia 50 mg/l. Panevėžio rajono šiaurinėje dalyje sulfatų mažai, jų aptinkama iki 50 mg/l.

Chloridų koncentracija didėja priklausomai nuo sluoksnio slūgsojimo gylio - kuo gilesnis sluoksnis tuo koncentracija didesnė, tačiau bendrame kontekste ji nėra labai didelė siekia iki 100 mg/l. Bendrosios mineralizacijos paplitimo žemėlapis tiriamajame rajone, pateikiamas žemiau (22 pav.).



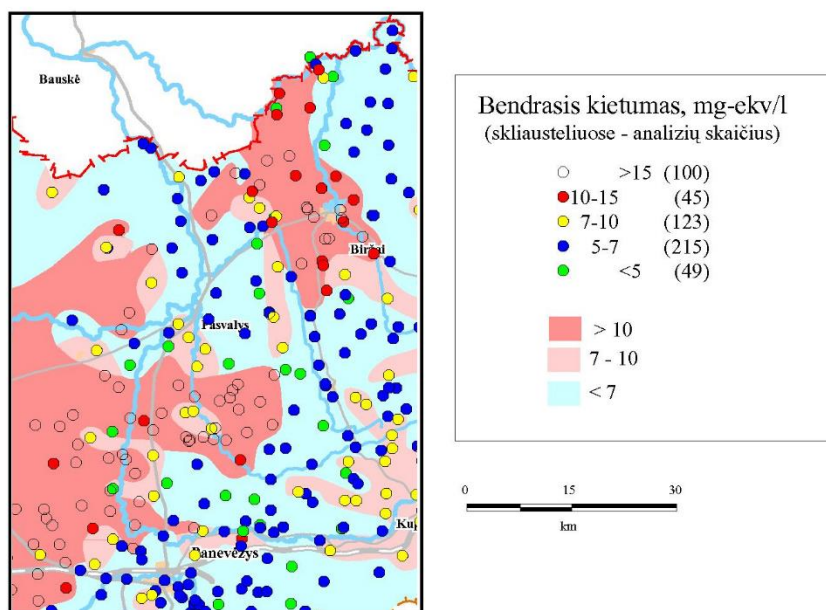
22 pav. Bendrosios mineralizacijos Kupiškio - Suosos vandeningame sluoksnyje žemėlapis.

Šaltinis: Juodkasis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

Bendroji Kupiškio - Suosos vandeningojo sluoksnio mineralizacija atkartoja sulfatų paplitimo teritorijas. Nuo Biržų į šiaurės vakarų pusę vyrauja aukštesnė nei 1000 mg/l bendroji mineralizacijos reikšmė. Taip pat pietinėje ir vakarinėje Pasvalio rajono dalyse. Vidurinėje ir rytinėje tiriamos teritorijos dalyje mineralizacija mažesnė, vietomis nesiekianti 500 mg/l. Panevėžio rajono šiaurinėje dalyje aptinkamas iki 500 mg/l bendrosios mineralizacijos vanduo.

Bendrasis kietumas šiame sluoksnyje taip pat priklauso nuo sulfatų, kalcio, magnio ir hidrokarbonatų koncentracijų (23 pav.). Kupiškio Suosos vandeningame sluoksnyje jis yra mažesnis nei Įstros Tatulos sluoksnyje. Kupiškio Suosos vandeningo sluoksnio mitybos iš Upninkų Šventosios

sluoksniu srityse vanduo yra ne toks kietas, nes į sluoksnių priteka minkštesnis ir mažiau mineralizuotas vanduo. Toks vandens kitimas pastebimas slėniuose.

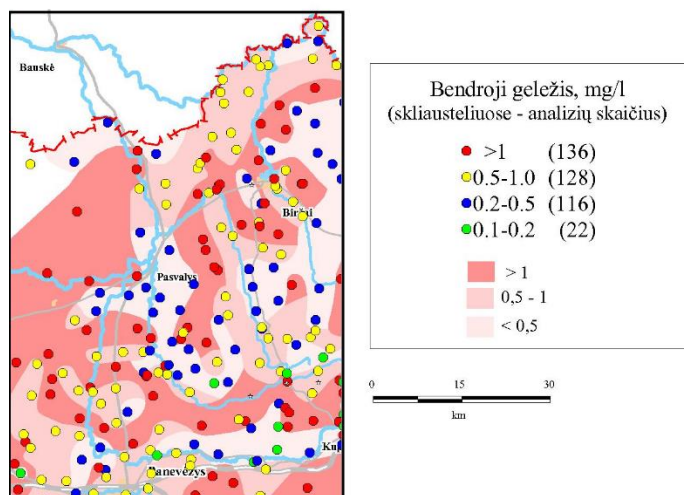


23 pav. Bendrojo kietumo reikšmių pasiskirstymas Kupiškio - Suosas vandeningame sluoksnyje. Šaltinis: Juodkasis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

Bendrojo kietumo reikšmės tiriamojoje teritorijoje pasiskirsčiusios netolygiai. Didžiąja dalimi bendrojo kietumo reikšmės atkartoja sulfatų paplitimo teritoriją. Ji apima Biržų miestą ir driekiasi šiaurės vakarų kryptimi, kur vyrauja bendras 10-15mg-ekv/l vandens kietumas. Ties Pasvalio ir Panevėžio rajonų susikirtimu ir nuo jo vakarų kryptimi, fiksuojamas daugiau nei 15 mg-ekv/l bendras vandens kietumas. Ties Pasvalio miestu bendras kietumo rodiklis šiek tiek mažesnis ir siekia 5-7 mg-ekv/l. Tuo tarpu šiaurės rytinėje tiriamojoje teritorijos dalyje aptinkama 5-7mg-ekv/l kietumo vanduo.

Šiame sluoksnyje yra ryškesnis ir sluoksniu uždarumo veiksnys, turintis įtakos hidrokarbonatų koncentracijai. Jų koncentracija mažėja iš vakarų į rytus, dėl atviresnių sluoksnių. Toks pats procesas būdingas ir geležies ir amonio koncentracijoms kitimui (24 pav.). Natrio ir kalio koncentracijos taip pat didėja vakarų kryptimi.

Bendroji geležis Kupiškio – Suosas vandeningame sluoksnyje pasiskirsčiusi labai netolygiai. Ties Pasvaliu ir pietų bei vakarų kryptimi ji yra mažesne ir siekia 200μg - 500μg . Šiaurinėje tiriamojo rajono dalyje ties Latvijos siena aptinkama didesnė bendroji geležies koncentracija, kuri siekia 500 – 1000 μg/l, tuo tarpu ties Biržų miestu ir centrinėje karstinio rajono dalyje, aptinkama ženkliai didesnė bendroji geležies koncentracija, kur ji viršija 1000μg/l.



24 pav. Bendrosios geležies Kupiškio - Suosas vandeningame sluoksnyje pasiskirstymas

Šaltinis: Juodkasis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

Bendri tirtų rajonų Kupiškio Suosas vandeningo sluoksnio vandens kokybės rodiklių vidurkiai pateikti 6 lentelėje

6 lentelė. Vandens cheminė sudėtis Kupiškio Suosas vandeningo sluoksnio gręžiniuose (2015-2020 m.)

Rodiklio pavadinimas	Didžiausia leistina koncentracija mg/l	Panevėžio raj.			Biržų raj.			Pasvalio raj.		
		min	max	vidur.	min	max	vidur.	min	max	vidur.
Chloridas (Cl^-) mg/l	250	3,2	23,5	9,1	3,39	39,4	12,74	6,8	43,2	16,55
Sulfatas (SO_4^{2-}) mg/l	250	82,8	1430	1155,98	2,11	1378	455,42	115	1310	860,33
Hidrokarbonatas (HCO_3^-) mg/l	nenormuojamas	355	452	383	329	526	387,17	339	555	439,83
Karbonatas, CO_3^- mg/l	nenormuojamas	5,84	7,41	6,28	0,14	0,78	0,31	0,08	9,2	1,72
Nitritas (NO_2^-) mg/l	0,50	0,01	0,05	0,05	0,01	0,02	0,06	0,01	0,05	0,03
Nitratas (NO_3^-) mg/l	50	0,05	0,35	0,12	0,05	23,53	2,10	0,05	85,10	10,75
Natris (Na^+) mg/l	200	8,6	22	15,07	4,3	24,5	11,31	8,7	28,8	18,8
Kalis (K^+) mg/l	nenormuojamas	3,4	7,6	5,4	1,5	9,11	5,18	2,7	17,10	7,9
Kalcis (Ca^{2+}) mg/l	nenormuojamas	73	910	523	62,54	626,8	263,06	135	615	415,83
Magnis (Mg^{2+}) mg/l	nenormuojamas	31,3	51,4	41,84	24,6	42,4	30,94	21,8	73,4	48,33
Amonis (NH_4^+) mg/l	0,50	0,18	3,27	1,82	0,02	2,54	0,51	0,27	2,86	0,97

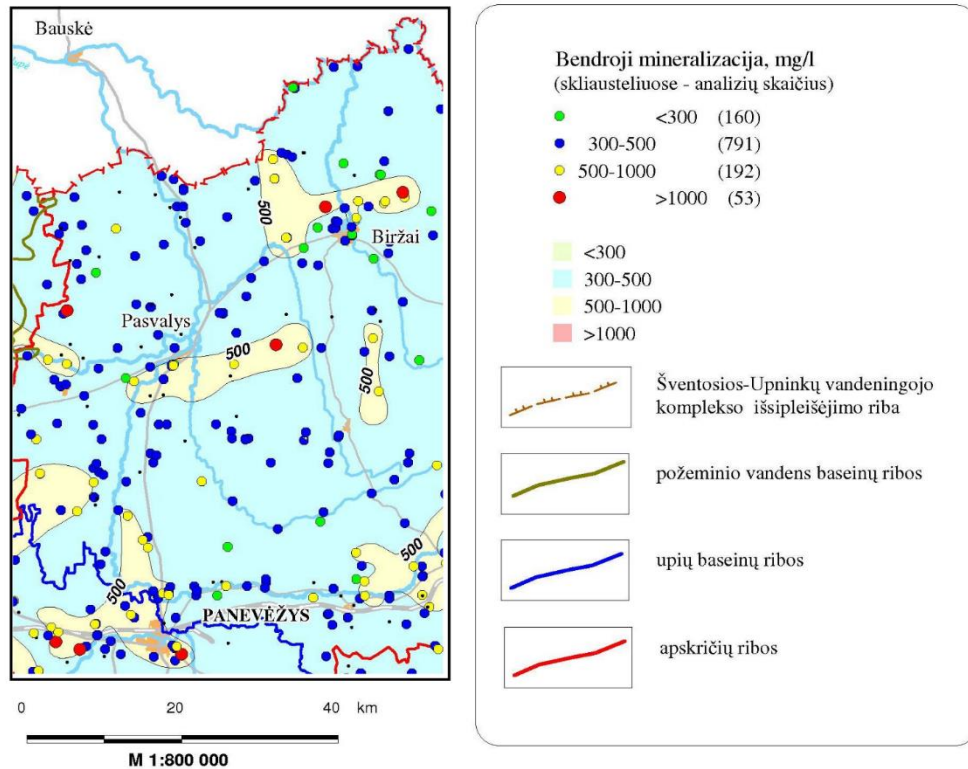
Geležis bendroji (Fe) mg/l	0,2	0,07	2,91	0,65	0,01	3,34	0,58	0,01	1,02	0,24
Vandenilio jonų koncentracija (pH)	6,5 – 9,5	7,28	7,94	7,56	6,8	8,1	7,5	6,7	7,75	7,33
Savitasis elektrinis laidis (μ S/cm)	2500	685	2480	2106,11	545	2430	1227,7	980	2390	1848,88
Permanganato skaičius (mgO ₂ /l)	5,0	1,11	11,2	5,83	0,5	9,8	3,38	1,43	9,44	3,57
Bendras kietumas (mg-ekv./l)	nenormuojamas	7,06	39	28,74	4,2	34,33	14,29	11,5	35,2	23,98

Analizuojant Kupiškio Suosos duomenis pastebima, kad 2015-2020 metų vandens cheminių tyrimų duomenys panašūs į Įstros - Tatulos vandeningo sluoksnio. Vertintų rajonų sulfatų koncentracijų vidurkiai rodo šiek tiek mažesnę jų kaitą. tačiau ribinė vertė sluoksnio vandenyje viršijama apie 4 kartus. Panevėžio rajone sulfatų koncentracijos vidurkis didžiausias, Biržų – mažiausias. Toksinių azoto junginių - nitritų ir nitratų koncentracijos leidžiamų ribų neviršija. Didžiojoje tirtų gręžinių dalyje bendrosios geležies ir amonio koncentracijos viršijo leidžiamas vertes, tik pavienių gręžinių vandenyje jos buvo mažesnės. Permanganato skaičiaus reikšmės kinta nuo 0,5 iki 11,2 mg O/l. Didžiausios jos Panevėžio raj. gręžinių vandenyje, kur jo reikšmės viršija leidžiamą vertę. Tuo tarpu Biržų ir Pasvalio rajonuose ji yra didesnė tik 2 gręžiniuose. Tik Biržų rajono 1 gręžinyje aptiktas vidutinis kietumas. Visuose kituose rajonuose aptinkami gręžiniai tik su labai kietu ar ypatingai kietu vandeniu, kai kur vandens kietumo reikšmė dvigubai viršija „Ypatingai kieto“ vandens kietumo laipsnį.

Iš duomenų (žiūr. 5 ir 6 lentelė) ir žemėlapių (žiūr. 17-24 pav.) analizės matyti, kad vanduo Įstros - Tatulos ir Kupiškio Suosos vandeninguose sluoksniuose yra nekokybiškas, todėl tokio vandens be gerinimo įrenginių vartoti negalima. Norint vandenį paruošti iki higienos normos reikalaujamų koncentracijų, yra reikalingi didelių gabaritų filtrai, kurie būtų pajėgūs tinkamai išvalyti vandenį. Mažesnių koncentracijų šalinimui galima parinkti kitokius filtrus, kurie būtų siauresnio veikimo ir šalintų tik tam tikrus komponentus. Norint turėti kokybišką vandenį individualiam vartotojui, yra reikalingi trys skirtingi filtrai: minkštinimo, atbulinio osmoso ir nugeležinimo filtras su oksidacine talpa. Naudojant minkštinimo filtrą atsiranda šalutinis poveikis - vandenyje atsiranda daug natrio jonų. Toks vanduo netinkamas gerti, todėl reikalinga atbulinio osmoso sistema, kad būtų pašalinti natrio jonai. Turi būti pašalintas ir sulfatų perteklius, tik toks vanduo bus tinkamas naudoti maistui ir buityje. Analizuojami duomenys rodo, kad šiuose vandeninguose sluoksniuose yra per daug geležies, bei amonio, todėl yra reikalingas dar vienas nugeležinimo filtras su oksidacine talpa.

Šventosios – Upninkų vandeningame komplekse karstinio rajono ribose yra paplitęs geros kokybės kalcio magnio hidrokarbonatinis požeminis vanduo. Jo bendroji mineralizacija nėra didelė

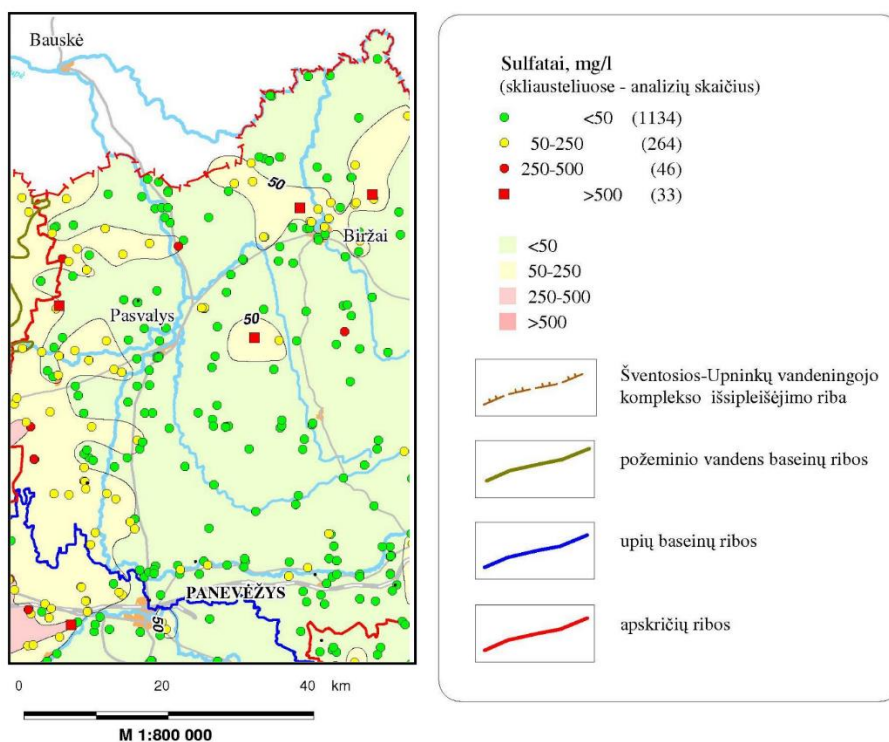
(25 pav.), praktiškai visoje teritorijoje siekia 300 – 500 mg/l. Tik kai kuriose vietose, ties Biržų miestu bei Pasvalio rajono pietrytinėje dalyje, aptinkamos didesnės bendrosios mineralizacijos reikšmės (500-1000 mg/l), o sporadiškai paplitusiose vietovėse, matyt dėl prietakos iš aukščiau slūgsančių gipsingų jaunesnių devono sluoksnių, mineralizacijos reikšmės viršija 1000 mg/l.



25 pav. Bendrosios mineralizacijos pasiskirstymas Šventosios – Upninkų vandeningame komplekse. Šaltinis: Juodkazis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

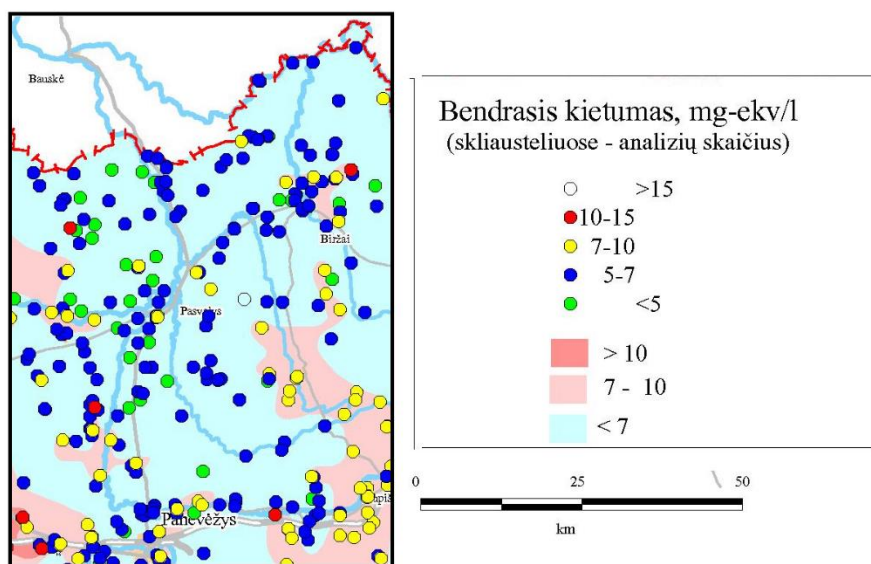
Sulfatų koncentracija šiame sluoksnyje maža. Šventosios - Upninkų vandeningame sluoksnyje aptinkama iki 50 mg/l sulfatų koncentracija. Tik keliuose gręžiniuose ties Biržų miestu bei į šiaurės vakarus aptinkama 50-250 mg/l sulfatų koncentracija, kuri dar neviršija didžiausios leistinos geriamam vandeniui. Ir tik keliuose gręžiniuose buvo aptikta sulfatų, kurių koncentracija siekė 500 mg/l ir daugiau.

Sulfatų paplitimas tiriamojoje teritorijoje pateikiamas žemėlapyje (26 pav.).



26 pav. Sulfatų koncentracijos pasiskirstymas Šventosios-Upninkų vandeningame komplekse. Šaltinis: Juodkazis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

Šventosios - Upninkų vandeningame sluoksnyje bendrojo kietumo reikšmės visoje analizuojamoje teritorijoje siekia 5-7mg-ekv/l (27 pav.), jis yra vidutinio kietumo.

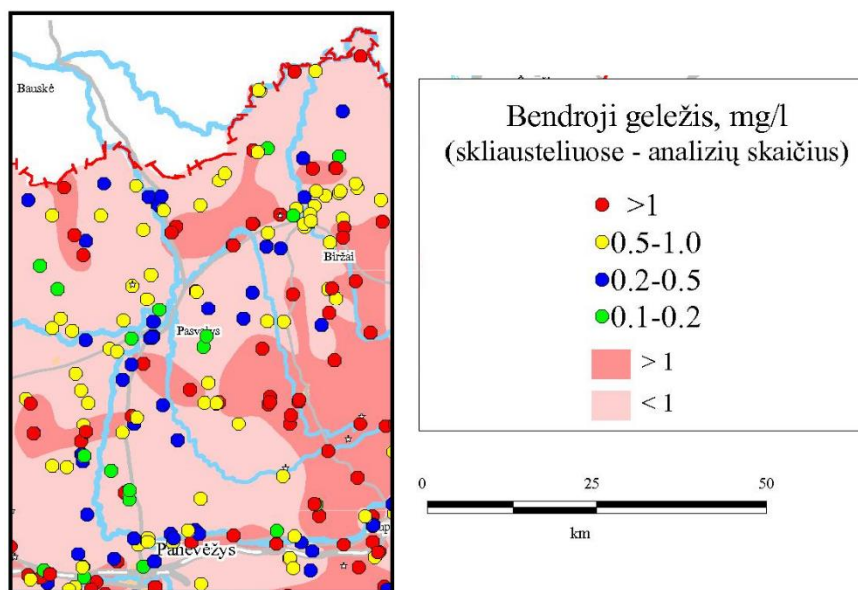


27 pav. Bendrojo kietumo reikšmės Šventosios - Upninkų vandeningame komplekse. Šaltinis: Juodkazis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

Panevėžio raj. šiaurinėje dalyje ir aplink Biržus pavieniuose gręžiniuose aptinkamas kietas 7-10mg-ekv/l vanduo, Vakarinėje tiriamojo rajono dalyje bendrojo kietumo reikšmės yra įvairios ir vietomis nesiekia 5mg-ekv/l, o kai kur padidėja iki 7 mg-ekv/l.

Hidrokarbonatų koncentracijai įtakos turi gruntinio vandens prietaka mitybos zonose. Chloridinio tipo vanduo, kuriam taip pat yra būdingos didesnės natrio ir kalio jonų koncentracijos yra paplitęs pačiame pietvakariniame tirtos teritorijos pakraštyje ir yra susiformavęs dėl mineralizuoto vandens prietakos iš gilesnių sluoksnių.

Vandeningų šio komplekso sluoksnių atvirumas, vandens prisotinto deguonimi prietaka turi įtakos geležies koncentracijos pasiskirstymui (28 pav.)



28 pav. Bendrosios geležies koncentracijos Šventosios - Upninkų vandeningame komplekse. Šaltinis: Juodkazis, Gregorauskas ir Mokrik (2012)

Šventosios – Upninkų vandeningame komplekse bendroji geležies koncentracija daugiausiai kinta nuo 100 iki 1000 $\mu\text{g}/\text{l}$, didesnės jos koncentracijos paplitusios Biržų rajono rytinėje dalyje, Pasvalio rajono pietrytinėje dalyje, kur siekia daugiau nei 1000 $\mu\text{g}/\text{l}$. Centrinėje tiriamojo rajono dalyje bendroji geležies koncentracija mažesnė - 200 – 500 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Bendri tirtų rajonų Šventosios-Upninkų vandeningojo komplekso vandens kokybės rodiklių vidurkiai pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Vandens cheminė sudėtis Šventosios- Upninkų vandeningo komplekso gręžiniuose (2015-2020 m.)

Rodiklio pavadinimas	Didžiausia leistina koncentracija mg/l	Panevėžio raj.			Biržų raj.			Pasvalio raj.		
		min	max	vidur.	min	max	vidur.	min	max	vidur.
Chloridas (Cl^-) mg/l	250	10,3	24,13	18,53	6,05	42,03	18,69	3,75	21,53	11,71
Sulfatas (SO_4^{2-}) mg/l	250	24,26	86,1	41,91	2,15	53,02	24,08	11,82	138,4	38,57
Hidrokarbonatas (HCO_3^-) mg/l	nenormuojamas	326	391	348	273	423	333,5	309	404	331,88
Karbonatas, CO_3^- mg/l	nenormuojamas	0,16	0,28	0,2	0,13	0,21	0,16	0,15	0,2	0,16
Nitritas (NO_2^-) mg/l	0,50	0,1	1	0,78	0,05	0,2	0,18	0,2	0,2	0,2
Nitratas (NO_3^-) mg/l	50	0,05	2	0,61	0,1	1	0,89	1	1	1
Natris (Na^+) mg/l	200	14,4	18,87	16,1	8,94	38,72	17,98	12,38	27,54	18,62
Kalis (K^+) mg/l	nenormuojamas	5,92	10,73	8,62	7,43	10,49	8,83	7,24	11,44	9,04
Kalcis (Ca^{2+}) mg/l	nenormuojamas	58,73	89,4	71,68	50,5	82,81	67,86	44,14	80,91	63
Magnis (Mg^{2+}) mg/l	nenormuojamas	21,99	32,46	26,68	25,95	38,39	31,58	21,25	37,24	28,3
Amonis (NH_4^+) mg/l	0,50	0,02	0,21	0,08	0,02	0,37	0,17	0,02	0,26	0,05
Geležis bendroji (Fe) mg/l	0,2	0,15	0,39	0,26	0,01	0,927	0,35	0,13	0,81	0,23
Vandenilio jonų koncentracija (pH)	6,5 – 9,5	7,19	7,72	7,36	7,29	7,52	7,38	6,97	7,65	7,35
Savitasis elektrinis laidis ($\mu\text{S/cm}$)	2500	582	710	642,5	455	809	591,75	501	730	573,7
Permanganato skaičius (mgO_2/l)	5,0	0,79	2,15	1,46	0,58	2,77	1,43	0,5	2,62	1,39
Bendras kietumas (mg-ekv./l)	nenormuojamas	4,74	6,41	5,81	5,22	7,7	6,14	4,58	6,62	5,59

Analizuojant duomenis pastebima, kad Šventosios- Upninkų 2015-2020 metų hidrocheminės analizės rezultatai skiriasi nuo Įstros –Tatulos ir Kupiškio – Suosos. Šio sluoksnio vandens kokybė yra geresnė, jame tik pavieniais atvejais randamos neleistinos nitritų koncentracijos (Panevėžio rajone). Daugumos gręžinių vanduo atitinka geriamojo vandens reikalavimus. Tik bendrosios geležies koncentracija, daugiausiai Biržų rajono gręžinių vandenyje yra didesnė už leidžiamą. Pasvalio ir Panevėžio rajonuose šis rodiklis yra arti normos, ir tik keliuose gręžiniuose ji truputį viršijama. Amonio koncentracijos atitinka geriamojo vandens reikalavimus.

Šiame vandeningame sluoksnyje vienintelis probleminis rodiklis gali būti geležis, jos koncentracija daugumos gręžinių vandenyje yra arti normos. Vandens kietumas svyruoja nuo vidutiniškai kieto iki kieto. Į tai reikia atsižvelgti renkantis vandens gerinimo įrenginius.

3.3 Požeminio vandens gerinimo įrenginių parinkimo principai

Parentant vandens gerinimo įrenginius labai svarbu atsižvelgti į skirtingas vandens hidrochemines savybes. Kuo didesne elementų koncentracija vandenyje, tuo didesnius filtrus reikia montuoti. Filtrų dydis priklauso nuo cheminių elementų koncentracijos ir įvairovės. Cheminių elementų koncentracija turi priklausomybę investiciniams ir eksploatacijos kaštams.

Jei vandenyje yra aptinkamos organinės medžiagos, kai permanganato skaičius viršija ribines vertes, ir vandenį, kuriame reikalinga pašalinti geležį (nugeležinimo filtrai), kur geležies koncentracija žymiai viršija leistinas normas, tokį vandenį išfiltruoti yra sudėtingiau. Permanganato įtaka neigiamai veikia oksidacijos – redukcijos procesą, todėl filtrų eksploatacinės savybės tampa prastesnės, ko pasekoje, nukenčia vandens gerinimo kokybė ir filtrų eksploatacinis laikas trumpėja. Filtrų eksploatacines savybes pagerina kalio permanganatas, kuris paspartina jonų mainų reakcijas, ir vanduo išvalomas lengviau. Tačiau toks vanduo yra netinkamas naudoti buityje dėl permanganato koncentracijos, tokio vandens nuotekos negali būti valomas biologiniuose buitinių nuotekų valymo įrenginiuose, nes kalio permanganatas naikina mikrobiologiją, kuri yra pagrindinis biologinio valymo įrenginių „variklis“.

Aptikus aukštas bendrojo kietumo tiriamajame vandenyje reikšmes, reikalinga įrengti minkštinimo filtrus. Filtrų korpuso bei įkrovos dydis turi tiesioginę priklausomybę nuo vandens kietumo lygio, kuo didesnis keitumas, tuo didesni minkštinimo filtrai turi būti įrengti. Tai būtina numatyti, nes minkštinimo filtrai turi tam tikrą resursą, kuriuo gali išvalyti tam tikrą vandens kiekį. Atsižvelgiant į vandens tyrimo rezultatus, turi būti atsakingai parenkama filtrų konstrukcija, kuri užtikrintų kokybišką vandens gerinimo procesą.

Osmoso sistemoms nepageidaujamų elementų koncentracija valomame vandenyje taip pat turi įtakos eksploatacijos kaštams. Kuo didesnė elementų koncentracija yra vandenyje, tuo didesni eksploatacijos kaštai. Įrengiant valymo sistemas būtina atsižvelgti į filtrų įrengimo eiliškumą, neįvertinus eiliškumo eksploatacinės išlaidos gali didėti.

Įstros - Tatulos vandeningame sluoksnyje vyrauja didelės mineralizacijos, labai kietas vanduo, kuriame geležies, amonio ir sulfatų koncentracijos viršija geriamam vandeniui nustatytas specifikuotas šių rodiklių vertes. Be papildomo paruošimo vanduo netinka gėrimui ir buities reikmėms, todėl norint

tinkamai paruošti šio sluoksnio vandenį būtina įrengti skirtingus filtrus: minkštinimo filtrus, atbulinio osmoso filtrus ir nugeležinimo filtrus, kurių veikimo detalesnis aprašymas pateiktas 1.4 skyriuje.

Labai panaši yra Kupiškio - Suosos vandeningo sluoksnio vandens sudėtis, todėl naudojami tokie pat filtrai kaip ir Įstros Tatulos vandeningo sluoksnio vandens gerinimui.

Šventosios – Upninkų vandeningo komplekso vandens kokybė yra žymiai geresnė, vienintelis probleminis rodiklis yra geležis, todėl čia jokių kitokių filtrų išskyrus nugeležinimo nereikia.

Taigi, atsižvelgiant į vandens tyrimo rezultatus, yra parenkami reikalingi vandens gerinimo filtrai. Kuo didesne cheminių elementų koncentracija tuo didesni investiciniai bei eksploataciniai kaštai. Gręžinių įrengimo ir eksploataavimo išlaidos skirtingiems vandeningiems sluoksniams priklausomai nuo parinktų filtrų ir yra pateikti 8 lentelėje.

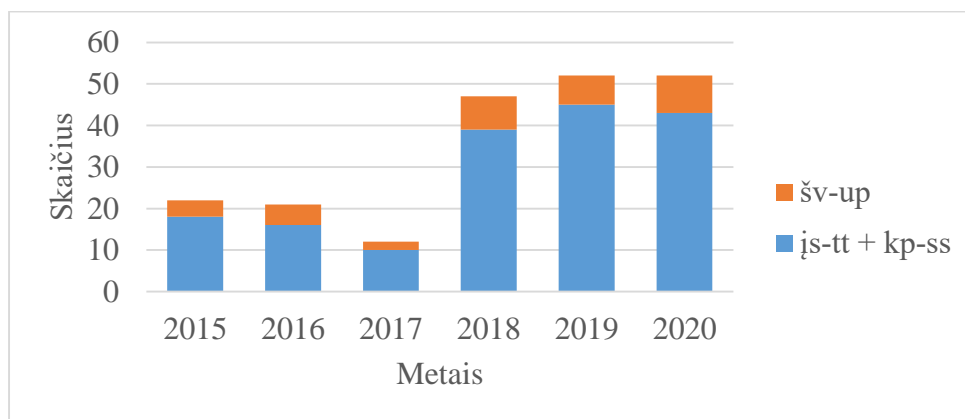
8 lentelė. Gręžinių įrengimo ir eksploataavimo ekonominis pagrindimas

	Vandeningi sluoksniai		
	D3 js-tt	D3 kp-ss	D3šv - D2up
Vandens gręžinio gylis, m	25	40	120
Vandens gręžinio įrengimas, Eur	1452,00	2553,00	9438,00
Vandens tiekimo sistemos įrengimo, Eur	1815,00	1815,00	1815,00
Vandens tiekimo sistemos eksploatacijos kaštai metams, Eur	24,09	24,09	24,09
Dokumentacijos tvarkymas su vandens tyrimais, Eur	400,00	400,00	400,00
Transporto išlaidos, Eur	200,00	200,00	200,00
Nugeležinimo filtrų įrengimas, Eur	1000,00	1000,00	1000,00
Nugeležinimo filtrų eksploatacijos kaštai metams, Eur	48,00	48,00	7,20
Minkštinimo filtrų įrengimas, Eur	1000,00	1000,00	nereikia
Minkštinimo filtrų eksploatacijos kaštai metams, Eur	120,00	120,00	nereikia
Atbulinio osmoso sistemos geriamam vandeniui įrengimas, Eur	600,00	600,00	nereikia
Atbulinio osmoso sistemos geriamam vandeniui eksploatacijos kaštai metams, Eur	80,00	80,00	nereikia
Viso investicija vandens gavybai, Eur	6467,00	7568,00	12853,00
Visi kaštai vandens gavybai 10 metų laikotarpiui, Eur	9187,90	10288,90	13165,90
Visi kaštai vandens gavybai 20 metų laikotarpiui, Eur	12908,80	14009,80	13978,80
Visi kaštai vandens gavybai 30 metų laikotarpiui, Eur	16629,70	17730,70	14791,70
Visi kaštai vandens gavybai 50 metų laikotarpiui, Eur	24071,50	25172,50	16417,50

Įvertinus gręžinio įrengimą ir eksploataavimo ekonominius skaičiavimus (žiūr. 7 lentelė) matyti, kad gręžinį įrengti į viršutinius sluoksnius ekonomiškai tik 10 metų perspektyvoje, arba tuo atveju jeigu nebus įvertinti visi įrengimo ir eksploataavimo kaštai. Žiūrint į ilgalaikę perspektyvą (20-50 metų) gręžinį ekonomiškai naudinga gręžti ir vandens sistemą įrengti į Šventosios-Upninkų vandeningus sluoksnius.

3.4 Individualių ūkių vandens tiekimo pasirinkimo/patrauklumą lemiantys veiksniai. Gręžinių daroma įtaka karstui ateities perspektyvoje

Karsto procesas – natūralus reiškinys, tačiau jo aktyvumą gali paveikti žmogaus veikla, Stankūno (2008) teigimu žemėnauda, sąvartynai, urvų uždarymas ir atidengimas ir kitokia veikla, kuri veikia nuosėdų kaupimąsi, speleotemų formavimąsi, požeminio vandens kokybę, lemia aktyvesnę karso formavimąsi. Žemės ūkio veikla aktyvioje karsto zonoje yra reguliuojama. Šiuo metu smegduobių susidarymo intensyvumas vis labiau gali būti siejamas su išpumpuojamo vandens kiekiu, ypačingai iš viršutinių vandeningųjų sluoksnių (Satkūnas 2008). Tam įtakos turi kas metais įrengiamas vis didesnis individualių gręžinių skaičius (29 pav.). Per 3 paskutinius metus individualių gręžinių skaičius, įrengtų į Įstros-Tatulos ir Kupiškio - Suosos vandeningus sluoksnius išaugo dvigubai., kaip ir į Šventosios-Upninkų vandeningą kompleksą (žr. 29 pav.).



29 pav. Įrengtų individualių gręžinių skaičius 2015-2020 m.

Tačiau Įstros - Tatulos ir Kupiškio – Suosos gręžinių skaičius kartu sudėjęs 400 proc. lenkia į Šventosios - Upninkų kompleksą įrengtų gręžinių skaičių. Tik 2016 metais skirtumas tarp šių gręžinių buvo sumažėjęs iki 300 proc. Tai parodo individualių gręžinių pasirinkimo prioritetus. Gyventojai dažniau renkasi negilius Įstros-Tatulos ir Kupiškio - Suosos vandeningus sluoksnius, taip yra dėl gręžinio įrengimo kaštų, kurie yra ženkliai mažesni, nei įrengiant gręžinius į Šventosios – Upninkų vandeningus sluoksnius (žiūr. 7 lentelę). Geriamojo vandens sistemos įrengimas vertinamas vienpusiškai pagal gręžinio įrengimo kainą, neatsižvelgdami į ateities perspektyvas ir neįvertindami nei galimos ekonominės ateities perspektyvos, nei aplinkosauginių veiksnių. Tam įtakos turi ir per mažas valstybės dėmesys. 2019 metais buvo priimtas veiksnių planas, kuriame didesnis dėmesys skiriamas karstinio rajono apsaugai nuo taršos - ekologinio ūkininkavimo skatinimui ir ūkininkų švietimui. Švietimas didina socialinę įtrauktį, tačiau tai susiję daugiau su tarša, nei su gręžinių įrengimu ir išpumpuojamu vandeniu (Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerija 2019).

Aplinkos ministerijos teigimu, karstiniame regione sparčiai didėjantis naujai įrengiamų gręžinių skaičius, skirtų individualiam apsirūpinimui vandeniu, kelia rūpesčių, nes dėl ekonominių priežasčių gręžiniai dažnai įrengiami į seklesnius (karstėjančius) sluoksnius. Šis vanduo pasižymi prasta kokybe, jo negalima ne tik gerti, tačiau ir naudoti buityje. Tokį vandenį reikia papildomai apdoroti, o be to jis kelia riziką karstinio proceso aktyvinimui. Be legalių gręžinių aplinkos ministerija mini ir nelegalius gręžinius, kurie gali sudaryti 30-50 proc. registruotų gręžinių skaičiaus. Šios problemos nulėmė, kad seimui buvo suformuoti ir pateikti svarstymui trys projektai susiję su požeminio vandens išteklių vartojimo kokybine ir kiekybine apsauga. (Lietuvos respublikos aplinkos ministerija 2021). Kiekybinė apsauga labai svarbi karstiniam regionui, kad nebūtų keliama rizika karstiniam procesui ir vandens užterštumui.

Šiuo metu Pasvalio rajono monitoringo programa apima šachtinių šulinių vandens kokybės analizę, nes 2016 metais 50 proc. tirtų šulinių viršytas nitratų skaičius, net 80 proc. šulinių viršytas permanganato skaičius. Atliktas monitoringas taip pat leidžia spręsti apie vandens kokybės kitimą ir lyginant su 2013 ir 2015 metų duomenis matyti vandens gerėjimo tendencijos, tačiau jos nežymios - gerėjimas siekia apie 3 proc. (Ekolokiška Žemdirbystė 2017). Pagerėjimą lemia ūkininkų švietimas ir ekologinio ūkininkavimo skatinimas, kaip jau buvo minėta analizuojant Europos karstinio regiono vandens kokybę (žiūr. 1.3 skyrelį) karstiniam viršutiniam vandeningam sluoksniu būdinga tarša biologiniais teršalais bei sulfatais, dėl jo prasiskverbimo intensyvumo (Dippenaar, van Rooy, ir Diamond, 2019). Dėl šių priežasčių šis vanduo nėra tinkamas vartoti, jis gali būti naudojamas tik drėkinimui, tačiau tai sukelia riziką karsto intensyvėjimui dėl per didelio išpumpuojamo vandens kiekio (Johnson 1985), tokio vandens vartojimas galimas tik efektyviai jį valant. Jis nėra saugus vartoti ir būtina jo filtracija (Wagner 2013). Tokio masto tyrimų Lietuvoje atlikta nėra, tačiau užsienio autoriai analizuoja karstinio vandens kokybę ir jo aktyvumo rizikas ir daro išvadą, kad tai problema, kurią reikia pradėti spręsti šalies lygiu, tačiau apsistoti ties tuo nederėtų, nes karstiniai regionai apjungia kelias šalis, ir jeigu vienoje šalyje bus imtasi griežtų reglamentavimo priemonių, o kitoje šiai problemai spręsti nebus kreipiama dėmesio, tai problema nebus išspręsta – karsto aktyvėjimo rizika didės kaip ir vandens užterštumas (Goldscheider et al., 2020). Taip pat užsienio autoriai pastebi, kad tokio vandens naudojimui turi būti pasitelktos visos priemonės: teisinės, inžinerinės, socialinės (Stevanović ir Milanović; 2015). Būtent šios priemonės nėra plačiai analizuotos Lietuvoje.

Lietuvos karstinio regiono vandens kokybei skiriamas didesnis dėmesys, tačiau vandens kiekio, išpumpuojamam iš Įstros-Tatulos, Kupiškio–Suosos vandeningų sluoksnių, problema nėra sprendžiama. Vienintelis sprendimo būdas, kuris yra įgyvendinamas tirtuose rajonuose – centralizuoto geriamo vandens tiekimo tinklų plėtra. Biržų rajone 2022 metais turi būti baigtas centralizuoto vandens tiekimo atnaujinimo ir plėtros projektas, tačiau jo pabaigoje prie centralizuoto tiekimo galės

prisijungti tik 79 nauji privačių valdų vartotojai (UAB “Biržų vandenys” vandentiekio ir nuotekų tinklų plėtra 20019). Tai truputį daugiau nei per metus išgręžiama naujų gręžinių (žiūr 35 pav.). Pasvalio rajone 2018 metais neatsirado nei vieno naujo centralizuotos sistemos individualaus ūkio abonemento (Vandens tiekimas - Pasvalio vandenys 2021). Pasvalio rajone taip pat bus įgyvendintas centralizuoto tiekimo plėtros ir atnaujinimo projektas skirtas Daujėnų ir Joniškėlio miestelių gyventojų prijungimui prie centralizuotos sistemos, tačiau tai tik ateities perspektyva ir dar nėra paskaičiuota, kiek tiksliai ūkių galės prisijungti prie šios sistemos (2014-2020 Europos Sąjungos fondų investicijos Lietuvoje 2016). Panašus projektas parengtas ir Panevėžio miestui ir rajonui. Šio projekto mastai kur kas didesni ir teigiama, kad jį įgyvendinus prie centralizuotų tiekimo tinklų bus galimybė prijungti 490 privačių namų ūkių (2014-2020 Europos Sąjungos fondų investicijos Lietuvoje 2017). Centralizuotas vandens tiekimas viena iš problemos sprendimo galimybių, kuri nėra pilnai išspręsta ne tik rajonuose, tačiau ir miestuose, nes Lietuvos geriamojo vandens tiekimo plane teigiama, kad Biržų mieste 50 proc. miesto gyventojų vis dar nėra prisijungę prie centralizuoto vandens tiekimo. Todėl Biržai neišnaudoja net 44 proc. vandenviečių galimybių, Panevėžio rajone viešam tiekimui išnaudojamas 82 proc., o Pasvalio rajone – 74 proc. vandenviečių galimybių (Lietuvos geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo įmonių valdymo tobulinimo planas, 2015).

Kita iš užsienio autorių minėtų galimybių spręsti vandens gręžinių į viršutinius vandeningus sluoksnius problemą karstiniame regione, teisinis problemos reglamentavimas. Valstybė turi įvesti teisinio reglamentavimo priemonių dėl šių sluoksnių apsaugos. Seimas 2006 metais siekdamas apsaugoti karstinį regioną ir mažinti riziką karsto proceso aktyvėjimui papildė 1991 nutarimą dėl šiaurės Lietuvos karstinio regiono gyvenamosios aplinkos ir ekologinės būklės gerinimo ir buvo įkurtas Biržų regioninis parkas. (Lietuvos Respublikos vyriausybė 1991). Teritorijos paskelbimas parku, leidžia apsaugoti ją nuo kasinėjimo bei gręžinių, o tai savo ruožtu mažina karstinio proceso aktyvėjimo riziką. Reikalingi ir kiti papildomi teisės aktai ribojantys išpumpuojamo vandens kiekį iš Įstros- Tatulos, Kupiškio –Suosos vandeningų sluoksnių. Gali būti didesnės apsaugos šie sluoksniai susilauks įgyvendinus aplinkos ministerijos iniciuotus projektus.

Žmonių skatinimas ir švietimas, dar viena iš galimybių sprendžiant aplinkosaugines problemas. Sudarant žmogui galimybę gauti visą informaciją, jo įtaką procesui, aplinkai kurioje jis gyvena, ekonominius ilgalaikius pagrindimus, bei paramą pasirenkant aplinkai saugų vandens gavybos būdą tai priemonė galinti padėti žmogui priimti tinkamą sprendimą, neatsižvelgiant vien į ekonominį naudingumą arba pasirinkti mažiau nuostolingą projektą, vietoj ekonomiškai jam atrodančio patrauklaus.

Taikant visą kompleksą sprendimo būdų, kurie jau yra išanalizuoti ir įgyvendinami užsienyje karsto proceso riziką būtų galimybė mažinti, kaip ir vandens kokybę karstiniame regione Lietuvoje.

IŠVADOS

Europoje karstinės teritorijos sudaro apie 15 proc. ploto, jos pasiskirstę nevienodai. Labiau išplitę kalnų masyvuose, kuriuose vyrauja klinties, dolomito ir gipso sluoksniai. Juose formuojasi kiaurymės ir olos. Kai kurios olos įtrauktos į UNESCO gamtinio paveldo objektų sąrašą ir yra labai mėgstamos ir lankomos turistų.

Vandeningų sluoksnių kokybė karstiniuose dariniuose priklauso nuo uolienu sudėties ir vandens sluoksnio slūgsojimo gylio. Arti žemės paviršiaus esančios sistemos yra jautrios paviršinei taršai. Gipsingose nuogulose besiformuojančiam vandeniui būdingos didelės sulfatų koncentracijos, vanduo yra labai kietas. Prieš naudojant tokį vandenį gėrimui, jis turi būti specialiai paruošiamas.

Lietuvos karstiniame rajone gėrimui naudojamas trijų pagrindinių devono sluoksnių – Įstros-Tatulos, Kupiškio-Suosos ir Šventosios – Upninkų vanduo. Šių sluoksnių vandens cheminė sudėtis ir kokybė skiriasi. Tam įtakos turi vandeningų sluoksnių litologinė sudėtis, slūgsojimo gylis, požeminio vandens prietaka iš gretimų vandeningų sluoksnių, sistemos uždarumas bei vykdoma agrarinė veikla šiuose rajonuose.

Karstėjančio Įstros-Tatulos ir dolomitinio Kupiškio-Suosos sluoksnio vandens cheminė sudėtis yra panaši. Pagrindiniai probleminiai vandens kokybės rodikliai yra labai didelis vandens kietumas, sulfatai, geležis ir amonis. Kad vanduo būtų tinkamas naudoti maistui ir buityje jis turi būti ruošiamas nugeležinimo, minkštinimo ir atbulinio osmoso sistemomis. Kadangi rodiklių reikšmės pasiskirstę labai netolygiai, kiekvienu atveju reikia parinkti individualią vandens valymo sistemą.

Giliausiai slūgsančio terigeninio Šventosios-Upninkų vandeningo komplekso vandens kokybė yra gera, tik atskiruose plotuose geležies koncentracija viršija 0,5 mg/l, todėl ten naudojamas tik nugeležinimo filtras.

Ekonominiai gręžinių įrengimo ir eksploatavimo skaičiavimai rodo, kad laiko perspektyvoje (20-50 metų) ekonomiškai naudingiau yra įrengti gręžinius į Šventosios – Upninkų vandeningą kompleksą. Trumpalaikėje perspektyvoje (10 metų) ekonomiškai naudingesni yra viršutinių Įstros-Tatulos ir Kupiškio-Suosos sluoksnių gręžiniai ir jų eksploatacija.

Vandeningo sluoksnio pasirinkimą šiuo metu lemia trumpalaikis ekonominis naudingumas. Individualių gręžinių įrengiamų viršutiniuose Įstros-Tatulos ir Kupiškio-Suosos vandeninguose sluoksniuose sparčiai daugėja. Tai rodo kompleksiško sprendimo trūkumą, nes gręžiniai įrengti į viršutinius sluoksnius ateities perspektyvoje, gali įtakoti karstinio proceso spartą. Trumpalaikės ekonominės naudos iškėlimo principas, teisinio reglamentavimo, socialinės įtraukties ir švietimo trūkumas sudaro palankias sąlygas individualių geriamo vandens sistemų plėtrai negiliuose sluoksniuose.

Vykdoma viešo vandens tiekimo sistemos plėtra urbanizuotose teritorijose yra viena iš būtinų priemonių, galinčių sumažinti individualių gręžinių skaičių. Atskiros intervencijos bandant keisti situaciją dažnai patiria fiasko, todėl būtinas kompleksinis požiūris bei sprendimo sistema, kuri apimtų ir apjungtų ekonominę, socialinę ir aplinkosauginę dedamąsias sprendžiant problemas ir reguliuojant vandens naudojimą karstiniame rajone.

SANTRAUKA

VILNIAUS UNIVERSITETAS CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS

KĘSTUTIS SURDOKAS

Šiaurės Lietuvos karstinio rajono individualių vandens tiekimo sistemų įrengimo ypatumai

Darbo tikslas – Įvertinti Šiaurės Lietuvos karstinio rajono pagrindinių vandeningų sluoksnių slūgsojimo sąlygas ir vandens kokybę, lemiančias individualių vandens tiekimo sistemų pasirinkimo ypatumus. Darbe apžvelgtas Europos karstinių regionų paplitimas ir požeminio vandens vandens kokybė, aprašytos vandens tiekimo ir gerinimo sistemos. Remiantis ankščiau atliktų tyrimų duomenimis ir kartografinė informacija, įvertintos Šiaurės Lietuvos karstinio rajono pagrindinių vandeningų sluoksnių, naudojamų vandens gavybai, geologines-hidrogeologines sąlygos. Apibendrinus vandens gręžinių įrengimo karstiniame rajone patirtį, panaudojus techninius-ekonominius skaičiavimus įvertintos individualių vandens gręžinių, įrengiamų į skirtingus vandeningus sluoksnius sąnaudos. Apibendrinus per paskutinius šešerius metus įrengtuose vandens gręžiniuose atliktų vandens cheminių analizių duomenis, įvertinta vandens, išgaunamo iš skirtingų vandeningų sluoksnių šiame rajone, vandens kokybė. Įvertintas vandens gerinimo poreikis ir technologijos, atkikti jų įrengimo ir eksploatavimo ekonominiai skaičiavimai.

Nustatyta, kad vandeningų sluoksnių kokybė karstiniame rajone priklauso nuo sluoksnių litologinės sudėties, slūgsojimo gylio, vandens pertekėjimo tarp sluoksnių, bei vykdomos agrarinės veiklos intensyvumo. Karstėjančio Įstros-Tatulos ir dolomitinio Kupiškio-Suosos pagrindiniai probleminiai vandens kokybės rodikliai yra labai didelis vandens kietumas, sulfatai, geležis ir amonis. Kad vanduo būtų tinkamas naudoti maistui ir buityje jis turi būti ruošiamas nugeležinimo, minkštinimo ir atbulinio osmoso sistemomis. Kadangi rodiklių reikšmės pasiskirstę labai netolygiai, kiekvienu atveju reikia parinkti individualią vandens gerinimo sistema. Giliausiai slūgsančio terigeninio Šventosios-Upninkų vandeningo komplekso vandens kokybė yra gera, tik atskiruose plotuose geležies koncentracija viršija 0,5 mg/l, todėl ten naudojami tik nugeležinimo filtrai.

Ekonominiai gręžinių įrengimo ir eksploatavimo skaičiavimai parodė, kad laiko perspektyvoje (20-50 metų) ekonomiškai naudingiau yra įrengti gręžinius į Šventosios – Upninkų vandeningą kompleksą. Trumpalaikėje perspektyvoje (10 metų) ekonomiškai naudingesni yra viršutinių Įstros-Tatulos ir Kupiškio-Suosos sluoksnių gręžiniai ir jų eksploatacija. Vandeningo sluoksnio pasirinkimą šiuo metu lemia trumpalaikis ekonominis naudingumas. Individualių gręžinių sparčiai daugėja viršutiniuose Įstros-Tatulos ir Kupiškio-Suosos vandeninguose sluoksniuose. Situacijos sprendimui būtinas kompleksinis požiūris bei sistema, kuri apimtų ir apjungtų ekonominę, socialinę ir

aplinkosauginę dedamąsias, sprendžiant problemas ir reguliuojant vandens naudojimą karstiniame rajone.

Raktiniai žodžiai: karstas, Lietuvos karstinis rajonas, vandens valymo sistemos, individualūs gręžiniai, individualių gręžinių įrengimo ir eksploatavimo sistemų ekonominis vertinimas.

SUMMARY

VILNIUS UNIVERSITY FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES

KĘSTUTIS SURDOKAS

Peculiarities of Installation of Individual Water Supply Systems in the Karst District of Northern Lithuania

The aim of the work - assess the conditions of subsidence of the main aquifers of the northern Lithuanian karst district and water quality, which determine the peculiarities of the choice of individual water supply systems.

The work reviewed the prevalence of Europe's karst regions and groundwater quality, and described systems for water supply and improvement. On the basis of the data of previous studies and cartographic information, the geological-hydrogeological conditions of the main aquifers used for water abstraction in the karst district of Northern Lithuania were assessed. Summarizing the experience of installing water wells in the karst area, using technical-economic calculations, the costs of individual water wells installed in different aquifers were assessed. The summarising of the data from the chemical analyses of water in water wells carried out over the last six years has assessed the quality of water extracted from different aquifers in the area. The need for water improvement and technologies have been assessed, and the economic calculations of their installation and operation have been based.

It was established that the quality of aquifers in the karst district depends on the lithologic composition of the layers, the depth of the subsidence, the flow of water between the layers, and the intensity of the agricultural activity carried out. The main problematic indicators of water quality of the karsturing Istra-Tatula and dolomitic Kupiškis-Suosa are very high water hardness, sulfates, iron and ammonium. In order to be suitable for human and household use, water must be prepared by devaluation, softening and reversing osmosis systems. Since the values of the indicators are distributed very unevenly, an individual water treatment system should be selected in each case. The water quality of the deepest-moving terrigenous šventosios-upninkai aquifer complex is good, only in individual areas the iron concentration exceeds 0.5 mg/l, therefore only the iron removal filters are used there.

Economic calculations of the installation and operation of wells have shown that in the long term (20-50 years) it is more economically advantageous to install wells in the aquifer of Šventoji – Upninkai. In the short term (10 years) the drilling and operation of the upper layers of Istra-Tatula and Kupiškis-Suosa are more economically advantageous. The choice of aquifer is currently determined by short-term economic benefits. Individual wells are rapidly multiplying in the upper aquifers of Istra-

Tatula and Kupiškis-Suosa. Solving the situation requires a complex approach and a system that includes and combines economic, social and environmental components in solving problems and regulating water use in the karst district.

Keywords: karst, Lithuanian karst district, water treatment systems, individual water wells, economic assessment of individual water well installation and operation systems.

LITERAŪROS SĄRAŠAS

1. Mark Van, Grant L. Harley, James F. Dickens, Jason S. Polk, ir Leslie A. North (2014) A GIS-Based Modeling Approach to Predicting Cave Disturbance in Karst Landscapes: A Case Study from West-Central Florida. *Physical Geography* 35(2): 123–133. <https://doi.org/10.1080/02723646.2014.898198>, accessed December 27, 2019. (žiūrėta 2020 m. gruodžio 21 d.)
2. Akhmedenov, Kazhmurat M., Dinmuhammed Zh Iskaliev, ir Vladim P. Petrishev (2014) Karst ir Pseudokarst of the West Kazakhstan (Republic of Kazakhstan). *International Journal of Geosciences* 2014. <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=43161>, (žiūrėta 2020 m. gruodžio 27 d.)
3. Andrejchuk, Vjacheslav (1996) Gypsum Karst of the Pre-Ural Region, Russia. *International Journal of Speleology* 25(3/4): 285–292. <http://scholarcommons.usf.edu/ijjs/vol25/iss3/22/>, (žiūrėta 2021 m. vasario 16 d.)
4. Artiola, Janick F, Kathryn L Farrell-Poe, ir Kristine Uhlman (2009) *Water Facts: Home Water Treatment Options*: 4.
5. Arustienė, Jurga (2007) Lietuvos gėlo požeminio vandens vertinimo nuostatos: 12.
6. Avdullahi, Sabri, Afat Serjani, Isalm Ffejza, ir Ahmet Tmava (2013) Gadime cave in kosovo, its geotourist values ir impacts. *GeoJournal of Tourism ir Geosites*(1): 15.
7. Bakalowicz, Michel (2017) Karst, a Renewable Water Resource in Limestone Rocks - *Encyclopédie de l'Environnement. Encyclopedia of the Environment*. <https://www.encyclopedie-environnement.org/en/water/karst-renewable-water-resource-in-limestone-rocks/>, (žiūrėta 2021 m. vasario 14 d.)
8. Beron, Petar (2007) Terrestrial Cave Animals in Bulgaria. *In* Pp. 493–526.
9. Bikše, Jānis, Alise Babre, Aija Delina, ir Konrāds Popovs (2014) Analysis of Multicomponent Groundwater Flow in Karst Aquifer by CFC, Tritium, Tracer Test ir Modelling, Case Study at Skaistkalnes Vicinity, Latvia. *In* .
10. Moser B., Beknazarova M. , Whiley H., , Keerthirathne I, , Kerry DeGaris, ir Ilka Wallis (2021) Investigation into the Cause of Iron-Related Clogging of Groundwater Bores Used for Viticulture in the Limestone Coast, South Australia. *MDPI*(13). *Water*: 683.

11. Blatnik, Matej, Blaž Kogovšek, Cyril Mayaud, et al., eds. (2019) Karst Hydrogeology - Research Trends ir Applications: Abstracts & Guide Book = Kraška Hidrogeologija - Raziskovalni Trendi in Uporaba Izsledkov : Povzetki & Vodnik. Ljubljana: Založba ZRC.
12. Bonacci, Ognjen (2015) Chapter 5 Surface Waters ir Groundwater in Karst. *In* Pp. 149–169.
13. Bonacci, Ognjen, Ivana Zeljkovic, ir Amira Galić 2012 Karst Rivers' Particularity: An Example from Dinaric Karst (Croatia/Bosnia ir Herzegovina). *Environmental Earth Sciences* 70.
14. Česnulevičius, Algimantas (2011) Lietuvos reljefo morfometrinių struktūra ir jos įtaka erozinių procesų vyksmui: 6.
15. Christian, Erhard, ir Christoph Spötl (2010). Karst Geology ir Cave Fauna of Austria: A Concise Review. *International Journal of Speleology* 39.
16. Cooper, Anthony H., Andrew R. Farrant, ir Simon J. Price (2011). The Use of Karst Geomorphology for Planning, Hazard Avoidance ir Development in Great Britain. *Geomorphology* 134(1–2): 118–131. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169555X1100287X>, (žiūrėta 2021 m. vasario 16 d.).
17. Cunha, Lúcio, ir Luca Dimuccio. (2008) Karst ir Paleokarst of Portugal. An Overview of Actual Knowledge ir Further Research.
18. Delaby, Serge (2001) Palaeoseismic Investigations in Belgian Caves. *Geologie En Mijnbouw* 80: 323–332.
19. Dippenaar, Matthys A., J. Louis van Rooy, ir Roger E. Diamond (2019) Engineering, Hydrogeological ir Vadose Zone Hydrological Aspects of Proterozoic Dolomites (South Africa). *Journal of African Earth Sciences* 150: 511–521. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1464343X18302206>, (žiūrėta 2021 m. kovo 13d.).
20. Drew, David (2008) Hydrogeology of Lowland Karst in Ireland. *Quarterly Journal of Engineering Geology ir Hydrogeology - Q J ENG GEOL HYDROGEOL* 41: 61–72.
21. Dvorak, Bruce I, ir Sharon O Skipton (2014). Drinking Water: Iron ir Manganese. *NebGuide*(14): 4.
22. Ekberg, Mike (2016) Scientific Investigations Report. *Scientific Investigations Report. Virginia.*
23. Ekmekç, Mehmet (2005). Karst in Turkish Thrace: Compatibility between Geological History ir Karst Type. *Turkish Journal of Earth Science*: 90.

24. Fuchs, S., A. Silva, A. K. Anggraini, ir F. Mahdariza (2015). Planning ir Installation of a Drinking Water Treatment in Gunungkidul, Java, Indonesia. *Water Supply* 15(1). IWA Publishing: 42–49. <https://iwaponline.com/ws/article/15/1/42/27450/Planning-and-installation-of-a-drinking-water>, (žiūrėta 2021 m. balandžio 14d.).
25. Gasparyan, R. (2009) Geophysical Explorations in Search ir Mapping of Karst Caves of Armenia. *In* . OnePetro. <https://onepetro.org/ISRMEUROCK/proceedings/EUROCK09/All-EUROCK09/ISRM-EUROCK-2009-013/38445>, (žiūrėta 2021 m. vasario 16d.).
26. Gessert, Alena (2016). Geomorphology of the Slovak Karst (Eastern Part). *Journal of Maps* 12(sup1). Taylor & Francis: 285–288. <https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1202874>, (žiūrėta 2021 m. vasario 16d.).
27. Goldscheider, Nico, Zhao Chen, Augusto S. Auler, et al. (2020) Global Distribution of Carbonate Rocks ir Karst Water Resources. *Hydrogeology Journal* 28(5): 1661–1677. <http://link.springer.com/10.1007/s10040-020-02139-5>, (žiūrėta 2021 m. kovo 13d.).
28. Gurskienė, V., ir Ivavičiūtė G. (2012) Kraštovaizdžio planavimas: 169.
29. Hartmann, A., N. Goldscheider, T. Wagener, J. Lange, ir M. Weiler (2014). Karst Water Resources in a Changing World: Review of Hydrological Modeling Approaches. *Reviews of Geophysics* 52(3): 218–242. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2013RG000443>, (žiūrėta 2020 m. liepos 14d.).
30. Hilberg, Sylke, ir Jean Friedrich Schneider (2011). The Aquifer Characteristics of the Dolomite Formation a New Approach for Providing Drinking Water in the Northern Calcareous Alps Region in Germany ir Austria. *Water Resources Management* 25(11): 2705–2729. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9834-x> (žiūrėta 2020 m. kovo 13d.).
31. Humidinė Sritis (2008) Academic Dictionaries ir Encyclopedias. https://ekologijos_lt.enacademic.com/9884/humidin%C4%97_sritis, accessed (žiūrėta 2020 m. gruodžio 19d.).
32. Jankauskas, J. (2012). Geriamojo Vandens Ruošimo Technologijos. Kokybiškas vanduo. <http://www.kokybiskasvanduo.lt/geriamojo-vandens-ruosimo-technologijos/>, (žiūrėta 2021 m. gegužės 18d.).
33. Jebreen, Hassan, Andre Banning, Stefan Wohnlich, et al. (2018)The Influence of Karst Aquifer Mineralogy ir Geochemistry on Groundwater Characteristics: West Bank, Palestine. *Water* 10(12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 1829. <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/12/1829>, (žiūrėta 2020 m. birželio 9d.).

34. Jemcov, I., S. Milanović, ir P. T. Milanović (2010) Decision Support Procedure for Constructing Karst Underground Reservoirs – a Case Study on Perućac Karst Spring (Western Serbia). *In Advances in Research in Karst Media*. Bartolomé Andreo, Francisco Carrasco, Juan José Durán, ir James W. LaMoreaux, eds. Pp. 415–421. Environmental Earth Sciences. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12486-0_64, (žiūrėta 2021 m. kovo 13d.).
35. Johnson, Kenneth S. (1985) Hydrogeology ir recharge of a gypsum - dolomite karst aquifer in southwestern Oklahoma, U.S.A. Oklahoma Geological Survey: 16.
36. Vidojko J. (2006) Jovan Cvijic (1865-1927) Indėlis tiriant karstą. http://www.lgeos.lt/images/stories/geologijos_akiraciai/2006_4/2006_04_63-64.pdf, (žiūrėta 2019m. gruodžio 27d.).
37. Taminskas J. (2017) Ekstensyvaus ūkininkavimo poveikio šiaurės Lietuvos karstinio regiono požeminio ir paviršinio vandens sistemoms. http://organic.lt/wp-content/uploads/2018/02/TATULA_ataskaita_2017.pdf, (žiūrėta 2019 m. gruodžio 27d.).
38. Juodkazis V., Gregorauskas M., ir Mokrik R. (2012) Regioninė Hidrogeodinamika: Požeminio Vandens Telkiniai Ir Ištekiai. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla.
39. Tomaš J., ir Burinskiene A. (2019) Perėjimas Prie Žiedinės Ekonomikos: Stabdantių Ir Skatinantių Veiksnių Sąveika Mikro-, Mezo- Ir Makrolygmenimis / Transition to Circular Economy: Barriers ir Drivers Interaction at Micro, Meso ir Macro Levels. *Mokslas - Lietuvos Ateitis* 11: 1–12.
40. Karstiniai Reiškiniai Lietuvoje Ir Europoje (2013). https://smp2014ge.ugdome.lt/mo/9kl_gamtine_geografija/GE_DE_11/t1_01_teorine_medzia_ga_1.html, (žiūrėta 2019 m. kgruodžio 15d.).
41. Katsanou, K. (2018). Hellenic Karst Aquifers Vulnerability Approach Using Factor Analysis: The Example of the Louros Karst Aquifers. *Geosciences* 8: 417.
42. Klimchouk, A. (1996) Gypsum karst in the western Ukraina. *Speleol*(25): 278.
43. Koit, O. (2016). Surface Water ir Groundwater Interactions in a Shallow Karst Aquifer, Tuhala Karst Area, North-Estonia.
44. Kostygin, V A, G S Stolyarenko, G M Kochetov, A M Tugay, ir V N Vashchenko (2007). Water Softening by Single-Bowl Ion Exchange Filter Efficiency Estimate ir Improvement. Cornell University: 14.
45. Lietuvos respublikos sveikatos apsaugos ministerija (2017) V-455 Dėl Lietuvos Higienos Normos HN 24:2003 “Geriamojo Vandens Saugos Ir Kokybės Reikalavimai” Patvir...

- Valstybės žinios. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.216309/asr>, (žiūrėta 2021 m. kovo 3d.).
46. Lietuvos respublikos aplinkos ministro įsakymas. „Dėl statybos techninio reglamento str 1.04.03:2004 „inžineriniai geologiniai tyrimai šiaurės lietuvos karstiniame rajone“ patvirtinimo 2004 m. lapkričio 18 d. Nr. D1-596 <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalActPrint/lt?jfwid=bkaxm7k9&documentId=TAIS.246073&category=TAD> (žiūrėta 2021 m. gegužės 13d.).
47. Lietuvos geologijos tarnyba (2010) Pasvalio miesto Inžinerinės Geologinės Sąlygos. Vilnius, Lithuania. https://www.lgt.lt/uploads/1293453600_Pasvalio_miesto_inz-eol_salygos_red.pdf, (žiūrėta 2020 m. gruodžio 13d.).
48. 2021 LGT: Žemėlapiai. <https://www.lgt.lt/zemelap/main.php?sesName=lgt1621270710>, (žiūrėta 2021 m. kovo 1d.).
49. Lietuvos Geologijos Tarnybos El.Paslaugos N.d. <https://www.lgt.lt/epaslaugos/elpaslauga.xhtml>, (žiūrėta 2020 m. gruodžio 12d.).
50. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija (2019). Lietuvos Geriamojo Vandens Tiekimo Ir Nuotekų Tvarkymo Įmonių Valdymo Tobulinimo Planas. Ataskaita. Vilnius: Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija.
51. Lietuvos respublikos aplinkos ministerija (2021). Požeminio vandens kokybė gera, bet taršos cheminėmis medžiagomis pavojus išlieka. <http://am.lrv.lt/lt/naujienos/pozeminio-vandens-kokybe-gera-bet-tarsos-cheminemis-medziagomis-pavojus-islieka>, (žiūrėta 2020 m. kovo 19d.).
52. Lietuvos respublikos aplinkos ministro įsakymas (2004). Dėl Statybos Techninio Reglamento STR 1.04.03:2004 “Inžineriniai Geologiniai Tyrimai Šiaurės Lietuvos Karstiniame Rajone” Patvirtinimo. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalActPrint/lt?jfwid=ou0hp1zp&documentId=TAIS.246073&category=TAD>, (žiūrėta 2020 m. gruodžio 12d.).
53. Lietuvos Respublikos vyriausybė (1991) 589 Dėl Priemonių Šiaurės Lietuvos Karstinio Regiono Gyvenamajai Aplinkai Ir Ekologinei Būklei Pagerinti. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.6149/ayntDHTjnj>, (žiūrėta 2020 m. kovo 19d.).
54. Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerija (2019) 3D-18 Dėl Šiaurės Lietuvos Karstinio Regiono Požeminiams Vandeniems Nuo Taršos Apsaugoti Ir Ekstensyvaus... <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/cebfd196190111e9bd28d9a28a9e9ad9/asr>, (žiūrėta 2021 m. kovo 19d.).

55. Lietuvos Respublikos ir žemės ūkio ministro (2015). Šiaurės Lietuvos karstinio regiono požeminiam vandenims nuo taršos apsaugoti ir ekstensyvaus ūkininkavimo metodams plėtoti 2016–2018 metų veiksmų planas.
56. Marcinkevičius V. (ats. vykd.), Mikulėnas V. ir (ats. vykd.), Karmazienė D., Bitinas J., Šečkus R., Minkevičius V., Vaičiūnas G., Stankevičiūtė S.; red. Satkūnas J.; (2010) Biržu miesto Inžinerinės Geologinės Sąlygos. https://www.lgt.lt/uploads/1298020094_Birzai-Ataskaita-2.pdf, (žiūrėta 2020 m. gruodžio 14d.).
57. Marin, Constantin, Ioan Povară, Mihai Conovici, Cristian Munteanu, ir Daniela Ioniță (2015) Karst Systems within the Southern Carpathians (Romania). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 10: 5–17.
58. Matthies, K., C. Schott, A. K. Anggraini, et al. (2016) Drinking Water Treatment for a Rural Karst Region in Indonesia. *Applied Water Science* 6(3): 309–318. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0423-2>, (žiūrėta 2020 m. birželio 14d.).
59. Mihevc, Andrej, Franci Gabrovsek, Martin Knez, et al. (2016) Karst in Slovenia. *Boletín Geológico y Minero* 127: 79–97.
60. Nováková, A. (2009) Microscopic Fungi Isolated from the Domica Cave System (Slovak Karst National Park, Slovakia). A Review. *International Journal of Speleology* 38(1): 71–82. <http://scholarcommons.usf.edu/ijs/vol38/iss1/8/>, (žiūrėta 2021 m. vasario 16 d.).
61. Panno, S., ir Walton K. (2015) Driftless Area Karst of Northwestern Illinois ir Its Effects on Groundwater Quality. *In Sinkholes ir the Engineering ir Environmental Impacts of Karst: Proceedings of the Fourteenth Multidisciplinary Conference* Pp. 63–74. Rochester, Minnesota: University of South Florida Tampa Library. http://scholarcommons.usf.edu/sinkhole_2015/ProceedingswithProgram/Upper_Mississippi_Valley_Karst_Aquifers/7/, (žiūrėta 2021 m. kovo 13d.).
62. Parise, M., Damien Closson, ir Zoran Stevanovic (2015) Anticipating ir Managing Engineering Problems in the Complex Karst Environment. *Environmental Earth Sciences* 74.
63. Parise, M, P Qiriazzi, ir Sala S (2004). Natural ir Anthropogenic Hazards in Karst Areas of Albania. *Natural Hazards ir Earth System Sciences*(4): 581.
64. Paukstys, Bernardas, ir Vytautas Narbutas (1996) Gypsum Karst of the Baltic Republics. *International Journal of Speleology* 25(3). <https://scholarcommons.usf.edu/ijs/vol25/iss3/21>. (žiūrėta 2021 m. kovo 13d.).
65. Bosák P. (2018) Karst Processes ir Time. http://www.geologos.com.pl/pdf/Geologos_14_Bosak.pdf, (žiūrėta 2019 m. gruodžio 15d.).

66. Prasad, T.D., ir Danso-Amoako E. (2014) Influence of Chemical ir Biological Parameters on Iron ir Manganese Accumulation in Water Distribution Networks. *Procedia Engineering* 70: 1353–1361. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705814001519>, (žiūrėta 2021 m. kovo 18d.).
67. Raguž, V. (2008) Karst ir Waters in It : A Literature Study on Karst in General ir on Problems ir Possibilities of Water Management in Karst in Particular. Lunds Universitets Naturgeografiska Institution - Seminarieuppsatser. <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/1894891>, (žiūrėta 2020 m. birželio 14d.).
68. Rekomendacijos Taršai Šiaurės Lietuvos Karstiniame Regione Sumažinti, Žemės Ūkio Sektorių Taršos Poveikis Aplinkos Komponentams » Ekolokiška Žemdirbystė (2017).<http://organic.lt/rekomendacijos-tarsai-siaures-lietuvos-karstiniame-regione-sumazinti-zemes-ukio-sektoriu-tarsos-poveikis-aplinkos-komponentams/>, (žiūrėta 2021 m. kovo 19d.).
69. Satkūnas, J. (2008) Geologinės Aplinkos Kitimo Indikatoriai. Vilnius.
70. Schroeder, J. (1985) Karst Geomorphology. *Géographie physique et Quaternaire* 39(3): 327–328. <http://www.erudit.org/en/journals/gpq/1985-v39-n3-gpq1948/032615ar/>, (žiūrėta 2019 m. gruodžio 27 d.).
71. Sekulić, G., ir Radulovic M. (2019). The Hydrology ir Hydrogeology of Montenegro. *In*.
72. Šiaurės Lietuvos Karstinis Regionas (2019) . <https://www.vle.lt/Straipsnis/Siaures-Lietuvos-karstinis-regionas-117866>, (žiūrėta 2019 m. gruodžio 15d.).
73. Rannveig S. ir Lauritzen S. (2017) Karst Hydrology In Sub-Arctic Norway.
74. Stankūnas, J. (2008). Geologinės Aplinkos Kitimo Indikatoriai. https://www.lgt.lt/images/LGT_leidiniai/Geologines-aplinkos-kitimo-indikatoriai.pdf, (žiūrėta 2019 m. gruodžio 27d.).
75. Stevanovic, Z., ir Eftimi R. (2010). Karstic Sources of Water Supply for Large Consumers in Southeastern Europe - Sustainability, Disputes ir Advantages. *Geologia Croatica* 63: 179–185.
76. Stevanovic Z., Jemcov I., ir Milanovic S. (2007) Management of Karst Aquifers in Serbia for Water Supply. *Environmental Geology* 51: 743–748.
77. Stevanović Z., ir Milanović P. (2015) Engineering Challenges in Karst. *Acta Carsologica* 44(3). <https://ojs.zrc-sazu.si/carsologica/article/view/2963>, (žiūrėta 2021 m. kovo 13d.).
78. Stokes T. Griffiths P., ir Ramsey C. (2010) Karst Geomorphology, Hydrology, ir Management: 28.
79. Styra, A., ir Striška V. (2009) Geriamojo vandens aeravimo sistemų efektyvumo tyrimas. *Mokslas – Lietuvos ateitis* 1(2). *Mechanika*: 54.

80. Telbisz, T., ir László M. (2020). The Significance of Karst Areas in European National Parks ir Geoparks. *Open Geosciences* 12(1). De Gruyter: 117–132. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/geo-2020-0008/html>, (žiūrėta 2021 m. vasario 16d.).
81. Temovski, M. (2017) Hypogene Karst in Macedonia. *In* Pp. 241–256.
82. Tičar, J., ir Ribeiro D. (2018) Identification of Cave Pollution in the Kras Plateau, Slovenia. *Natura Sloveniae*(20): 64.
83. Tolmachev, V. (2013) Karst Risk Assessment for Engineering in Nizhny Novgorod Region, Russia. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA* 63: 11–21.
84. Tunguz, V., ir Turgay D. (2019) Climate, geomorphology ir landuse in karst area of Bosnia ir herzegovina ir mediterranean region of Turkey.
85. UAB “Biržų Vandens” Vandentiekio Ir Nuotekų Tinklų Plėtra (2019). <http://birzuvandenys.lt/veikla/hello-world/>, (žiūrėta 2021 m. kovo 19d.).
86. Valois, R. Roger G., Romain P., ir Joël R. (2009) Geophysical Study to Characterize Input Karst Water Circulation in the Saulges Cave (Mayenne, France). *ArcheoSciences. Revue d'archéométrie*(33 (suppl.)): 163–166. <http://journals.openedition.org/archeosciences/1516>, (žiūrėta 2021 m. gruodžio 27d.).
87. Vandens Tiekimas - Pasvalio Vandens (2021). <https://www.pasvaliovandenys.lt/vandens-kokybe/>,(žiūrėta 2021 m. kovo 19d.).
88. Vandens kokybė, UAB "Vandens tyrimai", <https://v-t.lt/d-u-k/> (žiūrėta 2021 m. kovo 27d.).
89. Viršutinio-vidurinio paleozojaus hidrogeologinės sistemos turimi požeminio vandens ištekliai. Galutinė ataskaita / Gregorauskas M. (ats. vykd.), Klimas A., Bendoraitis A.; UAB „Vilniaus hidrogeologija“. - Vilnius, 2008. - 2 d. - 307 p. + 1 ap. + 1 žml. + CD : 20 pav., 145 graf. dok. + 15 graf. dok., 1 žem. - (LGT fondas; Nr.11806).
90. Vyšniauskaitė, M. (2019). *Ekonomika Ir Ekologija: Ar Įmanoma Sutaikyti? | Lietuvos Laisvosios Rinkos Institutas. Laisvosios Rinkos Institutas.* <https://www.llri.lt/naujienos/ekonomine-politika/m-vysniauskaite-ekonomika-ir-ekologija-ar-imanoma-sutaikyti/marija-vysniauskaite>, (žiūrėta 2021 m. kovo 17d.).
91. Wagner, J. (2013) Johannes Wagner: Karst Landscapes ir Karst Features in the Philippines. 94 p. Text, 66 p. Figs. Stuttgart 2013.
92. Wang, Zhongmei, Martin Torres, Prakash Paudel, et al. (2020) Assessing the Karst Groundwater Quality ir Hydrogeochemical Characteristics of a Prominent Dolomite Aquifer in Guizhou, China. *Water* 12(9). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 2584. <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/9/2584>, (žiūrėta 2021 m. kovo 13d.).

93. Water Treatment Systems (2010). <http://www.doc-developpement-durable.org/file/eau/potabilisation/formation-sensibilisation/Water%20Treatment%20Systems.pdf>, (žiūrėta 2020 m. birželio 14d.).
94. Williams, Paul (2008) World Heritage Caves ir Karst. IUCN World Heritage Studies, 2. A Thematic Study. International Union for Conservation of Nature.
95. Wu, Pan, Changyuan Tang, Lijun Zhu, et al. (2009) Hydrogeochemical Characteristics of Surface Water ir Groundwater in the Karst Basin, Southwest China. Hydrological Processes. John Wiley & Sons, Ltd. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301648704>, (žiūrėta 2020 m. birželio 14d.).
96. Žekonien, V, ir A Raškauskien (2002) Karstinis regionas agroekologiniu aspektu: 7.
97. 2014-2020 Europos Sąjungos fondų investicijos Lietuvoje.(2016) Vandens Tiekimo Ir Nuotekų Tvarkymo Infrastruktūros Plėtra Ir Rekonstravimas Pasvalio Rajone. https://www.esinvesticijos.lt/lt/paraiskos_ir_projektai/vandens-tiekimo-ir-nuoteku-tvarkymo-infrastrukturos-pletra-ir-rekonstravimas-pasvalio-rajone, (žiūrėta 2021 m. kovo 19d.).
98. „Geriamojo Vandens Tiekimo Ir Nuotekų Tvarkymo Sistemų Renovavimas Ir Plėtra Panevėžio Mieste Ir Rajone“. (2017) https://www.esinvesticijos.lt/lt/paraiskos_ir_projektai/geriamojo-vandens-tiekimo-ir-nuoteku-tvarkymo-sistemu-renovavimas-ir-pletra-panevezio-mieste-ir-rajone, (žiūrėta 2021 m. kovo 19d.).