



**VILNIAUS UNIVERSITETAS  
GYVYBĖS MOKSLŲ CENTRAS**

TITAS SIMANAVIČIUS

(Aplinkotyros ir aplinkotvarkos studijų programa)

**Magistro baigiamasis darbas**

**AMONIO ANOMALIŲ KONCENTRACIJŲ KLAIPĖDOS RAJONO  
INIDIVIDUALIŲ GREŽINIŲ POŽEMINIAME VANDENYJE ĮVERTINIMAS**

Darbo vadovė  
dr. Jurga Arustienė

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Studentas \_\_\_\_\_  
(parašas)

Vilnius, 2024

## TURINYS

ĮVADAS.....	3
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	5
1.1. Požeminio vandens kokybė ir tarša amoniu.....	5
1.2. Klaipėdos rajono požeminio vandens būklė, geologinės-hidrogeologinės sąlygos ir tarša.....	7
1.3. Hidrogeocheminių parametrų ir amonio dinamikos požeminio vandens sistemose sąveika.....	13
2. MEDŽIAGA IR METODAI.....	15
2.1. Individualių gręžinių atrankos kriterijai.....	15
2.2. Požeminio vandens mėginių rinkimas.....	15
2.3. Fizikinių - cheminių parametrų matavimai lauke.....	17
2.4. Cheminė analizė pagal LAND 38-2000 metodą.....	19
2.5. Ankstesnių rezultatų integravimas ir analizė.....	21
2.6. Duomenų analizė.....	21
3. REZULTATAI.....	22
3.1. Bendra individualių gręžinių Klaipėdos rajone gylio charakteristika.....	22
3.2. Požeminio vandens temperatūros analizė.....	23
3.3. Požeminiame vandenyje ištirpusio deguonies analizė.....	25
3.4. Požeminio vandens elektrinio laidumo analizė.....	26
3.5. Požeminio vandens redokso potencialo (Eh) analizė.....	28
3.6. Požeminio vandens pH analizė.....	29
3.7. Anomalių amonio koncentracijų analizė ir jų pokyčiai laike.....	31
4. REZULTATŲ APTARIMAS.....	35
IŠVADOS.....	37
SANTRAUKA.....	38
SUMMARY.....	39
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	40

## IVADAS

Požeminis vanduo - gyvybiškai svarbi Žemės hidrologinio ciklo sudedamoji dalis ir yra labai svarbus gėlo vandens šaltinis įvairiai žmogaus veiklai ir ekologinėms sistemoms visame pasaulyje. Klaipėdos rajone požeminis vanduo yra pagrindinis šaltinis naudojamas žemės ūkyje, pramonėje ir buitinio vandens tiekime, todėl jo kokybė ir prieinamumas yra labai svarbūs regiono socialinei ir ekonominei plėtrai bei aplinkos vientisumui.

Požeminio vandens užterštumas amoniu kelia didelį susirūpinimą visame pasaulyje dėl galimo poveikio žmonių sveikatai ir aplinkai. Amonis, įprastas azoto junginys, į požeminio vandens sistemas gali patekti per žemės ūkio nuotekas, pramonės išleidžiamus teršalus ir natūralius irimo procesus. Padidėjęs amonio kiekis požeminiame vandenyje, dažnai vadinamas amonio anomalija koncentracija, gali rodyti galimus taršos šaltinius ir hidrogeocheminį disbalansą vandeningojo sluoksnio sistemose (Sun et al., 2022).

Hidrogeocheminiai procesai taip pat atlieka svarbų vaidmenį kontroliuojant amonio koncentraciją požeminio vandens sistemose. Liang et al. (2020) parodė sudėtingą geologinių darinių, vandens ir uolienuų sąveikos bei antropogeninės įtakos požeminio vandens kokybei poveikį. Šių sąveikų supratimas yra labai svarbus norint veiksmingai prognozuoti ir valdyti požeminio vandens sistemų užterštumą amoniu.

Amonio sklaidos požeminiame vandenyje supratimas yra labai svarbus veiksmingam vandens išteklių valdymui ir aplinkos apsaugai. Ankstesniuose tyrimuose pabrėžta išsamių požeminio vandens kokybės vertinimo programų svarba siekiant stebėti ir mažinti taršą amoniu. Pavyzdžiui, Li et al. (2018) pabrėžė reguliaraus monitoringo svarbą siekiant nustatyti požeminio vandens kokybės pokyčius ir nustatyti galimus taršos šaltinius.

Be to, Sakizadeh et al. (2019) tyrimuose pabrėžta žemės ūkio veiklos, pavyzdžiui, tręšimo trąšomis ir gyvulininkystės, įtaka požeminio vandens kokybei. Ši veikla gali prisidėti prie padidėjusio amonio kiekio požeminiame vandenyje, keliančio pavojų žmonių sveikatai ir ekosistemų vientisumui. Norint kurti tvarias vandentvarkos strategijas, labai svarbu suprasti žemės naudojimo praktikos, hidrologinių procesų ir požeminio vandens kokybės dinamikos sąveiką.

Naujausi tyrimai atskleidė, kad Klaipėdos priemiesčiuose yra amonio koncentracijos anomalijų (>1,5 mg/l), keliančių pavojų požeminio vandens kokybei (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020). Urbanizacija ir žemės naudojimo pokyčiai prisideda prie požeminio vandens taršos, ypač buvusiose žemės ūkio paskirties žemėse, paverstose gyvenamaisiais rajonais. Dėl prastai išvalytų

nuotekų infiltracijos padidėja azoto junginių kiekis (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020). Klaipėdos rajono kontekste amonio anomalių koncentracijų požeminiame vandenyje vertinimas ir valdymas yra labai svarbus siekiant užtikrinti darnų vandens išteklių valdymą ir apsaugoti žmonių sveikatą.

**Darbo tikslas:** atlikti požeminio vandens kokybės vertinimą, pagrindinį dėmesį skiriant amonio anomalioms koncentracijoms individualiuose gręžiniuose Klaipėdos rajone.

**Uždaviniai:**

1. Įvertinti hidrogeochemines sąlygas Klaipėdos rajono individualių gręžinių vandenyje.
2. Nustatyti amonio jonų koncentracijas požeminio vandens mėginiuose, paimtuose iš individualių gręžinių.
3. Įvertinti amonio anomalių koncentracijų ( $>1,5$  mg/l) pasiskirstymą ir jų pokyčius laike.

## 1. LITERATŪROS APŽVALGA

Požeminio vandens kokybė yra esminis aplinkos komponentas, darantis tiesioginę įtaką žmonių sveikatai, žemės ūkio produktyvumui ir ekosistemų tvarumui. Iš įvairių požeminių vandenį veikiančių teršalų Klaipėdos rajone didelį susirūpinimą kelia amonis ( $\text{NH}_4^+$ ), nes jis gali parodyti taršos šaltinius ir daryti poveikį vandens kokybei. Literatūros apžvalgoje nagrinėjama, kaip hidrogeocheminės sąlygos daro įtaką amonio kiekiui požeminiame vandenyje, pabrėžiant svarbų požeminio vandens vaidmenį, žalingą amonio taršos poveikį ir žemės ūkio, pramonės ir gamtos procesų įtaką.

### 1.1. Požeminio vandens kokybė ir tarša amoniu

Požeminis vanduo yra labai svarbus geriamojo vandens šaltinis didelei daliai pasaulio gyventojų, tačiau jo kokybę blogina įvairūs teršalai, įskaitant amonį, kuris kelia didelį pavojų aplinkai ir sveikatai (EPA, 2005). Požeminio vandens užterštumas amoniu yra sudėtinga problema, susijusi su įvairiais šaltiniais, keliais ir poveikiu žmonių sveikatai bei ekosistemoms. Amonis požeminiame vandenyje daugiausia patenka iš žemės ūkio nuotekų, sąvartynų filtrato ir pramoninių procesų, todėl padidėjęs azoto kiekis gali sutrikdyti vandens ekosistemas ir pabloginti vandens kokybę (USGS..., 2024; Koda et al., 2016).

Azoto junginiai, ypač amonio pavidalo, kelia didelių problemų dėl jų judrumo požeminiame vandenyje ir gebėjimo bloginti vandens kokybę. Tyrimai parodė, kad požeminio vandens tėkmės kryptis ir mikrobu veikla gali daryti didelę įtaką šių junginių sklaidai, todėl susidaro lokalias anomalių koncentracijų vietos, kaip pastebėta tyrimuose, atliktuose aplink kapines Klaipėdos rajone (Liu et al., 2021; Lietuvos geologijos tarnyba, 2020).

Amonio judrumą ir koncentraciją požeminiame vandenyje lemia hidrogeologinės sąlygos, pavyzdžiui, vandeningojo sluoksnio medžiagos sudėtis, požeminio vandens tekėjimo pobūdis ir kitų cheminių medžiagų, galinčių sąveikauti su amoniu, buvimas. Šios sąlygos lemia, koku mastu amonis gali būti pašalintas arba mobilizuotas vandeningojo sluoksnio sistemoje (Waller, 1988). Amonio buvimas kelia ypatingą susirūpinimą dėl jo vaidmens eutrofikacijos procese, kuris mažina deguonies kiekį vandens telkiniuose, ir dėl jo potencialo oksiduojantis sudaryti kenksmingus nitritus ir nitratus, kurie kelia pavojų žmonių sveikatai, jei jų koncentracija geriamajame vandenyje yra didelė (WHO, 2011). Be to, vandens telkinių eutrofikacija, kurią skatina per didelis

maistingųjų medžiagų, įskaitant amonį, kiekis, gali sukelti dumblių žydėjimą ir hipoksiją, o tai neigiamai veikia vandens ekosistemas ir vandens kokybę (Ansari et al., 2011).

Amonis į požeminį vandenį patenka įvairiais keliais, kurių kiekvienas susijęs su žmogaus įtaka. Pavyzdžiui, prie to labai prisideda žemės ūkio praktika, kai augalams tręšti naudojama daug azoto turinčių trąšų, kad jie geriau augtų. Tokia praktika yra labai svarbi maisto gamybai, tačiau azoto perteklius, kurio augalai neįsisavina, gali išsiplauti į požeminį vandenį amonio pavidalu (Chen et al., 2022). Taip pat į požeminio vandens sistemas gali patekti gyvūnų atliekos iš koncentruoto gyvūnų šėrimo vietų, todėl amonio kiekis dar labiau padidėja.

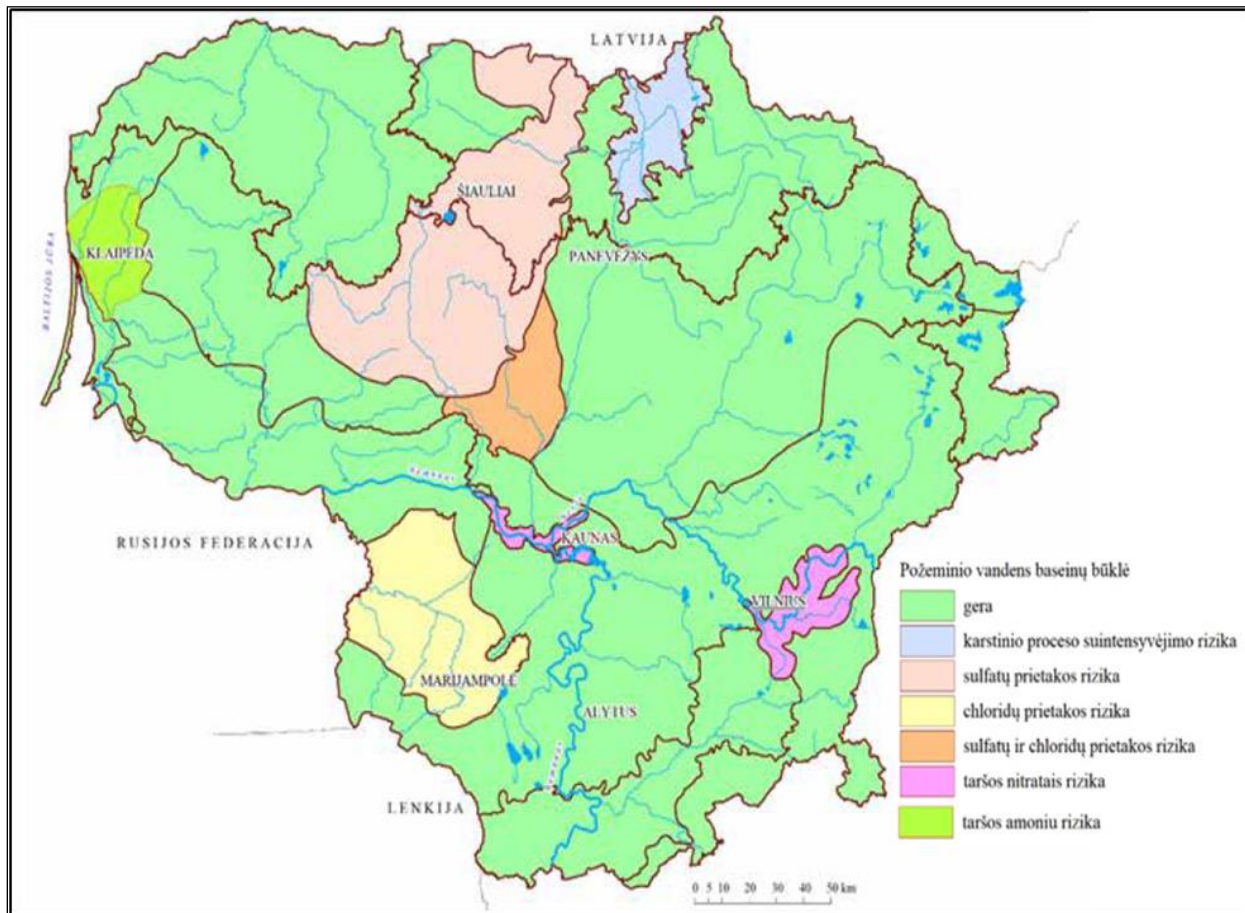
Miestų ir pramonės veikla dar labiau apsunkina šią problemą. Nuotekų valymo įrenginiai, nors ir skirti nuotekoms ir pramoninėms nuotekoms valyti, taip pat gali būti amonio šaltinis požeminiame vandenyje. Neefektyvūs valymo procesai arba perkrautos sistemos dažnai nesugeba pašalinti visų azoto junginių, todėl jie patenka į vandens telkinius ir galiausiai infiltruojasi į požeminį vandenį (Umezawa et al., 2008). Sąvartynai taip pat prisideda prie amonio apkrovos, nes filtrato - skysčio, kuris prasiskverbia pro atliekas, - sudėtyje gali būti daug amonio, kuris migruoja į požeminį vandenį (Buss et al., 2004).

Pastangos mažinti požeminio vandens užterštumą amoniu apima žemės ūkio valdymo praktikos įgyvendinimą, siekiant sumažinti maistinių medžiagų nuotėkį ir azoto išmetimą bei užterštą teritorijų rekultivavimą taikant tokius metodus, kaip siurbimo ir valymo sistemos arba in situ valymo metodai (EPA..., 2024). Pažanga valymo technologijose, pavyzdžiui, denitrifikacijos procesuose, suteikia perspektyvių galimybių pašalinti azoto junginius iš vandens ir taip apsaugoti požeminio vandens išteklius (Winkler ir Straka, 2019). Be to, pelkių atkūrimas ir buferinių zonų nustatymas gali padėti natūraliai sumažinti azoto junginių prieš jiems patenkant į požeminį vandenį (Walton et al., 2020).

Moksliniai tyrimai ir stebėseną yra taip pat labai svarbūs siekiant suprasti ir sumažinti taršą amoniu. Nuolatinė požeminio vandens kokybės stebėseną padeda nustatyti taršos tendencijas ir židinius, o tai padeda priimti politinius ir valdymo sprendimus. Aplinkosaugos agentūrų, vietos bendruomenių ir suinteresuotųjų šalių bendradarbiavimas yra gyvybiškai svarbus siekiant tvariai valdyti požeminio vandens išteklius ir apsaugoti vandens kokybę nuo taršos amoniu. Suprasti amonio šaltinius, pernašos mechanizmus ir poveikį požeminio vandens kokybei yra labai svarbu rengiant veiksmingas strategijas, skirtas apsaugoti šį vertingą išteklių ir užtikrinti geriamojo vandens tiekimo saugą bei tvarumą (EPA..., 2024).

## 1.2. Klaipėdos rajono požeminio vandens būklė, geologinės-hidrogeologinės sąlygos ir tarša

Požeminis vanduo Klaipėdos rajone, kaip ir visoje Lietuvoje, atlieka labai svarbų vaidmenį apsirūpinant geriamuoju vandeniu. Regionas yra stipriai priklausomas nuo šio išteklių, gaunamo iš įvairaus amžiaus ir litologijos vandeningųjų sluoksnių. Lietuvoje požeminio vandens baseinai, kurių iš viso yra dvidešimt, yra išskirti ir nuolat stebimi, siekiant veiksmingai valdyti šiuos išteklius. Šių vandens išteklių cheminė ir kiekybinė būklė, nustatyta remiantis 2015-2020 m. duomenimis, rodo, kad požeminiame vandenyje Klaipėdos rajono teritorijoje yra stebima taršos amoniu rizika (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020) (1 pav.).



**1 pav.** Požeminio vandens baseinų būklė (2015–2020 m. duomenys) (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020).

Klaipėdos rajone žemės gelmių registre yra registruotos 98 vandenvietės, iš kurių per metus išgaunama ~4000 m<sup>3</sup>/d gėlo požeminio vandens. Daugiausiai vandenvietėse eksploatuojami jūros vandeningi sluoksniai (39 proc.), taip pat kvartero (25 proc.), kreidos (23 proc.) ir permio (12 proc.). Dauguma vandenviečių yra nedidelės, jose išgaunama iki 100 m<sup>3</sup>/d ir tik penkiose vandenvietėse

paimama daugiau nei 100 m<sup>3</sup>/d (Lietuvos geologijos tarnyba...,2024). Didžiausios yra Gargždų (Laugalių), Veiviržėnų ir Kretingalės vandenvietės. Tuo tarpu individualių gręžinių skaičius nuolat didėja. Palyginimui, 1993 metais buvo registruoti tik 153 požeminio vandens gavybos gręžiniai, skirti ne viešam vandens tiekimui, 2003 m. – 243, 2013 m. – 1077, o 2023 m - 2010 gręžinių. Didžioji dalis gręžinių (77 proc.) įrengta į kvartero vandeningus sluoksnius, likusi dalis į giliau slūgsančius jūros (19 proc.) ir kreidos vandeningus sluoksnius (Lietuvos geologijos tarnyba...,2024).

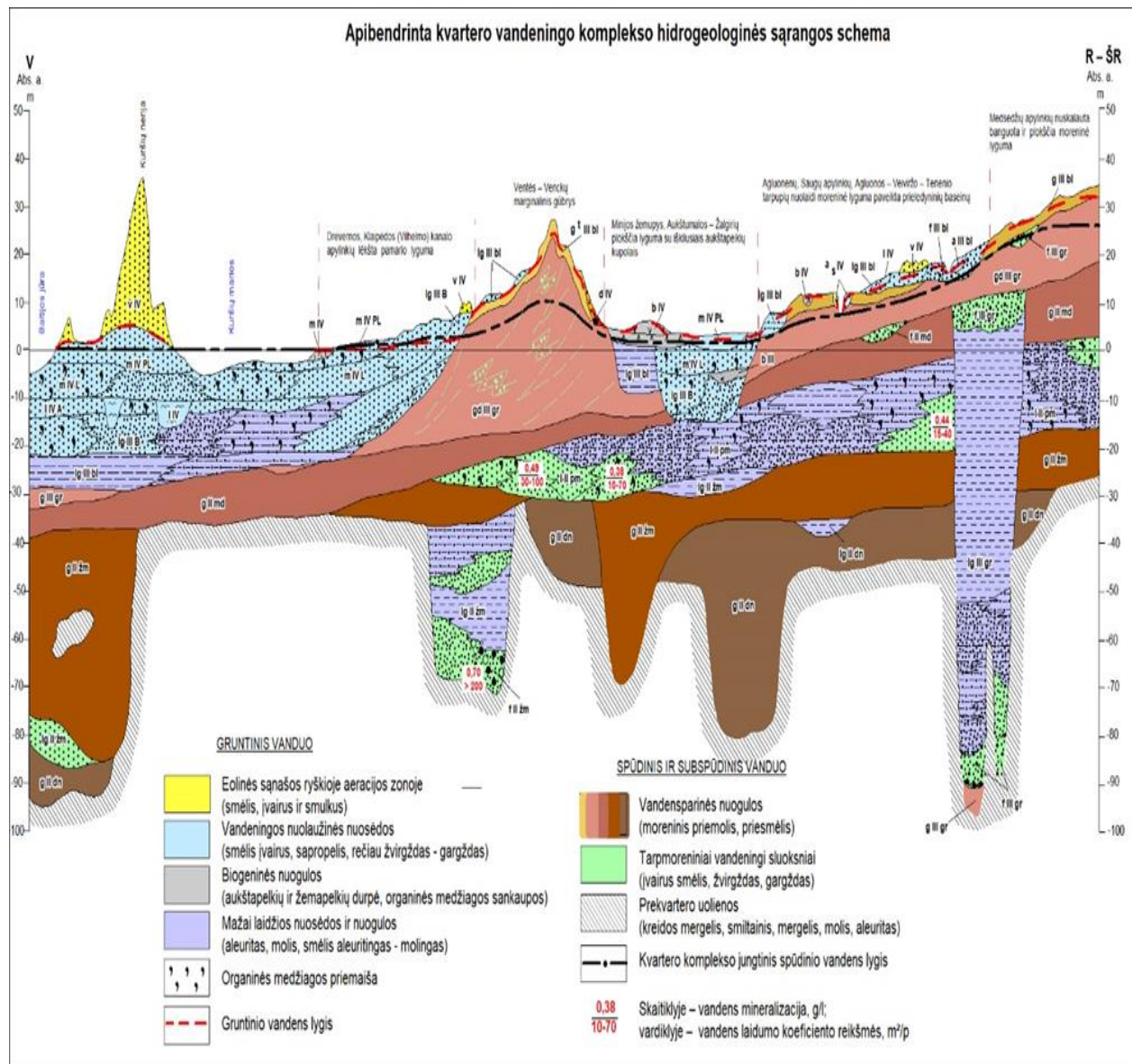
Klaipėdos rajonas yra pačiame vakariniame respublikos sausuminės dalies pakraštyje ir šliejasi prie Baltijos jūros. Jo plokščias, vietomis banguotas reljefas labai palapsniui nuo Vakarų Žemaičių plynaukštės moreninės pašlaitės per to paties pavadinimo lygumą laiptiškai nusileidžia į Baltijos jūros pakrantę. Žemės paviršius ta kryptimi žemėja iki jūros lygio (Lietuvos geologijos tarnyba, 1997).

Kvartero nuogulos Klaipėdos rajone slūgso ant nelygaus, paleoįrėžiais suskaidyto prekvarterinio paviršiaus. Viena ryškiausių prekvarterinio reljefo formų – paleoįrėžiai, dažniausiai sutampantys su gilių tektoninių lūžių zonomis. Kvartero nuogulų storis, esant apylygiam, tolygiai rytų kryptimi kylančiam dabartiniam žemės paviršiui, labai priklauso nuo prekvarterinio reljefo pobūdžio. Didžiausi kvartero nuogulų storiai – 80-100 metrai, ten, kur egzistuoja gilesni paleoįrėžiai. Vyraujantis kvartero nuogulų storis 60-70 metrų. Kvartero nuogulos slūgso ant vandeningų karbonatinių viršutinės kreidos arba vandeningų terigeninių cenomanio – apatinės kreidos darinių, oksfordžio ir kelovėjo – apatinės jūros molingo smiltainio ar smėlio, aleurito, molingo aleurolito ir juodo molio (Lietuvos geologijos tarnyba, 1997; Motuza, 2013).

Kvartero nuogulų storumėje labiau paplitę moreninės nuogulos. Tarpmoreninės nuogulos, paplitusios lokaliai, kiek dažniau randamos apatinėje storumės dalyje – paleoįrėžiuose bei prekvarterinio reljefo pažemėjimuose. Tarpmoreninių vandeningų nuogulų slūgsojimo sąlygos yra labai kaičios, neišlaikytos, kartu ir sudėtingos (2 pav.). Tarpmoreninės vandeningos nuogulos yra įvairios genezės, todėl jos nevienalytės, skirtingos granulometrinės sudėties, dažnai padidinto molingumo. Todėl Klaipėdos rajone, kaip ir visoje Baltijos duburio srityje bei Vakarų Žemaičių lygumoje nėra didesnių ir išlaikytų šio vandens sluoksnių. Nors tarp ledyninių nuogulų ir randama išlikusių tarpstadijinių bei tarpledynmetinių nuosėdų, tačiau dažniausiai tai molingi – aleuritingi įvairaus smėlingumo su organinės medžiagos priemaiša sluoksniai, posluoksniai bei lėšiai, kuriuose ir yra susikaupęs subspūdinis ir spūdinis vanduo. Tokių tarp sluoksnių kiek daugiau



pasitaiko vidurinėje kvartero nuogulų storumės dalyje. Visus juos maitina išfiltravęs kritulių vanduo, kurio infiltracija sudaro iki 150-200 mm per metus. Kvartero spūdinio vandeningo komplekso atskirų horizontų filtracinės savybės labai kaičios, filtracijos koeficiento (k) reikšmės gali kisti nuo 1 iki 20-60 m/p, filtracinio laidumo koeficientas ( $k_m$ ) nuo 10-50 iki 300-700 m<sup>2</sup>/p. Vanduo gėlas, infiltracinės kilmės – dažniausiai kalčio hidrokarbonatinis. Jo mineralizacija priklauso nuo vandeningo horizonto slūgsojimo gylio, jo ryšio su gruntiniu vandeniu bei kitais spūdiniais vandeningais sluoksniais (Lietuvos geologijos tarnyba, 1997; Lietuvos geologijos tarnyba, 2001).



**2 pav.** Apibendrinta kvartero vandeningo komplekso hidrogeologinės sąrangos schema (Lietuvos geologijos tarnyba, 2001).

Požeminio vandens sistemų hidrogeocheminei aplinkai įtakos turi minėti geologiniai dariniai, dirvožemio tipai, vandeningojo sluoksnio savybės ir žmogaus veikla. Šios sąlygos turi įtakos tokių jonų kaip amonis judrumui ir koncentracijai požeminiame vandenyje. Klaipėdos rajono požeminio vandens sistemą veikia sudėtinga geologinių darinių, klimato sąlygų ir antropogeninės veiklos sąveika, kuri kartu lemia hidrogeocheminį profilį. Požeminiame vandenyje, kaip svarbiame regiono vandens išteklių komponente, vyksta cheminės transformacijos, kurios rodo pagrindinį geologinį substratą, paviršinio vandens sąveiką ir taršos šaltinius (Manning ir Hutcheon, 2004).

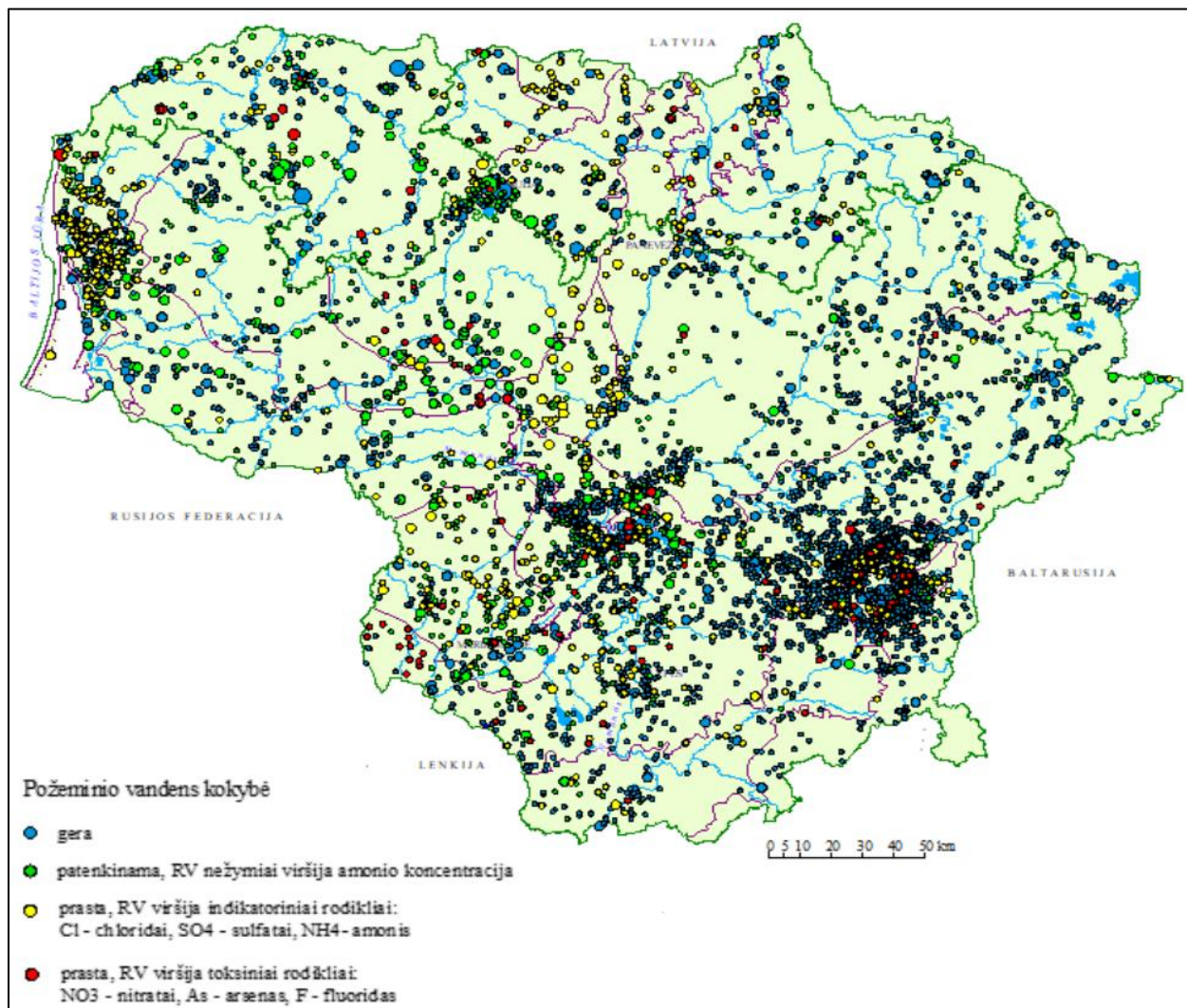
Antropogeninė įtaka požeminio vandens kokybei buvo užfiksuota, ypač Lietuvos didžiųjų miestų, įskaitant Klaipėdą, priemiesčiuose. Gyvenamųjų namų statyba buvusiose žemės ūkio paskirties žemėse lėmė padidėjusią azoto junginių koncentraciją, o amonio anomalios koncentracijos (>1,5 mg/l) kartais viršija geriamajam vandeniui nustatytą ribinę vertę, ypač priemiestinėse vietovėse. Vertinant požeminio vandens telkinių cheminę būklę įtraukiami parametrai, atspindintys galimą žmogaus veiklos poveikį. Nors tarša pavojingomis medžiagomis produktyviuose vandeninguosiuose sluoksniuose pasitaiko retai, tam tikros teritorijos vis dar stebimos dėl taršos chloruotais angliavandeniliais, o tai rodo lokalias požeminio vandens kokybės blogėjimo problemas (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020).

Žmogaus veiklos, ypač žemės ūkio, miestų plėtros ir pramoniniai procesų metu į požeminio vandens sistemą patenka įvairių teršalų. Maistinių medžiagų nuotėkis iš žemės ūkio paskirties žemės, nuotekų valymo įrenginių nuotėkis ir pramonės išleidžiamos nuotekos lemia padidėjusį nitratų, amonio, fosfatų ir įvairių organinių bei neorganinių teršalų kiekį požeminiame vandenyje (EPA..., 2024). Šie teršalai ne tik kelia pavojų žmonių sveikatai, bet ir atspindi platesnio masto aplinkosaugos problemas, su kuriomis susiduriama tvarkant požeminį vandenį rajone.

Klaipėdos rajono hidrogeocheminį kraštovaizdį lemia ir gamtinės sąlygos. Sulfatų ir chloridų anomalijos, greičiausiai atsirandančios dėl natūralių geologinių darinių, prisideda prie unikalios rajono hidrogeocheminio profilio, kurį rodo išgaunamo vandens kokybės žemėlapis, viršijant ribinę vertę (RV) (3 pav.). Tačiau per pastaruosius du dešimtmečius didžiausią įtaką požeminio vandens kokybei darė pasklidoji tarša, ypač žemės ūkio trąšos ir pesticidai (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020) (4 pav.).

Vertinant požeminio vandens išteklių cheminę būklę Klaipėdos rajone, išryškėja gamtinių sąlygų ir žmogaus veiklos įtaka, o pasklidoji tarša vaidina svarbų vaidmenį regioniniu mastu.

Penkerių metų (2015-2020 m.) stebėsenos duomenys Lietuvoje iš 911 postų apėmė azoto junginių koncentracijos analizę, iliustruojančią didelius skirtumus skirtinguose upių pabaseiniuose dėl gamtinių sąlygų ir žemės ūkio intensyvumo sąveikos. Konkrečiai nitratų (28 mg/l), amonio (1,5 mg/l) ir fosfatų (0,12 mg/l) vidutinės koncentracijos rodo didelę antropogeninę įtaką požeminio vandens cheminei sudėčiai. Šios koncentracijos smarkiai skiriasi nuo foninių verčių natūraliomis sąlygomis (nitratai - 1,5 mg/l, amonis - 0,33 mg/l, fosfatai - 0,08 mg/l), o tai rodo pasklidusios taršos, kurią pirmiausia sukelia žemės ūkio nuotekos ir miestų nuotekos, poveikį. Pažymėtina, kad nitratų koncentracijos, viršijančios ribinę vertę, buvo pastebėtos 10 proc. stebėsenos punktu, todėl pabrėžta, kad reikia imtis tikslinių priemonių šiems nukrypimams šalinti (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020) (3 ir 4 pav.).

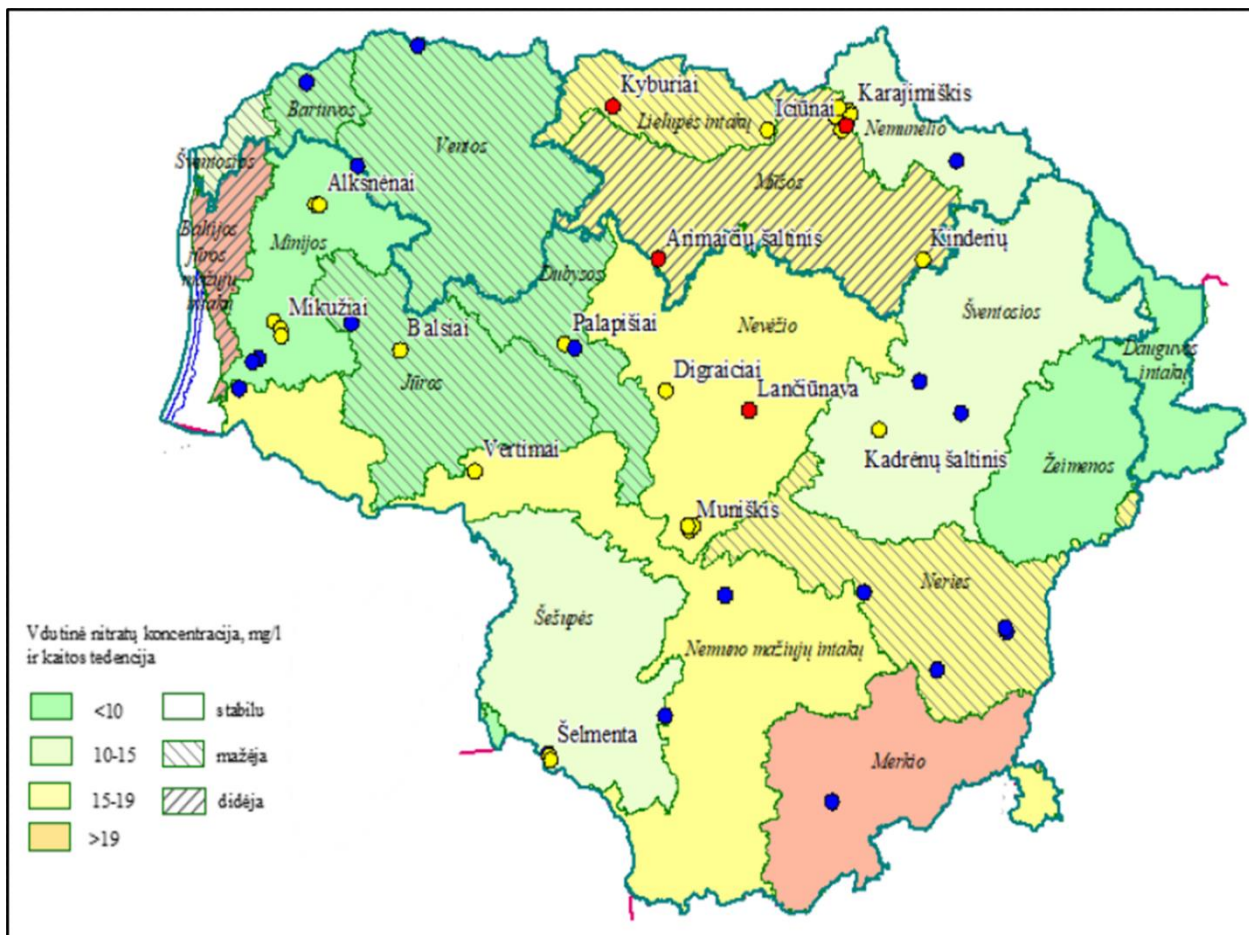


**3 pav.** Išgaunamo požeminio vandens kokybė (2015–2020 m. duomenys) (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020).



Iš šių duomenų matoma, kad Klaipėdos rajono hidrogeocheminėms sąlygoms būdinga natūralių geologinių savybių ir antropogeninio poveikio, ypač žemės ūkio veiklos ir miestų plėtros, sąveika. Nitrato, amonio ir fosfatų kiekis, viršijantis foninį lygį tam tikrose vietovėse, išryškina pasklidusios taršos poveikį, todėl būtina vykdyti išsamią stebėseną ir taikyti valdymo strategijas požeminio vandens kokybei užtikrinti (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020).

Nereguliuojami gręžiniai yra dar vienas iššūkis požeminio vandens išteklių valdymui - manoma, kad 30-50 % gręžinių įrengta be tinkamo leidimo (Požeminio vandens kokybė...,2024). Tokia padėtis išryškina kritinę reguliavimo priežiūros ir vykdymo užtikrinimo spragą, galinčią kelti pavojų tvariam požeminio vandens valdymui. Azoto junginių pasiskirstymas rajono upių pabaseiniuose labai skiriasi dėl gamtinių sąlygų ir žemės ūkio veiklos intensyvumo. Pavyzdžiui, nustatyta, kad Merkio upės baseine, vidutinė nitrato koncentracija yra didesnė, o tai rodo žemės naudojimo praktikos įtaką požeminio vandens kokybei (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020).



**4 pav.** Pasklidusios taršos poveikis gruntiniam vandeniui žemėlapis II-os eilės upių pabaseiniuose, modifikuota pagal (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020).

### **1.3. Hidrogeocheminių parametru ir amonio dinamikos požeminio vandens sistemose sąveika**

Hidrogeocheminės parametru – temperatūros, ištirpusio deguonies, redokso potencialo (Eh), pH, elektrinio laidumo - ir amonio koncentracijos požeminiame vandenyje sąveika yra sudėtingas reiškinys, darantis didelę įtaką požeminio vandens išteklių kokybei ir valdymui. Pavyzdžiui, sezoniniai svyravimai vaidina svarbų vaidmenį formuojant požeminio vandens sistemų hidrogeocheminį profilį. Temperatūra ir krituliai, du pagrindiniai sezoniniai kintamieji, daro didelę įtaką biocheminiams ir fizikiniams procesams, kurie lemia amonio likimą požeminėje aplinkoje. Kai kritulių iškrinta daugiau, paprastai drėgnuoju metų laiku, amonio išplovimas iš žemės ūkio paskirties žemių į požeminio vandens sistemas tampa intensyvesnis. Šį procesą palengvina nuotėkis iš žemės ūkio laukų, kuris su savimi neša trąšas ir organines medžiagas, kuriose gausu amonio, todėl jo koncentracija požeminio vandens atsargose padidėja (Wang ir Li, 2019). Sausringais sezonais arba sausros laikotarpiais dėl sumažėjusio vandens pritekėjimo gali sumažėti amonio praskiedimas, todėl dėl sumažėjusio išplovimo greičio jo koncentracija požeminiame vandenyje taip pat gali būti didesnė taip susidarant lokalioms anomalijoms.

Temperatūros vaidmuo šiame kontekste apima ne tik jos poveikį kritulių pobūdžiui. Aukštesnė temperatūra, ypač vasaros mėnesiais, gali padidinti mikrobu aktyvumą dirvožemyje ir požeminiame vandenyje, pagreitindama tokius procesus kaip nitrifikacija ir denitrifikacija. Šios mikrobu valdomos reakcijos yra labai svarbios amonio transformacijai, o nitrifikacijos metu aerobinėmis sąlygomis amonis virsta nitratais - procesas, kuris ne tik keičia azoto formą, bet ir turi įtakos vandens kokybei dėl galimos taršos nitratais (Smith ir Doran, 1997).

Ištirpusio deguonies (DO) koncentracija požeminiame vandenyje yra labai svarbus vyraujančių redokso sąlygų, kurios savo ruožtu lemia amonio judrumą ir transformaciją, rodiklis. Aplinkoje, kurioje DO lygis yra aukštas, o tai rodo aerobines sąlygas, skatinami nitrifikacijos procesai, todėl amonis virsta nitratais. Ši transformacija turi dvejopą reikšmę: dėl jos gali sumažėti amonio kiekis požeminiame vandenyje, tačiau taip pat kyla nitratų koncentracija, kuri gali kelti susirūpinimą dėl neigiamo poveikio žmonių sveikatai ir aplinkai (Böhlke et al., 2006). Tuo tarpu, anaerobinės sąlygos, kurioms būdingas mažesnis DO lygis, gali slopinti nitrifikaciją ir lemti amonio kaupimąsi. Šis scenarijus ypač aktualus požeminio vandens sistemose su ribotu deguonies kiekiu, kur labiau tikėtina, kad vyraus redukcinės sąlygos.

Požeminio vandens redokso potencialas (Eh) dar labiau atskleidžia šį aspektą, nes leidžia nustatyti požeminio vandens oksidacinę arba redukcinę būklę: teigiamos reikšmės rodo nitrifikacijai palankias sąlygas, o neigiamos - polinkį kauptis amoniui. Tai labai svarbu norint suprasti oksidacines arba redukcines būsenas, darančias įtaką amonio stabilumui (Appelo ir Postma, 2005).

Požeminio vandens pH yra dar vienas labai svarbus parametras, turintis įtakos amonio rūšinei sudėčiai ir judrumui. Amoniako ( $\text{NH}_3$ ) ir amonio jonų ( $\text{NH}_4^+$ ) pusiausvyra priklauso nuo pH, nes šarminesnės sąlygos yra palankesnės susidaryti dujiniam amoniakui, kuris yra lakus ir rečiau išlieka tirpale. Ši nuo pH priklausanti rūšis turi didelę reikšmę amonio biologiniam prieinamumui ir pernešimui požeminio vandens sistemose. Be to, pH gali turėti įtakos mikrobiologinių procesų, dalyvaujančių azoto apykaitoje, veiksmingumui, o tai turi įtakos bendrai amonio transformacijos dinamikai (Stumm ir Morgan, 1981).

Elektrinis laidumas (EL) yra parametras, leidžiantis įvertinti bendrą požeminio vandens mineralizaciją, kuri yra bendra ištirpusių kietųjų medžiagų dalelių (TDS) tirpale koncentraciją. Atsižvelgiant į tai, kad amonis yra vienas iš daugelio požeminio vandens laidumą lemiančių jonų, padidėjusios EL vertės gali rodyti didesnę amonio ir kitų jonų koncentraciją. Šis ryšys ypač naudingas vertinant antropogeninių taršos šaltinių, tokių kaip žemės ūkio ar pramoninių nuotekų, dėl kurių į požeminio vandens sistemas gali patekti daug amonio ir kitų teršalų, poveikį (Hem, 1985; Smith ir Doran, 1997).

Žemės naudojimo praktikos ir požeminio vandens kokybės sąveika yra labai svarbus aspektas, susijęs su amonio dinamika (Li et al., 2018). Dėl intensyvios žemės ūkio veiklos, kuriai būdingas gausus azoto trąšų naudojimas, dirvožemyje gali kauptis amonis, kuris vėliau gali išsiplauti į požeminio vandens sistemas. Prie šios dinamikos prisideda ir miestų bei pramonės zonos, į kurias išleidžiamos nuotekos, turinčios daug azoto junginių, todėl dar labiau keičiasi azoto ciklas ir hidrogeocheminės požeminio vandens sąlygos. Dėl šių antropogeninių veiksnių poveikio būtina taikyti kompleksinę požiūrį į žemės ir vandens valdymą, kuriuo siekiama sušvelninti pakitusio azoto ciklo poveikį ir užtikrinti požeminio vandens išteklių tvarumą (Koda et al., 2016).

## **2. MEDŽIAGA IR METODAI**

Pasirinkta metodika sujungia laboratorinę cheminę analizę, taikant LAND 38-2000 metodą, ir fizikinių-cheminių parametrų matavimus lauke, siekiant visapusiškai suprasti požeminio vandens būklę.

### **2.1. Individualių gręžinių atrankos kriterijai**

Atrenkant gręžinius kruopščiai atsižvelgiama į įvairius veiksnius, kad būtų užtikrintas reprezentatyvumas ir įvairovė:

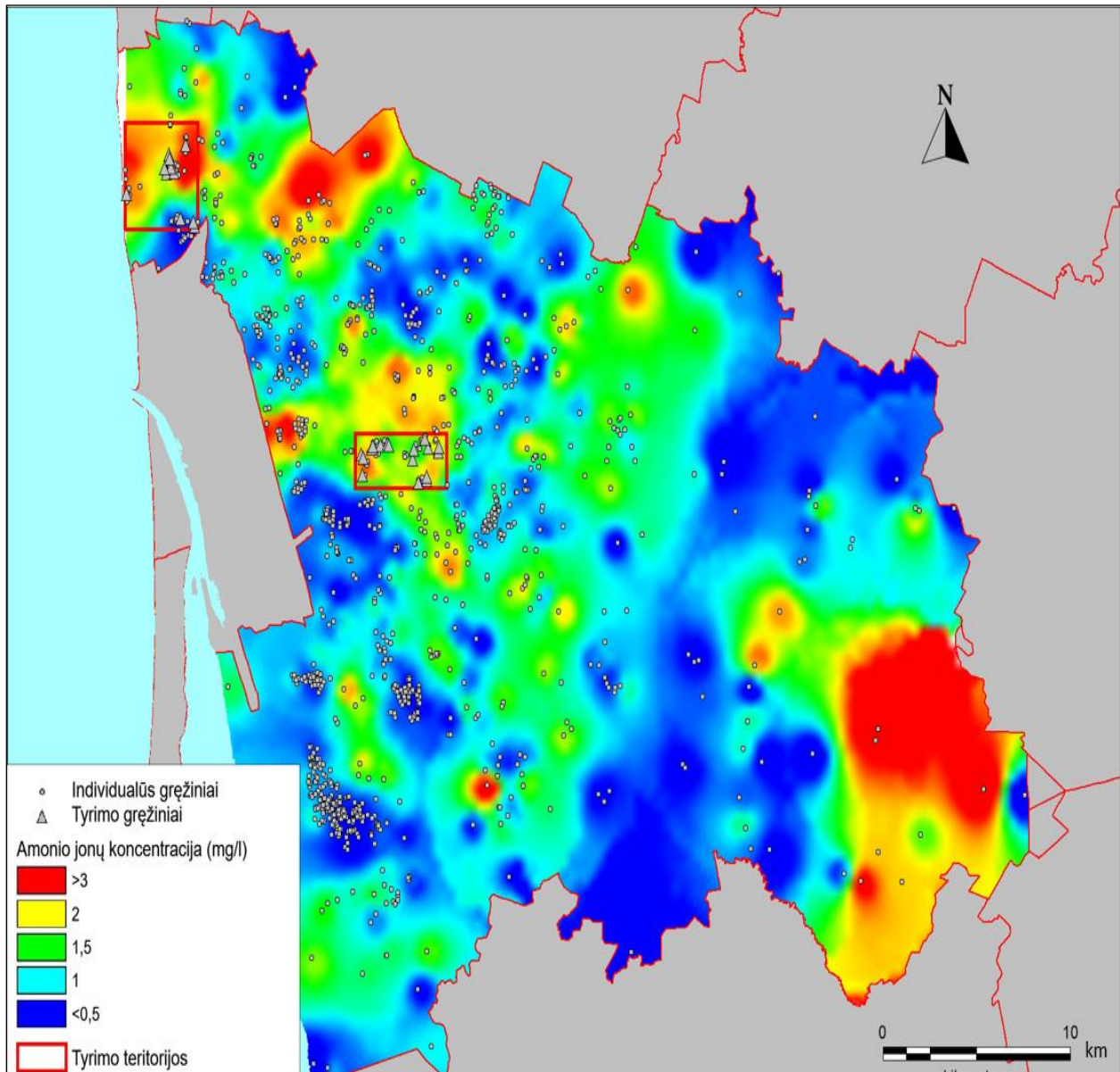
- Geografinis pasiskirstymas: gręžiniai strategiškai parinkti Jonušų-Dauparų-Šlapšilės ir Kunkių-Normantų-Karklės teritorijose (5 pav.), kad būtų užfiksuoti įvairūs geologiniai ir geografiniai ypatumai.
- Gylio variacijos: siekiant atsižvelgti į galimus amonio koncentracijos skirtumus skirtinguose vandeningojo sluoksnio gyliuose, parinkti įvairaus gylio gręžiniai.
- Žemės naudojimo įtaka: siekiant įvertinti žmogaus veiklos poveikį požeminio vandens kokybei, įtraukiami gręžiniai, esantys vietovėse, kuriose vyrauja skirtingas žemės naudojimo būdas, pavyzdžiui, žemės ūkio, pramonės ir gyvenamosiose zonose.

### **2.2. Požeminio vandens mėginių rinkimas**

Iš viso abiejose teritorijose iš atrinktų gręžinių 2023 m. Spalio 16-19 d. buvo paimti 29 požeminio vandens mėginiai. Jonušų-Dauparų-Šlapšilės teritorijoje paimta 17 mėginių, o Kunkių-Normantų-Karklės 12 vandens mėginių (5 pav.). Išskirtinis mėginių ėmimo proceso aspektas - prieš atliekant matavimus ir renkant mėginius būtina išpumpuoti užsistovėjusį vandenį, kad būtų užtikrinta tiksli analizė (Tjandraatmadja et al., 2014):

- Paruošimas: visa mėginių ėmimo įranga prieš naudojimą kruopščiai išvaloma, kad būtų išvengta užteršimo.
- Stovinčio vandens siurbimas: prieš atliekant matavimus ir renkant mėginius, sustingęs vanduo išpumpuojamas, kad būtų galima pasiekti šviežią požeminį vandenį tiesiai iš gręžinio. Šis veiksmas labai svarbus norint gauti reprezentatyvius mėginius ir užtikrinti tikslią cheminę analizę.

- Mėginių ėmimo metodas: po stovinčio vandens išpumpavimo naudojamas mažo srauto mėginių ėmimo metodas (Tjandraatmadja et al., 2014), kuris sumažina deguonies patekimą ir užkerta kelią galimiems cheminių parametrų pokyčiams mėginių ėmimo metu.
- Mėginių laikymas: požeminio vandens mėginiai laikomi iš anksto išvalytuose plastikiniuose buteliuose, kad gabenant į laboratoriją būtų išsaugota jų cheminė sudėtis.



**5 pav.** Tyrimo gręžinių ir amonio jonų koncentracijų Klaipėdos rajone žemėlapis (Lietuvos geologijos tarnybos 2004-2018 m. duomenys).



### 2.3. Fizikinių - cheminių parametru matavimai lauke

Atliekant išsamų požeminio vandens kokybės vertinimą, labai svarbus komponentas yra lauko parametru matavimai, kurie leidžia dinamiškai išvelgti tiesiogines aplinkos sąlygas, supančias atskirus gręžinius. Šiame tyrime taikoma metodika, kurioje naudojami pažangūs prietaisai, "Aquaprobe AP-800" ir "Aquameter AM-200", skirti pagrindiniams parametrų, tokiems kaip pH, temperatūra, redokso potencialas (Eh), elektrinis laidumas ir ištirpęs deguonis, matuoti.

- pH matavimas: pH - pagrindinis požeminio vandens rūgštingumą arba šarmingumą atspindintis parametras - buvo matuojamas naudojant "Aquaprobe AP-800". Aquaprobe AP-800 pH jutiklyje naudojami jonams selektyvūs elektrodai, kuriais nustatoma vandenilio jonų koncentracija vandenyje. Šis metodas atitinka nustatytus protokolus (Rice et al., 2012). Matavimai buvo atliekami panardinant pH jutiklį tiesiai į požeminį vandenį, todėl buvo galima tiksliai ir iš karto nustatyti rodmenis. Jutiklio matavimo tikslumas yra  $\pm 0,1$  pH vieneto (Darrera..., 2024).
- Temperatūros matavimai: vandens temperatūros matavimas yra esminis aplinkos stebėsenos aspektas, leidžiantis suprasti požeminio vandens šiluminės savybes. Šiame tyrime vandens temperatūra buvo matuojama naudojant "Aquaprobe AP-800" Aquaprobe AP-800 yra daugiaparametrinis zondas su didelio tikslumo jutikliais, įskaitant temperatūros jutiklį, kuriuo galima tiksliai ir realiuoju laiku nustatyti vandens aplinkos temperatūros rodmenis. Jutiklis pasižymi  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  tikslumu (Darrera..., 2024). Išmatuota temperatūra, užfiksuota Celsijaus laipsniais, suteikia vertingų žinių apie požeminio vandens termines charakteristikas tirtose gręžiniuose (Clark, 2015).
- Redokso potencialo (Eh) matavimas: požeminio vandens redokso potencialas (Eh), rodantis jo oksidacijos-redukcijos sąlygas, buvo nustatytas naudojant "Aquaprobe AP-800". Šiame prietaise integruotas redokso elektrodas, kuriuo matuojama redokso reakcijų metu susidaranti įtampa. Redokso elektrodas buvo atsargiai įdėtas į vandenį paimtą iš gręžinio, o stabilizavus rodmenims buvo imami rezultatai. Išmatuotos Eh vertės suteikia vertingos informacijos apie požeminiame vandenyje vyraujančias geochemines sąlygas. Elektrodas pasižymi  $\pm 5$  mV tikslumu (Darrera..., 2024).

- Elektrinio laidumo matavimas: požeminio vandens elektrinis laidumas, pagrindinis jonų koncentracijos ir vandens gebėjimo praleisti elektros srovę rodiklis, buvo matuojamas naudojant "Aquaprobe AP-800". Siekiant užtikrinti tikslius matavimus, "Aquaprobe AP-800" laidumo elemente naudojami keli elektrodai. Kamera buvo panardinta į požeminį vandenį, o stabilizavus rodmenis užrašyti rodmenys. Elektros laidumo jutiklio rodmenų tikslumas yra  $\pm 1 \%$ , (Darrera..., 2024). Šis parametras leidžia nustatyti bendrą požeminio vandens druskingumą ir jonų sudėtį.
- Ištirpusio deguonies matavimas: ištirpusio deguonies, kuris yra labai svarbus vertinant požeminio vandens prisotinimo deguonimi būklę, matavimas buvo atliekamas naudojant "Aquameter AM-200". Aquameter AM-200 naudojamas ištirpusio deguonies zondas, veikiantis polarografiniais principais. Zondas buvo panardintas į vandenį iš gręžinio, o stabilizavus rodmenis imti rezultatai. Ištirpusio deguonies koncentracija suteikia vertingos informacijos apie vandens potencialą palaikyti vandens gyvybę. Ištirpusio deguonies jutiklio rodmenų tikslumas 0-200 % prisotinimo atveju yra  $\pm 1 \%$ , o 200-500 % prisotinimo atveju -  $\pm 10 \%$  (Darrera..., 2024),.
- Prietaisai ir kalibravimas: pasirenkant prietaisus Aquaprobe AP-800 ir Aquameter AM-200 buvo vadovaujamosi jų reputacija dėl tikslumo ir patikimumo atliekant aplinkos stebėseną (Rice et al., 2012). Reguliarus šių prietaisų kalibravimas naudojant standartinius tirpalus užtikrino matavimų tikslumą.
- Duomenų registravimas ir analizė: visi lauke atlikti parametru matavimai buvo registruojami lauko žurnale, nurodant datą, laiką, gręžinio vietą ir atitinkamų prietaisų rodmenis. Vėliau šie užregistruoti duomenys buvo surinkti ir perkelti į skaitmeninę duomenų bazę tolesnei analizei (Yeskis ir Zavala, 2002). Lauko matavimų integravimas su cheminėmis analizėmis padeda visapusiškai suprasti požeminio vandens kokybės dinamiką.
- Kokybės užtikrinimas ir kokybės kontrolė: kokybė buvo užtikrinama reguliariai kalibruojant prietaisus, laikantis standartizuotų matavimo procedūrų ir kiekviename gręžinyje atliekant dvigubus matavimus. Kokybės kontrolės priemonės, įskaitant tuščius matavimus, buvo įgyvendintos siekiant nustatyti ir ištaisyti bet kokius galimus lauko parametru matavimų paklaidų šaltinius (Yeskis ir Zavala, 2002).
- Matavimų lauke privalumai: parametru matavimai lauke turi akivaizdžių privalumų, įskaitant duomenų gavimą realiuoju laiku ir galimybę užfiksuoti aplinkos sąlygų laikinus

pokyčius (Yeskis ir Zavala, 2002). Naudojant pažangius prietaisus padidėja šių matavimų patikimumas ir tikslumas, todėl galima susidaryti platesnį požeminio vandens kokybės vaizdą pasirinktuose gręžiniuose.

#### **2.4. Cheminė analizė pagal LAND 38-2000 metodą**

Cheminė amonio koncentracijos analizė LAND 38-2000 metodu - tai kruopščiai atliekama procedūra, atliekama pagal nustatytus protokolus ir metodus. Šis aplinkosaugos moksle plačiai pripažintas metodas remiasi kolorimetrine analize, pagrįsta indofenolio mėlynojo reakcija (Rice et al., 2012).

- Reagento paruošimas: reagentų ruošimas atliekamas laikantis rekomendacijų, išsamiai aprašytų LAND 38-2000 metode, kuris atitinka „Aplinkos chemijos analitiniuose metoduose“ (Overway, 2017) pateiktas rekomendacijas. Tai apima standartizuotų tirpalų su tiksliais koncentracijomis kūrimą, užtikrinantį tolesnių analizių nuoseklumą ir tikslumą. Indofenolio mėlynojo reakcijos sėkmė priklauso nuo kruopštaus reagentų paruošimo. Svarbiausias iš šių reagentų yra indofenolio reagentas, kuris paprastai ruošiamas sumaišant natrio nitroprusidą, natrio hidroksidą ir fenolinį junginį. Tada šis mišinys sujungiamas su hipochlorito tirpalu ir taip susidaro kolorimetrinis reagentas, būtinas reakcijai su amonio jonais.
- Mėginių paruošimas: mėginių paruošimo procedūros atitinka LAND 38-2000 metodu rekomenduojamus protokolus (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija..., 2024). Prieš pradedant kolorimetrinę analizę, būtina tinkamai paruošti požeminio vandens mėginius. Tai reiškia, kad mėginiai turi būti filtruojami, kad būtų pašalintos kietosios dalelės, kurios gali trukdyti reakcijai. Vėliau iš filtruoto mėginio paimama išmatuota alikvotinė dalis, kad analizei būtų naudojama reprezentatyvi dalis.
- Kolorimetrinė analizė: indofenolio mėlynoji reakcija yra svarbiausia LAND 38-2000 metodo dalis ir išsamiai aprašyta „Standartiniuose vandens ir nuotekų tyrimo metoduose“ (Rice et al., 2012). Amonio jonų ir indofenolio reagento reakcija yra gerai dokumentuotas procesas, užtikrinantis patikimą kiekybinį amonio koncentracijos nustatymą. Mėlynojo indofenolio reakcija yra pagrįsta amonio jonų virtimu dujiniu amoniaku, kuris, esant katalizatoriui, reaguoja su hipochloritu ir fenoliniais junginiais ir sudaro intensyvios

mėlynos spalvos kompleksą. Šios spalvos intensyvumas tiesiogiai proporcingas amonio jonų koncentracijai mėginyje.

- Spektrofotometrinis matavimas: atliekant spektrofotometrinius matavimus laikomasi pripažintų analitinės chemijos standartų (Skoog et al., 2017). Labai svarbus analizės aspektas - kalibravimo kreivės - sudaromos naudojant standartinius tirpalus su žinomomis amonio koncentracijomis pagal nustatytas metodikas. Siekiant kiekybiškai nustatyti amonio jonų koncentraciją mėginyje, sudaroma kalibravimo kreivė. Tam reikia analizuoti standartinius tirpalus su žinoma amonio koncentracija tokiu pat būdu kaip ir mėginius. Išmatuotos absorbcijos ir žinomos koncentracijos santykis naudojamas amonio jonų koncentracijai požeminio vandens mėginiuose interpoliuoti. Po inkubacijos mėlynos spalvos komplekso absorbcija matuojama spektrofotometru esant tam tikram bangos ilgiui, paprastai apie 640 nm.
- Kokybės kontrolės priemonės: kokybės kontrolės priemonės, įskaitant tuščių mėginių ir standartinių tirpalų naudojimą, įgyvendinamos pagal įvairias rekomendacijas (Skoog et al., 2013; Csuros, 2018). Šios priemonės yra esminės nustatant ir koreguojant galimus taršos šaltinius ir užtikrinant analizės prietaisų tikslumą. Siekiant nustatyti ir ištaisyti bet kokią galimą užterštumą, imami tušti mėginiai, kuriuose nėra amonio jonų. Siekiant patvirtinti kalibravimo kreivę ir užtikrinti analizės nuoseklumą laikui bėgant, reguliariai analizuojami standartiniai tirpalai.
- Duomenų registravimas ir analizė: duomenų registravimo ir statistinės analizės procedūros yra suderintos su aplinkos statistikos principais (Manly, 2008). Apskaičiuojama aprašomoji statistika, pavyzdžiui, vidurkis, mediana ir standartinis nuokrypis, ir tai suteikia tvirtą pagrindą interpretuoti amonio koncentracijos pasiskirstymą požeminio vandens mėginiuose.
- Rezultatų interpretacija: rezultatų aiškinimas grindžiamas principais vadovaujantis pastebėtomis amonio koncentracijomis, dėsningumais ir anomalijomis tyrimo tikslų kontekste, taip prisidedant prie išsamaus supratimo apie amonio taršą tirtame požeminiame vandenyje Klaipėdos rajone (Baird ir Cann, 2012).

## **2.5. Ankstesnių rezultatų integravimas ir analizė**

Nagrinėjant amonio koncentracijos Klaipėdos rajono požeminio vandens gręžiniuose dinamiką laike, remiamasi ankstesnių duomenų lyginimu su naujausiais matavimais. Visi šiam tyrimui atrinkti gręžiniai yra užregistruoti ir yra anksčiau paimtų amonio koncentracijų rezultatai. Siekiant nustatyti lyginamosios analizės atskaitos tašką, buvo surinkti duomenys apie amonio koncentraciją, gauti atliekant ankstesnius tyrimus ir stebėseną tuose pačiuose gręžiniuose. Šie duomenų rinkiniai leidžia susidaryti vaizdą apie amonio koncentraciją požeminiame vandenyje praeityje. Šios informacijos šaltiniai - tai dokumentais pagrįsti vandens kokybės vertinimai ir aplinkosaugos ataskaitos randamos Lietuvos geologijos tarnybos žemės gelmių registro duomenų bazėje (Lietuvos geologijos tarnyba..., 2024).

Esminis lyginamosios analizės aspektas - užtikrinti ankstesnių tyrimų ir dabartinio tyrimo metodologinį nuoseklumą. Analitinių metodų, mėginių ėmimo procedūrų ar laboratorinių protokolų skirtumai gali sukelti šališkumą ir turėti įtakos palyginimo patikimumui (Rice et al., 2012).

Lyginamoji analizė apima ne tik statistinius rodiklius, bet ir leidžia nustatyti amonio koncentracijos duomenų anomalijas ir dėsningumus. Tyrimo metu gali išryškėti staigūs koncentracijos lygio šuoliai ar kritimai, nuoseklios tendencijos ar cikliniai svyravimai (Rice et al., 2012). Tokių dėsningumų nustatymas yra labai svarbus siekiant suprasti amonio dinamiką lemiančius veiksnius ir galimus taršos šaltinius arba poveikio mažinimo priemones. Toks lyginamasis metodas ne tik išryškina amonio kiekio pokyčius laike, bet ir pabrėžia platesnę šių pokyčių reikšmę rajono hidrogeocheminių sąlygų supratimui.

## **2.6. Duomenų analizė**

Surinkti duomenys, įskaitant amonio koncentraciją ir lauko matavimus, analizuoti naudojant statistinę analizę siekiant apibendrinti pagrindines duomenų tendencijas ir kintamumą (Montgomery et al., 2021).

Duomenų apdorojimui ir pavaizdavimui buvo naudojama Microsoft „Excel“ ir Matplotlib programos. Žemėlapis kurtas naudojantis MapInfo Pro programine įranga.

### 3. REZULTATAI

#### 3.1. Bendra individualių gręžinių Klaipėdos rajone gylio charakteristika

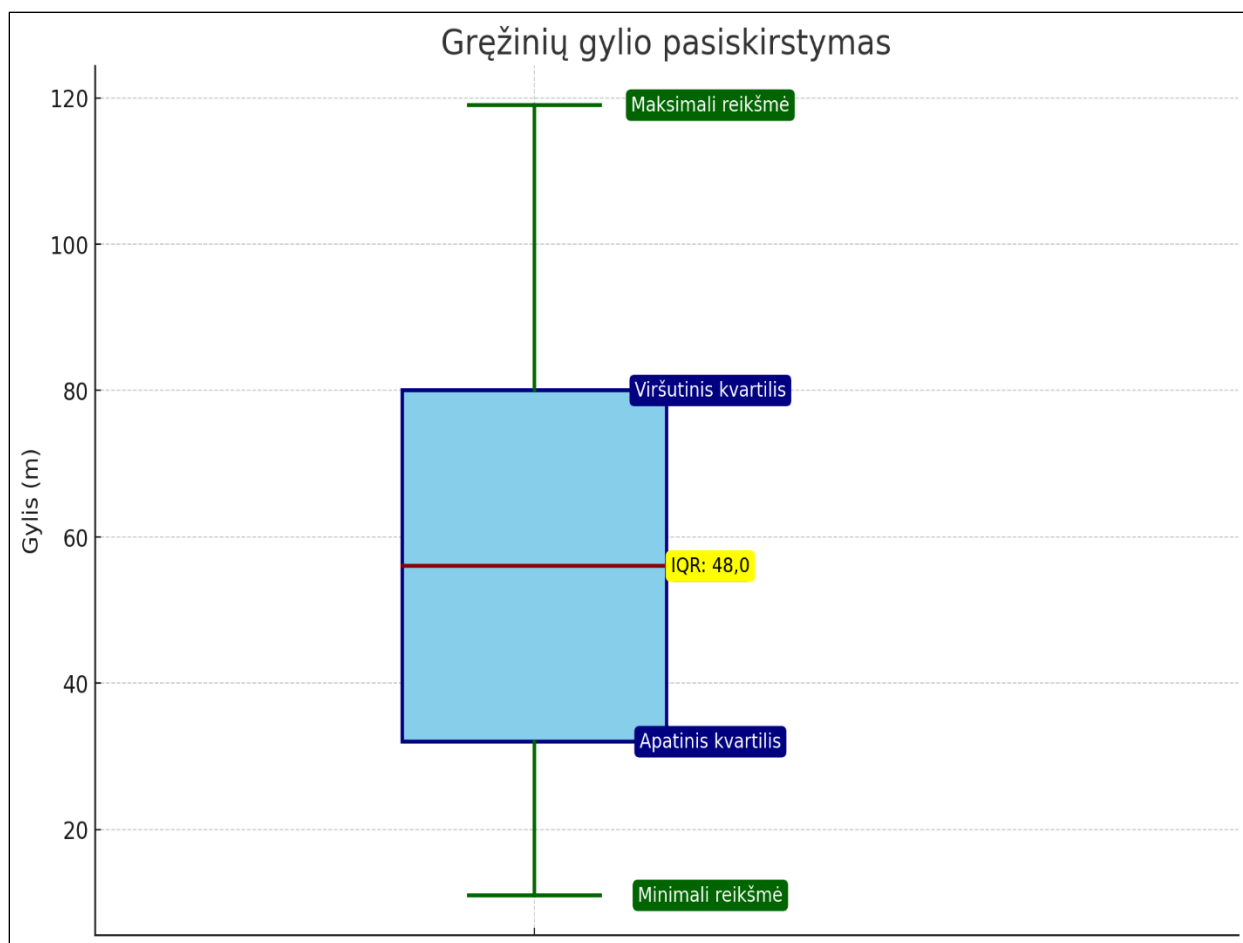
Požeminio vandens kokybei vertinti naudojami 29 individualūs gręžiniai, esantys dviejose unikaliose Klaipėdos rajono teritorijose: Jonušai-Dauparai-Šlapšilė ir Kunkiai-Normantai-Karklė (5 pav.).

Šių gręžinių gylis, kuris yra labai svarbus požeminio vandens savybėms suprasti, svyruoja nuo 11 iki 119 metrų, o vidutinis gylis yra maždaug 57,4 metro. Gręžinių gylio skirtumai rodo, kad rajone yra įvairių hidrogeologinių sąlygų, apimančių ir seklias, ir galias požeminio vandens sistemas. Gręžinių gylio standartinis nuokrypis - 28,6 metro - dar labiau pabrėžia mėginių ėmimo vietų nevienalytiškumą (1 lentelė).

**1 lentelė.** Tirtų gręžinių gylių statistiniai rezultatai Klaipėdos rajone.

Statistinis rodiklis	Gylis, m
Vidurkis	57,4
Standartinis nuokrypis	28,6
Minimali reikšmė	11,0
Maksimali reikšmė	119,0
Mediana	56,0
Apatinis kvartilis	32,0
Viršutinis kvartilis	80,0

Bokso diagrama leidžia išsamiau pažvelgti į gylių pasiskirstymą Klaipėdos rajone požeminio vandens gręžiniuose pavaizduodama tarpkvartilinį plotį (IQR) (6 pav.). Pastebimas IQR (48 m) nuo apatinio kvartilio (32 m) iki viršutinio kvartilio – (80 m), rodo 50 % šio rajono gręžinių gylių žymią sklaidą, kurių pasiskirstymo ir kintamumo skirtumai stipriai pabrėžia Klaipėdos rajono hidrogeologinio kraštovaizdžio sudėtingumą.



**6 pav.** Gręžinių gylių pasiskirstymas tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajone. IQR – tarpkvartilinis plotas.

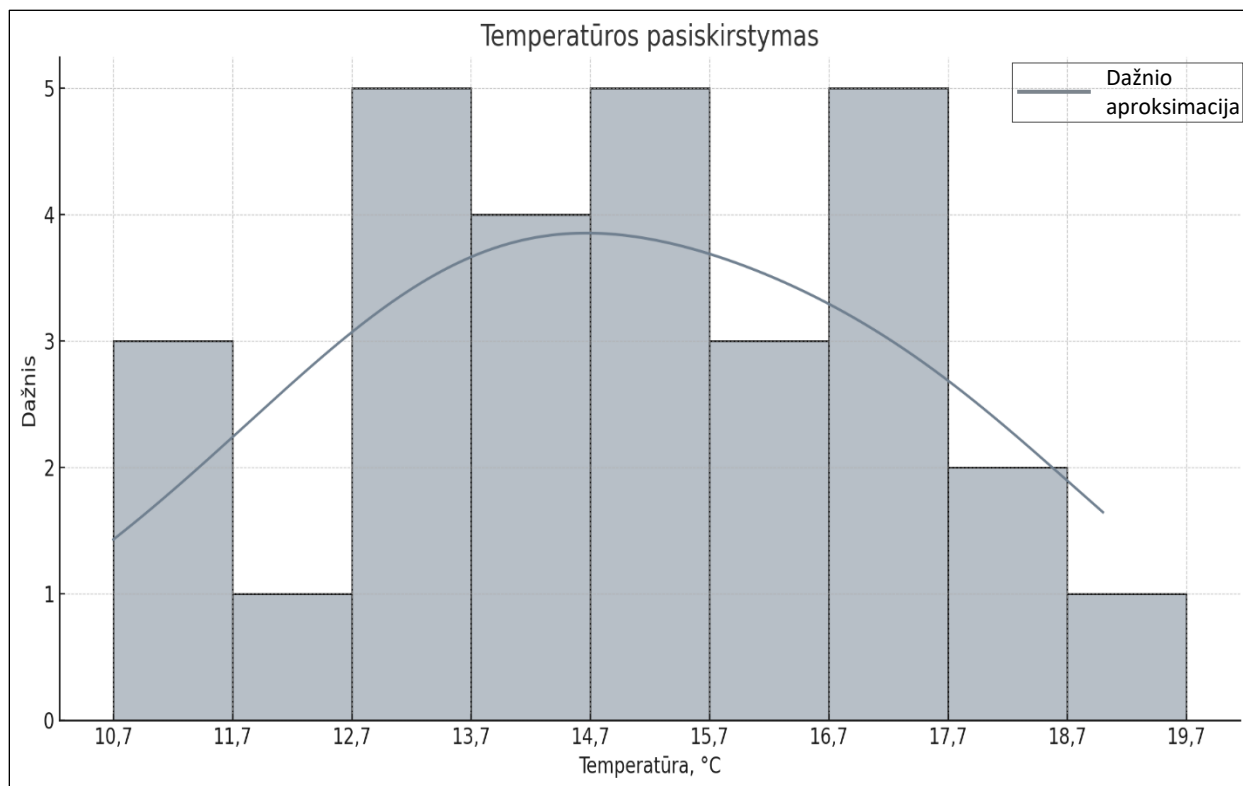
### 3.2. Požeminio vandens temperatūros analizė

Klaipėdos teritorijose esančiuose gręžiniuose buvo stebimi požeminio vandens temperatūros svyravimai (2 lentelė). Vidutinė 14,9 °C temperatūra rodo, kad požeminio vandens temperatūros režimas yra įprastas, būdingas regiono klimato ir hidrogeologinėms sąlygoms. Palyginti nedidelis standartinis nuokrypis (2,3 °C) rodo nedidelį temperatūros svyravimą visuose tirtuose gręžiniuose, o tai leidžia manyti, kad tiriamojoje teritorijoje vyrauja homogeniškas šiluminis poveikis. Tačiau, užfiksuotos įvairūs šiluminis temperatūros intervalo profilis nuo 10,7 °C iki 19,0 °C rodo, kad yra lokalių šiluminių anomalijų arba svyravimų, kuriuos lemia gylis, vandeningojo srauto dinamika ar paviršiaus įtaka.

**2 lentelė.** Požeminio vandens temperatūros statistiniai rezultatai tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajone.

Statistinis rodiklis	Temperatūra (°C)
Vidurkis	14,9
Mediana	14,8
Standartinis nuokrypis	2,3
Minimali reikšmė	10,7
Apatinis kvartilis	13,2
Viršutinis kvartilis	17,0
Maksimali reikšmė	19,0

Požeminio vandens temperatūros histograma (7 pav.) vaizduoja temperatūros matavimų pasiskirstymą Klaipėdos rajono tiriamose teritorijose. Dauguma temperatūrų susitelkia apie medianą, su mažiau stebėjimų aukštesnėse ir žemesnėse temperatūrų intervalo dalyse, kas rodo sezoninių svyravimų, požeminio vandens tekėjimo pobūdžio ir gręžinių gylio įtaką šiluminiam režimui.



**7 pav.** Požeminio vandens temperatūros pasiskirstymas tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajone.



### 3.3. Požeminiame vandenyje ištirpusio deguonies analizė

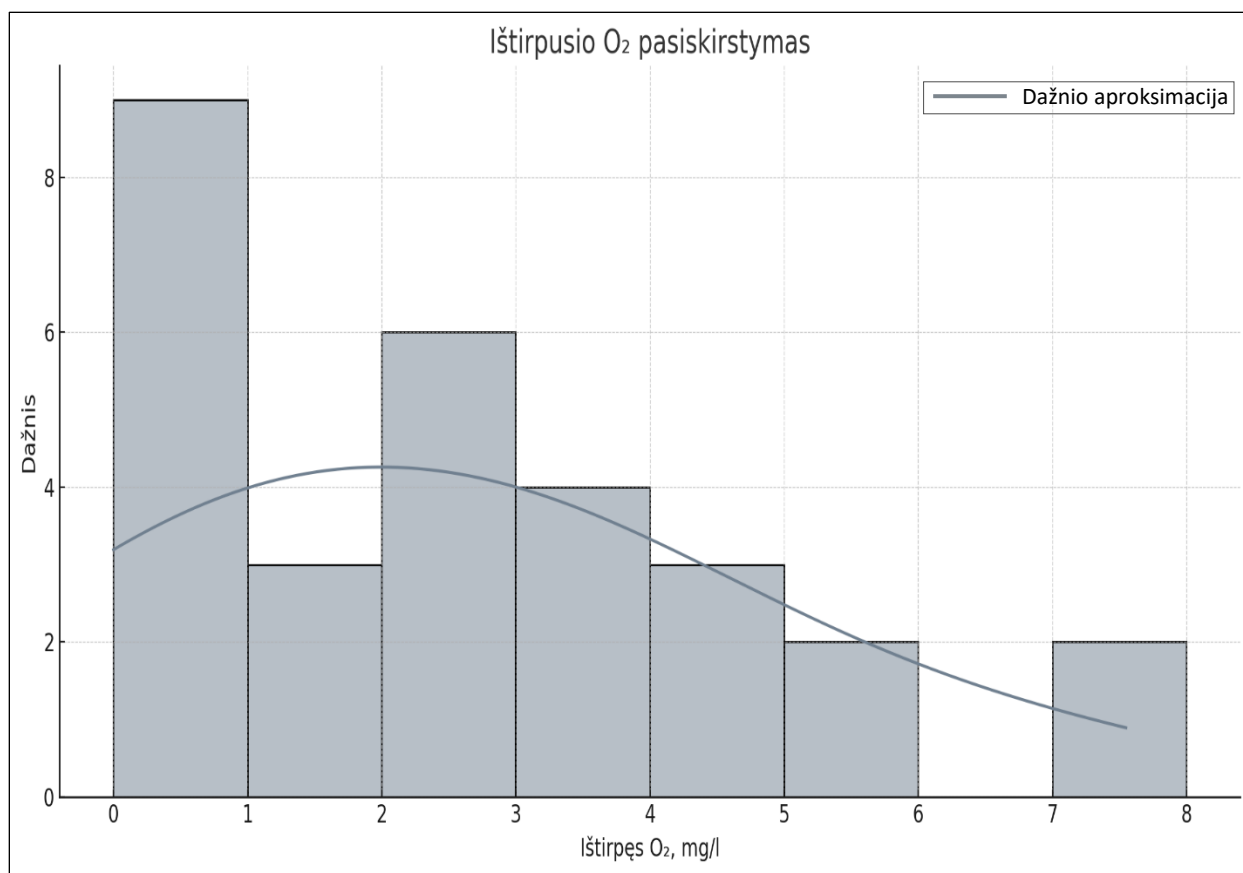
Ištirpusio deguonies duomenų rinkinio analizė atskleidė, kad ištirpusio deguonies (DO) reikšmės visuose tirtuose gręžiniuose yra nevienodos (3 lentelė). Duomenys rodo, kad ištirpusio deguonies kiekis yra labai įvairus - nuo visiško jo nebuvimo (0,0 mg/l) kai kuriuose mėginiuose iki 7,6 mg/l kituose. Vidutinis DO kiekis yra 2,6 mg/l, o tai parodo, kad vidutiniškai požeminio vandens mėginiuose DO kiekis yra palyginti mažas.

**3 lentelė.** Požeminiame vandenyje ištirpusio deguonies statistiniai rezultatai tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje.

Statistinis rodiklis	Ištirpęs deguonis (mg/l)
Vidurkis	2,6
Standartinis nuokrypis	2,2
Minimali reikšmė	0,0
Apatinis kvartilis	0,8
Mediana	2,4
Viršutinis kvartilis	3,7
Maksimali reikšmė	7,6

Ištirpusio deguonies pasiskirstymo histograma atskleidžia įvairių DO koncentracijų dažnį požeminio vandens mėginiuose (8 pav.). Histogramoje pavaizduotas ištirpusio deguonies kiekio pasiskirstymas yra pakrypęs į mažesnes koncentracijas.

Tiek vidurkis, tiek mediana (3 lentelė) rodo pokrypį į mažesnes vertes, o tai reiškia, kad nors kai kuriuose gręžiniuose deguonies kiekis yra didesnis, dauguma gręžinių turi mažesnę ištirpusio deguonies kiekį, o tai parodo vyraujančias anaerobines sąlygas. Pastebėta DO koncentracijų įvairovė gali rodyti skirtingas vandeningojo sluoksnio redokso sąlygas, o tai gali turėti didelės reikšmės amonio dinamikai požeminėje vandens sistemoje.



**8 pav.** Požeminio vandenyje ištirpusio deguonies pasiskirstymas tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje.

### 3.4. Požeminio vandens elektrinio laidumo analizė

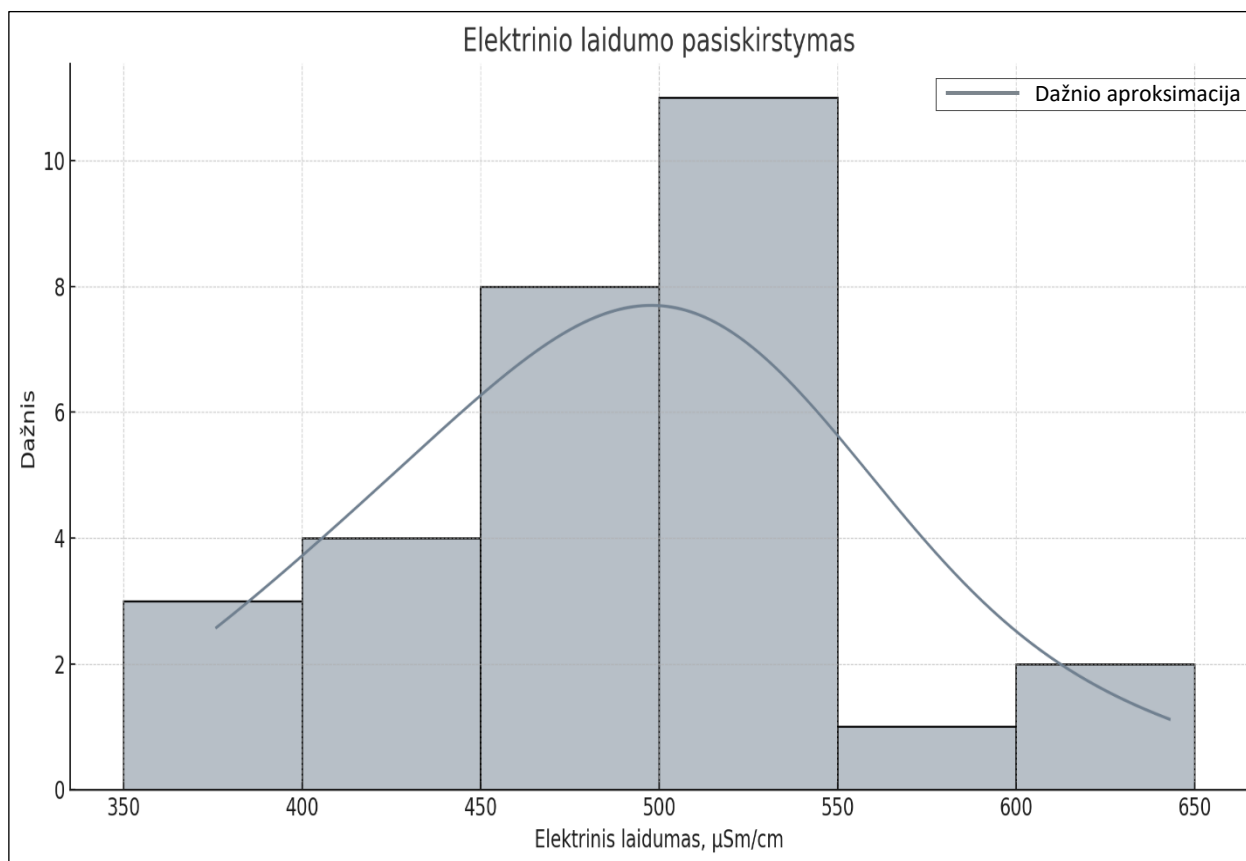
Duomenų rinkinyje esantys elektrinio laidumo (EL) matavimai leidžia įvertinti bendrą požeminiame vandenyje ištirpusių jonų koncentraciją Klaipėdos rajone. Vandens mėginių elektrinio laidumo (EL) statistinė analizė (4 lentelė) atskleidė, kad vidutinis EL gręžiniuose yra 491,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , su intervalu nuo 376  $\mu\text{S}/\text{cm}$  iki 643  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Standartinis nuokrypis, kuris yra 62,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  parodo didelį EL lygio kintamumą skirtinguose gręžiniuose, o tai gali indikuoti apie įvairias hidrogeochemines sąlygas rajone. Tarpkvartilinis intervalas (IQR) nuo 450  $\mu\text{S}/\text{cm}$  iki 520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dar labiau pabrėžia požeminiame vandenyje ištirpusių jonų koncentracijų kintamumą.

**4 lentelė.** Požeminio vandens elektrinio laidumo statistiniai rezultatai tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje.

Statistinis rodiklis	Elektrinis laidumas, $\mu\text{S}/\text{cm}$
----------------------	--

Vidurkis	491,8
Standartinis nuokrypis	62,4
Minimali reikšmė	376,0
Apatinis kvartilis	450,0
Mediana	499,0
Viršutinis kvartilis	520,0
Maksimali reikšmė	643,0

Elektrinio laidumo pasiskirstymo histograma parodo elektrinio laidumo matavimų pasiskirstymą tirtuose gręžiniuose (9 pav.). Matomas normalus pasiskirstymas su nedideliu pokrypiu į didesnes vertes, o tai reiškia, kad nors daugelyje gręžinių vandenyje ištirpusių jonų koncentracija yra vidutinio lygio, keliuose ji pastebima gerokai didesnė.



**9 pav.** Požeminio vandens elektrinio laidumo pasiskirstymas tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje.

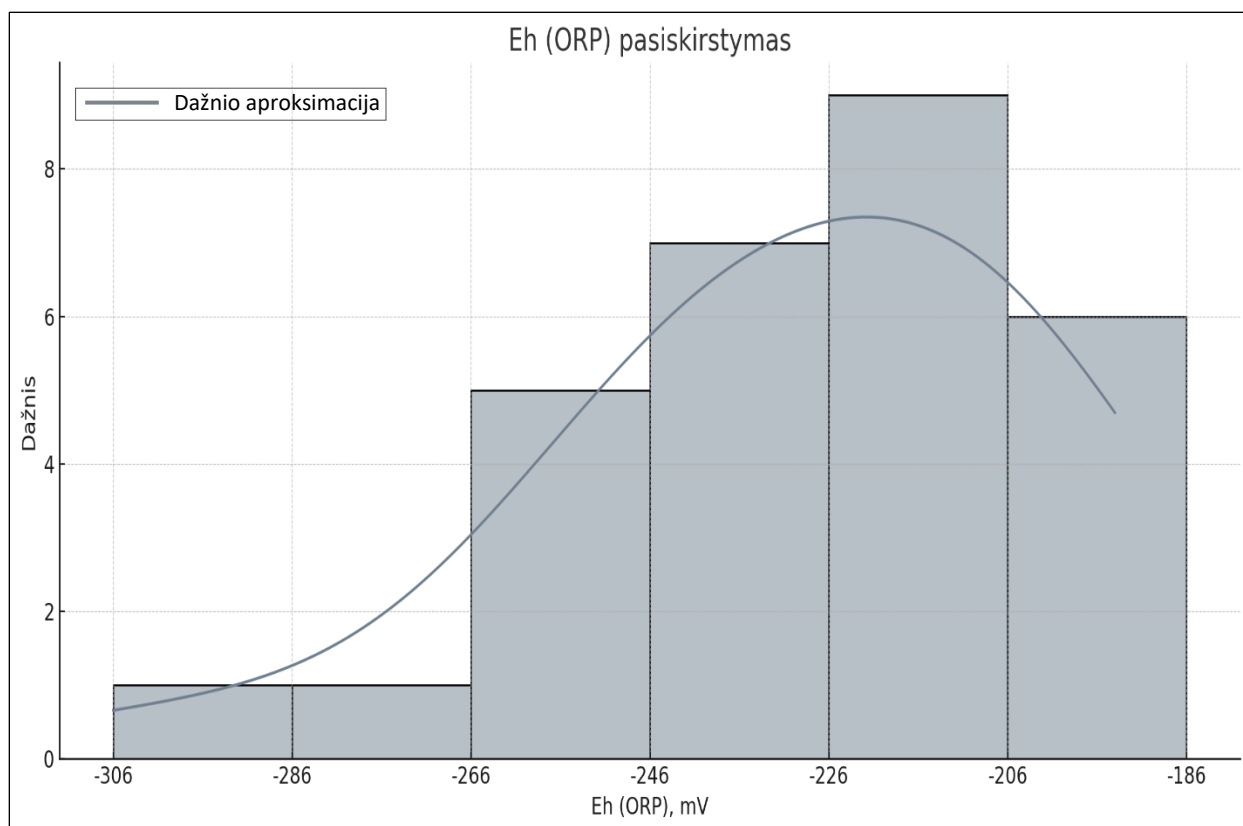
### 3.5. Požeminio vandens redokso potencialo (Eh) analizė

Redokso potencialas (Eh), matuojamas milivoltais (mV), yra labai svarbus hidrogeologinių tyrimų parametras, leidžiantis suprasti požeminiame vandenyje vyraujančias redokso sąlygas. Statistinė Eh analizė 29 Klaipėdos rajono gręžiniuose (5 lentelė) atskleidė, kad vidutinė Eh vertė yra -228,9 mV su intervalu nuo -306 mV iki -194 mV, o tai rodo, kad požeminiame vandenyje vyrauja redukcinės sąlygos.

**5 lentelė.** Požeminio vandens redokso potencialo (Eh) statistiniai rezultatai tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje.

Statistinis rodiklis	Elektrinis laidumas, $\mu\text{S}/\text{cm}$
Vidurkis	-228,9
Standartinis nuokrypis	26,1
Minimali reikšmė	-306,0
Apatinis kvartilis	-224,1
Mediana	-226,0
Viršutinis kvartilis	-208,6
Maksimali reikšmė	-194,0

Histograma, iliustruojanti oksidacijos-redukcijos potencialo (ORP) Eh rodmenų pasiskirstymą Klaipėdos rajono gręžiniuose, atskleidžia įvairias požeminio vandens redokso sąlygas (10 pav.). Pasiskirstymas, rodo pakrypimą link didesnių (mažiau neigiamų) Eh verčių, o tai reiškia, kad vyraujančių redukcinių sąlygų intensyvumas skirtingose vietose skiriasi. Toks Eh rodmenų kintamumas greičiausiai atspindi vietinius geocheminius procesus, organinių medžiagų buvimą, mikrobu veiklą ir galimą antropogeninį poveikį, kurie gali turėti įtakos redukcijos ir oksidacijos balansui.



**10 pav.** Požeminio vandens oksidacijos-redukcijos potencialo Eh (ORP) pasiskirstymas tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje.

### 3.6. Požeminio vandens pH analizė

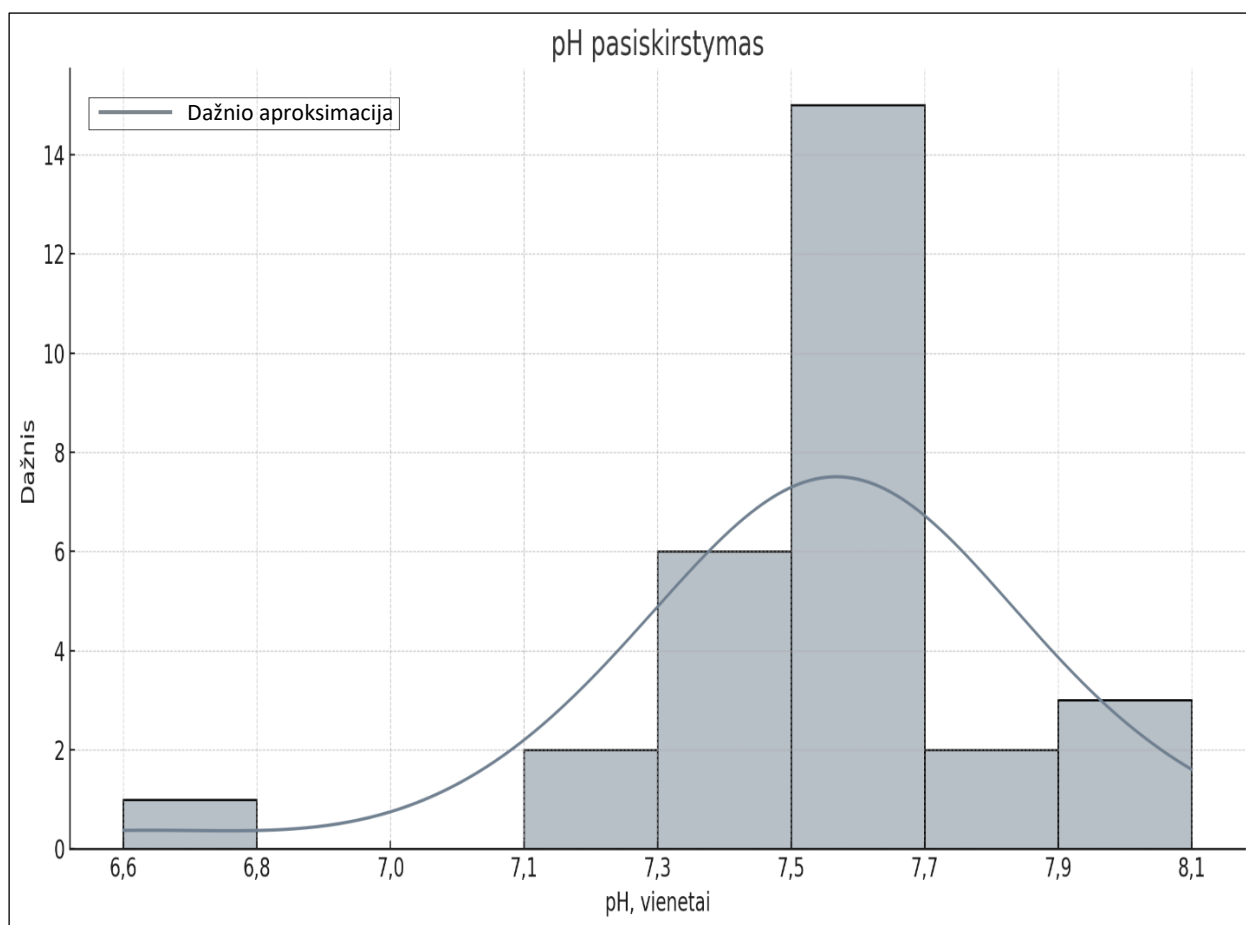
Klaipėdos rajono teritorijose tirtų gręžinių požeminio vandens pH matavimai suteikia svarbių įžvalgų apie požeminio vandens rūgštingumą ar šarmingumą. Duomenų analizė atskleidė, kad Klaipėdos rajone vyrauja neutrali arba silpnai šarminė požeminio vandens aplinka, kurios vidutinis pH yra 7,54 (6 lentelė). Santykinai mažas standartinis nuokrypis (0,27) rodo ganėtinai vienodą pH lygį visuose gręžiniuose. pH verčių intervalas nuo 6,58 iki 8,06 rodo kintamumą, tačiau jis išlieka bendrai priimtinas daugeliui požeminio vandens naudojimo būdų.

**6 lentelė.** Požeminio vandens pH statistiniai rezultatai tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje.

Statistinis rodiklis	pH, vienetai
Vidurkis	7,54

Standartinis nuokrypis	0,27
Minimali reikšmė	6,58
Apatinis kvartilis	7,40
Mediana	7,56
Viršutinis kvartilis	7,68
Maksimali reikšmė	8,06

Histograma su nedideliu pakrypimu į šarminumo pusę atitinka statistinį vidurkį, išryškindama pH verčių koncentraciją nuo neutralaus iki šiek tiek šarminio diapazono (11 pav.). Pasiskirstymo modelis rodo, kad nors požeminio vandens sistema linksta į lengvą šarminumą, ekstremalios pH sąlygos pasitaiko retai, o tai užtikrina iš esmės palankią aplinką požeminiam vandeniui naudoti.



**11 pav.** Požeminio vandens pH pasiskirstymas tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje.

### 3.7. Anomalių amonio koncentracijų analizė ir jų pokyčiai laike

Vertinant amonio koncentracijos kintamumą Klaipėdos rajono požeminiame vandenyje, buvo atlikta mėginių, paimtų iš individualių gręžinių, analizė. Ši analizė atskleidė didelį amonio koncentracijos kintamumą dviem skirtingais matavimo laikotarpiais (7 lentelė). Ankstesnių matavimų metu (Lietuvos geologijos tarnybos duomenys..., 2024) koncentracija svyravo nuo mažiausios 0,01 mg/l iki didžiausios 4,23 mg/l, o vidurkis buvo 1,68 mg/l.

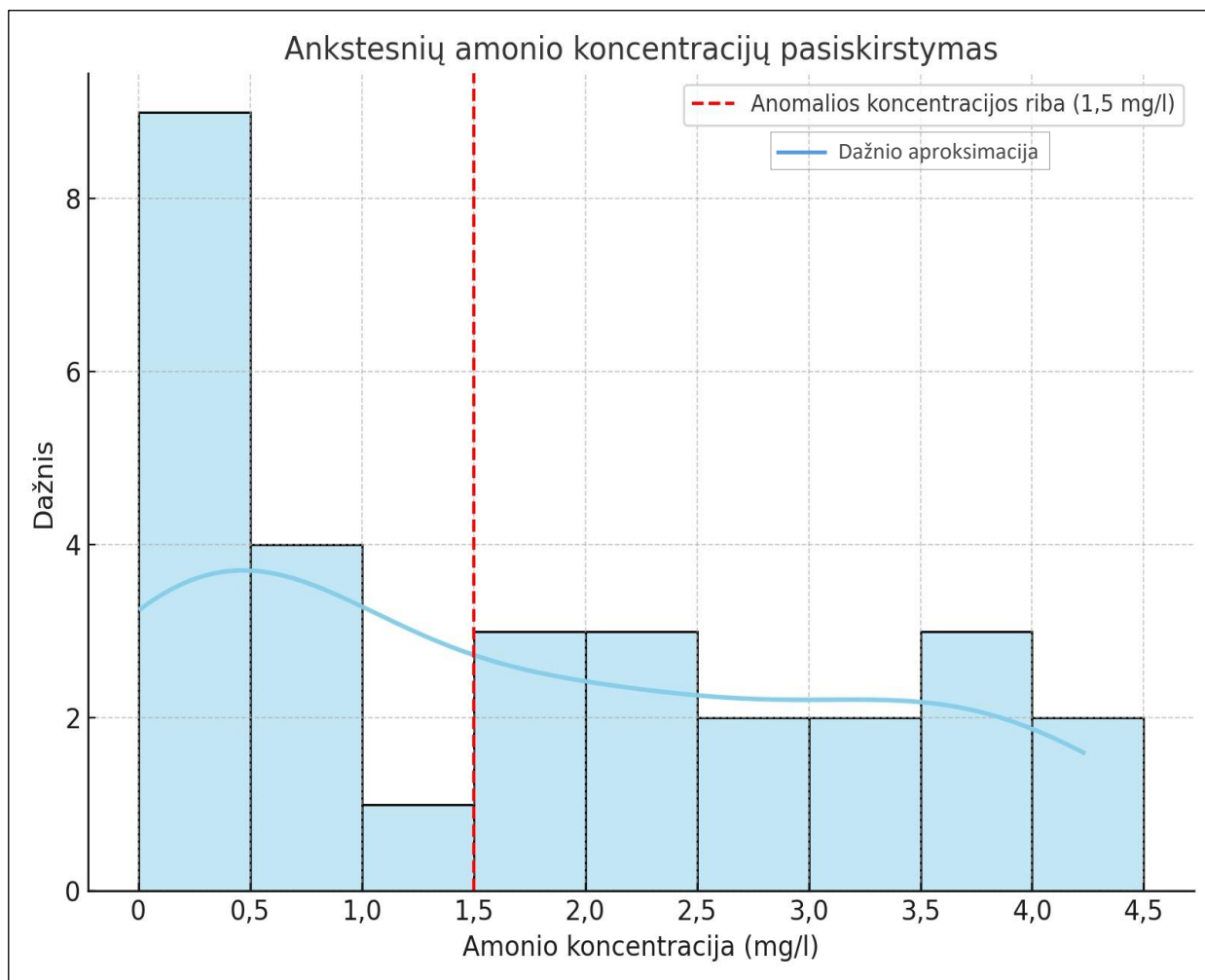
**7 lentelė.** Požeminio vandens amonio koncentracijų statistiniai rezultatai tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje.

Statistinis rodiklis	Ankstesni matavimai 2004-2018 m., mg/l	Naujausi matavimai 2023 m., mg/l
Vidurkis	1,68	1,10
Standartinis nuokrypis	1,47	1,15
Minimali reikšmė	0,01	0,03
Apatinis kvartilis	0,39	0,07
Mediana	1,62	0,82
Viršutinis kvartilis	2,97	1,94
Maksimali reikšmė	4,23	3,44

Naujausių matavimų duomenimis amonio koncentracijos intervalas sumažėjo nuo 0,03 mg/l iki 3,44 mg/l, o vidutinė koncentracija sumažėjo iki 1,10 mg/l. Toks amonio koncentracijos intervalo ir vidutinės koncentracijos sumažėjimas rodo, kad požeminio vandens kokybė bendrai tirtuose individualiuose gręžiniuose Klaipėdos rajone pagerėjo. Standartinis nuokrypis (1,15) taip pat sumažėjo, o tai reiškia, kad naujausių matavimų metu amonio koncentracijos vertės yra mažiau kintančios.

Remiantis anksčiau atliktais tyrimais nustatyta 1,5 mg/l anomalių amonio koncentracijos riba (Lietuvos geologijos tarnyba, 2020). Abiejų matavimų duomenyse matomos koncentracijos viršijančios normos ribas (7 lentelė). Ankstesnių amonio koncentracijų histograma vaizduoja pasiskirstymą su tam tikru pakrypimu į didesnę koncentraciją (12 pav.). Palyginus ją naujausiais duomenimis pastebimas ryškus pokytis mažesnės amonio koncentracijos link, pasiskirstymas

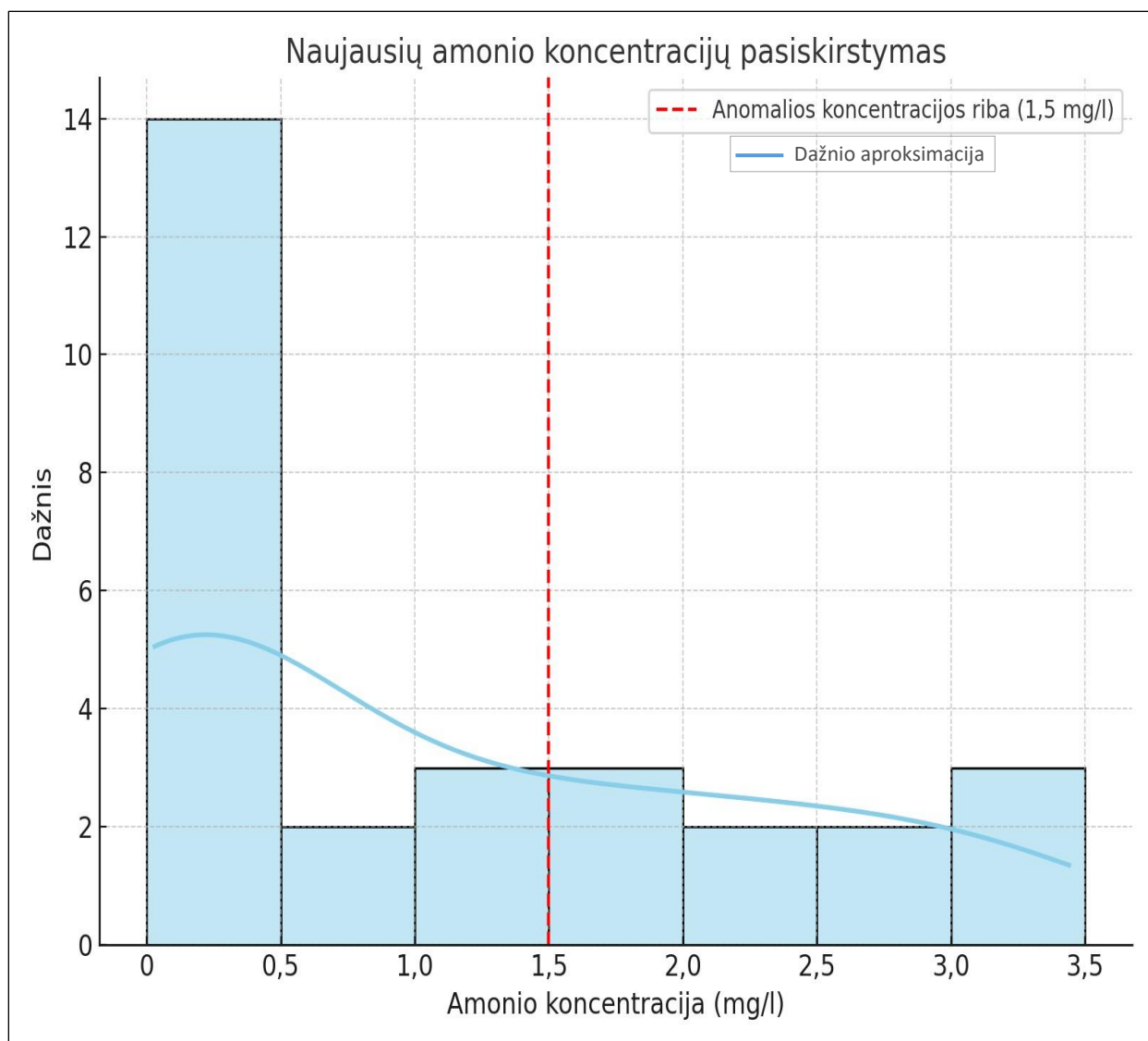
labiau koncentruojasi ties mažesnėmis vertėmis ir mažiau krypsta didesnės koncentracijos link (13 pav.).



**12 pav.** Požeminio vandens ankstesnių amonio koncentracijų pasiskirstymas tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje (Lietuvos geologijos tarnybos 2004-2018 m. duomenys).

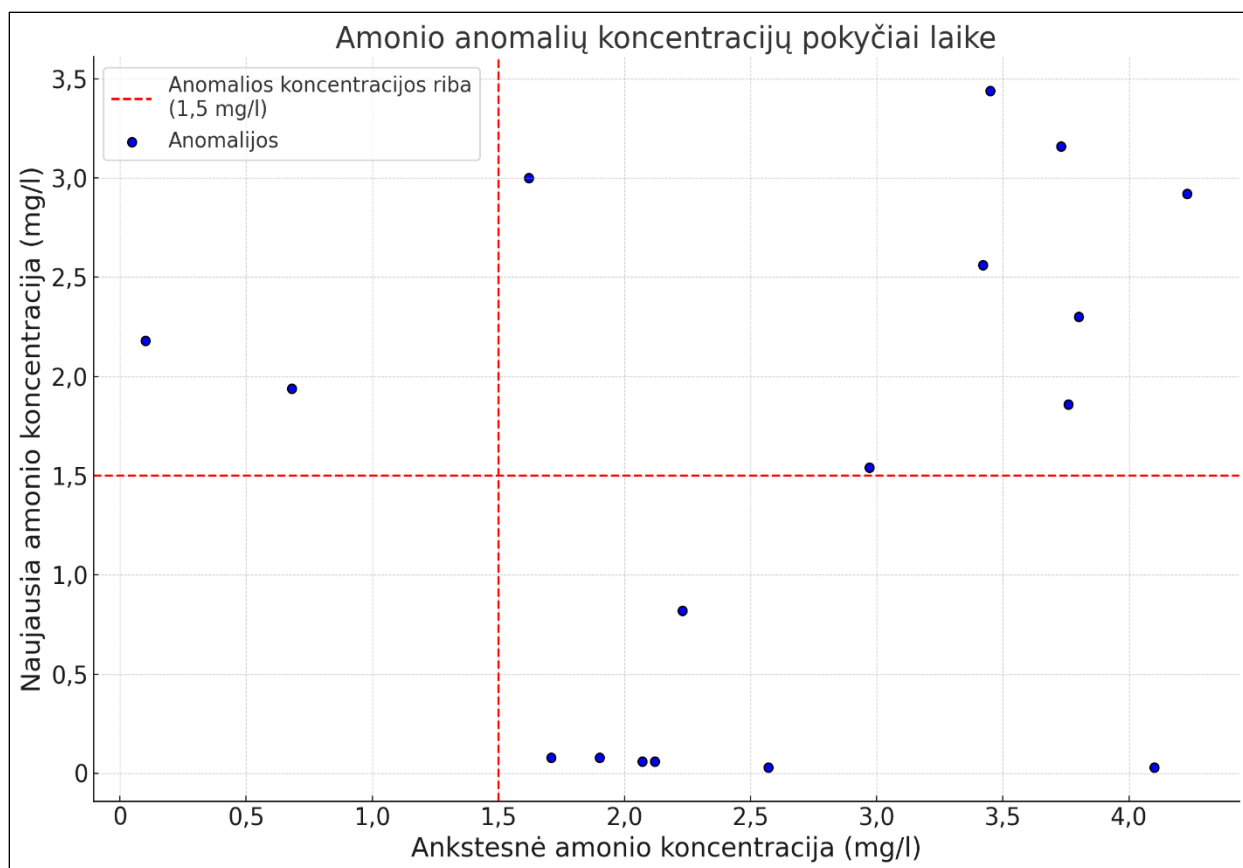
Skaidos diagrama, kurioje lyginamos ankstesnės ir naujausios amonio anomalios koncentracijos kiekviename požeminio vandens gręžinyje, rodo bendras pokyčių laike tendencijas (14 pav.). Anomalių mėginių (amonio koncentracija gręžinyje  $> 1,5$  mg/l) skaičius sumažėjo nuo 15 per ankstesnius matavimus iki 10 per naujausius matavimus. Taip pat rasti 8 gręžiniai, kur anomalios amonio koncentracija išlieka per abu matavimus.





**13 pav.** Požeminio vandens naujausių amonio koncentracijų pasiskirstymas tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje (Lietuvos geologijos tarnybos 2023 m. duomenys).

Apskaičiuotas Pirsono koreliacijos koeficientas tarp ankstesnių ir naujausių amonio anomalių koncentracijų yra 0,24. Tai rodo silpnai teigiamą koreliaciją, o tai leidžia daryti prielaidą, kad amonio kiekis ilgainiui kinta, o tam įtakos gali turėti įvairūs veiksniai, įskaitant sezoninius pokyčius, požeminio vandens srautą ir antropogeninį poveikį.



**14 pav.** Požeminio vandens amonio anomalių koncentracijų pasiskirstymas tirtuose gręžiniuose Klaipėdos rajono teritorijoje (Lietuvos geologijos tarnybos 2004-2023 m. duomenys).

#### 4. REZULTATŲ APTARIMAS

Anomalių amonio koncentracijų Klaipėdos rajono požeminiame vandenyje įvertinimas suteikia reikšmingų įžvalgų apie hidrogeocheminę dinamiką ir aplinkosaugos valdymo iššūkius, su kuriais susiduriama šiame regione.

Amonio koncentracijos požeminiame vandenyje kintamumas Klaipėdos rajone yra tiek natūralių geocheminių procesų, tiek antropogeninės veiklos padarinys. Šį dėsnumą rodo stebimas amonio koncentracijų pasiskirstymas individualiuose gręžiniuose, kur koncentracijos žymiai svyruoja, atspindėdamos sudėtingą geologinę vandeningojo sluoksnio bei žmogaus įtakos sąveiką (Sun et al., 2022; Liang et al., 2020). Nevienodas šių koncentracijų pobūdis pabrėžia būtinybę detaliai suprasti vietos hidrogeochemines sąlygas, kurios lemia amonio judrumą ir transformaciją požeminio vandens sistemose (Waller, 1988).

Tyrimas atskleidė sudėtingą hidrogeocheminių sąlygų ir amonio koncentracijos požeminiame vandenyje dinamikos sąveiką. Sezoniniai temperatūros ir ištirpusio deguonies kiekio svyravimai atskleidė dinamišką hidrogeocheminės aplinkos pobūdį, darantį įtaką geocheminiams procesams, įskaitant tuos, kurie daro įtaką amonio koncentracijai (Anderson et al., 2015; Ansari et al., 2011; Duan et al., 2020). Taip pat pastebėti elektrinio laidumo svyravimai, leidžiantys suprasti bendrą požeminio vandens mineralizaciją ir joninę sudėtį, kuri rodo, kad amonio šaltiniai yra antropogeniniai ir natūralūs. Tai patvirtina Stumm ir Morgan (1981) bei Appelo ir Postma (2005), kuriuose aptariama hidrogeocheminių parametrų įtaka amonio jonų rūšinei sudėčiai ir judrumui. Redokso sąlygų (Eh matavimų) ir pH verčių analizės dar labiau patikslino supratimą, leisdamos daryti prielaidą apie tiesioginį poveikį amonio stabilumui ir transformacijos procesams vandeningose sistemose.

Stebimi amonio koncentracijos laikiniai svyravimai išryškina požeminio vandens cheminės sudėties dinamiškumą, kuriam įtakos turi tiek sezoniniai pokyčiai, tiek ilgalaikiai aplinkos sąlygų pasikeitimai (Artiola et al., 2004). Šis kintamumas rodo didelę antropogeninių ir hidrologinių procesų, tokių kaip krituliai ir infiltracijos greitis, įtaką amonio išplovimui ir praskiedimui požeminiame vandenyje (Wang ir Li, 2019; Tziritis et al., 2016). Žymus vidutinės ir didžiausios amonio koncentracijos požeminiame vandenyje sumažėjimas yra teigiamas ženklas, kad Klaipėdos rajone taikoma aplinkosaugos valdymo praktika yra veiksminga. Panašios tendencijos pastebėtos ir kituose regionuose, kur sutelktos pastangos žemės ūkio valdymo ir nuotekų valymo srityse leido pagerinti požeminio vandens kokybę (Holden et al., 2017; Li et al., 2018). Gręžinių,

kuriuose nustatyta anomali amonio koncentracija ( $>1,5$  mg/l), skaičiaus sumažėjimas nuo 15 iki 10 sutampa su šiomis tyrimo išvadomis, pabrėžiant galimą reguliavimo ir valymo priemonių poveikį mažinant požeminio vandens taršą.

Šių sąveikų supratimas labai svarbus kuriant taršos mažinimo strategijas. Pavyzdžiui, vietovėse su specifiniais hidrogeocheminiais profiliais gali prireikti specialiai pritaikytų metodų, kad būtų veiksmingai sumažintas amonio kiekis. Atliekant požeminio vandens kokybės vertinimą reikia atsižvelgti ir į laiko pokyčius, ir į erdvinį nevienalytiškumą. Sezoniniai pokyčiai gali turėti didelę įtaką požeminio vandens cheminei sudėčiai, todėl gali laikinai padidėti amonio koncentracija (Kothari et al., 2017). Panašiai ir vietiniai taršos šaltiniai gali lemti požeminio vandens kokybės skirtumus visame Klaipėdos rajone.

Šio tyrimo rezultatai rodo, kad reikia tęsti mokslinius tyrimus, kuriais siekiama nustatyti konkrečius taršos amoniu šaltinius, išsiaiškinti jo judrumą lemiančius mechanizmus ir įvertinti ilgalaikį valymo pastangų poveikį. Be to, klimato kaitos galimo poveikio požeminio vandens kokybei įvertinimas bus labai svarbus siekiant pritaikyti valdymo strategijas prie būsimų aplinkos sąlygų (Green et al., 2011; Artiola et al., 2004). Bendros mokslinių tyrimų pastangos, apimančios hidrogeologines, chemines ir biologines analizes, yra labai svarbios siekiant visapusiškai suprasti požeminio vandens užterštumo problemas ir jas spręsti. Anomalios amonio koncentracijos požeminiame vandenyje iš atskirų Klaipėdos rajono gręžinių įvertinimas leidžia optimistiškai vertinti dabartinių aplinkos tvarkymo ir atkūrimo strategijų veiksmingumą. Tačiau sudėtinga hidrogeocheminių sąlygų ir amonio dinamikos sąveika, taip pat nuolatinės stebėsenos ir tyrimų poreikis išryškina iššūkius, susijusius su tvarios požeminio vandens kokybės užtikrinimu. Aktyvus požeminio vandens išteklių valdymas, pagrįstas išsamiais moksliniais tyrimais ir prisitaikantis prie besikeičiančių aplinkos sąlygų, bus labai svarbus siekiant išsaugoti šį gyvybiškai svarbų išteklių ateičiai kartoms.

## IŠVADOS

1. Stebimi fizikiniai-cheminiai parametrai rodo požeminio vandens sistemą, kuriai būdingas nevienalytiškumas. Tyrimo metu nustatyta, kad vidutinė požeminio vandens temperatūra yra 14,9 °C, kuri yra būdinga požeminiam vandeniui. Ištirpusio deguonies kiekis varijuoja nuo visiško nebuvimo iki 7,6 mg/l, o elektrinio laidumo matavimai kinta nuo 376 iki 643  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Šie skirtumai parodo vietinę vandeningojo sluoksnio įtaką. Redokso potencialo (Eh) vertės vidutiniškai siekė -228,9 mV, kas rodo redukcinę aplinką. pH svyruoja nuo 6,58 iki 8,06 t. y. vyrauja neutrali arba šiek tiek šarminė aplinka.
2. Naujausių matavimų duomenys parodė, kad požeminio vandens kokybė, susijusi su amonio kiekiu, nuo 2004 iki 2023 metų, bendrai pagerėjo. 2004-2018 metų matavimais amonio koncentracija svyravo nuo 0,01 mg/l iki 4,23 mg/l, su vidutine 1,68 mg/l koncentracija. 2023 metų matavimai rodo sumažėjusį koncentracijos intervalą nuo 0,03 mg/l iki 3,44 mg/l, o vidutinė koncentracija nukrito iki 1,10 mg/l.
3. Atlikus anomalių amonio koncentracijų analizę Klaipėdos rajone, nustatyta, kad 10 individualių gręžinių amonio koncentracija yra padidėjusi ir viršija ribinę vertę (1,5 mg/l). Sumažėjęs gręžinių, kuriuose nustatyta anomali koncentracija, skaičius nuo 15 iki 10 (2004-2018 m. ir 2023 m.), rodo galimus hidrogeocheminių sąlygų ar taršos šaltinių pokyčius ir pabrėžia, kaip svarbu tęsti požeminio vandens kokybės stebėseną.

VILNIAUS UNIVERSITETAS  
GYVYBĖS MOKSLŲ CENTRAS

Titas Simanavičius

Magistro baigiamasis darbas

**AMONIO ANOMALIŲ KONCENTRACIJŲ KLAIPĖDOS RAJONO INIDIVIDUALIŲ  
GRĘŽINIŲ POŽEMINIAME VANDENYJE ĮVERTINIMAS**

SANTRAUKA

Šiame darbe nagrinėjama aktuali amonio anomalių koncentracijų ( $>1,5$  mg/l) Klaipėdos rajono požeminiame vandenyje problema. Pabrėžiant amonio taršos keliamą pavojų žmonių sveikatai ir ekologinėms sistemoms, tyrime analizuojama hidrogeocheminės sąlygos ir amonio kiekis individualiuose rajono gręžiniuose. Tyrimo metodika apima požeminio vandens mėginių ėmimą, cheminę analizę pagal LAND 38-2000 metodą ir pagrindinių fizikinių bei cheminių parametrų matavimą, kurie leidžia įvertinti veiksnius, darančius įtaką amonio koncentracijos kaitai.

Hidrogeocheminiai parametrai, įskaitant temperatūrą, ištirpusio deguonies kiekį, elektrinį laidumą, pH ir redokso potencialą, atskleidė sudėtingą požeminio vandens sistemos cheminę dinamiką. Nustatyti amonio koncentracijų svyravimai: ankstesnių matavimų metu 15 gręžinių buvo nustatytos anomalios koncentracijos, o naujausių vertinimų metu - 10 gręžinių. Taip pastebėtas vidutinės amonio koncentracijos sumažėjimas nuo 1,68 mg/l iki 1,10 mg/l, o tai rodo, kad požeminio vandens kokybė, vertinant amonio kiekį, bendrai pagerėjo. Šis tyrimas suteikia vertingų įžvalgų apie aplinkos ir antropogeninės veiklos poveikį požeminio vandens kokybei, pabrėžiant nuolatinės stebėsenos poreikį siekiant apsaugoti vandens išteklius.

**VILNIUS UNIVERSITY  
LIFE SCIENCES CENTER**

**Titas Simanavičius  
Master thesis**

**ASSESSMENT OF ANOMALOUS CONCENTRATIONS OF AMMONIUM IN  
GROUNDWATER FROM INDIVIDUAL BOREHOLES IN KLAIPEDA DISTRICT**

**SUMMARY**

This thesis explores the critical issue of anomalous ammonium concentrations in groundwater within the Klaipėda district. Highlighting the dangers posed by ammonium pollution to human health and ecological systems, the study analyzes hydrogeochemical conditions and ammonium levels in individual boreholes across the district. The research methodology integrates a detailed assessment involving groundwater sampling, chemical analysis following the LAND 38-2000 method, and the measurement of key physico-chemical parameters, offering a comprehensive insight into the factors influencing ammonium concentration dynamics.

Hydrogeochemical parameters, including temperature, dissolved oxygen levels, electrical conductivity, pH, and redox potential, were analyzed, revealing a complex chemical dynamic within the groundwater system. This study identified fluctuations in ammonium levels, with 15 boreholes presenting anomalous concentrations in previous measurements and 10 in the most recent assessments. Also, the decrease in average concentration from 1,68 mg/l to 1,10 mg/l indicates an overall improvement in groundwater quality regarding ammonium content. This research contributes valuable insights into the effects of environmental and anthropogenic activities on groundwater quality, emphasizing the need for ongoing monitoring to protect water resources.

## LITERATŪROS ŠALTINIAI

1. Anderson, M.P., Woessner, W.W. and Hunt, R.J., 2015. *Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport*. Academic press.
2. Ansari, A.A., Gill, S.S. and Khan, F.A., 2011. Eutrophication: threat to aquatic ecosystems. *Eutrophication: causes, consequences and control*, pp.143-170. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9625-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9625-8_7)
3. Appelo, C.A.J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*, Second Edition. CRC Press.
4. Artiola, J.F., Pepper, I.L. and Brusseau, M.L. eds., 2004. *Environmental monitoring and characterization*. Academic Press.
5. Baird, C. ir Cann, N. (2012) *Environmental Chemistry*. 5th Edition, W. H. Freeman and Company, New York.
6. Böhlke, J.K., Smith, R.L. and Miller, D.N., 2006. Ammonium transport and reaction in contaminated groundwater: Application of isotope tracers and isotope fractionation studies. *Water resources research*, 42(5). <https://doi.org/10.1029/2005WR004349>
7. Buss, S.R., Herbert, A.W., Morgan, P., Thornton, S.F. and Smith, J.W.N., 2004. A review of ammonium attenuation in soil and groundwater. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 37(4), pp.347-359. <https://doi.org/10.1144/1470-9236/04-005>
8. Chen, S.K., Lee, Y.Y. and Liao, T.L., 2022. Assessment of Ammonium–N and Nitrate–N Contamination of Shallow Groundwater in a Complex Agricultural Region, Central Western Taiwan. *Water*, 14(13), p.2130. <https://doi.org/10.3390/w14132130>
9. Clark, I., 2015. *Groundwater geochemistry and isotopes*. CRC press.
10. Csuros, M., 2018. *Environmental sampling and analysis for technicians*. CRC press.
11. Darrera, Multi-Parameter Water Quality Probes [žiūrėta 2024-03-30]. Prieiga per internetą: <https://www.darrera.com/wp/en/product/ap-800-multi-parameter-water-quality-probe/> ir <https://www.darrera.com/wp/en/product/am-200-gps-aquameter/>
12. Duan, P., Zhang, Q. and Xiong, Z., 2020. Temperature decouples ammonia and nitrite oxidation in greenhouse vegetable soils. *Science of the Total Environment*, 733, p.139391. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139391>
13. Environmental Protection Agency (EPA). Europos aplinka: 2005 m. būklė ir perspektyvos. Pagrindiniai rodikliai. [žiūrėta 2024-04-15]. Prieiga per internetą:



[https://www.eea.europa.eu/lt/publications/state\\_of\\_environment\\_report\\_2005\\_1/part-b\\_LT.pdf/view](https://www.eea.europa.eu/lt/publications/state_of_environment_report_2005_1/part-b_LT.pdf/view)

14. Environmental Protection Agency (EPA). [žiūrėta 2024-04-15]. Ongoing efforts reduce nutrient pollution. Prieiga per internetą: <https://www.epa.gov/nutrientpollution/epas-ongoing-efforts-reduce-nutrient-pollution>
15. Green, T.R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J.J., Allen, D.M., Hiscock, K.M., Treidel, H. ir Aureli, A., 2011. Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*, 405(3-4), pp.532-560. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.002>
16. Hem, J.D., 1985. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water* (Vol. 2254). Department of the Interior, US Geological Survey.
17. Holden, J., Haygarth, P.M., Dunn, N., Harris, J., Harris, R.C., Humble, A., Jenkins, A., MacDonald, J., McGonigle, D.F., Meacham, T. and Orr, H.G., 2017. Water quality and UK agriculture: challenges and opportunities. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(2), p.e1201. <https://doi.org/10.1002/wat2.1201>
18. Koda, E., Siczka, A. and Osinski, P., 2016. Ammonium concentration and migration in groundwater in the vicinity of waste management site located in the neighborhood of protected areas of Warsaw, Poland. *Sustainability*, 8(12), p.1253. <https://doi.org/10.3390/su8121253>
19. Kothari, V., Vij, S., Sharma, S. and Gupta, N., 2021. Correlation of various water quality parameters and water quality index of districts of Uttarakhand. *Environmental and Sustainability Indicators*, 9, p.100093. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100093>
20. Li, P., He, S., Yang, N. and Xiang, G., 2018. Groundwater quality assessment for domestic and agricultural purposes in Yan'an City, northwest China: implications to sustainable groundwater quality management on the Loess Plateau. *Environmental Earth Sciences*, 77(23), p.775.
21. Liang, Y., Ma, R., Wang, Y., Wang, S., Qu, L., Wei, W. and Gan, Y., 2020. Hydrogeological controls on ammonium enrichment in shallow groundwater in the central Yangtze River Basin. *Science of The Total Environment*, 741, p.140350. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140350>

22. Lietuvos geologijos tarnyba, 1993-2023 m. hidrogeologinių tyrimų duomenys iš žemės gelmių registro [žiūrėta 2024-05-02]. Prieiga per internetą: <https://www.lgt.lt/epaslaugos/index.xhtml#>
23. Lietuvos geologijos tarnyba, 2004-2018 m. gręžinių duomenys iš žemės gelmių registro [žiūrėta 2024-03-30]. Prieiga per internetą: <https://www.lgt.lt/epaslaugos/index.xhtml#>
24. Lietuvos geologijos tarnyba, 2020 metų veiklos ataskaita, 111 p.
25. Lietuvos geologijos tarnyba, Kompleksinis geologinis kartografavimas M 1: 50 000 masteliu Kretingos plote, 1997 m. Aiškinamasis raštas iš Lietuvos geologijos tarnybos fondų.
26. Lietuvos geologijos tarnyba, Kompleksinis geologinis kartografavimas M 1: 50 000 masteliu Šilutės plote, 2001 m. Aiškinamasis raštas iš Lietuvos geologijos tarnybos fondų.
27. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2000 m. lapkričio 6 d. įsakymas Nr. 485 „Dėl aplinkos apsaugos normatyvinių dokumentų LAND 38-2000 ir LAND 39-2000 patvirtinimo“ (Žin., 2000, Nr. 101-3209) [žiūrėta 2024-02-25]. Prieiga per internetą: <https://www.infolex.lt/teise/Default.aspx?id=7&item=doc&AktoId=96115>
28. Liu, M., Xia, L., Liu, R., Gao, Z., Han, C., Feng, J., Wang, J., Qu, W. and Xing, T., 2021. Degradation of High-Concentration Nitrate Nitrogen in Groundwater: A Laboratory Study. *Journal of Chemistry*, 2021, pp.1-13. <https://doi.org/10.1155/2021/4797946>
29. Manning, D.A. and Hutcheon, I.E., 2004. Distribution and mineralogical controls on ammonium in deep groundwaters. *Applied geochemistry*, 19(9), pp.1495-1503. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2004.01.019>
30. Manly, B.F., 2008. *Statistics for environmental science and management*. Chapman and Hall/CRC.
31. Montgomery, D.C., Peck, E.A. and Vining, G.G., 2021. *Introduction to linear regression analysis*. 6th Edition. John Wiley & Sons.
32. Motuza, G., Kaip veikia Žemė. Geologijos pagrindai, 2013 m. Mokslo ir enciklopedijų leidybos centras, 528 p.
33. Overway, K.S., 2017. *Environmental chemistry: an analytical approach*. John Wiley & Sons.
34. Požeminio vandens kokybė gera, bet taršos cheminėmis medžiagomis pavojus išlieka, [atnaujinta 2022-06-03; žiūrėta 2024-03-20]. Prieiga per internetą: <https://am.lrv.lt/lt/naujienos/pozeminio-vandens-kokybe-gera-bet-tarsos-cheminemis-medziagomis-pavojus-islieka/>

35. Rice, E.W., Bridgewater, L. and American Public Health Association eds., 2012. *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 10). Washington, DC: American public health association.
36. Sakizadeh, M., Faraji, F. and Pouraghniyayi, M.J., 2016. Quality of groundwater in an area with intensive agricultural activity. *Exposure and Health*, 8(1), pp.93-105.
37. Skoog, D.A., Holler, F.J. and Crouch, S.R., 2017. Principles of instrumental analysis. Cengage learning.
38. Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2013). Fundamentals of analytical chemistry. Cengage Learning.
39. Smith, J.L. and Doran, J.W., 1997. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. *Methods for assessing soil quality*, 49, pp.169-185. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c10>
40. Stumm W., Morgan J. J. (1981) Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters (Environmental Science and Technology: A Wiley-Interscience Series of Texts and Monographs) 2nd Edition, 780 p.
41. Sun, L., Liang, X., Jin, M. and Zhang, X., 2022. Sources and fate of excessive ammonium in the Quaternary sediments on the Dongting Plain, China. *Science of The Total Environment*, 806, p.150479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150479>
42. Tjandraatmadja, G., Beale, D., Goodman, N., Toifl, M. and Marney, D., 2014. Milestone 1- Report Methods for sampling and analysis of dissolved methane in wastewater.
43. Tziritis, E., Skordas, K. and Kelepertsis, A., 2016. The use of hydrogeochemical analyses and multivariate statistics for the characterization of groundwater resources in a complex aquifer system. A case study in Amyros River basin, Thessaly, central Greece. *Environmental Earth Sciences*, 75, pp.1-11.
44. U.S. Geological Survey (USGS). [žiūrėta 2024-03-30]. Contamination of Groundwater. Prieiga per internetą: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/contamination-groundwater>
45. Umezawa, Y., Hosono, T., Onodera, S.I., Siringan, F., Buapeng, S., Delinom, R., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T. and Taniguchi, M., 2008. Sources of nitrate and ammonium contamination in groundwater under developing Asian megacities. *Science of the Total Environment*, 404(2-3), pp.361-376. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.04.021>

46. Waller, R.M., 1988. *Ground water and the rural homeowner*. US Geological Survey, Department of the Interior.
47. Walton, C.R., Zak, D., Audet, J., Petersen, R.J., Lange, J., Oehmke, C., Wichtmann, W., Kreyling, J., Grygoruk, M., Jabłońska, E. and Kotowski, W., 2020. Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation. *Science of the Total Environment*, 727, p.138709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138709>
48. Wang, Z.H. and Li, S.X., 2019. Nitrate N loss by leaching and surface runoff in agricultural land: A global issue (a review). *Advances in agronomy*, 156, pp.159-217. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.01.007>
49. Winkler, M.K. and Straka, L., 2019. New directions in biological nitrogen removal and recovery from wastewater. *Current opinion in biotechnology*, 57, pp.50-55. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.12.007>
50. World Health Organization (WHO). (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4th Edition. Geneva: World Health Organization.
51. Yeskis, D. and Zavala, B., 2002, May. Ground-water sampling guidelines for superfund and RCRA project managers. In *Ground Water Forum Issue Paper*, EPA. Washington, DC, USA: US EPA.