

LTPL00027 WATER ECOLOGICAL NETWORK - cross-border concept of protection and revitalization of rivers and lakes | WODNA SIEĆ EKOLOGICZNA - transgraniczna koncepcja ochrony i rewitalizacji rzek i jezior | EKOLOGINIS VANDENS TINKLAS – tarpvalstybinė upių ir ežerų apsaugos ir atgaivinimo koncepcija

Vandens telkinių stebėsenos sistemos, pagrįstos autonominių plūduriuojančių bojų ir dronu naudojimu Gižycko, Kruklankų ir Trakų savivaldybių ežeruose, diegimo programa

Redagavo:

dr. Ewa Babkiewicz, Varšuvos
universiteto Ekologijos instituto
Hidrobiologijos katedra

Užsakovas:

Didžiųjų Mozūrų ežerų apsaugos fondas
(projekto partneris ir vadovaujantis partneris)

2025 m. lapkritis



Didžiųjų Mozūrų
ežerų apsaugos fondas



Kruklankų savivaldybė



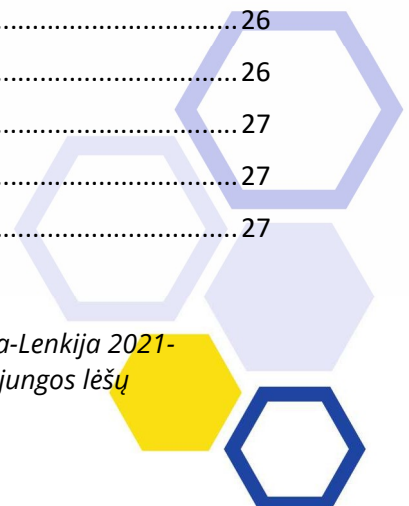
Trakų rajono savivaldybės
administracija



Litwa – Polska

Turinys

Įvadas	3
1. Preliminariosios analizės ir apžvalgos	3
Lenkijos ežerų stebėsenos sistemos apibūdinimas.....	3
Lietuvos ežerų stebėsenos sistemos apibūdinimas.....	3
Panašumai, skirtumai ir gerosios praktikos perėmimo galimybės	4
Programui atrinktų ežerų hidrologinis ir ekologinis apibūdinimas	4
Partnerių savivaldybėse atrinktų vandens telkinių būklės vertinimas.....	6
Taršos šaltiniai ir grėsmės.....	9
Geroji stebėsenos praktika.....	12
2. Stebėsenos sistemos aprašymas: technologijos, įrenginiai, metodika.....	12
Autonominio matavimo laivo (USV) techninė specifikacija.....	12
Autonominio vandens kokybės stebėsenos plūduri techninė specifikacija.....	13
Vandeniui atsparaus daugiafunkcio matavimo prietaiso (HI98549) techninė specifikacija.....	14
Ką ir koku būdu matuoja konkretūs matavimo prietaisai	15
Pavyzdiniai kiekvieno matavimo prietaiso rodmenys	16
3. Siūloma monitoringo sistema, pagrįsta trimis įrenginiais	18
4. Ežerų stebėsenos sistemos diegimo programa, naudojant autonominius stebėsenos plūdurus, zondus ir dronus: Gižycko, Kruklankių ir Trakų savivaldybių vandens telkinių pavyzdžiu.....	19
Darnus valdymas ir planavimas — ilgalaikių vandens tvarkymo planų rengimas	23
Santrauka ir išvados.....	24
5. Priedai	25
6. Šaltiniai	26
1. Moksliniai šaltiniai ir ataskaitos.....	26
2. Hidrografiniai ir batimetriniai šaltiniai.....	26
3. Informaciniai ir edukaciniai šaltiniai (Mazūrų ežerai)	26
4. Geografiniai ir enciklopediniai šaltiniai	26
5. Lietuviški šaltiniai (Trakų regionas).....	27
6. Techniniai ir įrangos šaltiniai.....	27
7. Vietos institucijos ir vieši duomenys	27





Ivadas

Ši „Vandens telkinių stebėsenos sistemos diegimo programa, naudojant autonominius matavimo plūdurus ir dronus Giżycko, Kruklankių ir Trakų savivaldybių ežerų pavyzdžiu“, parengta įgyvendinant „Interreg“ projektą Nr. LTPL00027 „Vandens ekologinis tinklas“, Didžiųjų Mozūrų ežerų apsaugos fondo užsakymu. Programa sudaro pagrindą integruotos vandens kokybės stebėsenos sistemos diegimui, grindžiamam autonominių matavimo plūdūrų (bojų) ir vandens dronų naudojimui. Joje numatomi veiksmai, skirti vandens kokybės gerinimui, taršos mažinimui ir vandens išteklių valdymo efektyvumo didinimui projekto teritorijoje.

Programa taip pat apima švietėjišką ir informacinę komponentą, įskaitant žinių apie vandens aplinkos apsaugą sklaidą bei vietinių proekologinių iniciatyvų rėmimą. Todėl projektas prisidės prie ekologinio sąmoningumo didinimo gyventojų ir savivaldybių lygmeniu abiejose Lenkijos ir Lietuvos sienos pusėse. Programos įgyvendinimas atitinka „Interreg“ projekto tikslus: stiprinti gamtos apsaugą ir išsaugojimą, didinti biologinę įvairovę bei plėtoti žaliąją infrastruktūrą, įskaitant urbanizuotas teritorijas. Projektas taip pat prisidės prie tarpvalstybinės vandens taršos mažinimo, diegiant inovatyvias technologijas ir įgyvendinant bendrus veiksmus upių, ežerų bei kitų vandens buveinių apsaugai ir atkūrimui. Taip ši programa taps reikšmingu įrankiu plėtojant modernius vandens aplinkos valdymo metodus, stiprinant tarpvalstybinį bendradarbiavimą bei kuriant tvarius vandens ekosistemų apsaugos mechanizmus Lenkijos ir Lietuvos regione.

1. Preliminariosios analizės ir apžvalgos

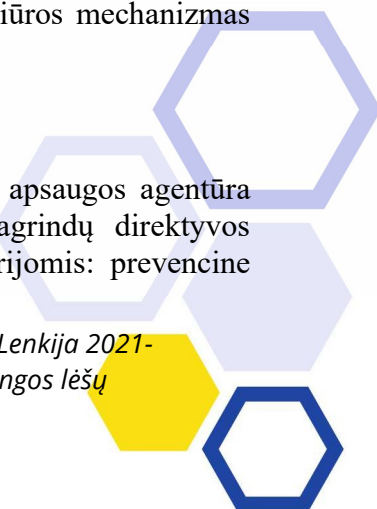
Lenkijos ežerų stebėsenos sistemos apibūdinimas

Lenkijoje ežerų vandens kokybės stebėseną pagal Vandens pagrindų direktyvos reikalavimus vykdo Vyriausioji aplinkos apsaugos inspekcija (GIOŚ). Ši valstybinė sistema apima fizikinių-cheminių, cheminių ir biologinių parametrų matavimus bei paviršinių vandens telkinių vienetų (JCWP; liet. PVTV – paviršinio vandens telkinio vienetas) ekologinės ir cheminės būklės vertinimą. Stebėsenos rezultatai viešai skelbiami Paviršinių vandens telkinių kokybės portale (wody.gios.gov.pl). Jame pateikiamas interaktyvus matavimo taškų žemėlapis, PVTV klasifikacija bei ataskaitos, įskaitant 2022–2027 m. ežerų stebėsenos programas.

Sistema pasižymi skaidrumu ir duomenų prieinamumu: naudotojai gali peržiūrėti konkrečių vandens telkinių tyrimų rezultatus. Visgi matavimų apimtis skirtinguose ežeruose gali skirtis, o ne visi parametrai (pavyzdžiui, pesticidai ar fitoplanktonas) kiekviename taške matuojami reguliariai. Lenkijos modelis yra pavyzdys sistemos, kurioje oficialus valstybinis priežiūros mechanizmas derinamas su vieša prieiga prie duomenų ir išsamia jų pateikimo struktūra.

Lietuvos ežerų stebėsenos sistemos apibūdinimas

Lietuvoje už paviršinių vandens telkinių stebėseną yra atsakinga Aplinkos apsaugos agentūra (Environmental Protection Agency – EPA), veikianti pagal Vandens pagrindų direktyvos reikalavimus. Stebėsenos sistema grindžiama trimis pagrindinėmis kategorijomis: prevencine





Litwa – Polska

(diagnostine), operacine ir tiriamąja stebėseną, o matavimų dažnumas bei apimtis priklauso nuo ežero tipo ir aplinkosaugos rizikos lygio.

Nors teisinė ir metodinė bazė yra panaši į taikomą Lenkijoje, pagrindinis skirtumas susijęs su duomenų prieinamumu viešiesiems naudotojams. Lietuvos sistema nesiūlo visuotinai prieinamo interaktyvaus portalo, kuriame būtų pateikiami aktualūs ežerų stebėsenos rezultatai, prilygstančio Lenkijos portalui wody.gios.gov.pl. Duomenys dažniausiai skelbiami ataskaitose arba planavimo dokumentuose, todėl konkrečių ežerų (pvz., Galvės ar Totoriškių) vandens kokybės peržiūra yra sudėtingesnė. Vis dėlto Lietuvos stebėsenos sistema išsiskiria sistemingai parengta ežerų tipologija ir matavimų programų pritaikymu prie specifinių jų savybių – tai yra stiprioji jos pusė, visiškai atitinkanti Vandens pagrindų direktyvos principus.

Panašumai, skirtumai ir gerosios praktikos perėmimo galimybės

Abi šalys stebėseną vykdo pagal Europos Sąjungos standartus, apimančius panašius duomenų tipus (cheminius, biologinius bei fizikinius-cheminius), ir įgyvendina analogiškus aplinkosaugos įsipareigojimus. Pagrindinis skirtumas susijęs su rezultatų viešo prieinamumo ir jų vizualizavimo lygiu: Lenkijoje duomenys yra plačiai prieinami internete, o Lietuvoje prieiga yra labiau ribota ir dažniausiai teikiama ataskaitų forma.

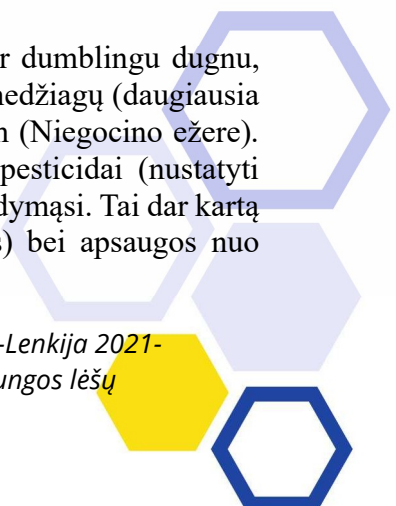
Lenkija galėtų pasinaudoti Lietuvos patirtimi taikant labiau tipologinį požiūrį į ežerų stebėsenos planavimą (matavimų dažnumo ir parametrų rinkinio pritaikymą prie konkretaus ežero tipo). Lietuva, savo ruožtu, galėtų perimti Lenkijos patirtį atviros duomenų prieigos ir interaktyvaus jų pateikimo srityje – tai padidintų stebėsenos skaidrumą bei jos naudingumą mokslui, viešajam administravimui ir visuomenei.

Programai atrinktų ežerų hidrologinis ir ekologinis apibūdinimas

Programai atrinkti ežerai daugiausia yra eutrofiniai moreniniai vandens telkiniai, sujungti kanalų tinklu (pavyzdžiui, Niegocino–Kisaino–Taity sistemos). Jų gylis svyruoja nuo 8 iki 40 m, o vandens skaidrumas yra nedidelis, todėl susidaro palankios sąlygos melsvabakterijų (cianobakterijų) žydėjimui.

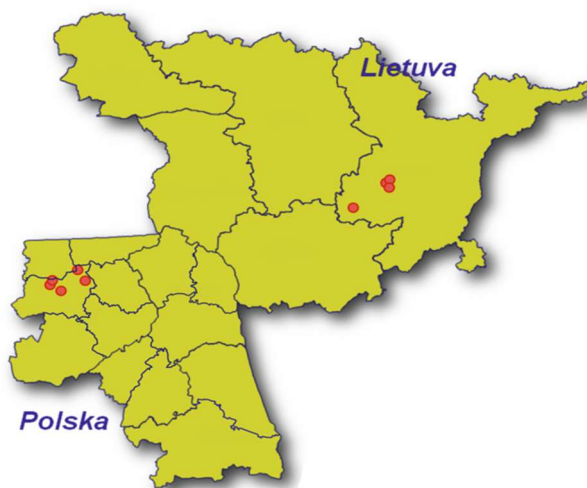
Stebimos hidrologinės tendencijos rodo vandens lygio kilimą dėl patvankos poveikio iš Mamrų ežero, sukeliančio vietinį vandens lygio padidėjimą, nors regione tuo pat metu fiksuojamas kai kurių vandens telkinių nusekimas. Lenkijos ežerai (Niegocinas, Kisainas, Taitis, Geldapė, Soltmanai) ir Lietuvos ežerai (Onuškis, Galvė, Totoriškių, Babrukas) sudaro tarpusavyje susijusią sistemą. Juos jungia vandens keliai, pavyzdžiui, Gižycko ir Niegocino kanalai, užtikrinantys vandens apytaką bei turistinę laivybą.

Limnologiniu požiūriu tai moreniniai ežerai su įvairios sudėties smėlingu ir dumblingu dugnu, žemomis, nendrėmis apaugusiomis pakrantėmis bei padidėjusia biogeninių medžiagų (daugiausia fosfatų) koncentracija. Vidutinis gylis siekia 8–10 m, o didžiausias – 39,7 m (Niegocino ežere). Didelė eutrofikacija ir rasti cheminiai teršalai, tokie kaip gyvsidabris ir pesticidai (nustatyti Kisaino bei Niegocino ežeruose), riboja komercinę žvejybą ir rekreacinį maudymąsi. Tai dar kartą pabrėžia veiksmingos aplinkos stebėsenos (pasitelkiant plūdurus ir dronus) bei apsaugos nuo nuotekų pritekėjimo būtinybę.





Hidrologiniu požiūriu vandens lygio kilimas dėl patvankos poveikio iš Mamrų ežero daro įtaką vandens balansui ir ežerų plotui, nors kai kurie regiono vandens telkiniai tuo pat metu rodo nusekimo tendencijas. Lenkijos ežerų pakrantės yra stipriai urbanizuotos, o tai didina antropogeninės degradacijos riziką, nors vandens būklė palaipsniui gerėja dėl nuotekų valymo įrenginių modernizavimo. Lietuvos ežerai pasižymi mažesniu urbanizacijos poveikiu ir geresne hidrologine dinamika dėl natūralaus vandens pritekėjimo, tačiau taip pat išlieka pažeidžiami eutrofikacijos procesų. Šių ežerų naudojimas daugiausia orientuotas į ekoturizmą. Veiksmingas šių vandens telkinių valdymas reikalauja bendrų tarpvalstybinių planų rengimo, apimančių apsaugą nuo perteklinio biogeninių medžiagų pritekėjimo bei laivybos reguliavimą. Išsami atskirų ežerų charakteristika pateikta 1 lentelėje, o jų lokalizacija pavaizduota 1 paveiksle.

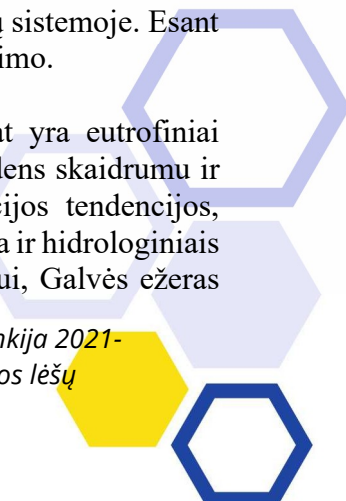


1 paveikslas. Programai parinktų ežerų išsidėstymas Lenkijos ir Lietuvos savivaldybių teritorijose.

Tarp Mozūrų ežerų Niegocinas yra didžiausias vandens telkinys, užimantis apie 2600 ha plotą ir pasiekiantis 40 m maksimalų gylį (vidutinis gylis – 9,9 m). Jis pasižymi padidėjusia biogeninių medžiagų koncentracija, mažu vandens skaidrumu ir progresuojančia eutrofikacija, o fosfatų koncentracija jame viršija leistinas normas. Taičio ir Kisaino ežerai, sujungti kanalais su Niegocino ežeru, siekia iki 40 m gylį. Jie pasižymi vidutine ekologine būkle, vyraujančia eutrofija, didele fitoplanktono biomase bei padidėjusia melsvabakterių (cianobakterijų) žydėjimo rizika.

Geldapė (Gołdapiwo) ir Soltmanai taip pat yra moreniniai ežerai, turintys panašias eutrofines savybes, mažą vandens skaidrumą ir hidrologinius ryšius Didžiųjų Mozūrų ežerų sistemoje. Esant didelei biogeninių medžiagų apkrovai, jie yra pažeidžiami melsvabakterių žydėjimo.

Lietuvos ežerai, tokie kaip Babrukas, Galvė, Onuškis ir Totoriškių, taip pat yra eutrofiniai moreniniai ežerai, kurių gylis svyruoja nuo 8 iki 30 m. Jie pasižymi mažu vandens skaidrumu ir didele melsvabakterių žydėjimo rizika. Šiuose ežeruose stebimos eutrofikacijos tendencijos, panašios į fiksuojamas Mozūrų ežeruose, su panašia biogeninių medžiagų apkrova ir hidrologiniais ryšiais Mozūrų baseine. Nepaisant mažesnio urbanizacijos poveikio (pavyzdžiui, Galvės ežeras





Litwa – Polska

baseino mastu yra mažiau urbanizuotas, tačiau vietiniu lygmeniu intensyviai naudojamas turizmui), šie ežerai taip pat reikalauja nuolatinės stebėsenos ir apsaugos priemonių, ypač ekoturizmo plėtros ir vandens kokybės išsaugojimo kontekste.

Partnerių savivaldybėse atrinktų vandens telkinių būklės vertinimas

Niegocino ežeras

Niegocino ežeras yra didelis vidaus vandens telkinys, intensyviai naudojamas rekreacijai, o tai didina jo jautrumą antropogeniniam poveikiui bei biogeninių medžiagų pritekėjimui iš urbanizuotų teritorijų. Analizės rodo vidutinę eutrofikacijos riziką, o vietiniai melsvabakterių (cianobakterijų) žydėjimai gali pasireikšti periodiškai. Ežero stebėseną vykdo vietos savivaldybės ir mokslinės institucijos, naudodamos meteorologijos stotis bei periodiškai imdamos vandens mėginius. Šios sistemos teikia duomenis apie pagrindinius fizikinius-cheminius parametrus (įskaitant biocheminį deguonies suvartojimą per 7 paras (BDS₇), bendrąjį azotą, bendrąjį fosforą ir ištirpusį deguonį) bei telkinio biologinę būklę. Bendrą ežero būklę galima apibūdinti kaip vidutinę arba artimą gerai, tačiau ilgalaikė stebėseną ir apsaugos priemonės išlieka būtinos siekiant sulėtinti eutrofikacijos procesus ir išlaikyti aukštą vandens kokybę.

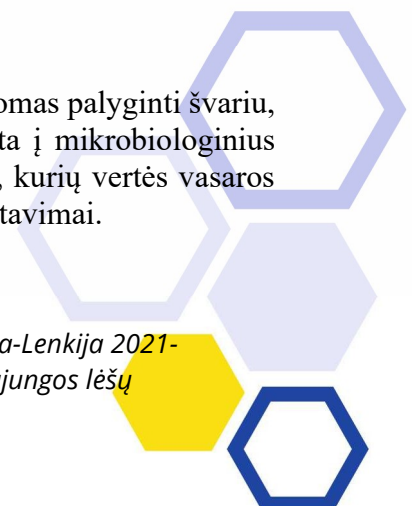
Kisaino ežeras

Kisaino ežeras, hidrologiškai sujungtas su Niegocino ir Mamrų ežerais, yra intensyviai naudojamas turizmui bei rekreacinei laivybai. Sujungtų vandens telkinių sistema sudaro sąlygas daliai vandens ir biogeninių medžiagų apytakai – tai gali lėtinti eutrofikacijos procesą, nors visiškai nepašalina vietinių melsvabakterių (cianobakterijų) žydėjimo rizikos. Ežero stebėseną daugiausia vykdoma sezoniniu pagrindu, vietos vandens priežiūros tarnybų iniciatyva. Ji apima pagrindinius cheminius matavimus (pvz., biocheminį deguonies suvartojimą per 7 paras (BDS₇), tam tikrų metalų koncentracijas) bei mikrobiologinius tyrimus oficialiose maudyklose.

Tačiau trūksta ištiesus metus veikiančios integruotos stebėsenos sistemos realiuoju laiku, o tai apsunkina išsamų vandens kokybės pokyčių vertinimą rekreacinio sezono įkarštyje. Prieinami duomenys yra fragmentiški, tačiau rodo vidutinę eutrofikacijos riziką, susijusią su biogeninių medžiagų pritekėjimu iš urbanizuotų teritorijų bei antropogeniniu poveikiu. Nepaisant stebėsenos ribotumų, tyrimai rodo, kad vandens kokybė paprastai yra tinkama maudymuisi, o ežero ekologinė būklė apibūdinama kaip vidutinė.

Taičio ežeras

Taičio ežeras (Tajty), esantis Gižycko ir Vilkasių (Wilkasy) apylinkėse, laikomas palyginti švarių, ką patvirtina reguliarūs maudyklų tyrimai. Stebėseną daugiausia orientuota į mikrobiologinius parametrus, tokius kaip žarniniai enterokokai ir žarninės lazdelės (*E. coli*), kurių vertės vasaros sezono metu išlieka žemos. Sporadiškai atliekami ir fizikiniai-cheminiai matavimai.





Litwa – Polska

Prieinamų duomenų analizė rodo, kad ežeras pasižymi palyginti žemu eutrofikacijos laipsniu (Taitis yra eutrofinis ežeras, tačiau mažiau apkrautas nei Niegocinas ar Kisainas), ypač lyginant su didesniais ir labiau biogeninėmis medžiagomis apkrautais regiono ežerais. Natūralios pakrantės zonos ir vidutinis antropogeninis poveikis prisideda prie ekologinio stabilumo išlaikymo. Tačiau trūksta išsamių bei aktualių cheminių duomenų ir trofinių rodiklių, kurie leistų vienareikšmiškai nustatyti ežero trofinę būklę. Tolesnė apsauga turėtų apimti stebėsenos plėtrą, įtraukiant reguliarius fizikinius-cheminius matavimus bei naudotojų švietimą vandens apsaugos klausimais.

Geldapės ežeras (Goldapiwo)

Geldapės ežeras, esantis natūralių Boreckos girios teritorijų apsuptyje, pasižymi nedideliu antropogeniniu poveikiu. Didelis plotas, ribota žmogaus veikla bei natūralios hidrologinės sąlygos, tokios kaip gera vandens apytaka ir reikšmingas gylis, sudaro prielaidas išlaikyti žemą trofinį lygį ir riboja eutrofikacijos riziką.

Ežero stebėseną (monitoringas) yra ribota. Ji daugiausia apima periodinius cheminius matavimus bei biologinius tyrimus, paprastai atliekamus vykdant mokslinius projektus arba regionines „Wody Polskie“ (Lenkijos vandenų) monitoringo programas. Prieinami duomenys apima pagrindinius trofinius rodiklius bei vandens kokybės parametrus, tačiau jie yra fragmentiški. Mikrobiologiniai duomenys taip pat nėra išsamūs, nors lauko stebėjimai paprastai rodo gerą vandens kokybę. Kai kurios įlankos vasaros laikotarpiu gali būti pažeidžiamos vietinių melsvabakterijų (cianobakterijų) žydėjimo – tai pagrindžia tikslinės stebėsenos ir apsaugos priemonių poreikį. Išsamių oficialių bei aktualių trofinių rodiklių trūkumas pabrėžia būtinybę tęsti ir plėsti tiek cheminę, tiek biologinę stebėseną, siekiant tiksliau įvertinti ežero ekologinę būklę.

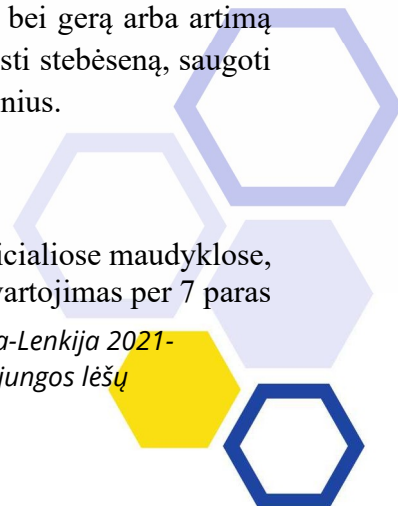
Soltmanų ežeras (Soltmany)

Soltmanų ežeras yra nedidelis rininės kilmės ežeras, pasižymintis natūraliu pobūdžiu, vidutine pakrantės augmenija ir palyginti nedideliu litoralo užžėlimu. Antropogeninis poveikis bei rekreacinė apkrova čia yra nedideli – tai padeda išlaikyti stabilią ekosistemą.

Ežero stebėseną vykdoma ribotai; ji daugiausia apima mikrobiologinių bei cheminių mėginių ėmimą įgyvendinant vietines programas ar mokslinius tyrimus. Duomenų prieinamumas yra fragmentiškas, o aktualūs oficialūs cheminių ir mikrobiologinių tyrimų rezultatai nėra plačiai skelbiami. Vis dėlto lauko stebėjimai rodo, kad ežero vanduo dažniausiai yra švarus ir apsaugotas nuo reikšmingų antropogeninių teršalų, o pakrantės zonos išlaiko natūralų charakterį. Turimos informacijos analizė leidžia daryti prielaidą apie vidutinį trofinį potencialą bei gerą arba artimą vidutinei vandens kokybę. Palankios ekologinės būklės išlaikymui būtina tęsti stebėseną, saugoti natūralias litoralo zonas ir riboti galimus vietinius biogeninių medžiagų šaltinius.

Babruko ežeras

Babruko ežero stebėseną apima tiek reguliarius mikrobiologinius tyrimus oficialiose maudyklose, tiek fizikinius-cheminius matavimus, tokius kaip biocheminis deguonies suvartojimas per 7 paras





Litwa – Polska

(BDS₇), bendrasis azotas ir bendrasis fosforas. Duomenys rodo, kad vanduo atitinka maudyklų kokybės normas, o dauguma parametrų išlieka vidutinės–geros kokybės lygmenyje.

2024 m. duomenimis, vidutinė BDS₇ vertė siekė 4,83 mg O₂/l, o kraštutinės reikšmės svyravo nuo 2,10 mg O₂/l vasaros pabaigoje iki 10 mg O₂/l pavasarį – tai patvirtina vidutinę organinių medžiagų apkrovą. Biogeninių medžiagų koncentracijos išliko gerai ekologiškai būklei būdingame lygmenyje: bendrasis azotas – 1,05 mg/l, bendrasis fosforas – 0,04 mg/l. 2025 m. mikrobiologiniai rodikliai taip pat buvo labai geri: žarninių enterokokų koncentracija svyravo nuo 7 iki 34 ksv/100 ml, žarninių lazdelių (*E. coli*) – nuo 3,1 iki 29 ksv/100 ml, t. y. gerokai žemiau galiojančių maudyklų normų.

Ežero būklės analizė rodo, kad ekosistema yra palyginti stabili, o eutrofikacijos potencialas – vidutinis. Biogeniniai rodikliai patenka į geros kokybės ribas, nors periodinis BDS₇ vertės padidėjimas pavasarį ir vasarą reikalauja tolesnės stebėsenos bei prevencinių priemonių. Visuomenės švietimas ir teršalų pritekėjimo ribojimas išlieka esminiai veiksniai siekiant išlaikyti esamą ekologinę būklę.

Onušio ežeras

Onušio ežero stebėseną yra nepilna ir fragmentiška. Trūksta reguliarių mikrobiologinių tyrimų oficialiose maudyklose, o prieinami fizikiniai-cheminiai duomenys rodo labai aukštas BDS₇, bendrojo azoto ir bendrojo fosforo vertes. Vieningos stebėsenos sistemos nebuvimas reikšmingai apsunkina patikimą ežero ekologinės būklės vertinimą.

2024 m. vandens kokybės parametrai patvirtino prastą ekosistemos būklę: vasarą BDS₇ siekė 20 mg O₂/l, o metinis vidurkis buvo 13,48 mg O₂/l. Bendrojo azoto koncentracija svyravo nuo 1,5 mg/l pavasarį iki 9,4 mg/l rudenį, o bendrojo fosforo – nuo 0,07 mg/l pavasarį iki 0,15 mg/l rudenį. Šios vertės aiškiai rodo stiprią eutrofikaciją ir didelį antropogeninį poveikį, būdingą vandens telkiniams, apkrautiems paviršinių nuotekų bei miesto teršalų.

Dėl aktualių mikrobiologinių tyrimų trūkumo neįmanoma įvertinti maudymosi saugumo – nėra duomenų, ar vanduo atitinka higienos normas ir ar tyrimai buvo vykdomi reguliariai. Ežero būklės analizė rodo labai blogą ekologinę būklę. Aukšta trofija ir biogeninių medžiagų perteklius didina melsvabakterių (cianobakterijų) žydėjimo, deguonies trūkumo bei biologinės įvairovės nykimo riziką. Vandens telkiniui būtini skubūs rekultivacijos veiksmai, teršalų pritekėjimo iš urbanizuotų ir žemės ūkio teritorijų ribojimas bei nuolatinės kompleksinės cheminės ir biologinės stebėsenos sistemos įdiegimas.

Galvės ežeras





Litwa – Polska

Galvės ežero stebėseną daugiausia orientuota į maudyklų vandens kokybės kontrolę. 2025 m. mikrobiologiniai duomenys rodo, kad tiriamais laikotarpiais vanduo atitiko higienos normas: žarninių enterokokų koncentracija siekė 3–6 ksv/100 ml, o žarninių lazdelių (*E. coli*) buvo mažesnė nei 9 ksv/100 ml. Tačiau trūksta išsamių cheminių ataskaitų bei trofinių rodiklių, o tai neleidžia tiksliai įvertinti bendros ežero ekologinės būklės.

Ežero būklės analizė rodo, kad šiuo metu vandens telkinys nesusiduria su reikšmingomis mikrobiologinėmis problemomis. Trofinė būklė nėra tiksliai nustatyta, tačiau palyginti nedidelis antropogeninis poveikis centrinėje ežero dalyje leidžia daryti prielaidą, kad eutrofikacijos rizika yra vidutinė. Tuo pat metu kai kurios įlankos gali būti jautresnės biogeninių medžiagų pritekėjimui. Turizmo ir rekreacinio naudojimo keliami potencialūs pavojai pabrėžia būtinybę stiprinti stebėseną, saugoti natūralias pakrantes bei šviesti visuomenę apie taršos ribojimą ir geros ekologinės būklės išlaikymą.

Totoriškių ežeras

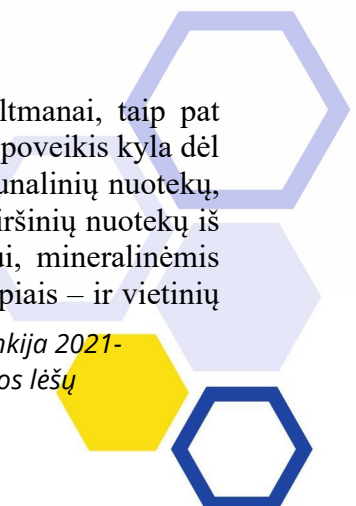
Totoriškių ežeras pasižymi labai gera ekologine būkle, kuri išlieka stabili per visą vasaros sezoną dėl minimalaus antropogeninio poveikio ir didelės biologinės įvairovės. Stebėseną apima tiek mikrobiologinius, tiek cheminius duomenis, rodančius aukštą maudyklų vandens kokybę bei palankius fizikinius-cheminius parametrus.

2024 m. duomenimis, vidutinė BDS₇ vertė siekė 1,83 mg O₂/l, o rudenį sumažėjo iki 1,40 mg O₂/l. Bendrojo azoto koncentracija didžiąją metų dalį išliko mažesnė nei 1 mg/l, o bendrojo fosforo – mažesnė nei 0,01 mg/l (tik pavasarį fiksuotas nedidelis padidėjimas iki 0,024 mg/l). 2025 m. mikrobiologiniai rodikliai patvirtina saugias maudymosi sąlygas: žarninių enterokokų koncentracija svyravo nuo 3 iki 18 ksv/100 ml, žarninių lazdelių (*E. coli*) – nuo 4 iki 19 ksv/100 ml, t. y. gerokai žemiau leistinų higienos normų.

Trofiniu požiūriu ežeras pasižymi labai mažu eutrofikacijos potencialu. Nedidelė antropogeninė apkrova ir stabilūs biogeninių medžiagų rodikliai sudaro sąlygas natūraliai vandens pusiausvyrai išlaikyti. Natūralių pakrančių zonų išsaugojimas bei cheminės ir biologinės stebėsenos tęstinumas išlieka esminiai veiksniai, siekiant palaikyti aukštą vandens kokybę ir užtikrinti ilgalaikį ekosistemos tvarumą.

Taršos šaltiniai ir grėsmės

Mozūrų ežeruose, tokiuose kaip Niegocinas, Taitis, Kisainas, Geldapė ir Soltmanai, taip pat Lietuvos ežeruose – Babruke, Galvėje ir Onuškyje – pagrindinis antropogeninis poveikis kyla dėl biogeninių medžiagų (pirmiausia azoto ir fosforo junginių) pritekėjimo iš komunalinių nuotekų, nesandarių individualių nuotekų tvarkymo sistemų, žemės ūkio veiklos bei paviršinių nuotekų iš urbanizuotų teritorijų. Praktiškai tai reiškia, kad į ežerus patenka, pavyzdžiui, mineralinėmis trąšomis tręšiamų laukų nuotėkis, lietaus nuotekos, o turistų antplūdžio laikotarpiais – ir vietinių





Litwa – Polska

sanitarinių sistemų perkrovos. Biogeninių medžiagų perteklius spartina eutrofikacijos procesą, kurio būdingos pasekmės yra melsvabakterių (cianobakterijų) žydėjimas, vandens skaidrumo sumažėjimas, intensyvi fitoplanktono plėtra bei deguonies stygius priedugnio sluoksniuose.

Svarbus poveikio veiksnys taip pat yra intensyvi vandens rekreacija – ypač Didžiųjų Mozūrų ežerų sistemoje (pavyzdžiui, Niegocino ar Kisaino ežeruose), kur dažnas motorinių laivų ir valčių judėjimas sukelia dugno nuosėdų resuspensiją, t. y. dumble sukauptų fosfatų išjudinimą ir patekimą į vandens sluoksnius. Šis antrinis biogeninių medžiagų išsiskyrimas gali reikšmingai sumažinti vandens skaidrumą ir sustiprinti žydėjimo procesus. Panašūs mechanizmai stebimi ir populiariuose turistiniuose Lietuvos ežeruose, pavyzdžiui, Galvėje, kur intensyvūs rekreaciniai maršrutai ir sezoninė turistinių laivų apkrova didina ekologinį poveikį.

Kita problema yra natūralių buferinių zonų nykimas – tai pakrančių augmenijos juostos, kurios reguliuoja paviršinį nuotėkį ir filtruoja į ežerus patenkančius teršalus. Daugelyje ežerų šios zonos yra degradavusios dėl pakrančių užstatymo, paplūdimių bei prieplaukų (marinų) įrengimo ir natūralios augmenijos šalinimo. Šios juostos yra esminės biogeninių medžiagų sulaikymui, krantų stabilizavimui ir apsaugai nuo erozijos.

Išimtis Mozūruose yra Kisaino ir Mamrų ežerai, kur kai kuriose vietose išliko plačios nendrynų ir švendrynų juostos, vis dar atliekančios natūralaus filtro funkciją ir ribojančios teršalų pritekėjimą. Kituose vandens telkiniuose tiek Lenkijoje, tiek Lietuvoje pakrančių augmenijos mažėjimas didina ekosistemų pažeidžiamumą, spartina eutrofikacijos procesus ir skatina sezoninį melsvabakterių (cianobakterijų) žydėjimą.

.



1 lentelė. Programoje dalyvaujančių ežerų charakteristika Gižycko, Kruklankų ir Trakų savivaldybėse

Ežeras	Niegocinas	Kisajno	Taitis	Geldapė	Soltmanai	Babrukas	Onuškis	Galvė	Totoriškių
Šalis	Lenkija	Lenkija	Lenkija	Lenkija	Lenkija	Lietuva	Lietuva	Lietuva	Lietuva
Savivaldybė	Gižycko	Gižycko	Gižycko	Kruklankų	Kruklankų s	Trakai	Trakai	Trakai	Trakai
Paviršius (km ²)	26,40	18,9	18,36	8,62	1,80	0,38	0,29	3,70	0,76
Vidutinis gylis (m)	9,90	8,40	14,00	11,00	5,50	6,60	4,43	13,60	10,10
Maksimalus gylis	39,70	25,00	50,80	26,90	12,50	17,00	13,50	46,70	20,90
Kranto linijos ilgis (km).	35,40	50,00	14,60	15,56	8,45	3,77	2,95	13,50	5,61
Ežero trofinis tipas	Eutrofinis	Eutrofinis	Eutrofinis	Eutrofinis	Eutrofinis	Eutrofinis /Hipertrofinis	mezotrofinis	mezotrofinis	mezotrofinis
Intakai ir Ištakos	Su kitais ežerais sujungtas kanalais	Su kitais ežerais sujungtas kanalais i	Su kitais ežerais sujungtas kanalais	Upė Sapina	Upė Sapina	1 ištaka	8 intakai, 1 ištaka	2 intakai	1 intakas
Gyventojų skaičius (žm./km ²)	2150	300	600	15	15	50-100	100-150	300-600	50-64
Turizmo apkrova*	aukšta	aukšta /vidutinė	aukšta	žema	žema	vidutinė	žema	aukšta	vidutinė
Koordinatės	53°59'00"N 21°47'05"E	54°03'00"N 21°42'00"E	54°01'15"N 2 1°40'41"E	54°06'42"N 21°56'53"E	54°02'47"N 22°01'00"E	54°37'18"N 24°55'35"E	54°29'30"N 24°35'30"E	54°39'47"N 24°55'50"E	54°38'29"N 24°55'34"E

* **Maža 1** – nedidelis gyventojų skaičius, mažai arba visai nėra ūkinės veiklos objektų (restoranų, viešbučių)

* **Vidutinė 2** – vidutinis gyventojų skaičius, didelis ūkinės veiklos objektų skaičius (restoranai, viešbučiai), tam tikra vidaus vandenų laivybos infrastruktūra bei miesto paplūdimiai

* **Didelė 3** – didelis gyventojų skaičius, didelis ūkinės veiklos objektų skaičius (restoranai, viešbučiai), išvystyta vidaus vandenų laivybos infrastruktūra ir miesto paplūdimiai.



Litwa – Polska

Papildomą grėsmę kelia cheminiai teršalai, besikaupiantys žuvų audiniuose: žemės ūkyje naudojami **pesticidai**, nuo kelių nutekančios **toksiškos medžiagos** bei **patvarieji organiniai teršalai**. Daugelyje Lenkijos ir Lietuvos ežerų (nors ne visuose šiame dokumente **minimose**) nustatomi laikini leistinių normų viršijimai tokioms medžiagoms kaip **gyvsidabris**. Tai riboja komercinę žvejybą bei kelia grėsmę žmonių sveikatai ir biologinei įvairovei. Šie teršalai kaupiasi **maisto grandinėje**, labiausiai paveikdami plėšriąsias žuvis ir vandens paukščius

Geroji stebėsenos praktika

Geroji stebėsenos praktika Lenkijoje grindžiama valstybine **GIOŚ** (Vyriausiosios aplinkos apsaugos inspekcijos) sistema, pagal kurią nuo 2008 m. vykdomos ciklinės ežerų ekologinės ir cheminės būklės vertinimo programos, apimančios tokius telkinius kaip **Mikalojuko (Mikolajskie), Niegocino, Tailčio (Tałty) ar Mamrų** ežerai. Ši sistema klasikinius tyrimų metodus – biogeninių medžiagų, chlorofilo, fitoplanktono, makrofitų bei vandens skaidrumo analizes – derina su vis plačiau taikomais **nuotoliniais metodais** (palydoviniais duomenimis, aerofotografija, vietinėmis telemetrinėmis sistemomis). Daugelyje regionų rekomenduojama plėsti stebėseną naudojant automatizuotas platformas, pavyzdžiui, **vandens kokybės bojas**, bei pasitelkti dronus (skraidančius ar plūduriuojančius) operatyviam dumblių žydėjimo nustatymui bei pakrančių zonų būklės vertinimui. Svarbiausi gerosios praktikos elementai: sistemingas **apsauginių (buferinių) zonų** atkūrimas, biogenų pritekėjimo ribojimas modernizuojant nuotekų valymo įrenginius bei vandens valdymo planų įgyvendinimas, apimantis ir tarpvalstybinių baseinų sprendimus. Tokia metodika padeda gerinti ežerų ekologinę būklę, leidžia operatyviai nustatyti degradacijos procesus ir didina aplinkosaugos priemonių veiksmingumą abiejose pasienio pusėse

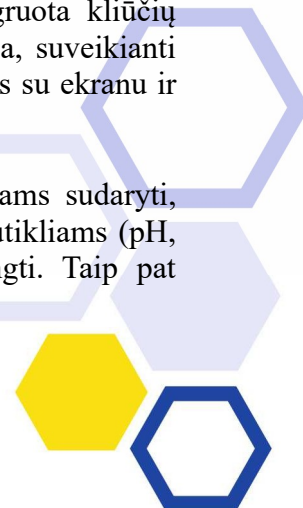
2. Stebėsenos sistemos aprašymas: technologijos, įrenginiai, metodika

Autonominio matavimo laivo (USV) techninė specifikacija

Autonominis matavimo laivas (USV) (gamintojas – „Mobile Monitoring“; 1 pav.) yra 820 × 545 × 360 mm matmenų ir apie 12 kg masės. Jame sumontuotas elektrinis variklis, užtikrinantis maksimalų 16 km/h greitį bei iki 12 valandų nepertraukiamą veikimą vienu įkrovimu (naudojant du akumuliatorių rinkinius). Korpusas, pagamintas iš patvaraus stiklo pluoštu sutvirtinto poliesterio laminato, pasižymi dideliu atsparumu drėgmei bei sudėtingoms hidrometeorologinėms sąlygoms ir atitinka saugos reikalavimus. Minimalus veikimo nuotolis – 1 km; navigacija palaikoma GPS sistema, GSM ir radijo ryšiu.

Įranga turi pažangią autopiloto sistemą, leidžiančią pasirinkti rankinį valdymą nuotoliniu pultu, visiškai autonominį režimą arba pastovaus greičio („cruise“) režimą. Integruota kliūčių aptikimo ir jų apėjimo sistema bei automatinė grįžimo į pradinį tašką funkcija, suveikianti praradus ryšį arba esant žemam baterijos lygiui. Komplektą sudaro bazinė stotis su ekranu ir programine įranga, skirta realiuoju laiku stebėti misijos eigą.

Laive sumontuotas „Lowrance“ echolotas detaliems batimetriniams žemėlapiams sudaryti, optinė kamera su tiesiogine vaizdo transliacija bei modulis vandens kokybės jutikliams (pH, elektros laidumo, ištirpusio deguonies, naftos produktų, drumstumo) prijungti. Taip pat





Litwa – Polska

numatyta galimybė integruoti sonarą, povandeninę kamerą, navigacinį apšvietimą ir papildomus baterijų blokus.

Duomenys įrašomi į vietinę SD kortelę, eksportuojami į analitines sistemas ir vizualizuojami debesijos platformose. Avarinės sistemos apima garsinę signalizaciją, rezervines funkcijas bei modulinę konstrukciją su lengvai keičiamais jutikliais ir komponentais.

Įranga skirta batimetriniams tyrimams, vandens aplinkos stebėsenai ir Mozūrų ežerų vandens kokybės kontrolei. Garantinis laikotarpis – ne trumpesnis kaip 24 mėn. Komplekte turi būti visi būtini jutikliai, USB kabeliai, transportavimo dėklai (lagaminai), naudojimo instrukcija lietuvių kalba ir garantinė kortelė.



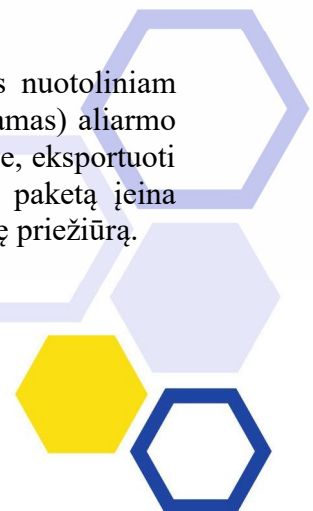
1 pav. Autonominis matavimo laivas (USV), sukurtas lenkų mokslininkų ir inovatyvios įmonės „Mobile Monitoring“.

Autominio vandens kokybės stebėsenos plūduro techninė specifikacija

Autonominis vandens kokybės stebėsenos plūduros (2 pav.) turi savarankišką baterinį maitinimą, papildytą saulės moduliais ir integruota energijos valdymo sistema. Ši sistema optimizuoja akumuliatorių įkrovimą ir užtikrina nepertraukiamą veikimą net sudėtingomis aplinkos sąlygomis. Plūdure sumontuota nuotolinio duomenų perdavimo sistema su SIM kortelės moduliu, leidžiančiu realiuoju laiku siųsti matavimo rezultatus į internetinę analizės platformą. Stabilią įrenginio padėtį ir tikslų pozicionavimą esant įvairioms hidrologinėms sąlygoms užtikrina patikima inkaravimo sistema.

Integruotas daugiafunkcis zondas matuoja vandens temperatūrą, pH, elektros laidumą, ištirpusio deguonies ir chlorofilo koncentracijas, vandens drumstumą bei naftos produktų kiekį. Visi jutikliai turi CE sertifikatus, integruotą automatinio valymo sistemą, duomenų įrašymo į SD kortelę funkciją bei galimybę prijungti papildomus jutiklius.

Sistema suteikia prieigą prie interneto platformos ir mobiliosios programėlės nuotoliniam stebėjimui bei siunčia SMS ar el. pašto pranešimus apie viršytas (konfigūruojamas) aliarmo ribas. Programinė įranga leidžia analizuoti duomenis žemėlapiuose ir diagramose, eksportuoti juos į „MS Office“ formatus bei archyvuoti istorinius duomenis. Į paslaugų paketą įeina mokymai iki 5 asmenų, apimantys įrangos montavimą, konfigūravimą ir techninę priežiūrą.





2 pav. Autonominis vandens kokybės stebėsenos plūduras

Vandeniui atsparaus daugiafunkcio matavimo prietaiso (HI98549) techninė specifikacija

HI98549 (3 pav.) – tai nešiojamas, vandeniui atsparus daugiafunkcis matavimo prietaisas, skirtas matuoti iki 14 skirtingų fizikinių-cheminių ir cheminių parametrų. Prietaise sumontuotas mikroprocesorinis daugiajutiklis zondas, pasižymintis pažangiomis matavimo funkcijomis, dideliu tikslumu ir aukštu atsparumu aplinkos poveikiui.



3 pav.. Nešiojamas, vandeniui atsparus, daugiafunkcis matavimo prietaisas **HI98549**.

Zondas perduoda duomenis į matuoklį, o vartotojas gali juos stebėti realiuoju laiku, saugoti atmintyje arba perduoti per „Bluetooth“ ryšį į „Hanna Lab“ programėlę. Prietaisas skirtas naudoti įvairiomis sąlygomis: tiriant paviršinius vandenį, jūros vandenį, nuotekas, gruntinį vandenį, taip pat akvakultūros, statybos, aplinkos atkūrimo projektuose bei vykdant mokslinius tyrimus.

Matuojami parametrai (14):

- **Rūgštingumas ir redoksas:** pH, mV, ORP (redokso potencialas);
- **Deguois:** ištirpęs deguois (mg/l) ir ištirpęs deguois (%);
- **Laidumas:** elektros laidumas (EC), absoliutusias laidumas, savitoji varža;
- **Mineralizacija:** bendras ištirpusių medžiagų kiekis (TDS), druskingumas, jūros vandens tankis ();
- **Fizikiniai rodikliai:** drumstumas, atmosferos slėgis ir temperatūra.





Litwa – Polska

Techninės savybės:

- **Ekranas:** Vienu metu gali rodyti nuo 1 iki 12 pasirinktų parametrų.
- **Atsparumas:** Zondas atitinka **IP68** standartą (atsparus dulkiams ir ilgalaikiam panardinimui), o matuoklis – **IP67** (atsparus panardinimui iki 1 m gylio 30 min.).
- **Inovacijos:** Integruotas EC ir drumstumo jutiklis bei optinė ištirpusio deguonies matavimo technologija (**OPDO**). „Quick-DIN“ jungtis užtikrina greitą ir sandarų zondo prijungimą.
- **Maitinimas:** Ličio jonų akumulatorius (kraunamas per **USB-C**). Jam išsikrovus, sistema automatiškai persijungia į 1,5 V AA tipo šarmines baterijas.

Duomenų valdymas:

- Automatinis iki **50 000 įrašų** išsaugojimas (intervalas nuo 1 s iki 3 val.).
- Galimybė pridėti komentarus prie duomenų serijų.
- Duomenų eksportas **.csv** formatu į kompiuterį per **USB-C** arba atminties kortelę.
- „Hanna Lab“ programėlė nuotoliniam valdymui ir programinės įrangos naujinimui.

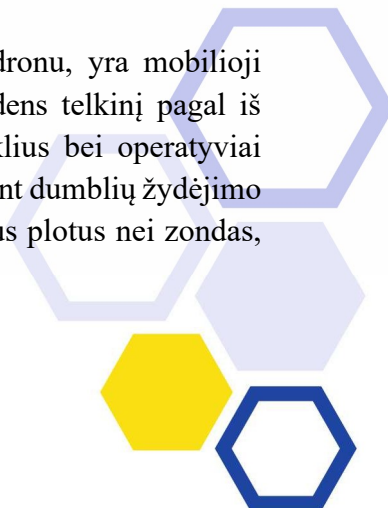
HI98594 standartinį komplektą sudaro visi komponentai, reikalingi nedelsiant pradėti darbą lauko sąlygomis. Į komplektą įeina daugiajutiklis matavimo zondas su apsauginiu gaubtu ir gumine apsauga, užtikrinančia saugumą bei ilgaamžiškumą dirbant sudėtingomis sąlygomis. Taip pat pridedamas jutiklių rinkinys: pH/ORP jutiklis, EC/drumstumo jutiklis ir optinis DO (ištirpusio deguonies) jutiklis, leidžiantis tiksliai matuoti pagrindinius parametrus be papildomų investicijų. Papildomai pateikiamas „Smart Cap“ gaubtelis, kalibravimo indas bei kalibravimo tirpalai (bendram, nulinio deguonies ir FNU kalibravimui), USB kabelis, baterijos bei kokybės sertifikatai. Visa įranga supakuota į patvarią transportavimo dėžę. Standartinis zondo kabelio ilgis – 4 m.

Ką ir koku būdu matuoja konkretūs matavimo prietaisai

Zondas yra daugiavfunkcis prietaisas, atliekantis **punktinius matavimus** tiesiogiai vandenyje, paprastai konkrečiame gylyje. Šio tipo matavimai yra tikslūs ir lokalūs, atliekami rankiniu būdu (pavyzdžiui, iš valtės ar laivo), todėl jie ypač tinka momentinėms sąlygoms vertinti konkrečioje mėginių ėmimo vietoje.

Stebėsenos plūduras veikia kaip automatinė stotis, vykdanči nuolatinę ir ilgalaikę stebėseną. Jis registruoja paros ir sezoninius parametrų pokyčius, fiksuoja minimaliąsias, vidutines bei maksimaliąsias reikšmes per ilgą laikotarpį. Tai leidžia nustatyti sezoninius ir epizodinius reiškinius, tokius kaip nuotekų pritekėjimas, dumblių žydėjimas ar paros deguonies svyravimai (3 priedas).

Autonominis laivas (USV), dar vadinamas plūduriuojančiu vandens dronu, yra mobilioji matavimo sistema, atliekanti paviršinius matavimus ir skenuojanti vandens telkinį pagal iš anksto nustatytą maršrutą. Jis leidžia vertinti biologinės kokybės rodiklius bei operatyviai aptikti antropogeninius teršalus. Šio tipo matavimai ypač efektyvūs nustatant dumblių žydėjimo židinius ar naftos produktų išsiliejimus, nes leidžia ištirti žymiai didesnius plotus nei zondas, kuris atlieka tik lokalius (punktinius) matavimus.





Pavyzdiniai kiekvieno matavimo prietaiso rodmenys

A) Daugiafunkcio zondo matavimo pavyzdys

Galvės ežeras – Trakai (Lietuva) – matavimo data: 2025-11-17

- Vandens temperatūra: 7,28 °C
- pH rodiklis: 8,15
- Redokso potencialas (ORP): –57,76 mV (pH elektrodas) ir 74,69 mV (deguonies jutiklis)
- Deguonies sotis (DO): 96,69 %
- Ištirpusio deguonies koncentracija (DO): 11,23 mg/l
- Elektros laidumas: 411,53 µS/cm
- Druskingumas / TDS: 205,98 ppm
- Drumstumas: 1,53 FNU

B) Stebėsenos plūduru rodmenų pavyzdys

Niegocino ežeras – 2025-04-22–2025-05-28

- Vandens temperatūra: min. 5,89 °C, vid. 9,52 °C, maks. 10,48 °C
- pH: min. 7,64, vid. 8,35, maks. 9,10
- Deguonies sotis: min. 82,46 %, vid. 87,98 %, maks. 105,03 %
- Deguonies koncentracija: min. 7,91 mg/l, vid. 10,03 mg/l, maks. 11,41 mg/l
- Drumstumas: min. 9,84 NTU, vid. 20,63 NTU, maks. 21,17 NTU
- Elektros laidumas: min. 273,99 µS/cm, vid. 398,87 µS/cm, maks. 11 838,44 µS/cm

C) Autonominio matavimo laivo (USV) rodmenų pavyzdys

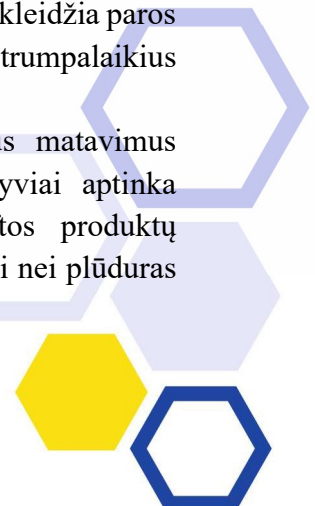
Niegocino ežeras

- Chlorofilas: 21,1 µg/l
- Naftos produktai: 2,7 ppm

Zondas, stebėsenos plūduris ir vandens dronas (USV) vienas kitą papildo bendroje vandens kokybės monitoringo sistemoje. Šie įrenginiai skiriasi veikimo principu, duomenų apimtimi ir matavimo pobūdžiu, todėl jų surenkama informacija nesidubliuoja, o suformuoja vientisą vaizdą.

Zondas atlieka tikslius punktinius fizikinių ir cheminių parametrų matavimus konkrečiame gylyje. Tai leidžia detaliam įvertinti momentines sąlygas pasirinktoje vietoje. **Stebėsenos plūduris** veikia kaip stacionari automatinė platforma, vykdanči nepetraukiamą ilgalaikę stebėseną. Jis fiksuoja minimaliąsias, vidutines bei maksimaliąsias reikšmes ir atskleidžia paros bei sezoninius svyravimus. Tokiu būdu plūduris leidžia nustatyti reiškinis (pvz., trumpalaikius taršos šuolius), kurių atsitiktiniai matavimai zonu gali neužfiksuoti.

Vandens dronas papildo abi sistemas, atlikdamas mobiliuosius paviršinius matavimus dideliuose plotuose. Jis registruoja biologinės kokybės rodiklius ir operatyviai aptinka antropogeninius teršalus, pavyzdžiui, dumblių žydėjimo židinius ar naftos produktų išsiliejimus. Skirtingai nei zondas, dronas nėra apribotas viena vieta, o skirtingai nei plūduris





Litwa – Polska

– nėra stacionarus, todėl užtikrina lankstumą ir galimybę greitai reaguoti į pasikeitusią situaciją bet kurioje telkinio dalyje.

Šių trijų platformų duomenų skirtumai nėra sistemos paklaidos ar neatitikimai, o natūralus skirtingų matavimo vietų, laikotarpių, taikomų metodų bei meteorologinių sąlygų rezultatas. Zondas dažnai naudojamas dinaminėmis sąlygomis (pavyzdžiui, matuojant iš judančios valtės), tuo tarpu **stebėsenos plūduras** išlieka stabilus vienoje vietoje ir fiksuoja nepertraukiamą parametrų kaitą. Pavyzdžiui, staigūs elektros laidumo šuoliai (pvz., iki $\mu\text{S}/\text{cm}$ ar net $\mu\text{S}/\text{cm}$), užfiksuoti plūduru, gali rodyti epizodinį teršalų pritekėjimą, kurio zondas galėjo neužfiksuoti dėl matavimo kitoje vietoje ar kitu laiku.

Apibendrinant: **zondas** užtikrina aukštą lokalų tikslumą, **plūduras** – duomenų tęstinumą ir ilgalaikę dinamikos analizę, o **vandens dronas (USV)** – plačią erdvinę aprėptį. Šios platformos sudaro integruotą ir tarpusavyje papildančią vandens kokybės stebėsenos sistemą, leidžiančią visapusiškai įvertinti vandens telkinių būklę bei operatyviai reaguoti į epizodinius aplinkos reiškinius (2 lentelė).

2 lentelė. Matavimo įrangos sąveika ir papildomumas

Prietaisas	Duomenys	Vaidmuo vykdamas stebėseną
Zonda	Vandens fizikinė-cheminė sudėtis (pH, ištirpęs deguonis, temperatūra, drumstumas)	Punktiniai, tikslūs matavimai
Plūduras	Analogiški parametrai, tačiau vykdomas nuolatinis ir ilgalaikis jų stebėjimas	Sezoninių tendencijų analizė
Dronas	Chlorofilo koncentracija ir tarša naftos produktais	Ekologiniai duomenys, Vandens žydėjimas, Tarša

Santrauka

Matavimai, atliekami naudojant zondą, stebėsenos plūdūrą ir vandens droną, sudaro vientisą ir tarpusavyje papildančią vandens kokybės duomenų rinkinį. Zondas užtikrina tikslius punktinius fizikinių-cheminių parametrų (vandens temperatūros, pH, ištirpusio deguonies koncentracijos bei drumstumo) matavimus. Stebėsenos plūduras tuos pačius parametrus, papildomai įtraukiant ir elektros laidumą, registruoja nepertraukiamu režimu. Zondo ir plūduru duomenys yra suderinami ir vienas kitą papildo, o jų pagrindinis skirtumas – matavimų dažnis bei stebėsenos trukmė. Vandens dronas (USV) papildo sistemą biologinės kokybės ir paviršinės taršos stebėseną, fiksuodamas chlorofilo koncentraciją bei naftos produktų buvimą vandens paviršiuje. Derinant visas tris platformas, gaunamas išsamus vandens telkinio būklės vertinimas, apimantis fizikinius-cheminius parametrus, biologinius rodiklius ir taršos požymius.





3. Siūloma monitoringo sistema, pagrįsta trimis įrenginiais

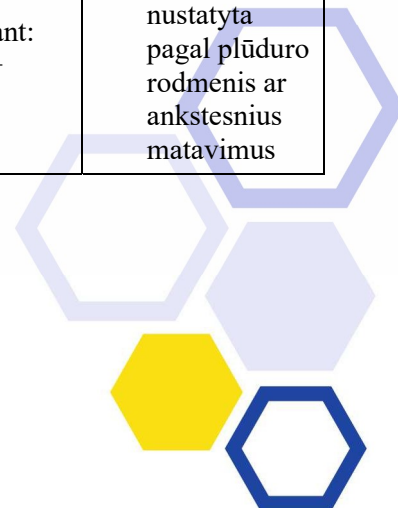
Siūloma ežerų stebėsenos sistema grindžiama papildomu (komplementariu) stebėsenos plūduru, daugiafunkčių zondų ir vandens dronų naudojimu, siekiant užtikrinti tiek duomenų tęstinumą laike, tiek plačią erdvinę aprėptį. Plūdurai veikia ištisus metus arba sezoniskai, užtikrindami nenutrūkstamą pagrindinių fizikinių-cheminių parametru registraciją ir ankstyvą aplinkos incidentų aptikimą.

Zondai reguliariai naudojami tiksliais punktiniais matavimams atlikti, plūdurų duomenims kalibruoti bei vertikaliam profiliavimui vykdyti – tai leidžia įvertinti skirtingų vandens sluoksnių būklę ir patvirtinti automatiškai fiksuojamus pokyčius. Vandens dronai papildo sistemą operatyvia, plataus masto chlorofilo ir naftos produktų stebėseną, leidžiančia identifikuoti dumblių žydėjimo židinius, teršalų plitimo zonas bei teritorijas, patiriančias didelę antropogeninę (turizmo) apkrovą.

Visi trys įrenginiai kartu sudaro integruotą, efektyvų ir plečiamą stebėsenos tinklą, pritaikytą Didžiųjų Mazūrų ežerų ir Trakų regiono ežerų ekosistemų apsaugai (3 lentelė).

3 lentelė. Siūloma stebėsenos sistema naudojant tris įrenginius

Įrenginys	Matavimų tipas	Taikymo tikslas	Rekomenduojamas dažnis	Veikimo sritis
Matavimo plūduras	temp., pH, DO %, DO mg/L, drumstumas, laidumas	Nuolatinė stebėseną, pokyčių ir incidentų fiksavimas	24/7, duomenų analizė kas 1 dieną	Vienas nuolatinis taškas kiekviename dideliame ežere
Daugiafunkcinė zonda	temp., pH, DO, drumstumas, laidumas (neprivalomas)	Plūduro kalibravimas, tikslieji matavimai, vertikalieji profiliai	1×/savaite prieš boją, 2–3×/mėnesį trasos po ežerą“	Matavimo taškai + gylio profiliai
Vandens dronas	Chlorofilas ir naftos produktai	Erdvinis skenavimas, žydėjimo židinių ir taršos aptikimas	1×/savaite, papildomai gavus signalą iš boją	Visa ežero akvatorija (planinė trajektorija)
Integruoti reagavimo veiksmai	–	Aptikus anomaliją: patvirtinimas, Lokalizavimas ir apimties įvertinimas	Nedelsiant: dronas + zonda	Teritorija, nustatyta pagal plūduro rodmenis ar ankstesnius matavimus





Litwa – Polska

4. Ežerų stebėsenos sistemos diegimo programa, naudojant autonominius stebėsenos plūdurus, zondus ir dronus: Giżycko, Kruklankių ir Trakų savivaldybių vandens telkinių pavyzdžiu

Giżycko, Kruklankių ir Trakų savivaldybės yra teritorijos, pasižyminčios išskirtine gamtine, kraštovaizdžio ir turizmo verte bei esančios vienu vertingiausių Europos ežerų sistemų centre.

Intensyvus rekreacinis spaudimas, klimato kaita, kylanti vandens temperatūra, periodiniai cianobakterijų žydėjimai bei teršalų pritekėjimas lemia tai, kad tradiciniai vandens kokybės kontrolės metodai tampa nepakankami. Atsakas į šiuos iššūkius – inovatyvios, **integruotos ežerų stebėsenos sistemos** diegimas, grindžiamas autonominiais **stebėsenos plūdurais**, daugiafunkciais zondais ir vandens dronais.

Siūloma sistema sujungia matavimų tęstinumą (**plūdurai**), tikslumą bei išsamų fizikinių-cheminių parametrų vertikalųjį profiliavimą (**zondai**) bei plačią erdvinę aprėptį ir galimybę operatyviai identifikuoti žydėjimus ar paviršinius teršalus (**dronai**). 2024–2025 m. duomenys iš Niegocino, Tailčio ir Kisaino ežerų bei Trakų regiono vandens telkinių patvirtina ne tik visų trijų įrenginių naudojimo pagrįstumą, bet ir jų **papildomumą (komplementarumą)**: plūdurai fiksuoja epizodinius įvykius ir paros dinamiką, zondai patvirtina vandens sluoksnių būklę, o dronai lokalizuoja paviršinius taršos židinius bei eutrofizacijos zonas.

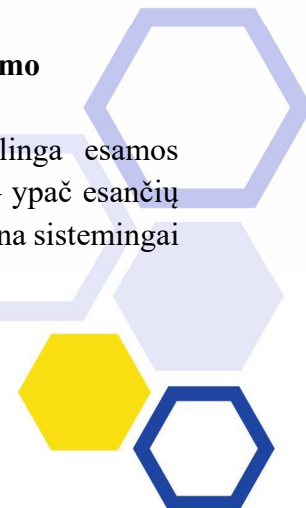
Ši sistema reikšmingai sustiprins regiono **ekologinį ir rekreacinį saugumą**, užtikrindama ankstyvą perspėjimą apie dumblių (cianobakterijų) žydėjimą, deguonies trūkumą bei taršą naftos produktais. Tuo pat metu ji taps veiksmingu valdymo įrankiu savivaldybėms, saugomų teritorijų administracijoms ir aplinkos apsaugos institucijoms, sudarydama sąlygas priimti sprendimus remiantis aktualiais, patikimais ir realiuoju laiku gaunamais duomenimis. **Plūdurų, zondų ir dronų duomenų integracija** į bendrą informacinę sistemą leis kurti operatyvius vandens kokybės žemėlapius, automatinius įspėjimus, mėnesines bei metines ataskaitas ir sezonines analizes.

Programos įgyvendinimas prisidės prie ežerų biologinės įvairovės apsaugos, vandens kokybės gerinimo maudyklų zonose, ekosistemų atsparumo klimato kaitos poveikiui didinimo bei duomenų prieinamumo užtikrinimo gyventojams ir turistams. Projektas visiškai atitinka **Europos Sąjungos strateginius tikslus** vandens išteklių valdymo, ekosistemų apsaugos ir modernių aplinkosaugos technologijų plėtros srityse.

Siūloma sistema turi potencialą tapti **pavyzdiniu modeliu** kitiems ežerų regionams Lenkijoje ir Lietuvoje, kuriant tarpvalstybinį išmanios paviršinių vandenų stebėsenos tinklą.

Pagrindinės rekomendacijos savivaldybėms dėl vandens telkinių kokybės gerinimo

Efektyviam nuotekų ūkio ir kanalizacijos sistemų valdymui pirmiausia reikalinga esamos infrastruktūros plėtra ir modernizavimas, užtikrinant, kad kuo daugiau namų ūkių – ypač esančių prie ežeruose – būtų prijungti prie **centralizuotos nuotekų tvarkymo sistemos**. Būtina sistemingai





Litwa – Polska

inventorizuoti septikus ir nuotekų kaupimo talpyklas (be išleidimo), nes savivaldybės privalo turėti tikslią informaciją apie nelegalių ar nesandarių įrenginių mastą, keliantį riziką teršalams patekti į gruntinius vandenis.

Su tuo glaudžiai susijusi nuotekų tvarkymo įrenginių teisėtumo ir atitikties kontrolė – būtina užtikrinti, kad individualūs nuotekų valymo įrenginiai ir kitos šalinimo sistemos veiktų pagal galiojančius teisės aktus bei turėtų reikiamus leidimus. Šias priemones turi papildyti naujų nuotekų valymo įrenginių statyba ir esamų modernizavimas, o tai reikšmingai sumažins antropogeninį spaudimą ežerų ekosistemoms.

Vandens apsauga prasideda jau erdvinio planavimo procese. Todėl vietos teritorijų planavimo dokumentuose būtina numatyti pakrančių zonų zonavimą, riboti statybas jautriose teritorijose ir užtikrinti natūralios kranto linijos išsaugojimą. Natūralūs krantai atlieka **buferinės zonos** tarp sausumos ir vandens funkciją: lėtina paviršinių nuotėkį, riboja teršalų, biogeninių medžiagų bei suspenduotų dalelių patekimą į vandens telkinius ir mažina krantų erozijos riziką. Ypač svarbų vaidmenį atlieka nendrynai ir švendrai, veikiantys kaip natūralūs biologiniai filtrai, sugeriantys azoto bei fosforo junginius ir stabilizuojantys dugno nuosėdas. Jų išsaugojimas riboja antrinių maistinių medžiagų išsiskyrimą į vandens sluoksnius ir palaiko natūralius ežerų savaiminio apsivalymo procesus.

Taip pat turėtų būti skiriamas dėmesys **plataus masto vandens sulaikymui (retencijai)**, įrengiant retencinius baseinus bei tvenkinius ir išnaudojant pelkes bei užliejamas teritorijas kaip natūralius elementus, ribojančius paviršinių nuotėkį. Svarbu vykdyti ir **upelių renatūralizaciją**: atkurti natūralias vagas bei šalinti hidrotechninius barjerus. Tai pagerintų hidromorfologines sąlygas, padidintų vandens sulaikymą ir užtikrintų sveiką vandens bei pakrančių ekosistemų funkcionavimą. Kitas esminis elementas – **nuolatinė ežerų būklės stebėseną**. Ji apima sistemingus fizikocheminių bei biologinių parametrų ir dugno nuosėdų sudėties tyrimus, leidžiančius identifikuoti taršos šaltinius bei įvertinti taikomų priemonių veiksmingumą. Šioje srityje savivaldybės turėtų glaudžiai bendradarbiauti su valstybinėmis institucijomis. Gerai organizuota stebėsenos sistema leidžia anksti pastebėti nepalankius reiškinius, pavyzdžiui, **cianobakterijų žydėjimą**, ir operatyviai reaguoti mažinant jų žalą.

Pačius ežerus kartais būtina **rekultivuoti tiesiogiai**. Tai apima perteklinių **dugno nuosėdų**, kuriose kaupiasi fosforas ir kiti maistiniai junginiai, šalinimą bei **biomanipuliaciją** – pavyzdžiui, vandens filtratorių populiacijų atkūrimą ar tikslingą žuvų bendrijų valdymą. Kai kuriuose vandens telkiniuose svarstoma taikyti ir **destratifikacijos technologijas**, padedančias mažinti deguonies trūkumą bei riboti maistinių medžiagų koncentraciją gilesniuose vandens sluoksniuose. Svarbi šių veiksnių dalis yra **kranto linijos atkūrimas**, apimantis nendrynų ir pakrančių augmenijos juostų atstatymą. Šios priemonės ne tik gerina vandens kokybę, bet ir sukuria buveines daugeliui žuvų, paukščių bei bestuburių rūšių, taip didindami bendrą ežerų biologinę įvairovę.

Negalima pamiršti ir **gyventojų bei ežerų naudotojų vaidmens**. Ekologinis švietimas ir informacinės kampanijos apie tinkamą nuotekų tvarkymą, pakrančių zonų apsaugą bei atsakingą





Litwa – Polska

vandens telkinių naudojimą yra esminės priemonės siekiant ilgalaikio vandens kokybės gerinimo. Savivaldybės gali remti nekilnojamojo turto savininkus rengdamos mokymus bei teikdamos **subsidijas ar lengvatas**, skatinančias įsirengti individualius nuotekų valymo įrenginius, retencijos sistemas ir **išsaugoti natūralią pakrančių augmeniją**. Bendruomenių aktyvinimas per **dalyvaujamojo biudžeto** mechanizmus bei vietines iniciatyvas didina gyventojų atsakomybę ir tiesioginį įsitraukimą į ežerų apsaugą.

Efektyvi ežerų apsauga reikalauja **tarpinstitucinio bendradarbiavimo**. Tam pačiam hidrologiniam baseinui priklausančios savivaldybės turėtų sudaryti bendradarbiavimo susitarimus, nes lokalus sprendimai tiesiogiai veikia visos vandens sistemos būklę. Svarbu aktyviai pritraukti **išorės finansavimą**, įskaitant Europos Sąjungos fondų lėšas, bei nuosekliai koordinuoti veiksmus su institucijomis, atsakingomis už valstybinį vandens išteklių valdymą.

Klimato kaitos sąlygomis savivaldybės privalo kurti sistemas, didinančias tiek **natūraliąją, tiek techninę retenciją**, kad būtų sušvelnintas sausrų ir staigių liūčių poveikis. Pelkių, nendrynų ir natūralių ežerų pakrančių išsaugojimas didina ekosistemų atsparumą ekstremaliems meteorologiniams reiškiniams, kartu ribodamas **eutrofikacijos riziką** bei hidromorfologinės degradacijos procesus. Būtina atlikti eutrofikacijos rizikos vertinimą kintančio klimato sąlygomis ir parengti atitinkamus **pritaikymo (adaptacijos) planus**.

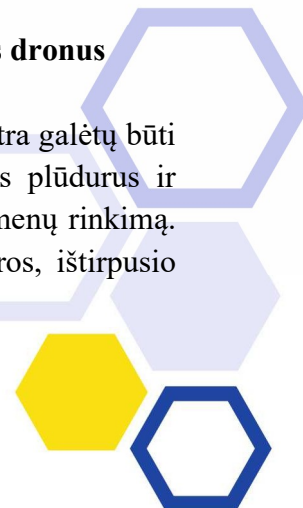
Galiausiai visi šie veiksmai turi būti grindžiami aiškiais **vietos reglamentavimo nuostatomis** ir efektyvia jų įgyvendinimo kontrole. Savivaldybės gali priimti sprendimus, ribojančius trąšų naudojimą pakrančių zonose, reguliuojančius kranto linijos tvarkymą ar plaukiojančių priemonių naudojimą. Ne mažiau svarbūs yra nuotekų tvarkymo sistemų patikrinimai, jų eksploatacijos kontrolė bei **sankcijų ir paskatų sistemos**, skatinančios rinktis aplinkai palankius sprendimus.

Šios rekomendacijos ypač aktualios **Gižycko ir Trakų regionams**, kuriuose ežerai yra esminis kraštovaizdžio ir vietos ekonomikos elementas. Intensyvus turizmas, didelis vasarnamių skaičius bei išsklaidyta kaimo plėtra didina pakrančių zonų degradacijos ir taršos riziką, kylančią dėl nesandarių nuotekų kaupimo talpyklų ar neteisėtų išleidimų. Be to, klimato kaita – ilgesni sausras laikotarpiai ir staigios liūtys – gali dar labiau sustiprinti **eutrofikacijos (vandens žydėjimo) procesus**.

Todėl būtini **kompleksiniai veiksmai**, pagrįsti stebėseną, švietimu, natūralių pakrančių apsauga, tarpusavio savivaldybių bendradarbiavimu ir veiksminga kontrolės sistema. Tik taip pavyks išsaugoti vienus vertingiausių Europos ežerų kraštų bei jų gamtinę ir turistinę vertę.

Stebėsenos sistemos plėtros galimybės naudojant matavimo plūdurus ir vandens dronus

Kruklankų, Gižycko ir Trakų savivaldybių teritorijose ežerų stebėsenos sistemos plėtra galėtų būti grindžiama integruoto matavimų tinklo diegimu. Šis tinklas apimtų telemetrinius plūdurus ir vandens dronus, leidžiančius užtikrinti reguliarių, automatinį ir didelės raiškos duomenų rinkimą. Matavimo plūdurai su integruotais vandens kokybės jutikliais (skirtais temperatūros, ištirpusio





Litwa – Polska

deguonies, chlorofilo koncentracijos, elektros laidumo, trofinės būklės ir meteorologinių parametru matavimui) leistų ištisus metus stebėti ekologinius pokyčius bei operatyviai aptikti nepalankius reiškinius, tokius kaip cianobakterijų žydėjimas ar deguonies trūkumas.

Papildomu sistemos elementu taptų vandens ir oro dronų flotilė, gebanti atlikti vertikalųjį profiliavimą, mėginių ėmimą, litoralų zonų kartografavimą bei vandens kokybės parametru erdvinės sklaidos analizę. Šių technologijų derinys sudarytų modernią ir lanksčią sistemą, užtikrinančią palyginamąją stebėseną abiejose Lenkijos ir Lietuvos sienos pusėse. Tai padėtų efektyviau vykdyti ežerų apsaugos bei rekultivacijos procesus ir suteiktų savivaldybėms aktualią, patikimą bei tikslią informaciją, būtiną efektyviam vandens išteklių valdymui.

Plėtojant stebėsenos sistemą, numatomi **cikliniai mokymai** Giżycko, Krukankų ir Trakų savivaldybių darbuotojams, vandens apsaugos tarnyboms bei vietos suinteresuotosioms šalims. Mokymų tikslas – užtikrinti profesionalų autonominių **matavimo plūduru** ir vandens dronų eksploatavimą bei priežiūrą. Programa turėtų apimti tiek techninius aspektus (įrenginių valdymą, pagrindinę gedimų diagnostiką), tiek esminių vandens kokybės parametru interpretavimą ežerų valdymo kontekste.

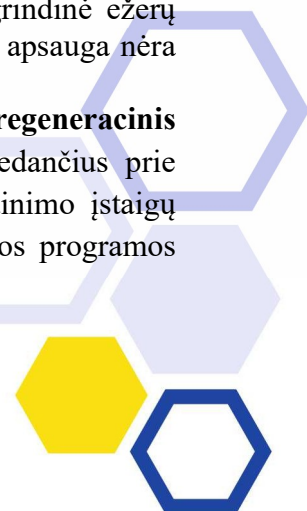
Svarbiu sistemos plėtros elementu taps **viešai prieinamo portalo sukūrimas**. Jame matavimų duomenys būtų pateikiami žemėlapių, diagramų ir ataskaitų forma, suteikiant galimybę juos naudoti priimant sprendimus, vykdam stebėseną bei šviečiant gyventojus. Toks sprendimas padidins administracinių veiksmų skaidrumą, palengvins operatyvią reakciją į ežerų būklės pokyčius ir stiprins vietos bendruomenių ekologinį sąmoningumą.

Gyventojų ir turizmo subjektų švietimas bei informavimas

Krukankų, Giżycko ir Trakų savivaldybių gyventojų švietimas turėtų būti orientuotas į **praktinius veiksmus**, kurie realiai ribotų teršalų patekimą į ežerus ir skatintų kasdienius tvarios vandens apsaugos įpročius. Būtina rengti informacines kampanijas, paaiškinančias, kaip ežerų būklei įtaką daro net ir iš pirmo žvilgsnio nedideli namų ūkių ar poilsiautojų veiksmai: trąšų naudojimas soduose, kritulių vandens nuotėkio nukreipimas, buitinės chemijos pasirinkimas, motorinių transporto priemonių plovimas ar netinkamas atliekų tvarkymas.

Įgyvendinant programą, galima parengti brošiūras, trumpus vadovus, vaizdo medžiagą bei infografikus (pvz., 1 ir 2 priedus). Taip pat tikslinga organizuoti vietinius seminarus apie biogeninių medžiagų ribojimą, pakrančių zonų apsaugą, atsakingą valčių bei kitų **plaukiojančių priemonių** naudojimą ir antrinės ežerų taršos prevenciją poilsiaujant. Svarbiu švietimo veiksmų akcentu turėtų tapti sąsaja su **tvariojo ir regeneracinio turizmo** koncepcijomis, kurios yra pagrindinė ežerų regionų plėtros kryptis. Švietimo kampanijose turėtų būti pabrėžiama, kad vandens apsauga nėra kliūtis turizmui, o atvirkščiai – ilgalaikio konkurencingumo ir atsparumo sąlyga.

Tvarusis turizmas numato vandens ekosistemoms daromo spaudimo mažinimą, o **regeneracinis (atkuriamasis) turizmas** žengia dar toliau – skatina aktyvius veiksmus, prisidedančius prie aplinkos būklės gerinimo. Pavyzdžiui, pakrančių augmenijos atkūrimą, apgyvendinimo įstaigų **vandens pėdsako** mažinimą ar vietinių apsaugos iniciatyvų rėmimą. Šviečiamosios programos





Litwa – Polska

turėtų apimti ne tik gyventojus, bet ir turizmo verslo atstovus: svečių namų, prielaukų, vandens pramogų įrangos nuomos punktų savininkus bei renginių organizatorius. Mokymai ir informacinė medžiaga turėtų pristatyti gerąsias praktikas nuotekų ir kritulių vandens tvarkymo, cheminių medžiagų ribojimo bei turizmo srautų valdymo srityse, kartu skatinant aplinkai palankias rekreacijos formas.

Savivaldybės galėtų remti šias iniciatyvas per **sertifikavimo programas**, apdovanojimus ar finansines paskatas objektams, įgyvendinantiems tvariojo ir regeneracinio turizmo principus. Švietimo veiksmus verta derinti su programomis, įtraukiančiomis gyventojus, mokyklas, nevyriausybinės organizacijas ir turizmo sektorių į praktines veiklas, tokias kaip: **pilietinė vandens kokybės stebėseną**, ežerų pakrančių tvarkymas, apsauginių (buferinių) augmenijos juostų įrengimas, renatūralizacijos darbai ar bendros gamtos stebėjimo iniciatyvos. Tokia veikla tiesiogiai atitinka regeneracinio turizmo idėją, kai regiono gyventojai ir svečiai tampa aktyviais aplinkos būklės gerinimo dalyviais.

Šviečiamoji medžiaga turėtų būti parengta patraukliai ir suprantamai **dviem kalbomis** bei pagrįsta vietos vandens telkinių pavyzdžiais. Tai palengvina problemų atpažinimą ir stiprina bendros atsakomybės jausmą abiejose sienos pusėse. Taip švietimas tampa ne tik žinių perdavimo priemone, bet ir **strateginiu įrankiu**, formuojančiu ilgalaikę ežerų regionų plėtros viziją, grindžiamą vandens apsauga, tvariuoju turizmu bei gamtos išteklių atkūrimu (regeneracija).

Darnus valdymas ir planavimas — ilgalaikių vandens tvarkymo planų rengimas

Gižycko, Kruklankų ir Trakų savivaldybių ilgalaikis vandens ūkio planavimas turėtų būti grindžiamas **darniu požiūriu**, derinančiu ežerų ekosistemų apsaugą su gyventojų poreikiais, turizmo plėtra bei vietos socialiniu ir ekonominiu vystymusi. Pagrindinis šio proceso elementas – **kompleksinių planų parengimas**, apimantis aplinkosauginio spaudimo analizę, ežerų ekologinės būklės vertinimą, grėsmių identifikavimą ir veiksmų prioritetų nustatymą. Šiuose planuose turėtų būti atsižvelgiama tiek į hidrologinius bei hidromorfologinius aspektus, tiek į socialinius ir ekonominius veiksnius, taip sukuriant vientisą strateginį dokumentą, atitinkantį **Vandens pagrindų direktyvos** reikalavimus.

Svarbiu įrankiu šiame procese tampa modernių stebėsenos ir modeliavimo metodų taikymas. Tai leidžia prognozuoti vandens kokybės pokyčius, vertinti rekultivacijos investicijų veiksmingumą bei nustatyti galimas rizikas, susijusias su klimato kaita, intensyvėjančiu turizmu ar žemės ūkio plėtra.

Darnus vandens valdymas reikalauja **daugiasektorio bendradarbiavimo** tarp savivaldybių, vietos vandens tiekimo įmonių, aplinkos apsaugos institucijų, mokslo įstaigų bei gyventojų. Ilgalaikiuose planuose būtina numatyti tiek technines priemones (nuotekų tinklų plėtrą, valymo įrenginių modernizavimą, natūralių buferinių zonų atkūrimą, rekreacinio spaudimo ribojimą), tiek „minkštąsias“ priemones, apimančias švietimą, **pilietinę stebėseną** bei programas, skatinančias taikyti gerąją žemės ūkio praktiką.

Svarbi ir **erdvinio planavimo integracija** su vandens ūkio politika. Tai apima tinkamą užstatymo formavimą, **litoralo (pakrantės seklumos) apsaugą** bei paviršinių nuotekų iš urbanizuotų teritorijų





Litwa – Polska

kontrolę, siekiant sumažinti biogeninių medžiagų apkrovą ežerams. Ilgalaikėje perspektyvoje savivaldybės galėtų siekti **bendros tarpvalstybinės strategijos**, kuri užtikrintų vienodus ežerų apsaugos standartus ir veiksmų suderinamumą abiejose sienos pusėse. Tokia metodika didintų investicijų efektyvumą, gerintų stebėsenos koordinavimą ir palengvintų finansavimo pritraukimą iš Europos Sąjungos programų, tokių kaip „Interreg“ ar „LIFE“.

Ilgalaikių vandens ūkio planų parengimas ne tik stabilizuoja aplinkos apsaugos procesus, bet ir sukuria tvirtą pagrindą tvariam socialiniam bei ekonominiam vystymuisi, turizmo plėtrai ir trijų bendradarbiaujančių savivaldybių gyventojų gyvenimo kokybės gerinimui.

Santrauka ir išvados

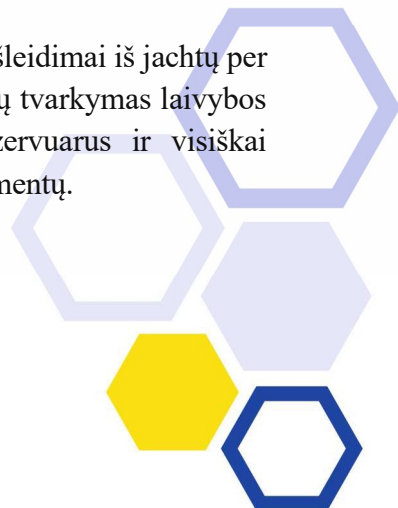
Gižycko, Kruklankų ir Trakų savivaldybių analizuojami ežerai sudaro sudėtingą hidrologinę sistemą, kurioje natūralūs procesai persipina su augančiu turizmu, urbanizacijos ir žemės ūkio spaudimu. Nors šie vandens telkiniai skiriasi dydžiu, gyliu ir rekreaciniu naudojimu, juos sieja bendra savybė – beveik visiems būdingi **eutrofikacijos požymiai**, susiję su pertekliniu biogeninių medžiagų patekimu ir ekologinės pusiausvyros sutrikimais.

Lenkijos ežerai, ypač Niegocinas, Kisainis ir mažesniu mastu Taitis, yra labiausiai apkrauti – jų ekologinė būklė vertinama kaip vidutinė arba bloga, o intensyvus naudojimas didina cianobakterijų žydėjimo, deguonies trūkumo ir litoralo degradacijos riziką. Tuo tarpu Lietuvos ežerai pasižymi didesniu kintamumu: Totoriškių ežeras išlieka labai geros ekologinės būklės, o Onuškie ežerui jau šiandien būtini skubūs **rekultivacijos veiksmai** dėl itin didelės organinės ir biogeninės apkrovos.

Tarp daugelio taršos šaltinių ypatingą dėmesį reikalauja jachtų ir turistinių valčių nuotekų išleidimo problema, kuri – nepaisant dažnai nuvertinamo masto – turi reikšmingą ekologinį poveikį. Vasaros sezono metu ežeruose plaukiojančios valtys sukelia ne tik triukšmą ir dugno nuosėdų resuspensiją (pakartotinį susidrumstimą), bet ir papildomą biogeninių medžiagų bei fekalinių bakterijų apkrovą.

Nepriklausomai nuo laivo dydžio, kiekvienas neteisėtas nuotekų išleidimas į ežerą įneša koncentruotas azoto bei fosforo dozes ir patogeninius mikroorganizmus, taip skatindamas **trofijos (derlingumo) didėjimą**. Mažos vandens apykaitos telkiniuose šių praktikų pasekmės ypač reikšmingos: jos prisideda prie vandens žydėjimo, skaidrumo mažėjimo, pakrančių zonų degradacijos ir rekreacinės vertės praradimo.

Ši problema turi kumuliacinį pobūdį – net nedideli, tačiau nuolatiniai nuotekų išleidimai iš jachtų per kelis sezonus gali reikšmingai pabloginti ežero būklę. Todėl atsakingas nuotekų tvarkymas laivybos sektoriuje – naudojant uostų priėmimo punktus, uždarus sanitarinius rezervuarus ir visiškai eliminuojant išleidimus į ežerus – yra vienas svarbiausių vandens apsaugos elementų.





Litwa – Polska

Turizmo keliamas spaudimas persipina su kitais veiksniais: nesandariomis nuotekų kaupimo talpyklomis, neteisėtais išleidimais iš individualių namų bei trąšų nuotėkiu iš dirbamų laukų. Tuo pat metu stebimas natūralių **buferinių zonų** – nendrynų ir pelkių – nykimas, nors jos natūraliai saugo ekosistemą nuo teršalų. Šių zonų atkūrimas yra būtinas siekiant išlaikyti ekologinį stabilumą.

Dokumente pabrėžiama, kad efektyvi ežerų apsauga reikalauja modernios, nuolatinės ir didelės raiškos stebėsenos sistemos. Šiame kontekste autonominių **matavimo plūdūrų** ir vandens dronų diegimas tampa reikšmingu žingsniu regiono vandens valdymo modernizavimo link. Plūdurai, aprūpinti daugiafunkciais zondais, leidžia registruoti vandens kokybės pokyčius realiuoju laiku, o dronai papildo sistemą biologinės informacijos rinkimu, registruodami chlorofilo koncentraciją bei paviršinius teršalus.

Pagrindinė dokumento išvada – būtinybė vykdyti lygiagrečius veiksmus: modernizuoti nuotekų tinklų infrastruktūrą ir kartu stiprinti gyventojų bei turistų ekologinį švietimą. Žinios apie kasdienių sprendimų poveikį – nuo trąšų naudojimo iki atsakingos laivybos – turi tapti visuotinės.

Programa taip pat akcentuoja ilgalaikių vandens ūkio planų rengimo ir **tarpvalstybinio bendradarbiavimo** tarp Lenkijos ir Lietuvos savivaldybių svarbą. Tik veiksmų koordinavimas, bendri stebėsenos standartai ir integruotos strategijos leis efektyviai riboti biogenų patekimą. Klimato kaitos kontekste toks planavimas tampa ne tik rekomendacija, bet ir būtinybe.

Apibendrinant, ežerų ekologinės būklės gerinimas reikalauja kompleksinio požiūrio. Moderni stebėseną, degradavusių telkinių rekultivacija, natūralių buferinių zonų atkūrimas ir antropogeninio spaudimo mažinimas sudaro pagrindą veiksmingai apsaugoti vertingiausias regiono gamtos išteklius.

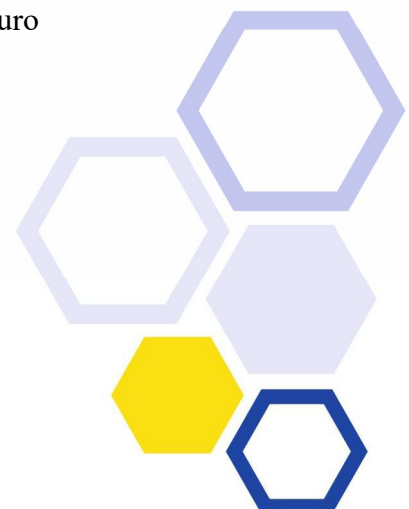
Taikant tokias priemones, Gižycko, Krukłankų ir Trakų ežerai turi realią galimybę ne tik sustabdyti degradacijos procesus, bet ir ateinančiais metais atkurti ekologinį stabilumą bei tvariai atlikti savo gamtines, rekreacines ir ekonomines funkcijas.

5. Priedai

Priedas 1 – Infografika „Kaip rūpintis ežerais“

Priedas 2 – Infografika „Kaip naudoti dronus, plūdurus ir zondus?“

Priedas 3 – Pavyzdinis daugiamėnesis duomenų įrašas iš matavimo plūdūro





6. Šaltiniai

1. Moksliniai šaltiniai ir ataskaitos

- **Vyriausioji aplinkos apsaugos inspekcija (GIOŠ).** (2023). *Paviršinių vandens telkinių kokybės vertinimas – stebėsenos ataskaitos ir duomenys.* wody.gios.gov.pl/pjwp/
- **Lenkijos valstybinis vandenu ūkis „Wody Polskie“.** (2023). *Paviršinių vandens telkinių klasifikacija ir stebėseną.* gov.pl/web/wody-polskie
- **Interreg Lietuva–Lenkija.** (2024). *Projektas LTPL00027 „Ekologinis vandens tinklas“ – transnacionalinė upių ir ežerų apsaugos bei atkūrimo koncepcija. Galutinė ataskaita.* Interreg programa.
- **Korbel, K.** (2008). *Vandenu aplinka – spaudimas ir grėsmės.* korbel.com.pl/files/8_-_srodowisko_wodne.pdf
- **EcoEET.** (2012). *Ežerų trofinių sąlygų vertinimas: metodai ir atvejų analizės.* archive.ecoeet.com/pdf/26/21.pdf

2. Hidrografiniai ir batimetriniai šaltiniai

- **Batymetria.pl.** (n.d.). *Ežerų charakteristika – morfometriniai duomenys ir batimetriniai žemėlapiai.* batymetria.pl/charakterystyka-niegocin.html
- **Batymetria.pl.** (n.d.). *Ežerų morfologija – klasifikacija ir hidrologiniai parametrai.* batymetria.pl/morfologia-jezior/morfologia-jezior.html
- **Geografia24.eu.** (2023). *Lenkijos gamtinės aplinkos įvairovė.* geografia24.eu/303_1_zroznicowanie_srodowiska_przyrodniczego

3. Informaciniai ir edukaciniai šaltiniai (Mazūrų ežerai)

- **Mazury24.eu.** (2023). *Mazūrų ežerai džiūsta – vandens lygio pokyčių analizė.* mazury24.eu/aktualnosci
- **ZeglarstwoJestEko.pl.** (2023). *Didžiųjų Mazūrų ežerų trasos vandens būklė.* zeglarstwojesteko.pl/post/stan-wod
- **VIPCzarter.pl.** (n.d.). *Niegocino ežeras – aprašymas ir parametrai.* vipczarter.pl/jeziora/jezioro-niegocin/
- **CzescGizycko.pl.** (2024). *Švarūs Mazūrai technologijų dėka – dronai ir matavimo plūdurai Niegocino ežere.* czescgizycko.pl/czyste-mazury-dzieki-technologii
- **TVP3 Olsztyn.** (2023). *Varmijos ir Mazūrų vandens kokybė – tyrimų apžvalga.* olsztyn.tvp.pl/czystosc-wod
- **Gazeta Olsztyńska.** (2023). *Varmijos ir Mazūrų ežerų ekologinė būklė 2023 m.* gazetaolsztynska.pl/Jeziorka-Warmii-i-Mazur
- **Egoturystyka.pl.** (n.d.). *Varmijos ir Mazūrų ežerų vandens kokybės būklė.* egoturystyka.pl/stan-jakosci
- **Varmijos ir Mazūrų enciklopedija.** (n.d.). *Kisainio ežeras – sandara ir ekologinė būklė.* encyklopedia.warmia.mazury.pl/Jeziorko_Kisajno

4. Geografiniai ir enciklopediniai šaltiniai





Litwa – Polska

- **Wikipedia.** (2024). *Niegocino ežeras*. pl.wikipedia.org/wiki/Niegocin
- **Wikipedia.** (2024). *Kisainio ežeras*. pl.wikipedia.org/wiki/Kisajno
- **NASA / OpenStreetMap.** (n.d.). *Mazūrų ežerų krašto topografiniai ir hidrografiniai duomenys*.

5. Lietuviški šaltiniai (Trakų regionas)

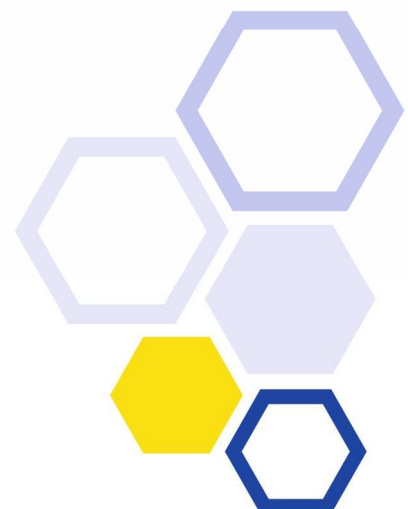
- **Trakų istorinis nacionalinis parkas.** (n.d.). *Trakų krašto ežerai – morfologija ir ekologinės charakteristikos*. trakai-visit.lt
- **Lietuvos aplinkos apsaugos agentūra.** (2023). *Ežerų vandens stebėsena – Trakų regiono duomenys*. aaa.lrv.lt
- **Lietuvos hidrografinis atlasas.** (n.d.). *Ežerų duomenys*. statyburinka.lt

6. Techniniai ir įrangos šaltiniai

- **Mobile Monitoring.** (n.d.). *Autonominis matavimo plūduras – techninė specifikacija*. mobilemonitoring.pl/produktu/boje
- **Mobile Monitoring.** (n.d.). *Autonominis matavimo laivas (USV) – techniniai duomenys*.
- **Hanna Instruments.** (n.d.). *HI98594 daugiafunkcinis vandens kokybės matuoklis – techninis vadovas*. veldshop.nl/hanna-instruments

7. Vietos institucijos ir vieši duomenys

- **Giżycko savivaldybės administracija.** (n.d.). *Regiono aplinkos ir hidrologiniai duomenys*. gizycko.bialystok.lasy.gov.pl
- **MOPR Giżyckas.** (n.d.). *Kisainio ežeras – plaukiojimo sąlygos ir charakteristika*. mopr.com.pl/region/kisajno-jezioro/



Kaip saugoti ežerus?

Prisijunkite prie kanalizacijos arba įsirenkite vietinius nuotekų valymo įrenginius



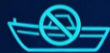
Išsaugokite natūralias buferines zonas su nendrynais pakrantėse



Venkite trašų ir chemikalų naudojimo arti vandens



Neišleiskite nuotekų iš valčių – naudokitės uostuose esančiais surinkimo punktais



Dalyvaukite pakrančių švarinimo akcijose



Švarūs ežerai ateities kartoms!



Interreg



Co-funded by
the European Union

Lithuania – Poland

Kaip ežerų stebėsenai naudoti droną, plūdūrą ir zondą?



Vandens dronas (USV)

- paleidimas nuo kranto
- autonominio maršruto nustatymas programėlėje (GPS, kliūčių vengimas)
- chlorofilo ir taršos stebėseną
- automatinis grįžimas po misijos (iki 12 val. darbo)



Matavimo plūduras

- inkaravimas svarbiame ežero taške
- saulės kolektorių ir SIM kortelės pajungimas
- nuolatinių matavimų (pH, deguonis, drumstumas, chlorofilas) konfigūravimas su SMS perspėjimais
- duomenys internetu „debesų“ saugykloje



Matavimo zondas

- kalibravimas prieš naudojimą
- panardinimas į pasirinktą gylį (iki 4 m laido)
- ežero būklės stebėseną realiuoju laiku

**Šiuolaikinė stebėseną
švariems ežerams!**

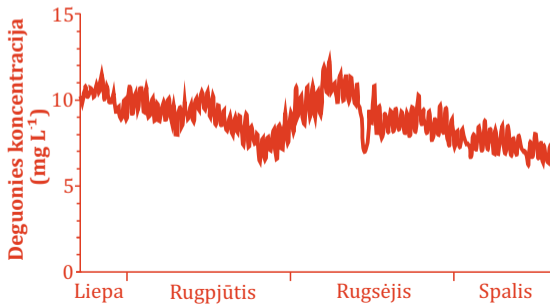
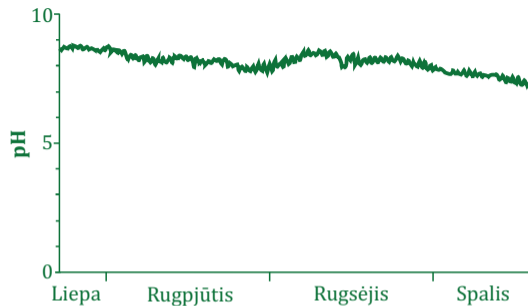
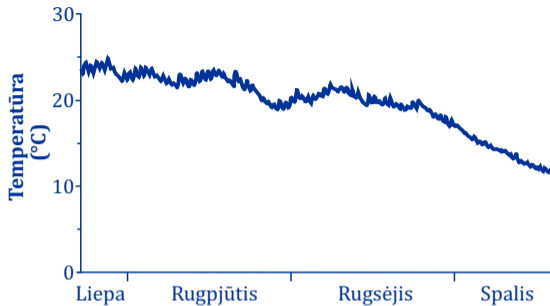


Interreg



Co-funded by
the European Union

Lithuania – Poland



Pavyzdiniai matavimai atlikti per kelis mėnesius naudojant Niegocino ežere esantį matavimo



Interreg
Lithuania – Poland

