KESKKONNAKAITSE ja –TEHNOLOOGIA TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUSE PROGRAMMI

TEABERAAMAT 2010-2015

Sisukord

Elussüsteemide dünaamika loodushoiu kontekstis (EDULOOD)	6
Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevus" (KESTA) programmi vahehindamine	12
Looduskaitse rakendusuuringud (LOORA)	18
TEaduspõhiste prognooside väljatöötamine ja RIskide KVANTifitseerimine kiireks ja täpseks ohule reageerimiseks Eesti maismaa, veekogude, ranniku ja õhustiku kontekstis - TERIKVANT	24
Ülevaade programmist	36
KESTA programmi nõukogu	40
KESTA alategevuse Eesti veekeskkonna observatoorium (VeeOBS) ülevaade	44
Elurikkuse, mulla ja maapõue andmesüsteemide geoinformaatiline arendus (ERMAS)	56
Bioloogiliselt raskesti lagunevate ainete kõrvaldamine reoveest füüsikalis-keemiliste ja bioloogiliste meetoditega vesikeskkonna saastekoormuse vähendamiseks (CHEMBIO)	66
Eesti Keskkonnaobservatooriumi biosfääri ja atmosfääri alane teadus- ja arendustegevus (BioAtmos)	72
Materjalid kavandatava KESTA programmi teaberaamatu jaoks	72
EESTI KLIIMA JA KESKKONNASEISUNDI VÕIMALIKE MUUTUSTE HINDAMINE ATMOSFÄÄRI-, MERE- JA JÕGEDE ÄRAVOOLU DÜNAMILISTE MUDELITE TULEMUSTE PÕHJAL (EstKliima)	88

Koostaja Ain Vellak

Toimetaja Andres Tõnisson

Kujundaja

Ain Vellak

Hea lugeja!

Teie käes on raamat keskkonnatehnoloogiaalastest tegevustest Eestis, mida viidi ellu samanimelise riikliku programmi raames. Edasiminek keskkonnatehnoloogilistes lahendustes tagab riigile võimekuse paljudes sotsiaalmajanduslikes sfäärides. Järjest suurenev surve keskkonnakaitseliste põhimõtete rakendamises ning uudsetes keskkonnatehnoloogiliste lahenduste leidmises nõuab intensiivset ja kõrgtasemelist teadus- ja arendustööd.

Eesti keskkonnakaitse- ja tehnoloogia programm on Haridus- ja Teadusministeeriumi, Keskkonnaministeeriumi, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ning Põllumajandusministeeriumi vaheline koostööprogramm, mille raames viiakse ellu Eesti keskkonnakaitse ja -tehnoloogiaalase teadus- ja arendustegevuse ning innovatsiooni prioriteetseid tegevusi, olles uuenduslikud ja paindlikud erinevate sektorite vahel ning andes vastavates valdkondades sotsiaalmajanduslikult kaalukaid tulemusi rakendamiseks Eestis või mujal Euroopas.

Osaliselt on tegemist ühiskondlikult vajalike, pikaajalise sotsiaalmajandusliku tähendusega uuringutega (näiteks kliimamuutusega kohanemine jne), mis ei pruugi anda kohest tähenduslikku tulemit rakendusplaanis. Teisalt on tehtud uurimistöid, mida rakendatakse koheselt praktikas. Siia alla kuuluvad näiteks veepuhastustehnoloogia arendus, planeeringutele teaduspõhiste lähenemiste pakkumine, andmehõive organiseerimine jne.

Peamised uurimisvaldkonnad on olnud looduskaitse, kliimamuutuste hindamine, keskkonnamõõtmised ja sellel põhinevad analüüsid, andmehõive tõhustamine, riskide hindamine jne.

Käesolevas teaberaamatus on esitatud erinevad uurimistööd ja selle käigus saadud tulemused mitmetes valdkondades.

Suur tänu teadlastele, kes on leidnud selgitused ja lahendused erinevatele keskkonna- ja sotsiaalsetele protsessidele. Ilmselgelt aga vajatakse jätkuvaid uuringuid keskkonnatehnoloogia valdkonnas.

KESTA programmi juht

Elussüsteemide dünaamika loodushoiu kontekstis (EDULOOD)

Elussüsteemide dünaamika loodushoiu kontekstis (EDULOOD)

*Prof. Valdo Kuusemets, Dr. Ave Liivamägi, Dr. Kadri Kask (**Eesti Maaülikool**)*
Dr. Jaanus Terasmaa, Dr. Tiit Vaasma, Dr. Egert Vandel, Annika Mikomägi, Dr. Liisa Puusepp,
*Dr. Marko Vainu (**Tallinna Ülikool**)*
*Dr. Kersti Püssa, Dr. Rein Kalamees, Ene Kook, Prof. Kristjan Zobel (**Tartu Ülikool**)*

Inimtegevuse tulemusena on vähenenud nii elustiku mitmekesisus kui ka isendite arvukus. Eeskätt on tegemist muutustega maastikus ja maakasutuses. Seda mõju saab uurida indikaatorliikide kaudu kuivõrd nad on rohkem sõltuvad keskkonna tingimustest ja reageerivad nende muutustele kiiresti. Sellisteks indikaatorliikides sobivad paremini just haruldased ja /või ohustatud liigid, kuna nemad on reeglina muutustele vastuvõtlikumad. EDULOOD projekt koondas uurimusi mitmete erinevate organismiliikide, eluskoosluste ja ökosüsteemide ajalise dünaamika kohta, rõhutades looduskaitselisi aspekte. Projekti raames viidi läbi uuringuid kuue teema (alategevuse) raames. Järgnevalt tutvustame neid alategevusi lähemalt.

1. **Kirde-Eestis asuvate kaevandamise ja veerežiimi muutuste järel mõjutatud uuringualade lõplik valik, mõjurite analüüs ja klassifikatsioon (TLÜ)**

Alategevuse täitmine algas varasematest uuringutest pärinevate olemasolevate materjalide koondamise ja süstematiseerimisega ning vajadusel digitaliseerimisega (artiklid, raamatud). Defineeriti Kirde-Eestis asuvate kaevandamise ja veerežiimi muutuste kaudu mõjutatud järvedele mõjuvad survetegurid: (a) põlevkivi kaevandamine (Estonia, Viru ja Ahtme kaevandused, Sirgala ja Viivkonna karjäärid); (b) liiva kaevandamine (Pannjärve karjäär); (c) turba kaevandmine (Oru turbaväljad); (d) veehaarded (Vasavere põhjaveehaare ja Konsu tehnoloogiline veehaare); (e) rekreatsioon (puhkamine, sportimine, ujumine, kalastamine, looduses liikumine); (f) atmosfäärne saaste (elektrijaamad, keemiatööstus); (g) kraavitamine (umbjärvede muutmine läbivoolujärvedeks).

Tulemusi on otsese sisendina kasutatud Kurtna MKA kaitsekorralduskava koostamisel ning edasiste kaitsetegevuste planeerimisel.

2. **Kirde-Eesti muudetud veerežiimiga ökosüsteemide kompleksne uuring (TLÜ)**

Ida-Virumaal asuv Kurtna järvestik on üks Eesti järvederohkeimaid piirkondi, kus ligikaudu 30 km² suurusel alal paikneb 40 eritüübilist väikejärve, millest 18 kuulub Natura elupaigatüübi järvede hulka. Nendes omakorda pooled on eriti tundlikud ja kaitset vajavad liiva-alade vähetoitelised järved, kus kasvavad mitmed II ja III kategooria kaitsealused liigid. Väärtuseks on ka metsarohke maastik, kus esineb samuti kaitsealuseid liike. Projekti käigus koguti andmeid ohustatud järvede hüdromorfoloogia, hüdrokeemia, hüdrofüüsika, elustiku ning setete koostise kohta, samuti viidi läbi piirkonna meteoroloogilise andmestiku koondamine.

Alategevuse käigus läbi viidud (muudetud veerežiimiga) ökosüsteemide kompleksne uuring on oma laiapõhjalise lähenemisega loonud võimaluse prognoosida hüdroloogilist režiimi mõjutava inimtegevuse tagajärgi ja anda juhiseid ennetavateks kaitsemeetmeteks ökosüsteemi seisundi stabiliseerimiseks või parandamiseks. Leiti, et tagamaks Kurtna järvestiku ja seal oleva elustiku püsimajäämine ka suure antropogeense surve all, tuleb probleemile lahenduse otsimisele läheneda muuhulgas ka kommunikatiivsest vaatenurgast, et kaotajaks ei jääks loodus. Inimesed peavad mõistma, kuidas nende valikud ja suhtumine mõjutab loodust. Probleem on selles, et Eestis on keskkonnakorralduses seni vähe tähelepanu pööratud avatud suhtlusele ja ühise arusaamise kujundamisele.

3. Oluliste abiootiliste faktorite uuring intensiivsest inimtegevusest mõjutatud ökosüsteemides (EMÜ)

Alategevuse käigus viidi Kirde-Eestis läbi kompleksne liblikakoosluste uuring. Selgitati valitud indikaatorliigi – mustlaik-apollo – levikut, elupaiganõudlust ja maastikuliste tegurite mõju liigi käekäigule. Teiseks viidi läbi avaliku arvamuse uuring tööstuspärandi ja selle maastikuliste mõjude kohta ning koostati ülevaade rikutud alade taastamise praktikast teistes riikides.

Töö tulemusena leiti liblikakoosluste ja mitmete elupaiga ning maastiku abiootiliste parameetrite omavahelised seosed. Leiti, et indikaatorliigi (mustlaik-apollo) leviku muutused on seotud elupaiga kvaliteedi ja maastikuliste tingimuste muutustega. Töö tulemuste põhjal on avaldatud 2 ETIS kategooria 1.1 artiklit, 1 on aktsepteeritud avaldamiseks ja 2 käsikirja on valminud avaldamiseks saatmiseks. Uurimistöö tulemuste alusel on kaitstud 2 doktoritööd, ja saadi oluline sisend kolmanda doktoritöö valmimisele (eeldatav kaitsmine 2016)

4. **Ohustatud taimeliikide mikroevolutsiooniliste muutuste uuring**

Uuring toimus põhimõttel: oma koosluse liigid vs võõra koosluse liigid. (Joonis 1) Potieksperimendi käigus soovisime selgitada, mil määral on vanades ja laiguti esinevates poollooduslikes ohustatud kooslustes (eelkõige loopealsetel) elavad liigid koevolutsioneerunud tasemeni, kus nende edukas eksistents sõltub kaaslevate liikide konkreetsetest genotüüpidest.

Eksperimendi tulemusena selgus, et taim-taim koevolutsioonil on kooseksisteerivate loopealseliikide jaoks oluline tähtsus. Juhul kui koos pandi kasvama sellised genotüübid, mis olid pärit ühest ja samast kooslusest, siis olid selged erinevused, võrreldes erinevatest kooslustest pärit genotüüpidega (samas, liigilised koosseisud olid kõikides töötlusvariantides samad). See näitab, et paarisaja-aastase kooseksisteerimisega seonduvad mikroevolutsioonilised muutused taim-taim koevolutsioonis on piisavad, et mõjutada liikide säilimise või eduka levimise strateegiaid. See omakorda tähendab, et loopealsete taastamise puhul tuleks tingimata kasutada seemnemateriali, mis pärineb ühest ja samast ning soovitatavalt ka ruumiliselt lähedasest loopealsekooslusest.

5. **Suktsessiooniliste ökosüsteemide ja mikroelupaikade tähtsus kaitstavate taimeliikide populatsioonidünaamika seisukohalt (TÜ)**

Tänu muutustele majandustegevuses (karjatamise vähenemine) on toimunud looniitude pindala märkimisväärne kahanemine. Samas on oluliselt kasvanud kaevandusalade pindala. Uurisime lubjakivikarjääride tähtsust lubjarikastele niitudele iseloomulike taimeliikide refuugiumina. Üritasime saada selgust, kas hüljatud lubjakivikarjäärid võivad olla omamoodi „päästerõngaks" lubjarikastele niitudele omaste liikide püsimisele.

Meie uurimusele tuginedes saab öelda, et Eesti ammendatud peakivikarjäärides tekib ka ilma aktiivse taastamiseta liigirikas taimestik, kus leidub loopealsetele iseloomulikke lubjalembeseid taimi. Oluline on see eeskätt seetõttu, et kui meie looniidud suure hooga kinni kasvavad, siis karjääride kinnikasvamine võtab oluliselt kauem aega ja nii antakse

Joonis 1 Potieksperimendi väli

looliikidele üks alternatiivne elupaik juurde. Ühtlasi annab see lisavõimaluse vastava piirkonna looliikide genotüüpide säilimiseks.

6. **Haruldaste ja ohustatud taimeliikide ökoloogilised ja populatsioonigeneetilised uuringud (TÜ)**

Eesti pool-looduslikes rohumaakooslustes kasvab muude kooslustega võrreldes ebaproportsionaalselt suur hulk haruldasi ja/või ohustatud taimeliike. Need liigid on valdavalt valguslembesed ja nende haruldaseks muutumise on põhjustanud lähiminevikus Eesti põllu- ja metsamajanduses toimunud muutused. Ühest küljest üleminek intensiivsemale põllu- ja metsamajandusele ja teisalt suure hulga poollooduslike koosluste majandamise lõppemine. Need tegurid on halvasti mõjunud ennekõike mõõdukaid häiringuid armastavate taimeliikide olukorrale. Selliste liikide populatsioonide kaitse ja asjatundlik majandamine on tähtsal kohal Eesti bioloogilise mitmekesisuse säilitamisel. Alategevuse käigus fokusseeriti neljale kaitsealusele taimeliigile.

Joonis 2 Harilik kobarpea (Ligularia sibirica) – I kaitsekategooria liik

Joonis 3 Sinine kopsurohi (Pulmonaria angustifolia) – I kaitsekategooria liik.

Harilik kobarpea *(Ligularia sibirica)* (Joonis 2). Uurisime looduslikke populatsioone ja kogusime materjali populatsioonisisese geneetilise varieeruvuse uurimiseks. Probleemi akuutsust tõestas (ebameeldiva üllatusena) asjaolu, et võrreldes projekti planeerimisetapiga oli tööde alustamise hetkeks üks populatsiooni hävinud ja üks oluliselt vaesustunud. Materjal populatsioonisisese geneetilise varieeruvuse hindamiseks on hetkel veel töötlemisel. Valminud analüüside tulemusena (mis puudutavad morfoloogilise plastilisuse uurimist) võime aga väita, et hariliku kobarpea morfoloogiline plastilisus oli oluliselt ja positiivselt seotud populatsiooni isendite arvuga, adaptiivset fenotüübilist plastilisust aga võib pidada võimalikuks ja tõenäoliseks ainult kõrge keskmise heterosügootsuse astme puhul. Seetõttu saame me kaudselt väita, et hariliku kobarpea vähese elujõulisuse põhjuseks võib olla kriitilisest piirist allapoole vähenenud populatsioonisisene geneetiline varieeruvus.

Sinine kopsurohu, palu-karukella ja põhjatarna puhul uurisime me nii looduslikke kui ka eksperimentaalseid (enda tehtud) populatsioone. Majandamise eksperimente nende liikidega alustasime enne KESTA programmi algust.

Sinine kopsurohi *(Pulmonaria angustifolia)* (Joonis 3). Eestis on liik oma leviku põhjapiiril. Kõik Eesti teadaolevad sinise kopsurohu populatsioonid on väga väikesed, ühes neist on hetkel teada alla 10 isendi, ülejäänud koosnevad vaid mõnekümnest taimest. On ilmne, et liik on nõrga konkurentsivõimega ning ta paljuneb ja levib suurte raskustega. Veel läinud sajandi 1930. aastatel oli leiukohti kümmekond. Konkreetsed uurimused selle liigi nõudluste kohta aga seniajani puudusid.

Taimede põhjalikud mõõtmised viidi läbi kahes looduslikus populatsioonis, kus mõõdeti ka lokaalseid valgustingimusi (iga isendi kohal) selgitamaks: a) kuidas mõjutavad valgustingimused antud liigi morfoloogiat, b) kas ja kuidas erinevad morfoloogiliste tunnuste aktiivse plastilisuse mustrid looduslikul valgusgradiendil kahe erineva isoleeritud populatsiooni vahel, c) kas plastilisus valgustingimuste suhtes (või selle puudumine) võib seletada selle liigi vähest arvukust ning ohustatust.

Lisaks jätkasime meie endi loodud eksperimentaalse sinise kopsurohu populatsiooni majandamist ning tegime seal põhjalikud taimede mõõtmised-loendused ning sarnaselt looduslikele populatsioonidele mõõtsime lokaalseid valgustingimusi. Taimed olid selles eksperimentaalses populatsioonis istutatud valgusgradiendile 8 transektina, igas transektis 15 taime. 4 transekti niideti igal aastal, 4 transekti olid majandamata. Antud eksperimentaalses populatsioonis oli peamiseks eesmärgiks uurida majandustegevuse (niitmise) mõju antud taimeliigi elujõulisusele.

Kogusime ka kahest eelpoolmainitud looduslikust populatsioonist materjali geneetiliste analüüside tarbeks. Parema ülevaate saamiseks kogusime materjali ka hariliku kopsurohu *(Pulmonaria obscura)* isenditelt. Geneetiliste analüüside käigus uurisime liigi ITS1 ja ITS2 järjestuste liigisisest polümorfismi.

Kasutades mikrosatelliitide meetodit uurisime sinise kopsurohu looduslike populatsioonide geneetilist varieeruvust.

Meie uurimuste põhjal saab väita, et sinine kopsurohi ei ole plastiline valgustingimuste suhtes – st et tal puudub võime kohaneda muutuvate valgustingimustega (näit. kasvukohtade võsastumine, kilpjala ohtruse suurenemine). Samas on talle soodne mõõduka varju olemasolu – õievarte, seemnete ja järglaste arv sõltusid nii niitmisest kui ka hajusa valguskiirguse suhtelisest hulgast (ISF). Kõrges rohus (niitmata töötluses) puudusid järglased üldse ning päris puude all oli see oluliselt väiksem kui mõõdukas varjus.

Sinise kopsurohu ITS1 ja ITS2 järjestuste liigisisese polümorfismi analüüsi tulemusena leidsime, et see on liigisiseselt väga varieeruv ning et suure tõenäosusega on tegemist hübriidse liigiga, mille üheks võimalikuks esivanemaks on meil laialt levinud harilik kopsurohi (*Pulmonaria obscura*). Sinise kopsurohu kahe loodusliku populatsiooni geneetilist varieeruvuse uuringu esialgsed tulemused näitavad, et kaks teineteisest isoleeritud populatsiooni ei erine omavahel märkimisväärselt.

Looduskaitselisest seisukohast võetuna: a) sinise kopsurohu populatsioonide taastamine/ uute populatsioonide loomine on täiesti mõeldav tegevus – istutatud taimedest läks kasvama ning õitses järgmisel aastal pärast istutamist u 95% istutatud taimedest), b) olemasolevate populatsioonide jätkusuutlikkuse tagamiseks on vajalik nende populatsioonide tundlik järjepidev majandamine.

Palu-karukell (*Pulsatilla patens*) (Joonis 4). Sarnaselt sinisele kopsurohule on ta häiringutest sõltuv taimeliik, mille ohtrust on mõjutanud muutused inimtegevuse iseloomus viimase poole sajandi vältel.

Projekti käigus toimusid taimede mõõtmised ja lokaalsete valgustingimuste mõõtmised palu-karukella eksperimentaalses populatsioonis. Antud eksperimendis istutasime me välja kahe aasta vanused taimed vanasse männikusse (70 a.), noorendikku (20 a.) ja raielangile, igale poole 4-korduses 20 taime. Peamiseks eesmärgiks oli uurida metsamajanduse (raie) mõju taimeliigile.

Eksperimendi rajamine oli üliedukas – kõik istutatud taimed läksid kasvama ja olid elus ka aasta pärast, so esimesel vaatlusaastal. Kõige suurema biomassiga olid raiesmikule istutatud taimed, millest mitmed õitsesid ja viljusid juba teisel kevadel. Viimasel vaatlusaastal registreeriti õitsenud ja

Joonis 4 Palu-karukell (Pulsatilla patens) – II kaitsekategooria liik

viljunud taimede ümbruses ka üksikuid tõusmeid. Noorendikus ja täisealises metsas seevastu ei jõudnud ükski taim generatiivsesse faasi. Taimede suremus oli antud eksperimendi jooksul suhteliselt väike, erandi moodustasid ainult täisealisesse männikusse istutatud taimed, millest ~40% konkurentsis tavaliste metsasammaldega (palusammal, laanik) alla jäid.

Põhjatarn (*Carex mackenziei*). Viimase poole sajandi vältel, mil rannaniitude traditsiooniline majandamine on katkenud, on see tarnaliik muutunud Eestis üliharuldaseks. Uurisime eksperimentaalselt loodud põhjatarna populatsiooni arenemist traditsioonilise majandamise (meie katses hiline niitmine) tingimustes ja ilma. Ettekasvatatud katsetaimed istutati Lääne-Eestis sobivale rannaniidule pikki niiskusgradienti. Kuude transekti (kolme plokina; niidetud ja niitmata) istutati 420 taime. Majandamiseksperimendi käivitasime teisel aastal, kui taimed olid korralikult juurdunud ja kasvama hakanud.

Põhjatarnad arenesid rannaniidukamarasse istutatuna väga aeglaselt. Kui esimese talve elas üle u 60% istutatud taimedest, siis sama aasta vegetatsiooniperioodi lõpuks oli elus 30% taimedest. Hiline niitmine mõjus põhjatarnale väga soodsalt – niidetud transektides kasvas katse viimasel aastal keskmiselt poole rohkem taimi kui majandamata transek-

tides. Et põhjatarn ei kasvanud katseaastate jooksul piisavalt suureks, et õitseda, viljuda ja levida, jäi hulk planeeritud ja oodatud andmeid/tulemusi saamata.

Tehtud uuringud põhjatarna looduslikes populatsioonides (nii majandamata kui ka majandavatel rannaniitudel) näitasid, et põhjatarn on kõige edukam niidetavatel rannaniitudel. Suure karjatamiskoormusega niitudel ei jõua põhjatarn enamasti viljuda ning seeläbi on seemneline uuenemine seal takistatud. Majandamata rannaniitudel jääb põhjatarn valguskonkurentsis selgelt alla teistele taimeliikidele (eeskätt pilliroole).

Meie eksperimendist lähtudes on ka põhjatarna uute populatsioonide loomine istutamise läbi võimalik. Kuna see liik on Eestis väga haruldaseks muutunud tuleks tõsiselt kaaluda uute populatsioonide loomist sobivatesse kohtadesse. Olemasolevate leiukohtade võsastumine tuleks peatada ja tekitada mõõdukaid häiringuid taimede praegustes kasvukohtades. Selleks, et vastavate liikide populatsioone tundlikult ning efektiivselt majandada on aga ülimalt oluline lähtuda tehtud uuringutest, et igal juhul vältida kasu asemel pöördumatu kahju tekitamist.

Kokkuvõtteks tõestas katse, et põhjatarna populatsiooni loomine istutamise teel on võimalik. Oleme varem üritanud samalaadse katse tegemiseks rannaniidule põhjatarnu külvata, aga see on täielikult ebaõnnestunud.

Viimase kolme mudelliigi puhul osutus peamiseks eksperimentaalselt tõestatavaks ökoloogiliseks faktoriks keskkonna häiringute režiim. Võrreldes lähtetasemega on meil nüüd siiski oluliselt rohkem informatsiooni mitme haruldase ja ohustatud taimeliigi ökoloogiast ja populatsioonigeneetikast, mida on võimalik kasutada liikide populatsioonide taastamisel ja kaitsekorralduslike võtete väljatöötamisel.

Kokkuvõte

Projekti tegevused on olnud küllalt tulemuslikud – on antud sisend Kurtna järvede kaitsekorraldusse, järvede uurimistulemusi on tutvustatud nii siseriiklikul kui rahvusvahelisel tasandil, algatati üleriiklik diskussioon keskkonnaväärtuste kaitse teemal. Võrreldes projektieelse lähtetasemega on saavutatud uus oluline teadmus Kirde-Eestis asuvate kaevandamise ja veerežiimi muutuste läbi mõjutatud ökosüsteemide toimimises ning mõjurite (survetegurite) defineerimises.

Projektis saadud tulemusi on kasutatud ning kasutatakse ka Eesti loopealsete taastamise projektis, mitmete ohustatud liikide kaitsekorralduskavade planeerimisel. Lisaväljundiks on mõju keskkonnakommunikatsiooni praktikate arengule Eestis.

Kõik projekti tegevused on jätkatavad – alategevustega alustatud uuringud on juba andnud tulemusi ja tõstatanud ka uusi probleeme, mis on adekvaatseks sisendiks jätkuprojektidele.

Üldsust on projektist teavitatud kohalikes ajalehtedes, Eesti Looduses, esinetud on konverentsidel ja raadios. Avaldatud on mitmeid teadusartikleid. Artiklitele on tulemas kindlasti ka veel täiendust, kuna tulemuste saamisest teadusartikli publitseerimiseni kuluv aeg võib olla teinekord üsna pikk.

Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevus” (KESTA) programmi vahehindamine

Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevus” (KESTA) programmi vahehindamine

VAHEHINDAMISE LÕPPARUANNE
InterAct Projektid & Koolitus OÜ
1. detsember 2014
Tellija: **Sihtasutus Eesti Teadusagentuur**

InterAct
Projektid & Koolitus OÜ

Euroopa Liit
Euroopa
Regionaalarengu Fond

Eesti tuleviku heaks

Vahehindamise tulemused

KESTA programmi seos teoreetilise raamistikuga

Eesti tänane valitsemissüsteemi korraldus on mõjutatud **NPM ideoloogia** poolt. Kuigi esialgsed KESTA programmi elluviimise ideed olid ambitsioonikad ja pigem püüdsid järgida horisontaalse valdkondade vahelise poliitika kujundamise loogikat, siis tegelikkuses oli ministeeriumitel väga raske väljuda oma tavapärasest käitumismustrist ning valdkondlikest juhtimispõhimõtetest. Programmi administratiivses korralduses domineerisid hindajate poolt läbiviidud intervjuude põhjal osapooltega eelkõige NPM tunnusjooned. Eesmärkide mõõtmise osas olid olulised konkreetsed tegevused, mille sisendeid (näiteks teadlaste palgakulu, reisikulud) ning väljundeid (näiteks korraldatud konverentside, välitööde, kohtumiste, publikatsioonide arv) saab mõõta. Sisulist tagasisidet alategevustele valdavalt ei antud[1]. Taoline NPM tunnusjoontega tegevus ei eelda kõrgemal valitsemise tasandil laiemat koordineerimist. NPM järgi on eelkõige oluline tõhus tulemuste saavutamine ning seega koostöö jääb tahaplaanile, mis on organisatsioonide jaoks üksikuna võttes kuluefektiivsem moodus tegevuste elluviimiseks kui koostöö. Omavahelist teadmiste, oskuste, ressursside jagamist ei toimu. Samas ei teki laiemat integratsiooni erinevate teemavaldkondade ega sektorite lõikes, mis selgus ka KESTA programmi osas, kus ministeeriumite ja alategevuste koostöö oli väga napp. Kuna suund oli tulemuslikkusele, siis alategevuste tulemuslikkuse indikaatorid olid seatud mõõtmaks vahetut väljundit (nagu teaduspublikatsioon) aga mitte alategevuste rakendatavust (tulemuste esitamist otsustusprotsessides osalevatele ametnikele ja poliitikutele).

KESTA programmi tehnilise ülesehituse osas võib täheldada **võrgustiku valitsemisele omaseid tunnuseid.** Esiteks on KESTA programmi kaheksat alategevust programmis käsitletud ühiste eesmärkidega võrgustikuna. Seetõttu oli ka administratiivne korraldus vastav, kus rakendusüksus ei administreerinud alategevuste väljamaksetaotlusi üksikult, vaid kõikide partnerite omi koos. Teiseks võib võrgustikku kuuluvateks pidada ka teemavaldkonda puutuvaid ministeeriume. Läbiviidud intervjuude põhjal võib öelda, et rakendusliku tulemuse saavutamise eesmärki kõikide alategevuste lõikes rõhutasid nii ETAgi kui kõikide intervjueeritud ministeeriumite esindajad. Kui vaadelda KESTA programmi võrgustikupõhise valitsemise teooria raamistikus, siis võrgustiku eesmärkidest tulenevalt oleks võinud võrgustiku juht-organisatsiooni rolli võrgustiku eesmärkidest tulenevalt kanda Keskkonnaministeerium. Nii võrgustikku sisendi andmise kui tulemuse rakendamise osas oleks võinud olla suurim huvi Keskkonnaministeeriumil ning seega oleks võrgustiku eesmärgid võinud igati sarnaneda juht-organisatsiooni eesmärkidele. Kuna Keskkonnaministeeriumi roll jäi nii programmi ettevalmistuse etapis kui ka elluviimise jooksul tagasihoidlikuks, siis on tehniliselt võrgustiku juht-organisatsiooni roll ETAg-il. Antud juhul juht-organisatsioon tagab nii võrgustiku administreerimise kulud kui kontrollib ka võrgustiku rahastamist väljastpoolt saadavast grandist (Struktuurifondist). Teoreetilises kirjanduses peetakse üldiselt võrgustiku eeliseks seda, et ühepoolselt ei ole võimalik strateegilisi otsuseid langetada ning osalejad sõltuvad oma kasutuses olevatest ühistest ressurssidest, sest ükski võrgustiku liikmetest ei saa teha sõltumatuid otsuseid teiste osalejate ressursside osas. KESTA programmi puhul olid võrgustiku liikmed muudetud üksteisest kohustuslikus korras sõltuvaks, sest iga partner sõltus väljamaksetaotluste alusel toetuse saamisel teiste

1 Aruannete osas esitas ETAg päringuid alategevustele sisutegevuste lõikes. Päringud koostati põhimõttel, et elluviija ETAg kontrollib, mida lubati teha vastavalt taotlusele ning kas seda tehti. Samuti paluti ümber kirjutada aruande tekstid, mis ei olnud arusaadavad nn kolmandale lugejale.

partnerite suutlikkusest väljamaksetaotlusi korrektselt koostada. Kuna kõiki partnereid menetleti koos ühe väljamaksetaotlusena, siis kannatasid kõik osapooled võrdselt mõne partneri tegemata töö pärast. Realiseerusid ka selle mudeli puudused, ehk kõik võrgustiku osapooled (partnerid) ei tegutsenud ühise eesmärgi nimel, sest ülikoolid ei olnudki endale teadvustanud vajadust teha koostööd, esitamaks alategevuste tulemusi poliitikakujundajatele ja otsustajatele arusaadaval ja rakendamist võimaldaval kujul.

Sageli võidakse võrgustikus probleeme mõista väga erinevalt ning eesmärke võib olla palju, mis nõuab võrgustiku eestvedajatelt suurt pingutust, et võrgustiku tegevust käima saada. Eesmärkide paljusus muudab keerukaks ka võrgustiku tulemuslikkuse hindamise. Ka KESTA programmi puhul on **osapooled tulemuslikkuse hindamisest erinevalt aru saanud. Intervjuudest leiab kinnitust, et teadlaste puhul on tulemuslikkuse näitajaks teaduspublikatsioon, kuid ministeeriumite esindajad eelistaksid koheselt oma töös kasutatavaid analüüsitud andmestikke.** KESTA puhul realiseerus ka teoorias kirjeldatud oht, et kus keegi ei vastuta või vastutatakse nö kollegiaalselt tulemuste saavutamise eest ehk iga liikme anonüümsus on suur. Koordinatsioonimehhanismi rolli pidi täitma ETAg, aga kuna eesmärgid ja reeglid olid alategevuste elluviijatele üheselt selgitamata, siis nad ei mõistnud ka oma kohustust teisi osapooli oma tegevusest informeerida. Samas ei saa ka täheldada, et ükski võrgustiku osapool oleks üritanud oma agendat teistele peale suruda. Institutsionaalsed takistused avaldusid võrgustikus osalevate organisatsioonide eripärade tõttu eelkõige finantsilise juhtimissuutlikkuse osas. Osad partnerinstitutsioonidest olid järginud reegleid ning läbinud vajalikud hankeprotseduurid, samas osad ei olnud seda oluliseks pidanud. Koostööd takistasid ka erinevate sektorite väljakujunenud tegutsemismustrid ning ülikoolides väljakujunenud töötsükkel, mis erineb avalilku sektori omast. Võrgustiku suletust ja grupimõtlemise tekkimist hindajad ei täheldanud. Võrgustikupõhise mudeli parem rakendamine oleks võimaldanud koostöö tegemist väga erinevate toimijatega, sest alluvussuhted ei ole selle mudeli puhul kesksed.

KESTA programmi ettevalmistuse etapis võis tuvastada kaitseid järgida **Ühendpoliitikate mudelit (ÜP mudelit)**. Keskkonnapoliitika näol on tegemist valdkondliku poliitikaga, mis traditsiooniliselt on olnud ühe ministeeriumi valdkond. ”Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevuse” programmi näol on aga tegemist läbipõimunud poliitikavaldkonnaga, mis on vahetult seotud nii Haridus- ja Teadusministeeriumi, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi kui ka Põllumajandusministeeriumi ning kaudsemalt ka Sotsiaalministeeriumiga. Intervjuudest selgus, et esialgselt programmi ettevalmistamise käigus oli soov kaasata ettevalmistusse mitme erineva ministeeriumi esindajad. Paraku ei olnud erinevad osapooled ette valmistatud taoliseks koostööks ning seega puudusid neil selged seisukohad ja arvamused, kuidas nad saaksid taolisesse programmi panustada ning mida sellelt vastu saada. Programmi koostamiseks vajalikku horisontaalset valdkondadevahelist infoliikumist oli esialgselt kavas korraldada asekantsleritest koosneva juhtkomitee abil. Kuna aga enamasti ülesandeid delegeeriti, siis otsustajate ametialane tase kujunes ebaühtlaseks ning sisuline koordineerimine jäi puudulikuks. **Programmi ettevalmistusperioodil oli erinevatel ministeeriumitel ebaselge, et milliseid ühtseid eesmärke programmiga saavutada tahetakse ja kuidas seda administratiivselt kõige paremini teha. Programmi ettevalmistuses ei osalenud aktiivselt ka valdkondlik ehk Keskkonnaministeerium ise ning seetõttu jäi nende seotus programmiga liiga nõrgaks**.

Tulevikus võiks taoliste programmide ülesehitamine toimuda enim ÜP mudeli loogikat järgides. **Laiapõhjalisem kaasatus** programmi kavandamisesse aitaks kaasa parema ülevaate saamisele probleemide olemusest ning seega ka **programme paremini eesmärgistada**. Kuna koostöö edendamise kultuur vajab enam arendamist, siis aitaks **valdkondadeülese mudeli rakendamine**, kus koordinatsioonikogusse kuuluksid nii ministeeriumite kui ülikoolide teadlaste, jm. toimijate esindajad kaasa ka omavahelise konkurentsisituatsiooni vähendamisele. Kui konkurentsist tekkivad pinged on rohkem maandatud, siis võiks taoliselt kogult eeldada ka suuremat soovi omavahel infot ja teadmisi jagada.

Kuna ministeeriumitest ning valdkonna ekspertidest koosneva juhtimismudeli puhul õpitakse ka omavahel koostööd tegema ning teadlikkus osalejate oskustest ja kompetentsidest kasvab, siis suudetakse eeldatavasti ka paremini jaotada tegevusi ning rolle. Taolise ÜP mudeli rakendamise korral peaks juhtrolli enda kätte võtma riigiesindajad ning sõnastama programmide koostamisel riigi vajadused, kuid tegema seda koostöös teadlastega. Kuna ÜP mudeli puhul on olulised nii horisontaalne koostöö (ministeeriumite jt. institutsioonide vaheline) ning ka vertikaalne koostöö, siis tuleb planeerida, kuidas alategevustest saadavad tulemused jõuavad ka ministeeriumite vahendusel Euroopa Liidu tasandile ning osaks nii siseriiklikust kui EL poliitikakujunduse protsessist.

Arvestades seda, et Eesti tänane valitsemissüsteemi korraldus on endiselt väga NPMi ideoloogiast mõjutatud ja sellele omast tulemuslikkuse tähtsust, siis on uue EL rahastusperioodi strateegiates tähtsustatud majanduskasvu ning tegevuste seost ettevõtluse ja majandusliku kasuga. Sellest tulenevalt võib täheldada ka uue programmiperioodi ettevalmistuses rõhuasetust vahetule tulemuslikkusele ehk mõõdetavusele tulu-kulu efektiivsusest lähtuvalt ning mitte niivõrd pikaajalisele teadmuspõhiste poliitika kujundamise protsessidele.

Soovitused

Alltoodud soovitused on suunatud eelkõige uue programmi paremaks ettevalmistamiseks. Ettepanekuid olemasoleva KESTA programmi elluviimise parendamiseks pole asjakohane enam tuua, kuna programm on üsna lõpujärgus – alategevused on sisutegevustega suuremas osas lõpetanud ning tegelevad viimase etapina aruandluse koostamisega. Hindajad leiavad, et KESTA programmi vahehindamine oleks ajaliselt pidanud toimuma aasta aega varem ehk 2013. aasta hiliskevadel. Sel juhul oleks saanud hindajad teha programmi elluviijale üsna konkreetseid ettepanekuid programmi elluviimise parendamiseks. Samas on senised kogemused piisavad (piisavalt „valusad"), et anda soovitusi, kuidas sarnaseid tegevusi edaspidi paremini kavandada, sh et aidata kaasa järgmise struktuurivahendite programmeerimisperioodi (2014-2020) elluviimise protsessi kujundamisele.

1. Selleks, et tagada KESTA programmi tulemuste jätkusuutlikkus ning soodustada ülikoolide vahel tekkinud hea koostöö jätkamist, tuleks kindlasti edukaid ja jätkusuutlikke projekte rahastada (edasi) ka uuel rahastamisperioodil (nn jätku-ESTA). Ehk **teadmuspõhiste otsuste tegemiseks on vajalik kaasata teadlasi**. Kuid õppimaks KESTA praegusest programmi kogemustest tuleks **programmi ettevalmistamisel teha tihedamat ja avatumat koostööd kõigi seotud osapoolte vahel** (teadlased, ministeeriumid, ettevõtjad), et riigi **ootused programmi** tulemitele oleksid teadlaste jaoks algusest peale **selged ja arusaadavad**. Selleks peaks korraldama kaasaval meetodil osapooltele ühiseid infopäevi/ arutelusid/ ümarlaudu Keskkonnaministeeriumi poolt, kus ministeeriumid saaksid teadlastele selgitada, mis on nende ootused. Teisalt on sellistel kohtumistel ja aruteludel võimalik teadlastel selgitada, mis on nende tehnilised võimalused ning kompetents.

2. Tuleks **laiendada KESTA programmi nõukogu pädevust ja koosseisu**, mis võimaldaks täpsemalt formuleerida uue rahastusperioodi 2014-2020 eesmärgid, hindamise kriteeriumid ja võimalikud oodatavad tulemused. Sinna võiksid kuuluda kõik asjassepuuduvad ministeeriumid, näiteks MKM, HTM, Põllumajandusministeerium, Keskkonnaministeerium, valdkondlikud tugevad ettevõtted, erialaeksperdid, visionäärid. Samas puudub ametlik skeem, kuidas KESTA nõukogu esindajad võiksid aidata järgmist perioodi ette valmistada ning anda vajalikku sisendit.

3. Tulevikus võiks taoliste programmide ülesehitamine toimuda enim ÜP mudeli loogikat järgides. **Laiapõhjalisem kaasatus programmi kavandamisesse** aitaks kaasa parema ülevaate saamisele probleemide olemusest ning seega ka programme paremini eesmärgistada. Kuna koostöö edendamise kultuur vajab enam arendamist, siis aitaks valdkondadeülese mudeli rakendamine, kus koordinatsioonikogusse kuuluksid nii ministeeriumite kui ülikoolide teadlaste, jm. toimijate esindajad, kaasa ka omavahelise konkurentsisituatsiooni vähendamisele. Kui konkurentsist tekkivad pinged on rohkem maandatud, siis võiks taoliselt kogult eeldada ka suuremat soovi omavahel infot ja teadmisi jagada. Uue perioodi ja programmide ettevalmistamisel tuleks kindlasti kaasata ka teadlasi ning **uute programmide eesmärkide ja ülesannete formuleerimisel peaks teaduslik kompetents olema tugevalt kaasatud**.

4. Kui uute programmide puhul rakendada sarnast taotluste esitamise süsteemi, siis **taotluste esitamise tähtajad võiksid võimalusel olla paremini ajastatud**, st võiks vältida suveperioodi, mil akadeemiline personal puhkab. Konkurss võiks välja kuulutada ning taotluste esitamise tähtaeg planeerida õppeaasta sisse, kuna taotluse koostamine eeldab partneritevahelist koostööd ning kohtumisi, ning suvel on seda väga raske saavutada ja taotluste kvaliteet võib selle võrra madalam olla. KESTA programmi puhul polnud kahjuks võimalik taotluste väljakuulutamist ja esitamise tähtaega edasi lükata, kuna vastasel korral oleks programmi elluviimine ja täitmine olnud küsitav (sh ebapiisav aeg alategevuste elluviimiseks ja oodatud tulemuste saavutamiseks).

5. Oluliselt tuleks **tõhustada programmi, sh alategevuste administratiivset suutlikkust**. Ühelt poolt peaksid partnerülikoolid ise teadvustama ja oma meeskonna liikmetele selgitama, millised reeglid, seadused, nõuded (nt Riigihangete seadus, Struktuuritoetuse seadus jne) kaasnevad struktuurivahendite kasutamisega[2]. Kuigi ka programmi elluviija ETAg korraldas partneritele mitmeid praktilisi koolitusi, siis ei osalenud nendel kõigi 8 partneri esindajat, vaid ainult osad neist, mistõttu tekkis osadel partneritel suuri probleeme esitatud VMT-ga. Hoolimata sellest, et ETAg rõhutas partneritele korduvalt, et kui kulude abikõlblikkuse teemadel tekib küsitavusi, siis tuleb see üle küsida elluviijalt ENNE kulu tegemist, paraku seda reeglina ei tehtud ning probleemid ilmnesid alles siis, kui VMTd esitati ETAg-ile. Teiselt poolt oleks elluviija ETAg võinud koostada toetuse saanutele selge ja praktilise abimaterjali/ juhendi[3] või siis kodulehele „korduma kippuvate küsimuste" rubriigi, kus oleks toodud olulisemad aspektid, mida arvestada toetuse kasutamisel (nt teavitusnõuded, paikvaatlused, toetuse väljamaksmise alused, toetuse saaja kohustused toetuse saamiseks, aruandluskohustuse täitmine jmt).

---

2 ETAg-i hinnangul oli peamine probleem selles, et partnerid ei teinud endale selgeks, mis tingimustel nad toetust kasutada saavad ehk ei adunud struktuuritoetuse kasutamisega kaasnevaid nõudeid.

3 Näiteks head juhendid, näited jmt on rakendusüksuse Archimedese kodulehel http://archimedes.ee/str/teabekogua_y/*, samuti on heaks näiteks rakendusüksuse SA Innove poolt koostatud juhend toetuse saajatele* http://www.innove.ee/UserFiles/Struktuuritoetused/Juhendid,%20abiaterjalid/Abimaterjal%28Voor%29_projekti_rakendajale_06.2013%282%29.pdf

6. Administratiivset suutlikkust oleks saanud suurendada ka projektijuhi töökoha loomise läbi (kes ole seotud teadustööga, st ei juhi sisulist teadustööd), kes vastutab alategevuse administreerimise eest, on kursis nõuetega, mis kaasnevad struktuuritoetuse kasutamisega jne. Seega peaksid sarnaste suurte projektide elluviimisel partnerid ehk ülikoolid (edaspidi) oma meeskondadesse kaasama lisaks teadlastele ka projektijuhi/ administraatori (sh sisseostetava teenusena), kes omab projektide kogemusi ning vastavaid teadmisi, mis kindlasti oleks lahendanud KESTA programmis tekkinud suuri probleeme projektide administreerimises. Ka KESTA programmis joonistusid selgelt välja nö administratiivselt edukad partnerid, kelle meeskonda kuulus assistent või projektijuht ning problemaatilised partnerid, kus projekti administreerimisülesandeid täitis teadlane. Projektijuhi tähtsus suureneb veelgi projektides, kus on suurem arv koostööpartnereid, sest sel juhul tuleb kurssi viia nõuetest ja reeglitest ka kõik partnerid, kellel on samad kohustused nagu taotlejalgi. Loodetavasti on KESTA programmi kogemused piisavad, et taolisi olukordi sarnaste suurte programmide elluviimisel vältida.

7. Et **tagada KESTA programmi (ehk alategevuste) tulemuste rakendatavus otsustusprotsessides** peaks **programmi elluviija ETAg** võtma programmi viimastel kuudel (detsember 2014 – oktoober 2015) **aktiivsema ja koordineeriva rolli**. Arvestades siiski Eesti väiksust ning seotud osapoolte suhteliselt väikest arvu, siis ei oleks kuigi ratsionaalne, kui kõik alategevuste meeskonnad tegeleksid oma tulemuste tutvustamise ja hea mõttes turundamisega eraldiseisvalt. Mõju ja nö kandepind on kindlasti suurem, kui seda tehakse koordineeritult ja ühiselt ETAg-i kui KESTA programmi elluviija juhtimisel. Hindajate seisukoht on, et teadlastel puuduvad tegelikud vastavad turunduslikud teadmised ja kompetentne inimressurss, kes oleks võimeline olema nö vahendaja rollis teadlaste ja võimalike kasusaajate (nö tavainimene, ettevõtjad, riik, Euroopa) vahel projektide teadustulemuste tutvustamisel, tõlgendamisel ja turundamisel (heas mõttes nö teaduse marketingi tegemisel). Oluline on, et projekti tulemused oleksid viidud sellisele tasandile, et neid oleks võimalik selge ja arusaadava tekstina viia ministeeriumite ja nn otsustajateni. Üheks selliseks „vahendajaks" võiks edaspidi olla ETAg-i enda Teaduse populariseerimise osakond, kes on loodud ja tegutseb just sellisel eesmärgil.

8. Kui ka edaspidi on partneritele seatud selge ootus, et alategevuse rakendatavad tulemused peaksid jõudma otsustusprotsessidesse, siis võiks taotlusvormile lisada sellekohase kohustusliku vormi, kus taotleja peab esitama vastavad tegevused detailsemalt, näiteks teavitustegevuste plaanina või/ ja programmis on selge kohustuslik nõue koos vastava eelarveliste vahenditega, et meeskonda tuleb kaasata PR-inimene, kes aitab viia tulemusi otsustajateni.

9. Kuigi partnerid pidid ka KESTA alategevuse taotluses kajastama tegevusi, kuidas tulemusi esitletakse, on see siiski ebaühtlase tasemega ning programmi elluviijal puudub ülevaade, kuidas seda alategevustes tehakse.

10. Uue perioodi koostamisel tuleks selgelt teadlastele kommunikeerida, et riigi poolsed tellimused ja suunad on tegevustele, mida mõõdetakse praktiliste soovituste, eeskirjade ja tulemitega ning mitte saientomeetria põhiselt. Tegemist on sotsiaalse tellimusega, mille mõõde ei ole ainult publikatsioon. Oluline on osapooltega ühise koostöö tulemusena paika panna ootused ja mõõdikud.

11. Kuigi käesolev vahehindamine ei seadnud eesmärgiks KESTA programmi indikaatorite teema analüüsimist, siis paraku tõusis see vahehindamises mitmel korral esile. Peamised üldisemad probleemid indikaatorite osas on indikaatorite formuleerimise ebatäpsus, nõrk seos tulemuslikkusega, väljunditele keskendumine. Seega vajaks edaspidi programmi seireks kasutatavate indikaatorite küsimus põhjalikumat läbimõtlemist, et indikaatorite kaudu selgemalt ja mitmekülgsemalt jälgida programmi rakendamise edukust ning eesmärkide saavutamist. Indikaatorite süsteemi saaks arendada, kasutades programmis kasutatud väljundindikaatorite kõrval ka tulemusindikaatoreid ning tagades, et oleksid olemas indikaatorid, mis mõõdaksid kõikide seatud eesmärkide suunas liikumist.

Looduskaitse rakendusuuringud (LOORA)

Looduskaitse rakendusuuringud (LOORA)

Riinu Rannap, Ann Kraut

Sissejuhatus e. projekti saamislugu

Käesoleval ajal on Eestis kaitse all viiendik maismaast, sealhulgas ligi kümnendik metsamaast. Lisaks väärtuslikele metsaaladele on Eestis ka 116 000 ha pärandkooslusi, millest hooldatakse ligi veerandit. Pärandkoosluste hooldamise ja metsaalade kaitse eesmärgiks on erinevate ökosüsteemide säilitamine, sh. ohustatud liikide ja nende elupaikade soodsa seisundi tagamine. Viimane pole üksnes Eesti looduskaitse eesmärgiks, vaid moodustab olulise osa kogu Euroopa ühtsest looduskaitsestrateegiast. Lisaks ökosüsteemide säilimisele moodustavad eri tüüpi kaitsealad maastikul ka omalaadse „rohelise taristu", mis võimaldab liikidel levida, hoides ära populatsioonide geneetilist vaesumist. Looduse kaitsmiseks ja säilitamiseks olulised ja vajalikud tegevused on enamasti üsna kulukad, sisaldades erinevaid meetmeid, millest paljud on oma olemuselt piiravad (nt. majandustegevuste piiramine või keelustamine erinevates kaitsetsoonides), teised aga kompenseerivad (maamaksu soodustused, toetusskeemid). Viimaste hulka kuuluvad ka pärandkoosluste hooldustoetused, mille igaaastane kogusumma ulatub ligi 4 miljoni euroni. Looduskaitse pingutustest ja toetussüsteemidest hoolimata on mitmed liigid ja nende elupaigad siiski ebasoodsas seisundis. Ebaedu põhjuste väljaselgitamiseks ning tõhusamate kaitsemeetmete rakendamiseks on vaja probleeme lahendada teaduspõhiselt. Just konkreetne vajadus teaduspõhise looduskaitse järele viiski mõttele ellu kutsuda looduskaitse rakendusuuringute projekt (LOORA), eesmärgiga teaduspõhiselt edendada kahte Eesti ja Euroopa Liidu seisukohast väga olulist ning samas kulukat looduskaitsemeedet – metsakaitsealade võrgustiku ja pärandkoosluste säilitamist. Et konkreetsed uurimisteemad ja -küsimused oleksid ka rakendajate seisukohalt olulised ja aktuaalsed, osalesid nende väljatöötamisel nii Keskkonnaameti kui Keskkonnaministeeriumi spetsialistid.

Töörühm

Projekti eesmärkide saavutamiseks uuritakse metsakaitsealasid ja pärandkooslusi väga erinevatest aspektidest (nii looduskaitselistest kui sotsiaal-majanduslikest) kasutades erinevaid uurimisobjekte (nt mudelliigid, indikaatorid) ja -meetodeid. Sellise teadusmaastikul uudse ning laialdasi teadmisi ja oskusi nõudva projekti elluviimiseks moodustati Tartu Ülikooli ja Eesti Maaülikooli teaduskompetentsi ühendav uurimisrühm. Lisaks projekti põhitäitjatele on kaasatud ka mitmeid eksperte teistest asutustest (nt Tallinna Tehnikaülikool, Keskkonnaministeerium, Keskkonnaamet), kes oma oskuste ja teadmistega on töörühma oluliselt täiendanud ning toonud uurimisküsimuste lahendamisse ja tulemuste tõlgendamisse uusi ideid ning lähenemisnurki.

Projekti kaks uurimissuunda jagunevad omakorda mitmeteks alamuuringuteks, millest igaühe täitmisega tegeleb omaette väiksem töörühm. Metsakaitsealade tõhusust ja ruumilist sidusust hindavad Tartu Ülikooli terioloogid Egle Tammeleht, Marju Keis, Jaanus Remm; ornitoloog Renno Nellis; entomoloog Ann Kraut ning Eesti Maaülikooli kaardianalüüsi spetsialist Anne Kull. Ajaloolist mõõdet sellesse teemasse aitab tuua õietolmuurija Vivika Väli Eesti Maaülikoolist. Kuivendusega kaasnevaid muutusi metsaalade väikeveekogude elustikule uurib aga ökoloog Maarja Vaikre Tartu Ülikoolist. Kaitsealade sotsiaal-majanduslikke mõjusid analüüsivad Eesti Maaülikooli teadurid Kalev Sepa ja Jaak Kliimaski juhtimisel. Pärandkoosluste (loo- ja rannaniitude) seisundi ja sidususe hindamisega tegeleva töörühma moodustavad aga nii Tartu Ülikooli kui Eesti Maaülikooli teadurid: Anu Tiitsaar ja Virve Sõber (entomoloogia), Leho Tedersoo ja Jane Oja (mükoloogia), Riinu Rannap (herpetoloogia), Renno Nellis (ornitoloogia), Silja Kana ja Kaire Lanno (botaanika).

LOORA töörühm detsembris 2014: (vasakult) R. Rannap, J. Oja, K Lanno, A. Kull, M. Keis, A. Kraut, K. Sepp, A. Tiitsaar, R. Nellis, S. Kana, R. Kont, J. Kliimask, M. Vaikre (foto Ann Kraut).

Tegevused

Kolme projektiaasta jooksul on läbi viidud 19 uuringut, mille käigus on erinevaid sihtgruppe, liike ja liigirühmi ning meetodeid kasutades otsitud vastuseid projekti kahele põhiküsimusele: (i) kas meie metsade kaitse on piisavalt efektiivne ja metsaalad piisavalt sidusad, selleks et tagada neist elupaikadest sõltuvate liikide säilimine?; (ii) kas meie loo- ja rannaniitude seisund ja senikasutatavad majandusvõtted tagavad nende koosluste ja neist sõltuvate liikide säilimise ning kas pärandkoosluste majandamine on ka kohalike elanike seisukohast jätkusuutlik?

Metsakaitsealade efektiivsuse hindamisel kasutati mudelliikidena ohustatud ja langeva arvukusega lendoravat ning kõdupuidust sõltuvaid mardikaid ja rähne. Lendorava puhul selgitati välja liigi elupaiganõudlus ja levimisvõime, hinnati olemasolevate elupaikade kvaliteeti ning potentsiaalsete elupaigalaikude paiknemist Ida-Virumaa metsamaastikus. Saproksüülsete mardikaliikide jaoks uuriti nende säilimiseks vajalikke surnud puidu koguseid nii kaitsealadel kui majandusmetsas, rähnidel aga asustustiheduse erinevusi kaitstavatel aladel ja neist väljaspool. Lisaks selgitati välja erinevate rähniliikide populatsioonide pikaajalised arvukustrendid, mida on võimalik seostada ajalooliste maastikumuutustega. Metsakuivenduse, kui ühe laialt levinud metsamajandusvõtte mõju uuriti eelkõige pisiveekogude elustiku näitel, kuna tegemist on seni äärmiselt väheuuritud, kuid arvuka ja liigirikka elustikurühmaga.

Metsakaitsealade sidususe väljaselgitamisel lähtuti nii lendorava kui suurkiskjate – hundi, karu ja ilvese elupaigaomadustest, levimiskaugustest ja -viisidest. Lisaks hinnati hundi ja karu erinevatesse metsamassiividesse jäävate populatsioonide geneetilist mitmekesisust ja struktuuri, geenisiirde intensiivsust ning ühenduskoridoride paiknemist. Bioloogilise mitmekesisuse kaitse seisukohalt on oluline teada, milline on kaitsealadel asuvate ohustatud liikide populatsioonide geneetiline mitmekesisus ning kas eri kaitsealade populatsioonid on omavahel ühenduses. Ühenduse puudumine on selgeks ohuks populatsiooni mitmekesisuse säilimisele isolatsioonist tuleneva geenisiirde ja geneetilise mitmekesisuse vähenemise tõttu.

Metsakaitsealade kvaliteedi hindamisel kasutati LOORA projektis täiesti uudse võttena ajaloolise maakatte muutuse analüüsi. Setetes leiduva õietolmu kvalitatiivse ja kvantitatiivse analüüsi alusel tehti järeldusi taimkatte dünaamika, taimekoosluste arengu ja maakasutuse muutuste kohta. Õietolmuanalüüsil põhinev maakatte muutuste uuring võimaldab kaitsealade ruumilisele sidususele lisaks hinnata ka nende ajalist järjepidevust.

Liina Remm kuivendatud raiesmikul pisiveekogu elustikku uurimas (foto Maarja Vaike).

Vivika Väli ja Jüri Vassiljev Karula rahvuspargis Mähkli järvel setteproovi võtmas (foto Kersti Kihno).

Silja Kana Puise rannaniidul taimeanalüüse tegemas (foto Kaire Lanno).

Pärandkoosluste uuringud keskendusid rannaniitudele ja loopealsetele ning neile aladele iseloomulikele liikidele (sh. käpalised, tolmeldajad, päevaliblikad, kurvitsalistest kahlajad). Kooslustele omaste liikide seisundi kaudu analüüsiti senikasutatud majandamisvõtete tõhusust ning selgitati välja nende täiendamise vajadus. Looniitudel keskenduti päevaliblikatele ja putuktolmlevatele taimedele. Esmakordselt uuriti erinevate majandamisvõtete mõju orhidoidmükoriissete seente mitmekesisusele ja arvukusele mullas, mis loob eeldused käpaliste kasvuks. Majandamise efektiivsusele lisaks selgitati rannaniitudel välja ka maaparandusest (eelkõige kraavitamisest) tulenevad veerežiimi muutused ja nende mõju kooslusele omastele liikidele – niidukahlajatele, soontaimedele ja kahepaiksetele. Kuna liikide levimine ja säilimine sõltub oluliselt elupaigalaikude ühendatusest, võib pärandkoosluse hooldamise mõttekus oleneda suuresti ka nende alade sidususest. Viimast uuriti nii liblikate kui taimede näitel. Pärandkoosluste hääbumine (kinnikasvamine) ning sellega kaasnev killustumine suurendab nende alade jäänukfragmentide (nt. põlluservade) tähtsust tolmeldajate elupaikadena. Seetõttu hinnati põlluservade olulisust pärandkooslustele omaste liikide ja ökosüsteemide funktsionaalsuse säilimisel.

Raadiosaatjaga varustatud lendoravat jälgitakse telemeetriliselt tema öisel aktiivsusajal (foto Martin Absalon)

Sotsiaal-majanduslike näitajate alusel hinnati kaitsealadele ja neist väljaspoole jäävate külade toimetulekut ja elujõulisuse muutusi viimastel aastakümnetel. Saadud tulemuste alusel viidi mitmetel kaitsealadel ja rahvusparkides (nt Lahemaa, Karula, Haanja) läbi juhtumuuringud. Lisaks tehti nii kaitsealade uuringus kui pärandkoosluste väärtuste hindamisel ankeetküsitlusi ja intervjuusid kohalike elanike ja teiste looduskaitse osapooltega, et välja selgitada suhtumine looduskaitse korraldusse. Kompleksuuringu alusel hinnatakse kuidas keskkonnatoetused mõjutavad ökosüsteemide väärtusi ja avalikke hüvesid ning milline on nende sotsiaalmajanduslik ja regionaalne mõõde.

Tulemused

Uuringutest selgus, et meie metsamaastike praegune seisund on suurkiskjate – hundi, karu ja ilvese elupaikadena küllaltki kvaliteetne ning alad on piisavalt sidusad – olulisi levikutõkkeid ei tuvastatud. Eesti karupopulatsioon on geneetiliselt homogenne, mis näitab geenisiirde ulatuslikkust ja intensiivsust. Samas on Eesti karude geneetiline mitmekesisus Põhja-Euroopa populatsioonidega võrreldes üks madalaimaid. Hundiasurkonna geneetiline mitmekesisus on seevastu Euroopa kontekstis aga üsna kõrge. Kuigi kõik suurkiskjad vajavad eluks ulatuslikke loodusmassiive, on elupaiganõudlus liigiti üsna erinev. Nii sõltub karu suuresti sidusatest metsa ja soomassiividest, ilves aga metsa ja ekstensiivselt kasutatava kultuurmaastiku mosaiigist. Kuna suurkiskjate puhul on tegemist mitmekesistest, ulatuslikest ja sidusatest loodusmaastikest sõltuvate liikidega, siis üksnes olemasolev kaitsealade võrgustik nende elujõuliste asurkondade säilimist ei taga. Sarnaselt suurkiskjatele näitasid ka puiduseoseliste mardikate ja rähniuuringud meie metsade üsna head seisundit. Põhjuseks võib olla seniviljeletud suhteliselt säästlik metsandus, mis on loonud kvaliteetsed elupaigatingimused mitmetele kõdupuiduseoselistele liikidele. Ka ajaloolises plaanis on meie metsamaastikud olnud kohati üsna stabiilsed, mida tõendavad nii Lõuna-Eestis Karula kõrgustikus kui Järvselja ürgmetsas läbi viidud õietolmuanalüüsid. Kaitsealade ja majandusmetsade rähnide asutustiheduste võrdlusest selgus, et hoolimata lageraiepõhisest metsamajandusest on paljude rähniliikide asustustihedused majandusmetsades üsna esinduslikud, kuigi kaitsealadel on surnud puidust sõltuvate liikide asustustihedused ligi kaks korda suuremad ning rangelt kaitstud metsadega on vahe veel vähemalt kahekordne. Majandusmetsades aitab rähnide asustustihedusi säilitada lankide looduslik uuenemine erinevate puuliikidega, väheaktiivne hooldusraiete tegemine ja sellest tingitud surnud puidu hulk. Kuigi metsakaitsealad on rähnide jaoks olulised – 10% rangelt kaitstud metsades elutseb ligi 20% erinevate rähniliikide populatsioonidest ning kaitsealadel on ligi kaks korda suurem asustustihedus, siis sarnaselt suurkiskjatele, ei taga kaitsealad üksi rähnipopulatsioonide pikaajalist säilimist, kuna suurem osa asurkondadest asustab siiski majandusmetsi. Seega, metsamajanduse intensiivistudes ning suurte loodusmaastike degradeerudes ja killustudes võib praegune üsna positiivne seis oluliselt muutuda, mida näitab ka lehtpuumetsade spetsialisti – väike-kirjurähni langev arvukustrend, mis seostub märgade metsade laial-

dase kuivendamisega. Metsakuivenduse tulemusena väheneb oluliselt ka pisiveekogude hulk metsaaladel, kuid samas pakuvad kuivenduskraavid pisiveekogude selgrootutele ka asenduselupaiku.

Loodusmetsaliikide, kes vajavad selliseid elupaigatingimusi, mida majandatavates metsades ei leidu, seisund on loodetust oluliselt halvem. Nii näitas lendoravauuring, et liik on säilinud veel vaid väikestel, sageli üksteisest isoleeritud elupaigalaikudel, mille vahel puuduvad ühenduskoridorid ning seega võimalus uutele aladele levida. Sama kehtib ka teiste väikeste ja lühikese leviulatusega liikide kohta, sh neile puidumardikaliikidele, kes on kohastunud suuremate häiringuteta püsivatele metsaelupaikadele.

Metsakaitsealade efektiivsuse ja sidususe uuringute põhjal on valminud üks bakalaureusetöö, kaks magistritööd ning koostamisel on üks magistritöö ja kolm doktoritööd. Uuringute tulemusi kasutatakse nii mudelliikide kaitse korraldamisel, kaitsealade võrgustiku korrastamisel kui uute kaitsealade planeerimisel. Samuti soovituste andmisel edasiseks metsaalade kaitseks ja majandamiseks. Kaitsealade maakatte muutuste uuringu alusel on võimalik hinnata teatud maastikupilti ning maakasutust ning teha põhjendatud otsuseid alade säilitamiseks või varasema maakatte taastamiseks. Lendorava uuringu tulemused on juba ka rakendustesse jõudnud. Neid on kasutatud nii liigi tegevuskava koostamisel, kaitsealade planeerimisel ja lendorava elupaikade lähedusse jäävate metsade majandamisel, kui avalikkuse teavitamisel. Metsaalade kuivenduse mõju uuringu tulemusena plaanib RMK kuivendussüsteemide uuendamisel arvestada edaspidi ka pisiveekogude elustikuga, rajades kraavidele laiendeid ja eraldiasetsevaid madalaveelisi lompe.

Pärandkoosluste uuringustest selgus, et praegu kasutatavatest majandusvõtetest on karjatamine nii loo- kui rannaniitudel koosluse liigilise mitmekesisuse säilimiseks kõige efektiivsem hooldusvõte. Kui rannaniitudel jääb karjatamiskoormus sageli optimaalsest madalamaks, siis looniitudel on see tihti liialt intensiivne selleks, et tagada neile omaste liblikaliikide säilimine. Samas orhidoid-mükoriissete seente mitmekesisust ja arvukust niidu erinevad majandusvõtted ei mõjuta. Kõigi rannaniitudel uuritud liigirühmade – kahlajate, kahepaiksete ja soontaimede elupaiganõudlusest lähtuvalt selgus, et oluline on suurepindalaliste, lagedate ja laiade niidualade olemasolu. Ka niidualade hüdroloogia – aeglaselt kuivavad lombid ja üleujutusalad on kahlajatele ja kahepaiksetele sigimis- ja pesitsusala valikul märkimisväärse tähtsusega. Paraku on hooldatavate rannaniitude hulgas suurepindalalisi, laiu, avatud (ilma põõsaste ja puudetukkadeta) ning märgi niite väga vähe, mis ilmneb ka sellistest niitudest sõltuvate liikide – niidurüdi ja mustsaba-vigle madalas arvukuses ja langevas arvukustrendis.

Alade suuruse olulisus liikide säilimise seisukohast ilmnes ka looniitude uuringus. Majandatavad niidulaigud on enamasti väikesepindalalised ja sageli intensiivselt karjatatavad ning ei taga seetõttu liblikate edukat paljunemist ja asurkondade säilimist. Seetõttu on nii ranna- kui looniitude puhul vajalik olemasolevaid majandatavaid alasid oluliselt suurendada ja laiendada. Kui rannaniitudel on üldjoontes vaja karjatamiskoormusi tõsta, siis looniitudel tuleks rakenda puhkeaastaid või alade rotatsioonilist karjatamist, mis jätaks teatud osa alast või ka kogu ala mõneks aastaks majandamata, tagades nii liblikapopulatsioonide eduka taastootmise. Alade sidususe seisukohast erinesid loo- ja rannaniidud oluliselt. Kui looniidulaigud on praegu veel suhteliselt sidusad, siis rannaniitude sidusus on 1950. aastatega võrreldes keskmiselt viis korda vähenenud. Kui looniitude sidusust aitavad suurendada põllu- ja metsaservad, siis rannaniiduliikidel selline „varuvariant" puudub.

Kaitsealade sotsiaal-majanduslikust uuringust selgus, et kaitsealade elanikud on oma elukeskkonnaga rahul. Kaitsealadele on tekkinud uusi ettevõtteid ja toimivad ka traditsioonilised majandusharud. Samas häirivad elanikke mitmed kaitsekorraldusega seotud piirangud ning leitakse, et elanike arvamustega piisavalt ei arvestata. Tuuakse välja ka halvenevat elukeskkonda, seda eelkõige avamaastike võsastumisena. Majanduslikud ja demograafilised protsessid on kaitsealadel olnud valdavalt siiski negatiivsed, seda osaliselt ka nende alade äärelise asendi tõttu. Kaitsealade asustuse tühjenemine ja hõrenemine on traditsiooniliste maastike seisukohalt suur probleem. Selle vältimiseks oleks otstarbekas soodustada traditsioonilisi tegevusalasid ja töövõtteid ning neisse miljöödesse sobivaid investeeringuid. Soovitavaks meetmeks võiks olla territoriaalselt selektiivne ehitus- ja tegutsemispiirangute osaline leevendamine maastikukaitsealade piirangutevööndites.

Pärandkoosluste uuringute põhjal antakse teaduslikult põhjendatud hinnang alade funktsionaalsusele, nende sidususele ja paiknemisele, mida saab aluseks võtta uute, taastamist vajavate alade planeerimisel. Samuti töötatakse välja rakenduslikud soovitused ranna- ja looniitude majandamiseks. Sotsiaal-majandusliku uuringu tulemused on aluseks tõhusamale looduskaitsekorraldusele ning kohalikele ja maakondlikele planeeringutele ja strateegiatele, aidates kaasa parema regionaalpoliitika kujundamisse. Pärandkoosluste seisundist ja majandamisest on kaitstud üks magistritöö ning teine on valmimas. Uuringute tulemusi on arvestatud nii Maaelu Arengukava koostamisel kui Keskkonnaameti looniitude LIFE+ projekti tegevuste kavandamisel.

TE*aduspõhiste prognooside väljatöötamine ja* RI*skide* KVANT*ifitseerimine kiireks ja täpseks ohule reageerimiseks Eesti maismaa, veekogude, ranniku ja õhustiku kontekstis*

TE**aduspõhiste prognooside väljatöötamine ja** RI**skide** KVANT**ifitseerimine kiireks ja täpseks ohule reageerimiseks Eesti maismaa, veekogude, ranniku ja õhustiku kontekstis -** TERIKVANT

Kuidas leiti uuringu idee?

Alategevuse idee tekkis tihedas koostöös programmi „Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevus (KESTA)" juhi Ivar Puuraga. Tutvusime temaga Nord Streami gaasijuhtme keskkonnamõju hindamise arutelu käigus, mille raames ilmnesid tõsised probleemid teatavat tüüpi ohtude analüüsimisel. Nimelt selgus, et suhteliselt hästi tuntud situatsioonides (nt mere põhjasetete moodustumine ja dünaamika) võisid uutes tingimustes ilmneda ootamatud ohtlikud nähtused (nt võimalik dioksiinide vabanemine põhjasetete sügavamatest kihtidest gaasitoru paigaldamise tõttu muutuvates hüdrodünaamilistes tingimustes).

On üsna tõenäoline, et alategevuse loomise üheks ajendiks oli Nord Streami protsessi käigus saadud kogemus sellist tüüpi (mitmete tegurite ühismõjus realiseeruvate või kumulatiivsete) riskide käsitlemisest. Osa traditsioonilistest riskidest (nt. rannaäärsete alade üleujutus, ekstreemsete tormide mõju, õhusaastus, inimeste eksponeeritus erinevatele ohtudele) on hästi tuntud. Ühiskond suudab neile adekvaatselt reageerida ning nende leevendamise võimalused on laialdaselt kasutusel.

Samas peitub isegi hästi tuntud ümbritsevas keskkonnas (olgu see siis õhk, vesi, maismaa või inimtegevus) nii üksikinimeste kui ka ühiskonna jaoks suur hulk keeruka iseloomuga ning suhteliselt harva esinevaid ent olulisi riske, mida pole seni vaadeldud, kuid mille olemust ja võimalikku mõju saab kaasaegse teaduse võimaluste ja vahenditega adekvaatselt kvantifitseerida.

Taoliste keskkonnakaitse ja -tehnoloogiaga seonduvate ohtude ja riskide ringi võib tinglikult jagada neljaks sektoriks: (i) looduslikud ja (ii) inimtekkelised harvaesinevad ja/või ekstreemsed nähtused ning nende mõju (iii) riskid inimesele kaasaegse ühiskonna kontekstis ja (iv) riskid inimese jaoks tavapärasele ökosüsteemile.

Kuidas leiti koostööpartnerid, kuidas kulgesid läbirääkimised?

Erinevalt teistest KESTA programmi alategevustest moodustati TERIKVANTi konsortsium tihedas koostöös KESTA programmi tollase juhi Ivar Puuraga ning lähtuvalt riigi praktilistest vajadustest. Vaatamata Eesti riigi väiksusele peavad riigile olulised funktsioonid, sh jätkusuutlikuks arenguks vajalikud keskkonnakaitselised aspektid, olema tagatud sellise ekspertteabega, mis on kogu maailma mõttes tipptasemel. Taoline lähtekoht võimaldas (i) minimeerida ajakulu taotluse kavandamisel ja vormistamisel, (ii) orienteeruda selliste riskide analüüsile, mis on Eesti riigi seisukohalt olulised ning (iii) mille puhul on olemas tipptasemel kompetents ja vajalikud inimressursid.

Lõviosa riskide puhul on tavaline, et looduslikud ja inimtekkelised protsessid ning nende vastasmõjud on omavahel tihedalt põimunud (nt. ohtlike ainete edasikanne meres ja õhus, aga ka võõrliikide introduktsioon või invasioon). Setõttu on igati loogiline, et alategevuse kavandamisel lähtuti asjaolust, et keskkonnakaitse ja -tehnoloogia ning selles valdkonnas toimuvate ekstreemsete sündmustega ja uute lahendustega seonduvate ohtude temaatika on olemuslikult äärmiselt interdistsiplinaarne. Sellest tulenevalt eeldas vastavate uuringute efektiivsus ja tulemuslikkus väga erinevate ekspertide ja institutsioonide koostööd.

Seetõttu peeti alategevuse planeerimisel ning töörühmade ja nendele seatud ülesannete eelvalikul silmas vajadust tagada erinevate institutsioonide koostöö ja sidusus, mis on eriti oluline Eesti kontekstis, kus tänu riigi suurusele (või väiksusele) erinevate alade spetsialiste sageli napib. Arvestati järgmisi aspekte: (i) KESTA programmis formuleeritud võtmeprobleemide valdkonnas olemasolevat kõrgtasemelist kompetentsi, (ii) töörühmade demonstreeritud võimekust teaduspõhise riskianalüüsi ja/või ohuolukordade jaoks vajalike mudelite väljatöötamise alal, (iii) kriitilise massi olemasolu partnerite töörühmades, (iv) vajadust katta kompetentsiga maksimaalselt lai keskkonnakaitse ja -tehnoloogiaga seonduvate ohtude ja riskide ring ning (v) vajadust laiendada riigi riskijuhtimise seisukohalt oluliste teemade teadusliku analüüsi valdkondi.

Töögrupi kirjeldus ja koostöö

Konsortsiumi moodustasid neli töörühma, mis esindasid kolme juhtivat teadusülikooli (TÜ, TTÜ, EMÜ) ja tipptasemel teadusele orienteeritud avalik-õiguslikku instituuti (KBFI).

TÜ töörühm kontsentreerub elanikkonna võimaliku eksponeeritusega seonduvatele aspektidele maismaal esinevatele riskide ja ohtude suhtes ning vastavate mudelite ja prog-

nooside loomise ja täiendamise võimalustele. Töörühma juhtis rahvusvaheliselt tunnustatud ajalis-ruumilise mobiilsuse spetsialist R. Ahas; sinna kuulusid rahvastikugeograafid (T. Tammaru), GIS analüütikud (A. Aasa) ja programmeerijad (O. Järv).

TTÜ töörühm (juht T. Soomere) esindab laialdaselt tunnustatud kompetentsi merel ja suurjärvedes esinevate ning sealt ranniku suunas edasikanduvate ohtude (nii looduslike kui ka inimtekkeliste) analüüsimisel, modelleerimisel ja leevendamisel. Töös osalesid üldise laineteooria ning lainete ja ranna vastasmõju spetsialist I. Didenkulova, lainetuse klimatoloogia ekspert A. Räämet, preventiivsete rannikukeskkonna kaitse meetodite spetsialist B.Viikmäe jt.

KBFI töörühm (juht A. Kahru) on maailma juhtivate uurimisgruppide hulgas sünteetiliste nanoosakeste ökotoksikoloogias. Rühm keskendus keskkonnasaastusest tingitud 'varjatud' keskkonnariskide analüüsile, sh „uute" saasteainete (*emerging* pollutants, nt sünteetilised nanoosakesed) keskkonda sattumisest lähtuvate ohtude hindamisele ning vastavate mudelite ja prognooside loomise ja täiendamise võimalustele. Projektis osales lisaks A. Kahru'le kolm PhD kraadiga teadlast – A. Ivask, I. Blinova, N. Irha ja doktorandid K. Juganson, L. Kanarbik, M. Koitjärv ja A. Käkinen.

EMÜ töörühm (juht K. Sepp) kannab spetsiifilist kompetentsi teatavate bioloogilist laadi ohtude analüüsis (ökosüsteemi ründavad haigused, maismaa võõrliikide introduktsioonid ja invasioonid, M. Ööpik) ning keskkonnasaastuse ökoloogiliste ja keskkonnakeemiliste aspektide vallas (A. Tuvikene, K. Orupõld).

TTÜ töörühma ülesandeks oli ka alategevuse üldine koordineerimine ning nii sisulise, administratiivse kui ka finantsilise aruandluse korraldamine. Koordinaator Tarmo Soomere on rahvusvaheliselt tunnustatud spetsialist merekeskkonnas esinevate ja rannikut ohustavate riskide alal, aga ka laialdaste kogemustega teadusadministraator. Tal on kogemus nii Eesti-siseste teadusprojektide (ETF grantid, sihtfinantseeritavad teemad) ja rakendustööde (nt kiirlaevalainete eriomaduste analüüs Tallinna lahel) kui ka rahvusvaheliste projektide Eesti töörühma juhina ning suurte rahvusvaheliste tehnoloogia arendamisele suunatud projektide üldkoordinaatorina (nt BONUS BalticWay, 2009–2011). Ta on edukalt tegutsenud Eesti teadussüsteemis (TTÜ MSI asedirektor 2002–2004; TTÜ Küberneetika Instituudi lainetuse dünaamika labori rajaja ja juht alates 2009) ning välisteadlaste „sissetoomisel" Eestisse (nt. INNOVE toetatud initsiatiiv välisõppejõudude toomiseks TTÜ ehitusteaduskonda sadamaehituse ja rannikutehnika eriala käivitamisel, 2005–2009).

Välistel põhjustel hilines viie kuu võrra alategevuse tööde algus. Seetõttu korraldati kohe projekti algusstaadiumis (28.05.2012 Teaduste Akadeemias toimunud seminari raames) töörühmade juhtide ühisarutelu, kuidas töödega graafikusse jõuda ning kuidas töörühmade vahel paremini sünergiat tekitada. Töörühmade juhid kohtusid omavahel veel mitmel korral (nt. T. Soomere ja R. Ahas Käärikul 05.02.2013, kus arutati, kuidas korraldada TTÜ ja TÜ vahelist koostööd mobiilpositsioneerimise andmete kogumise, edasise töötlemise ja kasutamise vallas).

Projekti kui terviku realiseerimisel ja erinevate töörühmade väljundi harmoniseerimisel oli strateegilise tähendusega projekti teise aasta algul (7.–8. märtsil 2013, sisuliselt kümnendal töökuul) korraldatud teadusseminar, millel osales nii kogu projekti kollektiiv kui ka programmi KESTA juhtkonna esindajad. Selleks ajaks oli saadud juba arvestatav hulk tulemusi, mille arutelu ja tulevikuplaanide korrastamine kujunes edasise töö edu aluseks. Peeti 15 teadslikku ettekannet, milles kajastati detailselt projekti käigus seni saavutatud tulemusi, anti ülevaade osalevate rühmade tegevusest laiemas plaanis ja visandati edasiste uuringute peamised jooned. Ettekannetele järgnes elav diskussioon, mis kestis hilisõhtuni ja jätkus järgmise päeva ennelõunal ning mille käigus arutati ka võimalikke strateegiaid osalemiseks Euroopa Liidu struktuurifondide järgmise perioodi 2014–2020 raames.

Tööde edasine koordineerimine toimus põhiosas kaasaegsete meetoditega ehk elektrooniliste vahenditega. Kuna edasine töö kulges normaalselt ning probleemid ja tulevikuplaanid arutati kevadseminaril detailselt läbi, ei tekkinud enam vajadust spetsiililiste töökoosolekute järgi. Partnerite rollijaotus toimis hästi. Aruanded ja plaanid laekusid tähtajaks. Koostööpartnerid täitsid kõik oma kohustused, mis olid ette nähtud toetuse taotluses ja koostöölepingutes. Tehtud kulutused olid põhiosas abikõlblikud, v.a. mõned välistest asjaoludest tingitud probleemid (nt reisiteenuste riigihanke puudumine Tartu Ülikoolis).

Projekti olulise mittemõõdetava tulemusena on tekkinud tugev sünergia erinevate töörühmade vahel. Selle kõige kontrastsemaks näiteks on TTÜ ja TÜ töörühmade vaheline koostöö veeosakeste Lagrange'i trajektooride ja inimeste liikumise mustrite otsese sarnasuse ainetel. Tõenäoliselt on võimalik vastavaid süsteeme kirjeldada ja analüüsida ühesuguste meetoditega.

Mida tehti ja kas oli mingeid ettenägematuid tagasilööke?

Sisulised aspektid

Tulenevalt alategevuse strateegiast fokuseerus töö neljale pealtnäha vägagi erinevale keskkonnale. Merelt lähtuvate ohtude kontekstis kontsentreeruti Eesti rannikualadel esinevate ekstreemsete lainekõrguste klimatoloogia määratlemi-

sele, selle jaoks vajaliku alusandmestiku hankimisele ning metoodika väljatöötamisele. Käivitati lainemudeli WAM uusim versioon nii Läänemere kui ka Peipsi järve jaoks. Läänemere idaosa lainetuse klimatoloogia analüüsi pikendati tagasi 1946. aastani tuginedes unikaalsetele visuaalsetele vaatlusandmetele.

Rannikuprotsesside intensiivsuse analüüsi raames jõuti jälile, miks paljud avaookeani ranniku jaoks kasutatavad populaarsed mudelid ei sobi Läänemere ja eriti Eesti rannikute jaoks. Nimelt varieerub ekstreemsete lainete kõrguse ja keskmise lainekõrguse suhe meie randades palju enam võrreldes avaookeaniga. Selle põhjuseks on Läänemere laineid kujundavate tuulte mõneti ebatavaline struktuur. Seetõttu on meil tarvis näiteks sulgemissügavuse (maksimaalne sügavuse, kus lained veel avaldavad mõju veealuse rannaprofiili kujunemisele) arvutamiseks kasutada märksa täpsemat ekstreemsete lainetuse tingimuste klimatoloogiat.

Ekstreemsete lainekõrguste peamine probleem seisneb selles, et nende käitumine ja seetõttu ka nende prognoosimine ei allu tavapärastes tingimustes saadud pikaajaliste keskmiste analüüsil kasutatavatele meetoditele. Samas, just nende klimatoloogia põhjal kvantifitseeritakse rannikupiirkonnas esinevaid võimalikke ohte, sh. selliste lainete perioode ja suundi, mida võetakse arvesse nt. nende alade üleujutusriski hindamisel ja ruumilisel planeerimisel ennetamaks sotsiaalmajanduslikke kahjusid. Oluliseks probleemiks on ka murdlainetuse poolt tekitatud täiendav lokaalne veetõus, mille ignoreerimisega võib kaasneda nii suur majanduslik kahju kui ka inimohvrid (nt kui on läbi lõigatud evakueerimistee).

Keskkonnaohutuse seisukohalt on oluline leida optimaalsed laevateed Läänemeres, mille puhul pikeneks oluliselt näiteks naftareostuse rannikuni levimise aeg. See võimaldaks vähendada looduskahjusid tundlikel ranniku- ning merealadel nii selle tõttu, et jääb rohkem aega reageerimiseks kui ka selle tõttu, et looduslikud naftaproduktid osaliselt lagunevad ja auruvad. Ülesanne lahendati läbi hoovusetranspordi pöördülesande, mille abil konstrueeritakse sellised mereteed, mida mööda sõitvate laevade avarii korral kandub reostus randa kõige pikemat teed mööda. Nii näiteks on võimalik laevateed Soome lahes planeerida nõnda, et seal juhtunud õnnetuse tulemusena merre pääsenud reostuse randa kandumise aeg pikeneb peaaegu kahekordseks.

Nanoosakestega seotud riske hinnati süstemaatilise ülevaate koostamise ning metaanalüüsi vahenditega. Kuna vastav materjal on hajutatud väga erinevat tüüpi publikatsioonide vahel ning sellealased ülevaated praktiliselt puuduvad, on ainus võimalus saada riskidest ettekujutus nõnda, et töötatakse läbi suur hulk teaduskirjandust, koondatakse sealt eksperimentide tulemused ning seejärel hinnatakse, missugusel määral eksperimentide tulemused ühtivad. Eraldi võeti vaatluse alla Eestis turustatavad nanoosakesi sisaldavad kaubad, et kaardistada, millised nanoosakesed on „turule ilmunud" ning sellega kaasnevad ohud. Lisaks tööle teaduskirjanduse andebaasidega viidi läbi ka spetsiifiselt suunatud laborikatsed, et hinnata sünteetiliste nanoosakeste mõju vee mudelorganismidele.

Kaasajal on muutunud paradigma selles osas, kuidas arvutada mobiilse elanikkonna jaoks realiseeruvate mitmesugustele riskide tegelikud väärtused. Risk konkreetsele inimesele sõltub olulisel määral indiviidi liikuvusest ehk tema tegevusruumi ulatusest. Riskiallikate ja inimeste paiknemise ajalisruumilise jaotuse analüüs võimaldab saada vastuseid selles valdkonnas ning sel moel realiseerida ka tegelikkuses riigi vastutuse elanike heaoleku ja julgeoleku eest mitmesugustes ohuolukordades.

Suure hulga inimeste liikumist uuriti tuginedes kogu maailmas innovatiivsele mobiilpositsioneerimise metoodikale. Alategevuse raames viidi see metoodika kvalitatiivselt uuele tasemele, mis tagab senisest märksa suurema võimekuse andmetöötluses ning liikumisteede ja tegevusruumi määramisel. Kohaliku elanikkonna puhul näitasid tulemused arvestatavat erinevust sugudevahelise liikumisteedeses ja tegevusruumis. Oluline rühm on meie väliskülalised, kelle puhul lisanduvad riskifaktoritena kohalike olude mittetundmine ja kohalikest elanikest erinevad liikumisteed ja kogunemispunktid ja -ajad. Seetõttu arendati välja metoodika väliskülastajate andmestikest lähtuva massiürituste osalejate analüüsimiseks.

Arvestades metsanduse ja põllumajanduse olulisust Eesti majandusele tervikuna, võeti vaatluse alla ohud, mis on seotud võõrliikide võimaliku sissetungiga. Kui merekeskkonnas ei ole taolised protsessid kontrollitavad, on võõrliikidega seotud riskid maandatavad näiteks metsamajanduses, kus väheväärtuslike liikide sissetung on suhteliselt aeglane protsess, mille tagajärgjed ilmnevad alles aastakümnete pärast. Riskihindamist liikide osas tehti mõlemas suunas, st analüüsiti keskkonnast tulenevaid riske liikidele (täpsemalt kaladele) ning võõrliikide poolt põhjustatud riske kohalikule elustikule.

Kalade puhul võeti kasutusele vee reostuse biomarkerid ning täiendati vastavasisulist metoodikat. Tulemused näitasid, et laevateede lähedal on näiteks emakalale risk kõige suurem, seevastu Pärnu lahe keskkonna seisund oli üllatavalt puhas. Võõrliikide osas analüüsiti detailselt metsandusega seotud bioinvasioonilistest protsessidest ja võõrliikide valdkondlikest mõjudest ning võõrliikide kasutamise ulatusest Eesti metsanduses. Riskihindamiseks rakendati mahukat metoodikat. Tulemuseks saadi, et 13 võõrpuuliigist 9 võivad põhimõtteliselt muutuda invasiivseks. Nende liikide laiaulatuslikust kasutamisest tuleks hoiduda.

Formaalsed aspektid

Projekt kulges nii sisulisest kui ka finantsilisest aspektist põhiosas vastavalt planeeritule. Üksikud erinevused olid ajutise iseloomuga ning nendest tingitud riskid projekti kui terviku edule olid hoolikalt maandatud. Projekti kavandatust hilisema alguse tõttu esimesel aastal tekkinud teatav alakulu (2012. a. lõpuks oli realiseeritud vaid 20% kogu projekti eelarvest) normaliseeriti järk-järgult ning projekti lõpuks kulutati sujuva graafiku alusel kõik finantsvahendid.

Välistest teguritest tingitud viivitused üksikute väljundite puhul tasakaalustati planeeritust märksa kiirema progressiga ülejäänud väljundite lõikes. Nii näiteks osutus osa Geesthachti Ranniku-uuringute Instituudist saadud tuuleandmestikust vigaseks, mistõttu Läänemere avaosa lainekliima ja ekstreemsete lainetuse tingimuste arvutustest tuli korrata. Seetõttu hilines nende arvutuste tulemustest sõltuvate ülesannete lahendamine. Selle kompenseerimiseks intensiivistati visuaalsete lainevaatluste analüüsi.

Projekti edu seisukohalt oli oluline saavutada koostöö teiste samas valdkonnas töötavate teadlastega. Leiti võimalused selleks, et projekti saaks panustada mitmed eksperdid ja abilised, keda finantseeriti muudest allikatest (nt dr I. Nikolkina lainearvutused, kulude käitleja/doktorant K. Pindsoo). Mitmed ülesanded lahendati planeeritust märksa suuremas mahus. Kuna planeeritud eelarve kohaselt rahastati TERIKVANTi vahenditega põhiliselt tööjõukulusid, viidi KBFI töörühma pool tehtud laborikatsed läbi koostöös riiklike (IUT23-5) ja rahvusvaheliste (EU FP7 NanoValid ja Central Baltic Interreg IV A Programmi Soome-Eesti ühisprojekt RIMA) projektidega.

Üksikutel perioodidel investeeriti teadlikult palju aega ja ressursse projekti tulemustest teavitamiseks. See tähendas vajadust reserveerida projekti osalejate aega saadud tulemuste viimistlemiseks kasutuskõlblikuks ka mittespetsialistide jaoks, teavitada neist (teadus)üldsust ning, kõige olulisemana, saada adekvaatset ja professionaalset tagasisidet edasise töö vajadusteks. See võimaldas aga kinnistada saadud üksiktulemused, üldistada need, kommunikeerida erinevatele auditooriumitele ning viia publitseerimisele sobivale kujule.

Tulemusi tutvustati intensiivselt nii erialaringkondadele (sh. Läänemere mereteaduse kongressi ja Soome Matemaatika Päevade avaettekannetena), laiemale teadusüldsusele rahvusvahelistel ja Eesti-sisestel konverentsidel kui ka populaarses vormis (sh. loengutena teiste eriaalade suve- ja talvekoolides). Saavutati projekti eesmärkide ja tulemuste laialdane kajastus massimeedias, sh. ühe ülesande (LE4, ekstreemlained rannalähedases vööndis) kajastus Saksa ajakirjas *Der Spiegel.*

Tulemused (sh magistri ja doktoritööd) ja kuidas ning kus neid rakendatakse?

SISULISED TULEMUSED

Tallinna Tehnikaülikooli Küberneetika Instituudi töörühm

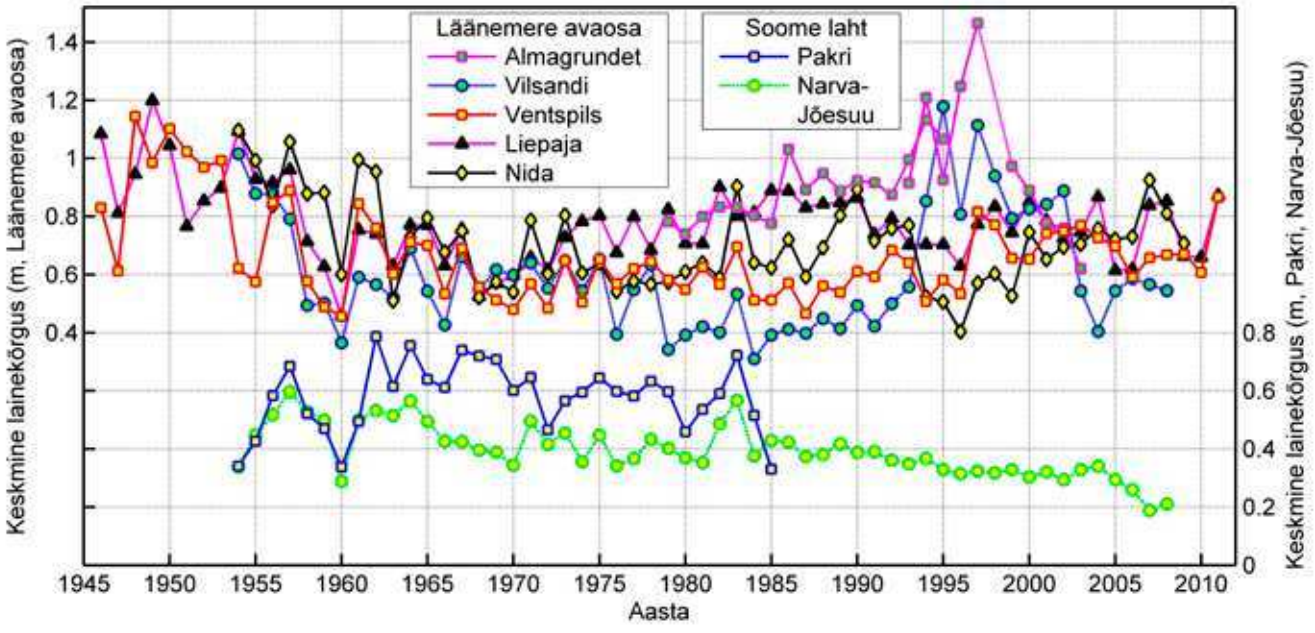
TTÜ töörühm kontsentreerus põhiliselt (i) harva toimuvate ekstreemsete nähtuste analüüsile (lainepõhised ohud rannikumeres, ekstreemsete tormide mõju rannikuprotsessidele), (ii) vähem aeglaselt, kuid pikaajaliselt toimuvate ja suurte võimalike kahjudega seonduvate protsesside mõju kaardistamisele (rannajoone muutused muutuva (laine)kliima puhul) ning (iii) rannikute kaitse preventiivsete meetodite väljatöötamisele.

Esiteks, rekonstrueeriti (nii arvutimudelite abil kui ka ajalooliste andmestike alusel) lainekoormuste muutused ja nendele vastavad rannikuprotsesside muutused Läänemere idaranniku randades.

Käivitati lainemudeli WAM uusim versioon, arvutatud ca 20 aasta pikkune Peipsi järve lainetuse parameetrite aegjada 470-meetrise lahutusvõimega, korrastati tuuleinformatsioon Läänemere avaosas jaoks ning arvutati kogu Läänemere lainetuse parameetrite aegread 1957–2008. Digiteeriti ajaloolised laineandmed Lätist (Ventspils, Liepaja) ja Liivi lahe rannikult (Ruhnu, Sõrve, Salacgriva). Kaks visuaalsete lainetuse vaatluste aegrida (Liepaja ja Ventspils) pikendati veel kaheksa aasta võrra tagasi minevikku, kuni 1946. aastani, kasutades 2012 a. väljatöötatud metoodikat lainetuse kvalitatiivsete vaatluste konverteerimiseks meetermõõdustikus lainekõrguseks (Joonis 1). Nende andmestike alusel esitati esmakordselt kaasaegne Läänemere lainetuse klimatoloogia (sh. ekstreemsete lainetuse tingimuste) analüüs, tuvastati lainetuse omaduste muutuste ajalugu. Tulemused on pälvinud suurt tähelepanu rahvusvahelisel areenil (nt. Läänemere mereteaduse kongressi avaloeng 2013, Soome matemaatika päevade avaloeng 2014). Kaitsti üks doktoritöö (I. Zaitseva-Pärnaste), üks magistritöö ja üks bakalaureusetöö.

Teiseks, arendati välja Eesti ranniku ja kogu Läänemere spetsiifikat arvestavad teoreetilised ja insener-tehnilised mudelid lainete ja ranniku vastasmõju mitmesuguste aspektide (setete transport, rannikute struktuurne stabiilsus, lainerünnakud, ristlainetes tekkivad hiidlained, murdlainetes lisanduv veetõus, ekstreemsete veetasemete korduvusperioodid jne.) kvantifitseerimiseks.

Näidati, et Eesti tingimustes ei sobi mitmed avaookeani ranniku jaoks kasutatavad sulgemissügavuse mudelid. Tuletati Läänemere jaoks sobiv metoodika ja ekspressmeetod ning arvutati sulgemissügavuste kaart Läänemere idaranniku jaoks. Arendati välja metoodika lainekõrguse ja levikusuuna leidmiseks murdlainete vööndi merepoolsel serval modelleeritud lainetuse andmestiku alusel. Arvutati piki Läänemere idarannikut (sh. Liivi laht) aset leidva settetrans-

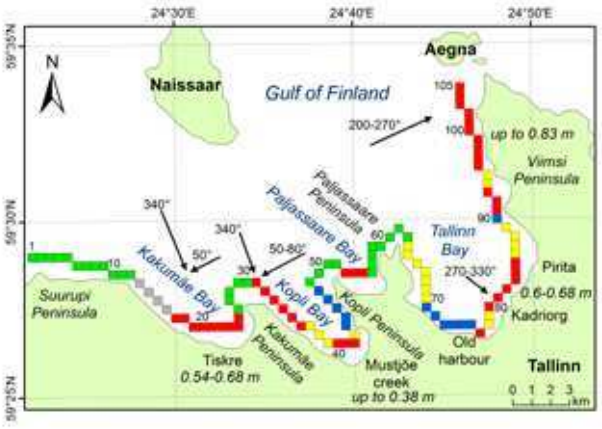


Joonis 1. Aasta keskmine lainekõrgus Almagrundetil (instrumentaalsete mõõtmiste alusel) ja Läänemere idaranniku vaatlusjaamades 1946–2011.

pordi struktuursed omadused: intensiivsus, suund, setete netotranspordi nullkohad ning nende varieerumine aastate lõikes. Summaarse settetranspordi pikaajaliste muutuste analüüs viis järeldusele, et tugevate tuulte suund Läänemere avaosa lõunapoolses sektoris on 1980-ndate lõpul radikaalselt muutunud. Rakendati metoodika erinevates tingimustes läbi viidud rannaprotsesside laserskaneerimise tulemuste ühendamiseks ja sidumiseks kohtmõõtmistega.

Töötati välja metoodika murdlainetes lisanduva veetõusu poolt ohustatud rannalõikude identifitseerimiseks. Koostati murdlainetes lisanduva veetõusu kaart Tallinna ja Muuga lahtede jaoks (Joonis 2) ja ekstreemseid veetõususid tekitavate tormide klimatoloogia kirjeldus. Leiti tõenäosus anomaalsete uhtekõrguste tekkimiseks kumeratel nn. mittepeegeldavatel rannaprofiilidel Eesti riikliku rannikute seire andmestiku alusel.

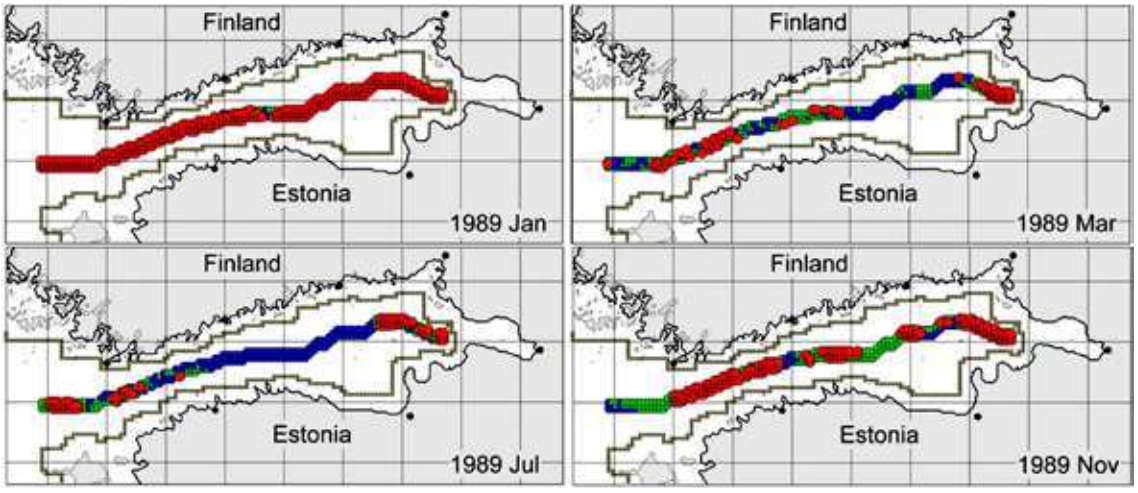
Leiti Tallinna piirkonna veetaseme lühiajalise ja keskpika aperioodilise muutlikkuse ekstreemväärtuste trendid ja korduvusperioodid. Näidati, et ansamblipõhine lähenemine võib oluliselt parandada ekstreemsete veetasemete korduvusperioodide hinnangute täpsust ning võimaldab eristada murdlainetes lisanduva veetõusu osa summaarses veetasemes. Suure amplituudiga äärelained võivad suurendada vee pinnal paiknevate kilede ja pinnal ujuvate ainete kontsentratsioone. Töötati välja ristlainetele vastavate kahetipuliste spektrite eristamise metoodika. Arvutati ristlainetuse esinemise tõenäosusjaotused Läänemere avaosa valitud arvutuspunktide jaoks. Koostati, testiti ja käivitati automatiseeritud protseduur, mis silub lainearvutuste käigus rekonstrueeritud kahemõõtmelised spektrid ja leiab peamiste erinevatest suundadest saabuvate lainete levikusuunad. Kaitsti üks doktoritöö (M. Viška).



Joonis 2. Tallinna ümbruse rannalõigud, mis on tundlikud murdlainetes lisanduva veetaseme suhtes. Punane: tundlikud alad (maksimaalne lisanduv veetase >20 cm); nooled: maksimaalsele lisanduvale veetasemele vastav tuule ja lainelevi suund; kollane: vähetundlikud alad (maksimaalne lisanduv veetase <20 cm); roheline: rannalõigud, mis on kaudselt kaitstud rannajoone kumera kuju tõttu ning kus lisanduv veetõus tõneäoliselt pole oluline; hallid: kõvadest kivimitest astanguga piirnevad rannalõigud, kus murdlainetes lisanduv veetõus ei esine; sinine: rannikutehniliste rajatistega kaetud rannalõigud.

Kolmandaks, arendati välja preventiivne keskkonnakaitse tehnoloogia ja kohandati see Eesti rannikuvööndi vajadustega, arvestades hoovustranspordi iseloomu.

Keskkonnaohutuse seisukohalt on oluline leida optimaalsed laevateed Läänemeres, mille puhul pikeneks oluliselt näiteks naftareostuse rannikuni levimise aeg. See võimaldaks vähendada looduskahjusid tundlikel ranniku- ning



Joonis 3. Laevateel merre sattunud ning seal pinnahoovustega passiivselt edasi kanduvate reostusosakeste 6 meremiili laiusesse rannavööndisse jõudmise tõenäosuse sesoonne muutlikkus. Sinine: laevatee piirkonnad, kust randa jõuab <30% reostusosakestest; roheline: 30–60% reostusosakestest; punane: >60% reostusosakestest.

merealadel nii selle tõttu, et jääb rohkem aega reageerimiseks kui ka selle tõttu, et looduslikud naftaproduktid osaliselt lagunevad ja auruvad. Vastav preventiivse keskkonnakaitse tehnoloogia rakendus töötati välja hoovustranspordi pöördülesandel põhineva metoodika alusel.

Töö käigus valmis pinnahoovuste poolt indutseeritud transpordi Lagrange'i trajektooride andmebaas Soome lahe jaoks 1982–2001. Testiti modifitseeritud sihifunktsiooni rakendamist (mille puhul väärtuslikeks aladeks loetakse merekaitsealad) praktiliste otsuste tegemiseks. Kvantifitseeriti laevatee nihutamise mõju merekaitsealadele. Analüüsitud saadud lahenduste tundlikkust arvutusperioodi pikkuse ja tsirkulatsioonimudeli lahutusvõime suurendamise ning väikesemastaabilise turbulentsi mõju lisamise suhtes, samuti lahenduste sesoonset ja aastatevahelist varieerumist. Valmistati ette kõnesoleva tehnoloogia katselisele kontrollimisele suunatud eksperimendid pinnahoovuste käitumist jälgivate ujuvpoidega Liivi lahes ja Kura laguunis. Viidi läbi pilooteksperiment Liivi lahes. Kaitsti kaks doktoritööd (B. Viikmäe, N. Delpeche-Ellmann).

Tartu Ülikooli töörühm

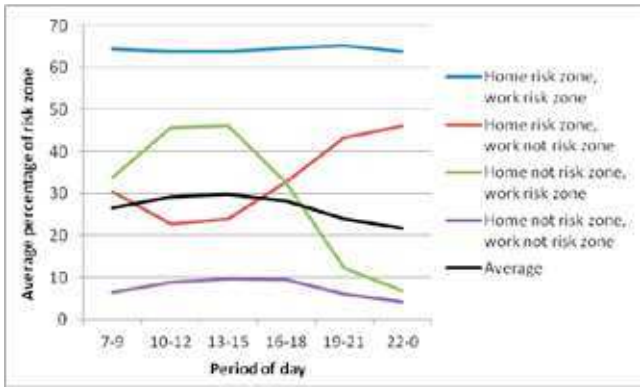
Riskianalüüsides kasutatakse tavaliselt inimeste ohuallikatele eksponeerituse uurimisel staatilisi rahvastikuandmeid rahvaloendusest, registritest või küsitlusuuringutest. Need andmed käivad tavaliselt inimeste kodu või töökoha kohta. Kaasaja mobiilses maailmas on vaja üha enam arvestada inimeste igapäevase liikuvusega (Kwan 2012; Bell & Brown, 2006). Töörühma keskseks eesmärgiks oli selgitada välja, kuidas arvutada mingil ajahetkel piirkonnas viibivate inimeste hulka ja kui palju on inimesed kogu oma igapäevases tegevuses ohuallikatele eksponeeritud. Selleks kasutati passiivse mobiilpositsioneerimise andmeid.

Alategevuse raames tehtud uuringutel on kolm põhilist tulemust.

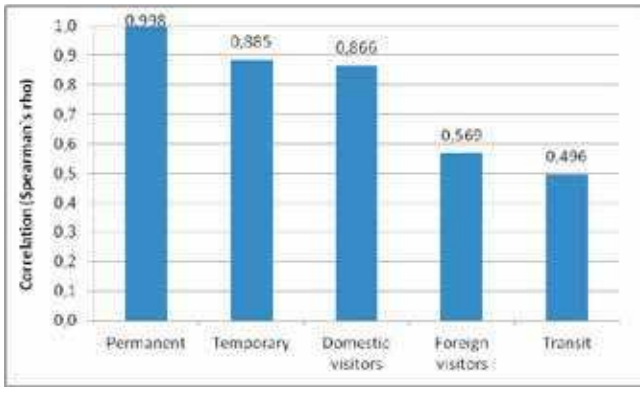
Esiteks arendati välja mobiilioperaatorite kõnetoimingutest (Call Detail Record e CDR) inimeste asukohtade hindamise metoodika. Lahendamist vajav probleem on seotud kõnetoimingute (CDR) kirjete vähesusega (keskmiselt 4–8 toimingut päevas) ja juhusliku paiknemisega ajas ja ruumis. Uus välja arendatud andmemudel võimaldab määrata igale respondendile asukoha igal ajahetkel. See andmemudel arendati välja küsitlusuuringu ja detailse asukohaandmestiku põhjal ning see on kohandatud kohalike elanike ja välisriikidest pärit (roaming) klientide asukohtade määramiseks. Selle mudeli arendamiseks kasutati transpordigeograafilisi, rahvastikugeograafilisi ja turismigeograafilisi mudeleid ja võrdlusandmeid, tulemused diskuteeriti erialakonverentsidel ja publitseeriti tugevates teaduasjakirjades (Järv et al 2013; Silm & Ahas 2014; Nilbe et al 2014).

Teiseks tulemuseks on selle andmemudeli abil elanikkonna riskiallikatele eksponeerituse arvutus. Tallinna linnaregioonis läbi viidud analüüs näitas, et 20,3 % Tallinna elanike kodu ja 24.5 % töökoht paikneb ohualal, 43,9 % Tallinna elanikest on vähemalt üks regulaarselt külastatav ankurpunkt ohualas. Igapäevase liikumise analüüs näitas, et kõige rohkem on ohuallikatele eksponeeritud ohualas elavad ja töötavad inimesed, tööpäeval suureneb tõenäosus ohualadesse siseneda väljaspool ohualasid elavatel inimestel (joonis 4). Puhkepäevadel mõjutab riskidele eksponeeritust eelkõige kodu ankurpunkti paiknemine. Inimesed on siis palju paiksemad ja ohualadesse ei sattuta.

Kolmandaks oluliseks tulemuseks on rahvastiku lühiajalise paiknemise statistilise manuaali väljaarendamine. Selle abil saab hinnata inimeste paiknemist (de facto population, Swanson & Tayman, 2011) omavalitsustes ja linnaosades igal ajahetkel. De facto elanikkond määratakse viie rahvastikusegmendi kohta: alalised elanikud, ajutised elanikud, siseturistid, välisturistid, transiitreisijad. Tulemused näitavad, et rahvaloenduse (loenduspäev 1.01.2012) elanike arvuga



Joonis 4. Tallinna elanike viibimine ohualas tööpäeval vastavalt nende elu ja töökoha paiknemisele ohualade suhtes.



Joonis 5. Rahvastiku segmentide kogu perioodi keskmine korrelatsioon rahvaloenduse elanike arvuga.

korreleerub kõige paremini alaliste elanike arv. Seos on väga tugev: korrelatsioonikoefitsient on 0,998 (joonis 5). Väga tugev seos on rahvaloenduse elanike arvuga ka ajutiste elanike arvul ning külastajate arvul. Rahvaloenduse elanike arvuga on keskmise tugevusega seos väliskülastajate arvu ning transiidi segmentidel.

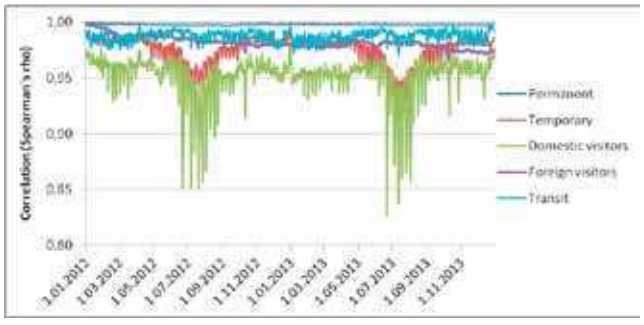
Statistilise manuaali jaoks arvutati välja ka rahvastiku paiknemise parameetrid nädalapäevade ja kuude lõikes. Tulemused näitavad, et alaliste elanike arv korreleerub rahvaloenduse elanike arvuga nädalapäevade lõikes kõige paremini reedeti ja laupäeviti. Nende päevade korrelatsioonid on statistiliselt oluliselt suuremad ülejäänud päevadest (joonis 6). Külastajate paiknemine omab sellele vastupidist seost. Väliskülastajate puhul korrelatsioon rahvaloenduse elanike arvuga nädalapäeviti ei erine, paremad korrelatsioonid on loenduspäeva turistide arvuga omavalitsustes.

Töö tulemused on leidnud kajastamist teaduskonverentsidel, teadusartiklites, ühes valminud (O. Järv) ja kolmes valmivas (M. Tiru, E. Saluveer, K. Nilbe) doktoritöös ning kaheksas magistritöös. Töö rakenduseks on statistilise manuaali andmete ja eksponeerituse arvutuste tulemuste kasutamine siseministeeriumis ja politsei analüüsikeskuses (Saluveer et al 201x; Ahas et al 201x). Tulemuste põhjal on välja töötamisel soovitused omavalitsuste planeerijatele ja päästevaldkonna riskijuhtimise spetsialistidele (Oja et al 201x). Töö jätkub Tartu Ülikoolis dünaamiliste ohuallikate kaardistamisega.

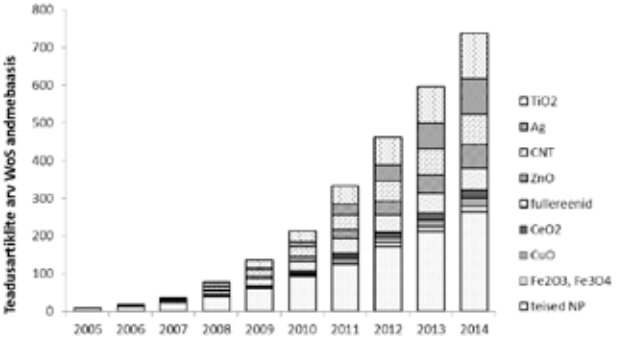
Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudi (KBFI) töörühm

Nanotehnoloogia kiire areng üha suurendab tõenäosust nanoosakeste poolt keskkonnareostuse tekitamiseks. Et hinnata nanoosakestega kaasnevaid riske, koguti ja analüüsiti olemasolevat teaduskirjandust enimtoodetavate ja laialdasemalt tarbekaupades kasutatavate nanoosakeste keskkonnaohtlikkuse kohta. Nanoosakeste keskkonnaohtlikkuse andmebaasi koostamine oli alategevuse mahukaim osa. Informatsioon koguti Web of Knowledge andmebaasis leiduvatest artiklitest, mida valitud nanoosakeste kohta oli kokku 474 (joonis 7).

Andmebaas hõlmab endas informatsiooni süsiniknanotorude, fullereeni, tsinkoksiidi, tseeriumdioksiidi, hõbeda, titaandioksiidi, vaskoksiidi ja raudoksiidi nanoosakeste kohta, mis erinevad oma parameetrite poolest (suurus, kuju, pinnakate, lahustuvus jne). Ühtekokku on andmebaasi kogutud enam kui 200 teadusartiklist nanoosakeste toksilisuse kohta üle 1300 väärtuse, mida saab kasutada nanoosakestest tulenevate keskkonnariskide hindamiseks. Kogutud andmete analüüsi käigus selgus, et metallipõhised nanoosakesed võivad olla keskkonnaorganismidele ohtlikud, ent suurele andmehulgale vaatamata pole selge, millist kahjulikku mõju nanoosakesed erinevatele liikidele täpsemalt põhjustavad ning mis juhtub nanoosakestega mulla- ja veeökosüsteemides.



Joonis 6. Rahvastiku segmentide ja rahvaloenduse päeva (1.01.2012) elanike arvu vahelise korrelatsiooni varieerumine päevade lõikes.



Joonis 7. Nanoosakeste keskkonnaohtlikkuse alane kirjandus Web of Science andmebaasis erituubiliste, nüüdisajal enim kasutatavate/ toodetavate nanoosakeste lõikes ajaraamis 2005–2014.

Selgitamaks kohalike tingimuste mõju nanoosakeste käitumisele vesikeskkonnas, uuriti käesoleva projekti raames valitud nanoosakeste biosaadavust ja sellest tulenevat toksilisust veeorganismidele erineva keemilise koostisega Eesti järvedes ja jõgedes. Esialgsed katsetulemused viitavad sellele, et nanoosakesed on looduslikes tingimustes enamasti vähem mürgised, kui seda võiks eeldada laboratoorsetest katsetest. Samas võivad sünteetilised nanoosakesed organismides akumuleeruda ning seeläbi kujutada ohtu veeökosüsteemide jätkusuutlikkusele.

Kui hinnati sünteetiliste nanoosakeste esinemist Eestis ringlevates tarbetoodetes, ühiskonnas ning keskkonnas üldiselt, siis nanoosakesed ning nende praegused kogused eeldatavasti endast ohtu veel ei kujuta. Samas, koos nanotehnoloogia ning nanoosakesi sisaldavate toodete (sh kosmeetika, puhastusvahendite, erinevate pinnakattematerjalide) kiire levikuga võib oletada, et juba lähitulevikus ringleb meid ümbritsevas keskkonnas järjest rohkem sünteetilisi nanoosakesi. Seetõttu on jätkuvalt oluline koguda ohutusteavet uute tarbetoodetesse ilmuvate nanoosakeste kohta.

Lisaks nanoosakestest johtuvatele ohtudele hinnati ka põlevkiviõlide reostusega kaasnevaid võimalikke riske. Näidati, et Eesti kliimas on põlevkiviõlidega saastunud pinnase isepuhastumisvõime väga aeglane. Ühtlasi olid põlevkiviõlid testitud veeorganismidele väga mürgised.

Kaitsti üks doktoritöö (A. Käkinen). Koostamisel on kolm doktoritööd.

Eesti Maaülikooli töörühm

Eesmärgiks oli leida lahendusi kaht tüüpi maismaa kontekstis ilmnevate riskide maandamiseks. Arvestades metsanduse ja põllumajanduse olulisust Eesti majandusele tervikuna, võeti vaatluse alla ohud, mis on seotud võõrliikide võimaliku sissetungiga. Merekeskkonnas ei ole taolised protsessid üldiselt kontrollitavad. Maismaal on võõrliikidega seotud riskid maandatavad näiteks metsamajanduses, kus vähevääruslike liikide sissetung on suhteliselt aeglane protsess, mille tagajärjed ilmnevad alles aastakümnete pärast. Seetõttu oli oluline viia läbi Eestis seadusandlikku jõudu omavate võõrliikide nimestike (keelatud liigid, metsapuudena kasutada lubatud liigid) ja eksperthinnangute põhjal invasiivses staatuses olevate taimeliikide teaduslik riskihindamine.

Riskihindamist liikide osas tehti mõlemas suunas, st analüüsiti keskkonnast tulenevaid riske liikidele (täpsemalt kaladele) ning võõrliikide poolt põhjustatud riske kohalikule elustikule. Kalade puhul võeti kasutusele vee reostuse biomarkerid ning täiendati vastavasisulist metoodikat. Kaugemaks eesmärgiks oli arendada välja HELCOM-i soovitustest lähtuvalt informatsioonisüsteem, et täiendada Läänemere toksiliste ainete seire metoodikat kalades toimuvate biolootiliste muutuste alusel.

Alategevuse peamised tulemused on järgmised.

Esiteks, leiti, et anaeroobse inhibeerimise testides hõbeda nanoosakestega (kollargool) ei ilmnenud nende negatiivne mõju biogaasi tootlikkusele. Juurutati analüüsimetoodika Ag määramiseks. Eksperimentidega näidati, et veeorganismide puhul sõltub nanoosakeste biosaadavus tugevalt vee keemilisest koostisest. Looduslikes vetes on lahustunud orgaanilise aine kontsentratsioon üks peamisi hüdrokeemilisi parameetreid, mis määrab nanoosakeste saatuse. Näidati, et testikeskkond muudab raudoksiidi biosaadavust ja pikaajalist mõju kirpvähiliste populatsioonidele.

Teiseks, võõrliikide osas valitud riskihindamise metoodika (*WRA*) kohandati Eesti oludele. Koostati koondandmebaasid Eestis invasiivsete võõrliikide (37 liiki; määrati nende riskiaste) ja rakendusmäärusesse „Looduslikku tasakaalu ohustavate võõrliikide nimekiri"(RTL 2004, 134, 2076) arvatud 13 taimeliigi andmetega. Ülesande lõppeesmärgiks oli Metsaseaduse (RT I 2006, 30, 232) rakendusmäärusesse „Metsa uuendamisel kasutada lubatud võõrpuuliikide loetelu" (RTL 2006, 87, 1597) kuuluvate liikide invasiooniriski hindamine ja vajadusel ettepanekute tegemine olemasoleva määruse muutmiseks. Analüüsiti detailselt metsandusega seotud bioinvasioonilistest protsessidest ja võõrliikide valdkondlikest mõjudest ning võõrliikide kasutamise ulatusest Eesti metsanduses.

Tulemuseks saadi, et 13 võõrpuuliigist 9 võivad põhimõtteliselt muutuda invasiivseks. Nende liikide laiaulatuslikust kasutamisest tuleks hoiduda. Formuleeriti korralduslikku tähelepanu vajava 21 invasiivse liigi tunnused: 1) riskiala ja liigi loodusliku levikuala kliimavöönd on sarnane; 2) enamikul liikidel on looduslik leviala väljaspool Euroopat; 3) võõrliigina levinud paljudes Euroopa riikides; 4) globaalselt (nii introdutseeritult kui ka looduslikult kasvavana) laialdaselt levinud; 5) valdav osa neist liikidest on mõnes piirkonnas põllumajanduslik umbrohi; 6) kõikide liikide perekonnas on veel teisi probleemseid liike; 7) toodavad palju elujõuliseid seemneid; 8) omavad risoomi ja/või võsundeid vegetatiivseks levikuks; 9) valdav enamus neist liikidest on mitmeaastased rohttaimed, kes saavad kasvada väga erinevates kasvukohtades; 10) liikide populatiooni ruumiline struktuur soodustab invasioonilist paljunemist (moodustavad kõrge tihedusega laike, kolmandik moodustab monokultuure).

Tööst valmis praktilise suunitlusega eestikeelne aruanne. Viidi läbi taimevõõrliike tutvustav õppepäev. Kaitsti üks bakalaureusetöö.

Kolmandaks, määratleti Eesti rannikumere ja jõesuudmete reostusaste võrreldes teiste Läänemere piirkondadega ja kvantifitseeriti õlis leiduvate toksiliste ainete mõju kaladele. Määrati vee reostuse biomarkerid. Laevateede lähedal on näiteks emakalale risk kõige suurem, seevastu Pärnu lahe keskkonna seisund oli üllatavalt puhas. Eesti rannikumere

uuritud piirkondadest on kõige puhtam Pärnu laht. Edasi reostusaste tõuseb vastavalt järjekorras: Saarnaki < Treimani < Kihnu < Vilsandi < Käsmu < Nõva ~= Sõrve. Loodi veekogude reostuse hindamise integreeritud näitajad (reostuse indeksid) ning saavutati kokkulepped nende kasutamise võimaluste analüüsiks naaberriikides (Rootsi, Norra).

Formaalne tulemuslikkus

Alategevuse raames saadud tulemuste alusel on juba publitseeritud (31.08.2014 seisuga) ***25 kõrgetasemelist teadusartiklit*** (tabel 1), tehtud üle saja teadusettekande ning kaitstud 12 magistritööd ja kuus doktoritööd. Valmimisjärgus on veel seitse doktoritööd. Tulemusi on ulatuslikult (enam kui ***75 korral***) ***kajastatud mitmesugustes meediakanalites.***

Väike, kuid siiski arvestatav osa projekti käigus saadud teadustulemustest kuulus 2013. a. tehnikateaduste vallas ***Eesti riikliku preemia*** saanud tööde tsüklisse „Merelt lähtuvate ohtude kvantifitseerimine ja minimeerimine Läänemere ranniku kontekstis" (T. Soomere).

TÜ ja TTÜ rühmade koostöö tulemusena koostati ideekavand Infotehnoloogilise Mobiilsusobservatooriumi loomiseks, mis lülitati 2014 a. lõpul ***uue objektina Eesti teaduse infrastruktuuri teekaardi nimistusse.***

Üldine hinnang, programmiviisil teadusarendustegevuse rahastamisele.

Kogu ambitsioonika alategevuse TERIKVANT strateegiline eesmärk oli suhteliselt harva realiseeruvate ning alles tekkivate, kuid suuremõjuliste keskkonnariskide analüüs, kaardistamine ja kvantifitseerimine Eesti maismaa, veekogude, ranniku ja õhustiku kontekstis. Nõnda süstematiseeritud teabe alusel saab võimalikuks nende mõju hindamine, nende toimimise aluseks olevate protsesside täpsem modelleerimine, uute metoodiliste lähenemiste, prognoosmudelite ja -moodulite ja loomine kaasaegsete teaduslike lahenduste alusel. Summas suureneb riigi võimekus märksa täpsemalt ja kiiremini ning sageli ka ennetavalt reageerida taolistele ohtudele.

Tulenevalt alategevuse strateegiast fokuseerus töö neljale pealtnäha vägagi erinevale keskkonnale ja hõlmas uurimisteemasid väga erinevatest valdkondadest. Tekib küsimus, et milleks selline ülikoolidevaheline teadusgrupp, kui uurimisteemad erinevad üksteisest väga laias ulatuses ning kas sellist gruppi on võimalik üldse ühistööks juhtida?

Teatavas mõttes oli tegemist kompromissiga temaatika keerukuse, ühiskondliku vajalikkuse ja sobivas valdkonnas töötavate spetsialistide rakendamise võimaluste vahel. Eduka teadusrühma aluseks on teatava kompetentsi kriitilise massi olemasolu. Kuna tegemist on valdkonnaga, kus on esindatud harvaesinevad ja alles tekkivad ohud, on igati loogiline, et taoline alategevus toetub eelkõige üksikute valdkondade tippspetsialistide kompetentsile. Nende kvalifikatsioonis ja võimekuses pole tavaliselt kahtlust, mistõttu taandub rühma edukus nende koostöö korraldamisele. Selles mõttes on – nii nagu kriisireguleerimise vallas tavaline – olulised isiklikud kontaktid, isiksuste sobivus koostööks ja informatsiooni ja ideede kiire levik.

Tabel 1. Alategevuse TERIKVANT formaalne tulemuslikkus.

	2012	***2013***	***2014****	***valmimas***
Kõrgetasemelised teadusartiklid (ISI, kat 1.1)	2	12	11	7
Korralikud teadusartiklid (kat. 1.2 + 3.1)	–	7	3	13
Muud publikatsioonid (sh. konverentside teesid)	2	14	10	
Teaduslikud ettekanded	17	54	44	
Populaarteaduslikud esitlused, meediakajastus (raadio, televisioon, ajalehed)	13	36	26	
Magistritööd	–	9	3	
Doktoritööd	–	2	2*+2	9

*Märkus: 2014.a. andmed 31.08.2014 seisuga. Ajavahemikul 01.09–15.12.2014 on kaitstud veel kaks doktoritööd TTÜ Küberneetika Instituudi töörühmas

Alategevuse tulemuslikkus näitab, et hoolimata teemade pealtnäha sisulistest suurtest erinevustest, saavad sellistes konsortsiumites koos töötavad teadlased kasu eelkõige süvaülevaadetest teiste valdkondade tööst ja tulemustest. Koostöö kaudu tajutakse valdkondi, kus nende huvid potentsiaalselt võivad kattuda, nähakse üksteise uuringumetoodikaid, mida võib üle kanda ka teise valdkonda. Täieneb teadlaste endi ekspertkogemus, levib teave, kelle poole probleemi tekkimisel pöörduda, samuti võimekus oma tööd kriitiliselt vaadelda ja eripäraste arvamustega arvestada, jne.

Alategevuse koordineerimise kogemus näitab, et ülikoolidevahelise teadusgrupi eduka ja plaanipärase koostöö tagab vajaliku strateegia eelnev kujundamine. Oluline komponent on kõigi teadlasrühmade valmidus seda järgida ning kasutada kogu tegevusperioodil. Ka selles mõttes on olulised töörühmade liikmete isiklikud kontaktid. Kui kõigil töögrupi liikmetel on ühetaoliselt teada, kuidas reaalselt toimub ning missugustel põhimõtetel on kujundatud tegevuste rahastamine, aruannete esitamine, suhtlemine jne, siis kulgeb kogu teadustöö sujuvalt, sünergeetiliselt, osapooltele igati kasulikult ning lõpptulemusena edukalt ka siis, kui rühmad igapäevaselt paiknevad füüsiliselt eraldi ja kuuluvad erinevatesse institutsioonidesse.

Last but not least: alategevuse koordinaatori hinnangul oli projekti edukuse fundamentaalseks aluseks hoolikas töörühmade ja teemade eelvalik. Valik tehti Eesti riigi huvide ja vajaduste ning olemasoleva kompetentsi tasakaalu alusel. Loobuti konkursipõhisest lähenemisest (mille rakendamine tõenäoliselt oleks vaid tekitanud probleemi, kuidas eristada tippteadlaste sisuliselt põhjendatud ja praktiliselt realiseeritavaid ettepanekuid ilustatud ning ressurssidega katmata projektidest). Orienteeruti selliste riskide analüüsile, mille jaoks oli Eestis juba olemas tipptasemel kompetents, demonstreeritud akadeemiline võimekus ja suutlikkus teadustulemusi praktikas rakendada. Taoline otsustusjulgus andis alategevuse koordinaatori hinnangul suurepärase tulemuse.

TTÜ ja KBFI tulemuste ülevaadetes viidatud kirjandus (NB! Projekti tulemuste alusel on ilmunud kordades rohkem publikatsioone)

Ahas, R., Silm, S., Oja, A, Novak, J., Tiru, M. 201x. Measuring daily exposure to risk agents with memory files of mobile Network operators, Journal of Risk Research, (manuscript in preparation).

Bell, M. and Brown, D. 2006. Who are the visitors? Characteristics of temporary movers in Australia. Population, Space and Place 12(2), 77–146.

Järv, O., Ahas, R. and Witlox, F. 2014. Understanding monthly variability in human activity spaces: a twelve-month study using mobile phone call detail records. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 38 (1): 122135.

Kwan, M.-P. 2012. The uncertain geographic context problem. Annals of the Association of American Geographers, 102(5): 958-968.

Nilbe, K., Ahas, R., Silm, S. 2014. Evaluating the Travel Distances of Events and Regular Visitors using Mobile Positioning Data: The case of Estonia, Journal of Urban Technology 21:2, 91-107.

Oja, A., Ahas, R., Oja. T. 201x. Interpreting individual risk exposure analysis with mobile positioning datasets: Policy recommendations for spatial planning. Journal of Applied Geography, (manuscript in preparation).

Saluveer, E., Tiru, M., Ahas, R., Silm, S., Altin, L., Sepp, M.L. 201x. Algorithms for generating (temporary) population statistics from passive mobile positioning data, Social Science Research (manuscript in preparation).

Silm, S. & Ahas, R. 2014.The temporal variation of ethnic segregation in a city: evidence from a mobile phone use dataset, Social Science Research 47: 30-43.

Swanson, D.A., Tayman, J. 2011. On Estimating a De Facto Population and Its Components, Review of Economics & Finance, 1: 17-31.

Bondarenko, O., Juganson, K., Ivask, A., Kasemets, K., Mortimer M., Kahru, A. 2013. Toxicity of Ag, CuO and ZnO nanoparticles to selected environmentally relevant test organisms and mammalian cells in vitro: a critical review. Archives of Toxicology, 84, 1181–1200.

Ivask A., Kurvet I., Kasemets K., Blinova I., Aruoja V., Suppi S., Vija, H., Käkinen A., Titma, T., Heinlaan M., Visnapuu M., Koller D., Kisand V., Kahru A. 2014. Size-dependent Toxicity of Silver Nanoparticles to Bacteria, Yeast, Algae, Crustaceans and Mammalian Cells in Vitro. PLoS ONE, 9(7), e102108.

Ivask, A., Juganson, K., Bondarenko, O., Mortimer, M., Aruoja, A., Kasemets, K., Blinova, I., Heinlaan, M., Slaveykova, V., Kahru, A. 2014. Mechanisms of toxic action of Ag, ZnO and CuO nanoparticles to selected ecotoxicological test organisms and mammalian cells in vitro: a comparative review. Nanotoxicology, 8, 57–71.

Kanarbik, L.; Blinova, I.; Sihtmäe, M.; Künnis-Beres, K.; Kahru, A. 2014. Environmental effects of soil contamination by shale fuel oils. Environmental Science and Pollution Research, 21(19), 11320–11330.

Ülevaade programmist

Ülevaade programmist

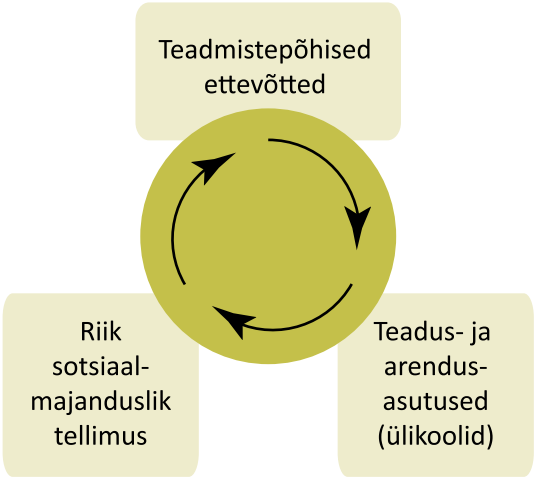
Ain Vellak

Riigi võimekus ja pädevus keskkonnatehnoloogia ja –kaitse valdkonnas omab järjest kaalukamat rolli kogu majandusliku arengu, sh teadus- ja arendustöö raames. Edu nimetatud valdkonnas tagab ühtlasi ka majanduslike võimaluste avardumise siseriiklikult, Euroopa Liidu piires ning kolmandates riikides. Uuenevad keskkonnatehnoloogiad saavad järjest enam ühiskonna sotsiaalmajandusliku arengu üheks arvestatavaks võtmevaldkonnaks. Ainuüksi keskkonnatehnoloogia mõiste näitab selle valdkonna arengu vajadust. Keskkonnatehnoloogia all mõistetakse loodusliku keskkonna kaitsmist ja parendamist kasutades maailmatasemel teadmust ja uurimusi.

„Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevuse programm (KESTA)" rakendati Euroopa Liidu struktuuritoetuste kasutamiseks alates aastast 2010. Teadusrahastamises on kasutusel mitmeid erinevatele põhimõtetele ülesehitatud rahastamisvorme. Üheks natuke eripärasemaks lähenemiseks ongi struktuuritoetustega seotud teadus- ja arendustöö rahastamine, mis toimub programmi alusel. Programm on dokument kindlatest (sotsiaalmajanduslikult vajalikest ja lahendamist väärivatest) eesmärkidest. Programm toetab keskkonnatehnoloogia valdkonna Euroopa teadusruumi ja Innovaatilise Liidu realiseerimist Eestis, Läänemere piirkonna teadus- ja innovatsioonipoliitika strateegia ning Euroopa Liidu naabruspoliitika eesmärkide saavutamist, samuti koostöö tugevdamist kolmandate riikide ja regioonidega. Programmi raames arendatakse teaduspõhist probleemilahendust ning rakendusi keskkonnakaitse ning keskkonna seisundit parendavate tehnoloogiate osas. Programmi alusel toetatakse sotsiaalmajanduslikult oluliste probleemide lahendamist, mis on suunatud teadus- ja arendustöödele. Programmi põhitegevuste hulka kuulub keskkonnakaitseks ja –tehnoloogiate arendamiseks vajaliku teadustegevuse ja teadusasutuste vaheliste teadustöögruppide toetamine, rahastamine, vajalike rakenduste arendamine ja olukorra ning võimalike arengusuundade analüüsimine.

Kõrgtasemel tulemuste saavutamiseks kaasati programmi tegevuste elluviimiseks kaheksa partnerit, kelleks on evalueeritud teadus- ja arendusasutused - Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut, Tallinna Ülikool, Tallinna Tehnikaülikool, Tartu Observatoorium, Eesti Maaülikool, Tartu Ülikool, Cybernetica AS ja Eesti Biokeskus. Tegevuste elluviimiseks moodustati partneritevahelised teadustöögrupid, mis pidid tagama Eesti teadusasutuste potentsiaali parima kasutamise ning valdkondlike alategevuste otstarbeka ühildumise. Programmi tegevusi nõustas ja kulgu jälgis programmi nõukogu, kuhu kuulusid partnerite esindajad ning keskkonnakaitse ja -tehnoloogia valdkonna organisatsioonide ja sidusasutuste poolt esitatud liikmed ning eksperdid.

Programmi KESTA kogueelarve suuruseks oli 6 697 570 eurot. Euroopa Regionaalarengu Fondist saadi 5 727 813 eurot ja riikliku kaasfinantseerimise maht ulatub 669 757 euroni. Eesmärkide saavutamiseks planeeriti vastavasisulised neli põhitegevust ning kaheksa alategevust, mille toimetamised olid seotud Eesti Keskkonnaobservatooriumi rakendamise, keskkonnaalaste akadeemiliste ja riiklike andmebaaside sidususe uurimise, keskkonna riskianalüüsi, kliima muutuste mõjude hindamise ning looduskaitseliste teaduslike otsuste arendamisega.



Joonis 1 Programmi valdkondlik koostöömudel

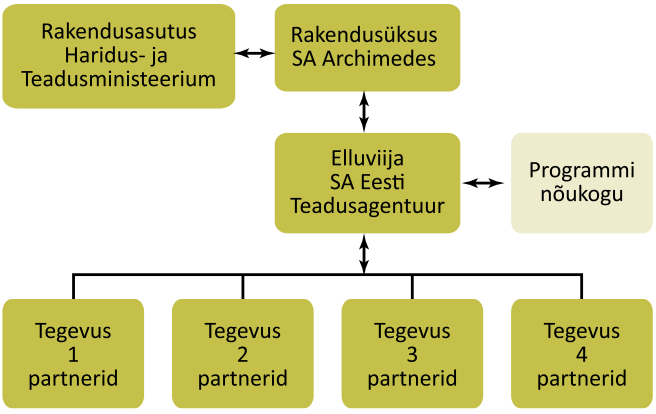
Programmi raames tehtavate teadus- ja arendustöö täpsemad teemad valiti, arvestades ka ministeeriumite ja nende ametite ning partnerite poolt esitatud probleemipüstitusi. Programmi raames laekus kokku 12 teemat kogusummas ligikaudu 12 milj eurot. Taotlustega kajastati teemasid aineringe, elurikkuse, infosüsteemide, kliimamuutuste, looduskaitse, mere, ressursikasutuse, riskianalüüsi, saastumise vähendamise, seire ja sisevete uuringute lõikes. Kõikide taotluste rahuldamise ja toetuste eraldamise puhul oleks rakendust võinud leida ligikaudu 400 teadlast. Peamiselt

esitasid taotlusi tuntud teadlastest koosnevad ülikoolidevahelised teadusgrupid. Teadus- ja arendustööna võimaldati nii rakendusuuringuid, kus eeldati, et uuringu puhul suudetakse välja tuua võimalikud rakendused kui ka alusuuringuid. Paraku jäädi taotlustes pigem teoreetiliste lahenduste juurde ning suunatus oli ikkagi enamusjaolt teadusartiklite avaldamisele. Rakenduslikud aspektid aga ilmnesid siiski ka tehtud tööde käigus. Arendus- ja teadustöö mitmed lahendused leidsid kohest kasutamist teiste valdkondade probleemide käsitlemisel. Samuti oli tore „saak" teadusartiklite osas.

Tegevus 1 Rakendusuuringute toetamine keskkonnakaitse ja -tehnoloogia prioriteetsetes suundades (kliima- ja keskkonnamuutused, loodusvarade ökoloogiliselt tasakaalustatud kasutamine, loodusliku mitmekesisuse ja looduslike alade säilitamine ning saastumise vähendamine).

Rakendusuuringud võimaldavad vastata ühiskondlikult prioriteetsetele küsimustele keskkonnakaitse ja tehnoloogia valdkonnas. Selleks luuakse teaduslikult põhjendatud lähenemisviisid vajatavate tegevuste süstemaatiliseks planeerimiseks ja võimalike ressursside kasutamiseks. Tegevuse kaudu toimub integreeritud teadmusvahetus Eesti ja rahvusvahelise tasandi vahel ning areneb koostöö teadusgruppide vahel. Rakendusuuringud hõlmavad looduskaitseuuringuid, reoveepuhastuse efektiivsemaks muutmist ja kliimamuutustele kohanemist. Uuringute tulemuste siire teistesse valdkondadesse võimaldab tõhustada sotsiaalmajanduslikku planeerimist ning selle abil majandusliku efekti saavutamist. Tegevuse väljundiks on planeeritud teadusprojektide realiseerumine, tulemuste rahvusvahelisel tasemel tunnustamine ja rakenduste kasutamine eritasandilistes otsustusprotsessides.

Tegevus 2 Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia valdkonnaga seotud Eesti teaduse infrastruktuuri teekaardi objektidega kaasneva teadustegevuse toetamine, mille käigus tehakse eksperimentaalseid alus- ja rakendusuuringuid kasutades teaduse infrastruktuuri teekaardi objekte eksperimentide korraldamiseks. Ruumiandmete, vaatluste ja eksperimentidest saadud tulemuste põhjal koostatakse erinevad mudelid või koostatakse täiendavad algoritmid protsesside hindamiseks lokaalsel ja regionaalsel tasandil. Tehakse alusuuringuid süsteemis atmosfäär-ökosüsteem-geosfäär, bio-geokeemilistes aine– ja energiaringetes, hinnatakse CO2, veeauru, valguse, temperatuuri ja energiavoogude muutusi erinevates ökosüsteemides. Tegevus võimaldab Eesti teadlastel jõuda rahvusvaheliselt oluliste keskkonnaalaste teadussuundade ja teemade juurde. Sellega suudetakse panustada üldiste keskkonnaprobleemide lahenduste otsimisse. Väljundiks on planeeritud keskkonnaalased kõrgtasemelised eksperimentaalsed uurimistööd, rahvusvahelise koostöö parenemine üldiste keskkonnaprobleemide lahendamisel ning probleemide olemuste selgitamine, mis saab olla aluseks potentsiaalsete lahenduste välja töötamiseks



Joonis 2 Programmi struktuur, koos peamiste programmi elluviimist tagavate institutsioonidega. Samuti on näha neli peamist tegevussuunda, mille alla kuuluvad kaheksa alategevust.

Tegevus 3 Riiklike ja akadeemiliste keskkonna-infosüsteemide sidususe analüüsimine ja analüütilise võimekuse arendamisprojektide koostamine elurikkuse informaatika ning kliima- ja keskkonnamuutuste uuringute tegemiseks.

Tegevuse eesmärk on tagada efektiivsel viisil keskkonnauuringute alane andmehõive. Keskkonnainfosüsteem jõuab kvalitatiivselt uuele tasandile, kus on põimunud teadustöö käigus ning teistest keskkonnavaatlustest saadud andmestik. Infosüsteem hõlmab nii biootilise kui ka abiootilise keskkonna andmeid. Märkimisväärselt laiendatakse juurdepääsu erinevatele andmesüsteemidele ning võimaldatakse integreeritud andmekasutust. Võrgustikupõhise süsteemi eesmärgiks on erineva primaarse andmestiku, sh näiteks analüüsitulemuste kättesaadavaks tegemine koos geoinfosüsteemiga seotud rakendustega. Andmete alusel on võimalik koostada arusaadavaid ülevaateid ning tagada andmete võrreldavus Euroopa Liidu piires. Tegevuse tulemusena tõuseb Eesti kompetents keskkonnamuutuste hindamisel ja tõuseb võimekus mitmesuguste muutuste mustrite adekvaatseks identifitseerimiseks.

Tegevus 4 Teaduspõhiste prognooside väljatöötamine kiireks ja täpseks ohule reageerimiseks. Keskkonnariske võib tekke järgi tinglikult jagada looduslikeks ja inimtekkelisteks. Riiklikus kriisireguleerimise kavas on vastutus jaotatud mitme ministeeriumi vahel. Kõiki valdkondi kattev riskianalüüs ning kriisireguleerimise kava on Eestis tavapärasel nõutaval tasemel. Probleemid tekivad harva toimuvate ekstreemsete loodus- või inimtekkeliste nähtuste puhul. Keskkonnariskide hindamine takerdub ka protsesside vähesele tundmisele ja suurele määramatusele. Mitmete oluliste nähtuste kohta puuduvad prognoosmudelid ning olemasolevad mudelid vajavad täiendavaid lisamooduleid täpsemaks ennustamiseks. Keskkonnariskid vajavad põhjalikku analüüsi, et planeerida edasisi vajalikke rakendusuuringuid, uusi metoodilisi lähenemisi ning riskiplaanide koostamist.

Detsembris 2014 lõpetati programmi alategevused. Seetõttu võib ka öelda, et 2014. aasta oli tulemuste aasta. Kõik alategevused esitasid oma saavutatud tulemusi teadusaruannetes ning andsid ka hinnangu, kuidas viimaseid kasutada erinevate probleemide lahendamisel. Programm näitas, et kui teadlased tõesti tahavad, siis nad esitavad väga häid tulemusi ka rakendusuuringutes. Iga kord ei ole oluline tegutseda vaid eelretsenseeritavate artiklite kirjutamise ja avaldamise suunas, vaid ka rakendusuuringud pakuvad huvitavaid lahendusi erinevatele probleemidele ning ei välista sugugi ka akadeemilise teaduse arendamist.

Programmi tegevuste väljundid aitavad kaasa keerukate keskkonnakaitse probleemide mõistmisele, mõtestatud arenguteede ja rakenduskavade väljatöötamisele, samuti ka põhjendatud keskkonnaalase poliitika kujunemisele. Lahendused leitakse keskkonnaalaste riskide hindamiseks, ruumiplaneerimiseks, ökosüsteemi aine- ja energiavoogude kirjeldamiseks, looduskaitseliste tegevuste efektiivsemaks muutmiseks, saaste vähendamiseks jne. Eripärasusena joonistub välja alusuuringute teadusaparatuuri taristu (teadusinfrastruktuuri teekaart) integreerimine programmilistesse tegevustesse, eelkõige keskkonnaseire ja aineringe alastesse rakendustesse.

Põhjalikke uuringuid tehti looduskaitseliste küsimuste lahendamisel, kus lõpptulemusena esitati konkreetsed ettepanekud, kuidas pikaajalisemas plaanis tagada liikide, koosluste jne säilitamine ja neile vajalike sotsiaalmajanduslike tingimuste areng. Kindlasti on üpriski intrigeeriv (programmi toetusel tehtud uuringu alusel kujunenud) arusaam, et Eestimaa loodusfondi vapiloom, lendorav, sureb üsna pea Eestis välja. Kas veel miskit päästa annab, peab lugema uuringust.

Üsna mahukalt käsitleti ühiskonnale kliimamuutuste leevendamise küsimusi. Selles valdkonnas omakorda suunati huvi mereveetasemete muutumisele, ekstreemlainetusele, ranniku muutustele ning ka mitmetele ühiskonna arengumudelitele. Ilmselgelt muutused toimuvad, kuid missugused stsenaariumid rakenduvad, on keerukas öelda. Samas peame omaks võtma mõtte, et protsessid (veetasemete muutus, ekstreemne lainetus jne) tekitavad suurimat kahju piirkondades, kus eelnevate planeeringute käigus ei ole „tahetud" (tülikad probleemid) vastavaid võimalikke muutusi ette näha.

Küllaltki keerukaks osutus probleemide ring, mis käsitles teadusandmete avatud kasutamist. Tehnilises mõttes saab erinevaid andmebaase ühendada, küll aga tekib küsimus, kuidas andmed andmebaasidesse jõuavad ja kuidas on korraldatud andmete kasutamine.

Kindlasti hakkab laialdasemat huvi pakkuma nanoosakeste temaatika, sest meta-uuringutulemused näitasid üsna selgelt, et probleeme nii pisikeste osakestega võib tekkida ka nendes sfäärides, mida me praegu ei aima.

Programmist saadud väljundid võimaldavad Eesti teadlastel integreerida oma tegevusi Euroopa Liidu vastavatesse valdkondadesse, tõsta oma mõjukust mujal tehtavas teadustöös, panustada ülemaailmsetesse keskkonnaprobleemidesse omapoolsete lahendustega.

Programmi elluviimine tõi esile ka mõned kitsaskohad. Üldjuhul on teadlased harjunud avaliku konkursi projektidega. Programmiviisilise rahastamise kogemust neil aga ei olnud. Kõige enam tekitas segadust tegevuste, seadmete ja kulumaterjalide nn abikõlblikkuse hindamine. Samas aga said teadlased suhteliselt kiiresti programmi üldpõhimõtetest aru ning kõik tegevused laabusid.

Väga selgelt joonistus välja, et programmi alategevuste elluviimiseks vajab teadlane professionaalset projektijuhti. See, et projekti juhib tegevteadlane ise, osutus ebaefektiivseks. Struktuuritoetuste kasutamise puhul on see eriti oluline, et tegevust juhib projektijuht, kellel on kogemusi struktuuritoetustega. Suurt hoolsuskohustust vajab näiteks dokumentide ohje. Teadlased ise ei pea sellega tegelema. Jäägu see projektijuhi kohustuseks.

Tunda andis ka raha kasutamise tagasihoidlik planeerimine ja seda nii elluviija kui ka partnerite osas. Raha väljamaksmine partneritele venis teinekord ebamõistlikult pikale ajale. Partnerite poolt tehtud kulutused sattusid olema vastuolulised elluviidavate tegevustega.

Samas on programmiviisilisel rahastamisel mõningane omapära, mis teeb programmi elluviimise atraktiivseks. Programm on meetod kindlate huvide ja eesmärkide saavutamiseks. Programm on eelnevalt hinnatud, mis näitab, et vastavasisulised tegevused toovad kasu. Sihtsuunitlus lasub tegevustel, mida on vaja kindlasti ellu viia. Sageli on need tegevused määratud teiste arengukavade, meetmete jne poolt. Programmis kajastuvad tegevused, mis suunavad ministeeriume integreerumisele piirialale („halli tsooni") jäävate probleemide lahendamisele. Sarnaselt toimub ülikoolidevaheliste uute uurimisgruppide moodustumine ja institutsioonide vahelise teadustöö kujunemine.

Kokkuvõtvalt, vaadates programmi raames saadud tulemusi, võib kindlalt väita, et „Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevuse programm (KESTA) on olnud igati asjakohane ja efektiivne. Programmi heal tasemel juhtides saab programmi tegevusi edukalt ellu viia, saavutamaks efektiivselt püstitatud eesmärke ja pidades ühtlasi kinni programmi ajakavast.

KESTA programmi nõukogu

KESTA programmi nõukogu

Ain Vellak

Programmi „Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevuse programm (KESTA)" viib ellu Eesti Teadusagentuur. Programmi elluviimisega alustas nüüdseks juba manalateed läinud PhD Ivar Puura. Programmi meeskonnas olid viimases koosseisus raamatupidaja Anneli Hellat, programmi juht Ain Vellak, väljamaksete kontrollija ja arhiivi koostaja Kaidi Meus.

Elluviija kutsus kokku programmi nõukogu, kuhu kuulusid partnerite esindajad ning keskkonnakaitse ja -tehnoloogia valdkonna organisatsioonide ja sidusasutuste poolt esitatud liikmed ning eksperdid.

Nõukogu on elluviijale nõuandev kogu ning programmi juhti ja programmi meeskonna liikmeid nõustav ühiskondlik ühendus. Esimesel koosolekul kingiti igale nõukogu liikmele töövahendiks soliidne mapp, programmi tähisega pastapliiats ja märkmik. Peab tunnistama, et järgnevatel koosolekutel kasutati neid üsna sageli.

Nõukogu nõustas elluviijat erialaliselt, andis elluviijale nõu programmi tegevuste tegevuse või eelarve muutmise ning programmi juhtimisega seotud küsimustes. Nõukogu tegevuste hulka kuulusid ka erinevate arvamuste esitamine elluviijale programmi tegevuste kohta ning uurimisgruppide poolt esitatud teadusaruannete kinnitamine. Samuti jäi nõukogu hooleks analüüsida programmi edukust ning anda vajadusel programmi juhile suuniseid programmi eesmärkide, tegevuste või nende elluviimise vahendite või töökorralduse muutmiseks. Nõukogu liikmete kaudu toimus ka KESTA programmi teavitus erinevatele teadusgruppidele ja ministeeriumitele.

Nõukogu käis koos kaks korda aastas. Nõukogu koosoleku materjalid valmistas ette programmijuht Ain Vellak ja koosolekut juhatas nõukogu esimees . Kõige keerukam aeg oli programmi alguses, kus nõukogu pidi andma elluviijale oma arvamuse alategevuste taotluste ja rahastamise osas. Keerukaks tegi selle asjaolu, et alategevuste teemad olid väga erinevad ning teemasid hinnanud ekspertide hinnangud samuti. Lõplik nõukogu arvamus kujunes igati asjatundlikuks ning jäi programmi elluviimise aluseks. Nõukogu töö näitas, kui tõsiselt on programm integreeritud erinevate valdkondade vahel. Seda asjaolu tõestab mitmete üksteist täiendavate ja uusi vaatenurki avavate lähenemisviiside esitamine. Nõukogu arutas oma koosolekutel ka programmi ülesehituse mõttekust, sh partneritele rahade väljamaksmise probleeme, teadus-arendustöö kulgemist, kuulas ja avaldas arvamust elluviija poolt esitatud aastaaruannetele, analüüsis eelarve kasutamist ja uue programmeerimisperioodi võimalusi, tegevuskavasid, tegi ettepanekuid abikõlblikkuse hindamiseks ja jälgis programmi üldist arengut. Samas jäi nõukogu arvamusele, et programmis abikõlblikkuse määramine peab tulevikus olema kordi lihtsam ja loogilisem.

Nõukogu koosolekud olid igati konstruktiivsed. Otsiti parimaid lahendusi probleemidele. Üldjuhul võeti arvamused vastu ühehäälselt. Mõnikord jäid mõned liikmed erapooletuks. Huvitaval kombel ei tekkinud olukorda, kus ülikoolid oleks grupeerunud igaüks eraldi. Ikkagi üritati leida kõigile osapooltele sobiv ühisosa.

Nõukogust oli palju abi, et programm sai kulgeda sujuvalt ja vastavalt ajagraafikule. Veelkord, kui programmi käivitamisel on tehtud väga põhjalik eeltöö ka nõukogu poolt, siis ei teki olulisi segavaid tegureid programmi elluviimisel.

Nõukogu esimehena töötas neli aastat Tartu Ülikooli Ökoloogia- ja maateaduste instituudi direktor PhD Leho Ainsaar.

Programmi nõukogu lõpetab oma töö „Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevuse programm (KESTA)" programmi lõppemisega, so 31. oktoober 2015.

Kokkuvõtvalt: KESTA programmi nõukogu töötas vastavalt talle pandud ootustele. Igati asjakohased nõuanded väga erinevates küsimustes ja programmi tegevuste kohta kolmandatele osapooltele, annavad aluse hinnata nõukogu tööd väga tõhusaks.

Programmi nõukogu viimane koosseis oli alljärgnev:

1.1. Eesti Maaülikool Kalev Sepp

1.2. Tallinna Ülikool Mihkel Kangur

1.3. Tallinna Tehnikaülikool Jüri Elken, Marko Piirsoo

1.4. Tartu Ülikool Leho Ainsaar, Toomas Saat

1.5. Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut Raivo Stern

1.6. Eesti Biokeskus Mait Metspalu

1.7. Cybernetica AS Aivo Jürgenson

1.8. Tartu Observatoorium Anu Reinart, Urmas Peterson

1.9. Keskkonnaamet Agu Leivits

1.10. Põllumajandusamet Indrek Halliste

1.11. Terviseamet Jelena Tomasova

1.12. Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevus (KESTA)programm Ain Vellak (hääleõiguseta)

1.13. ETAg Vallo Mulk, Margus Harak

1.14. IPT Projektijuhtimine OÜ juhataja Peeter Talviste

1.15 Haridus- ja Teadusministeerium Tiina Köster

Nõukogu ja programmi liikmed nõu pidamas.

KESTA alategevuse Eesti veekeskkonna observatoorium (VeeOBS) ülevaade

KESTA alategevuse Eesti veekeskkonna observatoorium (VeeOBS) ülevaade

Kuidas leiti uuringu idee?

Projekti idee kasvas välja Eesti teaduse infrastruktuuri teekaardi objekti „Eesti Keskkonnaobservatoorium" nelja liikmesasutuse algatusest teostada ühistegevus, mille alusel toimuks veekeskkonna seisundi kaugseire ja automatiseeritud pidevmõõtmiste süsteemi arendamine ning integreerimine ühtsesse reaalajas jälgitavasse süsteemi, laekuvate andmete kättesaadavaks muutmine veekogude seisundi teaduslikuks hindamiseks, riskihinnanguteks, ohuprognoosideks, kliimamõju uuringuteks ja veepoliitiliste otsuste kujundamiseks.

Kuidas leiti koostööpartnerid, kuidas kulgesid läbirääkimised?

VeeOBS projekti koostööpartneriteks on Eesti teaduse infrastruktuuri teekaardi objekti „Eesti Keskkonnaobservatoorium" konsortsiumi liikmed, kellede põhitegevuste hulka kuuluvad veekeskkonna kaugseire ja automatiseeritud pidevmõõtmised. Läbirääkimised Eesti Maaülikooli, Tartu Ülikooli, Tartu Observatooriumi ja Tallinna Tehnikaülikooli vahel toimusid konstruktiivselt.

Töögrupi kirjeldus ja koostöö

VeeOBS konsortsiumisse kuuluvad 4 Eesti teadusasutust. Projekti tegevused on jaotatud 4 erineva mooduli alla nii, et iga mooduli tegevuse läbiviimise eest vastutab üks koostööpartneritest. Tegevuse juhtpartner, Eesti Maaülikooli Põllumajanduse ja keskkonnainstituudi Limnoloogiakeskus on vastutav siseveekogude mooduli, Tartu Ülikooli Eesti Merei-nstituut veekeskkonna kaugseire mooduli, Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituut merekeskkonna automaatmõõtmissüsteemide mooduli ja Tartu Observatoorium andmehõive mooduli tegevuste eest.

Töögrupi liikmete hulka kuulus mitmeid „tänaseid" ja „eilseid" tudengeid, kelle läbiviidud uurimistöö sai projekti tulemuste vormistamisel oluliseks osaks. Toimusid mitmed ühisekspeditsioonid nii sisevete kui rannikumere uurimiseks. Ühisekspeditsioonide raames koguti andmeid nii mere- kui mageveekogude optiliste omaduste määratlemiseks, kui ka fütoplanktoni pigmentide analüüsimiseks ning CHEMTAX mudeli kohandamiseks Eesti veekogudele. Uurimisgruppide vaheline andmevahetus ja spetsiifilise apara-

VeeOBS ühisseire Võrtsjärvel (foto Martin Ligi)

tuuri ning kompetentsi rakendamine võimaldas laiendada uurimisprobleemide käsitlemise ulatust.

Koostöö tulemusena on esitatud mitmeid ettekandeid rahvusvahelistel teaduskonverentsidel ning on avaldatud (ja on veel ka lähitulevikus avaldamisel) arvukalt teadusartikleid.

- Asuküll, E. ja E. Kangro. MERIS satelliiditulemite neeldumisparameetrite valideerimine Eesti suurte järvede näitel. Eesti Kaugseirepäevade puhul väljaantavasse eestikeelsesse kaugseirekogumikku artikkel.
- Alikas, K., Kangro, K., Randoja, R., Asuküll, E. ja A. Reinart. Satelliidi-info kasutamise võimalused veekogude seisundi määramiseks Eesti suurtes järvedes. Eesti Kaugseirepäevade puhul väljaantavasse eestikeelsesse kaugseirekogumikku artikkel.
- Alikas, K., Kangro, K., Randoja, R., Philipson, P., Asuküll, E. ja A. Reinart. 2014. Robust remote sensing algorithms to derive ecological status for lakes. In: Lakes: The Mirrors of the Earth. Balancing Ecosystem Integrity and Human Well-being. Volume 2.: 15th World Lake Conference; Perugia; Italy, 1-5 September, 2014. (Toim.) C. Biscarini; A. Pierleoni; L. Naselli-Flores. Science4Press, 2014, 186 - 191.
- Alikas, K., Kangro, K., Randoja, R., Philipson, P., Asuküll, E., Pisek, J. ja A. Reinart. Monitoring optically complex inland waters in the context of EU WFD by means of satellite derived products. saadetud ajakirja International Journal of Remote Sensing.
- Asuküll, E. et al.. Coloured Dissolved Organic Matter variation in Lake Peipsi. on koostamisel.
- Rõõm, E-I., Nõges, P., Feldmann, T., Tuvikene, L, Kisand, A., Teearu, H. ja T. Nõges. 2014. Years are not brothers: two-year comparison of greenhouse gas fluxes in large shallow Lake Võrtsjärv, Estonia. Journal of Hydrology.
- Kauer, T., Kutser, T., Arst, H., Alikas, K. ja T. Nõges. Modelling lake primary production based on satellite data. on saadetud ajakirja Remote Sensing of Environment.
- Kutser, T., Toming, K., Laas, A. Determining the role of lakes in the global carbon cycle through remote Sensing of lake CDOM. Ettekanne 35th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Peking, 22-26 aprill, 2013.
- Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Alikas, K. Combining remote Sensing and buoy measurements for monitoring the Dynamics of dissolved organic matter and turbidity in an optically complex lake. Ettekanne XXII SIL kongressil, Budapest, 4-9 august 2013. Artikkel võeti vastu ajakirja Remote Sensing of Environment järvede erinumbrisse kuid jäi tähtajaks esitamata K. Tominga lapsepuhkuse tõttu.
- Ligi, M., Kutser, T., Paavel, B., Reinart, A., Kauer, T., Vahtmäe, E. Spatial variations of the Baltic Sea IOPs. Esitatud ajakirja Remote Sensing.
- Idrizaj, A., Laas, A., Anijalg, U. ja P. Nõges. Horizontal differences in ecosystem metabolism of a large shallow lake. on saadetud ajakirjale Journal of Hydrology.
- Rünk, N., Lips, I., Kikas, V., Meerits, A., Lips, U. Inter-annual variations and transverse patterns of the spring bloom in the Gulf of Finland in 2009 – 2012. Käsikiri esitatakse ajakirja Biogeosciences.
- Kikas, V., Lips, U., Liblik, T., Lips, I. Mesoscale and submesoscale variability in the Gulf of Finland (Baltic Sea) as revealed by autonomous in-situ observations. Käsikiri esitatakse ajakirja Ocean Sciences.
- Lips, I., Lips, U. Decline of the spring bloom: importance of Mesodinium rubrum at post-bloom nutrient flow in vertically stratified sea. Käsikiri esitatakse ajakirja Biogeosciences.
- Cremona, F., Laas, A., Nõges, P. ja T. Nõges. 2014. High-frequency data within a modeling framework: On the benefit of assessing uncertainties of lake metabolism. Ecological Modelling 294: 27–35
- Cremona, F., Kõiv, T., Kisand, Laas, A., Zingel, P., Agasild, H., Feldmann, T., Järvalt, A., Nõges, P. ja T. Nõges. 2014. From Bacteria to Piscivorous Fish: Estimates of Whole Lake and Component-Specific Metabolism with an Ecosystem Approach. PLOS ONE. DOI: 10.1371/journal.pone.0101845
- Tamm, M., Freiberg, R., Tõnno, I., Nõges, P. ja T. Nõges. 2015. Pigment-based chemotaxonomy - a quick alternative to determine algal assemblages in large shallow eutrophic lake? PLOS ONE, vastu võetud

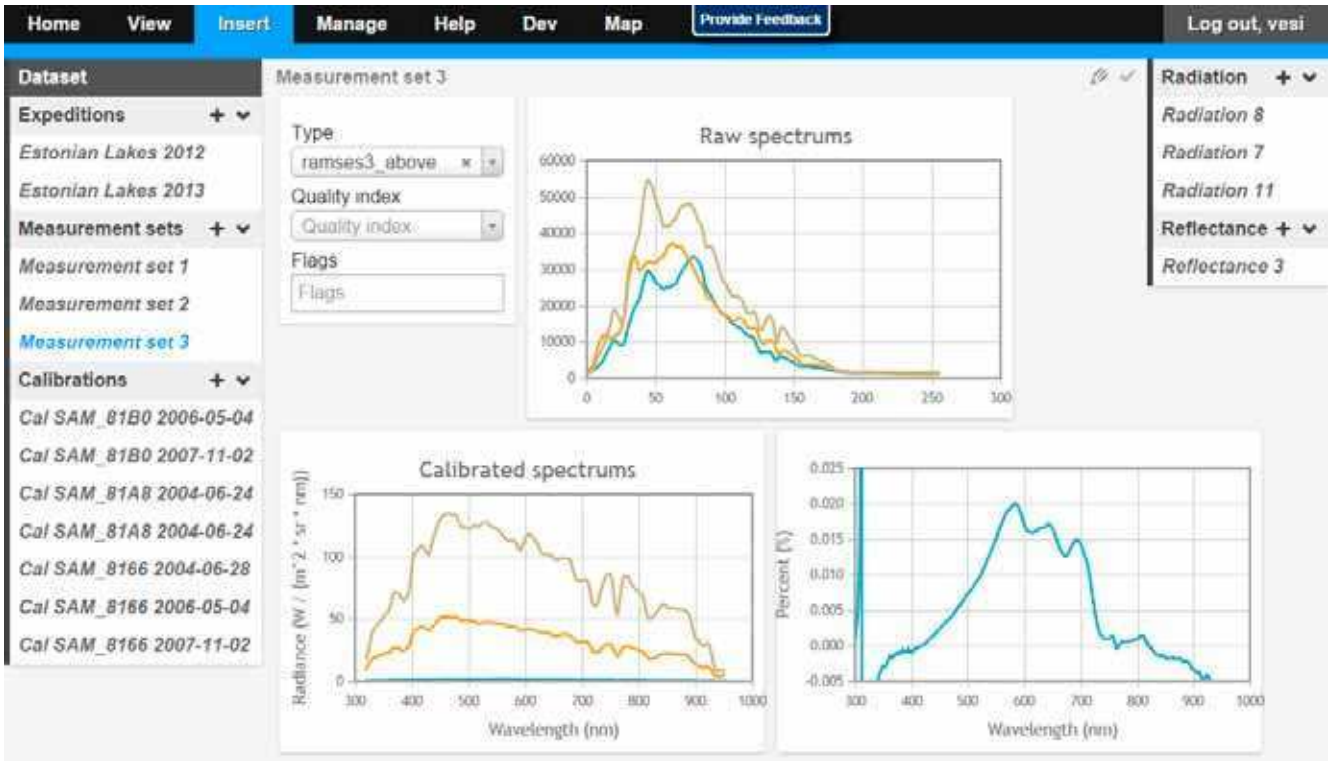
Mida tehti ja kas oli mingeid ettenägematuid tagasilööke?

VeeOBS eesmärkide realiseerimine toimus nelja suurema mooduli tegevuste raames:

Siseveekogude seiremoodulis registreeriti poijaamade abil erinevaid õhu ja vee keemilisi ning füüsikalisi näitajaid, et selgitada välja uuritavate veekogude metabolismitüüp (primaarproduktsiooni (GPP) ja hingamise (R) tasakaal) ning anda informatsiooni millised keskkonna- ja kliimafaktorid GPP ja R tasakaalu peamiselt mõjutavad ning põhjustavad selle muutumist nii lühiajaliselt kui aastate lõikes. Kasvuhoonegaaside (CO_2 ja CH_4) lendumist veekogude pinnalt mõõdeti ujuvkambrite meetodil sesoonselt veekogude avaveeosas ja kaldavööndis ning ka jää pinnalt. Kasvuhoonegaaside mõõtmistulemuste alusel hinnati veekogude rolli süsiniku sidujana või emiteerijana nii Eesti kui ka globaalses süsinikubilansis. Fütopanktoni seiramist veekogudes püüti hõlbustada CHEMTAX mudeli kohastamisega nii Eesti siseveekogudele kui Läänemerele. Mudel hõlbustab fütoplanktoni taksonoomilise koosseisu hindamist ja võimaldab oluliselt suurendada seire sagedust veekogudel ning alandada teostatava töö hinda, mida tuleks maksta aeganõudva kõrge kvalifikatsiooniga spetsialisti mikroskopeerimistöö eest.

Merekeskkonna automaatmõõtmissüsteemide moodulis registreeriti ja edastati veebi vahendusel reaalajas kõrglahutusega andmeid keskkonnaparameetrite horisontaalsest ja vertikaalsest jaotusest Soome lahes. Reisiparvlaevadele paigaldatud Ferrybox mõõtesüsteemiga registreeriti merevee pinnakihi temperatuuri, soolsust, klorofüll *a* fluorestsentsi ja hägusust. Poijaamades registreeriti temperatuuri, soolsuse, klorofüll *a* fluorestsentsi, lahustunud hapniku sisalduse ja hägususe jaotused kogu veesamba ulatuses. Kogutud andmete abil saavad teadlased ja spetsialistid Eesti ja naaberriikide vastavatest asutustest operatiivselt koostada mereprognoose (sh koostada ohuprognoose mere kasutajatele ja avalikkusele) ning usaldusväärsemalt anda hinnanguid merekeskkonna seisundi kohta.

Veekeskkonna kaugseire moodulis töötati välja Eesti ranniku- ja sisevete seireks sobivad kaugseire meetodid ja algoritmid. Selleks kasutati nii kontaktmõõtmisi, automaatseid poijaamu kui ka satelliitide poolt kogutavaid andmeid. Poijaamade ja kaugseire abil kogutavaid andmeid püüti integreerida ühtseks süsteemiks, kus poijaamade



Joonis 1. Andmebaasi kasutajaliides - TriOS RAMSES andmete sisestamine

poolt mõõdetud näitajaid saab ekstrapoleerida kaugseire abil suuremetele veealadele ning vastupidi – kaugseire produkte valideeritakse jooksvalt poijaamade andmete põhjal ka edaspidi. Väljatöötatud tehnoloogiad hõlbustavad oluliselt veekogude ökoloogia ja keskkonnamuutuste uurimist ning omavad olulist rolli globaalsel kliimamuutuste uurimisel.

Andmehõive mooduli tegevuste abil loodi kontaktmõõtmiste andmebaas (joonis 1), kuhu on võimalik sisestada andmeid nii ekspeditsiooni kirjelduse kui mõõtmisjaama taustinfo (nt sügavus, pilvisus, lainetus jne) kohta ning salvestada ka välitöödel kogutud ja veeproovist laboratoorselt mõõdetud optiliselt aktiivsete ainete kontsentratsioonid, neeldumis- ja nõrgenemisspektrid, fütoplanktoni liigiline koosseis ja biomass ning radiomeetriliste mõõtmiste TriOS RAMSES, WISP-3, ACS, VSF ja BB3 andmed.

Andmehõivemooduli tegevused aitasid kaasa ka Eesti Maaülikooli automaatjaamade andmete reaalajas kättesaadavaks muutmisele EMU järveveeb veebilehel (http://jarveveeb.emu.ee/)

Suurimaks tagasilöögiks projekti läbiviimisel sai satelliit MERIS-e tegevuse lõppemine 2012. aasta kevadel, mille piltide alusel oli planeeritud algselt kaugseire mooduli tegevuste läbiviimine. Oli lootus, et MERIS-e asendaja OLCI jõuab Sentinel-3 pardal orbiidile, kuid kahjuks ei saanud ka see projekti kestvuse ajal teoks. Eelnevast tulenevalt kasutati projekti tulemuste saavutamiseks satelliit MERIS varasemalt kogutud arhiive ning 2013. aastal orbiidile jõudnud satelliit Landsat 8 kogutud materjale.

Lisaks sellele soetas TÜ EMI 2013. aastal lennukil paikneva kaugseire spektromeetri HySpex, mille võimalusi katsetati nii Peipsi järve kui rannikumere kaugseires. Ühelt poolt avardas HySpex'i soetamine meie tehnilisi võimalusi kaugseire algoritmide väljatöötamisel (suurem ruumiline ja spektraalne lahutusvõime), aga teiselt poolt võimaldavad hüperspektraalsed andmeid meil simuleerida MERIS-e ja selle Sentinel 3 pardal paikneva järeltulija OLCI spektraalset ja ruumilist lahutust ning seega teostada plaanitud tegevusi kaudsel kujul.

Joonis xx. VeeOBSi raames toimunud TÜ Mereinstituudi kaugseirajate ja Eesti Maaülikooli Limnoloogiakeskuse ühisekspeditsioon Väinamerel, juuli 2013(foto René Freiberg)

Joonis xx. Esimene, kuigi ajutine, poijaam Peipsi järvel (foto Eva-Ingrid Rõõm)

Tulemused (sh magistri- ja doktoritööd) ja kuidas ning kus neid rakendatakse?

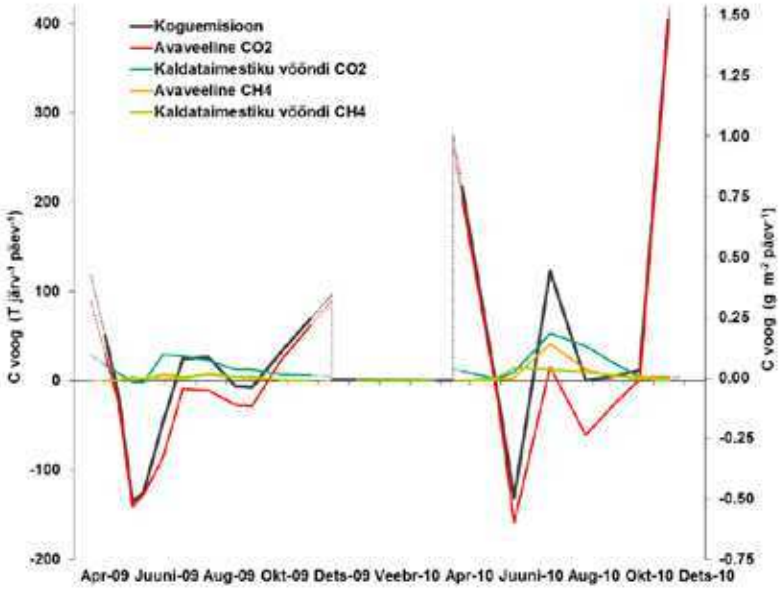
Siseveed.

Projekti raames tehtud kasvuhoonegaaside emissioonimõõtmised Võrtsjärvel, Viisjaagu ja Vissi järvel ning Karijärvel ja Saadjärvel näitasid, et kaldataimestiku osakaal kasvuhoonegaaside emissioonis on märkimisväärne võrreldes nende suhtelise pindalaga järve kogupindalast. Eriti oluliseks tuleb fenomeni lugeda metaani (CH_4) emissiooni hindamisel: vaid setetes anaeroobsel lagunemisel tekkiv gaas pääseb õhku eelistatult just koos kaldataimestiku juurtest sisse imetava vee ning toitainete „kokteili" kaaskomponendina, vabanedes peale „priisõitu" taime sees lõpuks lehtede kaudu kui taimele mittevajalik jääkaine. Sama fenomen toimib ka setetes tekkiva süsinikdioksiidi (CO_2) korral, kuid kuna taimed emiteerivad antud gaasi ka hingamisel ja teisalt vajavad fotosünteesil ning seovad seda lisaks ka õhust, võib olenevalt kella- ja aastaajast, ilmast ning taime liigist, olla summaarne ööpäevane CO_2 emissioon kaldataimestiku vööndis nii positiivne kui negatiivne (joonis 2).

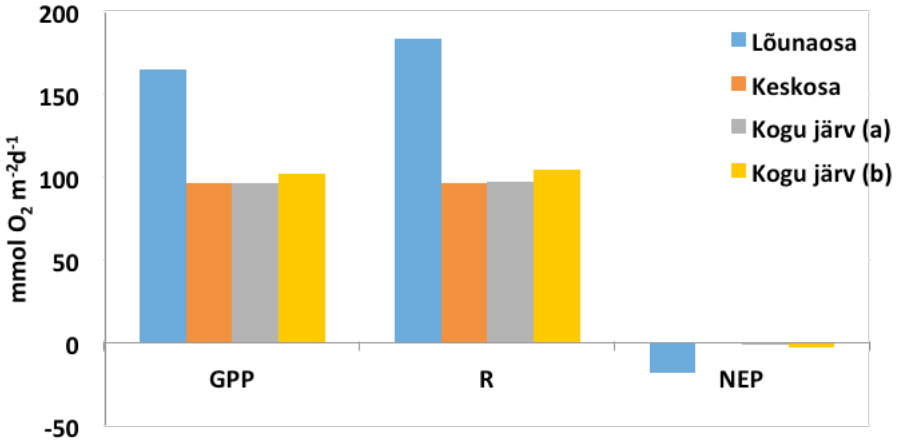
VeeOBS projekti tulemusena on Eesti väikejärvede kasvuhoonegaaside koguemisioon hinnanguliselt 100-240 g (C) m^2 kohta aastas (17600 – 42200 T (C) aastas). Eesti summaarne KHG-de emissioon võib jääda vahemikku 63000 – 143000 T (C) aastas ja sõltub väga tugevalt nii ilmastikulistest parameetritest kui veetasemest ja selle kõikumisest. Globaalses kontekstis on KHG-de emissioon riigi territooriumi pindalaühiku kohta Eestis hinnanguliselt suurem kui näiteks Lätis või Leedus ja jääb sarnasesse suurusjärku meie põhjanaabrite Soome ning Rootsiga. Samas on meie keskmised emissioonid pindalaühiku kohta umbes suurusjärgu võrra madalamad kui näiteks troopilises kliimavööndis.

Projekti käigus koguti ning analüüsiti aastatel 2009 kuni 2014 Võrtsjärvest kogutud igakuiseid fütoplanktoni pigmendiproove kromatograafilisel meetodil kalibreerimaks CHEMTAX arvutusmudelit mikroskoopia abil saadud seireandmetega. 2012. aastal kogutud proovide analüüs kinnitas hüpoteesi, et pigmentkoostis järve eu- ning afootilises kihis ei erine statistiliselt teineteisest ning jääb mõõtmisvea piiresse. Algset planeeritud uurimisala laiendati ka rannikumere ja väikejärvede peale ning rakendati kaskaadfiltreerimist pikoplanktoni koosluse kindlakstegemiseks. Saadud tulemused annavad suurt lootust kasutada CHEMTAX meetodit fütoplanktoni seiramiseks kõikides Eesti veekogudes, mis oma tihedama seiresammu tõttu annab parema ülevaate veekogude seisundist ja aastasest muutusest, samuti kliimamõju ja eutrofeerumise trendidest.

Veekogudes toimuva primaarproduktsiooni ja hingamise vahekorra alusel saab järved jagada kahte ainevahetuse tüüpi: valdavalt CO_2 tootvateks (heterotroofseteks) ja valdavalt CO_2 talletavateks (autotroofseteks). Ka väike nihe primaarproduktsiooni ja hingamise tasakaalus, põhjustatuna näiteks orgaanilise aine või toiteainete (näiteks fosforiühendite) sissevoolu muutustest, võib muuta järve kui terviku ainevahetuse tüüpi.



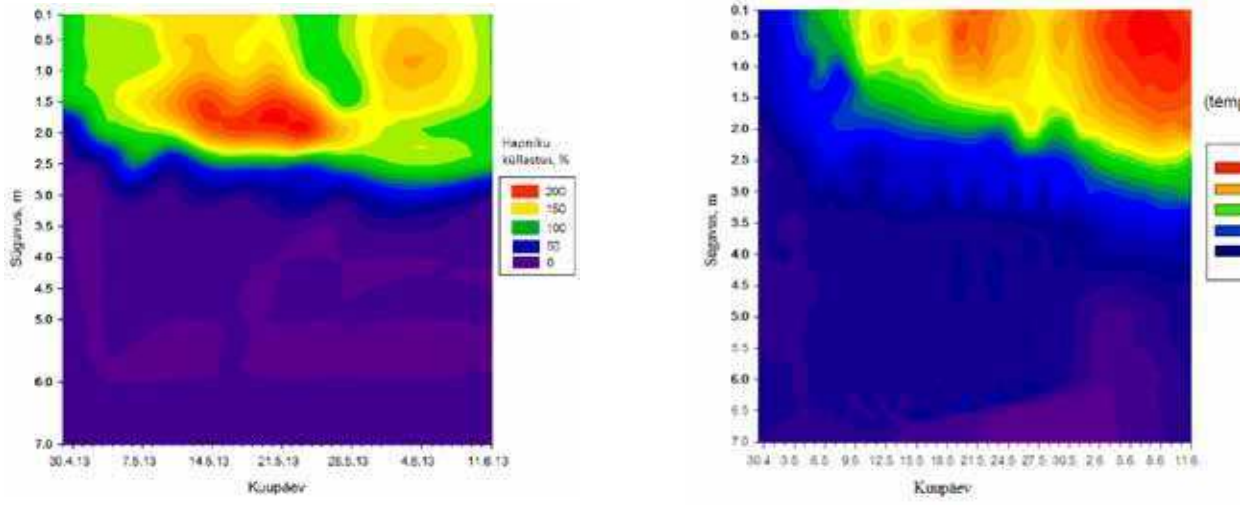
Joonis 2. Kasvuhoonegaaside emissiooni sesoonsed muutused Võrtsjärvel: andmete töötlemine sai teoks tänu VeeOBS projektile.



Joonis 2. Võrtsjärve metabolismi näitajate erinevus järve eriosades ja omavaheline suhe kogu järve metabolismis. A - kui arvestada, et lõunaosa tulemused iseloomustavad vaid 2% kogu järve akvatooriumist ja B - kui arvestada, et lõunaosa tulemused iseloomustavad kogu järve litoraalivööndit (18.5% järve akvatooriumist).

VeeOBS projekti käigus leiti, et Võrtsjärve metabolismitüüp muutub kaks korda aastas. Autotroofne periood algab varakevadel kohe peale jääminekut ning kestab kuni augusti keskpaiga või septembrini, seejärel muutub järv kuni varakevadeni heterotroofseks. Võrtsjärve koguproduktsioon on hingamisega ligikaudu võrdne või ületab seda vaid veidi, mistõttu järv ei toimi olulise CO_2 emiteerijana. Temperatuuri tõus intensiivistab hingamist rohkem kui fotosünteesi, mistõttu võib oletada, et kliima soojenemisel võib Võrtsjärve metabolismitüüp nihkuda heterotroofsuse suunas. Võrtsjärve madal ja vooluveeline lõunaosa on valdavalt heterotroofne (hingamine ületab produktsiooni), erinevalt järve avaveelisest keskosast kus esineb ka autotroofne periood (joonis 2). Keskosas on tuulel metabolismimääradele suurem mõju, kui tuule eest rohkem kaitstud lõunaosas. Võrtsjärve avaveeosale metabolismi hinnangu andmiseks piisab vaid keskosa tihesagedusega mõõtmistest. Lõunaosas asuv mõõtejaam võimaldab täpsustada kogu järve taimestikuga kaetud ala metabolismitulemusi. Selline täpsustus ei muuda aga tuntavalt järve metabolismitüübi üldist hinnangut.

Kihistunud järvede metabolismi uurimiseks teostati mõõtmisi Elvas Verevi järvel. Uurimistulemused näitasid, et ülemises segunenud kihis olid produktsiooni ja hingamise keskmised väärtused madalamad kui järve hüppekihis või vahetult selle peal. Viimast ilmestab kenasti ka hapniku küllastuse mõõdetud väärtused järve profiilis uuritud perioodil (joonis 4). Saime kinnitust, et kihistunud järvedele metabolismihinnangute andmisel tuleb teostada mõõtmis mitmetelt eri sügavustel, sest vaid pinnakihi (epilimnioni) uurimistulemuste alustel alahindaksime järve koguproduktsiooni ja ülehindaksime puhasproduktsiooni. Kogu veemassi põhjal arvutatuna käitus 2013 aasta maikuus Verevi järv autotroofse veekoguna.



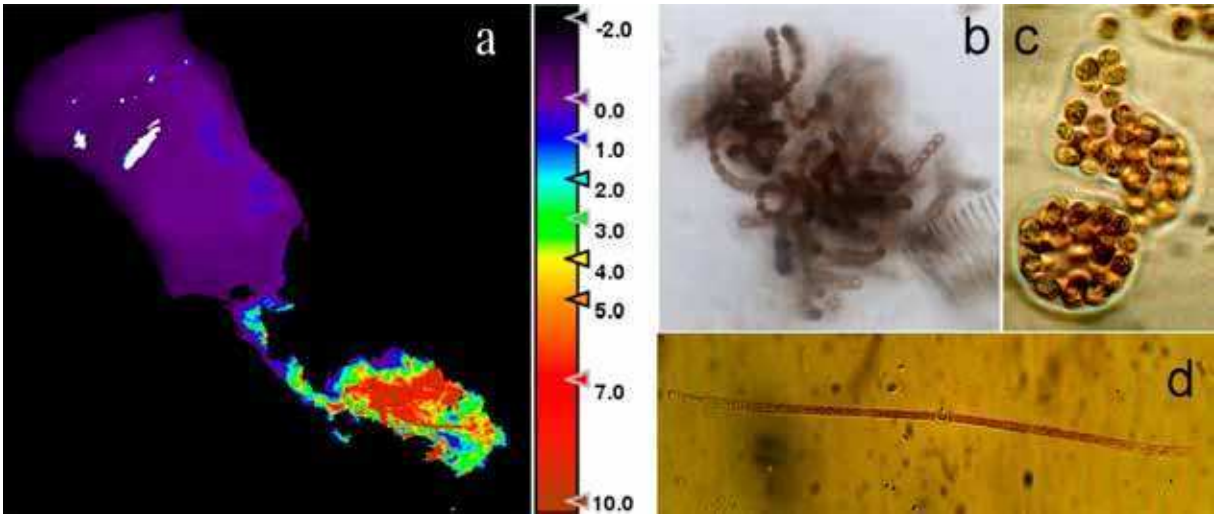
Joonis 4. Verevi järve hapniku ja temperatuuri kihistumine 2013. aasta mais.

Kaugseire.

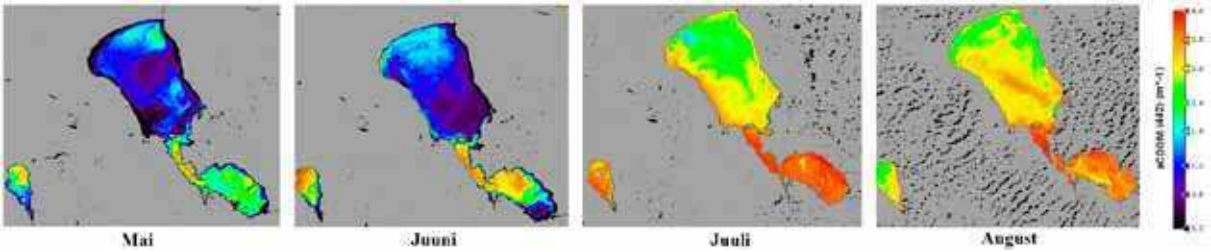
Arhiveeriti perioodi 2002-2011 MERIS/Envisat taandatud ruumilise lahutusega (RR, piksli suurus 1.2 x 1.2 km) ja täieliku ruumilise lahutusega (FR, 0.3 x 0.3 km) pildid. Põhjalikumalt analüüsiti igal aastal perioodi aprillist septembrini Eesti rannikumeres ning suurtes järvedes (Peipsi, Võrtsjärv). Alla laetud tasand 1 andmetele (Level-1, atmosfääri ülapinnal mõõdetud kirkus erinevatel lainepikkustel) tehti mitmeid korrektsioone (radiomeetriline, naabrusefekt) ning arvutati veetulemid (peegeldustegur, Chl, tsm, CDOM) erinevate vee protsessoritega (FUB, C2R, MEGS). Sinivetikate biomassi ja fütoplanktoni biomassi arvutamiseks kasutati erinevates kanalites mõõdetud peegeldusteguri vahe ja suhte indeksit: MCI (Maximum Chlorophyll Index) indeksit. Lisaks kasutati MCI indeksit ka sinivetikate intensiivsuse sesoonsete ja aastatevahelise muutlikkuse hindamiseks. Potentsiaalselt mürgiste õitsengute tuvastamine on oluline nii puhkajate tervise kui joogivee puhastamise seisukohast. Kui traditsioonilised seiremeetodid võimaldavad anda punktipõhise hinnangu, siis satelliitkaugseire lisab ülevaate õitsengu ajalise ja ruumilise arengu kohta.

Eesti veekogude peamine valgust neelav ja värvust kujundav komponent on lahustunud orgaaniline aine (Dissolved Organic Matter), mille valgust neelavat osa nimetatakse värvunud lahustunud orgaaniliseks aineks (Coloured Dissolved Organic Matter (CDOM)). CDOM-i dünaamikat ja jaotust uuriti Peipsi ja Võrtsjärve 2008-2011. aasta kontaktmõõtmiste alusel ning saadud tulemusi võrreldi samal perioodil kogutud MERIS/Envisat satelliiditulemitega. Kontaktmõõtmisi töödeldi lähisinfrapuna korrektsiooniga, sest filtreerimisel jääb proovi väikeseid osakesi ja õhumullikesi, mis hajutavad valgust ja seeläbi suurendavad spektraalse neeldumiskoefitsiendi väärtust. Satelliiditulemeid töödeldi kõigepealt naabrusefekti vähendava töötlusprogrammiga ICOL (Improved Contrast between Ocean and Land) ning seejärel erinevate töötlusprogrammidega (BOREAL, C2R), leidmaks meie oludele kõige sobivamat töötlusviisi. Peipsi järve ning Võrtsjärve CDOM ajalise varieeruvuse uurimine nii kontaktmõõtmiste kui ka satelliiditulemite korral näitavad, et CDOM omab suuremaid väärtusi kevadel, saavutab miinimumi suvel ning väärtused tõusevad taas sügisel. Varasematest uuringutest on teada, et taoline muster on ka veekogude veerežiimil, mis näitab, et LOA hulk on seotud veekogu veerežiimi ja seega ka sademetega. Ruumilise varieerumise tulemused näitavad, et jõgede suudmetes on järve suurimad CDOM väärtused, mis viitab sellele, et peamiselt on CDOM pärit veekogusse suubuvate jõgede poolt valgalalt kogud orgaanilise ainega. Testitud töötlusprogrammidest saadi kõige paremad tulemused (2008-2011) BOREAL töötlusprogrammiga (R2=0,30), millele oli eelnevalt rakendatud ICOL korrektsioon. Kõik satelliidipiltide töötlusviisid alahindavad kontaktmõõtmiste tulemusi umbes 30%. Samuti prooviti leida empiirilist kanalisuhte algoritmi, mis andis veidi parema tulemuse (R2=0,37).

Fütoplankton on oluline biofüüsikaline näitaja, mida kasutatakse tavapäraselt veekogude eutroofse seisundi hindamiseks. Fütoplanktoni hulga hindamisel lähtutakse fotosünteetilise pigmendi klorofüll-a (Chl-a) kontsentratsioonist. Uuriti klorofüll-a kontsentratsiooni ja fütoplaktoni neeldumiskoefitsiendi varieerumist Peipsi järves ja Võrtsjärves.



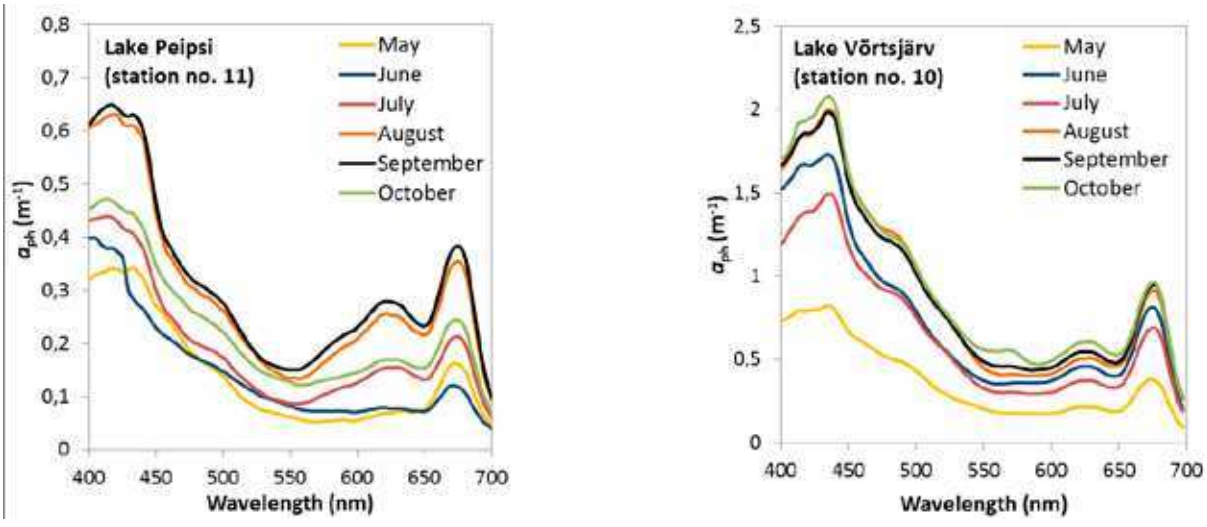
Joonis 5. Sinivetikaõitsengu algus Pihkva järves 2010. aasta juulis (11.07.2010) maksimaalse klorofülli indeksi (MCI, [mW/(m2 sr nm)]) alusel (a) (K. Alikas). Paremal on peamised õitsengut põhjustavad sinivetikad: Anabaena lemmermannii (b), Microcystis wesenbergii (c) and Aphanizomenon flos-aquae (d). K. Kangro pildid.



Joonis 6. CDOM-i varieeruvus Peipsis ja Võrtsjärves mai - august 2011. a. Algoritmiga ICOL+BOREAL töödeldud joonise legendil on näidatud CDOM (442) vahemikus 0,02– 4 m-1.

Fütoplanktoni neeldumiskoefitsiendi (aph(442)) ja klorofüll-a (CChl-a) vahelist seost Eesti suurte järvede jaoks kirjeldas kõige paremini astmeline seos (CChl-a = 29,5*aph(442)0,75), mille parameetrite väärtused on tugevas positiivses korrelatsioonis (R2 = 0,76). Eraldi Peipsi ja Võrtsjärve jaoks leitud empiiriliste seoste erinevused täheldati olevat tingitud kahe veekogu hüdroloogilistest ja morfomeetrilistest iseärasustest ning dominantsete vetikarühmade biomassi väärtustest ja omavahelisest varieeruvusest. Summaarse CChl-a suurenemisega kaasnes a*ph(442) väärtuste kahanemine mõlemas veekogus. Kahesuguse ümbertöötluse läbinud MERIS standardtulemitest suutsid MEGS 8.1 produktid aph(442) ja CChl-a in situ väärtuste muutlikkust edukamalt kirjeldada. Üldiselt aga ülehindasid MEGS aph(442) ja seeläbi ka Chl-a tulemid madalaid parameetrite väärtusi. Koguneeldumiskoefitsiendi väärtuste valideerimisel MEGS 8.1 tulemite põhjal saadi häid tulemusi (R2 = 0,59), kuid vastava ümbertöötluse läbinud tulemid ei suuda fütoplanktoni ja lahustunud orgaanilise aine neeldumiskoefitsientide osakaale õigesti määrata. Seetõttu ei parandanud CChl-a tuvastamise täpsust veekoguspetsiifiliste seoste rakendamine, andes võrreldes MEGS standardtulemitega nõrgemaid determinatsioonikoefitsiendi väärtusi ning suuremaid statistilisi vigu.

Atmosfäärikorrektsiooni meetodite uurimisel võrreldi õhusamba niiskussisalduse määramisviise Eesti andmetel. Hoolimata mitmetest õhusamba niiskussisalduse (sadestatav veeaur, W) määramisviisidest, pole ükski neist siiani defineeritud kui referentsmeetod. Uuriti seoseid nelja meetodi – GPS, AERONET, HIRLAM ning raadiosondeerimine – vahel. Võrreldes AERONET fotomeetriga mõõdetud W väärtusi GPS ja HIRLAM andmetega, ülehindas AERONET sadestatavat veeauru 5–9 %, kui W < 12 mm, ja alahindas 6–10%, kui W > 25 mm. Tulenevalt HIRLAM mudelandmete suhteliselt väikesest ajalisest ja ruumilisest resolutsioonist ning hõredalt paiknevatest lähipiirkonna raadiosondeerimise jaamadest, ilmnes mudelandmete kõrvutamisel GPS ja AERONET mõõtmistega suurem hajuvus kui viimastel omavahel. Uurimuse tulemused viitavad, et W väärtusi sobis iseloomustama kõige täpsemini GPS meetod. Satelliidiandmete korrigeerimiseks kasutatakse sageli AERONET andmeid ja need näitasid kergelt kõrgemaid väärtusi kui raadiosondi andmetest võrreldes GPS meetodiga. Siiski on andmed tugevas vastavuses teiste mõõtmistega 79% juhul ja nõrgalt vastavuses on ainult vähestel juhtudel. Veeauru hulga määramatus on seega 10%, mis atmosfääri korrektsiooni meetodite puhul pole kriitiline, sest aersooli parameetrid mõjutavad tulemust oluliselt rohkem.



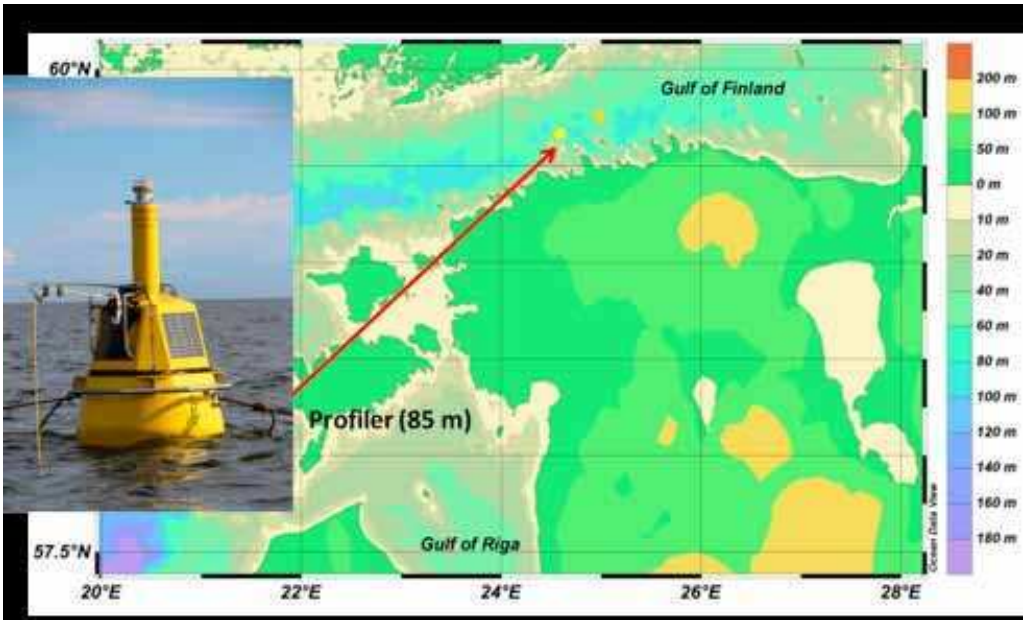
Joonis 7. Keskmiste (2010-2013) aph spektrite varieeruvus Peipsis (a) ja Võrtsjärves (b).

Uuriti satelliidi-info kasutamise võimalused Eesti suurte järvede seisundi määramisel. MERIS-elt pärinevaid satelliidiandmeid võrreldi *in situ* kogutud andmetega ja vaatluse all oli ka läbipaistvuse ruumiline muutlikkus erinevatel aastatel. Näidati kuidas satelliidipiltidelt saadud fütoplanktoni näitajate (biomass, Chl-*a* sisaldus) ja läbipaistvuse alusel saab klassifitseerida järvi vastavalt Euroopa Liidu Veepoliitika Raamdirektiivi nõuetele.

Kuna Eesti laiuskraadil on tihti pilvine, õnnestub kaugseire algoritmide väljatöötamiseks ja valideerimiseks vajalikke in situ mõõtmiste ja satelliidipiltide paare koguda äärmiselt vähe (välitööd võivad sattuda pilves ilmale). Seepärast on mõistlik kasutada poijaamu, mis annavad mõõtmistulemusi suure ajalise lahutusega ning tagavad selle, et iga pilvevaba satelliidipildi kohta on saadaval ka in situ andmed vähemalt ühes punktis. VeeOBS projekti raames kasutasime Maaülikooli poisid, mis ei ole spetsiaalselt kohaldatud kaugseire andmete valideerimiseks kuid näiteks klorofüll a ja vee hägusus on parameetrid, mida saab mõõta nii satelliidilt kui poijaamas ning neid andmeid õnnestus projekti raames ka kasutada. Osaliselt tänu VeeOBS raames saadud tulemustele toetas Šveitsi valitsus Eesti-Šveitsi programmi raames spetsiaalse kaugseire andmete valideerimise poi soetamist ning 2015. aasta kevadel alustab see tööd Saaremaa lõunarannikul. Soovitav oleks poisüsteemi soetamine ka Peipsi järve ning Võrtsjärve poi täiendamine mõningate kaugseiret toetavate seadmetega.

Merekeskkond. Tallinn-Helsingi parvlaevale installeeritud läbivoolusüsteemi ja Soome lahte kevadest sügiseni paigaldatud autonoomse poijaama abil kogutud andmete analüüs on näidanud, et:

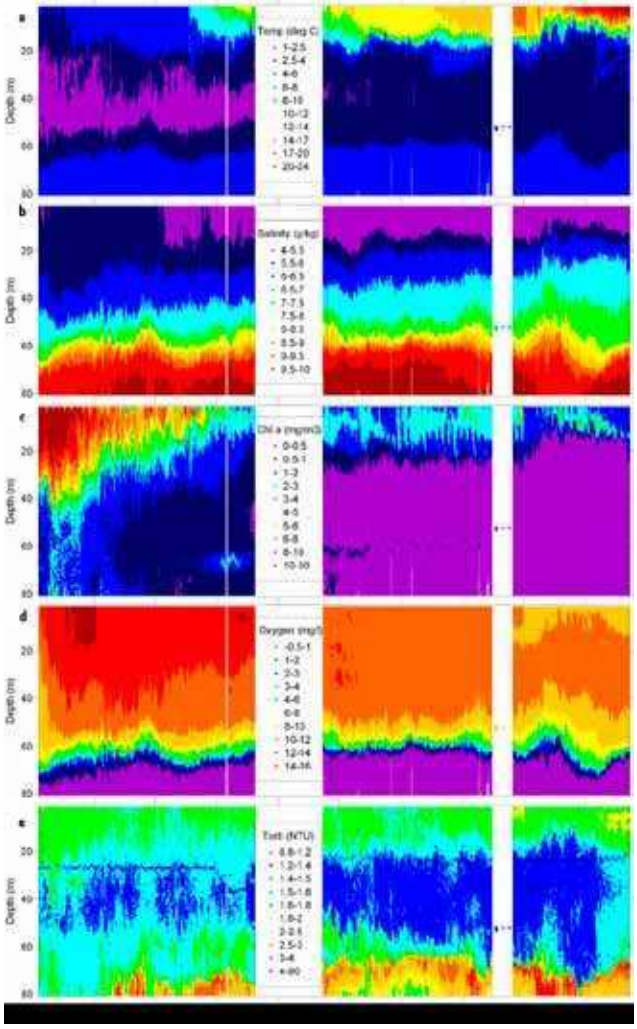
- Ristlõikel Soome lahe keskosas (Tallinn-Helsingi) toimub maist-septembrini igal aastal vähemalt 3-4 suuremat apvellingu sündmust, mis mõjutavad oluliselt ainete vertikaalset transporti ja veesamba segunemist lahes;
- Lisaks mesomastaapsetele protsessidele on okeanograafiliste väljade jaotusmustrite kujunemisele olulised stratifitseeritud Soome lahes ka sub-mesomastaapsed protsessid – temperatuuri jaotuse ruumispektri langust mastaapide vahemikus 10-1 km järgib ligikaudu langust -2 (logaritmilisel skaalal);
- Vertikaalset stratifikatsiooni iseloomustavate parameetrite (stratifikatsiooni tugevus, termokliini asukoht) ja okeanograafiliste väljade horisontaalse jaotuse muutlikkus on väga tihedalt seotud. See võimaldab pakkuda välja adekvaatsemaid (omavahel seotud) vertikaalset ja horisontaalset segunemist kirjeldavaid skeeme operatiivsetele mudelitele;
- Kevadine toitainete ning klorofüll *a* sisalduse jaotus ja dünaamika on mõjutatud enne kevadõitsengut valitsenud hüdrodünaamilisest situatsioonist Soome lahes (sh talvise konvektsiooni ja estuaarse tsirkulatsiooni intensiivsus) ning õitsengu perioodil esinevatest mesomastaapsetest protsessidest lahes.



Joonis 8. Autonoomne poijaam ja selle asukoht 2014. aastal Soome lahes.

• Aastatel 2013-2014 lisandunud uute süsteemide (uus poijaam, mis registreerib vertikaalseid profiile vahemikus 2-80 m; uurimislaeva Salme läbivoolusüsteem) ja andurite (lahustunud hapnik, hägusus, fükotsüaniin) abil kogutud andmete analüüs võimaldab välja tuua järgmised esialgsed järeldused:
• Halokliini dünaamika on sarnaselt sesoonsele termokliinile ka suvel oluliselt mõjutatud tuulerežiimist piirkonnas – teatud tingimustel võib ilmneda halokliini märkimisväärne nõrgenemine, mis otseselt mõjutab ainevahetust mere põhjakihi ja ülemiste kihtide veemasside vahel;
• Põhjalähedase kihi hapnikusisaldus on ajas muutlik; pikemaajalise hapnikuvaeguse esinemisel kujuneb halokliini sügavusel (redokskliinis) välja kõrgendatud hägususega veekiht, mis näitab osakeste suurt kontsentratsiooni, mis on moodustunud biogeokeemiliste protsesside toimel vees lahustunud ainetest;
• Fükotsüaniini mõõtmised mere ülakihis (kasutades uurimislaevale paigaldatud läbivoolusüsteemi) annavad usaldusväärset informatsiooni, mis võimaldab ette näha tsüanobakterite pinnakogumite teket.

Autonoomse poijaamaga 2014. aastal registreeritud keskkonnaparameetrite vertikaalsete jaotuste ajalise muutlikkuse joonistelt (Joonis 9, poijaama asukoht on toodud joonisel 8) on hästi näha mõned iseloomulikud stratifitseeritud estuaari dünaamikat iseloomustavad nähtused, nagu a) sesoonse termokliini teke ja tugevnemine maist juuli lõpuni; b) halokliini erosioon tugeva segunemise tagajärjel juuli keskpaigas; c) kevadõitsengu maksimumi perioodil intensiivne orgaanilise aine settimine mere põhja ja fluorestsentsi ööpäevase perioodiga muutlikkus juunis-juulis; d) hapniku vaegusega põhjalähedase kihi dünaamika, mis on seotud soolsuse vertikaalse jaotuse muutlikkusega; e) kõrgendatud hägususega kihi teke ja dünaamika hapnikuga ja hapnikuta veekihtide kokkupuute sügavusel (redokskliinis).



Joonis 9. Autonoomse poijaama abil registreeritud (a) temperatuuri, (b) soolsuse, (c) klorofüll a, (d) lahustunud hapniku ja (e) hägususe vertikaalsete jaotuste ajaline muutlikkus Soome lahes 22. aprillist 29. juulini 2014. aastal.

VeeOBS välitööd Peipsi järvel (foto Martin Ligi)

VeeOBS välitööd Raigastvere järvel Vooremaal (foto Ilmar Ansko)

Magistri- ja doktoritööd.

VeeOBS projektis teostatud tööde alusel kaitsti Eesti Maaülikoolis 1 magistri- ja 3 doktoriööd (Urmas Anijalg, Kaire Toming, Rene Freiberg ja Alo Laas). Magistritöös uuriti kuidas erineb Võrtsjärve ainevahetus järve kahes erinevas osas. Doktoritöödes anti projekti uurimustulemuste alusel hinnang: Võrtsjärve kui suure ja madala järve ainevahetusest; lahustunud orgaanilise aine ja selle ökoloogilisest tähtsusest suurtes ja madalates veekogudes; ja sellest kuidas fütoplanktoni pigmendid peegeldavad suurte ja madalate järvede ajaloolist ja tänapäevast seisundit. CHEMTAX rakendamise tulemused on aluseks doktorant Marju Tamme väitekirja koostamiseks ja kaitsmiseks 2016 aastal.

Tartu Observatooriumi poolsetest projekti liikmetest kaitsesid Tartu Ülikoolis magistritööd Elar Asuküll (Vees lahustunud orgaanilise aine määramine satelliitidelt) ja Evelin Kangro (Fütoplanktoni neeldumiskoefitsiendi ja klorofüll-a kontsentratsiooni vaheline seos kaugseire rakendusteks Eesti suurte järvede näitel).

Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituudis kaitses Stella-Theresa Stoicescu 2014. a kevadel magistritöö „Soome lahe keskkonnaseisundi hindamine: erinevate meetodite võrdlus (eutrofeerumise valdkonnas)", milles kasutati instituudi erinevate teadusprojektide raames, sh VeeOBS projekti toetusel automaatsete süsteemidega aastatel 2011-2013 kogutud andmeid. VeeOBS projekti raames teostatud mõõtmised on otseseks sisendiks kahele instituudis kaitsmisele minevale doktoritööle: Villu Kikas „Mere ülakihi ökoloogiliste olekumuutujate ajalis-ruumilise muutlikkuse jälgimine in-situ autonoomsete mõõtesüsteemide abil" ja Nelli Rünk „Fütoplanktoni kevadõitseng Soome lahes – sõltuvus stratifikatsiooni kujunemisest kevadel ja mõju toitainete vertikaalsele jaotusele varasuvel".

Üldine hinnang, programmiviisil teadusarendustegevuse rahastamisele.

Programmiviisiline rahastamine võimaldab tihendada Eestisisest koostööd ning optimaalsemalt kasutada olemasolevat inimressurssi ning riistvara. Enamuse teiste rahastusmehhanismide raames peavad teadusasutused omavahel konkureerima ning piiratud finantside puhul saavad raha näiteks üks-kaks asutust mõne kitsa uurimisvaldkonna tarbeks. Samas võivad jääda rahastamata mõned valdkonnad, mille tulemustel on kriitiline tähtsus suuremate protsesside mõistmisel. Teised Eestisisesed rahastamismehhanismid sisuliselt välistavad teadusasutuste koostöö või lausa karistavad selle eest (EMI ja TO ühine sihtfinantseerimise teema sai taotleda kahe asutuse peale kokku samas summas infrastruktuuri toetust kui ühe asutuse teemad). Ka välisrahastuse saamisel peavad asutused omavahel võistlema, sest tavaliselt ei vaja suuremad konsortsiumid ühest riigist rohkem kui ühte partnerit.

Imeline vaade Saadjärvel kasvuhoonegaaside mõõtmise ajal (foto Eva-Ingrid Rõõm)

Elurikkuse, mulla ja maapõue andmesüsteemide geoinformaatiline arendus (ERMAS)

Elurikkuse, mulla ja maapõue andmesüsteemide geoinformaatiline arendus (ERMAS)

Kuidas leiti uuringu idee?

Uuringu põhiidee tulenes kogu KESTA programmi ülesandepüstitusest: „Tegevus 3. Riiklike ja akadeemiliste keskkonna-infosüsteemide sidususe analüüsimine ja analüütilise võimekuse arendamisprojektide toetamine elurikkuse informaatika ning kliima- ja keskkonnamuutuste uuringute toetamiseks".

Tegevuses nimetatud vajadusest lähtus esimene alategevus (ERGAS), mis algselt konkursile esitati. Lisandusid partnerite huvidest lähtuvad vajadused, mis seonduvad metoodika arendustega elurikkuse ja selle tausta andmete kogumiseks ning kooskasutamiseks.

Teine projekt (EMMIS) lähtus vajadusest jätkata paberkandjatel jm talletatud andmete kättesaadavaks (seega ka kasutatavaks) tegemist neid digitaliseerides ning korrastatud ja kasutajasõbraliku portaaliga andmekogu(de)sse koondades. Siin käsitleti elurikkuse jaoks olulist taustaandmestikku – mulla ja maapõue andmeid.

Programmi komitee soovil kaks taotlust ühendati üheks projektiks.

Kuidas leiti koostööpartnerid, kuidas kulgesid läbirääkimised?

Kumbki kahest algsest taotlusest hõlmas partnereid Tartu Ülikoolist, Tallinna Tehnikaülikoolist ja Eesti Maaülikoolist. Mõlemal juhul olid hõlmatud varasemast koostööst tuttavad partnerid ja plaanitud kogum kattis suurema osa Eestis antud valdkonnas tegutsevaist uurijatest. Taotluste liitmisel oli loogiline jätkata samade partneritega.

Läbirääkimised algsete taotluste koostamisel lähtusid loogilisest tööjaotusest ja partnerite vastastikku üksteist täiendavast huvist. Taotluste liitmise läbirääkimised olid pingelisemad kuna esialgse eelarvega võrreldes oli rahalisi vahendeid üle 40% vähem. See sundis eelarvet oluliselt optimeerima, tehtavate tööde mahtu vähendama ning konsolideerima väljundmoodulid. Samas aitas see läbimõtlemine, mida ikkagi on võimalik eelarve piirides teha, hiljem kaasa programmi efektiivsemale täitmisele. Kummagi taotluse partnerite vastutavad täitjad moodustasid koos kuueliikmelise mitteformaalse „projektinõukogu".

Töögrupi kirjeldus ja koostöö

Juhtpartner Tartu Ülikool. Ökoloogia ja Maateaduste instituudi geograafia, geoloogia ja botaanika osakond. Vastutav täitja prof. Tõnu Oja, Kaasvastutav prof. Kalle Kirsimäe.

Partner Tallinna Tehnikaülikool. Geoloogia Instituut, vastutav vanemteadur Olle Hints. Teedeinstituut, kaasvastutav prof. Artu Ellmann.

Partner Eesti Maaülikool. Põllumajandus- ja Keskkonnainstituut. Vastutav prof. Kalev Sepp, kaasvastutav prof. Alar Astover.

Juhtpartner vastutas projekti juhtimise ja aruandluse eest ning korraldas töörühmade omavahelise suhtluse, töövoogude kooskõla jmt. Kaks korda aastas toimus partnerite koosolek, kus arutati projekti kulgu. Kasutati ka e-vahendeid. Töörühmade omavahelised töökoosolekud ja konsultatsioonid konkreetsete tegevuste raames toimusid jooksvalt vastavalt vajadusele. Tegevustel oli oma vastutav täitja. Tegevuse 1 eest vastutas TÜ ÖMI geoinformaatika töörühm, kaasati kõik partnerid, tegevuse 2 eest vastutas TTÜ GI, kaasati TÜ ÖMI geoloogia ja EMÜ PKI mullateaduse töörühmad. Tegevuse 3 eest vastutas TÜ ÖMI (osalesid geoinformaatika, botaanika ja taimeökoloogia ning mükoloogia töörühmad), kaasati EMÜ PKI. Tegevuse 4 eest vastutas EMÜ PKI, kaasati TTÜ Teedeinstituut ja TÜ ÖMI geoinformaatika töörühm. Tegevuse 5 eest vastutas TTÜ Teedeinstituut, kaasati EMÜ PKI. Kõigi töörühmade tegevused lõimusid üldistuseks peamiselt alategevustes 1.1 ja 1.2

Mida tehti ja kas oli mingeid ettenägematuid tagasilööke?

	Tegevus	2012	2013	2014
	Riiklike ja akadeemiliste andmekogude kasutatavuse analüüs ja parandamine			
1.1	Olemasolevate andmekogude/infosüsteemide analüüs (andmemudelite ühtlustamiseks)	**+**	**+**	**+**
1.1.1	Infosüsteemide analüüs	+		
1.1.2	Ühilduva andmemudeli prototüübi loomine	+	+	
1.1.3	Juhtumuuring analüüsi verifitseerimiseks	+	+	+
1.2	Andmetes ruumipõhise komponendi ühildatavuse arendus	+	+	+
1.2.1	Loodud prototüübi rakendamine		+	+
1.3	Prognoosiva kaardistuse tarkvara CONSTUD arendus ja rakendamine	+	+	+
	Mulla- ja maapõue andmekogude analüüs ning keskse infosüsteemi arendus	**+**	**+**	**+**
2.1	Olemasolevate maapõue ja mulla primaarandmekogude inventuur, digiteerimisvõimaluste ja infosüsteemi nõuete ning funktsionaalsuse analüüs	+		
2.2	Infosüsteemi analüütilise- jm primaarandmestiku tehnilise struktuuri arendamine	+	+	
2.3	Geoloogiliste ja pedoloogiliste andmete konverteerimine, digiteerimine ja kontroll	+	+	+
2.4	Mulla ja pinnakatte ning aluspõhjakivimite väljundmoodulite arendus, testimine ja avalikustamine		+	+
2.5	Andmebaasi moodulite liidestamine Eesti geokogude infosüsteemiga SARV		+	+
2.6	Kivimite referentsandmebaasi loomine ja avalikustamine		+	+
2.7	Andmebaasi GIS väljundite arendus		+	+
2.8	Erinevate rakendusmudelite arendus		+	+
2.9	Mulla- ja maapõue andmestiku liidestamine elurikkuse andmebaasiga, riiklike andmekogudega ja rahvusvaheliste võrgustikega			+
3	**Elurikkuse (akadeemiliste) andmekogude arendus**	**+**	**+**	**+**
3.1	Elurikkuse andmestiku kogumise ja analüüsi meetodite arendamine	+	+	+
3.1.1	Ökosüsteemide elurikkuse andmebaasi struktuuri väljatöötamine	+	+	
3.1.2	Ökosüsteemide elurikkuse andmebaasi rakendamine ning analüüs		+	+
3.1.3	Maastikulise andmestiku kogumise ja analüüsi meetodite arendamine	+	+	+
3.2	Andmete (ruumilise) visualiseerimise arendamine	+	+	+
3.2.1	Visualiseerimise võimaluste analüüs	+	+	
3.2.2	Liidese prototüüpide loomine	+	+	+
3.2.3	Liidese rakendamine erinevates andmekogudes		+	+
3.3	Ruumianalüüsi meetodite rakendus PlutoF pilve andmebaasidele	+	+	+
3.4	Andmete kasutatavuse arendus klassifitseerimisülesannetes	+	+	+
3.4.1	Klassifitseerimisülesannete lahendus PlutoF pilve andmebaasidele	+	+	+

3.4.2	Klassifitseerimisülesannete lahenduste väljatöötamine ökosüsteemide elurikkuse andmebaasile	+	+	+
3.4.3	Kõrge loodus- ja maastikuväärtuste alade määratlemine	+	+	+
3.4.4	Maastikuliste väärtuste ja teenuste kaardistamise lähtelaused	+	+	+
4	**Kaugseire andmete kasutusmeetodite arendamine keskkonnaandmete saamiseks ja tõlgendamiseks**	**+**	**+**	**+**
4.1	Metsa parameetrite ja liigilise koosseisu määramine lidarilt ja spektraalsetest andmetest	+	+	+
4.2	Maastiku ja elupaikade kaugseiremeetodite arendus	+	+	+
4.2.1	Mullakaardi täpsustamise metoodilised alused tuginedes lidari andmestikule	+	+	+
4.2.2	Maastikumustri indeksite seostamine elupaigaparameetritega	+	+	+
4.3	Maastikumudelite modelleerimise meetodite arendus		+	+
4.4	Antropogeense iseloomuga maastikumuutuste tuvastamise metoodika arendus		+	+
5	**Terrestrilise laserskaneerimise tehnoloogia ja saadava andmestiku muude keskkonnaandmetega seostamise metoodika arendamine**	**+**	**+**	**+**
5.1	Tehnoloogia arendus	+	+	
5.2	Tehnoloogia rakendatavus keskkonnaandmete tõlgendamisel		+	+
6	**Projekti haldus**	**+**	**+**	**+**
6.1	Alategevuse koordinatsioonikoosolekud	+	+	+
6.2	Alategevuse aruandlus	+	+	+
6.3	Alategevuse tulemuste tutvustamine Eestis			+

Alategevuse 1 raames analüüsiti akadeemilistes ja riiklikes andmekogudes olevaid erinevat tüüpi vaatluste andmeid. Uuriti erinevate andmekogude struktuure ja võrreldi neid INSPIRE direktiivi rakenduseeskirjadega ehk ruumiandmete spetsifikatsioonidega. Loodi andmemudel ning verifitseeriti see, seadistati source- andmebaasi ja vaatluste mudelite transformeerimise reeglistikku WFS tarkvara keskkonnas ja loodi WFS teenused. Andmemudeli verifitseerimiseks kaasati PlutoF/SARV/EcoBank eksperte. Loodi arenduskeskkond prototüüprakenduste ja –teenuste väljaarendamiseks. Loodi Euroopa ja globaalsete andmete esitamiseks prototüüprakendused. Loodi Eesti prototüüprakendus ja ERMAS geoportaal. Jooksvalt analüüsiti loodud kasutajaliideste kasutatasõbralikkust.

Alategevuse 2 raames loodi ja laiendati infosüsteemi andmemudelit seoses mullaandmestiku spetsiifikaga, DOI identifikaatorite süsteemi juurutamisega, ning vajadusega ühtlustada geokeemilise ja paleoelurikkuse andmestiku talletamist ning kuvamist. Uuendati geokogude portaali (http://geokogud.info) ja andmeportaali (http://ermas.geokogud.info) funktsionaalsust. Kasutajatele avati testimiseks andmebaasi sisemise veebiliidese täiustatud versioon (http://sarv.geokogud.info), mis toetab mugavat lisafailide salvestamist serverisse, keerukamaid otsinguid ja nende salvestamist serveris ning täiustatud aruandevorme. Käivitati geokogude infosüsteemi GIS server (gis.geokogud.info), kus andmed talletatakse PostgreSQL-PostGIS geoandmebaasis ja avalike veebiteenuste kiht, mis baseerub Java-põhisel tarkvaral GeoServer. Kaardilahenduste funktsionaalsuse suurendamiseks digitaliseeriti Ordoviitsiumi ja Siluri ajastu paleogeograafilised kaardid regionaallademete kaupa (ajaline lahutusvõime u 1-5 mln a). Neid kuvatakse geokogude infosüsteemi eri osades taustsüsteemi loomiseks. Koostati ülevaade Eesti akadeemilistest ja riiklikest mulla andmekogudest ning selgitati välja nende digiteerimise võimalused, oluline kultuuri- ja teaduspärandi osa ka digiteeriti. Mullaandmetel tuginevate analüüside ja rakendusmudelite põhisuund oli mulla orgaanilise aine (süsiniku) temaatikal. Digitaliseeriti hulk maapõue ja mulla varemloodud andmekogusid ning viidi nende andmed kättesaadavaks geokogude portaali.

Alategevuse 3 raames arendati elurikkuse kogumise ja analüüsi meetodeid ning visualiseerimise võimalusi, tulemusi rakendati alategevuse 1 prototüüpides ning andmekogudes PlutoF, SARV ja EcoBank. Loodi ja arendati ökosüsteemide andmekogu EcoBank - meta-andmeid sisaldav andmebaas bioloogide kogutud proovide säilitamiseks, töötlemiseks ja analüüsimiseks. Andmebaas kasutab kateg-

oriseeriva ühikuna ökosüsteeme ning kesksekskirjeks andmebaasis on proov. Iga proov peab olema unikaalse nimetusega, vastasel juhul kirjutatakse olemasoleva proovi nimetus üle. Andmebaasisüsteemis on juba eelnevalt lisatud otsingusüsteem proovide kohta, et kontrollida kas uuele proovile pandud proovikood on unikaalne või peab seda muutma. Kui andmeid sisestavad mitmed inimesed, siis on viimati lisatud proovide alt lihtne näha, kes mida juba teinud on. See aitab vältida andmete dubleerimist. Arendati andmete kasutatavust klassifitseerimisülesannetes (peamiselt koos kaugseire meetodite arendamisega, alategevus 4.) Arendati PlutoF pilve andmebaaside ja ökosüsteemide elurikkuse andmebaaside teenuste võimalusi ka erinevate klassifitseerimisülesannete lahendamiseks.

Alategevuse 4 raames arendati meetodeid, mis võimaldavad satelliitidelt tehtud spektraalsete mõõtmiste (multispektraalsed keskmise ruumilise lahutusvõimega pildid) ja lennukitelt tehtavate lidarmõõtmiste andmetele (laserimpulsi peegelduskohti kirjeldavad 3-D punktiparved) tuginedes saada informatsiooni taimkatte omaduste ja struktuuri kohta. Kaugseirest saadava signaali paremaks tõlgendamiseks kaasati uuringutesse ka maapealsed mõõtmised poolsfäärikaamerate abil. Loodi metoodika põllumaade mahajätmise ja võsastumise praktiliseks hindamiseks kaugseire vahenditega, täpsustati metsade struktuuri kaardistamise ning tüvemahu hindamise meetodeid. Analüüsiti ebamäärasusi maastikumustri indikaatorite leidmisel erinevatelt kaugseirekujutistelt. Arendati metoodikat Maa-ameti kaugseireandmete kasutamiseks ETAK maakattetüüpide objektipõhisel tuvastamisel.

Alategevuse 5 raames arendati maapinna laserskaneerimise tehnoloogiat ja otsiti seoseid saadava andmestiku muude keskkonnaandmetega seostamiseks. Tegemist on uue, massandmeid tootva tehnoloogiaga, mille andmete kasutamise kogemus maailmas ei ole väga suur ning hästi töötavaid metoodikaid ja tarkvaralisi lahendusi andmete tõlgendamiseks ei ole. Seadmete võimekuse ja sobivuse katsetamiseks tehti sageli koostööd teiste asutustega (Tartu Observatoorium, SA Järvselja Õppe- ja Katsemetskond, EMÜ, TLÜ ja TTÜ struktuuriüksused, sh. Küberneetika Instituut, TTÜ Virumaa Kolledži Põlevkivi Kompetentsikeskus). Kasutati ära teistel asutustel tekkinud probleeme ja ülesandepüstitusi, et neid laserskaneerimise tehnoloogia abil lahendada proovida. Üheskoos avastati mitmeid uusi rakendusi, mille peale ei osatud enne punktipilve töötlemist tulla. Loodi 3D mudeleid puudest, paljanditest, maismaa pinnavormidest, rajatistest ja tehiskeskkonna objektidest jmt. Tegeleti ka antropogeensete maastikumuutuste tuvastamisega ALS korduvmõõtmistest, jõgede pikiprofiili ja langu määramisega ALS andmetest, merepinna topograafia mõõdistamisega ning geoidimudelite valideerimisega ALS andmetest.

Tulemused (sh magistri ja doktoritööd) ja kuidas ning kus neid rakendatakse?

ERMAS projekti koduleht http://www.ermas.eu/ermas/

Kaardirakendused http://ermas.ee/ermas/?page_id=375

Mulla ja maapõueandmete kogu http://ermas.geokogud.info/

Loodud teenuseid ja rakendused

PlutoF WFS teenuse kirjeldus: http://loom-gis.geo.ut.ee:8080/geoserver/plf/wfs?service=WFS&version=2.0.0&request=GetCapabilities

SARV WFS teenuse kirjeldus: http://loom-gis.geo.ut.ee:8080/geoserver/sarv/wfs?service=WFS&version=2.0.0&request=GetCapabilities

EcoBank WFS teenuse kirjeldus: http://loom-gis.geo.ut.ee:8080/geoserver/eco/wfs?service=WFS&version=2.0.0&request=GetCapabilities

PlutoF testandmed (EPSG: 3035): http://loom-gis.geo.ut.ee/arcgis/rest/services/ermas/plf_summary_3035/MapServer

SARV testandmed (EPSG: 3035): http://loom-gis.geo.ut.ee/arcgis/rest/services/ermas/sarv_summary_3035/MapServer

WWF ökoregioonid (EPSG: 3857): http://loom-gis.geo.ut.ee/arcgis/rest/services/ermas/WWF_Ecorerions_WebMercator/MapServer

CORINE maakate (EPSG: 3035): http://loom-gis.geo.ut.ee/arcgis/rest/services/ermas/CORINE_LAEA_100/MapServer

Eesti maastikurajoonid: http://loom-gis.geo.ut.ee/arcgis/rest/services/ermas/mk_rajoon/MapServer

Euroopa kaardirakendus: http://loom-gis.geo.ut.ee/ermas/europe/ermas_europe.html

Globaalne kaardirakendus: http://loom-gis.geo.ut.ee/ermas/global/ermas_global.html

EEA kaarditeenused: http://discomap.eea.europa.eu/ArcGIS/rest/services/; http://copernicus.discomap.eea.europa.eu/arcgis/rest/services/

Eesti prototüüprakendus: http://loom-gis.geo.ut.ee/ermas/estonia/index.html

ERMAS geoportaal: http://loom-gis.geo.ut.ee:8080/geoportal/

Maapõueandmete digitaliseerimisel hõlmab projekti lõpuks koondatud ja süstematiseeritud andmestik üle 45 tuh. kivimi ja setteproovi ning üle 500 tuh andmepunkti. Projekti arvulised eesmärgid (vastavalt 40 tuh ja 200 tuh) on seega täidetud ning ületatud.

Kasutajatele avati testimiseks andmebaasi sisemise veebiliidese täiustatud versioon (http://sarv.geokogud.info). Olulise sammuna toimus geokogude infosüsteemi liitumine DataCite Eesti konsortsiumiga.

Akadeemilistest mullaandmekogudest on mahukaim akadeemik Loit Reintami proovide arhiiv ja sellega seotud digiteeritud andmestik (730 sügavkaeve ja 3756 mullaproovi kohta), kitsaskohaks on aga selle asukohamäärangute ebapiisavus. Projekti raames digiteerisime 1964. aastal rajatud Eerikal asuva pikaajalise katse „Erineva kooslusega rohukamarate produktiivsus ja mõju mullatekkele karbonaatsel moreenil sõltuvalt väetamisest" mulla süsinikku puudutava andmestik (1881 proovi analüüsitulemused). Inventeerisime riikliku põllumuldade seire varasema perioodi (1983-1994) 14504 mullaproovi. Digiteerisime seni paberkandjatel olnud põllumuldade seire andmestiku (229 780 kirjet) ja georefereerisime proovivõtukohtade asukohad (251 sügavkaevet ja 3082 huumustransekti proovivõtukohta). Asukohaga seostatud andmestik liidestati maapõue ja mulla ühtsesse infosüsteemi SARV ning on seekaudu avalikkusele kättesaadav. Sarve mullamooduli välja töötamise kogemused ja tulemused leiavad kasutust ka Keskkonnaministeeriumi ja Keskkonnaagentuuri "Keskkonnaseire ja andmehõive arendamine" (KESE) mulla osa arendustöödes.

Loodi EcoBank http://ecobank.botany.ut.ee/?avaleht

Loodud on visuaalne töövahend vaatluste toimetamiseks: http:/193.40.8.51/ermas/lugemist/script/vaatluste_toimetaja_vorm.zip

Kaugseire mudelite täpsustamisel leiti, et aerolidari andmetest arvutatud meetrikate (punktipilve kõrgusjaotuse 80-protsentiil, 25-protsentiil ja 0.8 m kõrgusel referentsnivool arvutatud katvus) alusel koostatud mudel lähendas algandmeid puuliigiti alla 58..70 m^3/ha jääkveaga. Aegviidu katsealal tehti ka esimesi katseid k-lähima naabri klassifitseerimistehnikaga (kNN) erinevate metsatüüpide kaardistamiseks. Metsade struktuuri kaardistamise jaoks on mujal maailmas palju kasutust leidnud k-lähima naabri klassifitseerimistehnikat testiti nii Aegviidu kui ka Laeva katsealal. Laeva katsealal kasutati algoritmi õpetamiseks 444 proovitüki andmeid ja tulemusi testiti 90 kasvukäigu proovitükil ning 2290 metsaeraldisel. ERMAS projekti käigus töötati välja Eesti oludesse sobiv metoodika põllumaadele tekkiva puittaimestiku kaardistamiseks aerolidari andmetel. Tulemused on kasutatavad metsatakseerimisel ja PRIA tegevuses.

Teadusartiklid (27)

Eelsalu, Maris; Julge, Kalev; Grünthal, Erkko; Talvik, Silja; Ellmann, Artu; Soomere, Tarmo; Tõnisson, Hannes 2014. Combined laser scanning to monitor coastal processes. In: MEME'2014 : Mathematics and Engineering in Marine and Earth Problems, 22-25 July 2014, Aveiro, Portugal, Book of Abstracts:, 2014, 106 - 108.

Gruno, A.; Liibusk, A.; Ellmann, A.; Oja, T.; Vain, A.; Jürgenson, H. (2013). Determining sea surface heights using small footprint airborne laser scanning. Bostater, C.; Mertikas, S.; Neyt, X. (Toim.). Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2013 (Conference 8888); Dresden, Germany, September 23, 2013 (88880R-1 - 88880R-13).Spie - International Society For Optical Engineering.

Grünthal, E.; Gruno, A.; Ellmann, A. 2014. Monitoring of coastal processes by using airborne laser scanning data. Cygas, D. (Toim.). Selected papers of 9th International Conference "Environmental Engineering", 22–23 May 2014, Vilnius, LITHUANIA (1 - 7). Vilnius, CD: Vilnius Gediminas Technical University Press "Technika"

Hiiesalu, I.; Pärtel, M.; Davison, J.; Gerhold, P.; Metsis, M.; Moora, M.; Öpik, M.; Vasar, M.; Zobel, M.; Wilson, S. D. 2014. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi: associations with grassland plant richness and biomass. New phytologist, DOI: 10.1111/nph.12765

Hints, O., Martma, T., Männik, P., Nülvak, J., Põldvere, A., Sen, Y., Viira, V. (2013, in press) New data on Ordovician stable isotope record and conodont biostratigraphy from the Viki reference drill core, Saaremaa Island, western Estonia. GFF. http://dx.doi.org/10.1080/11035897.2013.873989

Hints, O.; Isakar, M.; Põldsaar, K.; Talpsep, A.; Tint, S.; Toom, U.; Urtson, K. 2014. Estonian geocollections information system focusing on Early to Mid Paleozoic rock record, fossils and analytical data from Baltoscandia. In: 4th Annual Meeting of IGCP 591, Estonia, 10-19 June 2014. Abstracts and Field Guide. University of Tartu, Tartu. 39.

Julge, K.; Ellmann, A.; Gruno, A. 2014. Performance analysis of freeware filtering algorithms for determining ground surface from airborne laser scanning data. Journal of Applied Remote Sensing, 8(1), 083573-1 - 083573-15

Julge, K.; Ellmann, A. 2014. Combining Airborne and Terrestrial Laser Scanning technologies for measuring complex structures. Cygas, D. (Toim.). Selected papers of the 9th International Conference on Environmental Engineering, Vilnius, Lithuania, 22-23, May, 2014. (1 - 7). Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University Press "Technika"

Julge, Kalev; Gruno, Anti; Ellmann, Artu; Liibusk, Aive; Oja, Tõnis 2014. Exploring sea surface heights by using Airborne Laser Scanning. In: IEEE/OES Baltic 2014 International Symposium: 2014 IEEE/OES Baltic International Symposium "Measuring and Modeling of Multi-Scale Interactions in the Marine Environment" : Tallinn, Estonia, May 26-29, 2014. IEEE, 2014, (IEEE Conference Proceedings), 1 - 7.

Julge, K.; Eelsalu, M.; Grünthal, E.; Talvik, S.; Ellmann, A.; Tõnisson, H. 2014. Combining airborne and terrestrial laser scanning to monitor coastal processes . In: 2014 IEEE/OES Baltic International Symposium, May 26.-29.2014, Tallinn, Estonia, [Proceedings]: IEEE, 2014, [1 - 10].

Kiipli, T.; Kallaste, T.; Nestor, V. 2012. Correlation of upper Llandovery - lower Wenlock bentonites in the När (Gotland, Sweden) and Ventspils (Latvia) drill cores: role of volcanic ash clouds and shelf sea currents in determining areal distribution of bentonite. Estonian Journal of Earth Sciences 61(4), 295-306.

Kleesment, A., Urtson, K., Kiipli, T., Martma, T., Põldvere, A., Kallaste, T., Shogenova, A., Shogenov, K. 2013. Temporal evolution, petrography and composition of dolostones in the Upper Devonian Plavinas Regional Stage, southern Estonia and northern Latvia. Estonian Journal of Earth Sciences 62(3), 139–159.

Kuusk, A., Lang, M., Märdla, S., Pisek, J. 2015. Tree stems from terrestrial lidar scanner measurements. Käsikiri valmis saatmiseks ajakirja Canadian Journal of Forest Research.

Lang, M., Arumäe, T., Anniste, J. 2012. Estimation of main forest inventory variables from spectral and airborne lidar data in Aegviidu test site, Estonia. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 56, 27–41.

Lang, M. 2013. A simple method for mapping woody plant cover in agricultural fields using airborne lidar. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 58,5–11.

Lang, M., Kodar, A., Arumäe, T. 2013. Restoration of above canopy reference hemispherical image from below canopy measurements for plant area index estimation in forests. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 59, 13–27.

Lang, M., A. Vain, A., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H. G., Raet, J., Sepp, S., Kuusemets, V., Kikas, T., N. Liba. N. 2014. Extrapolation of in situ data from 1 km squares to adjacent squares using remote sensed imagery and airborne lidar data for the assessment of habitat diversity and extent. Vastu võetud avaldamiseks ajakirjas Environmental Monitoring and Assessment.

Lang, M., Tauri, T., Lükk, T., Sims, A. 2015. Estimation of standing wood volume and species composition in managed nemoral multi-layer mixed forests by using nearest neighbour classifier, multispectral satellite images and airborne lidar data. Käsikiri valmis saatmiseks ajakirja Metsanduslikud Uurimused.

Liibusk, A.; Talvik, S.; Ellmann, A.; Oja, T. 2014. Determining Regional Sea Surface Topography by GNSS Surveys on Ice. *In: IEEE/OES Baltic 2014 International Symposium: 2014 IEEE/OES Baltic International Symposium "Measuring and Modeling of Multi-Scale Interactions in the Marine Environment" : Tallinn, Estonia, May 26-29, 2014.* IEEE, 2014, (IEEE Conference Proceedings), 1 - 9.

Mill, T.; Ellmann, A. 2014. Terrestrial laser scanning technology for deformation monitoring of a large suspension roof structure. Kopacik, A.; Kyronovic, P.; Stroner, M. (Toim.). INGEO 2104. Proceedings of the 6th International Conference on Engineering Surveying (179 - 186). Prague, Czech Respublik, 03-04.04.2014: CTU Printhouse

Mill, T.; Ellmann, A.; Aavik, A.; Horemuz, M.; Sillamäe, S. 2014. Determining ranges and spatial distribution of road frost heave by terrestrial laser scanning. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 9(3), 227 - 236.

Mill, T.; Ellmann, A.; Kiisa, M.; Idnurm, J.; Idnurm, S.; Horemuz, M.; Aavik, A. 2015. Geodetic Monitoring of Bridge Deformations Occurring during Static Load Testing. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 10(1), xx - xx. [ilmumas]

Mõistus, M., Lang, M., Sims, A. 2013. Estimation of fractional forest cover from airborne laser scanning data in abandoned agricultural land. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 59, 45–58.

Ritz, C., Putku, E., Astover, A. 2015. A practical two-step approach for mixed model-based kriging - with an application to prediction of soil organic carbon concentration. *European Journal of Soil Science.*

Shogenov, K., Shogenova, A., Vizika-Kavvadias, O. 2013. Petrophysical properties and capacity of prospective structures for geological storage of CO2 onshore and offshore Baltic. Elsevier, Energy Procedia, in press, 1-8.

Shogenov, Kazbulat; Shogenova, Alla; Vizika-Kavvadias, Olga. 2013. Potential structures for CO2 geological storage in the Baltic Sea: case study offshore Latvia. Bulletin of the Geological Society of Finland. 85(1), 65-81.

Talvik, S. 2014. Precise levelling data processing near terraced landforms. Geodesy and Cartography, 40(2), 51 - 57.

Populaarteaduslikud artiklid (11)

Elmi, L.; Märdla, S.; Ellmann, A. 2014. Fassaadide võrdlev mõõdistus tahhümeetria, maapealse fotogramm-meetria ja laserskaneerimise teel. Geodeet, 44, 92 - 101.

Eelsalu, Maris; Ellmann, Artu; Julge, Kalev; Märdla, Silja; Soomere, Tarmo 2014. Rannaprotsesside anatoomia laserskaneerimise skalpelliga. Aan, Anne; Narusk, Kirke (Toim.). Kaugseire Eestis 2014 (47 - 58). Tallinn: Keskkonnaagentuur

Grünthal, E.; Gruno, A.; Ellmann, A 2013. Rannaprotsessside monitooring aerolaserskaneerimise korduvmõõtmistest. Geodeet, 43 (67), 37 - 42.

Julge, K.; Gruno, A.; Ellmann, A. 2013. Aerolaserskaneerimise andmetest maapinna tuvastamine erinevate filtreerimisalgoritmidega. Geodeet, 43(67), 32 - 36.

Julge, K.; Märdla, S. (2014). Viinis Euroopa suurimal maateaduste konverentsil . Geodeet, 44, 49 – 50.

Lõhmus, Hannes; Ellmann, Artu; Märdla, Silja 2014. Terrestrilise laserskaneerimise kaasamine sildade koormuskatsetuste geodeetilistel uuringutel. Geodeet, 44, 32 - 42.

Märdla, S.; Julge, K.; Ellmann, A. 2014. Vilniuses naabrusriikide geodeesia-alase teadustegevusega tutvumas . Geodeet, 44, 51 - 52.

Märdla, S.; Julge, K. 2014. Geodeedid Tallinna merekonverentsil . Geodeet, 44, 53 - 54.

Oja, T.; Kollo, K.; Talvik, S. 2013. Põhjamaade geodeesiakomisjoni (NKG) teadusnädal Reikjavikis, Islandil 2013. a kevadel. Geodeet, 43(67), 99 – 100.

Saarik, Sander; Kala, Vello; Märdla, Silja 2014. Elektrontahhümeetrite ja laserskanneri kaugusmõõturi täpsuse hindamine. Geodeet, 44, 76 - 82.

Talvik, S.; Oja, T. 2013. IAG2013 teaduslik assamblee Potsdamis, Saksamaal. Geodeet, 43(67), 101 – 102

Konverentsiettekanded ja –teesid (27)

Arumäe, T., Lang, M., 2014. Estimation of forest characteristics from ALS data in Estonia. ForestSAT2014 conference, 4-7 November 2014, Riva del Garda (TN), Italy.

Arumäe,Tauri, Ahto Kangur, Silja Märdla, **"Üksikpuude kõrguse mõõtmine - tänapäevased tehnilised ja metodoloogilised lahendused",** Tõraveres 22.10.2014 toimunud Kaugseire päeval.

Eelsalu, **Maris Artu Ellmann**, **Kalev Julge**, **Silja Märdla** ja **Tarmo Soomere**, **"Rannaprotsesside anatoomia laserskaneerimise skalpelliga",** Tõraveres 22.10.2014 toimunud Kaugseire päeval.

Gruno, Anti; Vain, Ants; Liibusk, Aive; Ellmann, Artu; Oja, Tõnis; Jürgenson, Harli. Small-footprint Airborne Laser Scanner Data for Validating Marine Geoid Models ESA Symposium "Living Planet" Edinburg 2013

Gruno, A.; Liibusk, A.; Ellmann, A.; Oja, T.; Vain, A.; Jürgenson, H.. Determining sea surface heights using small footprint airborne laser scanning. Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2013 (Conference 8888); Dresden, Germany, September 23, 2013. Spie - International Society For Optical Engineering.

Gruno, A.; Grünthal, E.; Ellmann, A. Rannaprotsesside seire aerolaserskaneerimise korduvmõõtmistest. XII Eesti Ökoloogiakonverents, Tartu, 18-19 oktoober 2013.

Grünhal, E.; Gruno, A.; Ellmann, A. 2014. Monitoring of coastal processes by using airborne laser scanning data. Abstract. 9th International Conference "Environmental Engineering", Vilnius, May 22-23, 2014.

Julge, K.; Ellmann, A. 2014. Combining Airborne and Terrestrial Laser Scanning technologies for measuring complex structures. Abstract. 9th International Conference "Environmental Engineering", Vilnius, May 22-23, 2014.

Julge, Kalev; Eelsalu, Maris; Grünthal, Erkko; Talvik, Silja; Ellmann, Artu; Tõnisson, Hannes 2014. Combining airborne and terrestrial laser scanning to monitor coastal processes. In: Measuring and Modeling of Multi-Scale Interactions in the Marine Environment : IEEE/OES Baltic Symposium 2014, May 26.-29.2014, Tallinn, Estonia, Book of Abstracts: Tallinn: Tallinn University of Technolgy, 2014, 49 - 49.

Julge, K.; Gruno, A.; Ellmann, A.; Liibusk, A.; Oja, T. 2014. Exploring sea surface heights by using airborne laser scanning. In: Book of abstracts: 2014 IEEE/OES Baltic International Symposium "Measuring and Modeling of Multi-Scale Interactions in the Marine Environment" : Tallinn, Estonia, May 26-29, 2014. Tallinn: Tallinn University of Technolgy, 2014, 50 – 50

Kauer, Karin 05.12.2014 Tartus, V Mullapäev ja Seirefoorum – „Mulla süsinikuvarude ja -voogude mudelprognoosid", , suuline ettekanne, web

Kiipli, T.; Kallaste, T.; Hints, R.; Hints, O. 2014. Baltic Early Paleozoic bentonite database: tracking time, tectonic evolution and marine environmental signatures. In: 4th Annual Meeting of IGCP 591, Estonia, 10-19 June 2014. Abstracts and Field Guide. University of Tartu, Tartu. 50.

Lang, M. Arumäe, T. Aerolidari andmete kasutamine puittaimestiku seireks. XII Eesti Ökoloogiakonverents, Tartu, 18-19 oktoober 2013.

Lang, M., Kodar, A., Arumäe, T., HemisSPherical Project Manager - a software to calculate forest canopy transmittance from hemispherical images without thresholding. ForestSAT2014 conference, 4-7 November 2014, Riva del Garda (TN), Italy.

Liibusk, A.; Talvik, S.; Ellmann, A.; Oja, T. 2014. Determining Regional Sea Surface Topography by GNSS Surveys on Ice. *In: Book of abstracts: 2014 IEEE/OES Baltic International Symposium "Measuring and Modeling of Multi-Scale Interactions in the Marine Environment" : Tallinn, Estonia, May 26-29, 2014.* Tallinn: Tallinn University of Technology, 2014, 75 - 75.

Mill, T., Talvik, S Terrestrilise laserskanneri kasutamine rajatiste ekspluatatsioonil. V Projektijuhi Päeva raames Tallinna Tehnikakõrgkoolis, 05.11.2013

Oja, T., Sagris, V., Tamm, T., Uuemaa, E. „Development of tools for spatial data integration and analysis: applied for biodiversity and cultural heritage"EUROGI konverentsil IMAGINE 2013 Dublin 7-8. märts 2013

Oja, T., Hints, O., Kirsimäe, K., Sepp, K., Astover, A., Ellmann, A. Elurikkuse, mulla ja maapõue andmesüsteemide geoinformaatiline arendus. XII Eesti Ökoloogiakonverents, Tartu, 18-19 oktoober 2013.

Paluveer, L., Nestor, V., Nõlvak, J., Bauert, G. and Hints, O. 2014. Modelling the distribution and diversification of Ordovician - Silurian chitinozoans: CONOP approach to Baltoscandian data compilation. In: 4th Annual Meeting of IGCP 591, Estonia, 10-19 June 2014. Abstracts and Field Guide. University of Tartu, Tartu. 70.

Sagris, V. Tamm, T. Akadeemiliste ruumiandmete infrastruktuur: andmete koostalitusvõime ja teenused. XII Eesti Ökoloogiakonverents, Tartu, 18-19 oktoober 2013.

Sagris, V., Tamm, T., Kelviste. T. 2014. ERMAS – andmekogude efektiivsem kooskasutamine. EST-GIS2014, Narva-Jõesuu, 2014

Talvik, Silja; Kangur, Ahto. Metsapuude maapealne laserskaneerimine – võlud ja valud. XII Eesti Ökoloogiakonverents, Tartu, 18-19 oktoober 2013.

Talvik, S. Lasertehnoloogia uued võimalused ja rakendused Eestis. Suuline ettekanne laserskaneerimise tehnoloogia rakendustest Eesti Geoinformaatika Seltsi aastakonverentsil, Pärnus 25-26.10.2013.

Talvik, Silja; Oja, Tõnis; Ellmann, Artu; Jürgenson, Harli 2014. Modelling the influence of terraced landforms to the Earth's gravity field. International Symposia of Geodesy Symposia: Gravity, Geoid and Height Systems 2012. Springer [ilmumas]

Talvik, S. Laserskaneerimise töötuba geograafiahuvilistele noortele GIS-päeva raames. 29.10.2013

Tamm, T. „Metsa takseerandmete hindamine kaugseire (LIDAR, spektraalandmed lennukilt ja SPOT4) andmete põhjal." (alltegevused 1.3 ja 1.4) TÜ ÖMI doktorantide seminaris. 17.04.2013

Urbel, A.; A. Gruno; A. Ellmann "Aerolaserskaneerimise andmetest jõgede pikiprofiilide määramine Keila jõe näitel" EST-GIS2014, Narva-Jõesuu, 2014

* Eesti geokogude infosüsteemi ja projekti ERMAS tulemusi tutvustati Austrias toimunud geoteaduslike kollektsioonide ja andmebaaside ümarlaual "Earth Sciences in CETAF" kahes ettekandes. Tuginedes ERMASe raames maapõue valdkonnas tehtule, esitati ettepanek luua üle-euroopaline kivimite ja nende omaduste andmbaas OPENROCKS (Open Encyclopedia of Rocks of Europe). Eesti kogemused tekitasid laialdast vastukaja, kuna sarnased integreeritud ja avatud infosüsteemid enamikes riikides puuduvad või on nende arendamine alles algusjärgus. Toimunud arutelud ja loodud kontaktid panid aluse üle-Euroopaliste ühisprojektide käivitamiseks. Eestil võiks nendes olla oluline roll, seda muuhulgas tänu ERMASele.

* Aprillikonverentsi ettekande teesid avaldati vastavas kogumikus (http://www.egk.ee/wp-content/uploads/2014/02/Teesid_web.pdf). Lisaks esitati mitu projektiga seotud ettekannet 2014 juunis toimuvale rahvusvahelisele IGCP591 teaduskonverentsile, kus presenteeritakse Eesti geokogude infosüsteemi ja maapõueandmete portaali rahvusvahelisele teadlaskonnale.

* KESTA programmi kõigi projektide tutvustamiseks korraldati (peakorraldajad ERMAS täitjad) Eesti XIII Ökoloogiakonverents (2013).

* 15.12.2013 esines prof Martin Zobel ökoloogiliste andmebaaside teemal KUKU raadio saates „Kukkuv õun".

Kaitsmised:

PhD (1) 7. mail 2013 kaitses Valentina Sagris doktoritöö teemal „Põllumassiivide identifitseerimissüsteemi kontseptuaalne mudel: geoinfo huvigruppi kontseptuaalse mudeli loomine".

MSc (13)

Aule, Silver 2014 "Mittestandardse kujuga ehitiste laserskaneerimine ja punktipilve põhjal modelleerimine TTÜ veetorni näitel" (juhendajad Kalev Julge, Artu Ellmann)

Grünthal, Erkko 2013 "Rannaprotsesside monitooring aerolaserskaneerimise korduvmõõtmistest" *(juhendajad Anti Gruno ja Artu Ellmann)*

Julge, Kalev 2013 ”Aerolaserskaneerimise andmetest maapinna tuvastamine erinevate filtreerimisalgoritmidega” *(juhendajad Anti Gruno ja Artu Ellmann)*

Elmi, Liis 2014 „Fassaadide võrdlev mõõdistus tahhümeetria, maapealse fotogramm-meetria ja laserskaneerimisega” (juhendajad Silja Talvik ja Artu Ellmann) TTÜ

Kolõganova, Aleksandra 2014 ”Pinnasetööde mahuarvutused erinevate GIS tarkvarapakettidega Kohtla-Järve poolkoksi ladestu näitel” (*juhendajad Artu Ellmann ja Peep Krusberg*)

Lõhmus, Hannes 2014 „Terrestrilise laserskaneerimise kaasamine sildade koormuskatsetuste geodeetilistel uuringutel” (juhendajad Artu Ellmann ja Silja Talvik)

Narusk, Kirke 2014 „Maastikumustri indikaatorite tundlikkus satelliidipiltide rasterandmestiku töötlustehnikate suhtes” (*juhendaja Tõnu Oja*), TÜ

Saarik, Sander 2014 „Elektrontahhümeetrite ja laserskanneri kaugusmõõturi täpsuse hindamine” (*juhendajad Vello Kala ja Silja Talvik*) TTÜ

Sobak, Martin 2014 ”Pinnavormide laserskaneerimine ja 3D modelleerimine” *(juhendajad Artu Ellmann ja Tarvo Mill)* TTÜ

Talver, Taavi 2014, Trigonomeetriline nivelleerimine ja laserskaneerimine teede külmakergete uurimisel, Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Teedeinstituut, Geodeesia õppetool, (juhendaja Silja Märdla)

Troškina, Olga 2015. Veebipõhiste kaardirakenduste loomise teekide võrdlus. Magistritöö geograafias. TÜ (juhendaja Tõnu Oja).

Urbel, Annika 2014, (juh), Aerolaserskaneerimise andmetest jõgede pikiprofiilide määramine Keila jõe näitel, Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Teedeinstituut, Geodeesia õppetool(juhendajad Anti Gruno, Artu Ellmann)

Ueküla, Katrin 2014 ”Terrestrilise laserskaneerimise andmete baasil loodud 3D mudelite kvaliteedi analüüs” *(juhendajad Tarvo Mill ja Artu Ellmann)* TTÜ

Üldine hinnang, programmiviisil teadusarendustegevuse rahastamisele.

Teaduse rahastamine on väga vajalik, sh arvestades teaduspõhise Eesti strateegiast tulenevaid vajadusi. Programmiviisil rahastamine võimaldab koordineeritult keskenduda laiema valdkonna probleemide lahendamisele. Veel parem oleks, kui programm oleks jätkuv mitmeetapilisena, see võimaldaks probleeme lahendada mitmekülgsemalt ja põhjalikumalt kui seda jõuab kolmeaastase programmiga.

Elussüsteemide dünaamika loodushoiu kontekstis (EDULOOD)

Bioloogiliselt raskesti lagunevate ainete kõrvaldamine reoveest füüsikalis-keemiliste ja bioloogiliste meetoditega vesikeskkonna saastekoormuse vähendamiseks (CHEMBIO)

Prof. Dr. Marina Trapido[1]
Dr. Taavo Tenno[2]

1 Tallinna Tehnikaülikool, Ehitajate tee 5, 19086, Tallinn
2 Tartu Ülikool, Ravila 14a, 50411, Tartu

Paljud Eesti tööstusettevõtete poolt tekitatavad reoveed sisaldavad arvestatavates kogustes orgaanilisi reoaineid, mis on raskesti biolagundatavad ning seega ei allu tavapärasele bioloogilisele reoveepuhastusele või osutub sellise puhastuse efektiivsus madalaks. Oma püsivuse tõttu bioloogilise oksüdatsiooni suhtes läbivad nad biopuhastusprotsessi suures osas transiidina ning satuvad veekogudesse, pinnasesse, põhjavette ja sealt tagasi veeringlusse. Üheks võimaluseks parandada reovete biolagundatavust on rakendada eeltöötlust keemilise oksüdatsiooniga või teiste keemilis-füüsikaliste meetoditega. CHEMBIO projekti eesmärgiks on täiustada reoveepuhastuse klassikalist skeemi (reovee eelsetitamine – aeroobne biopuhastus-järelsetitamine – anaeroobne biopuhastus) oksüdatiivsete ja teiste füüsikalis-keemiliste protsessidega, et kõrvaldada bioloogiliselt raskesti lagunevaid aineid, parandada BHT/KHT suhet ning reovee puhastusastet ja selle kaudu vähendada saastekoormust. Reovete puhastamisprotsessi täiendamine on hädavajalik siseveekogude, -voolude ning rannikuvete saastekoormuse vähendamiseks ning vastavate ökosüsteemide seisundi parandamiseks.

TTÜ keemiatehnika instituudi keskkonnakaitse ja keemiatehnoloogia õppetooli ning TÜ kolloid- ja keskkonnakeemia õppetooli uurimisrühmadel on pikaajalised uurimustöö kogemused reovete tehnoloogia valdkonnas. TTÜ teadlased on maailmas arvestatav uurimisrühm, kes tegeleb osoonimise ning süvaoksüdatsiooniprotsessidega juba üle 20 aasta. TÜ kolloid- ja keskkonnakeemia õppetooli töörühmal on tunnustatud kompetents eelkõige bioloogilise lagundamise osas.

Projekti elluviimisel pandi kokku mõlema ülikooli teaduspotentsiaal ning jagati ülesanded vastavalt olemasolevale kompetentsile – TTÜ töörühm tegeles põhiliselt keemilise oksüdatsiooni ning füüsikalis-keemiliste protsesside uurimisega ning nende rakendamise võimaluste hindamisega (optimeerimisega) eeltöötlemis-/järeltöötlemisprotsessides. TÜ töörühma eesmärgiks oli uuritavate eel- ja järeltöötlemisprotsesside rakendatavuse uurimine erinevate biopuhastuse tehnoloogiate puhul. Käsitleti mõju nii raskesti laguneva orgaanilise aine lagundatavusele kui ka lämmastikuärastuse protsessidele (nitrifikatsioon, denitrifikatsioon, deammonifikatsioon). Strateegia integreeritud tehnoloogia rakendamiseks praktikas olenevalt reovee parameetritest töötati välja mõlema töörühma koostööna lähtudes saadud tulemustest.

Kuigi raskesti biolagundatavate reovetega on probleeme paljudel Eesti tööstusettevõtetel, ei osutunud läbirääkimised nendega kergeks. Vaatamata sellele, et ettevõtetele ei tähendanud CHEMBIO projektis osalemine mingeid lisakulutusi, vaid tekkis hoopis võimalus saada oma käsutusse väärtusliku infot, ning meie soov oli saada nende käest ainult nende reoveeproove, ei olnud kõik ettevõtted valmis koostööks. Õnneks oleme siiski leidnud koostööpartnereid erinevatest tööstusharudest ning seega arendasime töötlemisskeeme erinevate reovetele.

Põhiline osa antropogeensest saastekoormusest siseveekogudele ning rannikuvetele pärineb reovetest. Olukord reovete puhastamisega Eestis on oluliselt paranenud ning 2013. aastal puhastati 99,5 % kogu puhastamist vajavast veest; sh ca 84 % reoveest läbis süvapuhastuse, kus reoveest eemaldatakse fosfor ning lämmastik. Näitajad, mille järgi hinnatakse puhastist veekogudesse juhitavat vett, on biokeemiline hapnikutarve (BHT_7), heljumi-, fosfori- ja lämmastikusisaldus. Kuigi Eestis on veekogude reostuskoormus pidevalt vähenenud, olid arvud 2013. aastal siiski märkimisväärsed: BHT_7 järgi 814 tonni, keemilise hapnikutarbe (KHT) järgi 6650 tonni, heljumi järgi 2461 tonni, üldlämmastiku järgi 1228 tonni ja üldfosfori järgi 66,4 tonni [1].

Kuna peamise reovete puhastamise meetodina kasutatakse tänapäeval bioloogilist puhastust, eemaldatakse veest põhiliselt bioloogiliselt suhteliselt kergesti lagunevaid reoaineid. Kui reoveed sisaldavad saasteaineid, mis on biopuhastuse suhtes püsivad, ei lagune biopuhastusprotsessi käigus ega ka veekogudes ning veevooludes sealolevate organismide abil, jäävad need saasteained püsima vette või kogunevad põhjasettesse ning võivad põhjustada ökoloogilise tasakaalu häireid.

Ülalmainitud parameetrid võeti aluseks ka meie poolt väljatöötatud reovete töötlemisskeemide efektiivsuse hindamiseks. Lisaks määrati ka uuritud reoveele just selle reovee tüübile iseloomulikud näitajad (ligniinide ja tanniinide sisaldus, fenoolid, lahustunud orgaanilise süsiniku sisaldus

Tabel 1. Uuritud reovete olulised parameetrid.

Reovee näitajad	*Prügila nõrgvesi*	*Puidutöös-tuse reovesi*	*Põlevkivi-tööstuse pürolüüsivesi*	*Poolkoksi-mägede nõrgvesi*	*Värvitööstuse reovesi*
KHT, mg/L	*5900-15700**	*5100-7800*	*39000-45400*	*1000-2100*	*19300-42200*
BHT_7, mg/L	*3100-10970*	*1600-3500*	*5400-34800*	*175-196*	*78-247*
Biolagundatavus, BHT_7/KHT	*0,4-0,69*	*0,2-0,5*	*0,14-0,77*	*0,08-0,20*	*0,004-0,006*
Üldlämmastik, mg/L	*710-2000*	*11-69*	*1600*	*10-42*	*1,7-16,4*
Üldfosfor, mg/L	*19*	*33-60*	*-*	*-*	*-*

*Kuna erinevatel aegadel võetud proovide näitajad muutusid, on tabelis toodud näitajate kõige väiksem ja kõige suurem väärtus.

(DOC), ökotoksilisus (akuutne toksilisus Daphnia magnale, hapnikutarve ning nitrifikatsiooni inhibeerimine), jt). Uurimisobjekti (reovee) valikul lähtuti sellest, et reovesi oleks kõrgelt reostatud, madala biolagundatavusega (vt Tabel 1) ning ökotoksiline.

Keemilise oksüdatsiooni protsesside (CHEM) valik on üsna lai ning TTÜ-s on neid protsesse ka pikaajaliselt uuritud. Projekti käigus katsetati erinevaid süvaoksüdatsiooni protsesse, nagu osoonimine, Fenton-protsess ning selle modifikatsioonid, oksüdatsioon aktiveeritud persulfaadiga ($Na_2S_2O_8$) ja fotokatalüütiline oksüdatsioon

Foto 1. Fenton-töötluse reaktor

Juba esimese aasta jooksul tehtud uuringute põhjal selgus, et kõige efektiivsemaks ja otstarbelisemaks protsessiks kombineeritud skeemide puhul osutub Fenton-protsess, mis on samal ajal teiste oksüdatsiooni protsessidega võrreldes ka kõige kergemini teostatav. Sarnaselt teistele süvaoksüdatsiooniprotsessidele toimub ka Fenton-protsessis saasteainete oksüdatsioon erinevate radikaalide, põhiliselt hüdroksüülradikaalide toimel. Teooria kohaselt tuleb Fenton-protsess läbi viia happelises keskkonnas (pH<5,6; soovitavalt ca 3,0). Töö käigus leidis kinnitust meie poolt varem saadud tulemus [2], et reovete puhul ei ole paljudel juhtudel vaja eelnevalt pH-d alandada, sest happeliste laguproduktide tekke tõttu muutub vesi happeliseks juba töötlemise esimese poole tunni jooksul või isegi varem.

Mõnede reovete puhul rakendati ka keemilise töötlemisprotsessina koagulatsiooni, mida kasutatakse põhiliselt heljumi eemaldamiseks, aga lisaefektiks võib olla ka orgaaniliste saasteainete eemaldamine. Pürolüüsivee ning prügila ja poolkoksimägede nõrgvete puhul osutus koagulatsiooni efektiivsus madalaks (maksimaalselt ca 10 %). Puidutöötuse reovee puhul aga vähendas koagulatsiooniga eeltöötlemine KHT-d 36 % võrra ning värvitööstuse reovee puhul isegi 97,5 % võrra; koagulatsiooni rakendati edaspidi nende reovete kombineeritud töötlemisskeemi eelpuhastuse etapis.

Biooksüdatsiooni katseid teostati uuritavatele reovetele eel- ja/või järeletapis. Seda, kas reovett on mõistlik puhastada aktiivmudaprotsessiga, hinnati ökotoksiliste testide (hapnikutarbe inhibeerimise test, nitrifikatsiooni inhibeerimise test) ning biolagundatavuse testiga (Zahn-Wellensi meetod). Ühtlasi hakati antud projekti jooksul Zahn-Wellensi meetodit kasutama reovee KHT fraktsioneerimiseks (kergesti, aeglaselt ka raskestilagunev fraktsioon) ning biotöötluse jääk-KHT hindamiseks.

Projektis väljatöötatud skeemide rakendamisega saadud tulemuste lühikokkuvõte on esitatud tabelis 2. Kõikide skeemide puhul saavutati väga kõrge puhastusefektiivsus nii KHT ja BHT7 kui ka teiste näitajate osas (näiteks eemaldati üle 90 % reovees olevaid tanniine ja ligniine ning fenoole; paranes lämmastiku ärastus, jne).

Värvitööstuse reoveele rakendati koagulatsiooni järel Fenton-töötlust rauakatalüsaatorit lisamata, sest koagulatsiooni etapis tekkinud jääkraud katalüüsis edukalt Fenton-protsessi (vt Foto 2). Värvitööstuse reovee järeltöötlemisprotsessina katsetati edukalt jääkrauaga katalüüsitud persulfaat-oksüdatsiooni, mille eeliseks on eksotermilise reaktsiooni puudumine; KHT eemaldamise efektiivsus jäi ainult 1,5 % võrra madalamaks kui Fenton-töötlemisel [3].

Foto 2. Värvitööstuse reovee järeltöötlemine Fenton-protsessiga.

Nii töötlemata prügila nõrgvee kui ka puidutööstuse reovee puhul osutus kõige efektiivsemaks strateegia, kus bioloogiline töötlus eelnes ja järgnes keemilisele Fenton-töötlusele (BIO-CHEM-BIO). Prügila nõrgvee ning puidutööstuse reovete puhul osutus nende biolagundatavus Zahn–Wellensi testi järgi üsna kõrgeks, kuid mõlemad reoveed sisaldasid samuti märkimisväärses koguses raskesti biolagundatavat orgaanikat. Keemiline eeltöötlemine osooniga või Fenton-protsessiga oli efektiivne, aga selle rakendamine lähtereoveele tegi töötlemise kalliks. Sellest lähtudes rakendati kergelt biolaguneva orgaanika eemaldamiseks bioloogilist eelpuhastust ning järgnevas etapis keemilist oksüdatsiooni Fenton-protsessina madalate oksüdantide doosidega püsiva orgaanika lagundamiseks. Puhastusskeemi lõppetapil kasutati jälle aeroobset biopuhastust.

Prügila nõrgveele välja töötatud BIO-CHEM-BIO skeemi rakendati ka pilootseadmel (Foto 3), kus analüüsiti muuhulgas ka lämmastikuärastust erineva sissevooluparameetritega nõrgvee puhul. Selgus, et lisaks tõhusale orgaanika (sh ka fenoolide) eemaldamisele toimub olenemata nõrgvee oluliselt inhibeerivast mõjust nitrifikatsiooniprotsessile (IC50 = 6%) ka täielik nitrifikatsioon.

Märkimisväärne reostuskoormus on Eestis seotud põlevkivitööstusega. Sellest tulenevalt pöörati põlevkivitööstuses tekkivatele reovetele suurt tähelepanu ning uurimisobjektideks said põlevkiviõlitööstuse pürolüüsivesi ja poolkoksimägede nõrgvesi. Poolkoksimägede nõrgvee puhul kasutati edukalt BIO-CHEM skeemi, mis võimaldas vähendada KHT-d üle 80 % kuni 185 mg/L ning saavutada fenoolide jääkkontsentratsioon alla 1 mg/L.

Tabel 2. Väljatöötatud reovete puhastusskeemid ning nende rakendamise tulemused.

Reovesi	*Skeem*	*Mõned parameetrid ning nende muutused*			
		BHT7, %	*BHT7lõpp, mg/L*	*KHT, %*	*KHTlõpp, mg/L*
Prügila nõrgvesi	*BIO-CHEM-BIO*	*99↓*	*19*	*94↓*	*400*
Puidutööstuse reovesi	*BIO-CHEM-BIO*	*99,7↓*	*10*	*99↓*	*90*
Põlevkivi-tööstuse pürolüüsivesi	*(PHY+CHEM)-BIO-CHEM-BIO*	*99↓*	*130*	*98↓*	*850*
Poolkoksi-mägede nõrgvesi	*BIO-CHEM*	*95↓*	*10*	*81↓*	*185*
Värvitööstuse reovesi	*CHEM-CHEM*	*62↓**	*93*	*99,5↓*	*160*

*reovee BHT7/KHT suhe on paranenud 81 korda ning selle väärtus 0,49 võimaldab rakendada tavapärast biopuhastust.

Foto 3. Pilootseadme katse prügila nõrgveega

Põlevkiviõlitööstusest pärinev pürolüüsivesi vajab enne bioloogilisse töötlusse suunamist füüsikalis-keemilist eeltöötlust. Füüsikalis-keemilise eeltöötlusena osutus efektiivseks Fenton-protsess, aga selle rakendamine algreoveele on väga kallis (25-30 EUR/3). Järgnevalt töötati välja neljast etapist koosnev eeltöötlemisskeem. Esmalt aereeriti reovett 48h, seejärel teostati koagulatsioon + flokulatsioon, kus koagulandina kasutati 8 %-list AlSO4-st ja flokulandina 0,1 %-list Zetag lahust. Ammooniumlämmastiku ärastamiseks teostati keetmine pH väärtusel 11. Füüsikalis-keemiliselt eeltöödeldud reovee puhul saadi biolagundatavuse määraks 90 %. Samal ajal jäi reovette suur kogus raskestilagunevat ainet. Seejärel teostati keemiliselt eeltöödeldud pürolüüsiveele BIO-CHEM-BIO strateegia, kus vahepealses etapis töödeldi vett Fentoni reagendiga. Järgneva biotöötluse ning Fenton-töötluse käigus vähenes KHT väärtus võrreldes töötlemata reoveega 95 %, BHT7 väärtus üle 99 % ning fenoolide sisaldus 99,9 %. Reovee näitajad ületasid siiski heitvetele kehtestatud piirväärtuseid ning puhastusskeemi viimase etapina rakendati veelkord bioloogilist protsessi, kus KHT väärtuseks saavutati 850 mg/L (kombinatsiooni summaarne KHT ärastusefektiivsus 98 %).

Projekti käigus saadud väga oluliseks tulemiks oli Fenton-protsessis tekkinud raua-šlammi taaskasutamise õnnestumine. Fenton-protsessi ainsaks oluliseks puuduseks on peetud raua-šlammi teket, mis vajab käitlemist ning prügilasse ladestamist. Varem pakutud lahendused olid suhteliselt keerulised ning kulukad (termiline töötlemine, elektrokeemiline ning keemiline taandamine). Meie idee oli ootamatult lihtne – suunata sadenenud raua-šlamm tagasi Fenton-protsessi. Selgus, et šlammi kasutamisel Fenton-reaktsiooni katalüsaatorina (ehk kahevalentse raua soola asemel) viiekordse taaskasutamise puhul reoainete eemaldamise aste ei vähene. Nii ilmnes kõikide katsetatud reovetega. Kui raua-šlammi uhtumisega seotud kaod kompenseerida väikese rauasoola koguse lisamisega, toimub selline protsess efektiivsuse langevuseta ka rohkem kui kümne tsükli jooksul. See tähendab, et Fenton-protsessi on võimalik läbi viia jäätmevabana! Antud tulemust käsitlenud artiklit [4] on esimese kahe kuu jooksul vaadatud üle 400 korra.

Olulist tähelepanu pöörati väljatöötatud puhastusskeemide majanduslikule otstarbekusele. Pole saladus, et kõrge reostusega reovete puhastamine maksab palju, eriti keemilise oksüdatsiooni rakendamise puhul, sest keemilised oksüdandid on suhteliselt kallid. Näiteks, Fenton-protsessi rakendamisel moodustab see ca 20-30 EUR/m3, ent meie poolt väljatöötatud ning optimeeritud puhastusskeemi puhul osutub see ca 10 korda odavamaks ehk 2-3 EUR/m3. Bioloogiliste ning keemiliste protsesside kombineerimine võimaldas saavutada kõrget efektiivsust mõistliku hinna eest.

Projekti raames saadud tulemused on aluseks, et rakendada reovete puhastamisel uusimaid tehnoloogiaid, mis on kulusid ja eeliseid arvesse võttes majanduslikult ja tehniliselt vastuvõetavad ning tagavad keskkonnanõuete parima täitmise, vähendades inimtegevuse mõju keskkonnale. Uurimistöö käigus saadud tulemused on aluseks ka EL direktiividega kehtestatud nõuete täitmisele.

Nagu oli juba eespool mainitud, koosnes projekti meeskond TTÜ ja TÜ teadustöötajatest ning projekti täitmisel olid kaasatud mõlema ülikooli tudengid. Kokku osalesid projekti täitmise erinevates etappides 29 täitjat. Projekti meeskonda juhis TTÜ keemiatehnika instituudi professor Marina Trapido. TTÜ keemiatehnika instituudi keskkonnakaitse ja keemiatehnoloogia õppetoolis osalesid projektis noored ja väga tublid vanemteadurid Niina Dulova, Anna Goi ja Deniss Klauson ning MSc kraadiga insenerid Marika Viisimaa, Juri Bolobajev, Eneliis Kattel ja Irina Epold. Magistrandidest osalesid Piret Mäestu, Kuldar Rikma, Julia Demidova, Nadežda Vidinjova ja Eneliis Kattel. TTÜ poolt projektis osalenud magistrandid on edukalt kaitsnud käsitletud temaatikaga seotud magistritöid ning omandanud põhjalikud laborikatsete teostamise, algandmete analüüsi, tulemuste hindamise ja meeskonnatöö kogemused. Eneliis Kattel alustas projektis magistrandina, aga kuna ta oli väga tubli ja tööle pühendanud, rakendasime Eneliisi uurimistöös edaspidi insenerina. Osavõtt CHEMBIO projektist aitas tal jõuda väga olulise otsuseni teadustööga edasi minna ning 2014. aasta sügisel astus Eneliis doktorantuuri. Julia Vetik on alles bakalaureuseõppe üliõpilane ning kaitseb oma tööd 2015. aasta kevadel. Projekti assistentide Liina Kotkase ja Marje Nipperi ülesandeks oli tegeleda projekti dokumentatsiooniga.

TÜ kolloid ja keskkonnakeemia õppetooli töörühma juhtis PhD Taavo Tenno ning konsultandiks oli prof Toomas Tenno. Töörühma kuulusid teadurid PhD Erik Mölder, Siiri Velling ja Ivar Zekker, keemikud Arthur Kivi, Kati Klein, Kristel Kroon, Erik Salo, Alar Saluste, Martin Tomingas, Anneli Allikmaa, Christina Mürk, Eeva Vahtramäe, Jana Mihkelson ning labo-

rant Anne Paaver. Arthur Kivi ja Kati Klein alustasid projektides magistrandidena; Arthur Kivi kaitses oma magistritööd 2014. aasta kevadel ja Kati Klein kaitseb magistritöö 2015. aasta kevadel.

Projekti kõige olulisema väljundina võib tuua mõlema partneri kindla soovi ka edaspidi oma oskuseid ning kompetentsi koos rakendada, et taotleda ning ellu viia ühisprojekte ka tulevikus.

KIRJANDUS

[1] Veekasutuse aruanne 2013. http://www.keskkonnainfo.ee/main/index.php.

[2] Trapido, M.; Kulik, N.; Goi, A.; Veressinina, Y.; Munter, R. A study on the Fenton Treatment Efficacy for the Purification of Different Kind of Wastewater. Water Science and Technology, vol. 60, pp. 1795-1801, 2009.

[3] Kattel, E.; Viisimaa, M.; Klauson, D.; Trapido, M.; Dulova, N. Advanced chemical oxidation with pre-coagulation for treatment of paint manufacturing wastewater. [ilmumas].

[4] Bolobajev, J.; Kattel, E.; Viisimaa, M.; Goi, A.; Trapido, M.; Tenno, T.; Dulova, N. Reuse of ferric sludge as an iron source for the Fenton-based process in wastewater treatment. Chemical Engineering Journal, vol. 255, pp. 8 – 13, 2014.

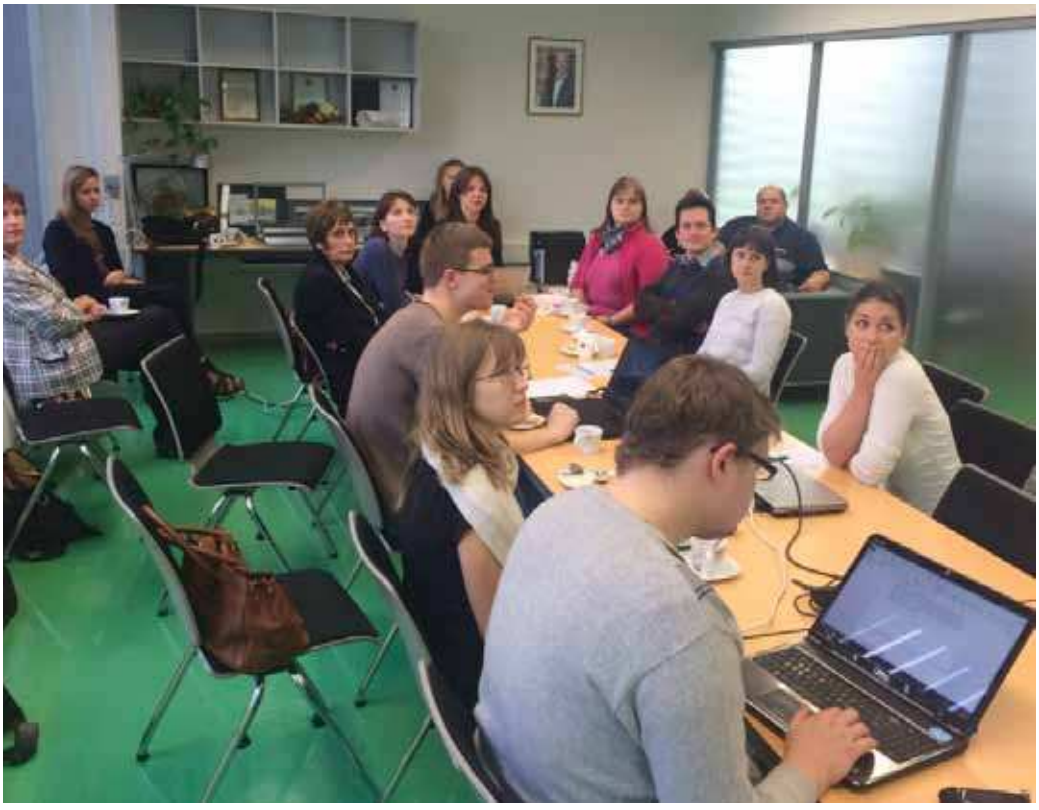


Foto 4. CHEMBIO meeskonna seminar Tartus 31.10.14 a., kus reoveekäitlejatele tutvustati projekti tulemusi.

Eesti Keskkonnaobservatooriumi biosfääri ja atmosfääri alane teadus- ja arendustegevus (BioAtmos)

Eesti Keskkonnaobservatooriumi biosfääri ja atmosfääri alane teadus- ja arendustegevus (BioAtmos)

Materjalid kavandatava KESTA programmi teaberaamatu jaoks

„Majanduskeskkonna arendamise rakenduskava“ prioriteetse suuna „Eesti teadus- ja arendustegevuse konkurentsivõime tugevdamine teadusprogrammide ja kõrgkoolide ning teadusasutuste kaasajastamise kaudu” meetme „Keskkonnatehnoloogia teadus- ja arendustegevuse toetamine“ programm „Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevus“ (KESTA) projekt „Eesti Keskkonnaobservatooriumi biosfääri ja atmosfääri alane teadus- ja arendustegevus (BioAtmos)“.

Eellugu

Projekt „Eesti Keskkonnaobservatooriumi biosfääri ja atmosfääri alane teadus- ja arendustegevus (BioAtmos)“ nagu nimetuski ütleb on tihedasti seotud Eesti teaduse infrastruktuuri teekaardi projektiga „Eesti Keskkonnaobservatoorium“ ja kavandatud viimase poolt algatatud teaduse infrastruktuuri (rajatised, seadmed, aparatuur) rajamisega seotud tegevuste elluviimiseks biosfääri ja atmosfääri suunal.

Eesti Keskkonnaobservatooriumi (KKOBS) loomisele eelnes pikk periood, mil arutelu objektiks oli SMEAR (Station for Measuring Forest Ecosystem — Atmosphere Relations) tüüpi jaama Eestis rajamise kavandamine, mis sai alguse juba aasta 2000 paiku, kui algas TÜ Füüsika Instituudi aerosoolifüüsikute (toll ajal tegutsesime veel iseseisava TÜ Keskkonnafüüsika Instituudi osana) pikaajaline koostöö Soome Helsingi Ülikooli atmosfääriteaduste osakonna Pprof. Markku Kulmala poolt juhitud töögrupiga. TÜ ja Helsingi Ülikooli koostööd selles vallas võib dateerida tagasi eelmise sajandi 70-ndate aastateni, kui Eesti Teaduste Akadeemia liige Pprof. Juhan Ross ja Pprof. Tiit Nilson alustasid koostööd Pprof. Pertti Hari’ga fotosünteetiliselt aktiivse kiirguse mõju uurimisega ökosüsteemidele. SMEAR jaama rajamise idee sai uut tuult tiibadesse aastal 2008, kui selle tegevusega liitusid Eesti Maaülikooli teadlased. Peagi (aastal 2009) kasvas sellest välja SMEAR-GAW ühendjaama rajamise idee, millesse kaasati ka Tartu Observatoorium ja Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) teadlased. Plaan oli koondada Eesti ilmastiku ja kliima, biosfääri ja atmosfääri koosmõju uurijad ühtse nimetaja - Tartu Keskkonnaobservatoorium - alla. Teekaardi projekti laiema arutelu käigus aastal 2009 liitus kavandatav „Tartu Keskkonnaobservatoorium“ suuremat teadlaste kollektiivi ühendava kooslusega „Eesti Keskkonnaobservatoorium“, andes sellele ka osa oma esialgsest nimest.

Kuidas leiti uuringu idee?

KESTA eesmärgiks oli KKOBS’iga seotud keskkonnakaitse ja -tehnoloogia alase teadus- ja arendustegevuse võimekuse tõstmine projektiga seotud asutustes (TÜ, EMÜ, TO), keskkonnaalase (atmosfäär, metsaökosüsteemid jm kasvuhoonegaaside võtmealad) andmehõive ja analüüsi kvalitatiivne parendamine sh. mudelite edasiarendamine ja nende määramatuse vähendamine, kaugemas perspektiivis ka ilmastiku ja kliimamuutustega seotud ökosüsteemide muutuste ja vastusreaktsioonide hindamine.

Biosfääri-atmosfääri vastastoime seaduspärasuste välja selgitamine on määrava tähtsusega nii globaalsete ja regionaalsete kliimamuutuste kui ka maismaaökosüsteemide vastusreaktsioonide prognoosimisel muutuvas kliimas.

BioAtmose idee oli SMEAR, FAHM (Free Air Humidity Manipulation in forest ecosystems) ja kasvuhoonegaaside (KHG) voogude seaduspärasuste väljaselgitamine võtmealadel muutuvates klimaatilistes tingimustes.

FAHM ja SMEAR on suunatud metsaökosüsteemi ja atmosfääri vastastoime mõju selgitamisele oma spetsiifilises valdkonnas, kuid võimaldavad üheskoos üksteise kogemusi kasutades saavutada kiiremat edasiminekut keskkonnakaitse ja keskkonnatehnoloogia-alaste teadusuuringute arendamises ja luua uue sünergia aine ja energia voogude uurimiseks atmosfäär-taimkate-muld üleminekutel erinevates ajalis-ruumilistes mastaapides, alustades „rohujuure tasandilt“ (FAHM, SMEAR) ja liikudes edasi suuremate mastaapideni KHG ja aerosoolide voogude mõõtmistel erineva kõrgusega mastides (FAHM mõõtmised, Soontaga mast, SMEAR Järvselja, Valgjärve TV mast).

BioAtmose projekti algne ideestik pärines suuresti Tartu Ülikooli professorilt Krista Lõhmuselt, mida koostöös teiste uurimisgruppide juhtide/võtmeisikutega täiendati ja parandati. Tarvis oli erinevates teadusasutustes (TÜ Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, TÜ Füüsika Instituut, Tartu Observatoorium, EMÜ) selle teemaga tegelejaid projekti tarvis kokku koondada, mis prof. Lõhmusel ka väga hästi õnnestus, arvestades projekti esitamiseks jäänud vähest aega (taotluse koostamine jäi suvisesse perioodi, kuhu jäi ka suvine puhkuste aeg).

Projekti taotluse enda koostamine oli võrdlemisi kiire ja efektiivne. Kogu taotluse kirjutamise protsess algas sellega, et prof. Lõhmus kui BioAtmose projekti initsiaator kutsus osapooli projekti varajases algfaasis aruteludeks ükshaaval enda poole koju. Hiljem projekti kavandi arenedes peeti lisaks rohketele kokkusaamistele ka pikki telefonivestlusi projekti detailides. Projekti osapoolte leidmisega probleeme ei esinenud, kuna tegemist oli äärmiselt ambitsioonika ja vajaliku lähenemisega keskkonnauuringute valdkonnas, milles kaasalöömises olid kõik osapooled äärmiselt huvitatud.

Tegevused

Projektis oli kaasatud kolm kõrgetasemelist teadusasutust: Tartu Ülikool juhtivpartnerina, Eesti Maaülikool ja Tartu Observatoorium partneritena. BioAtmose projekt kestis 2012 aasta jaanuarist kuni 2014 aasta detsembrini ja selle aja jooksul lõi projekti tegemistes kaasa ligemale 70 teadustöötajat, kuhu kuulus nii tehnilise poolega tegelevaid spetsialistetehnikuid kui ka rohkelt magistrante-doktorante ja teadusmaastiku tipus olevaid professoreid.

BioAtmose teadus- ja arendustegevus viidi läbi KKOBSi raames arendatavatel infrastruktuuri objektidel. Projekti kestuse ajal tehtud teadusuuringud võib jagada kolme alateemasse: metsaökosüsteemide aineringe protsessid ja atmosfääri ning ökosüsteemi vahelise gaasivahetuse teadusuuringud SMEAR (ka Valgjärve telemastis), Soontaga ja Liispõllu metsaökosüsteemijaamas; suunatud eksperimendid sh kliimamuutuste eksperimentaalne imiteerimine FAHM eksperimentalal; ja kasvuhoonegaaside voogude seaduspärasuste väljaselgitamine KHG võtmealadel. Iga alateemat täitsid kõigi partnerasutuste teadlastest komplekteeritud töörühmad, kus olid erinevate teadusalade eksperdid, kõigisse rühmadesse oli kaasatud nii modelleerijad kui ka eksperimendi läbiviijad.

SMEAR jaam koos Valgjärve telemasti uuringutega

Idee varustada Valgjärve mast aparatuuriga atmosfääri piirkihi seisundi mõõtmisteks tekkis 2008. aasta paiku, mil TÜ emeriitprofessor Hannes Tammet ja Soome SMEAR-jaamade üks eestvedajaid, Helsingi Ülikooli professor Markku Kulmala algatasid Eesti SMEAR-jaama loomise mõtte. Algu-

Foto 1. SMEAR Eesti Apna mast (vasakpoolne), Valgjärve telemast (parempoolne)

sest peale oli selge, et jaamas tuleb mõõta soojuse ja kasvuhoonegaaside (CO_2, CH_4) vooge kõrgel ülalpool puulatvu, et mõõtmised näitaksid keskmistatud vooge suurelt maa-alalt, iseloomustamaks ideaalis kogu Kagu-Eestit. Tol ajal ei tundunud realistlik ehitada selleks eraldi masti Järvseljale, kus Maaülikooli metsandusteadlased olid juba alustanud ainevoogude mõõtmisi pinnases ja puuvõradedes. Võimalusi otsides pöörati tähelepanu Järvseljalt umbes 40 kilomeetri kaugusel edelas asuvale 347 meetri kõrgusele Valgjärve saatejaama mastile, mis kuulub riigi enamusosalusega ettevõttele AS Levira.

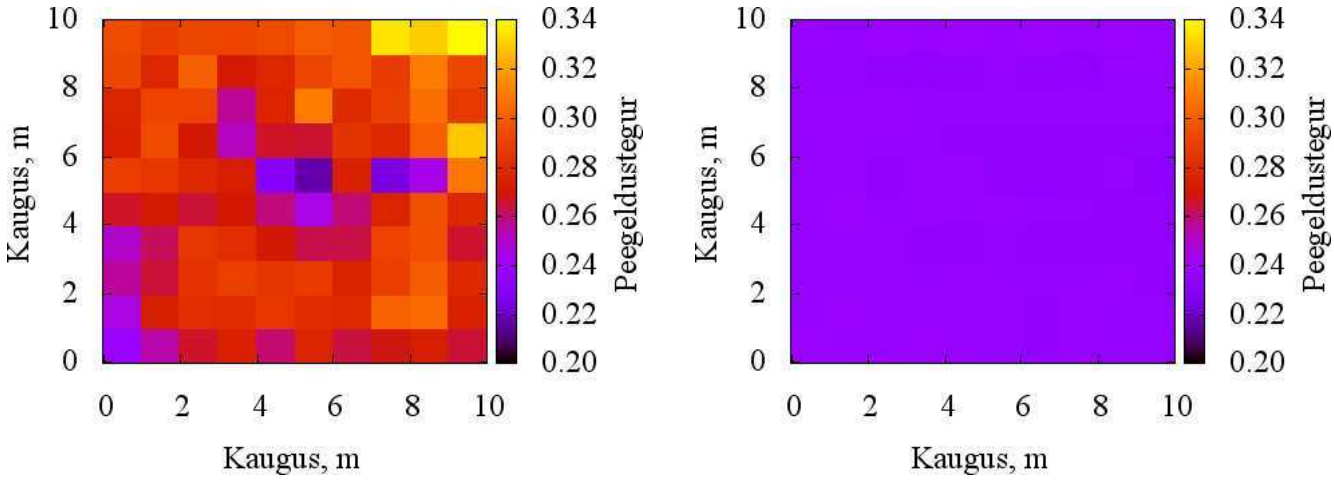
SMEAR-jaama ehitustööd ja aparatuuri soetamine said teoks Eesti teaduse infrastruktuuri teekaardi projekti „Eesti Keskkonnaobservatoorium" (KKOBS) rahastusel ja selle teaduslik sisu loodi samaaegselt BioAtmose vahenditega. Mõlema projekti ettevalmistamise ja taotluse faasis aastatel 2010 — 2011 toimusid muutused esialgsetes kavades. Esimene kava nägi ette mastimõõtmisi Valgjärvel, sellal kui Järvselja alal kavatseti keskenduda ökosüsteemi tasemel Liispõllu vaatlusalale, ehitades sealse võramõõtmisteks mõeldud tellingutorni kõrgemaks ehk veidi üle puulatvade. Järgmine töövariant oli ehitada eraldi 70-meetrine mast Järvseljale aine- ja energiavoogude mõõtmiseks. Seejärel selgus, et eeldatav rahastus võimaldab ehitada hoopis optimaalsema kõrgusega masti — umbes neli korda ümbritseva metsa puudest kõrgema ehk 130 meetrit. Seetõttu kavandati nüüd juba kõik lisandgaaside, aerosooli ja voogude mõõtmised uude SMEAR masti ning Valgjärvele jäi atmosfäärifüüsikaliste mõõtmiste taustjaam, milles töötavad neljal kõrgusel (25, 50, 110 ja 200 meetrit, vt. Foto 1) ultrahelianemomeetrid, temperatuuri ja õhuniiskuse andurid.

Sellised mõõtmised annavad pideva detailse profiili atmosfääri piirkihi turbulentsist, mis kujutab endast suurt kõrgust arvestades haruldast teavet õhulisandite leviku ja ilmaprognoosi mudelite valideerimiseks ning arendamiseks. Kuna samu mõõtmisi teostati samasuguste anemomeetritega (Metek Class A) nii Valgjärve kui ka SMEAR mastis (kaks kõrgust, 50 ja 110 meetrit on samad), siis saab neid mõõtmisi võrreldes hinnata atmosfääri piirkihi homogeensust reaalajas ja erineva maastiku mõju sellele — Järvselja maastik on tasane ja valdavalt metsane, Valgjärvel künklik ja mosaiikne.

Tabelist 1 nähtub, et mõlemad mastid, nii Valgjärve kui ka SMEAR, on Euroopa kõrgeimate hulgas ja võimaldavad mõõta detailseid profiile. Meie mõõtekohad teeb maailma mastaabis huvipakkuvaks asjaolu, et kaks kõrget masti paiknevad teineteisest vaid 43 kilomeetri kaugusel. See võimaldab eksperimente, mõõtmaks nii atmosfääri turbulentsete omaduste kui ka atmosfääri lisandite, sh. saasteainete vertikaalse profiili ülekandumist.

Tabel 1. Ultrahelianemomeeritega varustatud kõrgemad atmosfäärimõõtmiste mastid Euroopas

Asukoht	Riik	Mõõtmise tasemeid	Kõrgeim mõõtetase (m)	Geogr. pikkus	Geogr. laius
Bialystok	Poola	5	300	22°45’	52°15’
Griffin	Suurbritannia	1	230	-2°59’	56°33’
Cabauw	Holland	4	200	04°56’	51°58’
Firenze	Itaalia	1	200	11°16’	43°49’
Ochsenkopf	Saksamaa	4	200	11°49’	50°03’
Valgjärve	**Eesti**	**4**	**200**	**26°41**	**58°06’**
Orleans	Prantsusmaa	3	180	2°07’	46°58’
Hyytiälä	Soome	6	125	24°17	61°51’
Hegyhatsal	Ungari	4	115	16°39’	46°57’
SMEAR	**Eesti**	**5**	**110**	**27°19**	**58°17’**
Norunda	Rootsi	2	102	17°28’	60°05’
La Muela	Hispaania	3	91	-1°05’	41°35’



Joonis 1. Etaloni pinna peegeldustegur 400 nm spektraalkanalis enne ja pärast üle värvimist.

Tuule komponentide mõõtmised nii Valgjärve kui ka SMEAR jaamas toimuvad regulaarselt ilma tõrgeteta 2014. aasta märtsist ning 2015. aastal paigaldatakse jaamadesse ka bilansomeeter lühilainelise (päikese)kiirguse ja maa ning atmosfääri soojuskiirguse bilansi mõõtmiseks. Koos turbulentsi mõõtmistega võimaldab see sulgeda soojusbilansi — mõistmaks päikesekiirguse soojuseks ja kineetiliseks energiaks muundumise seaduspärasusi, mis on võtmetähtsusega aluspind-atmosfäär voogude ning seega ilma ja kliima kujunemisel.

Lisaks tuuleprofiili mõõtmistele viiakse SMEAR jaamas läbi alates 2014. aasta aprillist ka eddy covariance meetodil CO2, CH4 ja H2O voogude mõõtmisi ja mitmete teiste oluliste õhukvaliteeti mõjutavate gaaside kontsentratsiooni mõõtmisi nagu CO, O3, NO/NO2/NOx ja SO2.

Kaugseire Järvseljal

BioAtmose projekti raames viis Tartu Observatooriumi meeskond läbi kiirgusmõõtmisi Järvseljal SMEAR jaama lähistel ning täiendas neid kohtmõõtmisi ruumiliselt laiendatud andmetega kaugseirepiltidelt ja helikopterilt sooritatud mõõtmistega. SMEAR toimeala kaugseirega määrati puistute lehepinnaindeks ja mudelarvutustega hinnati puistute produktsiooni.

Optilise kaugseire puhul on sageli probleemiks mõõtmisandmete kalibratsioon, mida mõjutavad nii atmosfääri kui ka mõõteriista parameetrid. Seetõttu on suureks abiks, kui mõni objekt on teadaoleva ja ajas muutumatu peegeldusteguriga. Järvseljal asub Tartu Observatooriumi lennuki- ja satelliidimõõtmiste peegeldusetalon, mis on eemaldatava katusega 10 m x 10 m mõõtmetega betoonplaat. Projekti kahel esimesel aastal (2012 ja 2013) kaardistati selle pinna spektraalne peegeldustegur 1 m sammuga võrgustikul. Pinna keskmine heledus muutus aasta jooksul kõigest 2%, mis näitab ajalise stabiilsuse seisukohalt etaloni võrdlemisi head kvaliteeti, kuid problemaatiliseks osutus pinna heleduse varieeruvus. Seetõttu värviti etalon 2014. a. kevadel üle, mille tulemusel kahanes pinna heleduse ebaühtlus umbes 10 korda (Joonis 1).

Taimede elutegevuse aluseks on päikesekiirgusest saadava energia arvel toimuv fotosüntees. BioAtmose projekti raames mõõdeti SMEAR jaamast 1 km lõuna suunas asuva peegeldusetaloni juures summaarset ning hajusat spektraalset kiiritustihedust kogu vegetatsiooniperioodi kestel lainepikkuste vahemikus 300-2200 nm (Foto 2). Hajuskiirguse mõõtmisel kasutati otsekiirguse varjamiseks arvutijuhitavat kettakujulist variekraani. Mõõtmisi sooritati ajavahemikel 08.08-22.11.2013 ja 28.04-23.10.2014. Mõõtmised jätkuvad ka käesoleva aasta (2015. a) vegetatsiooniperioodil.

Foto 2. KKOBS-i spektroradiomeeter SkySpec Järvseljal spektraalset hajuskiirgust mõõtmas.

Lehepinnaindeks (LAI) on ökoloogiliselt oluline suurus, mida võib defineerida kui lehtede ühe poole pindala maapinna ühiku kohta. Lehepinnaindeksit ja selle ruumilist ning ajalist dünaamikat kasutatakse erinevates metsa produktsiooni, aineringet ja kliimamuutusi kirjeldavates mudelites. Seega nõudlus LAI kaartide järele üha suureneb. Võimalusi metsade LAI mõõtmiseks on nii maa pealt, õhust kui ka kosmosest mitmeid. Kui enamike maapealsete mõõtmiste eeliseks on täpsus, siis oma töömahukuse ja hinnangute lokaalsuse tõttu pole need sobivad suurte alade regulaarseks seireks. Globaalsete kaartide koostamiseks on küll ainuvõimalikuks lahenduseks satelliitkaugseire, kuid tegelikkuses leitakse mudelite jaoks regressiooniseosed enamasti maapealsete meetoditega hinnatud LAI põhjal. Seega on kohtmõõtmised olulised, et kontrollida suurtele aladele rakendatavaid kaudseid meetodeid.

SMEAR-jaama ümbruses olevate alade LAI kaardistamiseks kasutati nii Maa-ameti poolt tehtud aerolidari mõõtmisi kui ka poolsfääri- ehk kalasilmobjektiiviga varustatud kaameraga tehtud mõõtmisi. 25 prooviala peale tehti kokku 300 poolsfääripilti ning programmiga HemiSPherical Project Manager arvutati nende põhjal taimkatte läbipaistvus ja Milleri (1967) valemi abil lehepinnaindeks. Lähendades poolsfääripiltidelt arvutatud LAI ning lidarandmetest saadud läbipaistvus, saadi Korhonen et al (2011) mudeli abil lehepinnaindeksi kaart terve Järvselja Õppe- ja Katsemetskonna territooriumi kohta. Joonisel 6 on näha osa nimetatud kaardist, kus valge värviga eristuvad selgelt nullilähedase lehepinnaindeksiga alad: teed, asustatud alad ja ka põllumaad (andmeanalüüsis jäeti 1,3 meetrist madalamad objektid vaatluse alt välja). Tumeroheline tähistab kõrge lehepinnaindeksiga alasid ehk metsasid, kus LAI väärtused ulatuvad kohati üle seitsme.

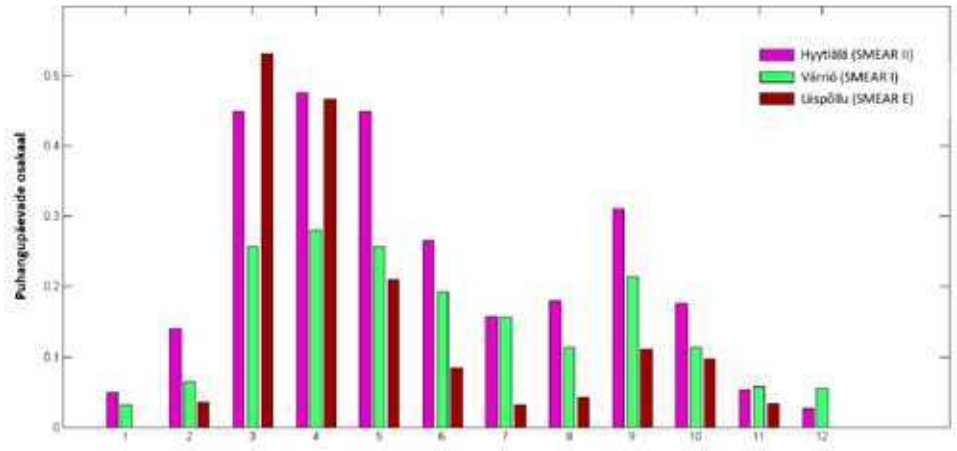
Mõõtmised Liispõllu ja Soontaga ökosüsteemi tasemel mõõtejaamades

Liispõllu metsaökosüsteemi jaam

Aerosooliosakesed on üheks peamistest ilmastikufaktoritest, kuna need hajutavad ja neelavad päikesekiirgust (otsene efekt) ning toimivad kondensatsioonituumadena pilve- ja udupiiskade moodustumisel (kaudne efekt). Mõlemad efektid põhjustavad ilmastiku jahtumist, mõjudes vastassuunas kasvuhooneefektile. Liispõllu ökosüsteemi tasemel mõõtejaamas (Foto 3), mis asub SMEAR jaamast umbes 3 km kaugusel, alustati projekti esimese aasta (2012 a) alguses TÜ meeskonna poolt pidevaid ööpäevaringseid aerosooliosakeste ja õhuioonide suurusjaotuse (5 min keskmiste ja sama ajalise intervalliga) mõõtmisi, mis jätkuvad ka praegu. Aerosooli mõõtmistega koguti esmakordselt pidev aegrida aerosoolide ja –ioonide kontsentratsioonide aastasest käigust segametsas. Tulemusi on analüüsitud ja leitud, et huvipakkuvate uute aerosooliosakeste tekke aastane käik on sarnane boreaalses metsas, Soome jaamades SMEAR I ja II mõõdetutega, kuid esinevad mõningad erinevused, nimelt on Eestis suvekuudel vähem puhangutega päevi (Joonis 3).

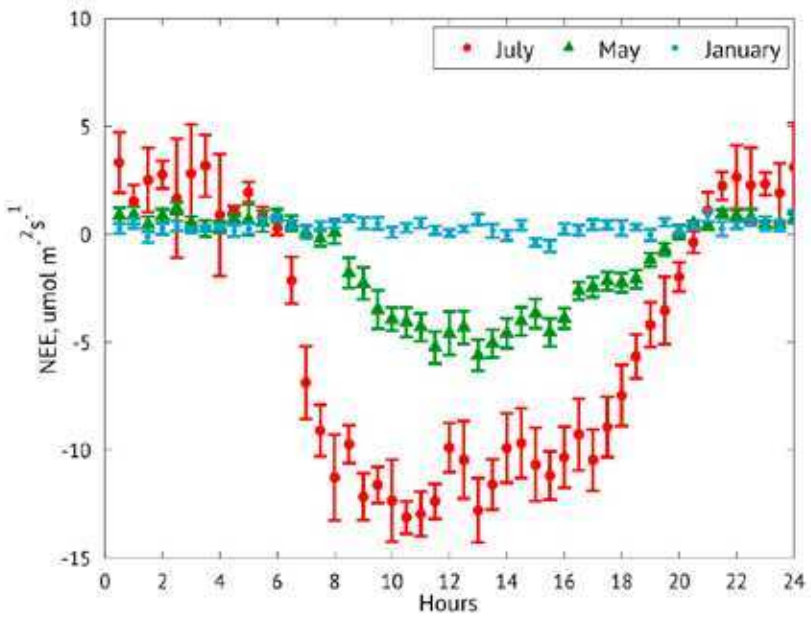
Joonis 2. Aerolidari andmete ja poolsfääri fotode põhjal koostatud lehepinnaindeksi kaart SMEAR-jaama ümbruses olevate alade kohta.

Foto 3. Liispõllu mõõtepaviljon.



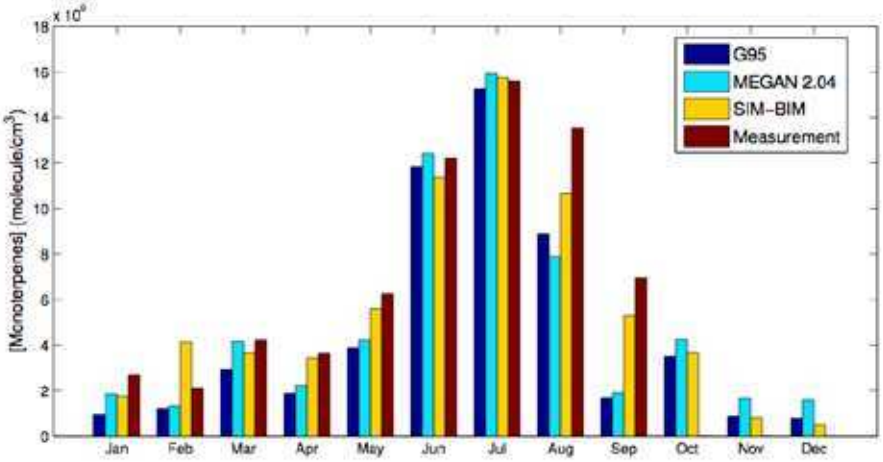
Joonis 3. Aerosooli puhangupäevade osakaal kuude lõikes.

EMÜ meeskond alustas CO2 ja H2O voogude mõõtmisi (10Hz sagedusega) Liispõllu mastis 2012. aasta kevadel ja jätkas kuni 2013. aasta kevadeni (märts). Kasutati eddy covariance meetodit. Kuna pikaajaline pidev andmerida on oluline hinda-maks paremini ja täpsemini ökosüsteemis toimuvaid aineringe protsesse sõltuvalt aastast ja aastaajast, siis jätkas samal meetodil ja samade uuritavate gaaside mõõtmist 2014. aasta juulist TÜ meeskond ning mõõtmised jätkuvad praeguseni. Esimesed kvaliteedi kontrolli läbinud ja korrigeeritud mõõtmised näitavad, et Liispõllu ökosüsteemi süsinikubilanss (NEE; 20112012 ; Joonis 4) varieerus vahemikus 20 µmol m-2 s-1 suvisel perioodil kuni 10 µmol m-2 s-1 talvisel puhkeperioodil, olles keskmiselt aastas -12.95 ± 1.01 µmol m-2 s-1. Selline keskmine väärtus on mõnevõrra kõrgem kui põhjapoole jäävates boreaalsesse männikutes, viitades mõnevõrra suuremat biomassi produktsioonile hemiboreealses tsoonis.



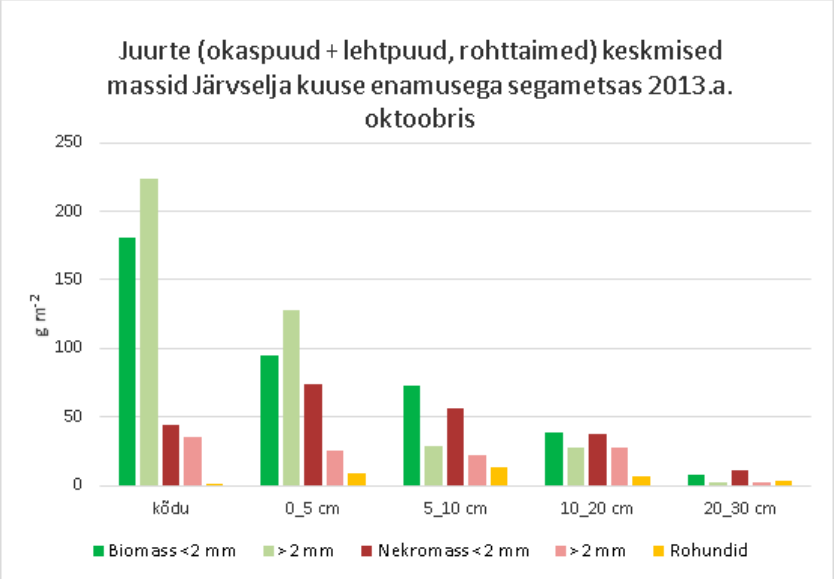
Joonis 4. Päevane süsinikubilanss (NEE; 2012) Liispõllu jaamas. Väärtused on kuu keskmised ± standard hälve. Valitud kuud: aprill -vegetatsiooni perioodi algus, juulivegetatsiooni perioodi maksimum, jaanuartalvine voog (Krasnova et al, 20XX).

Liispõllu jaamas viidi läbi ka mitmeid lühemaajalisi kampaaniaid mõõtmaks taimedest eralduvaid lenduvaid orgaanilisi ühendeid (lühendina BVOC). Koostöös Soome kolleegidega viidi läbi protsessipõhise BVOC mudeli (SIM-BIM) täiendamine ja valideerimine SMEAR Eesti ja SMEAR II (Hyytiälä) jaamas 2013. aastal tehtud mõõt-miste kaudu (Joonis 5).

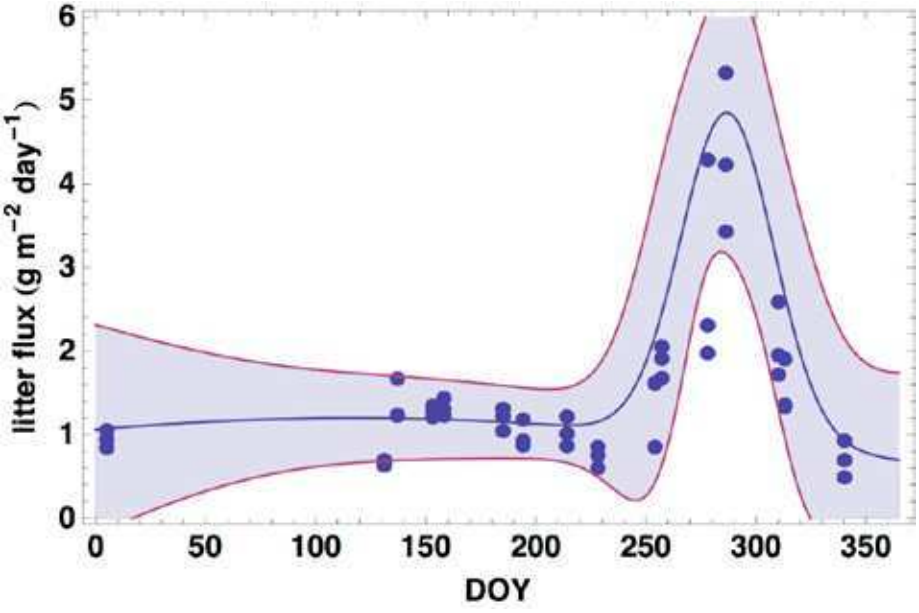


Joonis 5. Monoterpeen välisõhu kontsentratsiooni mõõtmiste ja kolme BVOC mudeli tulemuste omavaheline võrdlus

Projekti jooksul rajati ka SMEAR ja Liispõllu jaama lähistele 22 pikaajalist metsanduslike eksperimentide püsiala nii mulla kui ka taimestiku maapealse ja maa-aluse biomassi ning süsinikuvoogude hindamiseks. Hinnati maapealne biomass ja maa-aluse peenjuurde mass ja produktsioon. Kokkuvõtvalt võib öelda, et funktsionaalselt kõige aktiivsemate, puude toitumisel ja veevõtul osalevate peenjuurte (<2 mm) keskmine biomass oli 397 g m-2 (ehk ligikaudu 4 t ha1). Elusate peenjuurte osakaal oli SMEAR torni tagusel proovialal ligikaudu 1.5 korda suurem võrreldes Liispõllu alaga. Surnud peenjuurte ja rohundite juurte hulgad olid keskmiselt sarnased mõlemal alal. Mulla sügavuskihiti oli kõige rohkem, 77.6 % elusaid juuri (<2 mm ja >2 mm) kõdukihis ning 05 cm mineraalmulla kihis kokku, seda kogu ülemise 30 cm lõikes (Joonis 6).



Hindamaks varise osakaalu aineringes ja varise üldisemat aastast dünaamikat, kogus EMÜ meeskond aastatel 2011- 2013 nii Liispõllu kui ka SMEAR uurimisaladelt igakuiselt puude varist, välja arvatud ajal, kui maapind oli kaetud lumega. Mõlema ala kohta saadi andmed alates aprillist kuni novembrini (8 kuud). Saadud tulemuste põhjal mudeldati varise aastane käik (Joonis 7).



Joonis 7. Modelleeritud (sinine joon) ja mõõdetud (sinised täpid) aastase varisevoo dünaamika SMEAR Eesti jaamas. Andmed on kogutud 2011- 2013.

Modelleeritud varise voog on hinnangulised 7.5 kuni 8 t ha1 a1, mis on 16% kõrgem väärtus kui mõõdetud voog. Sellise erinevuse võib tuleneda eelkõige asjaolust, et kuna talvisel ajal ei kogutud varist, siis saadi mõõdetud varise voog sellest tulenevalt mõnevõrra väiksem kui modelleeritud (Noe et al., 20XX).

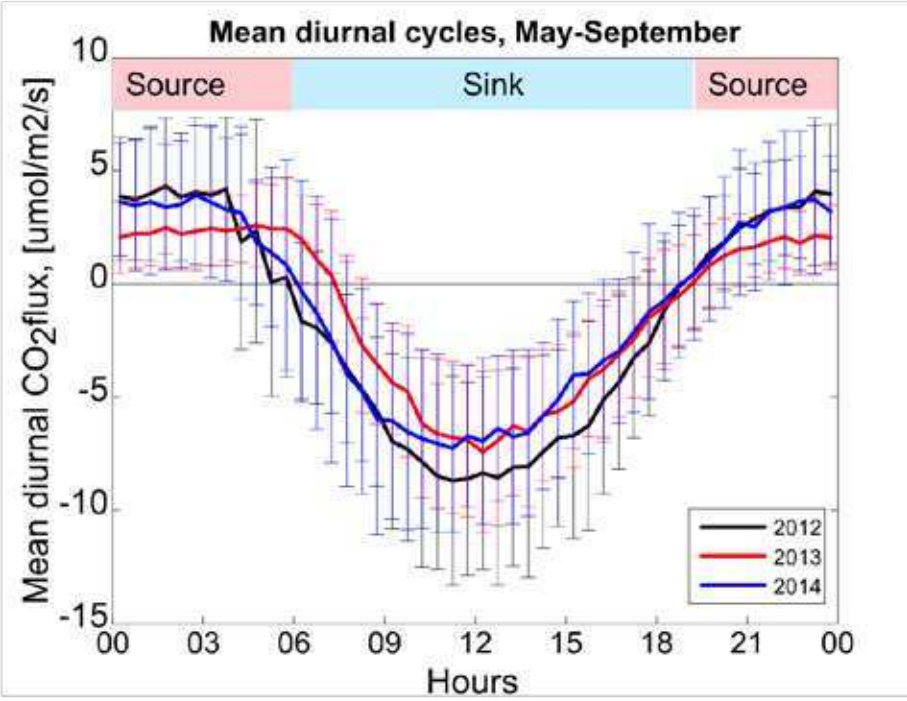
Soontaga metsaökosüsteemi jaam

Soontaga metsajaam, mis asub Lõuna-Eestis Valgamaal Puka vallas Soontaga külas, osaliselt Soontaga looduskaitsealal, valiti selliselt, et mõõtejaam oleks võimalikult tasasel alal ja seda ümbritseks võimalikult homogeenne metsaökosüsteem. Väärib märkimist, et Soontaga kaitseala üheks kaitseeesmärgist on hariliku männi (Pinus sylvestris) genofondi säilitamine. Soontaga uurimisjaama ümbritsevad männikud on üsna eriilmelised; esinevad nii keskealised (60. a.), küpsed (110 a.) kui ka väga vanad (üle 200 a.) männipuistud.

Projekti esimesel aastal alustati juba kasvuhoonegaaside nagu CO2 ja H2O voogude mõõtmisi nii eddy covariance (10Hz sagedusega) kui ka kambermeetodil (CO2, CH4, N2O) Soontaga mõõtejaamas (Foto 4) ning mõõtmised jätkuvad tänaseni. Lüngad pikaajalistes andmeridades on vältimatud (seadmete rikked, kalibreerimised jne), mistõttu mõõdetakse lisaks CO2 ja H2O voogudele mastis ööpäevaringselt 5 sek intervalliga ka mitmeid olulisi keskkonnaparameetreid nagu õhutemperatuuri, -rõhku ja –niiskust, kiirgust (PAR-i, kogukiirgust, lühi- ja pikalainelist otse- kui ka peegelduvat kiirgust) ning sademeid, mida hiljem kasutatakse andmelünkade interpoleerimiseks.

Foto 4. Eddy covariance süsteem Soontaga metsajaamas

Soontaga metsajaamas tehtud NEE mõõtmised on esimesed pikaajalisemad uuringud Eestis (2012-2015 a). Esialgsed andmed näitavad, et Soontaga võrdlemisi vana männik on süsiniku siduja. Ööpäevased NEE tulemused näitasid selget ööpäevast trendi: päevasel ajal sidus mets CO2; hilisõhtusel ja öisel ajal emiteerus süsinikdioksiid ökosüsteemist atmosfääri (Joonis 8).



Joonis 8. CO2 voogude päevane varieeruvus 20122014

Analüüsiperioodil saadud NEE ja mullahingamise tulemused saab jagada kahte perioodi: kasvu- ja puhkeperiood. Metsa kasvuperioodil, kui fotosüntees on intensiivne, oli CO2 sidumine taimede poolt mullahingamisest suurem ja ökosüsteem sidus süsinikdioksiidi. Kuna mullahingamine sõltub positiivselt mullatemperatuurist, siis olid ka tema väärtused suuremad just vegetatsiooni perioodil. Samas puhkeperioodi ajal muutus CO2 siduv ökosüsteem CO2 emiteerijaks.

Selleks, et teada saada, kui palju süsinikku on seotud maapealsesse ja maa-alusesse biomassi ning kui suur on biomassi produktsioon, rajati jaama kolme erivanusega osasse katselapid. Esialgsete tulemuste alusel võib väita, et enamus seotud süsinikust talletub sellises vanemas pohla kasvukohatüüpi metsas eelkõige maapealsesse biomassi, suurel määral ka kõdusse, kuid samuti maa-alustesse peenjuurtesse.

Hinnangulised NPP arvutused näitavad, et Soontaga ökosüsteem on kasvav kooslus ja aasta keskmine ökosüsteemi juurdekasv võib olla keskmiselt 10 tonni hektari kohta aastas. Saadud tulemus on sellise kasvukohatüübi ja vanusega ökosüsteemis suhteliselt kõrge, kuid täpsemate järelduste tegemiseks jätkatakse andmete kogumise ning analüüsiga (Soosaar et al., 20XX).

FAHM

Metsaökosüsteemi õhuniiskusega manipuleerimise unikaalse eksperimendi FAHM (Free Air Humidity Manipulation in forest ecosystems; Foto 5) kavandaja ja idee ellutooja oli paljude kolleegide ja õpilaste poolt armastatud professor Olevi Kull (22. juuni 1955 — 31. jaanuar 2007). Pole sugugi juhuslik, et eksperimendi füüsiline keha sai Rõka katseala näol rajatud Järvselja Õppe – ja Katsemetskonda — paika mis Olevi initsiatiivil on metsateadlaste kõrval kujunenud ka ökofüsioloogide eelistatud uurimisalaks. Alus- ja rakendusökoloogia tippkeskuse juhatajana oli prof. Olevi Kull see, kes suutis leida vahendid eksperimendi infrastruktuuri ülesehitamiseks ning asus temale omasel hoogsal moel ideed ellu rakendama. Eksperimendi tehnoloogia väljatöötamiseks veenis ta projektiga ühinema oma ala eksperdi Jaak Sõber'i, kellel on rikkalikud kogemused puistu osooni ja süsihappegaasiga rikastamise tehnoloogia väljatöötajana AspenFace uurimisalal Ameerika Ühendriikides.

Kliimamuutuste mõju alased uuringud on tuvastanud atmosfääri CO2 sisalduse tõusu ja selle mõju ökosüsteemide funktsioneerimisele. Hoopis vähem on informatsiooni kliimamuutuste muude aspektide mõju kohta ökosüsteemidele. Üks olulisemaid kasvuhooneefekti mõjutavaid komponente atmosfääris, mis neelab maapinnalt eralduvat infrapunast kiirgust ja muudab keskkonna soojusbilanssi on veeaur. Veeauru kontsentratsioon õhus on keskmiselt 2% (võrdluseks: CO2 kui olulisima inimtekkelise kasvuhoonegaasi kontsentratsioon on vaid 0.037%) ja kaks kolmandikku võimalikust kasvuhooneefektist võib tegelikult panna just veeauru arvele. Veeauru kontsentratsiooni muutused sõltuvad peale energiabilansi ka atmosfääri tsüklonaalsest liikumisest ning võivad olla regiooniti väga erinevad ja raskesti ennustatavad. Kui veeauru kontsentratsioon kliima soojenemise tõttu tõuseb, soojeneb kliima veelgi kiiremas

Foto 5. Eksperimendis FAHM suurendatakse kunstlikult õhuniiskust imiteerimaks lähitulevikus prognoositud niiskemat kliimat.

tempos (positiivne tagasiside). Vastava baasteadmiseta on aga võimatu ennustada ökosüsteemi kui terviku reaktsiooni kliimatingimuste muutusele.

FAHM on maailmas esimene eksperiment, kus metsaökosüsteemides õhuniiskusega manipuleeritakse ja kompleksselt hinnatakse vastusreaktsioone molekulaarsel (mulla ja risosfääri mikroobikooslused) ja organi tasemelt (lehtede ja juurte füsioloogilised protsessid) ökosüsteemini (C-, N-, P- ja veeringe).

FAHM eksperimendi üheks eesmärgiks on selgitada muutusi lehtmetsade süsiniku — ja mineraaltoitainete ringes manipuleeritud õhuniiskuse juures prognoosimaks võimalikke vastusreaktsioone kliimamuutustele. Euroopa kliimamuutuste tulevikustsenaariumides on prognoositud sademetehulga suurenemist Põhja- ja vähenemist Lõuna-Euroopas. Aastaks 2100 prognoositakse Eestis sademetehulga ja temperatuuri suurenemist vastavalt 530% ja 2,34,5 °C ja lehtmetsade osatähtsuse tõusu.

Metsamajandusliku dimensiooni eksperimendile annab olulisima boreaalse lehtpuuliigi — arukase ja paberitootmiseks soodsate kiuomadustega hübriidhaava kasutamine.

BioAtmose projekti raames imiteeriti FAHM alal eksperimentaalselt rotatsiooni mõju (puud katsevariantides langetati, kasutati erinevaid metsauuendusviise — istutus, võsutekkeline uuenemine) ja hinnati sellega kaasnevaid keskkonnariske. Valitseb seisukoht, et esimese 10 aasta jooksul peale lageraiet on raiutud alad süsiniku emiteerijad, ka suureneb lämmastiku ja fosfori leostumine. Lühikese raieringiga energiametsade kohta pole selles aspektis piisavalt andmeid. Ka ohtlike kasvuhoonegaaside metaani ja naerugaasiga seotud keskkonnariskide osas seoses raietega on andmeid vähe. Nende gaaside kasvuhooneefekt on emiteeritud massiühiku kohta vastavalt 24 ja 300 korda suurem kui süsinikdioksiidil.

FAHM uurimistöö peamised hüpoteesid Bioatmose projekti raames olid:

suurenenud/ vähenenud õhuniiskus mõjutab oluliselt füsioloogilisi protsesse ja selle kaudu biomassi allokatsiooni raiejärgsetes lehtmetsaökosüsteemides;

raiejärgselt suurenevad lämmastiku netomineralisatsioon, netonitrifikatsioon ja CO2 emissioon, kusjuures

N leostumine oluliselt ei suurene, sest lämmastik immobiliseerub.

FAHM uuringutest selgus, et olenemata lehtpuuliigist (hübriidhaab, arukask) on suurema õhuniiskusega kohanenud puud põuatundlikumad, mistõttu on suurem oht nende veemajandusele ekstreemsetes ilmastikutingimustes. Kui põhjapoolsetes metsades õhuniiskus suureneb, võivad kuumalained ja põud muutuda saabuvatel aastakümnetel ohtlikumaks kui praegu. Sõltumata puuliigist tuvastati puidu keemilise koostise muutus, millest olulisim oli lämmastiku ja fosforikontsentratsiooni tõus suurema õhuniiskuse korral. Need FAHM eksperimendi tulemused näitavad, et õhuniiskuse ja temperatuuri kasv kõrgematel laiuskraadidel võib mõjutada puistute mineraaltoitainete ringet, metsade majandamist ja metsatööstust.

Hüpotees 1 leidis kinnitust. Selgus, et suurem suhteline õhuniiskus võib mõjutada taimede transpiratsiooni, fotosünteesi, kasvu, õhulõhede aktiivsust, peenjuurte karakteristikuid ja biomassi allokatsiooni kusjuures mõju on sageli puuliigispetsiifiline.

FAHM katsepuistute lageraie tehti nii hübriidhaavikutes kui arukaasikutes 7 aasta vanuselt, peale kahte aastat õhuniisutust pooltes katsepuistutes. Arukased kohanesid paremini suurenenud õhuniiskusega, mis algselt pidurdas puude kasvu, hübriidhaabadel jäigi kasv väiksemaks. Kased tagasid parema aklimatiseerumise füsioloogiliselt aktiivseimate organite abil suurendades peenjuurte (D<2mm) biomassi ja lehtede eripinda (lehe pindala ja massi suhe). Maapealse osa biomassi protsentjaotus lehtede, okste ja tüve vahel ei sõltunud kõrgendatud õhuniiskusest. Kõige olulisem allokatsiooni muutus avaldus peenjuurte suuremas osatähtsuses juurestiku biomassist, suurenes ka peenjuured/lehed biomasside suhe. Seega oli vaja rohkem peenjuuri lehemassi ühiku kohta parandamaks mineraalset toitumist suurema õhuniiskuse korral. Kuna õhuniisutusaladel suurenes alustaimestiku maa-alune biomass, oli ka konkurentsisurve puudele suurem. Süsiniku salvestumise seisukohalt on põhijärelduseks, et ennustatud kliimamuutus — suurenev õhuniiskus ei vähenda süsiniku salvestumist arukaskede biomassi boreaalse ja hemiboreaalse vööndi puistutes.

Raiejärgselt seisneb oluline allokatsiooni muutus hübriidhaavikute maa-aluse osa suuremas osatähtsuses, kuna ka langetatud puude juurestikud jäävad ellu.

Reeglina on lämmastiku netomineralisatsioon — orgaanilise aine lagunemisel vabanenud taimedele omastatav mineraalne lämmastik (kg N ha-1 aastas) põhivoog taimede aastase lämmastikuvajaduse katmiseks. Orgaanilise aine lagunemisel mullas vabaneb kõigepealt ammooniumlämmastik, mis osaliselt nitrifitseerub, teisenedes nitraadiks. FAHM ala on endine põllumaa, seetõttu omastatakse seal lämmastik mullast mineraalses vormis — ammoonium- või nitraatlämmastikuna.

FAHM eksperimendis oli kõrgendatud õhuniiskusel oluline mõju lämmastiku transformatsiooniprotsessidele mullas. Lämmastiku netomineralisatsioon oli kolmandiku võrra väiksem õhuniisutusaladel kus oli ka väiksem netonitrifikatsiooni osatähtsus netomineralisatsioonist (50%) kui looduslikes

tingimustes (65%). Seega omastatakse looduslikes tingimustes lämmastik juurte poolt peamiselt nitraadina, suurendatud õhuniiskuse juures omastatakse pool lämmastikust nitraat- ja pool ammooniumlämmastikuna. Väiksem netonitrifikatsioon viitab sellele, et lämmastiku limiteeriv mõju on suurem kõrgema õhuniiskusega metsaökosüsteemides.

FAHM alal on taimede aastase lämmastikunõudluse bilanss kujul:

Ntaimeproduktsiooniks = Nnetomineralisatsioon + Nretranslokatsioon + Ndepositsioon — Nleostumine (1)

Vähesel määral võib lisanduda ka sümbiontselt seotud lämmastikku, kuna alustaimestus leidub ka liblikõielisi. Hoolimata õhuniisutuse mõjul vähenenud transpiratsioonivoost ning kaselehtede väiksemast lämmastikusisaldusest, oli peale kahte eksperimendiaastat puude ja alustaimestu lämmastikuvajadus suurem just õhuniisutusaladel.

Suurema lämmastikunõudluse põhjuseks oli oluliselt suurem taimeproduktsioon kõrgendatud õhuniiskuse puhul, eelkõige alustaimestiku produktsiooni suurenemise tõttu maa-aluses osas.

Seetõttu oli suurendatud õhuniiskusega noor arukaasik süsiniku salvestaja, looduslikes tingimustes kasvav aga emiteerija. Lämmastikunõudluse bilansi võrrandist (1) järeldub seega et väiksem netomineralisatsioon õhuniisutusaladel tähendab suuremat lämmastiku retranslokatsioonivoogu — lämmastiku taaskasutust taimede sees, sest õhust sadenev lämmastik on sama ja leostumine väike.

Seejuures ilmnes nii puuliigi kui õhuniisutuse mõju. Raie puhul on väga oluline, milline on metsauuendusviis. Hübriidhaavapuistud uuenesid vegetatiivselt, arukaasikute puhul istutati Soome koostööpartnerilt saadud meristeempaljundatud taimed. Arukaskede juurestikud moodustasid täiendava varisevoo mulda, kusjuures kiiremini lagunevaid peeni <2 mm juuri oli õhuniisutusaladel 1,5 ja kontrollaladel 1,0 t ha-1. Hübriidhaabade juurestikud aga jäid ellu — neist ei lisandunud olulist varisevoogu mulda. Vastavalt oli netomineralisatsiooni intensiivsus õhuniisutatud arukaasikutes lageraiejärgselt kaks korda suurem kui hübriidhaavikutes. Seega leidis hüpotees 2 osaliselt kinnitust ja kolmas hüpotees leidis kinnitust täielikult.

Seni on vähe tähelepanu pööratud taimede öisele transpiratsioonile, mille mõju füsioloogilistele protsessidele võib olla märkimisväärne seondudes mineraaltoitainete kättesaadavusega mullast. Öise transpiratsiooni mõju lämmastikutoitumusele uuriti 16 lehtpuuliigil, mis jagunesid kahte kontrastsesse rühma: suure öise transpiratsiooni puhul oli lehtede lämmastikukontsentratsioon väike ning väike öine transpiratsioon seostus kõrge lehelämmastikuga. Kõrge öine transpiratsioon võib kompenseerida limiteeritud lämmastikuomastamist puuliikidel, mis on suutelised kasvama väheviljakates kasvukohtades.

Nii ülemäärased sademed kui ka prognoositud sagenevad põuad kombineerituna niiskema kliimaga mõjutavad kasvuhoonegaaside emissioone — mõlemal juhul vähenes mullahingamine ehk süsihappegaasi emissioon mullast.

KHG võtmealad

Agali

Agali hall-lepa uurimisala rajati süsiniku (C) ja lämmastiku (N) ringe uurimiseks kiirekasvulise lehtpuumetsa ökosüsteemis, samuti selgitamaks metsa majandamise (lageraie) mõju CN erinevatele voogudele ja varudele sh. kasvuhoonegaaside emissioonile. Hall-lepp on Eestis kõige kiirekasvulisem metsapuuliik ja potentsiaalne taastuvenergia allikas. Kuna kõik lepa perekonda kuuluvad liigid on tänu sümbioosile aktinomütseediga Frankia võimelised siduma atmosfäärset lämmastikku, võib nende mõju mullatekkeprotsessidele (sh mulla lämmastikuvarudele) ning kasvuhoonegaaside (eelkõige N2O seisukohalt) bilansile olla suurem kui teistel meie metsapuuliikidel.

Igal aastal on Agali lepiku puistu takseeritud ja 2012. a. hinnati puistu maapealset biomassi ja produktsiooni mudelpuude meetodil. Puude maapealne biomass oli kokku 116 t ha-1 (siin ja edaspidi massid kuivaines) ja tüvemass moodustas sellest 101 t ha-1. Maapealse puitunud biomassi (tüvi+oksad) aastane koguproduktsioon oli 4,9 t ha-1. Varasemate uurimustulemuste põhjal (Uri et al., 2009; Lõhmus et al., 1996) modelleeriti ka puistu maa-aluse osa biomass (jämejuured+känd) ja selle aastane produktsioon, mis olid vastavalt 22,6 t ha-1 ja 0,95 t ha1.

Hinnati ka alustaimestiku biomassi ja alustaimestiku osa puistu CN ringes. Maapealse osa biomassi hinnati suvel maksimaalse biomassi perioodil prooviruutude meetodil ja maa-aluse osa biomassi mullapuuriga võetud monoliitidest. Alustaimestiku biomass oli väike (maapeal 0,96 t ha-1 ja maa-all 0,51 t ha-1) ja seega ka tema roll metsa CN ringes tagasihoidlik. Läbi alustaimestiku oli aastane C voog mulda vaid 0,56 t ha-1.

Selgitamaks läbi juurevarise mulda jõudva aastast C voogu, hinnati hall lepa peenjuurte biomassi (mullamonoliitide meetodil) ja aastast peenjuurte produktsiooni (juurevõrkude meetodil), samuti arvutati peenjuurte keskmine käibekiirus ning nende eluiga. Halli lepa peenjuurte biomass oli 1,73 t ha-1 ja aastane produktsioon 0,82 t ha-1. Juurevarisest lisandub puistus mulda 0,4 t C ha-1 a-1, mis on üsna tagasihoidlik voog. Mõningates metsaökosüsteemides võib peenjuurte aastane produktsioon moodustada kuni 75% kogu ökosüsteemi netoproduktsioonist (Gill & Jackson, 2000)

Maapealse varise kaudu mulda jõudva CN voo hindamiseks paigaldati katsealale 10 varisekogujat. Varist koguti igakuiselt, intensiivsel lehtede varisemise perioodil kord kahe nädala tagant kogutud varis fraktsioneeriti. Eraldatud fraktsioonid kuivatati temperatuuril 70ºC kuni püsiva kaalu saavutamiseni ja kaaluti. Proovidest määrati EMÜ Taimebiokeemia Laboratooriumis lämmastiku (N) ja süsiniku (C) sisaldus. Selline pikaajaline varise kogumine võimaldab täpsemalt hinnata CN voogu mulda läbi lehevarise, kuna erinevatel aastatel võivad varise voogu mõjutada erinevad häiringud (kestev põud, putukad, rahe, leherooste jne). Tulemused näitavad stabiilset lehevarisevoogu uuritud puistus: 2011. a. oli lehevarise voog 3,22 t/ha, 2012. a. 3,53 t/ha ja 2013. a. 3,92 t/ha. Läbi lehevarise jõuab aastas mulda ca 1,8 t C ha-1 a-1.

Alates aastast 2012 mõõdeti igakuiselt mõlemal katsevariandil (lepik ja lageraieala) mullahingamisel eralduva CO2 voogu portatiivse gaasianalüsaatoriga CIRAS-2. eraldi mõõdeti nii heterotroofne mullahingamise voog (installeeritud plasttorudest, h=50 cm; d=23 cm) st. CO2 voog ilma juurehingamiseta, kui ka kogu mullahingamine (mulla pinnalt). Kogu aastane mullahingamise C emissioon nii lepikust, kui lageraiealalt oli 5 t C ha-1 a-1. Heterotroofne mullahingamine lepikust oli 2,6 t C ha-1 a-1 ja raiesmikult 1,9 t C ha-1 a-1.

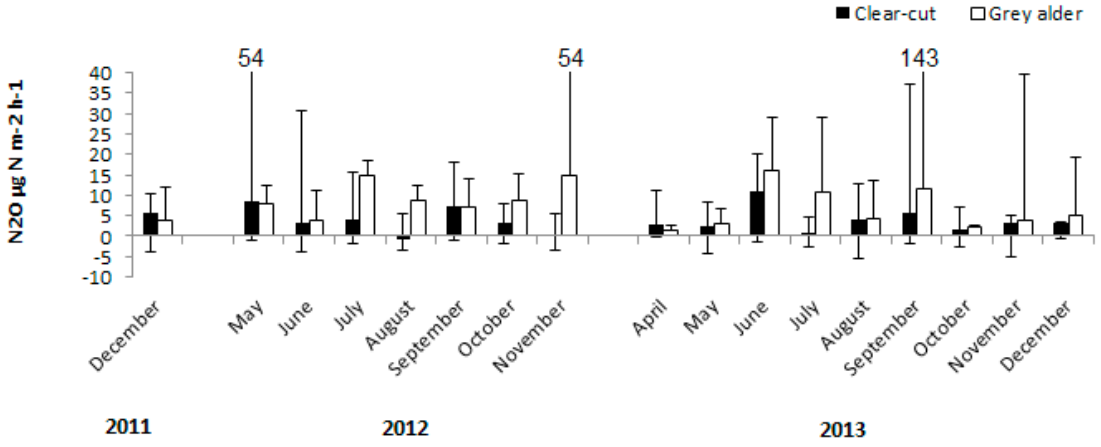
Lisaks koguti kogu projekti kestuse vältel mõlemalt alalt vegetatsiooni perioodil (aprill kuni november) pimekambri meetodil N2O ja CH4 gaasiproovid (1xkuus, 5+5kambrit, kokku 320) ning need analüüsiti gaaskromatograafiga TÜ ÖMI laboris. Esialgsed tulemused (Joonis 9) näitavad, et N2O vood lepikust on oluliselt suuremad, varieerudes -0.55 kuni 19.75 kg N2O ha-1 a-1, kui raiesmikul, kus N2O voog jäi vahemikku -0.77 kuni 7.43 kg N2O ha-1 a-1.

Lämmastiku ja süsiniku leostumise hindamiseks koguti mulla nõrgvett lüsimeetritest nii hall-lepikust kui ka lageraiealalt (10+10 roostevabast terasest plaatlüsimeetrit, 40 cm sügavusel). Analüüs näitas, et lämmastiku leostumine sellistes ökosüsteemides võib olla võrdlemisi kõrge, jäädes praeguse uuringu puhul nii lageraie alal kui ka lepikus 2829 kg ha-1a-1). Kuid lämmastik leostus põhiliselt kevadel, lumesulaveega. Ülejäänud aasta jooksul leostumist praktiliselt ei toimunuid. Samas ei leidnud kinnitust uuringu üks peamistest hüpoteesidest, et raiesmikul leostub oluliselt rohkem lämmastikku, kui kasvavas hall-lepikus.

Üheks tööhüpoteesiks antud projekti raames oli oletus, et raiesmikul tänu tõusnud mullatemperatuurile ja raiejärgselt suurenenud orgaanilise aine hulgale (raiejäätmed, surnud juured) aastane lämmastiku netomineralisatsiooni voog (NNM) oluliselt suureneb. Läbi viidud NNM katse (maetud kilekottide meetod) aga seda hüpoteesi ei kinnitanud; aastane lämmastiku NNM voog (ülemine 020 cm mulla kiht) oli hall-lepikus 169.6 kg ha-1 ja lageraiealal 157.0 kg ha1.

Lavassaare

Kasvuhoonegaaside üheks looduslikuks võtmealaks võib pidada mahajäetud, kuid lõpuni kaevandamata turbatootmisalasid, kust turba mineraliseerumise käigus lendub atmosfääri olulises koguses süsihappegaasi. Kuigi metaani vood sellistelt aladel on üldjuhul madalad, siis lämmastikdioksiidi vood atmosfääri võivad olla märkimisväärsed. Üheks võimalikuks kasvuhoonegaaside vähendamise võimaluseks on selliste alade taastamine ning üheks taastamisviisiks on energiakultuuride nagu päideroog (Phalaris arundinacea) kultiveerimine. BioAtmose projekti raames läbi viidud eksperimendi eesmärk oli uurida päiderooga taimestatud jääkturbaraba väetamise mõju kasvuhoonegaasidele, biomassi produktsioonile ning turba mineraliseerumisele.



Joonis 9. N2O voo mediaanväärtused lepikus ja lageraieala (vuntsid tähistavad miinimum- ja maksimumväärtuseid; Becker et al., 20XX)

Väetamise eksperimenti Lavassaares alustati juuni keskel 2012. aastal. Kokku oli katsealasid kaksteist: 6 taimestatud ja 6 taimestamata endist freesturbalaami. Neist pooltele pandi väetist ja teised jäid kontrollaladeks. Kõikidel aladelt mõõdeti kasvuhoonegaaside (CO2, CH4, N2O) voogusid kogu uurimisperioodi vältel (20122014) suletud staatilise kambri meetodil ligikaudu kahenädalase sammuga (Joonis 10). Hindamaks CO2 sidumist taimedesse (neto primaarproduktsioon - NPP) koguti ka iga aasta nii vegetatsiooni perioodi alguses kui ka lõpus taimestatud proovialadelt maapealne ja maa-alune biomass, mis kuivatati, kaaluti ning tehti keemilised analüüsid.

Eksperimendi tulemused (20122014), mis arvestavad nii taime maapealsete kui ka maa-aluste osade süsihappegaasi (CO2) sidumist ning ökosüsteemi hingamist näitavad, et olenevalt klimaatiliste tingimuste varieerumisest võib päideroo kasvatamine jääkturbasoodes olla kõrge süsiniku neeldumise potentsiaaliga. Potentsiaalselt kõrgele maapealse biomassi produktsioonile on päideroo kasvatamise juures lisaks märkimisväärne ka maa-aluse biomassi produktsioon, mis võib moodustada kuni 50% aastasest bioproduktsioonist. Võttes täiendavalt arvesse ka metaani ja dilämmastikoksiidi emissioone võib öelda, et nende alade KHG bilanss on mahajäetud turbakaevandusaladega võrreldes kordi madalam.

Seega võib kokkuvõtvalt järeldada, et päideroo kultiveerimist võib pidada üheks alternatiivseks jääkturbasoode kasutusvõimaluseks, mis võib leevendada ühelt poolt neilt aladelt lähtuvat KHG emissiooni ning samas suurendada ka orgaanilise süsiniku varu mullas (Järveoja et al, 2015).

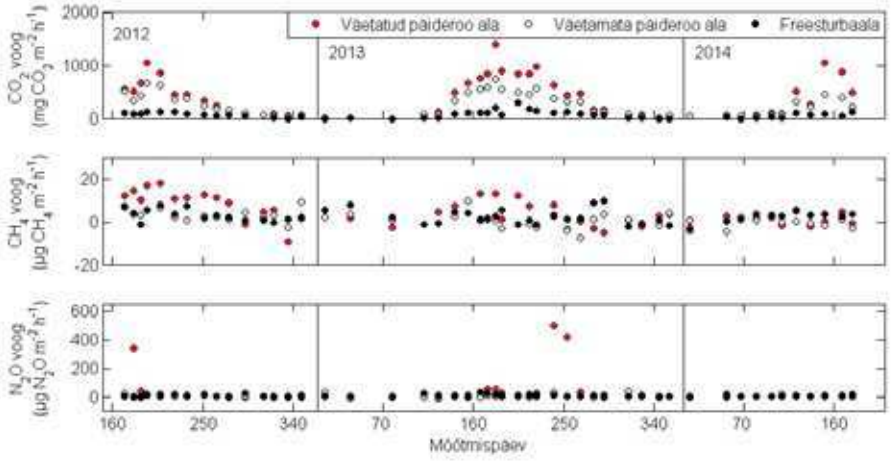
Kokkuvõtvalt

Märkimist väärib SMEAR jaamade võrgustiku (http://www.atm.helsinki.fi/SMEAR/) laienemine Eesti SMEAR jaama lisandumisega. SMEAR jaamad, mis moodustavad geograafiliselt selge põhja-lõunasuunalise paiknevusega võrgustiku, võimaldavad jälgida metsaökosüsteemides ja atmosfääris asetleidvaid protsesse ja nende eripära, seda just muutuste põhja-lõunasuunalisel gradiendil. Eesti SMEAR jaam mitte ainult ei sobitu olemasolevate jaamade võrku, vaid võimaldab ka uurida hemiboreaalset metsaökosüsteemi, mis erineb seniste Soome SMEAR jaamade puhul uuritud boreaalsetest metsadest. Seniste uuringute alusel on suurimaid muutusi kliimategurite mõjul oodata ökosüsteemide üleminekualadel, mistõttu loodav infrastruktuur ja Soome-Eesti koostöö võimaldavad kiiremini rakendada leitud seaduspärasusi metsade keskkonnasäästlikumal majandamisel.

Esmakordselt Eestis mõõdeti eddy covariance meetodil kasvuhoonegaaside voogusid, mis võimaldas verifitseerida hemiboreaalsete metsaökosüsteemide süsinikubilansse — süsinikuvahetust atmosfääriga. Pidevad ja ööpäevaringsed mõõtmised nii SMEAR, Liispõllu kui ka Soontaga jaamades on Eestis esmakordsed ning kõrgetasemelise teadus edasi viimiseks üliolulised. Kõik süsteemid on jaamades ehitatud automaatseteks: kaugjälgimise ning –juhtimisega ning annavad hea baasi viia läbi mõõtmisi pikemas ajaperspektiivis. Selline andmete pidev ajaline kaetus sõltumata aastaajast ja ilmastikust on võtmetähtsusega atmosfääri ja atmosfääri ning ökosüsteemi vahel toimuvate ülekandeprotsesside mõistmisel.

Biokeemiliste aine- ja energiavoogude mõõtmised võimaldavad Eestil osaleda Euroopa ja ülemaailmsetes uurimisvõrgustikes (ICOS, Actris) ning annavad sisendandmeid otsustajatele ja lõppkasutajatele Euroopa ja maailma tasemel.

Saadud tulemusi on tutvustatud juba mitmetel teaduskonverentsidel nii Eestis kui ka mujal, tulemuste põhjal on kirjutatud mitmeid magistri ja doktoritöid ning tulemusi on avaldatud mitmetes eelretsenseeritavates teadusajakirjades.



Joonis 10. Kasvuhoonegaasivoogude (CO2, CH4 ja N2O) ajaline varieeruvus Lavassaare turbatootmisalal. CO2 voog tähistab ökosüsteemi hingamist (Järveoja et al., 2014).

EESTI KLIIMA JA KESKKONNASEISUNDI VÕIMALIKE MUUTUSTE HINDAMINE ATMOSFÄÄRI-, MERE- JA JÕGEDE ÄRAVOOLU

EESTI KLIIMA JA KESKKONNASEISUNDI VÕIMALIKE MUUTUSTE HINDAMINE ATMOSFÄÄRI-, MERE- JA JÕGEDE ÄRAVOOLU DÜNAMILISTE MUDELITE TULEMUSTE PÕHJAL (EstKliima)

Urmas Raudsepp[a], Jaak Jaagus[b], Victor Alari[a], Timo Arula[d], Arvo Järvet[b], Are Kont[c], Jonne Kotta[d], Ain Kull[b], Jaan Laanemets[a], Ilja Maljutenko[a], Aarne Männik[e], Alvina Reihan[f], Rein Rõõm[e], Mait Sepp[a], Ülo Suursaar[d], Ottar Tamm[g], Toomas Tamm[g], Hannes Tõnisson[c]

[a] *Meresüsteemide Instituut, Tallinna Tehnikaülikool*
[b] *Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Tartu Ülikool*
[c] *Ökoloogia Instituut, Tallinna Ülikool*
[d] *Eesti Mereinstituut, Tartu Ülikool*
[e] *Füüsika Instituut, Tartu Ülikool*
[f] *Keskkonnatehnika Instituut, Tallinna Tehnikaülikool*
[g] *Metsandus- ja maaehitusinstituut, Eesti Maaülikool*

LÜHIKOKKUVÕTE

EstKliima raames uuriti kliimamuutuste mõju keskkonna parameetritele minevikus ja võimalikku reaktsiooni kliimamuutustele tulevikus vastavalt mõõdukale emissiooni stsenaariumile RCP4.5. Mineviku vaatlusandmete analüüs näitas positiivset režiiminihet talvises läänevoolus peale 1988. a. Lokaalses mastaabis täheldati samal ajal režiimini- keid õhutemperatuuris, jõgede vooluhulkades, veetasemetes, lainekõrguses ja ranniku- protsesside kiirenemist. Tulevikuprojektsioonid näitasid õhu ja merevee temperatuuri tõusu ja Läänemere jääkatte vähenemist sajandi lõpuks. Olulisi muutusi atmosfääri tsirkulatsioonis, lainekõrguses, mere stratifikatsioonis ja veetasemes tulevikuprojekt- sioon ei näidanud. Soome lahes suureneb pinnakihti kevadisest õitsengust jääva fosfori hulk ja sinivetikate suvise õitsengu biomass.

Märksõnad: kliimamuutus, tulevikuprojektsioon, keskkond, režiiminihe, trend

SISSEJUHATUS

Läänemere piirkond asub parasvöötme suurematel laiuskraadidel mereliselt mandrilisele kliimale üleminekualal. Siin domineerivad Põhja-Atlandilt merelised ja Euraasia mandril kujunenud kontinentaalsed õhumassid, millele lisanduvad arktilise ja troopilise õhumassi sissetungid [1]. See põhjustab kliimatingimuste suurt ajalis-ruumilist muutlikkust, millega võivad kaasneda režiiminihked – järsud üleminekud ühest kvaasi-statsionaarsest olekust teise. Läänemere piirkonnas toimus režiiminihe, mille tagajärjel hakkasid pehmed talved domineerima peale 1988 a. [2]. Mere ökosüsteemis täheldati samaaegset režiiminihet: fütoplanktoni biomass kasvas, füto- ja zooplanktoni kooslustes toimusid muutused ja kasvuperiood pikenes [3], [4].

Režiiminihked leiti talvistes Eesti ja Soome lahe kliima parameetrites 1980-te lõpus: keskmises tsonaalses õhuvoolus, õhutemperatuuris ja sademetes [5]. Positiivne režiimi nihe toimus ka talvises idasuunalises tuulepinges, millega kaasnes Soome lahe estuaarse tsirkulatsiooni ümberpöördumiste sageduse kasv [6].

Erinevate emissioonistsenaariumitega globaalsete tsirkulatsioonimudelite tulemuste võrdlus vaatlustega näitas, et Eesti jaoks kõige sobivamad projektsioonid annavad 21. sajandi lõpuks õhutemperatuuri tõusuks 3–4 oC ja sademete suurenemiseks 10–20% [7].

Tsirkulatsioonimudelite simulatsioonid erinevate emissiooni stsenaariumitega näitasid, et 21. sajandi lõpuks Lääne mere veetemperatuur ja jõgede vooluhulk suurenevad, soolsus väheneb [8]. Tuuleväljas ja stratifikatsioonis on muutused väikesed. Kliima muutused võivad siiski oluliselt mõjutada Läänemere biogeokeemilisi protsesse.

Kliimamuutuste mõju hinnang mere ökosüsteemidele näitas, et kliimamuutused toovad kaasa suuri muutusi mere elustikus [9]. Sama uuring näitas ka suurt määramatust, mis oli tingitud analüüsi sisendiks kasutatud mudelandmete ebarahuldavast kvaliteedist

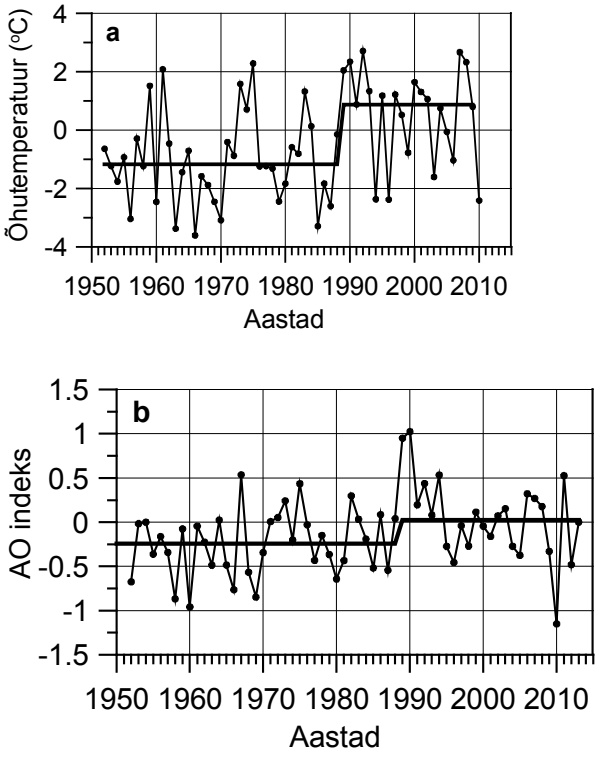
Projekti EstKliima eesmärgiks oli uurida kliimamuutuste mõju Eesti rannikumerele, rannikule ja jõgedele minevikus ja võimalikku reaktsiooni kliimamuutustele tulevikus. Mõõtmisandmete ja mudelarvutuste tulemuste komplekse analüüsi põhjal uuriti kliima- muutuste mõju minevikus. Kliimamuutuste mõju hindamiseks tulevikus kasutati uue põlvkonna stsenaariumi RCP4.5, mis vastab mõõdukale emissiooni kasvule. Hinnati või- malikke muutusi ja trende atmosfääri tsirkulatsioonis, nende muutuste mõju kandumist merevee süsteemidele, jõgede äravoolule ja rannikutel toimuvatele protsessidele kasutades mudelarvutuste projektsioone perioodil 1965–2100.

TULEMUSED

Kliimamuutused lähiminevikus ja nende mõju keskkonnale Eesti regioonis

Lähiminevikus toimunud kliimamuutuste ja nende mõju uurimiseks Eesti regioonis (rannikumeri, hüdroloogia, rannikuprotsessid) analüüsiti mõõtmisandmeid ja ka modelleerimise tulemusi. Arvestades valdkondade aegridade erinevat pikkust, kattis uuritav periood vahemikku 1922–2014. Võimalik režiiminihe määrati Rodionovi testi abil [10].

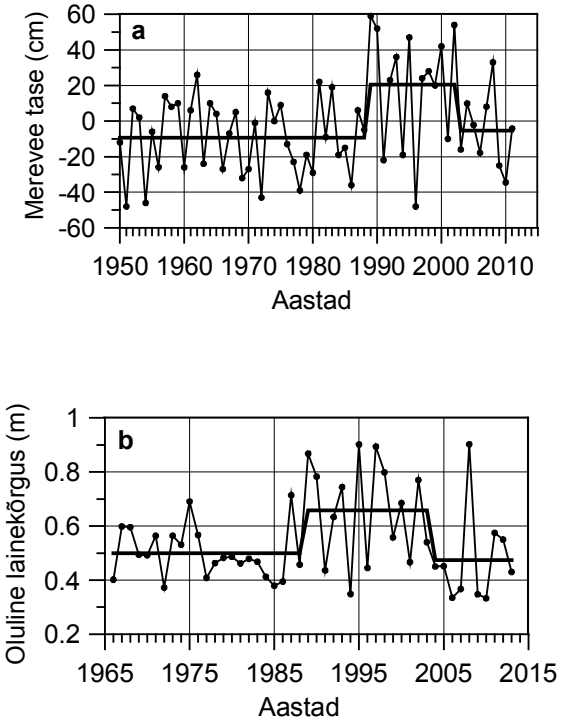
Atmosfäär. Kõikide Eesti ilmajaamade mõõtmisandmed näitavad statistiliselt olulist aasta keskmise õhutemperatuuri tõusu 1,5–2,1 oC võrra perioodil 1950–2013, kusjuures suurem soojenemine oli iseloomulik Ida-Eestile. Soojenemine on toimunud peamiselt kevadel ja suvel, sisemaa jaamades ka jaanuaris. BALTAN65+ järelanalüüsi andmetel oli Eestis tervikuna perioodil 1965–2005 soojenemine 1,2 oC [11]. Külma poolaasta õhutempera- tuuris toimus režiiminihe alates 1988/1989. a. talvest (Joonis 1a). See nihe on seotud režiiminihkega suuremastaabilises atmosfääri tsirkulatsioonis, mida näitab Arktika Ostsillatsiooni (AO) indeks (Joonis 1b). AO indeks väljendab läänevoolu tugevust, mis kannab sooja ja niisket õhku Põhja-Atlandilt itta. BALTAN65+ andmetest avaldus sama režiiminihe Läänemere regioonis troposfääri kõrgemates kihtides: 850 hPa isobaarpinnal temperatuuris ja 500 hPa isobaarpinnal tuule tsonaalses komponendis.



Joonis 1. Türil mõõdetud külma perioodi (november–märts) keskmise maksimumtemperatuuri (a) ja AO indeksi (b) aegread. Jäme joon on perioodi keskmine väärtus vastavalt Rodionovi testile.

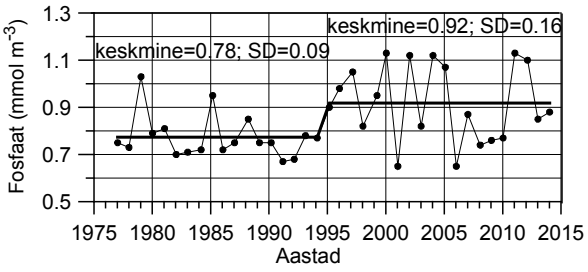
Kuna sademete aegread ei ole homogeensed, on muutusi sademete hulgas raskem hinnata. Saab järeldada mõningast sademete hulga suurenemist talvel ja suvel. Aprillis ja septemb- ris on sademete hulk vähenenud.

Merevee tase ja lainetus. Vastavalt tuulekliima pikaajalistele muutustele Põhja Euroopa kohal [12] näitasid ka Eesti rannikumere kuu keskmiste merevee tasemete aegread mitmeid režiiminihkeid. Kõige selgemad oli positiivsed režiiminihked 1989. a. talve- andmetes, eriti veebruaris (Joonis 2a). Vastavate ridade negatiivsed režiiminihked olid enamasti 2003. a. Poolempiirilise lainemudeli andmed näitasid Eesti rannikumeres olulise lainekõrguse domineerivaks režiiminihkeks 1989. a. nihet, mis avaldus nii jaanuari (tagasinihe 2001. a.) kui ka veebruari (tagasinihe 2004. a.) kuu aegridades (Joonis 2b). Lainemudeli SWAN simulatsiooni tulemused näitasid režiiminihet samal ajal keskmises olulises lainekõrguses Läänemere kirdeosas, ning Liivi ja Soome lahe avaosas. Režiimi- muutused olid positiivsed, st energia juurdevool lainetusse kasvas.



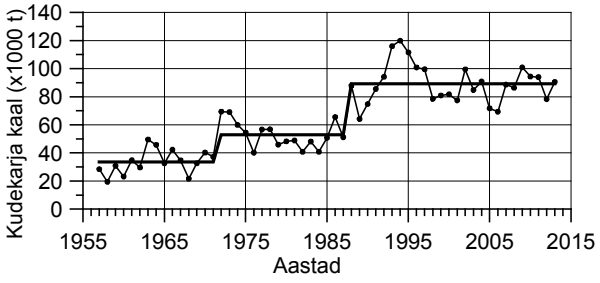
Joonis 2. (a) Veebruari keskmise merevee taseme käik Pärnu vaatlusjaama andmetel (1950–2011). (b) Keskmise olulise lainekõrguse käik (1966–2013) Harilaiu poolsaare juures Saaremaa läänerannikul. Jäme joon on perioodi keskmine väärtus vastavalt Rodionovi testile.

Estuaarse tsirkulatsiooni ümberpöördumised Soome lahes. Talvise suuremastaabilise atmosfääri tsirkulatsiooni režiiminihkega peale 1988. a. kaasnes positiivne režiiminihe lokaalses tuuleväljas Soome lahel. Suurenesid nii idasuunaline keskmine kumulatiivne tuulepinge (2.8 korda) kui ka selle muutlikkus. Tuulerežiimi muutusega kaasnesid lahe estuaarse tsirkulatsiooni ümberpöördumiste sageduse kasv. Talviste estuaarse tsirkulat- siooni ümberpöördumistega kaasneb veesamba läbisegunemine, mis parandab mere süva- kihtide hapnikutingimusi [13] ja transpordib toitaineid mere ülakihti. Jooniselt 3 on näha talvise fosfaatide kontsentratsiooni ja eriti standard hälbe suurenemine peale 1995. a. Ajaline nihe on tingitud heade hapnikutingimustega seotud fosfaatide sisalduse vähene- misega Soome lahe süvakihis stagnatsiooni perioodil 1977–1993 [14].



Joonis 3. Soome lahe ülakihi fosfaadi kontsentratsiooni talvine käik seirejaamas LL7 (HELCOM) perioodil 1977–2014. Jäme joon on perioodi keskmine väärtus vas- tavalt Rodionovi testile. Joonisel on ka fosfaatide perioodi keskmine väärtus ja standard hälve (SD).

Merebioloogia. Suurel osal uuritud merebioloogilistest ajaseeriatest (80%) avaldus selge režiiminihe. Režiiminihkeid ei esinenud vaid põhjaeluviisiliste selgrootute ajaseeriates. Režiiminihete esinemine ja tugevus varieerus oluliselt erinevate organismirühmade vahel ja ka organismirühmade sees. Sõltuvalt liigist oli uuritud perioodil näha kas üks või mitu režiiminihet. Selline tulemus viitab selgelt asjaolule, et elustiku reaktsioon kliima- muutustele on sisuliselt liigispetsiifiline ning ühe liigi kohta saadud tulemusi pole võimalik interpoleerida teistele organismidele. Uuringud tõestasid veenvalt, et elustiku reaktsioon kliimamuutustele on tihti viibega, so. muutused eluta keskkonnas võivad avalduda elustikus alles aastaid peale häiringu ilmnemist. Suurem osa bioloogilistest nihetest toimusid 1970-tel ja 2000-tel, aga mitte 1990-tel. 1990-te eluta keskkonna režiiminihkega kaasnesid vaid räime kudekarja muutused (Joonis 4).



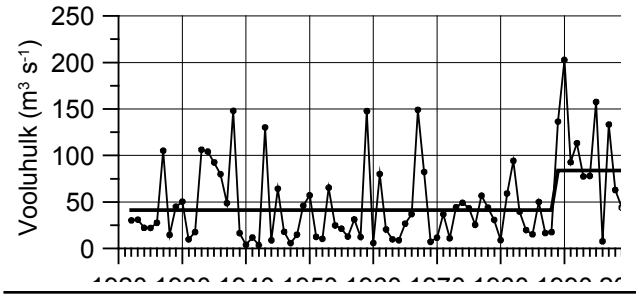
Joonis 4. Liivi lahe räime kudekarja aastatevaheline dünaamika. Jäme joon on perioodi keskmine väärtus vastavalt Rodionovi testile.

Jõgede vooluhulgad ja toitainete koormused. Positiivne režiiminihe jõgede kuu kesk- mistes vooluhulkades toimus märtsis 1989. a. kõigis 20-s uuritud jões, sõltumata valgla suurusest, valgla territoriaalsest paiknemisest Eestis, valgla maakasutusest, mullastikust ja geomorfoloogilistest parameetritest (Joonis 5). Positiivne režiiminihe jõgede kuu keskmistes vooluhulkades toimus pooltel jõgedel ka veebruaris ja negatiivne režiiminihe aprillis kolmandikul uuritud jõgedest. Positiivne režiiminihe veebruaris ja märtsis ning negatiivne režiiminihe aprillis on seletatav kevadise suurvee nihkumisega varasemale perioodile seoses õhutemperatuuri tõusuga. Režiiminihe 1989. a. märtsis on küll kõige tugevama signaaliga, aga juba ka 1988. a. jaanuaris oli positiivne nihe olemas üle pooltel jõgedel. Sesoone analüüs, mis põhineb talviste, kevadiste, suviste ja sügiseste keskmiste vooluhulkade analüüsil tõi välja, et positiivne nihe toimus talveperioodil ja umbes võrdselt nii 1988. kui ka 1989. a. Teistel perioodidel nihkeid ei esinenud.

Aastased toitainete koormused Eesti jõgedest Soome ja Liivi lahte varieerusid suurtes piirides sõltuvalt jõgede vooluhulgast (Tabel 1). Usaldusväärseid trende ei olnud.

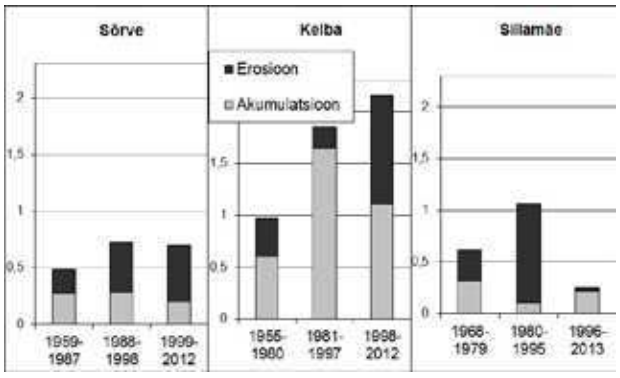
Piirkond	ÜldN (t/a)	NO3 (t/a)	PO4 (t/a)
Soome laht (max/min)	18213/5950	11437/3260	298/146
Liivi laht (max/min)	17944/6542	12433/3960	187/41

Tabel 1. Üld lämmastiku (üldN), üld fosfori (üldP), nitraadi (NO3) ja fosfaadi (PO4) koormused Soome ja Liivi lahte aastatel 1992–2010.



Joonis 5. Pärnu jõe (andmed Ore mõõtmisjaamast) mätsi kuu keskmiste vooluhulkade ajaline käik perioodil 1922–2011. Jäme joon on perioodi keskmise vooluhulga väärtus vastavalt Rodionovi testile.

Rannikuprotsessid. Rannikuprotsesside intensiivsuse muutus 10 uuringuala andmetel on Eesti lääne- ja põhjarannikul käitunud erinevalt. Suurem erosiooni, sette transpordi ja akumulatsiooni kiirus läänerannikul on heas kooskõlas suurema tugevate tormisündmuste arvu ja karmima lainekliimaga selles piirkonnas. Kõige suuremad muutused rannikutel toimusid 1980-te keskpaigast 1990-te keskpaigani kui peaaegu kõigil uurimisaladel toimus oluline rannaprotsesside kiirenemine (Joonis 6), olles mõnel pool 4 korda kiirem kui varasematel kümnenditel. Suure osa muutustest hõlmas erosioonialade laienemine ja selle arvelt ka kuhjealade kiirem juurdekasv. Leiti, et eriti tugevad tormisündmused põhjustavad umbes 90% kõikidest pikaajalistest rannamuutustest. Märgatav erosiooni ja ranniku muutuste vähenemine toimus põhjasuunas avatud uuringualadel peale 1990-te keskpaika. Lääne-Eestis ja läände eksponeeritud uuringualadel on olukord erinev, ranni- kuprotsessid on viimasel kümnendil mitmel pool veelgi kiirenenud ja rannad pole looduslikku tasakaalu saavutanud [15]. Ranniku maakattemustri peamised arengusuunad viimasel 60. aastal on olnud järgmised: rohumaad muutuvad põõsastikeks või roostikeks, puisniidud ning endised põllud põõsastikeks ja metsaks, endised talud suvilaiks. Puhkemajanduslikult väärtuslikumaid liivarandu ähvardab ülekoormus. Tallinna vahetus ümbruses on maastikumustrit enim muutnud valglinnastumine.

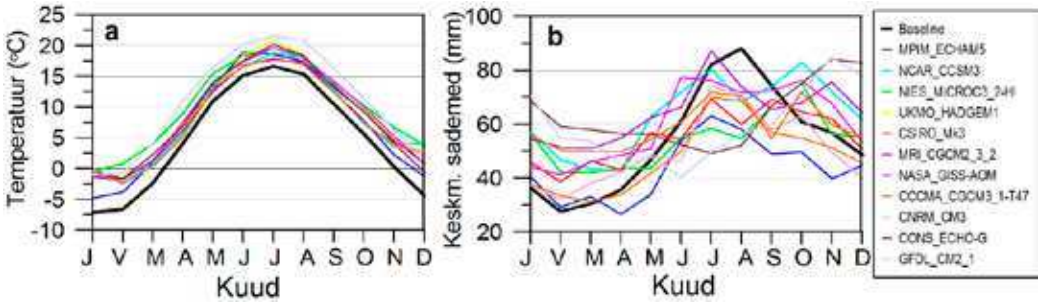


Joonis 6. Rannajoone keskmised muutused all perioodidel 3-l uuringualal mis iseloomustavad Eesti erinevaid piirkondi (Sõrve-edel, Kelba-lääs, Sillamäe-kirde). Must värv näitab akumulatsiooni ja hall värv erosiooni osa kogu muutus- test.
Keskmine rannajoone muutus on väljendatud meetrites jooksva rannajoone meetri kohta.

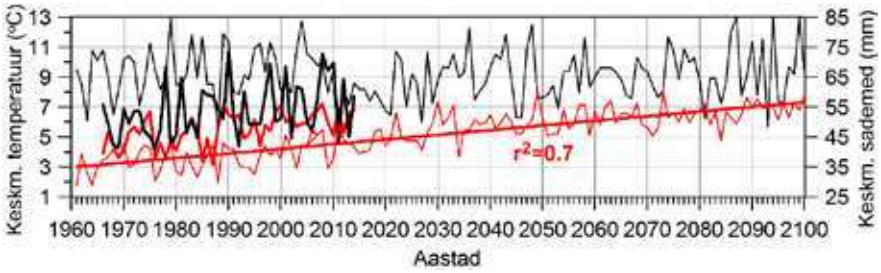
Kliimatingimuste tuleviku projektsioon ja selle mõju keskkonnale Eesti regioonis

Milliseks muutuvad Läänemere piirkonna kliimatingimused eelolevatel aastakümnetel on keskseks uurimisküsimuseks, kuna see mõjutab paljusid valdkondi. Erinevate kliima- stsenaariumite võrdluse tulemusel vaatlusandmetega valiti EstKliima raames kliima- muutuste mõju hindamiseks uue põlvkonna stsenaarium RCP4.5, mis vastab emissiooni mõõdukale kasvule. Mudelarvutused teostati atmosfääri mudeliga RCA4, koostöötavate füüsika mudeliga GETM ja ökoloogia mudeliga ERGOM, lainetuse mudeliga SWAN, hüdroloogia mudeliga SWAT ja BRT baasil töötavate bioloogia mudelitega.

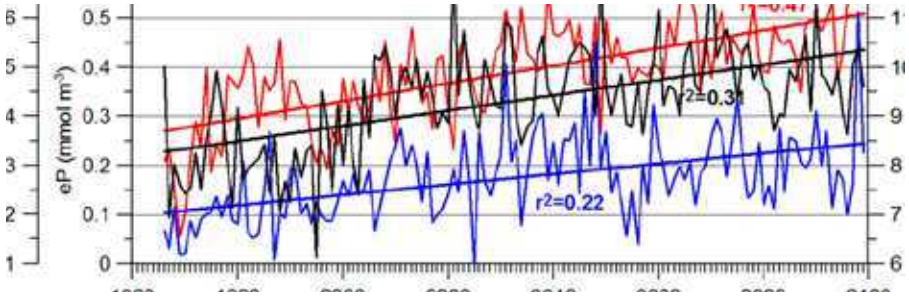
Atmosfäär. Hinnati võimalikke kliimamuutusi, mis võiksid sajandi lõpuks (2070–2099) leida aset Eesti alal (57–60° N, 20–30° E). Kasutati kolme SRES emissiooni stsenaariumit (A1B, A2, B1) ja kokku 22-e kliimamudeli tulemusi, mis koostati IPCC 4 aru- andeks. Võrreldi mudelarvutusi baasperioodil (1961–1990) vaatlusandmetega Lääne-Eesti ja Ida-Eesti jaoks ning valiti välja sobivaimad mudelid tuleviku kliimatingimuste projektsiooniks. 12 mudeli keskmine õhutemperatuuri tõus sajandi lõpuks oli Lääne-Eestis A1B stsenaariumi korral 3.8, A2 puhul 4.3 ja B1 korral 2.6 oC. Ida-Eestis olid vastavad muutused 5% suuremad. Mudelarvutused näitasid suuremat soojenemist talvel ja väiksemat suvel (Joonis 7a). Aastase sademete hulga suurenemist erinevate emissiooni stsenaariumite korral eeldati vastavalt 18.6, 20.3 ja 13.8 %. Talviseid sademeid hinnati suuremana tegelikest ja suviseid sademeid väiksemana (Joonis 7b). Atmosfääri mudeliga RCA4 mõõduka stsenaariumi RCP4.5 peenskaleeritud projektsioon näitas Eesti terri- tooriumil keskmise õhutemperatuuri kasvu sajandi lõpuks ligikaudu 4 oC, kusjuures alates sajandi keskpaigast õhutemperatuuri



Joonis 7. Mõõdetud kuu keskmised õhutemperatuurid Lääne-Eestis (a) ja sademed Ida-Eestis (b) perioodil 1961–1990 (jäme must joon) ning erinevate kliimamudelite abil leitud keskmised väärtused perioodiks 2070–2099 (värvilised jooned).



Joonis 8. Atmosfääri mudeliga RCA4 peenskaleeritud Eesti aasta keskmise 2 m õhutempe- ratuuri (punane joon) ja sademete hulga (must joon) muutumine perioodil 1961–2100. Jämedad jooned näitavad vastavalt Tõravere meteojaamas mõõdetud õhutemperatuuri ja sademete muutusi perioodil 1966–2014. Õhutemperatuuri trendi määramiskoefitsient r2 = 0.7.



Joonis 9. Kliimastsenaariumile RCP4.5 vastavad muutused ja trendid pinnakihi aasta keskmises temperatuuris (punane joon), kevadisest õitsengust ülejääva fosfaadi (eP) kontsentratsioonis (must joon; eP=DIP–DIN/16; DIN ja DIP on vastavalt vees lahustunud anorgaaniline lämmastik ja fosfor) ja Chl (sinivetikate) kontsentratsioonis (sinine joon) Soome lahe seirejaamas LL7. Jämedad jooned vastavad lineaarsele trendile, r2 on määramiskoefitsient.

Joonis 10. Kaardiportaal, mis seob mere füüsikalised ja bioloogilised protsessid ning ennustab rannikumere veekogumite kvaliteeti muutuva kliima tingimustes. Lisaks hindab mudel meres lahustunud toitesoolade (eutrofeerumise) suurenemisest ja vähenemisest tingitud mõjusid tänapäeva ja tuleviku kliima tingimustes. Kaardiportaali aadress: http://www.sea.ee/estkliima/Map/EstkliimaMap.

tõus aeglustub (Joonis 8). Sademete hulgad on suure varieeruvusega, aga olulist kasvu- või kahanemistrendi ei ilmne.

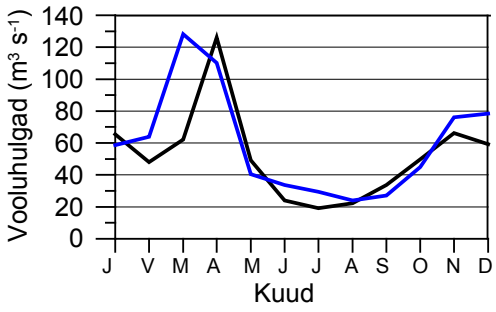
Lainetus ja merevee tase. Lainetuse ja merevee taseme tuleviku projektsioonid usaldus- väärseid trende ei näidanud, siiski võib Pärnus maksimaalne merevee tase mitmel aastal saavutada praktiliselt kriitilise väärtuse 160 cm.

Mere füüsika ja ökoloogia mudelite simulatsioonid. Kliimastsenaariumiga RCP4.5 teos- tatud tuleviku projektsioon näitas, et suuremastaabilises tsirkulatsioonis ja stratifikatsioonis 21. sajandi jooksul Läänemere kirdeosas olulisi muutusi ei toimu. Keskmine vee- temperatuur tõuseb Eesti rannikumeres nii põhjakihis kui ka pinnakihis, viimases on tõus 2.5 oC sajandi lõpuks (Joonis 9). Läänemere aasta maksimaalne jääkatte ulatus väheneb ligikaudu 3 korda. Eesti rannikumeres võib sajandi lõpus jääkate tekkida madalamates piirkondades (Väinameri, Liivi ja Soome laht). Sajandi lõpuks suureneb Soome lahe talviste estuaarse tsirkulatsiooni ümberpöördumiste sagedus ja sellega kaasnev stratifi- katsiooni kadu (veesamba läbisegunemine), mis parandab süvakihi hapniku tingimusi ja suurendab toitainete transporti ülakihti. Mere pinnakihi talvises toitainete sisalduses usaldusväärseid trende ei olnud, positiivne trend oli kevadisest õitsengust ülakihti jäävas fosfori kontsentratsioonis. See, koos pinnakihi temperatuuri tõusuga soodustab suviste sinivetikate õitsengute suurenemiseks. Mere ülakihi kogu biomassis usaldusväärset trendi ei olnud. Soojal aastaajal toimuvate apvellingute intensiivsus Eesti rannikumeres väheneb ja Soome rannikumeres suureneb.

Mere füüsikaliste ja bioloogiliste protsesside vahelistele seostele tuginev mudel näitab, et üldjuhul kliimamuutused rannikumere veekogude seisundit suures plaanis ei mõjuta. Küll muutuvad kliimaprotsesside tagajärjel veekogumite tundlikkus mere eutrofeerumisele. Kui tänapäevastes tingimustes põhjustavad suurenenud toitesoolade sisaldused vee- kogumi seisundi languse kesise kvaliteediklassini, siis tulevikus on oodata samaväärse koguse toitesoolade lisandumisel veekogumite seisundi palju suuremat halvenemist. Isegi 50% toitesoolade sisalduse vähendamine ei too kaasa rannikumere hea keskkonna- seisundi saavutamist (Joonis 10).

Rannikuprotsessid. Kliimaprognoosil põhinevad tulevikuprojektsioonid näitasid, et rannaprotsesside kiiruses ega rannikumaastike muutustes ei ole ette näha olulisi muutusi. Tormiperioodid esinevad ka tulevikus intensiivsemate ja vähem intensiivsemate tsüklitena ja märkimisväärne kasvu või kahanemise trend puudub.

Jõgede vooluhulgad. Emissiooni stsenaariumile RCP4.5 vastav projektsioon näitas jõgede aasta keskmise vooluhulga suurenemist 14% perioodil 2070–2100 võrreldes perioodi 1971–2000 mõõtmistega. Kevadise suurvee tipu jaoks on oluline märtsikuu õhutemperatuuri muutus. Märtsikuu keskmise õhutemperatuuri tõus vastavalt RCP4.5 stsenaariumile nihutab jõgede kevadise suurvee tipu kuu aega varasemaks ja vähendab aprilli kuu vooluhulka (Joonis 11). Kuna toitainete koormus on nõrgas positiivses korrelatsioonis jõgede vooluhulgaga, siis sama maakasutuse ja tehnoloogia korral võib prognoosida suuremat toitainete väljakannet valglatest Eesti rannikumerre.



Joonis 11. Pärnu jõe kuu keskmised voolu- hulgad perioodi 1971–2000 mõõtmisandmetel (must joon) ja emissiooni stsenaariumile RCP4.5 vastava projektsiooni alusel perioodil 2070–2100 (sinine joon).

KOKKUVÕTE

Kliimamuutused lähiminevikus ja nende mõju keskkonna parameetritele.

1. Eesti meteojaamade andmed näitasid aasta keskmise õhutemperatuuri tõusu 1.5–2.1 oC võrra perioodil 1950–2013. Sademete hulgas täheldati mõningast suurenemist talvel ja suvel. Aprillis ja septembris on sademete hulk mõnevõrra vähenenud.

2. Külma poolaasta õhutemperatuuris toimus positiivne režiiminihe alates talvest 1988/1989, mis oli seotud läänevoolu tugevnemisega.

3. Positiivne režiiminihe läänevoolus 1988/1989 kajastus režiiminihkena ka merevee tasemetes, lainetuses ja Soome lahe estuaarse tsirkulatsiooni ümberpöördumiste sageduses. Positiivne režiiminihe jõgede vooluhulkades samal ajal on seletatav kevadise suur- vee nihkumisega varasemale perioodile. Aastased toitainete koormused Eesti jõgedest Soome ja Liivi lahte varieerusid suurtes piirides. Usaldusväärseid trende ei olnud.

4. Kõige suuremad muutused rannikutel toimusid 1980-te keskpaigast 1990-te kesk- paigani, kui peaaegu kõigil uurimisaladel toimus oluline rannaprotsesside kiirenemine, olles mõnel pool 4 korda kiirem kui eelmistel kümnenditel.

Tuleviku projektsioonid.

Kliimastsenaariumile RCP4.5 vastavad tuleviku projektsioonid näitasid keskkonda iseloomustavate parameetrite erinevaid reaktsioone kliimamuutustele 21. sajandi lõpuks.

1. Aasta keskmine õhu ja mere pinnakihi temperatuur tõusevad vastavalt 4 ja 2.5o C, Läänemere jääkatte ulatus väheneb 3 korda, Eesti rannikumeres võib jääkate tekkida Väinameres, Liivi ja Soome lahe madalatel rannikualadel. Hapnikutingimused süva- kihtides halvenevad.

2. Läänemere kirdeosa tsirkulatsioonis, veesamba stratifikatsioonis, lainetuses ja vee- tasemetes olulisi muutusi ei toimu. Pärnus võib maksimaalne veetase mitmel aastal saavutada kriitilise väärtuse 160 cm.

3. Soome lahes suureneb kevadisest õitsengust ülejääva fosfori hulk, mis koos tempera- tuuri tõusuga soodustab suviste sinivetikaõitsengute biomassi suurenemist.

4. Kuna tormiperioodid esinevad ka tulevikus intensiivsemate ja vähem intensiivsemate tsüklitena, siis rannikuprotsessides kiiruses olulisi muutusi ei ole oodata.

5. Jõgede aastane vooluhulk suureneb sajandi lõpuks 14%, kevadise suurvee tipp nihkub aprilli kuusse, toitainete koormus Eesti rannikumerre võib suureneda kui säilib sama maakasutus ja tehnoloogia.

6. Eesti rannikumere jaoks loodi integreeritud mudelid, mis kirjeldavad füüsikaliste ja bioloogiliste näitajate levikumustreid ruumis/ajas ja koostati võtmeliikide levikukaardid tänapäevaste ning tuleviku keskkonnatingimuste kohta.

7. Samuti loodi Eesti rannikumere jaoks kaardiportaal, mis seob mere füüsikalised ja bioloogilised protsessid ning võimaldab ennustada rannikumere veekogumite kvaliteeti muutuva kliima ja mere eutrofeerumise tingimustes.

KASUTATUD KIRJANDUS

[1] Rutgersson, A., Jaagus, J., Schenk, F., Stendel, M. Observed changes and variability of atmospheric parameters in the Baltic Sea region during the last 200 years (Review). Climate Research, vol. 61, pp 177–190, 2014.

[2] Hagen, E., Feistel, R. Climatic turning points and regime shifts in the Baltic Sea region: the Baltic winter index (WIBIX) 1659–2002. Boreal Environment Research, vol. 10, pp 211–224, 2005.

[3] Möllmann, C., Diekmann, R., Müller-Karulis, B., Kornilovs, G., Plikshs, M., Axe, P. Reorganization of a large marine ecosystem due to atmospheric and anthropogenic pressure: a discontinuous regime shift in the Central Baltic Sea. Global Change Biology, vol. 15, pp 1377–1393, 2009.

[4] Dippner, J. W., Möller, C., Hänninen, J. Regime shifts in North Sea and Baltic Sea: A comparison. Journal of Marine Systems, vol. 105–108, pp 115–122, 2012.

[5] Keevallik, S., Soomere, T. Regime shifts in the surface-level average air flow over the Gulf of Finland during 1981–2010. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, vol. 63, pp 428–437, 2014.

[6] Elken, J., Raudsepp, U., Laanemets, J., Passenko, J., Maljutenko, I., Pärn, O., Keevallik, S. Increased frequency of wintertime stratification collapse events in the Gulf of Finland since the 1990s. Journal of Marine Systems, vol. 129, pp 47–55, 2014.

[7] Jaagus, J., Mändla, K. Climate change scenarios for Estonia based on climate models from the IPCC Fourth Assessment Report. Estonian Journal of Earth Sciences, vol. 63, pp 166–180, 2014.

[8] Meier H. E. M., R. Hordoir, H. C. Andersson, C. Dieterich, K. Eilola, B. G. Gustafsson A. Höglund, S. Schimanke. Modeling the combined impact of changing climate and changing nutrient loads on the Baltic Sea environment in an ensemble of transient simulations for 1961–2099, Climate Dynamics,

vol. 39, pp 2421–2441, DOI 10.1007/s00382-012-1339-7, 2012.

[9] Kotta, J., Aps, R., Orav-Kotta, H. Bayesian inference for predicting ecological water quality under different climate change scenarios. Management of Natural Resources, Sustainable Development and Hazards II, WIT Transaction on Ecology and the Environment, WIT Press, Southampton, Boston, vol. 127, pp 173–184, 2009.

[10] Rodionov, S. N. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. Geophysical Research Letters, vol. 31, L09204, doi: 10.1029/2004GL019448, 2004.

[11] Männik, A., M. Zirk, R. Room and A. Luhamaa. Climate parameters of Estonia and the Baltic Sea region derived from the high-resolution reanalysis database BaltAn65+. Theoretical and Applied Climatology, 2015 (in press).

[12] Suursaar, Ü., Jaagus, J., Tõnisson, H. How to quantify long-term changes in coastal coastal sea storminess? Estuarine Coastal and Shelf Science (in press), doi: 10.1016/j.ecss.2014.08.001, 2015.

[13] Liblik T., J. Laanemets, U. Raudsepp, J. Elken and I. Suhhova. Estuarine circulation reversals and related changes in the winter near-bottom oxygen conditions in the Gulf of Finland. Ocean Science, vol. 9, pp 917–930, DOI: 10.5194/os-9-917-2013, 2013.

[14] HELCOM, 1996. Third periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1989-1993. Balt. Sea Environ. Proc. No. 64B.

[15] Orviku, K., Tõnisson, H., Kont, A., Suuroja, S., Anderson, A. Retreat rate of cliffs and scarps with different geological properties in various locations along the Estonian coast. Journal of Coastal Research, vol. SI65, pp 552–557, 2013.