

Esildis professor Tiit Kutseri esitamiseks Eesti Teaduste Akadeemia globaalmuutuste akadeemiku kandidaadiks.

Tiit Kutser on maailma 1% enimsiteeritavate teadlaste hulgas maateaduste valdkonnas ning omab 1% enimsiteeritavate hulka kuuluvaid publikatsioone ka keskkonnateaduste/ökoloogia valdkonnas. Professor Tiit Kutseri teadustöö on seotud globaalmuutuste uurimiseks vajalike kaugseire meetodite väljatöötamisega ning nende meetodite rakendamisega globaalsete muutuste uurimisel.

Umbes 15 aastat tagasi valitses arvamused, et järved, ja siseveed üldisemalt, ei mängi nende väikese pindala tõttu mingit rolli globaalses süsinikuringes. Näiteks IPCC mudelid ignoreerisid siseveekogusid täielikult. 2009 ilmus artikkel [1], mis näitas, tegelikult on järved süsinikuringe ja kliimamuutuste indikaatoriteks ning süsiniku ümbertöötlemise tulipunktideks. See uurimus näitas, et järvede setetesse läheb igal aastal sama palju süsinikku kui jõuab maismaalt ookeanidesse ning et atmosfääri lendub järvedest poolteist korda rohkem süsinikku kui jõuab mandritelt ookeanidesse. Käesoleval ajal on need avastused arvesse võetud ka IPCC mudelites ja raportides.

Tranvik et al. (2009) [1] artikkel tugines statistilisele hinnangule järvede hulga ja suuruse kohta maakeral, mis ei olnud kõige täpsem. Tiit Kutser töötas välja meetodika kõigi üle 50 m läbimõõduga järvede hulga ja suuruse leidmiseks satelliidipiltidelt kogu maailmas. Järvede globaalne kaardistamine ning nende statistiline analüüs osutus arvutuslikult väga mahukaks. Töö õnnestus lõpuni viia peale järeldoktori palkamist ja superarvuti kasutuselevõttu [2]. Tiit Kutseri poolt töötati välja meetodika vees lahustunud süsiniku (DOC) hulga hindamiseks järvedes [3] ning koos tema õpilastega demonstreeriti, et globaalseks järvede DOC hindamiseks saab kasutada ka maismaa seireks ehitatud satelliiti Sentinel-2 [4]. See oli üldse esimene demonstratsioon maailmas, et Sentinel-2 on kasutatav veekogude kaugseires. Kuna spetsiaalselt sise- ja rannikuvete seireks vajalike satelliitide kasutuselevõtt ei ole lähikümnendil veel plaanis, siis on Sentinel-2 kasutusvõimaluste demonstreerimisel väga suur tähtsus veekogude kaugseires, sest näitab, et globaalse süsinikuringe ning veekeskkonna seisundi muutustega seotud uuringuid saab ka praegu teostada.

Globaalsete muutuste jälgimiseks on vaja piisavalt pikki andmeridu. Satelliitkaugseire vallas on ainuke kliimaatilisel pikk (üle 40 aasta) andmerida NASA Landsat satelliitide poolt kogutu. Tiit Kutser näitas [5], et Landsat seeria satelliitide arhiiv on kasutatav DOC muutuste jälgimiseks suures hulgas maailma järvedes välja arvatud väga pruunid järved ja väga selged järved, millede jaoks varasemate (enne Landsat-8) satelliitide tundlikus ei ole piisav.

DOC ja selle värvust omav fraktsioon CDOM on kriitilise tähtsusega globaalses süsinikuringes. Näiteks DOC hulk ookeanides on poolteist korda suurem kui süsiniku hulk kõigis maismaa organismides kokku. Samas oletatakse, et merede ja järvede rannavööndis töödeldaks 90-99% maismaalt tulevast süsinikust ning ookeanidesse jõuab vaid 1-10% (kõige vähemaktiivsem osa). Seega on äärmiselt oluline uurida mis toimub süsinikuga ookeanide ja järvede (mille rannajoon on neli korda pikem kui ookeanidel) rannikuvööndis. Selle temaatikaga tegeleb Tiit Kutser praegu projektides b ja c (vt. nimekiri esildise lõpus). CDOM hulga suurenemist nimetatakse veekogude pruunistumiseks. Pruunistumine kiirendab veekogude pinnakihi soojenemist, muudab veemasside kihistumist, vähendab veekogude primaarproduksiooni ning võib äärmisel juhul viia klassikalise toiduahela asendumise mikroobse linguga. Senini on peetud pruunistumist eelkõige metsavööndis ja väiksemates järvedes toimuvaks protsessiks. Tiit Kutseri vastvalminud uurimus (esitatakse lähinädalatel Scientific Reports mageveekogude ökoloogia erinumbrisse) näitab, et ajavahemikul 1997-2023 on pruunistumine toimunud ka maailma suurimates järvedes.

Paljude teadlaste poolt on välja pakutud hüpotees, et soojenev kliima peaks suurendama ka fütoplanktoni vohamist (õitsenguid) järvedes. Tiit Kutseri osalusel analüüsiti kaugseire

andmeid kõigi üle ühe ruutkilomeetri suuruste järvede kohta maailmas aastatel 1982-2018 [6]. Tulemused näitavad, et õitsengute hulk ja sagedus on suurenenud kahes kolmandikus maailma järvedes, aga on jäänud samaks või isegi vähenenud kolmandikus maailma järvedes. Järvede troofsuse ja selle muutuste jälgimiseks globaalses mastaabis pakuti koos mitmete maade teadlastega välja Forel-Ule indeksi kasutamine [7]. Forel-Ule indeksi muutused näitavad vee värvi muutumist ehk võimaldavad uurida mitte ainult fütoplanktoni hulga suurenemist või vähenemist veekogudes vaid ka CDOM hulga suurenemist (pruunistumine) või vähenemist neis. Tegu on tööriistaga, mis on väga kasulik globaalsete muutuste uurimisel järvedes ja meredes.

Ookeanides ja järvedes ei toimu erinevate süsiniku fraktsioonide fikseerimine või emiteerimine mitte ainult veesambas. Olulist osa mängib ka põhjataimestik (mikro- ja makrovetikad, kõrgemad taimed). Käesoleval ajal valdavalt ei arvestata järvede ja merede litoraalis oleva süsinikuga ei uurimistöodes ega ka näiteks riikide süsinikubilansis või süsinikukvootide kaubanduses. Lisaks sellele on järvede ja merede litoraal üks bioloogiliselt mitmekesisemaid ökosüsteeme, mille muutusi on vaja jälgida. Tiit Kutseri poolt töötati välja uudne meetodika [8] madalate vete põhjatüüpide (vetikad, meriheinad, korallid, jne.) kaardistamiseks kaugseire meetoditega (riiklik teaduspreemia täpisteaduste valdkonnas 2008), mis käesolevaks ajaks on saanud üheks enimkasutatavaks meetodiks madalate vete uurimisel ja seires. Hiljutine analüüs [9] näitab, et erinevate põhjatüüpide optilised omadused on samad magavees ja soolases vees ning erinevates kliimavöötmes. See võimaldab väljatöötatud meetodikat kasutada ka seal, kus täielikult puuduvat *in situ* andmed ning uurida erinevaid protsesse nii kohalikus, regionaalses kui globaalses mastaabis. Satelliidiandmeid kasutades on võimalus muutuste uurimises ka „ajas tagasi“ minna kui on olemas satelliidipiltide aegrida. Kontaktmõõtmiste puudumise puhul seda muidu teha ei saa.

Nagu eespool mainitud toimub suur osa süsinikuringega seotud protsesse ja muutusi bioloogilises mitmekesisuses just veekogude litoraalis. Uurida neid protsesse globaalses mastaabis on võimalik ainult kasutades kaugseiret, sest teha seda *in situ* mõõtmistega on väga aeganõudev ja ekstreemselt kulukas. Pealegi ei anna mõnest sajast või mõnest tuhandes järves (või rannikumere punktis) tehtud mõõtmised reaalselt pilti kogu maailmas toimuvast (näiteks järvi on planeedil Maa 117 miljonit). Lisaks keskenduvad nii limnoloogid kui mereteadlased eelkõige veekogude pelaagilisele osale, sest litoraali uurimine on nii puht tehniliselt kui ka teaduslikult keerukam. Kaugseirel on siin suur kasutamata potentsiaal, aga tavapraktika on, et kaugseire uuringutes kõrvaldatakse kaldalähedased pikselid (mõnikümme meetrit kuni mõni kilomeeter, sõltuvalt sensori ruumilisest lahutusest) uuringutest kuna nende pikselite interpreteerimine on keerukas. Näiteks vahelduva rannajoone tõttu võib satelliidipildidel olla palju segapikseleid (osaliselt vesi osaliselt maismaa). Seda eriti väiksema ruumilise lahutusega (300 m kuni mõni kilomeeter) satelliitide puhul. Madalas vees moodustub kaugseire sensorite poolt mõõdetav signaal nii erineval sügavusel asuvast merepõhjast (vetikad, taimed) kui veesambast (fütoplanktoni, CDOM, vee molekulid, jne) tulevast signaalist. Nende mõjude eristamine on keerukas. Tiit Kutser on välja töötanud analüütilised meetodid selle probleemi lahendamiseks [8, 10]. Üle 90% satelliitide poolt veekogude kohal mõõdetud signaalist pärineb tegelikult atmosfäärist ja ei anna mingit informatsiooni vee omaduste kohta. Atmosfäärikorrektsiooni meetodid ei anna sise- ja rannikuvete puhul veel nii häid tulemusi kui avaookeanide puhul. Lisaks on rannajoone lähedal probleemiks ka naabrusefekt ehk satelliidi vaatlusgeomeetria tõttu pärineb osa vee kohal mõõdetud signaalist hoopis lähedal olevalt maismaalt. Ehk siis kaldalähedaste muutuste tuvastamine kaugseire signaalist on väga keerukas. Veekogude kaldalähedaste alade suure tähtsuse tõttu keskendub Tiit Kutseri käesoleva aja ja lähema tuleviku uurimistöö (projektid a-d) eelkõige selleks vajalike kaugseire meetodite väljatöötamisele ning seejärel nende rakendamisele nii regionaalses (Eesti, Euroopa) kui globaalses mastaabis nii järvede kui merede/ookeanide uurimisel.

Nagu eespool mainitud ei ole hetkel siseveekogude ja rannikumere uuringuteks optimaalseid satelliite. Mereuuringuteks mõeldud satelliidid on selleks liiga vähese (300 m või rohkem) ruumilise lahutusega. Maismaa uuringuteks mõeldud satelliidid on küll piisava ruumilise lahutusega (10-60 m) kuid nende vähene tundlikus ning vajalike spektrikanalite puudumine raskendavad nende kasutamist siseveekogude ja rannikumere uuringutes. Euroopa Kosmoseagentuur korraldab iga kolme aasta tagant uute eksperimentaalsete satelliitide (Earth Explorer) ideekonkurssi kus kandideerivad kaheteistliikmelised maailma tippteadlaste meeskonnad. Konkursi tulemusena valitakse välja ja saadetakse orbiidile teaduslikult kõige vajalikumad satelliidid. 2023 aasta taotlusvoorus (tulemused selguvad 17. aprillil 2024) on üheks väljapakutud ideeks esimene spetsiaalselt sisevete ja rannikumere uurimiseks mõeldud satelliit GALENE. Tiit Kutser on üks GALENE meeskonna liikmetest.

Peale järel doktorantuuri Austraalias ning töötamist Uppsala Ülikoolis naases Tiit Kutser Eestisse kus kaugseire töörühm koosnes ühest teadlasest ja ühest doktorandist, kellel oli üks arvuti, aga puudus teaduslik aparatuur. Aastate jooksul ehitati Tiit Kutseri juhtimisel üles osakond, mis on üks paremini varustatud Euroopas ja kaugemalgi ning kus käivad töötamas külalisdoktorandid (Hispaaniast, Hiinast), järel doktorid (Hispaaniast) ning külalisprofessorid (Inglismaalt). Osakonna kõrge teaduslik tase ning eesrindlik aparatuuripark on võimaldanud teadlastel osaleda paljudes rahvusvahelistes projektides.

Lisaks tipptasemel teadustööle on Tiit Kutser aktiivne globaalsete keskkonnauuringute toetamisel administratiivsel tasemel. Tema initsiatiivil liitus Eesti valitsustevahelise organisatsiooniga GEO (Group on Earth Observations, hetkel 116 liikmesriiki) ning valitsus nimetas ta Eesti esindajaks selles organisatsioonis. Ühe valimistsükli (kaks aastat) esindas Tiit Kutser GEO Täitevkomitees Euroopat ning osales töörühmas mis töötas välja GEO käimasoleva kümneaastaku tööplaani. GEO eesmärgiks on toetada valitsusi globaalsel tasemel keskkonna ja ühiskonna probleemide lahendamisel kasutades selleks parimat saadaolevat informatsiooni. Parimate võimalike otsuste vastuvõtmiseks loodi GEOSS (Global Earth Observation System of Systems) ehk erinevate Maa jälgimise süsteemide (satelliidipildid, riiklikud ja rahvusvahelised seirevõrgustikud, tervise ja muude sotsiaalsete andmete andmebaasid, teadusprojektide tulemused jne.) ühendamine keskkonnaks mis võimaldaks paremini uurida Maad kui ühtset süsteemi. GEO tegevuse tulemusena on paljud riigid teinud vabalt kättesaadavaks oma seireandmed ning ka mitmete satelliitide pildid. Näiteks Euroopa Copernicuse programmi satelliitide pildid tehti kõigile vabalt kättesaadavaks tänu GEO raames tehtud valitsustevahelisele kokkuleppele.

Tiit Kutser'i kümme olulisemat globaalmuutustega seotud publikatsiooni

1. Tranvik, L.J., Downing, J.A., Cotner, J.B., Loiselle, S.A., Striegl, R.G., Ballatore, T.J., Dillon, P., Finlay, K., Knoll, L.B., Kortelainen, P.L., Kutser, T., Larsen, S., Laurion, I., Leech, D.M., McCallister, S.L., McKnight, D.M., Melack, J.M., Overholt, E., Porter, J.A., Prairie, Y., Renwick, W.H., Roland, F., Sherman, B.S., Schindler, D.W., Sobek, S., Tremblay, A., Vanni, M.J., Verschoor, A.M., von Wachenfeldt, E., Weyhenmeyer, G.A. (2009) Lakes and impoundments as regulators of carbon cycling and climate, *Limnology and Oceanography*, **54**: 2298-2314. doi 10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2298
2. Verpoorter, C., Kutser, T., Seekell, D., Tranvik, L. (2014). A Global Inventory of Lakes Based on High-Resolution Satellite Imagery. *Geophysical Research Letters*, **41**: 6396–6402. doi 10.1002/2014GL060641.
3. Kutser, T., D. C. Pierson, K. Kallio, A. Reinart, S. Sobek (2005) Mapping lake CDOM by satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, **94**: 535-540. doi 10.1016/j.rse.2004.11.009
4. Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Sepp, M., Paavel, B., Nõges, T. (2016). First Experiences in Mapping Lake Water Quality Parameters with Sentinel-2 MSI Imagery. *Remote Sensing*, **8**: 640. doi 10.3390/rs8080640.
5. Kutser, T. (2012). The possibility of using the Landsat image archive for monitoring long time trends in coloured dissolved organic matter concentration in lake waters. *Remote Sensing of Environment*, **123**: 334 - 338. doi 10.1016/j.rse.2012.04.004
6. Fang, C., Song, K., Paerl, H.W., Jacinthe, P-A., Wen, Z., Liu, G., Tao, H., Xu, X., Kutser, T., Wang, Z., Duan, H., Shi, K., Shang, Y., Lyu, L., Li, S., Yang, Q., Lyu, D., Mao, D., Zhang, B., Cheng, S., Lyu, Y. (2022) Global divergent trends of algal blooms detected by satellite during 1982–2018. *Global Change Biology*, doi 10.1111/gcb.16077.
7. Wang, S., Li, J., Zhang, B., Spyrakos, E., Tyler, A., Shen, Q., Zhang, F., Kutser, T., Lehmann M., Wu, Y., Peng, D. (2018) Trophic state assessment of global inland waters using a MODIS-derived Forel-Ule index. *Remote Sensing of Environment*, **217**: 444-460. doi 10.1016/j.rse.2018.08.026
8. Kutser, T., I. Miller, D.L.B. Jupp (2006) Mapping coral reef benthic substrates using hyperspectral space-borne images and spectral libraries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **70**: 449-460. doi 10.1016/j.ecss.2006.06.026
9. Kutser, T., Hedley, J., Giardino, C., Roelfsema, C., Brando, V. (2020) Remote sensing of shallow waters - A 50 year retrospective and future directions. *Remote Sensing of Environment*, 111619. doi 10.1016/j.rse.2019.111619
10. Kutser, T. (2004) Quantitative detection of chlorophyll in cyanobacterial blooms by satellite remote sensing. *Limnology and Oceanography*, **49**: 2179-2189. doi 10.4319/lo.2004.49.6.2179

Globaalmuutustega seotud käimasolevad projektid

- a) **AquaInfra**. Euroopa Horisondi programmi projekt (2023-2026). Eesmärgiks on luua Euroopa Teaduspilve (EOSC) tarbeks tööriistad, mille abil teadlased saavad leida, süstematiseerida ja analüüsida kõik üle maailma vabalt kättesaadavad seire ja teadusprojektide andmed, et neid kasutada sise- ja rannikuvete digitaalse kaksiku loomiseks ning globaalseteks uuringuteks.
- b) **SCOPE**. ESA leping (2023-2025) „Satellite-based observations of carbon in the Ocean. Pools, fluxes and exchanges“ Projekti eesmärgiks on täpsustada ookeanite ja rannikumere osa globaalses süsinikuringes.

- c) ESA leping “On the possibility of mapping carbon fractions in coastal waters using Sentinel-2 MSI and Sentinel-3 OLCI imagery” (2024-2025). Projekti eesmärgiks on testida milliseid süsiniku fraktsioone rannikumeres on võimalik hinnata (ja mis täpsusega) kasutades selleks Copernicuse programmi Sentinel satelliite.
- d) ESA leping „Resolving near-coastal remote sensing signal into contributions by bottom, water column, glint, and the adjacency effect,, (2024-2025). Projekti eesmärgiks on välja töötada meetodika kuidas eraldada kaugseire signaalist erinevad „mürad“ (naabrusefekt, atmosfääri mõjud, pinnalt peegeldunud kiirgus), et võimaldada uurida näiteks merepõhja taimestikus ja veesambas toimuvad süsinikuringega seotud protsesse või muutusi bioloogilises mitmekesisuses.

Kontaktandmed

Vuti 9, Tallinn, 10619

Telefon: 53037804

E-mail: Tiit.Kutser@ut.ee

ETIS: https://www.etis.ee/CV/Tiit_Kutser/est/

Researcher ID: H-1304-2015

ORCHID: 0000-0001-9679-1422