



EGS Publikatsioonid XV • SÜGISBALL

Eesti Geograafia Seltsi Publikatsioonid XV



SÜGISBALL

Noorgeograafide
sügisümpoosioni
artiklite
kogumik

ISBN 978-9949-9085-3-0



9 789949 908530

ISSN 2228-0006



9 772228 000001

Eesti Geograafia Seltsi Publikatsioonid

XV

SÜGISBALL

**Noorgeograafide sügissümposiooni
artiklite kogumik**

EGSN ja EGEA-Tartu
Tallinn 2015

Eesti Geograafia Seltsi Publikatsioonid XV

SÜGISBALL

Noorgeograafide sügissümposiooni artiklite kogumik

Toimetajad:

Martin Küttim, EGSN, Tallinna Ülikooli Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut, Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut

Liisa Umbleja, EGSN, Tallinna Ülikooli Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut, Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut

Piret Vacht, EGSN, Tallinna Ülikooli Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut

Ludmilla Krusta, Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut

Laimdota Truus, Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut

Kaane kujundaja: Jaanus Terasmaa, EGS, Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut

Küljendaja: Ludmilla Krusta, Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut

Kogumiku valmimist on toetanud Hasartmängumaksu Nõukogu ning Maateaduste ja Ökoloogia Doktorikool

<http://www.egs.ee/egsn>

<http://www.egea.ee>

Autoriõigus: Eesti Geograafia Selts, 2015

Autoriõigus: toimetajad, artiklite ja fotode autorid, 2015

ISSN 2228-0006

ISBN 978-9949-9085-3-0

Eesti Geograafia Selts

Kohtu 6

10130 Tallinn

www.egs.ee

Trükitud

OÜ Vali Press

SISUKORD

- 9 **Martin Küttim, Liisa Umbleja & Piret Vacht:** Sügisball
- 12 **Kertu Lepiksaar:** Eesti Geograafia Seltsi Noorteklubi tegemised 2014. aastal
- 18 **Mari-Ann Ütt:** EGEA-Tartu tegemised 2014. aastal
- 30 **Liisa Puusepp:** Kümme aastat sügissümposioone – kõik sai alguse tõest ja õigusest
- 45 **Oliver Koit:** Hagudi soo karstivööndist Kadaka küla karstiala näitel
- 59 **Hando-Laur Habicht:** Antsülusjärve ja Litoriinamere paleogeograafia Tolkuse-Rannametsa piirkonnas setete ja aerolaserskanneerimise kõrgusandmete alusel
- 66 **Liisa Umbleja, Martin Küttim & Liisa Puusepp:** Ränivetikate ruumiline jaotus Eesti rabades
- 78 **Tanel Vahter:** Põlengute mõjudest muldadele Kurtna maastikukaitseala näitel
- 91 **Ergo Eesmaa:** Reoveesette perspektiivsed kasutuskohad
- 94 **Kadi Padur:** Multikriteeriumilise otsustusanalüüsi kasutamine jääksoo korrastamisviisi valimiseks
- 99 **Kristi Sootla:** Hariliku käöraamatu (*Gymnadenia conopsea*) värvivormid ja nende viljumine
- 104 **Rebecca Kontus:** Tartu: Configurational Approach and Analytical-Configurational Approach

SÜGISBALL

2014. aasta oktoobris toimunud noorgeograafide sügis-sümposion oli järjekorras juba kümnes, seega juubelisümposion, mis kätkes endas teatavat pidulikkust ja tagasivaadet sellele, mida kümne aasta jooksul teinud oleme. Seetõttu oli üpris loomulik, et akadeemilisele ja pidulikule, ent samas oma väikse kiiksuga üritusele sai nimeks „Sügisball“. Sarnaselt Mati Undi teosele oli sündmuspaigaks Tallinn, täpsemalt Eesti Teaduste Akadeemia, mis on ehk kõige akadeemilisem paik, mida Tallinnast leida võib. Seal, Toompea nõlval, pidasid noored Eesti geograafid 3.-5. oktoobril 2015 oma „sügisballi“, mis oma temaatikalt keskendus sel korral toimumispaigale kohaselt eelkõige linnaökoloogiale ja -geograafiale.

Esimest õhtut saime alustada vastvalminud noorgeograafide sügis-sümposionite „Väikesed pildid Eestist“ ja „Geograafia karu-aabits“ artiklite kogumiku esitlemisega, kus nii mõningi sümposionil osaleja oma artikli leidis. Esimeseks peaesinejaks oli Tallinna Ülikooli tudengitele juba linnaelustiku loengutest tuttav Meelis Uustal, kes kõneles linnaloodusest ning linlikest elupaikadest. Peale tema loengut vaatasime Tallinna Ülikoolis Veiko Õunpuu filmi „Sügisball“.

Teine päev oli suures osas tudengite ettekannete päralt, millest suurema osa põhjal on valminud ka käesolevas kogumikus ilmunud artiklid. Tallinna Ülikooli magistrant Olivet Koit kõneles karstinähtustest Hagudi soo karstivööndis, mida ta oli oma bakalaureusetöös trasseerimise ehk vee markeerimise abil Kadaka küla karstiala näitel uuris. Hando-Laur Habicht Tartu Ülikoolist aga oli modelleerinud Tolkuse-Rannametsa piirkonna paleomaastikke setete ja aerolaserskanneerimise kõrgusandmete alusel, kirjeldades oma ettekandes piirkonna viimase 10000 aasta arengulugu. Tallinna Ülikooli ökoloogiadoktorant Liisa Umbleja tutvustas oma esitluses Eesti rabade ränivetikakooslusi ning selgitas, kuidas erinevad ränivetikaliigid ja nende kooslused võimaldavad hinnata rabade keskkonnatingimusi.

Tallinna Ülikooli magistrant Tanel Vahteri uurimistöö oli pühendatud põlengute mõjule Kurtna piirkonna muldadele, millest selgus, et

metsatulekahjude tagajärjel suurenes nii muldade happesus kui ka nende toitainesisaldus, ent vähenenud taimekasvuks olulise huumus-horisoni orgaanilise aine sisaldus. Ergo Eesmaa tutvustas süm-poosionist osavõtjatele reoveesette perspektiivseid kasutuskohti, mis on põhiliselt põllumajandus-, haljastus- ja ehitussektoris, kuid seni on sette kasutamise vastu huvi neis veel küllaltki madal. Tallinna Ülikooli doktorant Kadi Padur tutvustas enda koostatud mudelit, mille põhjal on võimalik öelda, mida tuleks ammendatud turbaväljadega peale kasutamist ette võtta.

Kristi Sootla keskendus oma esitluses sellele, kuidas orhideede värvus mõjutab nende viljumise edukust, leides et pigmenteerunud õied viljuvad paremini. Ainsa linnageograafilise ettekande tegi sel korral Rebecca Kontus Eesti Kunstiakadeemiast, kes analüüsis, kuidas Tartu kesklinna kvartali konfiguratsioon mõjutab linnaruumi tajutavat kättesaadavust jalakäiaitele.

Lisaks artikliteks vormistatud ettekannetele esinesid sümposionil veel Sirje Sildever, Silja Märdla ja Sander Olo Tallinna Tehnikaülikoolist ning Kadi Mägi Tartu Ülikoolist. Teise päeva peaesinejaks oli Eesti Geograafia Seltsi president Mihkel Kangur, kes kõneles üleilmsetest keskkonna-probleemidest ja pakkus mõningaid jätkusuutlikuks arenguks vajalikke lahendusi. Esinemine oli tõeliselt põnev, sest toodud näited avardasid kindlasti kõigi kohalviibijate maailmapilti.

Lähtuvalt sügissümposiooni teemast oli viimane päev pühendatud Lasnamäele, mida üheskoos jalgrattasadulas avastasime. Teele jäid nii Lasnamäe uus kirik, Suhkrumäe paljand kui ka Linna Pood (LIPO). Kogukondliku kultuuri arengust Lasnamäel rääkis meile Lasnaidee aktivist Maria. Jalgrattaekskursioon ja kogu sümposion lõppes toreда piknikuga Pae pargis.

Toimetajad tänavad kommentaaride ja paranduste eest retsensente Urve Ratast, Arvo Järvetit, Hannes Tõnissoni, Mati Ilometsa, Kai Vellakut. Tänu sõnad igakülgse abi eest kogumiku valmimisel kuulu-vad ka Tiit Vaasmale.

Kogumiku toimetajad

EESTI GEOGRAAFIA SELTSI NOORTEKLUBI TEGEMISED 2013. AASTAL

Kertu Lepiksaar

Eesti Geograafia Seltsi Noorteklubi (EGSN) esimees 2014.aastal
koduleht: www.egs.ee/egsn, e-post: geograafiaselts@gmail.com

EGSNi 2014. aasta esimene pool oli tunduvalt aktiivsem kui teine. Juba 13. jaanuaril toimus KGB muuseumi külastus Viru Hotelli 13. korrusele, mis osutus väga populaarseks.

31. jaanuarist 2. veebruarini toimus iga-aastane maakonnaekskursioon. Sel aastal tutvusime Ida-Virumaaga ning lisaks omadele inimestele olid meil ka külalised Hollandist, EGEA-Utrechtist. Ööbisime Peipsi kaldal asuvas Kauksi looduskeskuses. Reisi värvikamad ja meelejäävamad sündmused olid 8 km matk Kotka rabas (ilmaolud: kõva tuisk), saun ja peale seda hollandlaste jaoks eksootiline lumme kastmine. Lisaks tutvusime Sompa kaevandusmaastikuga.

14. veebruaril külastati TuTuTu raames AlphaGIS'i, kus sai aimu nii firma igapäevatööst kui ka nende pakutavatest rakendustest ja droonide kasutamisest kaardistamisel. Veebruari lõpus, 25. veebruaril, ja märtsi alguses, 5. märtsil, toimusid Tallinna Tähetorni külastused. Lisaks tähistaevale tutvusime ka ajaloolise Nikolai von Glehni poolt rajatud tähetorniga. 4. märtsil oli Lost Continendis Austraalia õhtu lõbusate juttude ja Austraalia veini degusteerimisega.

Märtsi keskel, 15.–16. märtsil, kõige porisemal ja sopasemal ajal käisime Viljandimaal, Paistu ja Loodi kandis, koos EGEA-Tartuga matkamas.

13. aprill toimus iga-aastane EGSi aastakoosolek Eesti Teaduste Akadeemias ning peale seda veidi vähem ametlikum EGSNi kevadkoosolek F-Hoones. Sai arutatud nii üht kui teist. 25.–28. aprillil käisid Nele, Liisa ja Martin vastukülaskäigul Hollandis, EGEA-

Utrechtil külas. Seal osaleti kuninga päeva pidustustel, tutvuti nii linnade kui ülikooliga ning tehti muudki lõbusat koos võõrustajatega.

28. mail oli küll väga vihmane ja kole ilm, kuid rattaretk Harku mõisa parki mööda vana kitsarööpmelist raudteetammi toimus siiski.

6.-8. juunil toimus lõpuks kauaoodatud Ruhnu saarematk, mis osutus väga menukaks. Ilm oli suurepärase ja pakkus põnevust öiste äiksetormidega. Ka saar näitas end oma parimatest külgedest. Reisi teisel ja ühtlasi viimasel õhtul toimus Ruhnu rahvamajas karaoke, kus ka EGSN oma lauljatega esindatud oli.



Joonis 1. EGSN juunis 2014 saarematkal Ruhnu (Autor: Kertu Lepiksaar).

14.–15. juunil olid traditsioonilised talgud professor Punningu maakodus. Korda sai tehtud rehealune ning ära koristatud ka saun ja rehepealne tuba. 11.–24. juulil sai lõpuks röömustada pika

mägimatka üle Slovakkias, Tatraste mäestik, kuhu seitse vabrat EGSNlast peale hoolikat planeerimist jõudsid. 6.-10. augustil toimus iga-aastane jalgrattamatk, kus jõuti taas otsaga Tallinnasse tagasi. Sel korral alustati Riisiperest ning vahepeal käidi ka Haapsalus ja Noarootsis.



Joonis 2. EGSNi Tatraste matkagrupp saadab kodumaale tervitusi ja raporteerib, et kõik on elus ja terved. Päev enne Poola kõrgeima mäe vallutamist (Autor: Agnes Anderson).

Peale seda jäi sündmuse EGSNi kalendris hõredamaks ning alles 3.–5. oktoobril toimus noorgeograafide sügis-sümposium, mille teemaks oli sel aastal Mati Undi romaanist inspireeritult „Sügisball“ ning toimumiskohaks Tallinn. Keskenduti rohkem linna-ökoloogiale ja säästvale arengule. Suured tänud Meelis Uustalile ja Mihkel Kangurile, kes meile nendel teemadel pikemalt rääkisid ning ka kõikidele teistele esinejatele. Sümpoosioni lõpetas mõnus rattaretk Lasnamäele, mida kroonis kena päikesepaiste.

Aasta lõpus toimusid veel mullapäeva filmiõhtu ning kaardifirma Here külaskäik EGSNi juurde, et tutvustada Map Creatori kasutusvõimalusi. Aasta lõpetas aastalõpukoosolek Eesti Geograafia Seltsis Toompeal, kus võeti aasta kokku, tehti plaane järgmiseks ning valiti uuteks emadeks Anna-Helena Purre ja Dagmar Seppor.

Summary

YOUTH CLUB OF ESTONIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY IN THE YEAR 2014

The 11th active year of the Youth Club of Estonian Geographical Society after the reestablishment was diverse and contained various activities. The main traditional events were the excursion to East-Viru county in February with EGEA-Utrecht, camping in Vijandimaa with EGEA-Tartu in March, trip to Ruhnu island in June, bicycle tour from Riisipere to Tallinn in August, and the autumnal symposium for young geographers in the city of Tallinn in October.

The year was also active in the international scale: in addition to the participation of EGEA-Utrecht in our excursion, we visited the Netherlands to see the Kings Day celebration and socialise with locals. In addition, seven of us took a long trip to the Tatra mountains.

Also many other smaller and more spontaneous events took place during the year, e.g. trips to various geographically significant places in and near Tallinn, visits to many geography-related companies, and movie nights.

Our main objective is to spread geographical knowledge, to gain geographical wisdom and unite the students of geo-sciences. Autumnal symposiums, which are the most important events for the Youth Club, help to present the main study topics of young Estonian geographers and to improve cooperation between students studying geography at different Estonian universities.

As the year was extraordinarily active for us, it can be retrospectively concluded that the year 2014 has been successful for the Youth Club of Estonian Geographical Society.

EGEA-TARTU TEGEMISED 2014. AASTAL

Mari-Ann Ütt

Tartu Ülikooli Noorgeograafide Klubi (EGEA-Tartu)
president 2013/14 aastal
koduleht: www.egea.eu/entity/Tartu, e-mail: info@egea.ee

2014. aasta oli EGEA-Tartu jaoks edukas. Toimus palju kohalikke üritusi ning käidi ka välismaal kongressidel. Järgnevalt on ära toodud lühikokkuvõte EGEA-Tartu tegemistest 2014. aastal.

Kevadsemestril oli EGEA-Tartu presidendiks Taavi Pipar. Ülejäänud juhatuse liikmed olid Mari-Ann Ütt, Sander Tuisk ja Laura Eiber.

Kevadel alustati uue ürituste sarjaga, mille nimeks sai „Aktiivsed egealased“. Eesmärgiks oli teha koos midagi sportlikku või lihtsalt lõbusat. Käidi nii orienteerumas kui ka piljardit mängimas.

Märtsi keskel otsustati koos EGSN-iga Sakalamaad avastama minna. Ürituse eestvedaja oli EGSN-i liige Kertu Lepiksaar, kes suutis organiseerida toreda nädalavahetuse. Igatahes tartlased jäid üritusega väga rahule ning sõitsid koju hea enesetundega.

11.-13. aprillil tehti vahetus EGEA-Vilniusega ning Tartusse tuli üheksa toredat geograafi. Leedukatele korraldati ekskursioon Tartu linnas, koos matkati Taevaskojas ning tutvuti linna ööeluga.

Mai alguses oli järjekordne tööpõld ning sel korral külastati kesk-konnakorralduse ja ruumilise planeerimise firmat Hendrikson & Ko-d, kus töötab mitmeid geograafia eriala lõpetanud.

Kui varasematel aastatel oli juhatuse valimised toimunud septembris või oktoobris, siis 2014. aastal otsustati need korraldada mais. Sel viisil sai juhatus kohe sügisel varakult tööle hakata. Uueks presidendiks valiti Mari-Ann Ütt. Teised juhatuse liikmed olid Raili Õunapuu, Merilin Soe ja Marilin Soe.



Joonis 1. EGEA-Vilniusega Taevaskojas aprillis 2014.

8.–10. augustil toimus Baltic Weekend, mis oli sel aastal Eestis. Toimumiskohaks valiti Rāpina lähedal asuv Meelva metsamaja. Külastati nii Meelva looduskaitseala kui ka ilusat Meenikunno raba. Oli tore nädalavahetus koos balti sõpradega.

Aasta kõige suurema osalejate arvuga ürituseks oli septembris toimunud loodusgeograafiline bussireis. Sel korral võeti eesmärgiks sõita Võrtsjärve ümbruses ning vaadata huvitavaid looduse ja kultuuriobjekte. Bussireisi giidiks oli eesti veekogude suurepärane tundja Arvo Järvet, kes oskas ka iga teele jääva kultuuriobjekti kohta põhjalikult rääkida.



Joonis 2. Loodusgeograafilisel bussireisil Võrtsjärve ümbruses septembris 2014.

Oktoobri lõpus toimus Eesti Naisüliõpilaste Seltsi ruumides reisiklubi. Sel korral räägiti välismaal õppimisest. Epp Mäekivi jagas oma kogemusi Kieli Ülikoolist Saksamaal ning Henri Kuusk viis kurssi eluga Prahas.

Novembri viimasel nädalal sõitsid mõned Tartu egealased Vilniusesse, et osaleda Põhja- ja Baltiregiooni kontaktisikute kokkusaamisel ning samuti teha Vilniusega vahetus. Leedu pealinnas kohtuti geograafidega nii naaberriikidest kui ka natuke kaugemalt ja veedeti asjalik ning lõbus nädalavahetus.

Detsembri alguses toimus legendaarses Narva mnt 89 ühiselamus lauamänguõhtu. Kohale tuli päris palju inimesi, kes kõik said end erinevates lauamängudes proovile panna. Jõuluajal oli traditsiooniline piparkookide küpsetamine ning sel puhul hõivati Narva mnt

89 ühiselamu köök. Sel aastal tehti nii traditsioonilisi kui ka Nutella ja iirisetäidisega piparkooke. Mandariine ja piparkooke süües arutati põhjalikult EGEA-Tartu oleviku ja tuleviku üle.

2013. aasta lõpus sai tehtud EGEA-Tartule Facebooki leht. 2014. aastal võeti eesmärgiks sinna postitada rohkem informatsiooni meie ürituste kohta ning lisada pildigaleriisid. Sel viisil saavad inimesed olla meie tegevusega veelgi paremini kursis.

Summary

TARTU UNIVERSITY YOUNG GEOGRAPHERS CLUB (EGEA-TARTU) IN YEAR 2014

2014 was quite successful for EGEA-Tartu. We had many local events and also some of us went to congresses abroad. In March we had the event together with EGSN/EGEA-Tallinn. We discovered Viljandi county and spent nice time in the nature. In April we had an exchange with EGEA-Vilnius and they visited us in Tartu. We went back to Vilnius in the end of November. The most popular event of 2014 was the bus trip with hydrologist Arvo Järvet. We visited the lake Võrtsjärv area and saw beautiful nature and interesting cultural sights. Many of us participated in the Autumn Symposium of Young Geographers „Autumn ball“ in Tallinn at the Estonian Academy of Sciences. The event was organised by EGSN/EGEA-Tallinn and concentrated on the urban ecology. In December we had event where we played different board games. At Christmas time we baked some tasty gingerbreads. We also tried to use more often EGEA-Tartu Facebook page and put there nice photos of our events.

KÜMMME AASTAT SÜGISSÜMPOOSIONE – KÕIK SAI ALGUSE TÕEST JA ÕIGUSEST

Liisa Puusepp

Tallinna Ülikool, Ökoloogia Instituut
teadur, EGSNi esimees 2005.aastal
liisa@tlu.ee

Kümme aastat tagasi taaselustunud noorgeograafide sügissümpoosionite sarja (nüüd juba võib julgelt nii väita) esimene üritus ja kogumik said paljulubava nime – “Tõde ja õigus”. Tolleaegne Eesti Geograafia Seltsi president Prof. Jaan-Mati Punning avaldas lootust, et noori loodusteadlasi hakkavad oluliselt rohkem mõjutama teadusliku tõe otsingud. Nüüdseks on sügissümpoosione korraldatud kümme aastat ning noori, kes on tänu neile sügisestele minikonverentsidele saanud oma esmased teadusettekande ristsed, artiklikirjutamis- ja diskuteerimiskogemused, pole kaugeltki vähe ning teaduslik tõde ja selle otsingu olulisus on paljudele andnud sisendi teadusmaailmas jätkata. Peale selle, et osalejate nimekiri on pikk, on mitmekesine ka osalejate “akadeemiline päritolu”, mis omakorda on andnud üritusele lisaväärtust. Kui esimestel aastatel olid osalejate hulgas eelkõige Tallinna ja Tartu ülikooli doktorandid ja noorteadlased, siis nüüdseks on osavõtjaid olnud kõikidest Eesti ülikoolidest ning nende ridu on omakorda täiendanud doktorandid väljastpoolt Eestit.

Üks algne idee, mis käivitas esimese sügissümpoosioni korralduse, oli Tallinna ja Tartu geograafiatudengite teatav lahkukasvamine ning soov seda olukorda muuta. Tallinnas õpetati õppekava nimetusele tuginedes geoökoloogiat ning Tartus geograafiat. Kuid kitsamad teemad, mis suurte sõnade taga olid, jäid tundmatuks ja tuleb tunnistada, et tekitas ka teatavat võõristust teise ülikooli vastu. Sellisel kujul konkurentsi jätkamine ei tundunud enam

mõistlik ja ühiselt korraldatavas konverentsis nähti olukorrale lahendust ning katalüsaatorit, mis murraks nn Mäo telje. Rõõm on tõdeda, et viimased kümme aastat on alget olukorda oluliselt muutnud ning koostöö ja läbikäimine Tallinna ja Tartu noor-geograafide vahel on märkimisväärselt tihenunud ning seda mitte ainult sügissümposionite korraldamise osas, vaid ka mitmete uute koostööprjektide raames.

Loomulikult uskus kümme aastat tagasi sügissümposiooni korraldusmeeskond siiralt, et erinevate ülikoolide geograafiat õppivaid noori koondav sügisene üritus jätkub aastaid. Teisalt, olles realistid, oldi veendunud, et keeruline pole esimese korraldamine, vaid ürituse käigushoidmine on veel vaevanõudvam ning tuli tõdeda, et mingist hetkest ei pruugita ju enam leida huvilisi ei esinema ega kuulama. Geograafia teemade ring aga ei ole selline, mis ühel hetkel otsa lõppeb. Nii kaua kui räägime ruumist, nähtuste, elementide ning inimeste ruumilisest jaotusest ja seostest, niikaua saame rääkida ühel või teisel viisil geograafiast. Seetõttu on lisaks põhiprogrammis esinejate mitmekesisusele ka külalisesinejate ring lai olnud ning käsitletavat temaatikat enam kui põnevad – alates kohanimedest ja maastikumustritest ning lõpetades veinigeograafiaga (joonis 1). Viimane temaatika oli aukohal kohe esimesel korral, mil sarjale sai uhke „sümposiooni” nimetus pandud, sest see ju pidavat olema teadlaste erialane nõupidamine filosofeerimise, pidusöögi ja veiniga. Lisaks on mitmete teiste põnevate inimeste kõrval noortele külalistena kõnelemas käinud nii Fred Jüssi (joonis 2) oma loodusfilosoofiast kui ka näiteks Timo Palo vahetult enne oma kurikuulsat Arktika vallutamist.



Joonis 1. Esimene noorgeograafide sügissümposium „Tõde ja õigus“
(Autor: Raimo Pajula)



Joonis 2. Esimesel noorgeograafide sügissümposiumil „Tõde ja õigus“ koos
Fred Jüssiga rabas (Autor: Raimo Pajula)

Esimese sügissümposiooni nimi tuli kuidagi lihtsalt. Ega täpset mälestust sellest polegi. Küllap sai enne välja valitud koht – olgu võimalikult Eesti keskpunkti lähedal, et oleks hea Tallinnast ja Tartust kohale tulla, siis tuli Tammsaare ja siis „Tõde ja õigus”. See andis ajendi olla omal kummalisel moel interdistsiplinaarne ja siduda sügissümposioonid kirjanduses olulise inimese, koht ja/või teosega ning seda kõike ka mingil viisil programmis käsitleda. Edasised toimumiskohad ja nimed ning seosed kirjandusklassikutega on sarnaselt esimesele tulnud kuidagi valutult ja loomulikult – mõnikord on enne leitud tore koht, teinekord kirjanik või siis teos, mille järgi toimumiskohta hakati otsima. Nii on noorgeograafide sügisese konverentsid toimunud väga eriilmelistes paikades ja saanud nimed just kirjandusest: „Tõde ja õigus” (Simisalu, Albu vald, 2005), „Kevade” (Palamuse, 2006), „Muhu monoloogid” (Liiva, Muhu vald, 2007), „Agu Sihvka annab aru...” (Abja-Paluoja, Abja vald, 2008), „Kui seda metsa ees ei oleks” (Alatskivi, 2009), „Lendav maailm” (Tõstamaa, 2010), „Külmale maale” (Kiltsi, Väike-Maarja vald, 2011), „Väikesed pildid Eestist” (Kadrina, Pala vald, 2012), „Geograafia aabitsatund”¹ (Narva, 2013) ja Sügisball (Tallinn, 2014).

Esitletud teemaatikate ring on muljetavaldav juba ainuüksi nende teemade puhul, mis on jõudnud artiklite kujul pärast sümposiooni välja antud kogumikesse (Eesti Geograafia Seltsi Publikatsioonide sarjas). Esmalt oli plaan iga sümposioon pühendada mingile kitsamale geograafiaalasele teemale. See plaan aga oli juba eos hukule määratud. Eestis, oma väiksuse tõttu, ei ole tihtilugu võimalik olukord, mil paljud teadlased (sh mitmed noorgeograafid) tudeerivad väga sarnast kitsast teematikat ning et neid uurijaid erinevatest ülikoolidest on just nii palju ja enam, et saaks sellel teemal eraldi konverentsi korraldada. See muidugi ei saanud ürituste sarjale saatuslikuks. Vastupidi – iga-aastased sündmused on olnud selle

¹ See on siiani ainus kord, mil sümposiooni nimi erines pisut kogumiku nimest: sümposioon sai nimeks „Geograafia aabitsatund” ning kogumik „Geograafia karuaabits”.

Teine idee, mis kehtis vaid esimesel korraldusaastal, oli seotud kogumiku trükiga – oli üllas plaan anda kogumik välja enne sümposiooni. Nii esimesel korral toimuski – kõik osalejad said trükisooja raamatu kohe kätte, kus artikli kujul sees juba need ettekanded, mida kuulama tuldi. Edaspidi hakati kogumikke välja andma pärast konverentsi. Mõneti on see pannud trükise väljaandmist venima ning küllap see on ka üks põhjus, miks mõnede järjestikkuste sügiseste ürituste ettekanded on kokku koondatud ühte kogumikku. Sellegipoolest pole see peatanud algset ideed – anda esinejatele kogemus kirjutada eesti keeles oma uurimust kokku koondav teadusartikkel. Teisalt annab see tubli kogemuse ka retsepsentidele, kelleks on enamasti olnud noored meie endi hulgast. Keegi ei saa olla tähelepanelikum ja teatavas mõttes ka kriitilisem (seda täiesti konstruktiivselt ja positiivses võtmes) kui noor kolleeg.

Esimestel aastatel olin ma sümposioonite korraldamisega tiheldalt seotud ning kõrvaltvaatajana olen näinud ka valdava osa hilisemate sümposioonite sündi. Nii nagu arvatud, ei ole olnud see lihtne protsess – a’la saame kokku ja teeme jälle ära. See nõuab panustamist nii korraldusmeeskonna kokkupanekusse, esinejate otsimisse, ruumide leidmisesse kui ka rahataotlustesse. Viimase puhul on õnneks appi tulnud ülikoolid ning nüüd juba ka traditsiooniliselt Eesti Hasartmängumaksu Nõukogu, Maateaduste ja Ökoloogia doktorikool ning ettevõtted, mis näitab, et sellise ürituse vajalikkusesse ja mõjusse on usk. Tegemist ei ole enam pelgalt kahe ülikooli korraldustiimiga, kus üks projektijuht on Tallinna Ülikoolist ja teine Tartust. Kaasatud on ka teised ülikoolid ning noored, keda esialgu ei oskagi seostada geograafiaalaste distsipliinidega.

Sel aastal tähistame Prof. Jaan-Mati Punningu 75. sünniaastapäeva. On sümboolne, et pisut pidulikum, kümnendale sügissümposioonile pühendatud artiklite kogumik just nüüd ilmub, sest kümme aastat tagasi oli just Prof. Punningul oluline roll kanda, et noored esimese sügissümposiooni korraldamise ette võtsid. Seetõttu on suur au käesolev kogumik Prof. Jaan-Mati Punningule pühendada. Loodetavasti selline ürituste sari koos väljaantava publikatsiooniga jätkub ning on ka jätkuvalt olemas aktiivseid noori, kelle teadusliku töö otsinguid sügissümposioonid innustavad.

Summary

TEN YEARS OF AUTUMN SYMPOSIUMS

Ten years ago, in 2005, the group of young geographers re-established the traditions of autumn symposiums that were important annual event for young scientists from Estonian Geographical Society in 1980s.

Although there are universities in both cities, in Tallinn and Tartu, where you can study geography, there was invisible border between two cities causing a kind of ignorance. Therefore the first aim of autumn symposiums was to break the border, to get together geography students and young researchers from both university cities, to share ideas, to introduce their scientific activities, to make potential collaborative plans for future. We have succeeded and the first aims are, definitely, archived! Today these events are expected meetings where participants have possibilities to present their first scientific results, practice to discuss about their own topics and also about other actual subjects, to get knowledge how to write their first paper and, last but not least, to have fun. The list of discussed topics is wide, which makes meetings variable and full of new concepts of geography. We have heard presentation about palaeoecology, bogs, patterns of landscape, urban planning, distribution of names in Estonia etc.

The title and venue of symposiums are always different and have been chosen not only according to some nice geographical place but according to Estonian literature and history. This is a nice way to connect different disciplines and discover new places in Estonia.

As long as we speak about distributions, space, locations of people, phenomena, elements and relationships between these things, we speak about geography. Therefore it is worth to believe that the tradition of autumn symposiums will last.

The current year is the 75th anniversary of Prof Jaan-Mati Punning, who was the leader of Estonian Geographical Society and played a great role in organizing the first autumn symposium in 2005. It is our honor to dedicate the current publication to him.

HAGUDI SOO KARSTIVÖÖNDIST KADAKA KÜLA KARSTIALA NÄITEL

Oliver Koit

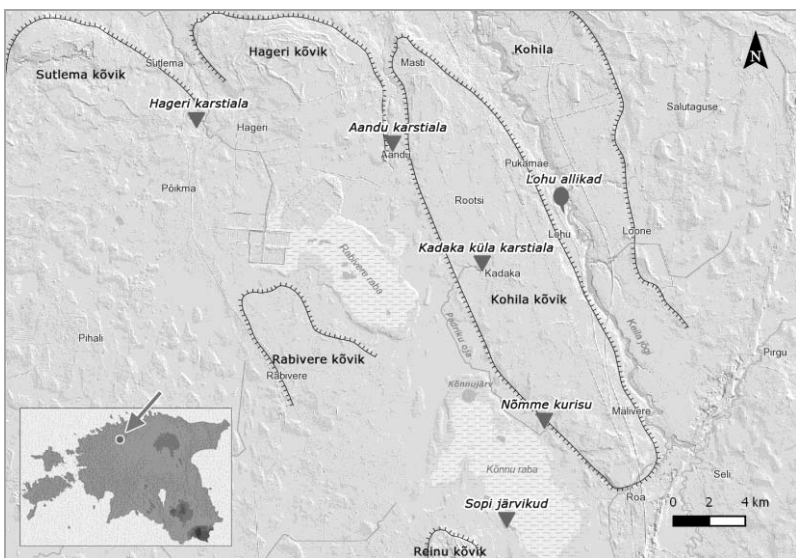
Tallinna Ülikool, Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut
geoökoloogia magistrant
koitoliver@gmail.com

Sissejuhatus

Ordoviitsiumi ja Siluri lubjakivimite ulatuslik avamus Põhja-Eestis on olnud eelduseks karstinähtuste laialdaseks levikuks. Eesti kuuest karstivaldkonnast suurimas – Kohila karstivaldkonnas, mis asub Harjumaa lõuna- ja Raplamaa põhjaosas – esineb mitmeid tähelepanuväärseid karstialasid. Tuntumatele, Tuhala ja Kuimetsa karstialadele lisaks leidub veel mitmeid, vähemtuntud karstialasid, nagu Aandu, Hageri ja Kadaka küla karstialad. Viimatimainitud, üheskoos mitmete üksikobjektidega, moodustavad Kohila ja Rapla vallas paikneva Hagudi ehk Rabivere sood ümbritseva karstivööndi.

Siinse piirkonna reljeefi ilmestavad õhukese pinnakatttega laugenõlvalised paekõvikud ja nendevahelised aluspõhjalised orundid, mis on enamasti täitunud Kvaternaari setetega. Ka Rabivere, Seli ehk Kõnnu ja Hagudi raba osamassiividest koosnev Hagudi soo kui liitmassiiv on moodustunud ühte sellisesse reljeefivormi – Maidla aluspõhjalisse orundisse. Hagudi soo on tekkinud pärast viimast jääaega seal paiknenud järvede kinnikasvamise tulemusena. Möödunud aegade vaikivaks tunnistajaks on oma ümara põhiplaani tõttu ka vandenõuteoreetikutele (Paidla, 1994) mõtteainet pakkunud reliktne Kõnnujärv Seli raba põhjaosas. Soole nime andev Hagudi raba ei kuulu 1981. aastal loodud Rabivere maastikukaitseala piiridesse, võib-olla osaliselt seetõttu nimetatakse Hagudi sood tänapäeval tihtipeale Rabivere rabaks.

Maidla orundit piiravad Ordoviitsiumi ladestu Vormsi, Pirgu ja Porkuni lademe lubjakivimitest koosnevad kõvikud: idas Kohila, loodes Sutlema, põhjas Hageri, keskosa lääneküljel Rabivere ning edelas Siluri ladestu Juuru lademe paekivist Reinu kõvik, kagunurgast aga mandriliustiku Pandivere staadiumi Rõa-Hagudi-Aranküla servamoodustised (joonis 1), mistõttu on pindmine äravool soost raskendatud. Enn Pirrus (2005) kirjeldas seaduspära, mille järgi on just aluspõhjaastangud karstivormide kujunemiseks eelisseisundis. Kuna viimased on miljonite aastate vältel tektooniliste mõjude tõttu lõhenenud, võimaldades rabaveel kivimi-lõhedesse tungida, on karstiilmingute arenemiseks kõik tingimused täidetud. Arvi Paidla (2000) näiteks on Hagudi sood kirjeldanud kui lekkivat kivist pesupali.



Joonis 1. Kadaka küla karstia ja Lohu allikate paiknemine (Maa-amet).

Hagudi soo paikneb Kasari ja Keila jõe veelahkmealal. Läänepiiril alguse saavad ojad on Kasari jõe lätteks ja ida- ning põhjapiiril algavad ojad leiavad oma tee, kes-kuidas, Keila jõkke. Ühtekokku lähtub Hagudi soost üheksa oja, millest seitse neeldub soo serva lähedal karstivormides. Hagudi sood ümbritseb viis teadaolevat karstiala või objekti: Hageri, Aandu, Kadaka ehk Urge kuristik, Nõmme kurisu ning Sopi järvikud. Käesolevas kirjutises keskendume Kadaka küla karstialale ja Lohu allikatele, mida autor oma bakalaureusetöö „Kadaka küla karstiala ja Lohu allikate hüdrogeoloogiline uuring“ koostamisel detailsemalt uuris. Aastail 2013–2014 väldanud uuringu raames selgitati välja põhjavee voolusuund uuringualal, mõõdeti vooluhulki, koostati Lohu allikate hüdrograaf ning viidi läbi trasseerimiskatse1.

Kadaka küla karstiala

Kadaka küla karstiala ehk Urge kuristiku karstisüsteemi puhul on jälgitavad nii vee neeldumise- kui ka avanemisala, sealjuures on tegu aktiivse süsteemiga, mille arengut on võimalik jälgida ka aastate lõikes – taas on oruveerult mõni altõõnestatud paekamakas alla vajunud. Kadaka küla karstiala ehk Urge kuristik asub Kadaka külas, Teeriku ja Urge talu vahelisel alal (joonis 1). Padriku ehk Redu ojas voolav vesi neeldub siin ligi 100 m pikkuses Urge kuristikus Pirgu lademe lubjakivikihtidesse (joonis 2). Urge kuristik võeti looduskaitse alla juba 1959. aastal, Kadaka küla karstialana aga 1981. aastal üheskoos Rabivere MKA loomisega.

Padriku oja voolab piki Seli raba idaserva, Kõnnujärvest valdavalt põhja suunas. Pärast Teeriku talu teeb oja pöörde itta, kus sellega ühineb Rabivere Kõrgeraba idaservalt lähtuv kraav ning seejärel algab laskumine Urge kuristiku salkorgu. Ilmselt 20. sajandi kesk-paiku maaparanduse käigus ümber kujundatud valgala (kurisu kasutamine kuivenduskraavide eesvooluna) on Eesti ürglooduse raamatu (Kink, 2006) andmeil veehulka karstialal siiski pigem vähendanud. Muutliku veerežiimiga Padriku oja valgala suuruseks

on 13,4 km² (Keskkonnainfo). Kuival perioodil võib oja vooluhulk väheneda pea täieliku kuivamiseni, kuid üldjuhul Padrikus midagi ikka suliseb – väikese vooluhulga puhul neeldub vesi juba oru ülemises osas. Padriku oja vesi on omadustelt rabavesi, 2014. aasta varakevadisel sulaperioodil oli vee elektrijuhtivuseks 85–100 µS/cm ja pH 2,5 – karstumiseks ideaalne, vähese mineraalsusega happeline rabavesi (Koit, 2014).



Joonis 2. Vaade Urge kuristikule.

Urge kuristik on rohkem kui 100 m pikkune salkorg, mille lõpuks on kaks osaliselt liitunud 25–40 m läbimõõduga ja 3–4 m, kohati 5m sügavust langatuslehitrit. Salkoru lähteks võib tinglikult lugeda ka Padriku oja ja Kõrgeraba kraavi ühinemiskohta juba 400 m ülesvoolu, kus org hakkab lubjakivikihtidesse lõikuma. Kokku on orus kolm suuremat langatuslehitrit, lisaks arvukalt pugemeid oru põhjas ja ülesvoolu oja kallastes (Paidla, 2000). Ü. Heinsalu (1977) kurisute klassifikatsiooni järgi on tegu korrapärase kujuga kurisuga, mis on tekkinud mitme karstilehtri liitumisel. Tõenäoliselt on

Urge kuristiku kujunemisel olnud määravaks loode-kagu ja vähem-levinud põhja-lõuna suunaliste lõhede ristumine, millele viitab ka kuristiku läänepoolse osa loode-kagu ja idapoolse põhja-lõuna-suunaline orienteeritus. Karstilehtrite veerudel on nähtavad Pirgu lademe Moe kihistu lubjakivi paljandid. Urge kuristiku lähi-ümbruses on nähtavad veel kolm langatuslehtrit.



Joonis 3. Loode-kagu suunaline avalõhe Padriku oja põhjas.

Suurem vee neeldumine leiab aset oru keskosas, kus Padriku oja säng on kujunenud ulatusliku kagu-loode suunalise avalõhe kohale (joonis 3). Edasivoolav vesi jõuab esimese langatuslehtri ees paisuna asetseva pangaseni (joonis 4), kus see põhja-lõuna suuna-

lises avalõhes ja mitmetes pugemites neeldub. Kui vett on rohkem, voolab see edasi oru idaosa neelaukudeni. Eriti veerohkel kevadel ei suuda väidetavalt üle 200 l/s neeldumisvõimega kuristik kogu vett vastu võtta ja tekib üleujutus, mis võib ulatuda ümbruskonna taludeni (Kink, 2006). Padriku oja oli varem veerikkam ja suur üleujutus karstialal oli igakevadine nähtus. Nüüd hajutavad rabakraavid suure osa veest ja üleujutusi esineb vaid erakordse veerikkuse korral (Paidla, 2000).

Urge kuristikus neeldunud vesi avaneb väidetavalt Lohu allikates, Keila jõe vasakkaldal, linnulennult 2 km kaugusel kirdes (Kink, 2006; 2011; Paidla, 2000). Suure tõenäosusega, tugines väide Eesti tuntuima karstiuurija Ülo Heinsalu (1928–1994) uurimustel või oletustel. Hüpotees, et Urge kuristik ja Lohu allikad on hüdra-uliliselt seotud, sai kinnitust eelpoolmainitud 2014. aasta varakevadel läbi viidud trasseerimiskatse põhjal (Koit, 2014).



Joonis 4. Põhja-lõuna suunalise avalõhe kujunemisel tekkinud pangas. Siin neeldub Padriku oja vesi tavaliselt. Suurveeperioodil tõuseb veetase pangasest kõrgemale ja voolab edasi, ujutades üle kuristiku idapoolse osa.

Lohu allikad

Samaaegselt Rabivere raba ja Kadaka küla karstialaga 1981. aastal kaitse alla võetud Lohu allikad asuvad Pukamäe ja Lohu küla piiril, Keila jõe aluspõhjalise oru veerul (joonis 1 ja 5). Umbes 100 m kaugusel jõest paikneb jääjärve- ja liustikujärgsetes setetes tõusuallika lehter. Oja vooluteel paikneb veel kolm tõusuallika lehtrile sarnast ümara vormiga moodustist (joonis 5). Neist esimene ja suurim on umbes 12 m läbimõõduga ja ligi 3 m sügav (Kink, 2006); lehtri põhjas on nähtav lõhe paljanduvus lubjakivis (joonis 6). Kui esimeses lehtris on vee väljavool „keemisena“ enamasti visuaalselt jälgitav, siis teistes lehtrites mitte. Teine ja neljas võimalik lehter on 5–6 m läbimõõduga ja mõnevõrra madalamad kui esimene; väikseim neist neljast on kolmas lehterjas moodustis. Teise, kolmanda ja neljanda lehtri põhjas ei ole näha ka paljanduvat lubjakivi. Esimese ja teise lehtri vaheline lõik on 2000. aastatel ümber kujundatud. Varem voolas oja sellelgi lõigul kitsas, tarnadest palistatud sängis (joonis 5).



Joonis 5. Lohu allikad. Nummerdatud on neli lehterjat moodustis oja vooluteel (Maa-amet).

Sellel Keila jõe lõigul on suvel ujudes tunda külmi punkte, seega võiks oletada, et allikaid võib olla rohkem, millele viidatakse ka Eesti ürglooduse raamatus (Kink, 2006). 2014. aastal läbi viidud võrdleval vooluhulkade mõõtmisel esimese allikalehtri järel ja enne suubumist Keila jõkke, vooluhulga suurenemist ei täheldatud. Osalt oli selline tulemus tingitud tõsiasjast, et vesi voolas otse neljandast lehtrist kitsa voolusängi kaudu jõkke, mistõttu oleks pidanud mõõtma vooluhulka lehtrist ülesvoolu (Koit, 2014).



Joonis 6. Suurvesi Lohu allikates 2015. aasta 3. jaanuaril. Vaade esimesele lehtrile.

Allikate voolurežiim on muutlik, aga päriselt ei lakka väljavool ka veevaesel perioodil. Sellele viitab näiteks jääkatte puudumine talvel (joonis 7) ja vee jahedus suvel; seega on tegemist alalise allikaga. Suurvee ajal võib allika veetase tõusta piisavalt, et voolata teise lehterja moodustise juures otse jõkke, ujutades nii üle kogu jõe ja oja vahele jääva maasääre. Allikates voolav vesi on enamasti

värvuselt pruunikas, sarnanedes rabaveega Padriku ojas, kuid oluliselt karbonaatsem – kui Urgel oli vee pH ligikaudu 2,5, siis Lohul, pärast karbonaatidega küllastumist juba 7,2.



Joonis 7. Lohu allikad talvel.

2014. aasta varakevadel läbi viidud trasseerimiskatse põhjal kinnitatud Urge kuristiku ja Lohu allikate hüdraulilisele seotusele lisaks selgus veel, et keskmiste hüdroloogiliste tingimuste korral on karstivee liikumiskiirus kahe koha vahel umbkaudu 2,7 km/ööpäevas ehk 0,032 m/s, mis on igati tõsiseltvõetav näitaja, arvestades mõõtekohtade kõrgusvahet, mis on kõigest 5 m 2 km vahemaa kohta. Sel ajal oli Lohu allikate vooluhulk umbkaudu 120 l/s (Koit, 2014). Pärast paaripäevast vihmasadu 2014. aasta mais tõusis allikate vooluhulk ligikaudu 350 l/s-ni. Trasseerimiskatsel saadud kõvera kuju, hüdrograafi, 2014. aasta maikuise näite ja suurveeperioodide veeseisu (joonis 6) põhjal võib oletada, et Urge kuristik ja Lohu allikad on omavahel ühendatud hästiarenenud voolukanalite süsteemiga (joonis 8), mille suurim läbilase võib tõenäoliselt olla veelgi suurem kui senised vooluhulga mõõtmised on näidanud.



Joonis 8. Urge kuristiku loode-kagu suunaline avalõhe seestpoolt. Ka kuristikku ja allikaid ühendavad voolukanalid võiksid seestpoolt sarnased välja näha.

Kokkuvõte

Suursugune, ligi 100 meetri pikkune karstiorg ehk Urge kuristik on ümbritsetud tihedast kase- ja lepavõsast justkui hästi hoitud saladus. Juba 1959. aastal üksikobjektina ja 1981. aastal kaitsealana riikliku kaitse alla võetud Kadaka karstiaala on suurepäraseks Eesti karstimaastike näiteks. Ühtlasi on Urge kuristiku ja Lohu allikate karstisüsteemi kujul tegu ilmeke näitega sellest, kui kiiresti võib meie aluspõhja ülemises osas vesi liikuda, ja kui haavatav on seeläbi Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogumid Põhja-Eesti õhukese pinnakattega aladel. Õhukese pinnakatte, lõheliste ja karstunud lubjakivide ning muljetavaldava voolukiirusega karstisüsteemi kombinatsioon teeb näiteks Kohila kõviku nõlvadel ja jalamil, ning kindlasti ka mujal Eestis, analoogsetes tingimustes paiknevad

kaevud reostusaltiks – suurveeperiooditi täheldavad paljud Urge kuristikku, laiemalt Hagudi sood ümbritsevad majapidamised pruunika, turbamaitseelise vee sissetungi oma kaevudesse. Seetõttu peaks karstist tulenevat veekvaliteedi halvenemist tõsisemalt arvestama ka mujal, kui vaid Pandivere kõrgustikul.

Kirjandus

- Heinsalu, Ü. 1977. Karst ja looduskeskkond Eesti NSV-s. Valgus, Tallinn.
- Kink, H. 2006. Veeobjektid „Eesti ürglooduse raamatus“. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn.
- Kink, H. 2011. Loodusmälestised 22. Harjumaa-Raplamaa: Kohila karstivaldkond: Kose, Kohila. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn.
- Koit, O. 2014. Kadaka küla karstiala ja Lohu allikate hüdrogeoloogiline uuring. Bakalaureusetöö. Tallinna Ülikooli geokoloogia õppetool, Tallinn.
- Paidla, A. 1994. Soodes on salapära, rabades – rahu. Hagudi soo lugu 2. *Eesti Loodus*, 9, 275-277.
- Paidla, A. 2000. Hagudi. Hageri. Maalehe Raamat, Tallinn.
- Pirrus, E. 2005. Aluspõhjaastangute karst – Põhja-Eesti paelava iseloomulik geotoop. Raukas, A. (toim.). Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 2005, 66–75.

Summary

THE KARSTIFIED ZONE OF HAGUDI MIRE BY THE EXAMPLE OF KADAKA KARST AREA

The Kohila karst district which stretches over northern Rapla and southern Harju County is the biggest of six Estonian karst districts. It is mostly known for the remarkable and well-studied Tuhala karst area, but also covers Kuivajõe and the areas that surround Hagudi mire: Aandu, Hageri, Nõmme and Kadaka karst areas. Hagudi mire was formed by the terrestrialization of small lakes inside the Maidla bedrock valley, after the

last glacial period. Due the fact that the mire is almost entirely enclosed by the berms of surrounding bedrock hillocks, the acidic water flowing from the mire has created a extensively karstified zone around it. The best example to illustrate the forementioned zone, is the Kadaka karst area, located in Rapla County on the outskirts of Kohila in the Kadaka village, next to the Hagudi mire.

The Kadaka karst area was formed in 1981, featuring the Padriku Creek originating from Hagudi mire, that eventually flows west and meets the berm of bedrock (Upper Ordovician Pirgu stage limestone), resulting in a 400 m long rocky karst gulch, which ends up in a picturesque 100 m long Urge gorge blind valley. Urge gorge consists of three joined dolines, ranging from 25 to 40 m in diameter and up to 4 m in depth. The water is absorbed into the karst groundwater system through numerous ponors starting already in the upper part of the rocky gulch. The main drainage point is located at the beginning of the gorge—a remnant limestone bank with a gryke (widened tectonic fault), aligned on the N–S direction. This functions as a dam on the water’s path. There is another extensive gryke (aligned on the NW–SE direction) outcrops on the bottom of the streambed, few meters upstream from the bank. therefore it is most likely, that the gorge developed on the tectonic zone, where the N–S and NW–SE faults intersected, therefore giving the gorge a NW–SE to N–S orientation, while the groundwater flows to NE, towards the Keila river. It is stated that the gorge can drain approximately 200 l/s, and when the inflow exceeds that, a temporary karst lake is formed.

Mostly based on the works of the most famous Estonian karstologist, Ülo Heinsalu (1928–1994), it was stated, that the water drained in the Urge gorge discharged in the Lohu Springs, approximately 2 km to the NE, on the west bank of the Keila River. Upon the closer examination, no evidence or formal confirmation in any tracer tests or other experiments backed the statement. To confirm the hydraulic connection between the two objects and also find out other properties of the system, a hydrogeological survey consisting of groundwater head measurements, flow rates, spring hydrograph and a tracer test was carried out within the framework of the Oliver Koit’s bachelor thesis in 2014.

Lohu Springs are (possibly a group of unconfirmed) confined springs on the west bank of the Keila River bedrock valley located south of Kohila in the Pukamäe village. Lohu Springs are a limnocene type of springs with

the mean discharge of 200 l/s, but can be 350 l/s (May 2014) and possibly more (January 2015). In this specific case, water emerges from an enlarged fracture in the outcropping limestone bedrock, forming a funnel 12 m wide and up to 3 m deep in the overlying Quaternary proglacial lake and post-glacial river sediments. There are 3 more funnel formations (potential springs) on the path of the stream on its way into the Keila River.

The statement of the hydraulic connectivity was confirmed on the 26th of February 2014, when a tracer test was carried out using sodium chloride. The linear flow velocity in the Urge gorge–Lohu spring underground karst system was 2742.8 m/day during moderate hydrologic conditions, with only 5 m of height difference between the two points. The shape of the EC breakthrough curve, the sensitivity of the spring hydrograph and the measured flow rates showed that the system probably consists of well-developed conduits and fissures and the maximum throughput is probably higher than measured so far.

ANTSÜLUSJÄRVE JA LITORIINAMERE PALEOGEOGRAAFIA TOLKUSE-RANNAMETSA PIIRKONNAS SETETE JA AEROLASERSKANNEERIMISE KÕRGUSANDMETE ALUSEL

Hando-Laur Habicht

Tartu Ülikool, Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Geograafia osakond
geoinformaatika doktorant
hando-laur.habicht@ut.ee

Sissejuhatus

Alates mandrijää taandumise algusest Läänemere nõo lõunaosast umbes 17 000–18 000 aastat tagasi (Houmark-Nielsen & Kjær, 2003; Björck, 2008) on Läänemeri olnud pidevas muutuses. Põhilisteks arengufaktoriteks on olnud Skandinaavia jääkilbi taandumine, glatsioisostaatiline maakerge ning ühendus maailmamerega – selle ulatus või puudumine üldse, millest tulenesid muutused Läänemere veetasemes ja soolsuses. Läänemere pärastjääaegses arengus on kindlaks tehtud viis põhilist arengufaasi - Balti jääpaisjärv, Joldia meri, Antsülusjärv, Litoriinameri ja Limneameri (Björck, 1995; Saarse & Vassiljev, 2010), Eestis võib varasemate faaside rannamoodustisi kohata kuni 150 km kaugusel sisemaal (Raukas, 2000).

Läänemere ümbrus on tihedaima säilinud mesoliitilise (9000–5000 aastat tagasi) ja neoliitilise (5000–1500 aastat tagasi) asustusega regioon Euroopas (Zvelebil, 2006) ning muistne inimasustus on olnud tihedalt seotud rannikuvööndiga, sealhulgas jõgede ja laguunisüsteemidega (Fischer, 2007; Miotk-Szpiganowicz *et al*, 2010; Rosentau *et al*, 2011; De Smedt *et al*, 2013). Eesti üheks rikkalikuma kiviaja rannasidusa asustusega piirkondi on Pärnu

ümbrus, veel s kus inimasustus eksisteeris juba ligi 11 000 aastat tagasi (Veski *et al*, 2005; Rosentau *et al*, 2011). Käesoleva töö uurimisalaks olevat Tolkuse-Rannametsa piirkonda on kiviaja arheoloogia seisukohast senini väga vähe uuritud, kuid on teada, et uute rannasidusate kiviaja asulakohtade avastamisel on võtmetähtsusega võimalikult täpse omaaegse rannavööndi paiknemise teadmine (prof. A. Kriiska, isiklik informatsioon, 02.12.2013). suudmealade

Geoinfosüsteemide areng, üha detailsem kaugseireandmestik ja geofüüsikalised meetodid pakuvad uusi võimalusi detailsete paleogeograafiliste rekonstruktsioonide tegemiseks (Bates *et al*, 2007), kuid täpseks paleomaastiku taastamiseks on need andmed vaja siduda geoloogilise andmestikuga (De Smedt *et al*, 2013). Kuigi meetodikad uute täpsete andmetike ning klassikalise puurimisandmestiku kombineeritud kasutamiseks on välja pakutud juba mitmeid aastaid tagasi (Bates & Bates, 2000), on neid suurema ala paleorekonstruktsioonide tegemisel senini vähe rakendatud (De Smedt *et al*, 2013).

Käesoleva töö eesmärgiks on rakendada eelpool mainitud komplekslahendust sidudes puurimise, georadari (GPR) andmed ja LiDAR-kõrgusandmed, selgitamaks rannavööndi muutuseid Antsülusjärve ja Litoriinamere arenguetappidel Tolkuse-Rannametsa piirkonnas. Uurimistöö tulemusena soovitakse luua paleomaastikumudelid, mis oleks rakendatavad arheoloogilise uurimise lähtematerjalina uute kiviaja asulakohtade avastamisel, ning pakuda välja tõenäolisemad kiviaja asulakohtade paiknemise piirkonnad.

Uuringuala

Käesoleva uurimistritöö uuringuobjektiks on Tolkuse-Rannametsa piirkond kogupindalaga 825 km² (joonis 1a, b). Uurimisala kesksel kohal asuvad Litoriinamere transgressiooni käigus moodustunud

[illegible]

39

Varasematest geoloogilistest töödest on teada, et Litoriinamere transgressiooni ajal ligikaudu 8500–7300 aastat tagasi kujunes Tolkuse raba kohale paleolaguun, mille rannavöönd võis olla kiviaja inimestele atraktiivne paik asulakoha valikul (Rosentau *et al*, 2011). Uurimisala lähedusse jäävad mitmed eri vanusega kiviaja asulakohad, alast 10–20 km põhja poole asuvad Pärnu jõe ääres näiteks 10 800–10 200 aasta vanune Pulli muinasasula, lisaks veel nooremad Sindi-Lodja I – III, Jõekalda, Lemmetsa I – II ja Malda asulakohad (Rosentau *et al*, 2011).

Metoodika

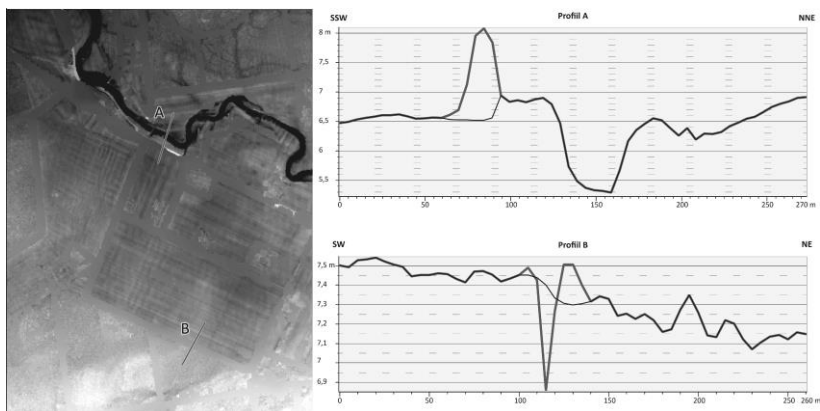
Modelleerimine

Paleomaastike modelleerimismetoodika tugines Leverington *et al* (2002) ja Rosentau *et al* (2011) töödele, mille alusel diferentseeritud pärastjääaegse maakerkega (joonis 1a) arvestamiseks kasutatakse maatõusu arvestavaid paleoveepindasid ning ajastu paleogeograafiliste rekonstruktsioonide tegemisel eemaldatakse nooremad settekompleksid.

Modelleerimise aluseks olev reljeefi kõrgusmudel (DEM) loodi Maa-ameti LiDAR-andmetest 5 meetrise ruumilise lahutusega. LiDAR-mõõtmised viidi antud piirkonnas Maa-ameti poolt läbi 2011. aastal vertikaaltäpsusega $\pm 0,34$ m ja keskmise mõõtetihedusega 0,45 punkti ruutmeetri kohta (Maa-amet). Merepõhjaandmestik pärines Veeteede ameti merekaardilt.

Kuna uurimisala on valdavalt liigniiske, on inimtegevuse käigus Tolkuse raba piirkonda ja selle ümbruskonda aastakümnete jooksul kaevatud tihe kuivenduskraavide võrgustik. Loomaks täpsemaid rekonstruktsioone, soovitakse reljeefimudelist eemaldada geoloogilises kontekstis hilisemad inimtekkelised pinnavormid ja nooremad settekompleksid (Chen *et al*, 1996; Rutzinger *et al*, 2011; De Smedt, 2013). Selleks töötati käesolevas töös välja optimaalne lahendus inimtekkeliste pinnavormide, nagu erinevad kraavid ja teetammid,

tuvastamiseks ning reljeefist eemaldamiseks. Pinnavormide tuvastamiseks kasutati nõlva muutumise kiirust kirjeldavat morfomeetrilist parameetrit – kõverust (ingl. k. *Curvature*) (Roberts, 2001; Thomas *et al*, 2014), mille abil tuvastatud pinnavormid eemaldati kõrgusmudelist, pärast mida interpoleeriti eemaldatud pinnavormide kohale ümbritseva reljeefi alusel uus pind (joonis 2). Pinnavormide silumise protsessist jäeti välja keerukama morfoloogiaga looduslikud pinnavormid nagu erinevad rannamoodustised (luited, rannavallid jne.) ning jõed, mis on piirkonna arenguloos olulised nii paleogeograafia kui ka arheoloogia seisukohast.



Joonis 2. Tasandatud reljeefiga ning alles jäänud jõesängiga kõrgusmudel koos profiiljoontega, kus punane joon vastab algsele kõrgusmudeli pinnale ja must joon tasandatud pinnale.

Paleomaastike rekonstrueerimiseks tuli kogutud ja töödeldud andmestiku põhjal eemaldada noorematest pinnavormidest puhastatud kõrgusmudelitest erinevate ajastute settekompleksid. Settekihtide eemaldamiseks kasutati välitöödel kogutud andmeid, Tolkuse raba alal ka Orru *et al* (1986) ja Orru (1995) poolt kogutud turba paksuse andmeid. Kogu modelleerimisprotsess viidi läbi programmis ESRI ArcGIS 10.0.

Välitööd ja setete kirjeldamine

Setete leviku kirjeldamiseks puuriti uurimisalal kokku 34 puurauku (joonis 1b). Setete puurimiseks Tolkuse rabas kasutati 1 m pikkuse ja 5 cm läbimõõduga nn. Vene tüüpi soopuuri, Rannametsa luidete jalamil ning luidete peal aga setete läbitavusest sõltuvalt 3 või 7 cm läbimõõduga aknaga settepuuri. Välitöödel kirjeldati lisaks veel setteid ning võeti dateerimiseks orgaanilise materjali proove Rannametsa jõe kaldapaljandites Võidu ja Rannametsa külades. Puuraukude asukohad määrati käsi GPS seadmega (Garmin Oregon 600) ning suudmete absoluutkõrgused leiti LIDAR-kõrgusmudeli alusel. Kuna kaldapaljandist kirjeldatud setete lasumiskõrgust ei olnud kõrgusmudeli kaudu võimalik usaldusväärselt määrata, mõõdistati paljandite absoluutkõrgused RTK-GPS seadmega (Sokkia GSR2700 ISX GPS).

Setete orgaanika ja karbonaatse materjali sisaldust analüüsiti kuumutuskaos meetodil tuginedes Heiri *et al* (2001) poolsele meetodi analüüsile. Biostratigaafilistest meetoditest kasutati töös settekeskkonna interpreteerimisel ka ränivetikaanalüüsi tulemusi. Ränivetika kooslused määras ja interpreteeris Dr Atko Heinsalu (TTÜ Geoloogia instituut).

Dateeringud

Setete vanuse määramisel kasutati nii varasemaid publitseeritud radiosüsiniku dateeringuid, kui ka värskeid välitöödel kogutud materjali dateeringuid (tabel 1). Uute dateeringute materjaliks olid puidu- ja sötükid ning seemned, millest suuremad eksemplarid eraldati settest välitööde ajal, pisemad aga puhastati settest välja laboris.

Kõik dateeringud kalibreeriti programmiga OxCal 4.2 kasutades IntCal 13 kalibreerimiskõverat (Reimer *et al*, 2013) täpsusega 1- σ . Kalibreeritud vanuste (*cal yr BP*) puhul kasutatakse käesolevast töös lihtsalt sõna „aasta“.

Georadari kasutamine setete leviku uurimisel

Käesoleva uurimuse tarvis tehti Läti päritolu georadariga Zond 12-e, kasutades antenni mille keskseks sageduseks oli 300MHz, kokku kuus georadariprofiili kogupikkusega ca. 35 km (joonis 1b). Georadari profiilide asukohad määrati käsi GPS seadmega (*tracking*) ning maapinna absoluutkõrgused leiti LIDAR-kõrgusmudeli alusel.

Looduskeskkonna mitmekesisusest tulenevalt on korrektsete startigraafiliste interperetatsioonide tegemiseks vajalik georadari toorandmete töötlemine (Neal, 2004). Andmete töötlemiseks kasutati programmi Prism2, milles vajadusel võimendati signaali, eemaldati filtritega liigne müra, viidi sisse LiDAR-andmetel põhinev reljeefiparand, tuvastati settekomplekse ja -kihte ning nende tüseduste täpseks kajastamiseks määrati igale kompleksile keskkonnale vastav dielektrilise läbitavuse väärtus. Peale erinevate settekihtide vaheliste piiride oli GPR'i profiilidelt võimalik kirjeldada settekomplekside struktuuri – kihilisust ja kihtide kallutatust, mis võimaldasid teha oletusi settekeskkonna kohta.

Tulemused

Soometsa luided

Tolkuse nõo idaserva ääristavad Antsülüsjärve kuni 20 m kõrgused Soometsa rannaluited, mis on paiguti, eriti just nõo lõunaosas, ümber puhutud. Vanimaks luidete all kirjeldatud setteks on moreen, mille peal lasub 20 cm tüsedune liivane turbakiht, mis on kaetud õhukese, 2–3 cm paksuse jütjakihi (järve- ja laguunimuda) ning õhukesi orgaanilise aine vahekihte sisaldavate peeneteraliste liivadega, mis on väga iseloomulikud Pärnu madaliku piirkonnale (Veski *et al*, 2005). Sellised liivad on omased transgressiivsele merele, mis vee pealetungi käigus maapealset orgaanikakihti kulutab ja koos mereliste liivadega ümber setitab (Cattaneo & Steel, 2003). Rannavööndi lähenemisele viitab ka kuumutuskaonalüüs, mis tõi välja selge mineraalsete setete osakaalu kasvu mattunud

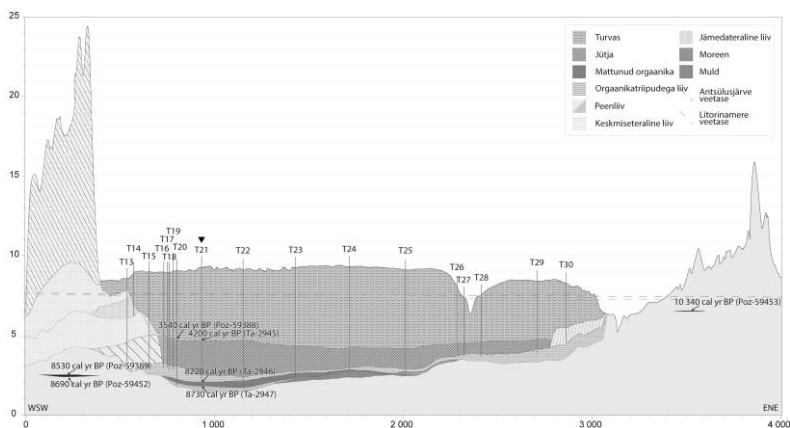
orgaanika nooremas osas. Peeneteralistel liivadel lasub omakorda kesk- ja jämedateraline liiv veeristega, mis viitab sette kuhjumisele aktiivse lainetuse vööndis, võimalik et püsivama veetaseme juures. Mattunud turbakihi ülemisest osast on dateeritud puit vanusega 10 400–10 250 aastat (tabel 1), mis viitab sellele, et turba kujunemine ja puude kasvamine leidis nähtavasti aset vahetult enne seda kui Antsülusjärve veed ala üleujutasid.

Tolkuse nõgu

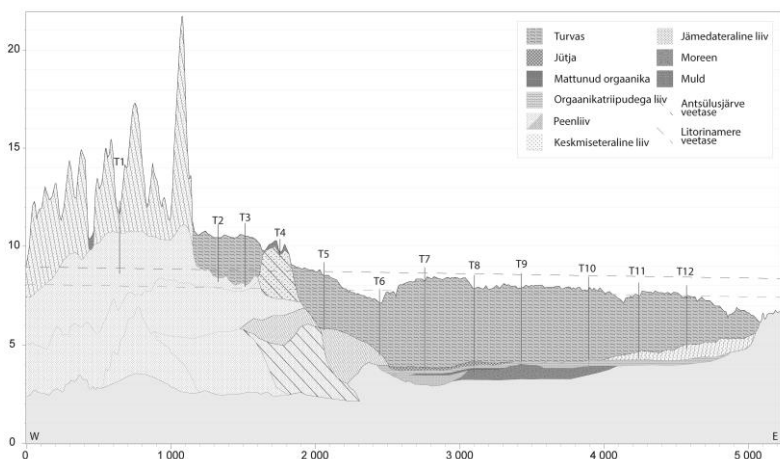
Tolkuse nõo vanimaks settekihiks on moreen, millel omakorda lasub hall alueuriidi- ja peenliivakiht, mis sisaldab taimejäänuseid ja karbidetriiti. Aleuriidis ja peenliivas esineb Antsülusjärvele tüüpilisi magedaveeliseid ränivetikaid, nagu näiteks *Ellerbeckia arenaria* ja *Aulacoseira islandica* (Jensen *et al*, 1999; Veski *et al*, 2005). Antsülusjärve liivadel lasub 20 cm түsedune mattunud madal-sooturba kiht, mille akumulееrumine algas 8980–8580 aastat tagasi. Mattunud turbakihi kulutatud ülemine osa on vanusega 8380–8050 aastat (tabel 1).

Mattunud turbakihil lasub orgaanika vahekihtidega kuni 40 cm түsedune hall transgressiivsete peenliivade kompleks (joonis 3, 4). Selles kompleksis leidub erinevaid riimveelisele rannikukeskkonnale omaseid ränivetikaid, mis viitavad laguunse keskkonna tekkele Tolkuse nõos (Rosentau *et al*, 2010).

Orgaanikarikastel liivadel lasub jütja kiht, mis viitab settimisele võrdlemisi suletud ja rahulikes sügavaveelistes tingimustes milliseid esineb näiteks poolsuletud laguunis (Berglund *et al*, 2005; Lima *et al*, 2013). Kogu jütjakompleksi ulatuses leidub riim- ja mereveelisele keskkonnale omaseid ränivetikad, mis viitavad jätkuvale ühendusele merega. Nõo lõunaotsas esineb aleuriitse jütjakompleksi sees түsedaid peenliivakihte (>50 cm), kus jütja on esindatud vaid õhukeste vahekihtidena, mis viitab mere poolse sette sissekandele (Boggs, 2006). See lubab oletada, et Rannametsa jõe piirkonnas võis olla Tolkuse laguuni ühendus merega.



Joonis 3. Lõunapoolne geoloogiline läbilõige Tolkuse rabast. Joonisel on näidatud olulisemad settekompleksid, Antsülusjärve ja Litoriinamere kõrgeimad veetasemed ning dateeritud mattunud orgaanikakihid. Kaldviirutusega on näidatud GPR-profiilidelt näha olev liivakehade kallak-kihilisus ja kihtide suhteline paksus.



Joonis 4. Põhjaapoolne Tolkuse raba geoloogiline läbilõige. Joonisel on näidatud settekompleksid ning Antsülusjärve ja Litoriinamere kõrgeimad veetasemed. Kaldviirutusega on näidatud GPR-profiilidelt näha olev liivakehade kallakkihilisus ja kihtide suhteline paksus.

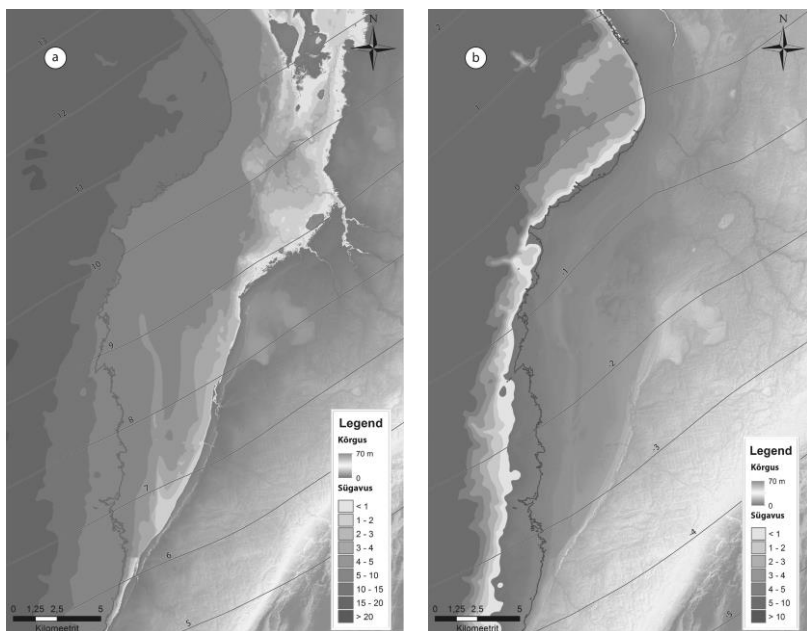
Tabel 1. Dateeringud koos dateeritud materjali ja selle absoluutkõrgusega.

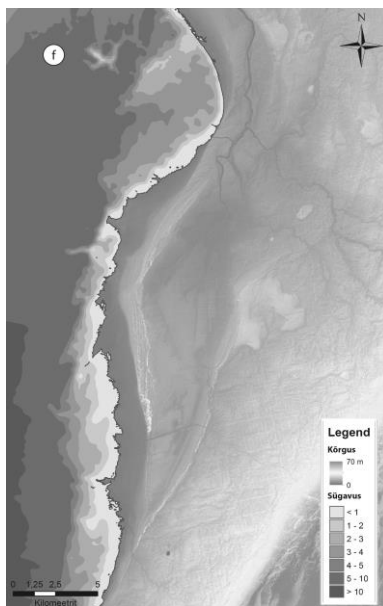
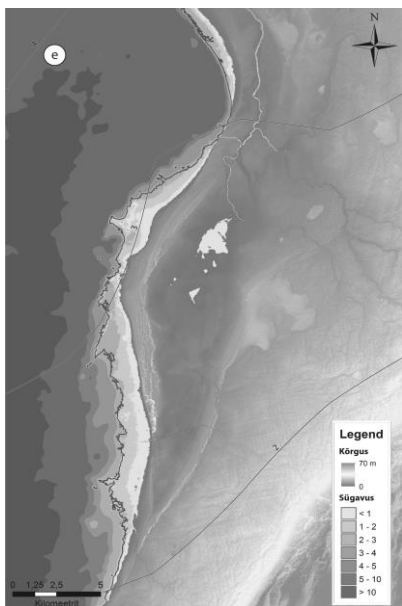
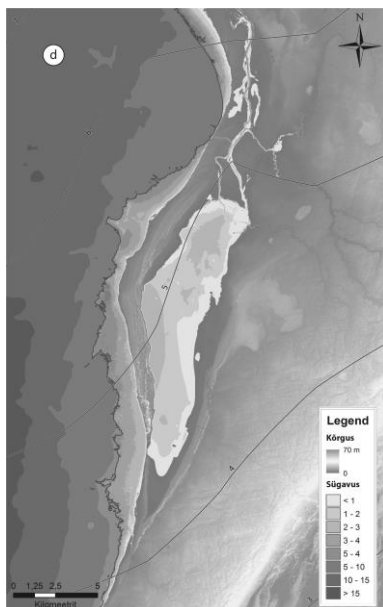
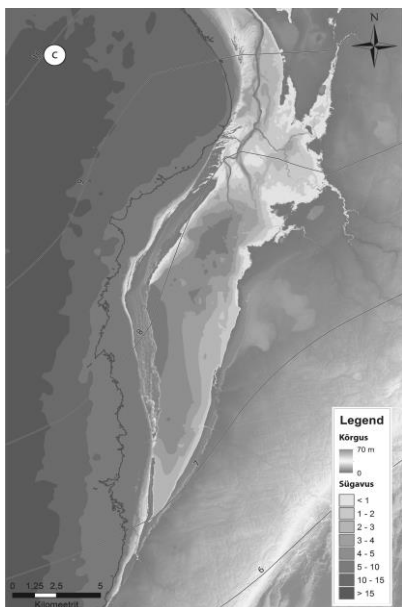
Nr.	Asukoht	Süsiniku- vanus	Lab. kood	Kõrgus (m ü.m.p.)	Materjal	Allikas	Kalibreeritud vanus (max- min)	Mediaan
Antsülüsjärve-eesel ja -aegsed setted								
1	Lemmeoja	9820 ± 130	Tln-130	2,6	▲ Turvas	Punning <i>et al</i> , 1977	11600 10890	11260
		9440 ± 100	Hel-2208A	2,6	▲ Turvas	Haila & Raukas 1992	11070 10510	10710
		9430 ± 100	Hel-2208B	2,6	▲ Turvas	Haila & Raukas 1992	11070 10510	10690
		9240 ± 85	TA-122	2,6	▲ Turvas	Kessel 1962; Kessel, Punning 1969b	10510 10280	10420
		9100 ± 85	TA-123	2,6	▲ Puit	Kessel 1962; Kessel, Punning 1969b	10400 10190	10280
2	Võidu	9100 ± 125	Ta-77		▲ Turvas	Kessel 1968; Kessel, Punning 1969b	10500 10160	10280
		9180 ± 50	Poz-59453	6,3	▲ Puit	Käesolev uuring	10400 10250	10340
		9290 ± 50	Poz-59454	6,5	▲ Puit	Käesolev uuring	10570 10410	10480
Litorinamere-eesel ja -aegsed setted								
3	Vaskräama	7580±170	TA-140	6,5	▲ Turvas	Kessel, Punning 1969a	8550 8190	8390
		6975 ± 110	Ta-141	6,5-7,5	▲ Jütja	Kessel 1962; Kessel & Punning 1969a	7930 7700	7810
		6870 ± 110	Ta-139	6,5-7,5	▲ Puit	Kessel 1962; Kessel & Punning 1969a	7830 7610	7720
4	Rannametsa	8080±110	Hel-2207A	2-2,5	▲ Turvas	Hyvärinen <i>et al</i> , 1992	9200 8760	8990
		8060 ± 110	Hel-2207B	2-2,5	▲ Puit	Hyvärinen <i>et al</i> , 1992	9130 8760	8940
		7725 ± 65	Tln-1994	2-2,5	▲ Puit	Raukas <i>et al</i> , 1999	8560 8430	8500
		7610 ± 100	Hel-2207	2-2,5	▲ Turvas	Hyvärinen <i>et al</i> , 1992	8540 8340	8420
		7880 ± 50	Poz-59452	2,2	▲ Puit	Käesolev uuring	8760 8590	8690
		7750 ± 40	Poz-59389	2,4	▲ Seemned	Käesolev uuring	8590 8470	8530
		7960 ± 150	Ta-54	4,0	▲ Puit	Kessel 1962; Kessel, Punning 1969a	9010 8620	8830
		7400 ± 150	Ta-2944	ca. 2-3	▲ Turvas	Käesolev uuring	8370 8050	8220
5	Tolkuse	7410 ± 150	Ta-2946	1,6	▲ Turvas	Käesolev uuring	8380 8050	8220
		7880 ± 100	Ta-2947	1,3	▲ Turvas	Käesolev uuring	8980 8580	8730
Litorinamere regressioonisetted								
5	Tolkuse	2320±100	TA-1990	1,5	▲ Turvas	Oru 1992	2680 2150	2360
		3320 ± 30	Poz-59388	4,7	▲ Puit	Käesolev uuring	3590 3480	3540
		3800 ± 150	Ta-2945	3,9	▲ Turvas	Käesolev uuring	4420 3980	4200

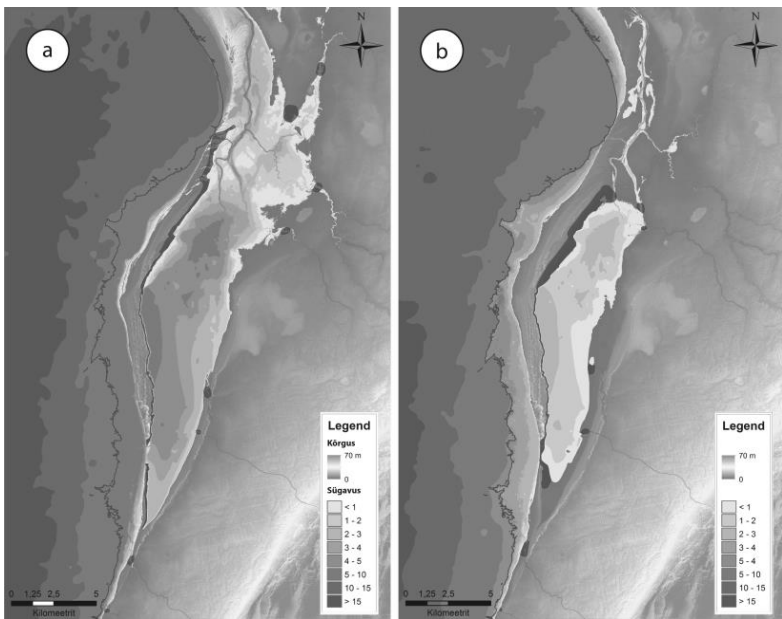
Rannametsa luited

Rannametsa luidete all, absoluutkõrgusel ca. 2 m ü.m.p. lasub liivakate setete peal puuturba kiht vanusega 8760–8590 aastat, mille pealt leiti ka üks lehtpuu palk. Orgaanikavöötidega liivadel lasub peenliiva kiht, milles esinevad tuulevired ja eolsetele liivadele omane põimkihilisus, samuti üksikud õhukesed orgaanikakihid, mis võivad markeerida erinevaid akumulatsioonietappe.

Paleogeograafilised rekonstruktsioonid







Joonis 5. Läänemere eri arengufaasideaegsed paleogeograafilised rekonstruktsioonid, vee sügavus üleujutatud aladel ja paleoveetaseme erinevus tänapäeva keskmisest meretasemest Tolkuse-Rannametsa piirkonnas: (a) Antsülusjärve transgressiooni maksimum 10 200 aastat tagasi, (b) Litoriaanimere-eelne madalseis ca. 8800 aastat tagasi, (c) Litoriaanimere transs-gressiooni maksimum 7300 aastat tagasi, (d) Tolkuse laguuni sulgumine 6000 aastat tagasi, (e) soostumise algus Tolkuse laguunis ca. 4200 aastat tagasi ja (f) tänapäev.

Tulemuste arutelu ja järeldused

Modelleerimine ja meetodika arendus

Käesolevas töös uuriti võimalusi parandada paleogeograafiliste rekonstruktsioonide kvaliteeti inimtekkeliste pinnavormide ning modelleerimise ajahetkest nooremate setete eemaldamise kaudu LIDAR kõrgusmudelist. Olulisel määral vähendas modelleerimisel

tekkivat „müra“ välja töötatud nooremate antropogeensete pinnavormide eemaldamismeetod, mis võrreldes varem tehtud rekonstruktsioonidega (Habicht, 2012) tagas käesolevas töös märgatavalt puhtamad ja loomulikumad ajastutele vastavad pinnad (joonis 2). Seejuures on oluline, et antropogeensete vormide eemaldamisel säilunud ümbritsevad pinnavormid (sh. jõesängid) originaalkujul, mis võimaldab täpsemalt lahti seletada piirkonna arengulugu (Chen *et al*, 1996; Rutzinger *et al*, 2011; De Smedt *et al*, 2013) ning uurida arheoloogilisest seisukohast huvi pakkuvaid piirkondi.

Detailne LiDAR-kõrgusmudel võimaldas tuvastada ja kirjeldada erinevaid piirkonna pärajääaegse arengu käigus tekkinud pinnavorme, mida varasemates, Nõukogude topokaartidel põhinevates, rekonstruktsioonides (nt. Rosentau *et al*, 2011) ei olnud võimalik tuvastada. Maa-ameti DEM'ist tulid välja näiteks Rannametsa luidete põhjaotsast välja kasvavad maasäärejätked, paleokanalid ning ümberpuhutud luited, mis aitavad piirkonna arengulugu paremini lahti seletada. Erinevatest ajastutest pärit mattunud orgaanikakihi ja nende dateeringud aitasid vältida näiteks Yu *et al* (2004) töös esinenud probleemi, kus dateeritava materjali puudumisel ei olnud paiguti võimalik erinevad rannamoodustisi eri staadiumitega kokku viia.

Arengulugu

Kõige ulatuslikumalt tungis vesi sisemaale Antsülusjärve transgressiooni käigus, mille kõrgeim rannavöönd paikneb Soometsa luidete piirkonnas (joonis 5a). Antsülusjärve liivade alla mattunud Võidu läbilõike orgaanikakihist dateeritud kõige noorem puit on vanusega ca. 10 400–10 250 aastat (tabel 1). Ligi 4 m madalamal ab-soluutkõrgusel paikneva Lemmeoja läbilõike mattunud orgaanikakihi kõige nooremad puidu ja turba dateeringud jäävad ajavahemikku 10 500–10 160 aastat (tabel 1), mis viitab kiirele Antsülusjärve transgressioonisündmusele. Antsülusjärve transgressiooni algust on hinnatud kõige täpsemalt Läänemere lõunaosas, kus

transgressiooni tulemusena uppunud männitüved on vanusega 11 000–10 500 aastat (Andren *et al*, 2011). Dateeritud materjali põhjal võib hinnata Antsülusjärve transgressiooni toimumise ajavahemikuks uuringualal ligi 10 700–10 200 aastat tagasi. Antsülusjärve regressiooni käigus langes veetase uurimuspiirkonnas kiiresti (joonis 1c) kuni 10 meetrit madalamale ning on võimalik, et selle käigus paljastus tänapäevaks üleujutatud maad (joonis 5b).

Sel perioodil võis sarnaselt Pärnu jõe ääres asuva 10 800–10 200 aasta vanuse Pulli asulaga (Veski *et al*, 2005) leiduda ka käesoleva uurimisala piires kiviaja asulaid. Kuna üheks levinumaks kiviaja asulakohtade paiknemiskohaks on jõesuudmed (Fischer, 2007), millele andis tunnistust ka Pulli asula paiknemine sel perioodil (Rosentau *et al*, 2011), siis kõige tõenäolisemad asulakohtade piirkonnad Tolkuse-Rannametsa piirkonnas on Häädemeeste, Reiu ja Ura jõgede toonased suudmealad.

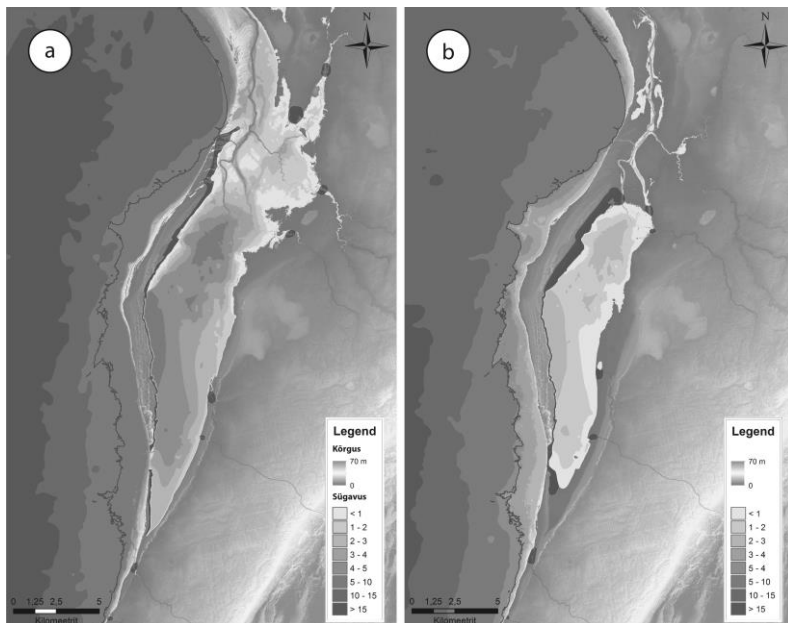
Modelleerimise tulemused näitavad, et Litoriinamere transgressiooni-eelsed rannikualad võivad tänapäeval paikneda mitme meetri sügavusel merepõhjas (joonis 5b). Seega ei saa välistada, toonase rannavööndi ääres, eriti just maaninade otstes, ja jõesuudmetes võis olla ka muinasasulaid (Fischer, 2007).

Läänemere lõunaosas algas ulatuslikum mere pealetung ja soolsuse kasv umbes 8600–8500 aastat tagasi (Berglund *et al*, 2005; Andren *et al*, 2011). Littoriina transgressioon käesoleval uurimisalal oli võrdlemisi kiire, tõustes Rannametsas kindlaks tehtud umbes 8500–8400 aastat tagasi (tabel 1) olnud 2–2,5 meetri tasemelt perioodil 8500–7800 aastat tagasi 6–7 meetrit peale Vaskrääma piirkonnas, kus Litoriinamere maksimumtaseme rekonstruktsioonile tuginedes (joonis 5c) võib oletada, et vesi enam olulisel määral kõrgemale ei tõusnud. Litoriinamere transgressiooni maksimumulatus, mis Pärnu piirkonnas kulmineerus ca. 7500–7300 aastat tagasi (Veski *et al*, 2005), jäi võrreldes Antsülusjärve transgressiooniga tagasihoidlikumaks, kuid meri tungis siiski võrreldes tänapäevaga (joonis 5f) mitmeid kilomeetreid sügavamale sisemaale.

Luidestunud maasäärte ja nende taguste laguunide teke on iseloomulik transgressioonidele (Hoffmann *et al*, 2005; Bird, 2008), mida võib kohata tänapäeval Läänemere lõunaosas Saksamaa, Poola ja Leedu rannikualadel, kus meretaseme tõusu tingimustes jätkub laguunisüsteemide teke ja areng. Seega on tõenäoline, et just Litoriinamere transgressiooni tingimustes ajavahemikul 8200–7300 aastat tagasi kujunes Rannametsa alale Tolkuse laguuni avamerest eraldav hiljem pealt luidestunud maasäär, mis on kasvanud järkjärguliselt põhja suunas ning mille taha tekkis poolsuletud laguun. Litoriinamere kõrgeim rannavööd kujunes Pärnu lahe piirkonnas ligi 7300 aastat tagasi (Veski *et al*, 2005), mil merevee tase uurimusl alal oli kerkinud võrreldes tänapäevasega kuni 10 meetrit kõrgemale (joonis 5c), ning arvatavasti sellel ajal asendus turba vahekihtidega liivade settimine jütja settimisega Tolkuse nõos. Tekkinud laguunil oli kaks ühenduskohta merega – laiem ja madalam nõo põhjaotsas ning kitsam ja sügavam nõo lõunaosas, tänapäevase Rannametsa jõe ja küla piirkonnas. Laguunse riimveelise keskkonna tekkele ja mereühenduse püsimisele viitavad ka Tolkuse nõost vastavalt Litoriinamere transgressiooni aegsetest liivadest ja laguunis settinud jütjast leitud ränivetikad (Rosentau *et al*, 2010).

Transgressiooni käigus tekkinud laguunisüsteem hõlmas tõenäoliselt endas hulgaliselt alasid, mille sarnastes on mujal Eestis leitud kiviaja asulakohti (Rosentau *et al*, 2011; 2013). Joonisel 6a on kirjandusele tuginedes välja pakutud potentsiaalsed kiviaja asustusega piirkonnad, mis kaldaäärsetel aladel enamasti paiknesid rannajoonest 1–3 meetrit kõrgemal (Jussila & Kriiska, 2004; Rosentau *et al*, 2013). Nagu on juba eelnevalt mainitud, paiknevad kiviaja asulakohad tihti jõgede suudmetes (nt. Sindi-Lodja III ca. 7000–4000 aastat tagasi (Rosentau *et al*, 2011) ja ca. 6000 aasta vanune Lommi (III) asulakoht (Rosentau *et al*, 2013)), kus on korraga tagatud ligipääs merele kui ka mageveele. Laguunide äärtes paiknevad asulakohad paiknevad sageli laguuni merest eraldava rannavalli või luitestiku maapoolsel nõlval, põhjalikult uuritud näideteks sellise asupaigaga asulakohtade puhul on Narva-Luuga piirkonnas

Sininõmme luidete jalamil paiknevad erinevad 4100–7100 aasta vanused Riigiküla kiviaja asulakohad (Rosentau *et al*, 2013). Laguunide mereühendusi ümbritsevate alade potentsiaali kiviaja asulate leidmisel on rõhutanud Fischer (2007) ning sellest lähtuvalt võib asulaid leida nii Rannametsa luidete põhja- kui ka lõunaotsas. Tolkuse laguuni ümber olevad kiviaegsed asustusjäljed võivad olla paljudes kohtades, eriti just luidete jalamil, tänapäevaks turba alla mattunud, kuna veepiiri vahetus läheduses asunud kiviaja asustuse jaoks soodsad kohad on mitmel pool peale kasvanud raba poolt kaetud kuni 3 meetri paksuse turbakihi.



Joonis 6. Võimalikud kiviaja asulakohtade paiknemise piirkonnad (punasega) Tolkuse laguuni ümbruses (a) Litoriinamere maksimumtaseme ja (b) laguuni isoleerumise ajal.

Pärast Litoriaanmere transgressiooni kulmintasiooni hakkas mere-tase langema ning modelleerimise tulemused viitavad sellele, et esimesena sulgus madalam põhjapoolne ühendus, seda nii maa-säärte kasvamise kui ka kiirema maakerke tõttu ning 6000 aastat tagasi oli basseini põhjaosa merest eraldatud vähemalt 1,5 km laiuse maaribaga (joonis 5d). Kauem püsinud lõunapoolne mere-ühendus Rannametsa kandis sulgus lõplikult tõenäoliselt alles um-bes 4000 aastat tagasi, mil algas laguuni soostumine. Järgnevalt jätkus meretaseme langus ja maakerge kuni meri oli taandunud tänapäevastesse piiridesse ning Tolkuse rabasse oli akumulunud enam kui 5 m tüsedune turbakiht.

Kuna Pärnu lahe põhjaosas on leitud mitmeid nooremaid, 4000–7000 aasta vanuseid, kiviaja asulakohti (Lemmetza I-II, Malda, Jõekalda, Sindi-Lodja III (joonis 1b)), siis võib eeldada, et vähemalt sama kaua püsis asustus ka Tolkuse-Rannametsa piirkonnas. Kind-lasti toimusid seoses laguuni sulgumise ja kuivenemisega muutu-sed asulate paiknemises, kõige pikemalt võisid asulad samal kohal paikneda laguuni lõunapoolse mereühenduse piirkonnas, kus oli hõlbus ligipääs merele (joonis 6b). Lisaks olid tõenäoliselt asulad sarnaselt Pärnu lahe põhjaosaga ka jõgede suudmetes.

Kokkuvõte

Läänemere rannikuvöönd on pärastjääagse arengu jooksul olnud pidevas muutuses ning iga muutus on jätnud oma jälje nii mere-äärsesse reljeefi kui ka setetesse. Käesolevas töös uuritud Tolkuse-Rannametsa piirkond on aeglasema maakerkega rannikuala Eestis, mistõttu võibselles piirkonnas esineda alasid, mis pärast Lääne-mere varasemas ajaloos olnud madalseise ei ole uuesti merepinnast kõrgemale kerkinud.

Käesolevas töös rakendati GIS-vahendeid selleks, et geomorfoloogi-liste ja sedimentoloogiliste andmete põhjal selgitada välja Tolkuse-Rannametsa piirkonna pärastjääagse arengulugu ning luua ranna-

vööndiga tihedalt seotud kiviaja asustuse uurimiseks sobivad paleogeograafilised rekonstruktsioonid. Paleomaastike modelleerimise juures olid olulisel kohal tänapäevaste pinnavormide pool-automatiseeritud eemaldamine ning rekonstrueeritavast ajastust nooremate setete eemaldamine.

Paleogeografilistele rekonstruktsioonidele, geoloogilisele andmes- tikule ja dateeringutele tuginedes kirjeldati piirkonna viimase 10 000 aasta arengulugu ning pakuti välja potentsiaalseid muinas- asustuse jaoks sobilikke piirkondi, millest mitmed võivad olla täna- päevaks mattunud turba alla. Käesolevas töös loodud paleo-geo- graafilised rekonstruktsioonid pakuvad uusi võimalusi kiviaja inimasustuse ja selle dünaamika uurimiseks.

Kirjandus

Andrén, T., Björck, S., Andrén, E., Conley, D., Zillén, L., Anjar, J. 2011. The Development of the Baltic Sea Basin During the Last 130 ka. Rmt: Harff, J., Björck, S., Hoth, P. (toim.), *The Baltic Sea Basin, Central and Eastern European Development Studies*, p. 74-97.

Bates, M. R., Bates, C. R. 2000. Multidisciplinary Approaches to the Geoarchaeological Evaluation of Deeply Stratified Sedimentary Sequences: Examples from Pleistocene and Holocene Deposits in Southern England, United Kingdom. *Journal of Archaeological Science*, 27, p. 845-858.

Bates, M. R., Bates, C. R., Whittaker, J. E. 2007. Mixed Method Approaches to the Investigation and Mapping of Buried Quaternary Deposits: Examples from Southern England. 2007. *Archaeological Prospection*, 14, p. 104-129.

Berglund, B. E., Sandgren, P., Barnekow, L., Hannon, G., Jiang, H., Skog, G., Yu, S.-Y. 2005. Early Holocene history of the Baltic Sea, as reflected in coastal sediments in Blekinge, southeastern Sweden. *Quaternary International*, 130, p. 111-139.

Bird, E. C. F. 2008. *Coastal Geomorphology. Second Edition*. p. 223-247, 311-331.

Björck, S. 1995. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0-8.0 ka BP. *Quaternary International*, 27, p. 19-40.

Björck, S. 2008. The late Quaternary development of the Baltic Sea basin. *Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin*, SpringerVerlag Berlin Heidelberg, p. 398-407.

Boggs, Jr., S. 2006. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Fourth Edition.* p. 322-326.

Cattaneo, A., Steel, R. J. 2003. Transgressive deposits: a review of their variability. *Earth-Science Reviews*, 62, p. 187-228.

Chen, W., Xuanqing, Z., Naihua, H., Yonghong, M. 1996. Compiling the map of shallow-buried palaeochannels on the North China Plain. *Geomorphology*, 18, p. 47-52.

De Smedt, P., Meirvenne, M., Davies, N. S., Bats, M., Saey, T., De Reu, J., Meerschman, E., Gelorini, V., Zwertvaegher, A., Antrop, M., Bourgeois, J., De Maeyer, P., Finke, P. A., Verniers, J., Crombé, P. 2013. A multi-disciplinary approach to reconstructing Late Glacial and Early Holocene landscapes. *Journal of Archaeological Science*, 40, p. 1260-1267.

Ekman, M. 1996. A consistent map of the postglacial uplift of Fennoscandia. *Terra Nova*, 8(2), p. 158-165.

Fischer, A. 2007. Coastal fishing in Stone Age Denmark – evidence from below and above the present sea level and from human bones. Rmt: Milner, N., Bailey, G., Craig, O. (toim.), *Shell middens and coastal resources along the Atlantic facade*, p. 54-69.

Habicht, H. L. 2012. LiDAR-kõrgusandmete kasutamine Läänemere paleogeograafiliste rekonstruktsioonide koostamisel Tolkuse-Rannametsa piirkonna näitel: *bakalaureusetöö geoinformaatikas*. Tartu Ülikool, Tartu.

Heiri, O., Lotter, A. F., Lemcke, G. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25, p. 101-110.

Hoffmann, G., Lampe, R., Barnasch, J. 2005. Postglacial evolution of coastal barriers along the West Pomeranian coast, NE Germany. *Quaternary International*, 133-134, p. 47-59.

Houmark-Nielsen, M., Kjær, K. H. 2003. Southwest Scandinavia, 40–15kyr BP: palaeogeography and environmental change. *Journal of Quaternary Science*, 18(8), p. 769-786.

- Hyvärinen, H., Raukas, A., Kessel, H. 1992. Mastogloia and Litorina Seas. Rmt: Raukas, A. and Hyvärinen, H. (toim.) *Geology of the Gulf of Finland*, p. 296–312.
- Jensen, J.B., Bennike, O., Witkowski, A., Lemke, W. & Kuijpers, A. 1999. Early Holocene history of the southwestern Baltic Sea: The Ancyclus Lake stage. *Boreas*, 28, p. 437–453.
- Jussila, T., Kriiska, K. 2004. Shore displacement chronology of the Estonian stone age, *Estonian Journal of Archaeology*, 8, p. 3–32.
- Kriiska, A., Hertell, E., Manninen M. A. 2011. Stone Age Flint Technology in South-Western Estonia: Results from the Pärnu Bay Area. Tuija Rankama (toim.) 2011. *Mesolithic Interfaces. Variability in Lithic Technologies in Eastern Fennoscandia. Monographs of the Archaeological Society of Finland*, 1, p. 64–93.
- Leverington, L. W., Teller, J. T., Mann, J. D. 2002. A GIS method for reconstruction of late Quaternary landscapes from isobase data and modern topography. *Computers & Geosciences*, 28, p. 631–639.
- Lima, L. G., Dillenburg, S. R., Medeanic, S., Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Tomazelli, L. J., Dehnhardt, B. A., Caron, F. 2013. Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 42, p. 27–38.
- Miotk-Szpiganowicz, G., Zachowicz, J., Uścínowicz, S. 2010. Palynological evidence of human activity on the Gulf of Gdańsk coast during the late Holocene. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58, p. 1–10.
- Neal, A. 2004. Ground-penetrating Radar and Its Use in Sedimentology: Principles, problems and progress. *Earth Science Reviews*, 66, p. 261–330.
- Orru, M. 1995. *Eesti Turbasood*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, p. 141.
- Orru, M., Ramst, R., Širokova, M., Valdre, M. 1986. *Pärnu rajooni turba ja saprofeeli otsingulis-hinnanguliste tööde aruanne 1983–1986*, 1 köide., ENSV Geoloogia Valitsus, Keila. p. 135–136.
- Raukas, A. 2000. Rapid changes of the Estonian coast during the late glacial and Holocene. *Marine Geology*, 170, p. 169–175.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg,

A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55, p. 1869-1887.

Roberts, A. 2001. Curvature Attributes and their Application to 3D Interpreted Horizons. *First Break*, 19 (2), p. 85-100.

Rosentau, A., Hang, T., Heinsalu, A., Kohv, M. 2010. Holocene development of the Baltic Sea in Tolkuse area, SW Estonia. Ice, water, humans - Quaternary landscape evolution in the Peribaltic region, p. 64-65.

Rosentau, A., Muru, M., Kriiska, A., Subetto, D. A., Vassiljev, J., Hang, T., Gerasimov, D., Nordqvist, K., Ludikova, A., Lõugas, L., Raig, H., Kihno, K., Aunap, R., Letyka, N. 2013. Stone Age settlement and Holocene shore displacement in the Narva-Luga Klint Bay area, eastern Gulf of Finland. *Boreas*. 42(2), p. 912-931.

Rosentau, A., Veski, S., Kriiska, A., Aunap, R., Vassiljev J., Saarse, L., Hang, T., Heinsalu, A., Oja, T. 2011. Palaeogeographic Model for the SW Estonian Coastal Zone of the Baltic Sea, Rmt: Harff, J., Björck, S., Hoth, P. (toim.), *The Baltic Sea Basin, Central and Eastern European Development Studies*, p. 165-188.

Rutzinger, M., Höfle, B., Vetter, M., Pfeifer, N. 2011. Digital Terrain Models from Airborne Laser Scanning for the Automatic Extraction of Natural and Anthropogenic Linear Structures. Rmt: Smith, M., Paron, P., Griffiths, J. (toim.), *Geomorphological Mapping: Methods and Applications*, Elsevier B.V. 2011, p. 475-488.

Saarse, L., Vassiljev J. 2010. Holocene shore displacement in the surroundings of Tallinn, North Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 59, 3, p. 207-215.

Zvelebil, M. 2006. Mobility, contact, and exchange in the Baltic Sea basin 6000-2000 BC. *Journal of Anthropological Archaeology*, 25, 178 – 192.

Thomas, J., Joseph, S., Thrivikramji, K. P., Arunkumar, K. S., 2014. Sensitivity of digital elevation models: The scenario from two tropical mountain river basins of the Western Ghats, India. *Geoscience Frontiers*, p. 10-27.

Veski, S., Heinsalu, A., Klassen, V., Kriiska, A., Lõugas, L., Poska, A., Saluäär, U. 2005. Early Holocene coastal settlements and palaeo-environment on the shore of the Baltic Sea at Pärnu, southwestern Estonia. *Quaternary International*, 130, p. 75-85.

Yu, S.-Y., Berglund, B. E., Andrén, E., Sandgren, P. 2004. Mid-Holocene Baltic Sea transgression along the coast of Blekinge, SE Sweden – ancient lagoons correlated with beach ridges. *GFF*, 126(3), p.257-272.

Summary

THE PALAEOGEOGRAPHIC RECONSTRUCTIONS OF THE ANCYLUS LAKE AND THE LITTORINA SEA IN TOLKUSE-RANNAMETSA AREA BASED ON SEDIMENTOLOGICAL AND AERIAL LASER SCANNING DATA

The use of ever more accurate geophysical (e.g. ground-penetrating radar) and remote sensing (e.g. LiDAR) methods combined with classical geological methods like manual coring has opened new opportunities for describing palaeolandscapes. The present study applies the aforementioned combination of methods for describing the post-glacial development of the Tolkuse-Rannametsa area.

GIS based methods were used for palaeolandscape modelling of five distinct post-glacial development stages of Tolkuse-Rannametsa area. Important aspects in modelling process were: the semi-automatic removal of relatively young anthropogenic features from digital terrain model (DEM) for which an optimal method was developed and tested; the removal of sediments which were younger than the reconstructed era and taking into account the differential post-glacial glacio-isostatic uplift within the study area by using interpolated water-level surfaces.

The palaeogeographic reconstructions created in this study offered new insight to the post-glacial development of Tolkuse lagoon and Tolkuse-Rannametsa area in general. Detailed descriptions of coastline changes and Tolkuse lagoon formation and isolation were given, furthermore the possible locations of Meso- and Neolithic Stone Age settlements were analysed.

RÄNIVETIKATE RUUMILINE JAOTUS EESTI RABADES

Liisa Umbleja, Martin Küttim & Liisa Puusepp

Tallinna Ülikool, Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut

Tallinna Ülikool, Ökoloogia Instituut

liisa.umbleja@tlu.ee

Sissejuhatus

Soode tähtsus on tänapäeval laialdaselt tunnustatud ja mitmetes riikides on nende kaitseks ning taastamiseks rohkelt meetmeid rakendatud. Sooökosüsteemid hõlmavad hulga erinevaid elupaiku ning on olulised bioloogilise ja maastikulise mitmekesisuse kandjad. Nad on seotud ohustatud liikide säilimisega, veevarude kvaliteetiga ja veekogude hüdroloogiliste terviklikkusega, kasvuhoonegaaside sidumisega ja CO₂ bilanssiga. Samuti on sood geokeemiliseks ja looduslikuks arhiiviks. Lisaks on sood seotud ühiskonna sotsiaal-majanduslike, kultuuriliste ja rekreatiivsete vajadustega. (Joosten & Clarke, 2002; Paal & Leibak, 2013)

Soodes toimuvate muutuste hindamisel on põhiliselt uuritud taimkattes toimuvaid muutusi, kuid mitmed soon- ja sammaltaimede liigid on tolerantseid lühiajaliste häiringute suhtes. Samas on leitud, et mitmete ainuraksete organismide indikatsiooniomadused on märksa paremad kui soontaimedel ja sammaldel. Keskkonnatingimuste suhtes tundlikud organismid on ka mikroskoopilised ränivetikad ehk diatomeed (*Bacillariophyceae*) (5–200µm), kelle eluiga on oluliselt lühem ning seetõttu reageerivad nende kooslused keskkonnas toimuvatele muutustele märksa kiiremini. (Batarbee *et al*, 2001; Smith & Flocks, 2010)

Ränivetikad on mitmetes keskkonnauuringutes laialt kasutatavad ning ühed enam kasutatavatest bioloogilistest indikaatoritest erinevates veelistes keskkondades toimuvate muutuste jälgimiseks.

Põhiliselt on ränivetikaid ja nende ökoloogilisi eelistusi uuritud järvedest, jõgedest ja rannikumerest, kuid sarnaseid töid on soodes elavate ränivetikakoosluste kohta vähe tehtud (Stevenson & Pan, 1999; Smol & Cumming, 2000). Sood, eelkõige nende mikroreljeefi madalad osad, on ränivetikatele ideaalsed elupaigad (Stevenson, 1996; Smol & Stoermer, 2010). On täheldatud, et ränivetikate kasv on kõige kiirem niisketes ja happelistes keskkondades. Ränivetikate kooslused soodes, nende liigiline rohkus ja mitmekesisus võivad olla seotud konkreetsete kasvukohtade niiskustingimustega, aga ka erinevate sootüüpidega. Seetõttu annavad soode ränivetikakooslused olulist teavet soo arengu ja seisundi kohta. (Smol, 1990; Stevenson *et al*, 1996; Gilbert *et al*, 2008)

Seni on ränivetikapõhiseid soo-uurimusi tehtud põhiliselt Antarktika ümbruse saartelt (Van de Vijver & Beyens, 1997; Van de Vijver *et al*, 2001) või mägistest piirkondadest nii Lõuna-Ameerikast (Mataloni, 1999), Aasiast (Kulikovskiy *et al*, 2009, Watabe *et al*, 2000) kui ka Kesk-Euroopast (Nováková, 2007; Poulíčková *et al*, 2004; 2013; Kapetanovic *et al*, 2011), kuid võrreldav informatsioon parasvöötme tasaste alade soode kohta on vähene. Kuna Euroopas on soid vähe säilinud ja enamus neist asub mägedes, siis pakub Eesti sooderohkus häid võimalusi uurida erinevate sootüüpide ränivetikakooslusi. Parem arusaamine soode ränivetikakoosluste ja neid mõjutavate keskkonnanäitajate kohta parandab ränivetikate kasutusvõimalusi bioindikaatoritena nii keskkonnaseisundi hindamisel kui ka baasinformatsioonina paleoökoloogilistes rekonstruktsioonides (Gaiser & Rühland, 2010). Seni on Eesti soode ränivetikakooslustest väga vähe teada. M. Pork (1959) on uurinud Endla rabade vetikatefloorat (s.h. ka ränivetikad) ning Sheshukova-Poretskaya (1962). aastal on läbi viinud paleoökoloogilise töö, mille käigus uuriti kolme Pärnumaa raba.

Antud uurimuse eesmärkideks on selgitada, millisel määral sõltuvad rabades elavad ränivetikakooslused (1) **kasvukohast** (kraavid, rabamets, lageraba) ja (2) **lokaalsetest kasvukoha keskkonningimustest**.

Materjal ja metoodika

Ränivetikate ruumilise jaotuse selgitamiseks rabades valiti kolm eriilmelist uuringuala (joonis 1, tabel 1) – Männikjärve, Tolkuse ja Pääsküla raba. 2014. aasta mais koguti juhusliku valiku teel uuringualade erinevatest kasvukohtadest (kraavid, rabamets, lageraba) (joonis 2) samblaproovid ränivetikaanalüüsiks lähtuvalt rabapinna mikroreljeefist (mättad, lohud, peenrad, älved). Välitööde ajal mõõdeti ja hinnati mitmeid keskkonnanäitajad: soovee pH, temperatuur, elektrijuhtivus, veetase ja kasvupaiga suhteline varjutatus (%). Välitööde käigus tehti kindlaks millised ja mitu inim mõju tegurit uuringualal esines ning hinnati nende summaarset mõju ökosüsteemile. Laboratoorse töö käigus määrati samblaproovi moodustavad turbasambla-liigid. Leidmaks sammalde niiskussisaldust kuivatati ja kaaluti välitöödel kogutud proovid. Ränivetikaanalüüsiks koguti erinevatest kasvukohtadest kokku 64 samblaproovi, mille edasisel töötlemisel kasutati sammaldele kohandatud standardmetoodikat (Batarbee *et al*, 2001). Proovidest orgaanilise materjali eemaldamiseks kuumutati neid 33% vesinikperoksiidiga (H_2O_2), millele lisati kaalium dikromaati ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Karbonaatide eemaldamiseks lisati kuumutatud proovidele 10% soolhapet (HCl).



Joonis 1. Uuringualade asukohad.

Tabel 1. Uuringualade kirjeldused (Kont *et al*, 2007; Orru, 1995; Mehikas & Muuga, 2010). Inimmõju tegurid on tuvastatud autorite poolt välitööde käigus.

	Männikjärve	Tolkuse	Pääsküla
Koordinaadid	N 58° 52' E 26° 14'	N 58° 5' E 24° 28'	N 59° 21' E 24° 39'
Pindala	208 ha	5503 ha	946 ha
Põhilised inimmõjud	Kuivendus-kraavid, aktiivne matkaraja kasutamine	Kuivendus-kraavid, turba kaevandamine, aktiivne matkaraja kasutamine, üleeuroopalise tähtsusega maantee ääres	Õhusaaste, läheduses on endine prügila, turba kaevandamine, kuivenduskraavid, metsaraie
	Männikjärve	Tolkuse	Pääsküla

Valmistatud püsipreparaate analüüsiti 1000-kordse suurenduse juures (mikroskoop Olympus BX41), kus optiliste omaduste parandamiseks kasutati immersioonõli (nd=1,516). Preparaatidelt loeti vähemalt 400 ränivetikarakku, mis määrati madalaima võimaliku taksonoomilise tasemeni (st. perekond, liik, teised) kasutades määrajaid Krammer & Lange-Bertalot (1986-1991), Hofmann & Krammer (2000, 2002), Lange-Bertalot (2001), Werum & Lange-Bertalot (2006) ja Lange-Bertalot *et al* (2011).



Joonis 2. Vaade Männikjärve uuringualale (Autor: Liisa Umbleja)

Andmeanalüüsil kasutati andmete esitamiseks ning lihtsamateks arvutusteks MS Excel 2010. Ordinatsioonanalüüsi abil (*canonical correlation analysis*; CCA) tehti kindlaks liigi- ja mõõdetud keskkonnafaktorite vahelised statistilised seosed. Ordinatsioonanalüüsiga kontrolliti proovideks kasutatud turbasamblaliikide ning nendelt loendatud ränivetikaliikide esinemise suhet. Ordinatsioonanalüüs teostati programmiga CANOCO 4.52 (ter Braak, 1986; 1987).

Tulemused ja arutelu

Uuringualade rabavee pH ja elektrijuhtivuse näitajad kõikides uuringualade mõõtepunktides olid madalad (tabel 2), vaid üksikutes mõõtekohtades (peamiselt kraavides) tõusid nii pH kui ka

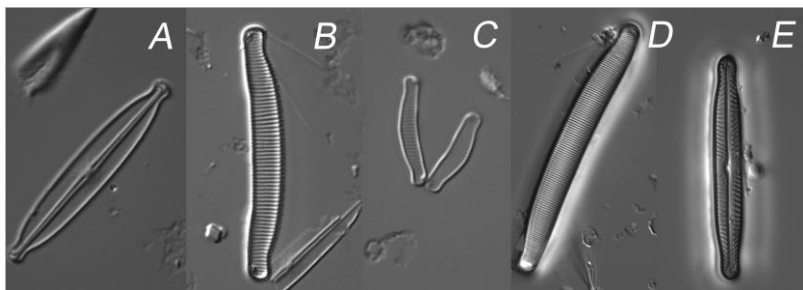
elektrijuhtivuse väärtused. Kraavide vee kõrgemad pH ja elektrijuhtivuse näitajad võivad olla seotud sellega, et kraavipõhi on kohati nii sügaval turbas, ulatub madalsooturbasse, mistõttu toimub vee sissevool alumistest turbakihtidest, kus mineraalainete hulk on suurem. Kraavide ümbruses on kiirenenud ka mineraaliseerumine, mis samuti tõstab vee elektrijuhtivust. Tüüpilised raba taimeliigid on kohastunud madala mineraalainete kontsentratsiooniga rabavees (hinnatud elektrijuhtivuse abil) ja väga happeliste tingimustega, mistõttu suurenenud pH ja elektrijuhtivuse väärtused võivad oluliselt mõjutada kraaviäärse taimestiku liigilist koosseisu. Ka ränivetikate puhul on täheldatud, et nende ruumiline jaotus on tugevalt mõjutatud keskkonna pH ja elektrijuhtivusest (Pouličková *et al*, 2013). Hargan jt (2014) näitasid, et pH ja veetase olid põhilised ränivetikakoosluste muutusi määravad keskkonnatingimused. Nende tulemused näitasid, et ränivetikate liigilist koosseisu mõjutavad nii sootüüp kui ka kasvukohatüübi lokaalsete mikroolupaikade mitmekesisus.

Tabel 2. Mõõdetud keskkonnafaktorite vahemikud uuringualadel.

	Männikjärve	Tolkuse	Pääsküla
pH	3,2...4,1	3,4...4,7	3,5...5,4
Elektrijuhtivus (µScm⁻¹)	32...56	10...54	31...118
Suhteline varjutatus (%)	0...80	0...60	0...90
Veetase (cm)	-5...50	-5...30	0...50

Kõikidelt uuringualadelt kokku 140 liiki ränivetikaid, mis kuulusid 39 perekonda. Joonisel 3 on toodud valik uuringualadelt leitud ränivetikatest. Kõige arvukamad liigid olid *Eunotia paludosa* (joonis 3C), *Kobayasiella parasubtilissima* (joonis 3A), *Achanthidium minutissimum*, *E. bilunaris*, *Pinnularia subcapitata* (joonis 3D) ja

E. fennica. **Männikjärve** rabast määrati 91 liiki ränivetikaid. Kõige levinumad olid *E. paludosa*, mis moodustas kõikidest loetud rakukestadest 57%. Järgnesid *K. parasubtilissima* (16%) ja *E. fennica* (0,05%). **Tolkuse** rabast leiti 73 erinevat liiki. Domineeris *E. paludosa* (60%), kellele järgnesid *K. parasubtilissima* (13%) ja *A. minutissimum* (0,09%). **Pääsküla** rabast loendati kokku 57 liiki. Taaskord oli levinuim *E. paludosa* (60%), edasi *E. bilunaris* (17%), *P. subcapitata* (11%) ja *P. substreptoraphe* (8%).



Joonis 3. Rabade ränivetikad. Vasakult: *Kobayasiella parasubtilissima*, *Aulacoseira alpigena*, *Eunotia paludosa*, *Eunotia lapponica*, *Pinnularia subcapitata*. (Autor: Liisa Umbleja)

Vaadeldes erinevate uuringualade põhilisi inimõjusid (tabel 1) võib väita, et Pääsküla raba on kõige suurema ning Männikjärve kõige väiksema inimõjuga. Ka Sillasoo *et al* (2009) kinnitab, et olenemata teatavatest inimtegevusest tingitud muutustest on Männikjärve raba püsinud looduslikus seisundis. Samas on Pääsküla raba väga tugevalt mõjutatud nii oma asukoha tõttu, paiknedes Tallinna linna piirides, kui ka raba ümber toimunud ning toimuvast majandustegevusest (Mehikas & Muuga, 2010).

Võrreldes uuringualade inimõju ja ränivetikakooslusi, oli liigiline mitmekesisus suurem rabades, kus inimtegevuse mõju oli madal. Suurem inimõju toob rabades kaasa elupaikade kadumise. Näiteks Pääsküla rabas on kraavitamine veetaset nii palju alanda-

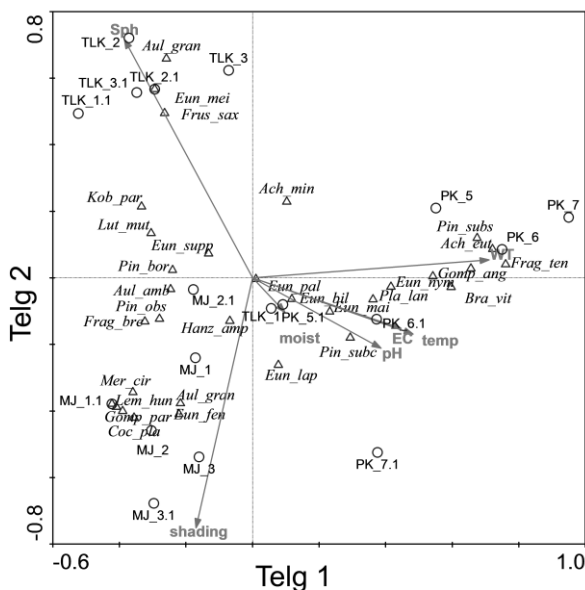
nud, et rabamaastikult on kadunud laukad. Kunagiste laugaste asukohad on älvestunud ning senine lageraba on metsastunud, muutes sellega oluliselt kogu ökosüsteemi. Samuti suurendavad Tallinna linna lähedusest tingitud saasteained (õhusaaste, prügiladestamine) Pääsküla raba keskkonnatingimusi, mis samuti mõjutab rabaökosüsteemi (Mehikas & Muuga, 2010). Seoses lisanduva aluselise õhusaaste ja kraavitusest tingitud lisatoitainetega olid Pääsküla raba elektrijuhtivus ja pH väärtused kõrgemad kui teistel uuringualadel. Kõrgenenud pH ja kuivenduse tagajärjel ilmuvad rabadesse mittetüüpilised, tavaliselt metsas või niidul kasvavad taimed (Mehikas & Muuga, 2010), toimuvad muutused turbasammalde koosseisus ja katvuses. Sarnast tendentsi võib tähendada ka antud uurimuses leitud ränivetikakoosluste juures, kus rohkem Pääsküla rabas oli tüüpiliste rabaliikide arvukus võrreldes teiste uuringualadega väiksem ning suurenenud oli rabadele ebatüüpiliste perekondade ja liikide osatähtsus.

Varasemates ränivetikapõhistes soo-uurimustes on täheldatud, et mõned ränivetikaliigid eelistavad elada kindlatel samblaliikidel (Pouličková *et al*, 2004), kuid käesoleva uurimuse tulemused ei näidanud statistiliselt olulisi seoseid ränivetikate elupaiga eelistustes konkreetsetel turbasamblaliikidel.

Ränivetikate ruumiline jaotus uuringualadel erinevates kasvukohtades (kraavid, rabamets, lageraba) oli erinev. Kuivendus-kraavide läheduses oli ränivetikaisendite arvukus suhteliselt kõrge, kuid liigiline mitmekesisus oli madal. Samuti ei täheldatud CCA tulemustes kraavidele iseloomulike ränivetikakoosluste ja mõõdetud keskkonnaparametrite vahel olulisi seoseid. See võib olla seotud kraavide ja nende lähiümbruse keerukamate toimismehhanismidega, mida antud uuringus ei käsitletud.

Rabametsa-uuringualadel oli ränivetikate liigiline mitmekesisus võrreldes kraavide kooslustega kõrgem, kuid arvukus oli madalam. Rabametsa CCA tulemustest (joonis 4) on näha, et enim mõjutasid ränivetikakooslusi varjutatus ja veetase. Varjutatuse suur mõju võib

tuleneda sellest, et metsaaladel oli valgustingimuste varieeruvus uuritud kasvukohtades kõige suurem ning kohati olid proovivõtukohad küllaltki varjus, mistõttu võis see ränivetikate kasvu limiteerida. Samuti võib mõõdukas varjutatus olla ränivetikate mitmekesisust soodustav tegur, sest varjulisemad kasvukohad on üldjuhul niiskemad. Niiskus on aga ränivetika eluks väga oluline. Varjulisemates proovikohtades esinesid kosmopoliitsed ning poolniisketele kasvukohale küllaltki tavalised liigid. Veetasemega olid rabametsas pigem seotud sellised ränivetikaliigid, mis eelistavad elada madala pH-ga keskkonnas, nagu ka rabades. Sellisteks liikideks on näiteks *Pinnularia subcapitata* (Krammer, 2000) ja *Eunotia nymmaniana* (Lange-Bertalot *et al*, 2011). Samuti leiti rabametsades mitmeid ketasränivetikaid (näiteks *Aulacoseira alpigena*, joonis 3), mida on seni kirjeldatud kui eluks vaba vett vajavaid vetikaid. Hargan jt (2014) pakkusid välja, et selliste liikide esinemine soos on seotud mitte vaba vee olemasoluga, vaid sellega, et see liik talub hästi vähese valgusega tingimusi. Üllatuslikult ei omanud proovikohtade pH ja elektrijuhtivused statistiliselt olulist mõju, samuti ei mõjutanud nad oluliselt ka rabametsas esinevaid ränivetikakooslusi. Põhjus võib olla pH (3,93...4,04) ja elektrijuhtivuse (44,4...79,0 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$) kasvukohasiseses väikeses varieeruvuses, mistõttu ränivetikakooslustes eristumist ei ilmnenud.



Joonis 4. CCA tulemused rabametsas. Ringidega on tähistatud proovikohad: MJ – Männikjärve, TLK – Tolkuse, PK – Pääsküla. Nooltega on välja toodud mõõdetud keskkonnaparameetrid (shading – varjutatus, moist – samblaproovide niiskussisaldus, EC – elektrijuhtivus, WT – veetase, Sph – turbasamblaliik). Kolmnurgad on antud ökotoobi enamlevinud räni-vetikaliigid. Liikide lühendid on: Ach_eut – *Achnanthidium eutrophilum*, Ach_min – *Achnanthidium minutissimum*, Aul_amb – *Aulacoseira ambigua*, Aul_gran – *Aulacoseira granulata*, Bra_vit – *Brachysira vitrea*, Coc_pla – *Cocconeis placentula*, Eun_bil – *Eunotia bilunaris*, Eun_fen – *Eunotia fennica*, Eun_lap – *Eunotia lapponica*, Eun_mai – *Eunotia maior*, Eun_mei – *Eunotia meisterioides*, Eun_nym – *Eunotia nymanniana*, Eun_pal – *Eunotia paludosa*, Eun_supp – *Eunotia superpaludosa*, Frag_bre – *Fragilaria brevistriata*, Frag_ten – *Fragilaria tenera*, Frus_sax – *Frustulia saxonica*, Gomp_ang – *Gomphonema angustum*, Gomp_par – *Gomphonema parvulum*, Hanz_amp – *Hantzschia amphioxys*, Kob_par – *Kobayasiella parasubtilissima*, Lem_hun – *Lemnicola hungarica*, Lut_mut – *Luticola mutica*, Mer_cir – *Meridion circulare*, Pin_bor – *Pinnularia borealis*, Pin_obs – *Pinnularia obscura*, Pin_subc – *Pinnularia subcapitata*, Pin_subs – *Pinnularia substreptoraphe* var *bornholmiana*, Pla_lan – *Planothidium lanceolatum*.

Lagerabas-uuringualadel oli ränivetikate liigiline mitmekesisus ja isendite arvukus üsna suur. Lageraba CCA tulemustest (joonis 5) on näha antud kasvukohale iseloomulike liikide ja sealsete keskkonnatingimuste vahelised seosed. Enamus leitud ränivetikatest kuulusid perekondadesse *Eunotia* ja *Pinnularia*, mis on iseloomulikud just rabades valitsevatele happelistele keskkonnatingimustele (Krammer, 2000; 2011; Kulikovsky, 2009). Lagerabas olid olulisemateks keskkonnaparameetriteks veetase ja niiskus. Need parameetrid on omavahel seotud: kõrgema veetaseme korral on ka ränivetikale kasvusubstraadiks olev turbasammal niiskem. Lagerabast kogutud ränivetikaproovide arvukus varieerus oluliselt sõltuvalt sambla niiskusest ja proovivõtukoha veetasemest. Mitmetes kuivades ning madala veetasemega proovikohtades loendatud ränivetikate arvukus väga madal. Seetõttu tuli nendest proovikohtadest valmistada mitu paralleelset preparaati, et statistiliseks analüüsiks vajaminev ränivetikate arv ($n=400$) kokku saada. Lagerabas omab varjulisus ränivetikakooslustele teatud mõju, kuid see ei ole nii oluline kui rabametsas. See võib olla seotud sellega, et võrreldes rabametsaga on lagerabas varjulisi mikrokasvukohti vähem. Ka selles kasvukohas ei olnud pH ja elektrijuhtivus ränivetikakooslusi oluliselt mõjutavad keskkonnaparameetrid, olgugi et mõõdetud väärtused varieerusid suuremas ulatuses (pH 3,19 kuni 4,65 ning elektrijuhtivus 10,4 kuni 55,9). Võib vaid oletada, et selliste pH väärtuste vahemiku juures on ümbritsev keskkond liiga happeline ning olenemata teatavast erisusest on kasvukoht liiga ekstreemne ja selles suudavad elada vaid happelistele tingimustele kohastunud ränivetikad (Smol, 1990).

Järeldused

- Uuringualade võrdluses oli liigiline mitmekesisus kõrgeim madalaima inimmõjuga alal Männikjärve rabas ja väikseim kõige enam häiritud alal Pääsküla rabas. Pääsküla rabas on inimtege-vuse tulemusena kadunud rabamaastikust laukad ning raba on oluliselt metsastunud, mistõttu on vähenenud maastikuline mitmekesisus, mis on mõjutanud ka ränivetikate mitmekesisuse langust.
- Kasvukohtadest oli liigiline mitmekesisus madalaim kraavide lähedal ning kõrgeim rabametsades. Kui lagerabades on sademetevaesel perioodil rabapinnal oht ära kuivada, siis rabametsa tihedam puistu tagab ühtlasema niiskustaseme ka kuival perioodil, mis omakorda soodustab ränivetikate kasvu ning liigilist mitmekesisust. Samas on kraavid ja nende vahetu lähedus sedavõrd ekstreemne kasvukoht, et seal suudavad elada üksikud ränivetikaliigid, kuid soodsate tingimuste juures võivad sealsed kooslused olla väga isendirohked.
- Ränivetikate mitmekesisus oli nendes kasvukohtades, kus oli rohkem niiskust. Kõrgem niiskusesisaldus on seotud nii veetaseme kui ka tihedamast puistust tingitud varjutatusega, mis aitab hoida samblarinde niiskust ning seeläbi soodustab ränivetikate kasvu.
- Analüüsist tulid välja mõningad statistilised seosed ränivetikakoosluste ja keskkonnatingimuste vahel. Nii rabametsades kui ka lagerabades oli veetase seotud ränivetikakoosluste jaotusega. Samuti oli varjutatus oluline keskkonnaparameeter, mis mõjutas ränivetikate rohkust enim rabametsas. Lagerabades olid olulised ränivetikate kooslusi mõjutavad keskkonnaparameetrid veetase ja niiskusesisaldus.
- Ränivetikate ruumiline jaotus elupaikades oli ebaühtlane. Ränivetikate arvukus oli kõrge mikroreljeefi madalamatel osadel (älved, lohud), madalam mätastel. Meie uurimistöö tulemused näitasid, et ränivetikakoosluste liigilise mitmekesisuse ja liigirikkuse põhjal on võimalik hinnata rabade koosluste keskkonnatingimusi.

Seoses rabaökosüsteemide keeruka hüdroloogiaga tuleb uuringu ülesehitusel olla äärmiselt ettevaatlik ning põhjalikult läbi mõelda, kuidas oleks võimalik kõige paremini rabade ränivetikakooslusi ning nende seost keskkonnaparameetritega iseloomustada.

Tänu sõnad

Täname TLÜ tippkeskust "Loodus- ja tehiskeskkonna uuringud", TLÜ MLI Uuringufondi, TLÜ Ökoloogia Instituuti ja Eesti Teadusfondi granti ETF9070. Erilised tänud kriitiliste ning suunavate küsimuste eest Shinya Sugitale. Täname ka Piret Vachti, Mati Ilometsa ja Kai Vellakut.

Kirjandus

Battarbee, R. W., Jones, V. J., Flower, R. J., Cameron, N. G., Bennion, H. 2001. Diatoms. In *Tracking Environmental Changes Using Lake Sediments. Volume: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators* (Birks, H. J. B., Last, W. M., Smol, J. P., Toim.). pp. 155–168. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Gaiser, E.E. & K. Rühland. 2010. Diatoms as Indicators of Environmental Change in Wetlands and Peatlands . In *The Diatoms: Applications in Environmental and Earth Sciences*. (Smol, J. P., Stoermer, E. F. Toim.). pp. 473–496. Gambridge University Press, Gambridge.

Hargan, K. E., Rühland, K. M., Paterson, A. M., Finkelstein, S. A., Holmquist, J. R., MacDonald, G. M., Keller, W. & Smol, J. P. 2014 The influence of water table depth and pH on the spatial distribution of diatom species in peatlands of the Boreal Shield and Hudson Plains, Canada. *Botany*, 10, 1–18

Hofmann, G., Werum, M. & Lange-Bertalot, H. (2006). Diatomeen im Süßwasser - Benthos von Mitteleuropa. Bestimmungsflora Kiesalgen für die ökologische Praxis. Über 700 der häufigsten Arten und ihre Ökologie (Lange-Bertalot, H. Toim.). pp. 1 –908, Königstein. Koeltz Scientific Books.

Joosten, H. & Clarke, D. 2002. Wise use of mires and peatlands - Background and principles including a framework for decision-making. *International Mire Conservation Group and International Peat Society*, pp. 304.

Kapetanović, T., Jahn, R., Redžić, S., Carić, M. 2011. Diatoms in a poor fen of Bijambare protected landscape, Bosnia & Herzegovina. *Nova Hedwigia*, 93, 1, 125–151.

Kont, A., Endjärv, E., Jaagus, J., Lode, E., Orviku, K., Ratas, U., Rivis, R., Suursaar, Ü. & Tõnisson, H. 2007: Impact of climate change on Estonian coastal and inland wetlands — a summary with new results. *Boreal Env. Res.* 12, 653–671.

Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1986–1991. Bacillariophyceae. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, vol. 2 (Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. ja Mollenhauer, D. Toim.). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/Jena.

Krammer, K. 2000. The genus *Pinnularia*. In: *Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats* Vol. 1. (Lange-Bertalot, H. Toim.). pp. 1–703. A.R.G. Gantner Verlag. K.G., Ruggell.

Krammer, K. 2002. *Cymbella*. In: *Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats* Vol. 3. (Lange-Bertalot, H. Toim.). pp. 1–584. A.R.G. Gantner Verlag. K.G., Ruggell.

Kulikovskiy, M. S. 2009. The Species Composition and Distribution of Diatoms in Sphagnum Bogs of European Russia: The Polistovo-Lovatskii land Tract. *Inland Water Biology*, 2, 2, 135–143.

Lange-Bertalot, H. 2001. *Navicula sensu stricto*. 10 Genera separated from *Navicula sensu lato*. *Frustulia*. In: *Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats* Vol. 2. (Lange-Bertalot, H. Toim.). pp. 1–526. A.R.G. Gantner Verlag. K.G., Ruggell.

Lange-Bertalot, H., Bak, M., Witkowski, A. & Tagliaventi, N. 2011. *Eunotia* and some related genera. In: *Diatoms of Europe: diatoms of the European inland waters and comparable habitats* Vol. 6. (Lange-Bertalot, H. Toim.). pp. 1–747. A.R.G. Gantner Verlag. K.G., Ruggell.

Masing, V. 1995. *Ökoloogialeksikon*. Eesti Enstsüklopeediakirjastus, Tallinn.

Mataloni, G. 1999. Ecological studies on algal communities from Tierra del Fuego peat bogs. *Hydrobiologia*. 391, 157–171.

- Mehikas, L. & Muuga, M. 2010. Retked Pääsküla rabas. Erkotrükk, Tallinn.
- Nováková, S. 2007. Structure and dynamics of the algal flora in subalpine mires in the Krkonoše Mountains (Giant Mountains; Czech Republic). *Nova Hedwigia*, 84, 3–4, 441–458.
- Orru, M. 1995. Eesti Turbasood. Eesti Geoloogiakeskus, pp. 141, Tallinn.
- Paal, J. & Leibak, E. 2011. Estonian mires: inventory of habitats. Ecoprint, Tartu.
- Pork, M. 1959. Endla rabade vetikafloora. In *Loodusuurijateseltsi aastaraamat 1958* (Kumari, E., Toim.). pp. 107–118. Eesti riiklik kirjastus, Tallinn
- Pouličková, A. , Bergová, K., Hnilica, R., Neustupa, J. 2013. Epibryic diatoms from ombrotrophic mires: diversity, gradients and indicating options. *Nova Hedwigia*, 96, 3–4, 351–365.
- Pouličková, A. , Hájková, P., Křenková, P., Hájek, M. 2004. Distribution of diatoms and bryophytes on the linear transects through spring fens. *Nova Hedwigia*, 78, 411–424.
- Sheshukova-Poretskaya, V. S. 1962., Diatom Flora of Some Peat Bogs of the Coast of the Baltic Region (Estonian SSR and Kaliningrad Oblast), *Uch. Zap. Leningr. Gos. Univ., Ser. Biol. Nauk*, 49, 313, 137–169.
- Sillasoo, Ü., Poska, A., Seppä, H., Blaauw, M. & Chambers, F.M. 2009. Linking past cultural developments to palaeoenvironmental changes in Estonia. *Vegetation History and Archaeobotany*, 18, 315–327.
- Smith, K. E. L. & Flocks, J.G. 2010. Environmental investigations using diatom microfossils: U.S. Geological Survey Fact Sheet, 2010–3115.
- Smol, 1. P. 1990: Freshwater Algae. In *Methods in Quaternary Ecology* (Warner, B. O. Toim.). pp 3–14. Love Printing Service Ltd, Stittsville.
- Smol, J.P. & Stroemer, E.F. 2010. The Diatoms: Applications for Environmental and Earth Sciences. Cambridge University Press, Cambridge.
- Smol, J. P. & Cumming, B. F. 2000. Tracking long-term changes in climate using algal indicators in lake sediments. *Journal of Phycology* , 36, 986–1011.
- Stevenson, R. J. 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems* (Stevenson, R. J., Bothwell, M. L., Lowe, R. L., Toim.). pp. 3–30. Academic Press, San Diego.

Stevenson, R. J. 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems* (Stevenson, R. J., Bothwell, M. L., Lowe, R. L., Toim.). pp. 3–30. Academic Press, San Diego.

ter Braak, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67, 1167–1179.

ter Braak, C. J. F. 1987. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio*, 69, 69–77.

Van de Vijver, B. & Beyens, L. 1997. The epiphytic diatom flora of mosses from Stromness bay area, South Georgia. *Polar Biol.* 17, 492–501.

Van de Vijver, B., Ledeganck, P., Beyens, L. 2001. Habitat preferences in freshwater diatom communities from sub-Antarctic Iles Kerguelen. *Antarctic Science*, 13, 1, 28–36.

Watabe, M. M. Mayama, S., Hiroki, M., Nozaki, H. 2000. Biomass, species composition and diversity of epipelagic algae in mire pools. *Hydrobiologia*, 421, 91–102.

Summary

THE SPATIAL DISTRIBUTION OF DIATOMS IN ESTONIAN BOGS

Mire ecosystems have a multiple importance worldwide, including carbon accumulation, hosting the biodiversity, being the hydrological buffers and palaeoecological archives. The vascular plants and bryophyte communities of peatlands are widely studied, but microorganisms (e.g. diatoms) tend to react more rapidly and species-specifically to environmental changes. Therefore they are good indicators of changes in the aquatic environments. Even though bogs provide moist and cool habitats, which are perfect for diatoms, the diversity of diatom communities in bogs is insufficiently studied. Therefore we conducted a study to clarify whether the diatom communities in bogs are dependent on (1) habitat preferences and (2) the local environmental conditions.

The moss samples for diatom analysis were collected in May 2014 from three Estonian bogs: Männikjärve, Tolkuse and Pääsküla. Hommocks, small depressions, hollows etc. were covered and environmental parameters pH, temperature, EC, water table, shading were recorded at every study area. Furthermore, the moisture content and moss species were specified in the laboratory, and the standard diatom analysis was applied.

All together 140 species of diatoms were found: 91 from Männikjärve, 73 from Tolkuse and 57 from Pääsküla. The most abundant species were *Eunotia paludosa*, *Kobayasiella parasubtilissima*, *Achanthidium minutissimum*, *Eunotia bilunaris*, *Pinnularia subcapitata* and *Eunotia fennica*. The spatial distribution of diatoms varied among the habitats. Two factors: water table and shading were the main drivers of diatom diversity at a micro-habitat level. The biodiversity of diatom communities was the highest in the wooded bogs, the lowest near the ditches. Most of the diatoms found from study areas were characteristic for the acidic and semi-aquatic environments.

PÕLENGUTE MÕJUDEST MULDADELE KURRNA MAASTIKUKAITSEALA NÄITEL

Tanel Vahter

Tallinna Ülikool, Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut
geoökoloogia magistrant
tanel.vahter@tlu.ee

Põlengutest maa peal ja maa sees

Põlengud on maismaalistes ökosüsteemides loomulik ja tihti vajalik nähtus. Põleng taaskäivitab kliimaks-staadiumini jõudnud metsas suksessiooni, suurendab liigirikkust ja vabastab toitaineid. Inimene seevastu on enamasti veendunud, et tulekahju on halb ja ebasoovitatav nähtus, mistõttu ka selle vastaseid meetmeid tuleohtlikel perioodidel rakendatakse. Vaatamata sellele on enamike põlengute põhjustajaks siiski inimene ise oma hooletuse ja ettevaatamatusega, mistõttu ületab põlengute sagedus loodusliku fooni mitmeid kordi. Eestist võib hea näitena tuua Kurtna maastikukaitseala Ida-Virumaal, mida on ainuüksi ajavahemikul 1999–2008 räsitud põlengud üle kolmekümne korra. Põlengute mõjud taimkattele on silmaga nähtavad ja käega katsutavad, mistõttu on neid ka minevikus kuigi-palju uuritud. Oluliselt vähem kirjandust leidub aga selle kohta, millised muutused leiavad aset muldades. On levinud arusaam, et tulekahju järgselt jõuab põlemisest järelejääv materjal mulda ning mullaviljakus kasvab – muld oleks kui isoleeritud süsteem metsa all, mis vaid kaudselt põlengust mõjutatud ning sedagi vaid maha pudenenud taimejäänuste tõttu. Nagu looduses kombeks, on tegelikud seosed keerulisemad ning maa-alused muutused ei jää drastilisuse ja püsivuse poolest kuidagi alla maapealsetele.

Põlengu mõjud muldadele võivad olla kohesed või pikaajalised. Kohene mõju on näiteks tuhas sisalduvate kemikaalide vabanemine ja kuumus, mis põhjustab järske ja drastilisi muutusi bioloogilistes

komponentides. Kuumus võib põhjustada elusorganismide hukkumist, tuhandeid tingitud muutused toiteainete sisalduses võivad luua ebasoodsad kasvutingimused ning põlengujärgne konkurents taaskäivitatud sukkessioonis võib põhjustada muutusi liigilises koosseisus. Ajas kaugemale jäävate põlengute mõjud muldadele on tavaliselt tagasihoidlikumad, kuid on tuvastatavad ka aastaid pärast nende toimumist. Mitmed pikaajalised mõjud muldades on tingitud põlengute toimest hüdroloogiale, toitainete liikumisele ning produktsioonile. (DeBano & Neary, 1998)

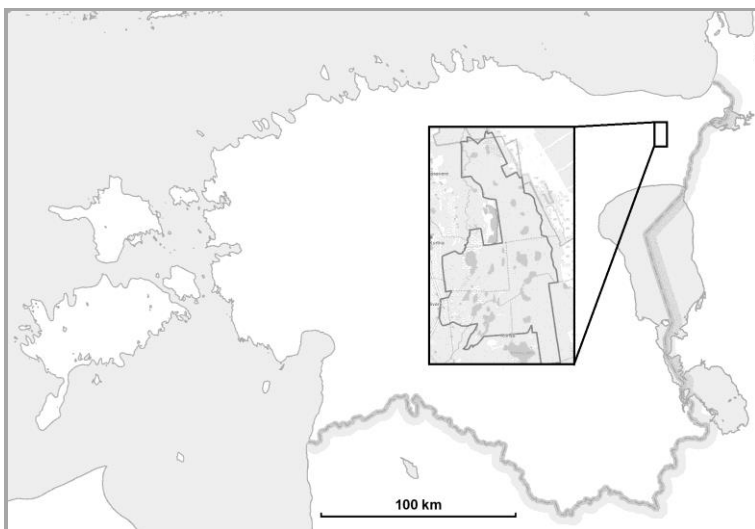
Põlengute mõjusid muldades jagatakse veel ka füüsikalisteks, keemilisteks ja bioloogilisteks. Mulla füüsikalisi omadusi defineeritakse kui karakteristikuid, protsesse või reaktsioone, mida saab kirjeldada või väljendada füüsikaliste terminite või võrranditega (Soil Science Soci...). Mulla füüsikalised omadused sõltuvad mulla mineraalsest osast ning selle seostest keemiliste ja bioloogiliste mullakomponentidega (DeBano & Neary, 1998). Mulla kuumenemisest mõjutatud füüsikalised karakteristikud on mulla värvus, lõõimis, lasuvustihedus ning veemahutavus (Verma & Jayakumar, 2012). Põlengutest enimmõjutatud mulla keemilised omadused on orgaanilise aine- (OA), süsiniku-, lämmastiku-, fosfori-, väävli- ja vesinikioonide sisaldus. Samuti leiavad aset muutused mulla pH-s ning elektrijuhtivuses. Mulla bioloogiliste komponentidena on enim mõjutatud taimkate ja erinevad mullaorganismid, kelle elutegevus on põlengute järgselt pikaks ajaks häiritud (Hutchins *et al*, 2011).

Eelolevast võib välja lugeda, et põlengute mõju mullas oleneb suuresti ka uuritavast mullast endast. Nii ei saa edukalt omavahel võrrelda suurte erinevustega muldi, olgu nendeks siis näiteks madalsoomullad ja leedemullad. Põlengute mõjude välja selgitamiseks muldades ei ole seega uuringuala leidmine lihtne. Valitud alaks osutus eelpool mainitud Kurtna maastikukaitseala. Arvukate inimtekkeliste tulekahjude tõttu on kaitsealal võimalik põlengute mõjud välja selgitada mitmel sarnase mullastikuga alal korraga, mis oli ka käesoleva uurimuse põhieesmärke.

Uuringuala

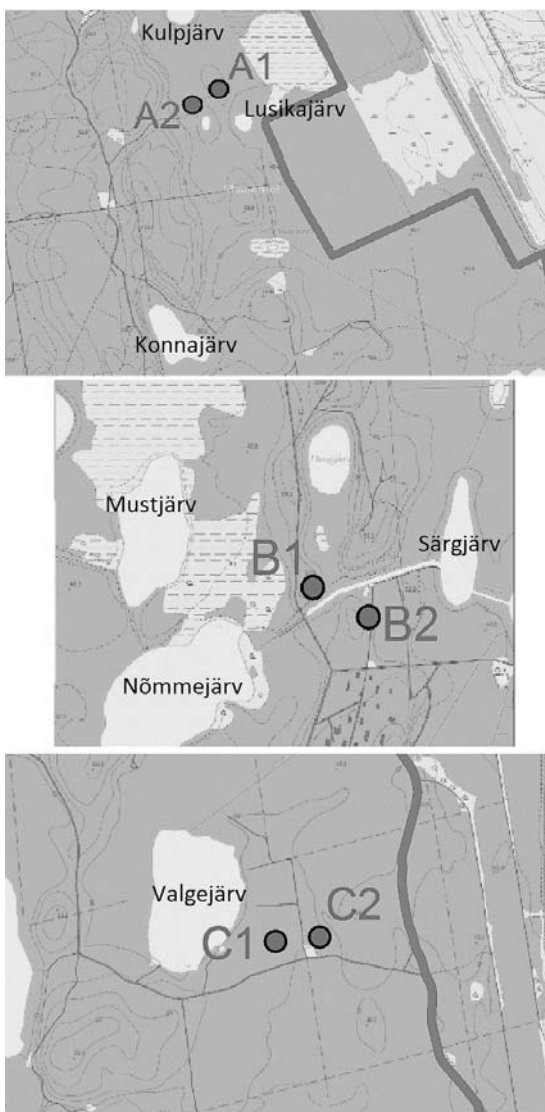
Kurtna maastikukaitseala kuulub Peipsi äärsesse leetmuldade, soostunud leetmuldade ja soomuldade valdkonda ning Alutaguse allvaldkonda, kus domineerivad gleistunud kamar-leetmullad, leedemullad, turvastunud leet-gleimullad ja soomullad (Lillema, 1958). Mõhnastike muldi ja muldade lähtekivimit iseloomustavad tavaliselt kerge mehaaniline koostis, karbonaatide madal sisaldus, sademetevee kiire infiltratsioon, väga madal produktiiv-veemahutavus ja taimede poolt omastatavate toitainete madal kontsentratsioon. Maastikukaitseala paiknemine mattunud Vasavere ürgoru kohal ning valdavaks lähtekivimiks olevad liivad koosmõjus mõhnastiku reljeefiga tingivad peamiselt soostunud- ja leetunud muldade vaheldumise, mida kinnitavad ka varasemad uuringud. (Rooma, 1987; Kont *et al*, 2007)

Kurtna maastikukaitsealal on suurest külastuskoormusest tingituna toimunud läbi aegade arvukalt põlenguid. Aastatel 1999–2008 aset leidnud põlengud kaardistati Riigimetsa Majandamise Keskuse (RMK) Ahtme kontori poolt kogutud arhiivandmete põhjal. Ainuüksi sellel ajavahemikul leidis aset üle kolmekümne põlengu. Kurtna maastikukaitseala külastusuuringu aruandest (2013) selgub, et kaitseala on väga populaarne suvituspaik suurele hulga põlevkivirajooni elanikele. Võib arvata, et just sellel põhjusel on põlengute toimumise sagedus kaitsealal sedavõrd suur. Kindlasti juhtub Kurtna maastikukaitsealal ka loodusliku tekkepõhjusega tulekahjusid, kuid enamasti on põlengud alguse saanud inimese hooletuse või hoolimatuse tagajärjel. Levinud põhjusteks on suitsetamine ja tule tegemine kohtades kus see pole lubatud ning valdavalt on tegu väiksemat maa-ala hõlmava madala intensiivsusega pinnatulega, mille suuremale levikule kiiresti piir pannakse. Suuremaid põlenguid on esinenud harvem, kuid siiski arvestatava sagedusega. Näiteks leidis 2002. aastal aset ligi 50 ha hõlmanud tulekahju Kurtna Suurjärve ja Pannjärve liivakarjääri vahelisel alal. Kõigest neli aastat hiljem sai Liivjärvest itta jääval alal tuleroaks umbes 280 hektari suurune maa-ala. (RMK Ahtme kontori arhiivandmed)



Joonis 1. Kurtna maastikukaitseala paiknemine (Maa-amet).

Uuringu eesmärgi täitmiseks valiti maastikukaitsealal mullaproovide kogumiseks kolm põlengu- ja kontrollala. Põlendikud valiti tulemuste võrreldavuse tagamiseks ühesuguse mullarühma ning võimalikult sarnaste keskkonnatingimuste ja reljeefiga kohtadest. Eelistati alasid, kus on vahemikus 1999-2008 aset leidnud rohkem kui üks põleng ning mille asukoht ja paiknemine looduses on täpselt tuvastatav. Samuti lähtuti proovikohtade valikul võimalusest lähedal asuval põlemata alal kontrollproove võtta. Kontrollaladena kasutati põlengu-alale võimalikult lähedalasuvaid, soovitatavalt loodusliku või inimtekkelise tuletõkke (nt tee või veekogu) taga asetsevaid, põlengu-alaga sama mullarühma ja taimkattetüübiga alasid.



Joonis 2. Proovikohtade paiknemine Kurtna maastikukaitsealal. Tähed A, B ja C tähistavad proovikohti, liide 1 – põlenguala ja liide 2 – kontrollala (Maa-amet).

Proovikohad A1 ja A2 asetsevad kaitseala põhjaosas, Kulpjärvest lõunasse jääval kõrgema reljeefiga alal. Kaeve A1 asub aastatel 1999 ja 2006 põlenud alal ning kontrollkaeve A2 sellest umbes 100m edelas, kus mets oli jäänud tulest puutumata. Antud põlenguala on kaitseala maastikupildis kõige markantsem ning selgemini esile tulev. 2006. aasta põleng oli pindalalt suur (280 ha) ning sellest tulenevalt võib arvata, et ka intensiivne.

Proovikohad B1 ja B2 asuvad Nõmme- ja Särgjärve vahelisel alal. Kuna kahe järve vahel voolav Raudi kanal on ideaalseks tule-tõkkeks, siis asetseb kontrollkaeve B2 põlengualast vahetult üle kanali. Mälemad proovikohad paiknevad reljeefi kõrgematel osadel. B1 proovikohal leidis aastal 2006 aset kaks madala intensiivsusega põlengut, mille jäetud jäljed on aga looduses siiani tuvastatavad.

Proovikohad C1 ja C2 asuvad Valgejärvest itta jääval, 2006. aastal põlenud alal ja teisel pool pinnasteed asuval kontrollalal. Alade reljeef on tasane. Puhkaja hooletuse tõttu puhkenud põleng oli pindalalt väike (3,6 ha), kuid looduses selgelt esile tulev. Tule-tõkkena toimunud pinnastee võimaldas põlenguala vahetusläheduses teostada kontrollkaeve C2.

Taimkate oli kõikidel aladel lähtuvalt kasvutingimustest sarnane. Üldlevinud metsatüübiks on palumets. Puurindes domineerisid mänd (*Pinus sylvestris*) ja kuusk (*Picea abies*), esines ka kaskesid (*Betula pendula*). Puhmarindes olid enamasti pohlad (*Vaccinium vitis-idaea*) ja mustikad (*Vaccinium myrtillus*), mõnel pool ka kanarbik (*Calluna Vulgaris*). Rohurindes tulid esile kolmissõnajalad (*Gymnocaprium dryopteris*), harilik maikelluke (*Convallaria majalis*) ja metsmaasikas (*Fragaria vesca*). Sammaltaimede seas domineerisid harilik karusammal (*Polytrichum commune*) ja lainjas kaksikhammas (*Dicranum polysetum*). A1 ja C1 põlengualade taimkate oli võrreldes kontrollaladega tugevasti kahjustatud. Nendel aladel oli hävinud ka puurinne. B1 põlengualal olid kahjustused tagasihoidlikumad ning uuringu läbiviimise ajal oli see loodusliku lähedases seisundis.

Metoodika

Esimestel välitöödel 2013. aasta sügisel teostati kõikides proovikohtades mullaprofiili kirjeldamiseks ja proovide kogumiseks poolkaevet sügavusega 50cm. Kirjeldati mullaprofiil ja mõõdeti horisontide tusedused. Proovid koguti kuni 10cm sügavuseni iga 2cm tagant, seejärel iga 10cm tagant. Kokku koguti igast kaevest 8 proovi, mis pakendati hermeetiliselt ning säilitati laboraatorseteks analüüsideks 4° C juures.

2014. aasta kevadel teostati täiendavalt ka *in situ* katsed mulla hüdrofoobsuse hindamiseks. Mulla hüdrofoobsuse välja selgitiseks välitööde tingimustes kasutati WDPT-testi (*water drop penetration time test*) ehk veetilga imendumiseks kuluva aja testi (Dekker *et al*, 2009). Testi läbiviimiseks võeti varasemalt kasutatud proovikohtadest mullapuuriga puursüdamikud. Seejärel pipeteeriti 1 sentimeetrise intervalliga kogu profiili ulatuses mulla pinnale destilleeritud vee tilgad ning mõõdeti aeg, mis kulus täielikuks adsorptsiooniks (Logsdon *et al*, 2008).

Veetilga täieliku adsorptsiooni kiiruse alusel jaotatakse mullad hüdrofoobsuse klassidesse (King, 1981):

<1 sekundit – hüdrofoobsus on tühine

1–10 sekundit – väga madal hüdrofoobsus

10–50 sekundit – madal hüdrofoobsus

50–260 sekundit – keskmine hüdrofoobsus

>260 sekundit – keskmine või väga tugev hüdrofoobsus

Muldade füüsikaliste ja keemiliste parameetrite ning nende võimaliku põlengujärgse muutuse kindlaks tegemiseks valiti laboratoorselt analüüsitavateks parameetriteks mulla pH, veesisaldus, orgaanilise aine- ja karbonaatide sisaldus ning elektrijuhtivus.

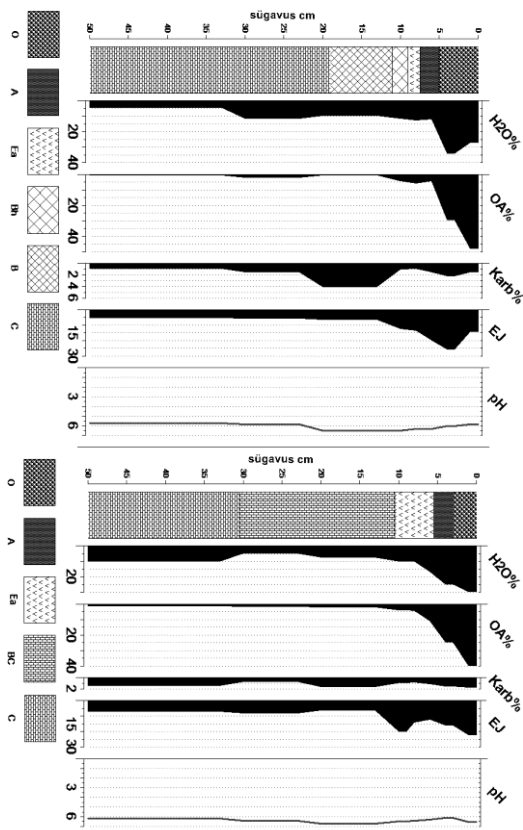
Mulla vee-, orgaanilise aine- ja karbonaatide sisaldus määrati läbi kuumutuskao erinevatel temperatuuridel (Heiri *et al*, 2001).

pHmäärati mahusuhtest 1:2, kus üks osa mulda ning kaks osa destilleeritud vett. Elektrijuhtivus määrati mahusuhtest 1:5 sarnase protseduuri järgi, nagu pH puhulgi.

Tulemused ja arutelu

Kaevete mullaprofiilid olid geneesi suuna ja toimunud protsesside poolest sarnased. Kõikides mullaprofiilides esines selgesti välja kujunenud leethorizont ning alla 5 cm түsedune huumusekiht, mistõttu liigituvad kõik peale B1 kaeve mullaprofiili huumuslike leedemuldade rühma. B1 mullaprofiili huumushorisoni түseduse tõttu tuleb seda käsitleda, kui leetunud mulda. Profiile katab kuni 5 cm түsedune metsakõdu horisont.

Laboratoorsete analüüside tulemusena ilmnas, et proovikohtade füüsikaliste ja keemiliste omaduste vahel esines nii sarnasusi, kui ka statistiliselt olulisi erinevusi. Kõigis profiilides esinesid sarnasused analüüsitud omaduste suurusjärgus, mis kinnitab valitud proovialade sobivust uurimise läbiviimiseks. Kõikide proovialade mullaprofiilide hüdrofoobsuse aste oli tühine (WDPT alla 1s). Elektrijuhtivus ja karbonaatide sisaldus oli kõikidel proovialadel väga madal (vastavalt kuni 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja kuni 4%) ning mõnede eranditega sarnase dünaamikaga. Peamised erinevused põlengu- ja kontrollalade mullaprofiilide vahel esinesid mulla niiskuse- ja orgaanilise aine sisalduses (joonis 3). Erinevused tuvastati ka mulla reaktsioonis, mis oli kõigil põlengualadel (ainsa erandina ala C1) happelisem kui kontrollaladel.



Joonis 3. Tüüpilise põlenguala A1 (vasakul) ja kontrollala A2 (paremal) mullaprofiilid ja laboratoorsete analüüside tulemused.

Mulla niiskusesisaldus ja hüdrofoobsus

Põlengualadel oli tugevasti vähenenud profiili esimese 10 cm niiskusesisaldus (v.a ala A, kus profiili keskmine niiskusesisaldus esimese 10 cm jooksul oli jäänud samaks). See võib olla tingitud põlengute käigus orgaanilis-mineraalsete agregaatide lagunemisest ning mullapooride täitumisest tuhaosakestega, millele on viidatud

ka eelnevates uuringutes (DeBano & Neary, 1998; Giovannini *et al*, 1988). Seetõttu suureneb mulla lasuvustihedus ning väheneb veemahutavus. Põlengujärgsele tihenemisele on arvatavasti kaasa aidanud ka sademed, mis taimkattest vabanenud mulla pinnal poorid sulgeb. Tihenemist soodustab ka põlengu käigus kannatada saanud puurinne, mistõttu on muutub ala sademete tihendavale mõjule avatumaks.

Välitööde käigus *in situ* läbiviidud WDP-testi tulemuste järgi oli hüdrofoobsus kõikides proovikohtades kogu profiili ulatuses tühine (tilga täielikuks absorptsiooniks kuluv aeg alla 1 s). Tulemus oli mõnevõrra üllatav, kuna kõik tingimused hüdrofoobse kihi tekkeks olid olemas. Arvatavasti on tulemuste põhjuseks põlengutest möödunud aeg, mille jooksul sademetevesi on hüdrofoobsed komponendid mullast välja pesnud, või on need lagunenud ja oma mõju kaotanud. Põlengujärgse mulla hüdrofoobsuse ja selle astme paremaks tuvastamiseks tuleks kasutada hilisemaid põlengualasid, mis aitaks kaitsealal hinnata ka nähtuse võimalikku rolli ja ohtu mullaerosioonile.

Orgaanilise aine sisaldus

Põlengualade profiilides oli keskmine orgaanilise aine hulk profiili esimese 10 cm jooksul kuni 10% võrra suurem, kui kontrollaladel, mis tingis ka statistiliselt olulise erinevuse. Selle põhjuseks on suure tõenäosusega mitte suurenenud produktsioon, vaid põlengu käigus kahjustada saanud taimkatte varisemine mulla pinnale ning seeläbi orgaanilise aine sisalduse kasv. Koondades tähelepanu vaid huumushorisoni OA sisaldusele, on seos vastupidine. Põlengualade huumushorisoni OA sisaldus on väiksem, kui vastavatel kontrollaladel. Selle võib olla põhjustanud kuumusest tingitud OA lagunemine huumushorisonis ning põlengule järgnenud ajaperioodil aeglustunud OA akumulatsioon. Analüüsi tulemustele tuginedes võib öelda, et uuringualadel ei ole viimastele põlengutele järgne-

nud kaheksa aastase perioodi jooksul aset leidnud märkimisväärsed positiivseid muutusi orgaanilise aine sisalduses. Orgaanilise aine sisaldus on tõusnud metsakõduhorisondis, kuid langedes taimekasvu seisukohalt olulisemas huumushorisondis.

Järeldused

Kurtna maastikukaitseala muldades esinesid kontroll- ja põlengualade vahel märkimisväärsed erinevused, millest enim tulid esile muutused niiskuse- ja orgaanilise aine sisalduses. Karbonaatide sisalduse, elektrijuhtivuse ja pH dünaamika oli põlengutega raskemini seostatav, kuid erinevused kontrollalade tulemustega siiski esinesid. Milline on proovikohtade loomuliku varieeruvuse kaal tulemustes on ebaselge, kuid saadud andmete põhjal on sellegi poolest võimalik teha mõningaid olulisi järeldusi põlengute mõjude kohta Kurtna maastikukaitseala muldades.

- Põlendikel on olulisel määral vähenenud mulla pindmise 10 cm niiskusesisaldus, mille põhjuseks võib olla taimkattest vabanevad maastikul mulla tihenemine sademete tõttu.
- Põlengualade muldades ei tuvastatud märkimisväärt hüdfoobsuse taset. Kui põlengutest tingitud hüdfoobsus ka esines, on see järgnenud ajaperioodi jooksul kadunud. Kaitseala vahelduvat reljeefi arvestades, tuleks põlengujärgsest võimalikust hüdfoobsusest tingitud erosiooniohtu pidada siiski tõenäoliseks.
- Põlengutest möödunud kaheksa aastase perioodi jooksul ei ole põlengualadel aset leidnud märkimisväärt taimekasvu- ning produktsiooni hoogustumist, millele mõnedes uuringutes viidatud on.
- Põlengute käigus on suurenenud mulla orgaanilise aine kogus metsakõduhorisondis ning vähenenud taimekasvuks olulisema huumushorisondi orgaanilise aine sisaldus.

- Põlengualadel on vähesel määral tõusnud mulla elektrijuhtivus, mis võib viidata taimetoitainete koguse kasvule mullas.
- Kahjustatud aladel on suurenenud mulla happesus, mis võib mõjutada negatiivselt ala taastaimestumise kiirust.
- Negatiivsed mõjud on suuremad aladel, kus lisaks rohu ja puhmarindele on hävinenud ka puurinne.

Kuna põlengujärgsetes negatiivsetes protsessides on oluline mõju puurinde hävimisel, siis võib sellistel juhtudel pidada otstarbekaks ala kunstlikku taas-taimestamist puudega. Nii vähendatakse taimkatteta mullapinna tihendamist sademete poolt, väheneks erosioonioht ning tõstetaks rohu ja puhmarinde taastumise kiirust. Aladel, kus reljeef tingib suurenenud erosiooniohu, oleks mõistlik letaalseid kahjustusi saanud puude langetamine risti nõlva kaldega, vähendamaks nii orgaanilise aine võimalikku uhtumist reljeefi madalamatele osadele.

Tänuõnad

Autor tänab Piret Vachti igakülgse abi ja mentorluse eest käesoleva uuringu valmimisel. Samuti kuuluvad tänuavaldused Riigimetsa Majandamise Keskuse Ahtme kontorile, kelle poolt kogutud põlengute arhiivandmed olid suureks toeks uuringu-eesmärkide täitmisel. Käesolev uuring on valminud Tallinna Ülikooli Uuringufondi toel.

Kirjandus

DeBano, L.F., Neary, D.G., Ffolliott, P.F. 1998. Fire Effects on Ecosystem. John Wiley & Sons, New York.

Dekker, L. W., Ritsema, C. J., Oostindie, K., Moore, D., Wesseling, J. G. 2009. Methods for determining soil water repellency on field-moist samples. *Water Resource*, 45.

Giovannini, G., Luchéis, S., Giachetti, M., 1988. Effect of heating on some

physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, 146, pp. 255–262.

Goforth, B.R., Graham R.C., Hubbert, K.R. 2005. Spatial distribution and properties of ash and thermally altered soils after high-severity forest fire, southern California. *Journal of Wildland Fire*, 14, pp. 343–354.

Grimm, E.C. 1992. Tilia and Tilia-graph: pollen spreadsheet and graphics programs. *Program and Abstracts, 8th International Palynological Congress*, Aix-en-Provence, pp. 56.

Grisso, R.B., Alley, M.W.G., Holshouser, D., Thomason, D. 2009. In *Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity*. College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University, Petersburg.

Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25, 101–110.

Hutchins, M.W., Reynolds, B.C., Patch, S.P. 2011. Prescribed Fire and the Abundance of Soil Microarthropods in Northeast Georgia. *Southeastern Naturalist*, 10, 3, pp. 489–500.

King, P. M. 1981. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement, *Soil Resource*, 19, 275–285.

Kont, A., Kull, O., Rooma, I., Zobel, M. 2007. Maastikuprofiili meetodil uuritud möhnastike ökosüsteemid. In *Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat: 36. Kõide* (Koff, T., Raukas, A. eds). pp. 29–74, Tallinna Ülikooli Kirjastus, Tallinn.

Kurtina maastikukaitseala kaitsekorralduskava aastateks 2013–2022, 2013. Keskkonnaamet, koost. Vaasma, T., Pajula, R., Vainu, M., Ilomets, M., Terasmaa, J., Vandel, E., Pensa, M.

Lillema, A. 1958. Eesti NSV mullastik. Tallinn.

Logsdon, S., Clay, D., Moore, D., Tsegaye, T. 2008. *Soil Science: Step by Step Analysis*. Soil Science Society of America, Inc., Madison.

Rooma, I. 1987. Kurtina möhnastiku mullastikust. In *Kurtina Järvestiku Looduslik Seisund ja Selle Areng* (Ilomets, M. ed). pp. 37–41, Valgus, Tallinn.

SSSA. 2001. *Glossary of Soil Science Terms*. Soil Science Society of America.

Terefe, T., Mariscal-Sancho, I., Peregrina, F., Espejo, R. 2008. Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils, a Laboratory study. *Geoderma*, 143, pp. 273–280.

Verma, S., Yakumar, S. 2012. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 2, 3, pp. 168–176.

Summary

FIRE EFFECT ON SOIL IN THE KURTNA LANDSCAPE RESERVE

Humankind, with some exceptions, has accepted the belief that all fire is unwanted and brings destruction and chaos. Fire is a natural and often irreplaceable part of all land-ecosystems. Rejuvenating the forest and restarting succession in a climax stage ecosystem, fire creates new places of habitation for many species. Although humans are as always wrong on many levels, they are right about one thing – fire as a result of human activity has skyrocketed and surpasses the natural level many times.

The effects of fire on natural ecosystems has interested scientists for a long time and studies in this field are numerous and more or less conclusive. The knowledge gap of soil behaviour during- and after a fire has received much less attention, although the effects, as seen in this study, are also substantial and often drive the changes above-ground. In an effort to better understand fire-related changes in soils, this research project concentrated on the Kurtna landscape reserve in Ida-Virumaa, where during the last decades, fire of various origins has ravaged the area more than thirty times.

To reach the goals of this study, three fire affected areas were chosen and analyzed. Near every fire-area, a control-area was chosen for reference. Samples were collected from all test-pits on the length of the soil horizon. Water content, organic matter content, carbonate content, electrical conductivity and pH were measured from all samples. In the field, hydrophobicity was measured using the water drop penetration test.

The results indicate that although a substantial amount of time has passed since the fires, distinct changes are still visible within the soils. The biggest fire influence was seen on the soil water- and organic matter content, which

indicates that these changes are the most persistent. These effects may be magnified by rain action on the bare scorched land which pack down the thin layer of topsoil, reducing water holding capacity and withholding plantcover re-establishment. Electrical conductivity has somewhat increased, suggesting an increase in available nutrient content, but the change is subtle and in terms of plant growth, cancelled out by more severe changes in water holding capacity and organic matter content. As expected, the soil pH was also higher in the post-fire soils. Soil hydrophobicity was measured to be non significant in all areas, which has most likely to do with the time following the fire. Organic compounds with hydrophobic properties had probably washed out of the soil by the time of the study.

The changes in soil properties of fire affected areas have played an important role in the recovery of these areas. Where the soil was most affected, the recovery has been slow or almost nonexistent. This demonstrates clearly that soil is the driving factor behind many changes seen aboveground and that changes in soil properties, although not as visible, are just as important to understand.

REOVEESETTE PERSPEKTIIVSED KASUTUSKOHAD

Ergo Eesmaa

Tallinna Ülikool, Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut
keskkonnakorralduse magister
eesmaaergo@gmail.com

Sissejuhatus

Pideva linnastumise ja industrialiseerimise tõttu on suurenenud vee tarbimine ning seeläbi ka reovee ja reoveesette koguste pidev tõus kogu maailmas. Kuigi pinna- ja põhjavee kvaliteeti mõjutavad mitmed tegurid, nt põllumajandustegevus ja prügilad, siis on väga oluline roll ka reoveepuhastusjaamadel sealt väljuva heitvee kvaliteedi tõttu. Reostuse vältimiseks on rajatud ja rekonstrueeritud asulate ühisveevärk ja -kanalisatsioon ning reoveepuhasteid, mille eesmärk on vähendada kahjulikku mõju keskkonnale.

Kuna aktiivmudapuhastites on töö tagamiseks oluline liigaktiivmuda perioodiline eraldamine, siis on ka reoveesette käitlusel väga oluline roll reovee puhastamisel. Kui varem veeti reoveesetet valdavalt prügilatesse, siis praegu on see vähenenud ning vee-ettevõtted on hakanud setet enamasti kompostima. Kuna komposti kvaliteedi tagamine eeldab põhjalikku töötlust ja kvaliteedikontrolli, siis paljud väiksemad vee-ettevõtted ei tule sellega toime ning tegeletakse vaid sette vaheladustamisega. Samuti on tarbijatel vähene huvi kompostitud sette vastu, mistõttu on selle turustamine raskendatud. Seega on vaja leida teisi võimalusi reoveesette lõppkasutuseks. Käesoleva töö põhieesmärk on pakkuda välja võimalikud reoveesette lõppkasutuskohad ning hinnata nende potentiaali vee-ettevõtete ning põllumeeste seisukohtadest.

Reoveesette kasutuskohad

Reoveesete sisaldab ühendeid (nt fosfor, lämmastik, kaalium), mis muudavad sette põllumajanduses oluliseks orgaaniliseks väetiseks. Settes sisalduvat orgaanilist ainet kasutatakse enamasti mulla viljakuse tõstmiseks. Orgaaniline aine parandab mulla füüsikalisi omadusi, nagu nt mulla struktuursust, et juured saaksid kergemini läbi mulla tungida. Samuti on orgaaniline aine mullaelustiku toidulallikaks, soodustades selle mitmekesisuse suurenemist ja toimides mulla toitainete varamuna. (Disposal and recycling..., 2001; Säättev põllumajandus..., 2009)

Reoveesetet on võimalik kasutada haljastuses ja rekultiveerimises. Haljastuses kasutatakse setet enamasti aeroobselt stabiliseeritud viisil ehk kompostituna maantee- ja raudteearsete alade ning parkide haljastuseks. Sette kasutamine rekultiveerimisel tähendab selle kasutamist rikutud maa-ala (nt maavara kaevandamisega) korrastamiseks või prügilate katmiseks. (Good practices..., 2012; RTL 2003, 5, 48)

Reoveesetet on võimalik müüa pakendatud tootena, kui tegu on komposti, kuivatatud sette või pelletitega. Sellisel juhul on tegemist kas müüdava kasvumulla või -väetisega. Kuivatatud reoveesetest valmistatud väetist toodetakse enamasti USA-s, kuid müüakse ka Kanadas. Enamasti kasutatakse väetisena müüdavat reoveesetet golfikeskustes muru väetamiseks, kuid laialdaselt on see leidnud kasutust ka kodumajapidamises muru, lillede ja aiasaaduste väetamiseks. (Good practices..., 2012; Milorganite)

Kuna reoveesetel on ka märkimisväärne energiapotentsiaal, on üheks võimaluseks kasutada seda energia tootmiseks. Reoveesetest energia tootmise võimalused on: anaeroobne käitlus (biogaas); biokütus (kuivatatud sete või pelletid); sette põletamine; koospõletamine olmejäätmetega; koospõletamine kivisöe/põlevkiviga elektrijaamades; gaasistamine ja pürolüüs. Reoveesette kasutamine energia tootmisel vähendab taastumatute loodusvarade kasutamist energia tootmisel. Lisaks väheneb reoveesetest energia tootmisel

sette maht (tulemuseks tuhk), hävinevad patogeenid ning raskmetallid kinnituvad tuhka. Raskmetallide kinnitumine tuhka vähendab nende leostumist tuha edasisel kasutamisel. See vähendab oluliselt reostuse levikut keskkonda. (Good practices..., 2012; Rulkens, 2008; Vasileski, 2007)

Põlemise käigus tekkinud tuhka on võimalik ära kasutada ehitustegevuses. Reoveesette kasutamist erinevate ehitustoodete valmistamisel on põhjalikumalt uuritud nt Hiinas ja Jaapanis. Tuhka või kuivatatud setet on kasutatud nii täiteainena asfaltsegudes, toorainena tsemendi tootmisel ning kergtäitematerjali kui ka telliste/tänavakivide valmistamiseks. (Cyr *et al*, 2007; Petavratzi & Wilson, 2007; Tyagi & Lo, 2013)

Uurimismetoodika ja valim

Reoveesette perspektiivsete kasutuskohdade hindamiseks viidi läbi küsitlused nii vee-ettevõtete kui ka põllumeeste seas. Vee-ettevõtete seas läbi viidud küsitluse eesmärk oli saada ülevaade reoveesette töötlemise hetkeolukorrast ning ettevõtete seisukohtadest reoveesette võimalikest kasutuskohdadest. Põllumeeste seas tehtud küsitluse eesmärk oli teada saada nende teadlikkus reoveesette kasutamise võimalustest ning hinnata nende huvi reoveesette kasutamise vastu põllumajanduses.

Vee-ettevõtete küsimustik koosnes 22-st valikvastusega küsimusest ning kahest avatud vastusega küsimusest ning põllumeeste küsimustik 15-st valikvastusega küsimusest ja ühest avatud vastusega küsimusest. Mõlemad küsimustikud olid jagatud kolmeks osaks: üldandmed ja hetkeolukord; perspektiivsed kasutuskohad; arvamused ja ettepanekud.

Põllumeeste valimi moodustamiseks pöörduti Eesti Põllumeeste Keskliidu, Eesti Põllumajandus-Kaubanduskoja (EPKK) ning Eesti-maa Talupidajate Keskliidu liikmete poole. EPKK liikmeid on 99, kellest 56-le saadeti küsitlus. Valimisse jäid ainult looma- ning taimekasvatusega tegelevad ettevõtted ning valimist jäid välja teiste

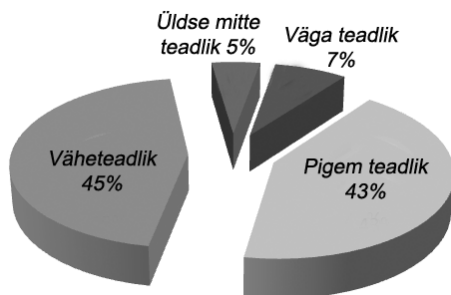
valdkondade liikmed (nt kalandus, toiduainetööstus jm) EPKK-s, kes ei ole oma tegevusvaldkonna tõttu perspektiivsed reoveesette kasutajad. Eesti Põllumeeste Keskliidu ning Eestimaa Talupidajate Keskliidu liikmetele saadeti kõigile küsimustik. Kuna eelmainitud kahte liitu kuuluvad enamasti alaliidud (maakonna või erialapõhised), siis paluti käesoleva magistritöö küsitlus alaliitudesse edasi saata, et need jõuaks põllumajandustootjateni. Küsitlus saadeti 85-le taime- ja loomakasvatusega tegelevale ettevõttele ja alaliidule.

Vee-ettevõtete üldvalim koostati Keskkonnaregistri reoveepuhastite nimistu järgi. Kuna Keskkonnaregistri reoveepuhastite nimistus ei ole ainult reoveepuhastid, siis nende andmete järgi jäid uuringust välja sadeveepuhastid, õli- ja rasvapüüdurid, prügilad, autopesulate puhastid, sadamad, kalatehased, farmid, biolodud, pumbamajad, septikud ning settebasseinid. Andmed reoveepuhasteid haldavate vee-ettevõtete ja kohalike omavalitsuste (edaspidi nim. vee-ettevõtted) kohta (e-mailid) leiti nende kodulehelt või äriregistrist. Samuti saadeti uuring Eesti Vee-ettevõtete Liidu liikmetele, kuhu kuulub 40 vee-ettevõtet, millest osad haldavad reoveepuhasteid ühe või mitme maakonna põhiselt. Vee-ettevõtete uuringu planeeritud üldkogumi moodustas 73 vee-ettevõtet, kes haldavad reoveepuhasteid.

Põllumajandusettevõtetele saadetud küsitluse tegelik valim oli 40. Vee-ettevõtete küsitlusele vastanute arv ehk tegelik valim oli 34. Arvestades seda, et mitmed vee-ettevõtted haldavad mitut reoveepuhastit korraga või lausa maakonnapõhiselt, siis võib vastamismääraga rahule jääda ning viia läbi analüüsi ja teha järeldusi.

Tulemused

Küsitluses osalenud põllumeestest 43% hindasid ennast pigem teadlikeks ning 45% vastanutest vastasid, et on vähe teadlikud reoveesette kasutamise võimalustest põllumajanduses (joonist 1). Ennast väga teadlikuks pidas 7% ning üldse mitte teadlikuks kõigest 5%.



Joonis 1. Küsitlusele vastanud põllumeeste teadlikkus reoveesette kasutamise võimalustest, %.

Kuigi suur osa põllumehi (43%) pidas ennast reoveesette kasutamise võimalustest pigem teadlikuks, siis oma majandustegevuses ei ole kasutanud setet 85% vastanutest. Ülejäänud 15% on setet kasutanud vähemalt ühe korra, millest omakorda regulaarselt kasutab reoveesetet oma majandustegevuses kõigest 2% põllumeestest.

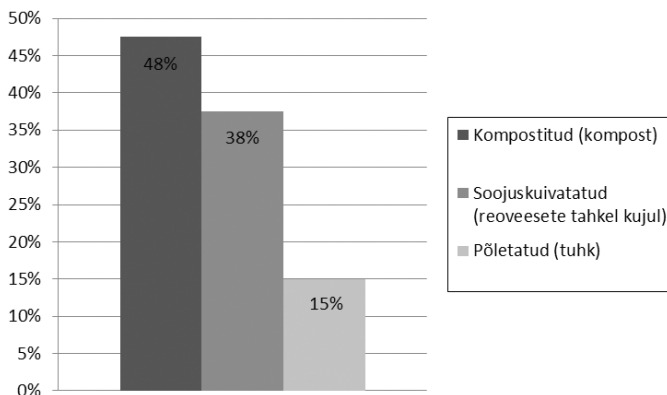
Need põllumehed, kes ei olnud kasutanud reoveesetet oma majandustegevuses, tõid põhjusena välja just teadmatuse sette kasutamise võimalustest põllumajanduses (43%). 23% setet mittekasutanud põllumeestest arvas, et põhjus võib olla muu, kui küsitluses esitatud põhjustest. Põllumehed tõid välja selle, et neil pole olnud vajadust setet kasutada ja nende vastanute arvates puudus lähiümbruses ka pakkuja. Samuti toodi välja sette kasutamise tülikus (14%), mis tähendab, et setet peab transportima, põllule laotama ning ka sisse kündma. 9% oli neid vastajaid, kes kartsid ilma jääda põllumajandustoetustest ning 6% oli neid põllumehi, kes hindasid sette kasutamist kulukaks. Sama palju vastanutest kardavad reoveesettes sisalduvaid patogeene ning raskmetalle.

Kuigi enamus vastajatest, kes ei olnud reoveesetet oma majandustegevuses kasutanud, pidasid kõige olulisemaks põhjuseks teadmatust, siis need vastajad, kes on setet vähemalt korra kasutanud, hindasid kõige olulisemaks teguriks majanduslikke põhjuseid (67%

setet kasutanud põllumeestest). See tähendab, et sette transport selle tekkekohast sobilikule põllumajandusmaale, sette laotamine, sissekündmine ning hilisem sette- ja mullaproovide võtmine ja analüüsimine osutuvad liiga kulukaks. Samuti arvasid setet kasutanud põllumehed, et ei teata sette keskkonnamõju (17%) ning kardetakse ohtlike ainete sisaldusi reoveesettes (17%).

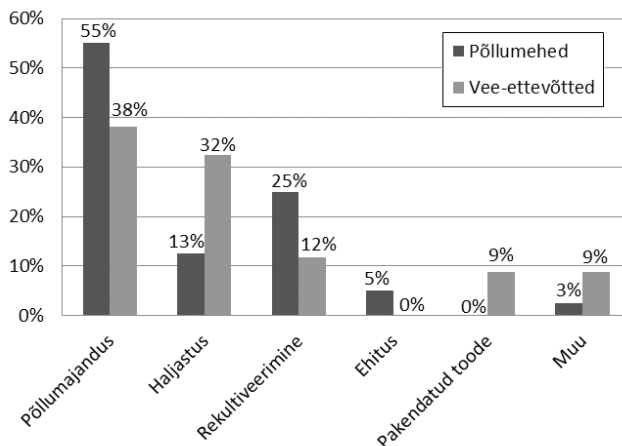
Kuigi põllumehed, kes ei ole reoveesetet oma majandustegevuses kasutanud, hindasid olulisimaks teguriks just teadmatust reoveesette kasutamise võimalustest (43%), siis vee-ettevõtete seas ei leidunud ühtegi küsitlusele vastanut, kes oleks selle peamise põhjusena välja toonud.

Põllumeeste küsitluse läbiviimisega sooviti teada saada nende eelistusi, mis viisil käideldud reoveesetet soovivad nad oma tegevuses enim kasutada. Ligi pooled põllumeestest (48%) sooviksid kasutada kompostitud setet (joonist 2). Põllumeeste küsitlusele vastanutest 38% sooviksid kasutada soojuskuivatatud setet ehk setet tahkel kujul ning 15% vastanutest põletatud reoveesetet ehk tuhka.



Joonis 2. Põllumeeste eelistused reoveesette kasutamisel põllumajanduses, %.

Kui aastal 2012. aastal läks 45,5% kogu tekkinud settest kompostimisse ning 46,8% haljastusse ja rekultiveerimisse (Keskkonnaagentuur, 2012), siis nii põllumehed kui ka vee-ettevõtted hindavad reoveesette kasutust tulevikus samuti enim just põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel (joonist 3).



Joonis 3. Põllumeeste ja vee-ettevõtete hinnang reoveesette kasutuskohtadele, %.

Kuigi vee-ettevõtete hinnangul peaks setet tulevikus kasutama peaaegu võrdselt nii põllumajanduses (38%) kui ka haljastuses (32%), siis põllumehed näevad seda enam põllumajanduses (55%) ja rekultiveerimisel (25%) ning vähem haljastuses (13%).

Kui maailmas, eriti Jaapanis, on reoveesette kasutamine levinud ka ehitustegevuses (Cyr et al, 2007; Tyagi & Lo, 2013), siis kõigest 5% põllumeeste hinnangul võiks setet enim tulevikus kasutada ehitustegevuses (betooni- ja asfaltsegud, telliste valmistamine jm). Kuid mitte ükski vee-ettevõtte ei hinnanud sette kasutust Eesti oludes ehitustegevuses jätku-suutlikuks.

Tulevikus näeb 9% vee-ettevõtjatest sette kasutust enim just pakendatud tootena. Seevastu ükski põllumees ei hinnanud seda perspektiivse kasutuskohana. Muu all ei olnud välja toodud muid sette kasutusvaldkondi, vaid perspektiivsed käitlusviisid.

Tulevikus peaks 46% küsitlusele vastanud vee-ettevõtete hinnangul olema reoveesette käitus koondatud suuremate vee-ettevõtete kätte ning 34% vastanutest oli seisukohal, et seda peaks tegema mõni spetsialiseerunud ettevõte. Kõigest 9% vee-ettevõtjatest vastas, et seda peaks korraldama iga vee-ettevõtte ise.

Järeldused ning ettepanekud

Tabelis 1 on välja toodud kokkuvõtte uurimuse käigus saadud tulemustest ning ettepanekutest.

Tabel 1. Vee-ettevõtete ja põllumeeste küsitluste olulisemad järeldused ja ettepanekud

Järeldused	Ettepanekud
Põllumeeste teadmatus reoveesette koostisest	Põhjalikud uuringud, informeerimine
Sette kasutamine põllumajanduses on kulukas	Võimalikud põllumajanduslikud toetused
Perspektiivne on reoveesette kompostimine ja põllumajanduslik kasutus	Tagada kompostimise nõuded ja kvaliteet
Settekäitus koondada suurematesse keskustesse	Riiklik kaardistus sette kogustest ja asukohast

Lõputöö autoripoolsed olulisemad järeldused ja ettepanekud reoveesette kasutamise kitsaskohtade ning lahendust vajavate probleemide kohta on välja toodud tabelis 2.

Tabel 2. Lõputöö autoripoolsed olulisemad järeldused ja ettepanekud reoveesette kasutamiseks

Järeldused	Ettepanekud
Puuduvad teadmised reoveesette põllumajanduses ja haljastuses kasutamise keskkonnamõjude kohta Eesti oludes	Sette uuringud ja pikaajalised põldkatsed Eestis oludes
Puuduvad teadmised reoveesette kasutamise mõjust inimese tervisele	Terviseriskianalüüs
Puudulikud õigusaktid	Täiendada õiguslikke regulatsioone sette uuringute ja põldkatsete alusel, millistel tingimustel ja kus ei tohi reoveesetet kasutada
Sette kasutamine ehitustegevuses on väikseima keskkonnoahuga	Uurida reoveesette kasutust ehitusmaterjalide valmistamisel Eesti tingimustes

Enne, kui soodustada reoveesette kasutamist nii põllumajanduses kui ka mujal, tuleks teha põhjalikud uuringud sette koostise ning selle kasutamise keskkonnamõjude kohta. Nii vee-ettevõtted kui ka põllumehed hindasid väga oluliseks vajalikkust uurida põhjalikult reoveesettes sisalduvate ravimijääkide, patogeenide, raskmetallide ning muude ohtlike ainete kontsentratsioone just Eestis oludes.

Maailmas laialt levinud reoveesette kasutamine ehitustegevuses (telliste, asfaldi- ja betoonisegude tootmine) ei ole Eesti põllumeeste ning vee-ettevõtete hinnangul jätkusuutlik. Sette käitluse juures peeti oluliseks selle majanduslikke kulutusi. Seeläbi ei peetud ka sette kasutamist perspektiivseks ehitustegevuses, kuna sete vajaks põletamist või kuivatamist, mis nõuab aga lisaenergiat. Kuid sette kasutamine ehitustegevuses omab loomulikult potentsiaali taas-

kasutamise seisukohast. Telliste või asfaldi- ja betoonisegude valmistamisel kasutatava taastumatute loodusvarade kasutamine sellisel juhul väheneks. Eelnevate uuringute tulemuste põhjal on teada, et raskmetallid kinnituvad tuhka ja seeläbi ka sellest valmistatud toodetesse. Seeläbi on ka raskmetallide leostuvus väiksem ja seega omab selline käitlusviis tulevikus potentsiaali.

USA's ja Kanadas on laialt levinud kuivatatud ja pakendatud reoveesette kasutamine. Kuigi põllumehed ei hinnanud reoveesette pakendamist ja selle müüki kauplustes väetise või kasvumullana Eestis perspektiivseks, vajaks see siiski edasisi uuringuid. Selgeks oleks vaja teha, mis omadustele peaks selline pakendatud toode vastama ning lisaks tuleks uurida võimalike kasutajate käest, mis tingimustel oleksid nad seda nõus kasutama.

Uuringu tulemustest selgus, et nii vee-ettevõtted kui ka põllumehed hindavad tulevikus reoveesette kasutamist perspektiivseks eelkõige põllumajandusvaldkonnas. Seega on eelnevalt tehtud ettepanek suurendada koostööd ja informeerida põllumehi igati õigustatud. Siinkohal on oluline põllumeeste informeerimine ka kohalikul tasandil. See tähendab, et vee-ettevõtted saavad informeerida kohalikke põllumajandusettevõtteid ning pakkuda neile kvaliteetset komposti, sest majanduslikult otstarbekas on sette kasutamine just tekkekohale võimalikult ligidal. Lähtuvalt põllumeeste soovist kasutada tulevikus reoveesetet oma majandustegevuses just kompostituna, tuleks vee-ettevõtetel jätkuvalt tegeleda kompostimisega ning tagada kvaliteetne kompost mitte ainult põllumeestele, vaid ka ettevõtetele, kes tegelevad nt haljastusega.

Pelgalt põllumeeste informeerimine reoveesette kasutamist ei suurenda. Nagu eelnevalt öeldud, on väga oluline roll sette transpordimise kuludel, millele lisanduvad veel teisedki kulud nagu nt sette laotamise ja sissekündmise kulud, hilisemad kulutused mullaproovidele, et tagada riiklikud nõuded sette kasutamiseks põllumajanduses.

Kirjandus

Cyr, M., Coutand, M., Clastres, P. 2007. Technological and environmental behavior of sewage sludge ash (SSA) in cement-based materials. *Cement and Concrete Research*. **37**, 1278–1289. [online] Science Direct (11.04.2014)

Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge. 2001. European Commission. [WWW] http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/sludge_disposal.htm (12.03.2014)

Good practices in sludge management. 2012. Project on Urban Reduction of Eutrophication (PURE), c/o Union of the Baltic Cities Environment Commission. [WWW] http://meeting.helcom.fi/c/document_library/get_file?p_l_id=18983&folderId=1989810&name=DLFE-51870.pdf (15.04.2014)

Hirsjärvi, S., Huttunen, R. 2005. *Sissejuhatas kasvatusteadusse*. Medicina, Tallinn.

Keskkonnaagentuur. 2013. 2012. a vee-kasutajate poolt veekasutuse aruandes esitatud reoveesette kogused.

Keskkonnaministri määrus nr. 78 “Reoveesette põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutamise nõuded”. *Riigi Teataja* III, 5, 48.

Milorganite. Using Milorganite. [WWW] <http://www.milorganite.com/en/Using-Milorganite.aspx> (06.04.2014)

Moffat, A. 2006. Use of Sewage Sludges and Composts in Forestry. Forest Research. [WWW] [http://www.forestry.gov.uk/pdf/fcin079.pdf/\\$FILE/fcin079.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/fcin079.pdf/$FILE/fcin079.pdf) (07.04.2014)

Petavratzi, E., Wilson, S. 2007. Incinerated sewage sludge ash in facing bricks. [WWW] http://www.smartwaste.co.uk/filelibrary/Brick_Incinsewagesludgeash.pdf (11.04.2014)

Pikka, J. 2008. Kas reoveesete sobib metsakasvatuseks? *Eesti Mets*, 4, 24–28. [online] http://www.loodusajakiri.ee/eesti_mets/index.php?id=865&id_a=1303&src=loe (09.04.2014)

Rulkens, W. 2008. Sewage Sludge as a Biomass Resource for the Production of Energy: Overview and Assessment of the Various Options. *Energy & Fuels*, **22**, 9–15. [online] http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/RULKENS%202007%20Sewage%20Sludge%20as%20a%20Biomass%20Resource.pdf (10.04.2014)

Säästev põllumajandus ja mulla kaitsmine. Mulla degradeerumisprotsessid. 2009. Euroopa ühendused. [WWW] <http://agrilife.jrc.ec.europa.eu/documents/ETFactSheet-03.pdf> (17.04.2014)

Tyagi, V. K. & Lo, S-L. 2013. Sludge: A waste or renewable source for energy and resources recovery? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **25**, 708–728. [online] Science Direct (10.04.2014)

Vasileski, G. 2007. Beneficial Uses of Municipal Wastewater Residuals – Biosolids. Canadian Water and Wastewater Association. [WWW] [http://www.cwwa.ca/cbp-pcb/pdf%20files/BENEFICIAL%20USES%20OF%20MUNICIPAL%20WASTEWATER%20RESIDUALS%20\(BIOSOLIDS\)%20-%20FINAL%20REPORT.pdf](http://www.cwwa.ca/cbp-pcb/pdf%20files/BENEFICIAL%20USES%20OF%20MUNICIPAL%20WASTEWATER%20RESIDUALS%20(BIOSOLIDS)%20-%20FINAL%20REPORT.pdf) (10.04.2014)

Summary

PERSPECTIVE USE OF SEWAGE SLUDGE

As excessive activated sludge has to be removed periodically from the activated sludge purifiers to ensure the continuation of the process, purification of waste water is important in the treatment of the sewage sludge. In the past, sewage sludge was generally disposed of in landfills, but water treatment companies have now started to compost the sludge. However, many smaller companies are not able to produce high quality compost and deal with intermediate storage of the sludge. As consumers have little interest in the composted sludge, marketing it is complicated and other options for the final use of the sewage sludge are required.

Until now, the best place for using the sewage sludge has been assumed to be agriculture. The sludge contains nitrogen, phosphorous and potassium, which makes it a good fertilizer and a good soil amendment thanks to the organic compounds in it. In landscaping, the aerobically stabilised sludge is used as compost for developing landscape on roadsides, railroads and parks.

One option that enables the use of sewage sludge as fertiliser is to package it and market it as growth-soil and fertiliser. Although no trading takes place in Estonia yet, the product is widely spread in the USA and Canada. The packaged sewage sludge is sold as granulated or dried fertiliser and is mostly used for the fertilisation of the turf in golf centres and for fertilising lawns, flowers and vegetables in domestic gardens.

As the sewage sludge has a significant energy potential, one possibility is to use it in the production of energy. Possibilities to produce energy from the sewage sludge are as follows: anaerobic treatment (biogas); bio fuel (dried sludge or pellets); incineration of the sludge; incineration together with domestic waste; incineration together with coal/oil shale in power plants; gasification and pyrolysis.

The ash produced in the process of incineration may be used in construction. The ash or dried sludge has been used as filler in asphalt compounds, raw material in the production of cement, light filler material and in bricks/paving stones.

During the process of writing this Master's thesis, a survey was carried out in water companies which are in charge of waste water treatment plants and among farmers. The aim of the questionnaire sent to water companies was to get an overview of the current situation in the processing of the sewage sludge and to obtain the companies' assessment in regard to the possible future usage of sewage sludge. The questionnaire focused on the actual possibilities of the conscious use of the sewage sludge and assessed the interest towards the use of sewage sludge in agriculture.

As a result, it became clear that before the use of sewage sludge is allowed, the contents of the sludge and its impact on the environment have to be studied thoroughly. Both the water companies and farmers considered it very important to study the substances specifically found in the sludge in Estonia such as drug residues, pathogens, heavy metals and other hazardous elements. The respondents also considered it important to assess the impact of sewage sludge as an agricultural supplement on the environment and people's health.

According to Estonian farmers and water companies, using the sewage sludge in construction, which is widely spread in the world, is not sustainable. An important aspect comprises the economic expenses made for the treatment of the sludge.

Water companies and farmers stated that the use of the sewage sludge in Estonia is probably most perspective in agriculture. Many farmers pointed out the fact that the contents of the sewage sludge and the possibilities for application are not known. If information on the impact of sewage sludge on the environment and people's health in Estonia becomes available, the potential users have to be informed about the possible use of the compost made of the sewage sludge. According to water companies, the processing of the sludge should be concentrated in bigger centres to ensure its effectiveness.

MULTIKRITEERIUMILISE OTSUSTUSANALÜÜSI KASUTAMINE JÄÄKSOO KORRASTAMISVIISI VALIMISEKS

Kadi Padur

Tallinna Ülikool, Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut
ökoloogiadoktorant
kadi.padur@gmail.com

Sissejuhatus

Jääksood on kõik endised turbakaevandamisalad, mis tekivad pärast soo kuivendamist ja turba kaevandamist (Paal *et al*, 2011). Turbakaevandamisalade spontaanne taimestumine on sageli takistatud suure pindala, madala veetaseme ja tuuleerosiooni tõttu, millest tulenevalt võivad jääksood olla olulise taimkatteta aastakümneid pärast kaevandamise lõppemist (Quinty & Rochefort, 2003). Loodusliku isetaastumise kõrval on võimalik ja nüüdseks ka õigusaktidest tulenevalt kohustuslik turba kaevandamisjärgne jääksoo korrastamine (Maapõueseadus, 2004). Eesti tingimustes peetakse võimalikeks jääksoode korrastamisviisideks järgmisi alternatiive: soo taastamine, marjakasvatuse, energianiidu ja vee-kogu rajamine ning metsastamine (Paal *et al*, 2011). Siiski ei sobi igale korrastamist vajavale jääksoole ühtmoodi kõik alternatiivsed korrastamisviisid. Seetõttu on oluline teha adekvaatsetel alustel mõistlik otsus, millist korrastamisviisi konkreetse ala puhul rakendada. Eestis on palju korrastamist vajavaid mahajäetud ja turbakaevandamise lõppfaasis olevaid jääksoid. Eestis seni tehtud turbakaevandamisalade korrastamisprojektid enamasti ei hinda erinevaid võimalikke lahendusviise, vaid järgivad kaevandamisloas esitatud lahendust. Ka loa taotlemise eel ei kaaluta võimalikke lahendusi, vaid määratakse see paarilausealise põhjendusega. See tähendab, et olulised keskkonnakorralduslikud otsused, mida

jääksoo edasise kasutusviisi valik kahtlemata on, tehakse viisil, mis ei toeta võimalikult põhjendatult parima lahenduse leidmist ega ole selleks kohane.

Keskkonnakorralduslikud otsused ei põhine ainult teaduslikel ja tehnilistel asjaoludel (Clarke & Rieley, 2010), vaid on tugevasti mõjutatud majanduslikest, sotsiaalsetest ja poliitilistest aspektidest (Huang *et al*, 2011). Soo kasutamise korraldamine peab olema sobiv, arvestades ala iseärasusi, kasutust ning sotsiaal-majanduslikke, kultuurilisi ja keskkonnavalaseid aspekte (Clarke & Rieley, 2010). Erinevate aspektide tasakaalustatud ja ratsionaalne arvestamine võib valmistada probleeme – mida suuremahulisemaid ja tähtsamaid otsuseid tehakse, seda enam eksisteerib huvigruppe, kelle seisukohad valiku tegemisel arvestamist vajavatest tegurites ja nende olulisusest võivad erineda. Huvigruppe kaasava mitme konkureeriva kriteeriumi alusel selge, arusaadava, objektiivse, teaduslikel alustel baseeruva keskkonnakorraldusliku kompromissi tegemiseks on võimalik kasutada multikriteeriumilise otsustusanalüüsi metoodikat, mis on struktureeritud süstemaatiline otsustamisprotsess (Turner *et al*, 2000; Baker *et al*, 2001). Selle metoodika kasutamine aitab kaasa sellele, et keskkonnakorralduslikud otsused oleksid tehtud usaldusväärsete andmete põhjal, valikuprotsess ja selle tulemused oleksid läbipaistvad ja efektiivsed ning tagaksid võimalikult suure inimeste ja keskkonna heaolu – neid tingimusi on otsustamisel oluliseks pidanud ka Omann (2000). Karjääridele korraldamisviisi valimiseks on multikriteeriumanalüüsi kasutanud ka Sasso *et al* (2012) ja Bottero *et al* (2013).

Käesoleva töö eesmärk on keskkonnavalaseid, sotsiaalseid ja majanduslikke aspekte hõlmava ja potentsiaalseid huvigruppe kaasava kriteeriumisüsteemi, sh kriteeriumide kaalude, leidmine ning nende põhjal rakendamiseks sobiva hindamismudeli koostamine, millele tuginedes oleks võimalik valida jääksoo optimaalne korraldamisviis.

Metoodika

Piiravad kriteeriumid ja otsustuspuu

Selleks, et kindlaks teha, millised korrastamisviisid konkreetsele jääksoole sobivad, tuleb esmalt välja töötada piiravad kriteeriumid. Need on kriteeriumid, mis teatud väärtuste korral näitavad, et konkreetse jääksoo omadused takistavad mõne alternatiivse korrastamisviisi edukat rakendatavust alal (Sanchez-Lozano *et al*, 2013).

Alternatiivide sorteerimiseks piiravate kriteeriumide alusel luuakse otsustuspuu, milles on vastavalt ala omadustele välja toodud sellele eeldatavalt sobivad korrastamisviisid. Otsustuspuu on graafiliselt tehtavat otsust ja tulemusi hõlmav meetod (Olivas, 2007). Otsustuspuus järjestatakse piiravad kriteeriumid vastavalt sellele, kuidas nad koos eksisteerida saavad. Edasi lisatakse korrastamisviisid, mis ala jaoks nendel tingimustel sobivad ning iga järgnev samm käsitleb ainult alles jäänud alternatiive. Otsustuspuu võib näidata, et jääksoole sobib eeldatavalt üks korrastamisviis, millest tulenevalt saab otsustamine lõppeda. Samas võib mitmete ala omaduste korral jääksoole sobida ka kaks või enam erinevat korrastamisviisi.

Võrdluskriteeriumid ja väärtusepuu

Juhul, kui ala korrastamiseks sobib mitu korrastamisviisi, on neid vaja võrrelda ja paremusjärjestada. Selleks töötati välja võrdluskriteeriumid, mis süstematiseeriti väärtusepuuna. Võrdluskriteeriumid on aspektid, mis aitavad alternatiive eristada (Sanchez-Lozano *et al*, 2013), tuues välja nende nõrkused ja tugevused. Väärtusepuu on hierarhiline süsteem, mida kasutatakse jaotamaks eesmärk nii väikesteks alaosadeks, kui projekti puhul on asjakohane, ning see võimaldab näha alternatiivide ja kriteeriumide vahelist seost (Saarikoski *et al*, 2012). Davidson (2004) järgi on kriteeriumid võimalik tuletada seadustest, eetilistest kaalutlustest, ajaloolistest, kultuurilistest ja traditsioonilistest seisukohtadest, isikute ja organisatsioonide eesmärkidest, temaatilisest kirjandu-

sest, teaduslikest ja tehnoloogilistest võimalustest, turumajandusest ning spetsialistide soovitudest. Sellest lähtudes on antud töös leitud piiravad ja võrdluskriteeriumid loetletud kirjanduse, seadusandluse ja M. Ilometsa ekspertarvamuse baasil. Selleks kasutati järgmisi allikaid: keskkonnaministri 26.05.2015 määrus nr 43; Leupold, Jeglum, 2004; Janssen *et al*, 2005; Parish *et al*, 2008; Drawish *et al*, 2010; Sasso *et al*, 2012; Burton *et al*, 2012; Fontana *et al*, 2013; Tolvanen *et al*, 2013; Bottero *et al*, 2014; Paal *et al*, 2014; Ilomets, 2014.

Järgmisena viidi läbi arvamusuuring, mille käigus esitati võrdluskriteeriumide nimekiri huvigruppidele täiendamiseks ja kriteeriumide olulisuste hindamiseks. Huvigrupid on *Previously Defined Criteria* (varem sõnastatud kriteeriumid) metoodika kohaselt otsustegijad, kodanike rühmad, organisatsioonid ja institutsioonid ning lõpptarbija, kes on kas positiivselt või negatiivselt projektist mõjutatud (Baker *et al*, 2001). Huvigrupid valisid veebipõhises uuringus nende arvates jääksoo korrastamisviisi valiku tegemisel arvestamist vajavad võrdluskriteeriumid ja määrasid neile kaalud. Otsustamisel on oluline käsitleda kriteeriumide kaalusid, kuna enamikel juhtudel ei ole kõik käsitletavad kriteeriumid võrdse tähtsusega, mis tuleneb sellest, et huvigruppide arvamused ja eelistused on erinevad. Kaalude leidmise üks enim kasutatav metoodika on huvigruppide poolt kriteeriumidele kaalude määramine, milles lastakse igal huvigrupil määrata kriteeriumidele oma eelistuste järgi olulisused ning seejärel koondatakse erinevate osapoolte seisukohad nii, et kõikide kaalude summa oleks 100%. Kui on teada, et mõne huvigrupi arvamused on teistest olulisemad, tuleb otsustegijatel nende seisukohti kriteeriumide kaalusid kokku võttes enam arvestada (Anderson, 2002). Sellest tulenevalt määrasid huvigrupid küsitluses kriteeriumidele kaalud ning hindasid, kui olulised on erinevatesse huvigruppidesse kuuluvate inimeste arvamused jääksoo korrastamisviisi valimisel. Nii leiti huvigruppide arvamuste olulisused. Need kaasati kriteeriumide lõplike kaalude määramisse, mis leiti kriteeriumide kaalude ja huvigruppide arvamuste olulisuste kaalutud keskmistena.

Davidson (2004) järgi koostati huvigruppide loetelu, kes kaasati arvamusuuringusse:

- otseselt mõjutatud osapooled:
 - omanik: Eesti riik, haldaja Riigimetsa Majandamise Keskus;
 - rentnik: turbakaevandamisega tegelevad ettevõtted – Eesti Turbaliidu liikmed;
 - korrastamisjärgsed kasutajad: võib potentsiaalselt olla mõni Eesti Biokütuste Ühingu liige kui energiakultuuri kasvataja või Marjasoo Talu kui soomarjade kasvataja;
- kaudselt mõjutatud osapooled:
 - kohalikud omavalitsused, kus paiknevad jääksood: Nissi vald, Avinurme vald, Tootsi vald, Halinga vald, Rannu vald, Vändra vald – küsitletakse omavalitsuste liikmeid, kes esindavad kohalike elanike arvamusi;
 - keskkonnaorganisatsioonid: Eesti Keskkonnaühenduste Koja liikmed;
 - keskkonnakorraldusega tegelevad ettevõtted: potentsiaalsed korrastusprojektide koostajad – OÜ Inseneribüroo Steiger, OÜ Hendrikson & Ko, Kobras AS, OÜ Keskkonnakorraldus, Ramboll Eesti AS, OÜ Adepte Ekspert, Agenda Keskkonnabüroo OÜ, ELLE OÜ;
 - antud temaatikaga tegelevad teadlased: Tallinna Ülikooli, Tallinna Tehnikaülikooli ja Eesti Looduse Fondi märgalade eksperdid ja telmatoloogid;
 - seadusandlikku poolt reguleerivad ja otsuseid vastu võtavad asutused: Keskkonnaministeerium ja Keskkonnaamet.

Huvigruppidega koostöös välja töötatud kriteeriumide kaalude erinevuste statistilist olulisust kontrolliti ühefaktorilise dispersioonanalüüsiga. Dispersioonanalüüs näitab, kas saadud tulemused (kaalud) omavad statistiliselt olulist erinevust (statistilise olulisuse tõenäosus on P , statistiline olulisus eksisteerib juhul, kui olulisusnivoo $\alpha=0,05$ ja $P<0,05$).

Hindamismudel

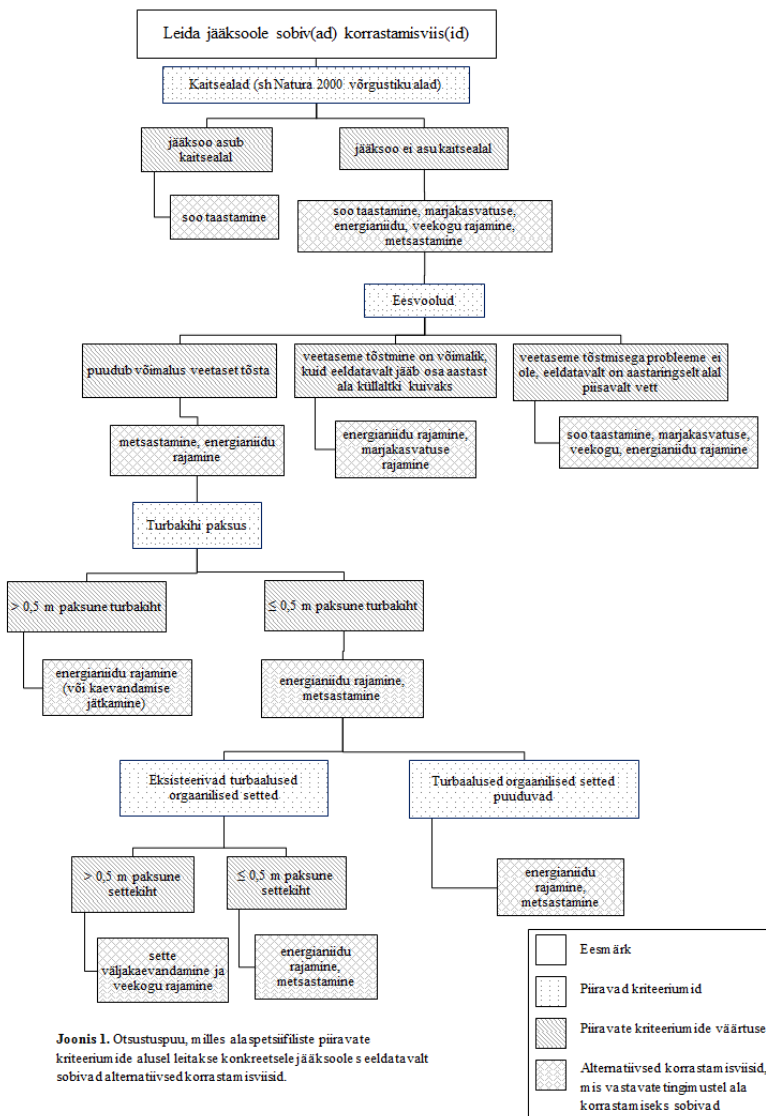
Piiravate kriteeriumide ning kaalutud võrdluskriteeriumide identifitseerimise järel tuleb nende alusel alternatiivseid korrastamisviise võrrelda. Võrdlemiseks on võimalik kasutada multikriteeriumanalüüsi meetodeid. Otsustusprotsessi mugavamaks kasutamiseks koostatakse MS Excelis multikriteeriumanalüüsi otsustuspuu ja *ELECTRE I* meetodil ning kaalutud summa meetodil põhinev hindamismudel. *ELECTRE I* on alternatiivide prioritseeriv paaritivõrdluse meetod, milles kriteeriumidel võivad olla nii kvalitatiivsed kui ka kvantitatiivsed väärtused ning mis toob välja alternatiivide vahelised domineerivad suhted (Tisza, 2014). Seda hindamismudelit on võimalik rakendada konkreetsetele jääksoodele korrastamisviiside valimiseks.

Tulemused

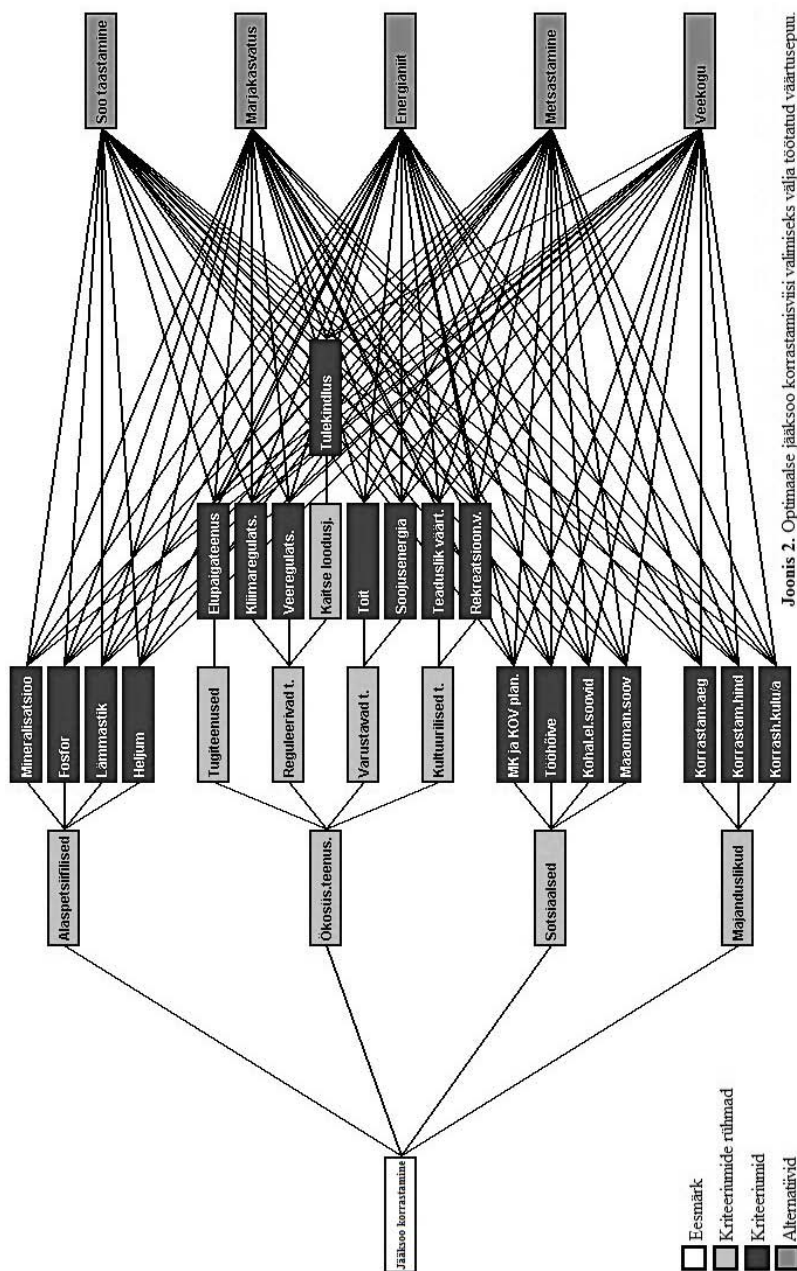
Otsustuspuu ja väärtusepuu

Konkreetsele jääksoole optimaalse korrastamisviisi leidmiseks selgitati esmalt välja ala asukohaspetsiifikast ja omadustest tulenevad alternatiivide rakendatavust takistavad aspektid ehk alaspetsiifilised piiravad kriteeriumid, mida on neli: kaitsealad (sh Natura 2000 võrgustiku alad), eesvoolud, turbakihi paksus ja turbaalused orgaanilised settid. Piiravate kriteeriumide alusel alternatiivide rakendatavuse hindamiseks loodi otsustuspuu (joonis 1). Reaalse jääksoo jaoks sobivaima korrastamisviisi leidmine välja töötatud otsustuspuu alusel on võimalik juhul, kui nende kriteeriumide väärtused vastaval alal on kindlaks tehtud.

Otsustuspuu näitab, et teatud juhtudel sobib jääksoole eeldatavalt vaid üks korrastamisviis. Sellisel juhul on optimaalne lahendus leitud ning otsustusprotsess võib lõppeda. Selline situatsioon esineb näiteks siis, kui jääksoo asub kaitsealal (sh Natura 2000 võrgustiku alal) – siis on ala jaoks ainus sobiv korrastamisviis soo taastamine. Sellist põhimõtet on oma töös rakendanud ka Paal *et al* (2014).



Joonis 1. Välja töötatud otsustuspuu, milles alaspetsiifiliste piiravate kriteeriumide alusel on võimalik konkreetsele jääksoole leida sobivad korrastamisviisid.



Joonis 2. Optimaalse jätkusuutliku korraldamise võimalike väljatehingute väärtused.

Samuti selgub otsustuspuust, et näiteks juhul, kui ala ei asu kaitsealal, ala veetaset ei ole võimalik tõsta, jääksoos alles jäänud turba-kihi paksus on $\leq 0,5$ m ning turbaaluste orgaaniliste setete paksus ületab 0,5 m, sobib alal jaoks vaid üks alternatiivne korrastamisviis: sette väljakaevamise järel alale rajatav veekogu. Samas on otsustuspuust näha, et paljudel juhtudel on alal rakendatavad mitu korrastamisviisi. Sellisel juhul on vaja neid võrrelda ja leida sobivaim. Selleks töötati välja olulised kriteeriumid ja nende kaalud.

Kriteeriumisüsteem ja alternatiivid on koondatud väärtusepuuna (joonis 2). Väärtusepuus olevad alaspetsiifilised kriteeriumid on näitajad, mis väljendavad konkreetse jääksoo parameetreid enne korrastama hakkamist. Ökosüsteemiteenuseid käsitletakse antud töös kui hüvesid, mida territoorium peale korrastamist funktsioneeriva alana on võimeline inimestele pakkuma. Sotsiaalsed ja majanduslikud aspektid on jääksoo korrastamisega seotud erinevate ressursside kuludega ning inimeste soove ja seisukohti arvestavad asjaolud, mis puudutavad otseselt korrastamist ja ala hilisemat seisukorda. Nendes neljas kriteeriumide rühmas on kriteeriumid, mis huvigruppide hinnangute koondamisel osutusid olulisteks.

Huvigruppidega koostöös välja töötatud kriteeriumide kaalud

Huvigruppide seas läbi viidud arvamusuuringule vastas 79 inimest (küsitlusse kaasati 298 inimest). Jääksoo korrastamisel arvestamist vajavate kriteeriumide ja nende kaalude väljatöötamisel osalenud huvigruppide liikmetest 63% omasid teoreetilisi teadmisi ja/või praktilisi kogemusi antud valdkonnas. Igast huvigrupist vastas küsitlusele vähemalt 10% uuringusse kaasatud inimestest. Huvigrupid hindasid, et kõige olulisem on arvestada otsuse tegemisel kohalike elanike ja teadusasutuste arvamusi (tabel 1). Ühefaktoriiline dispersioonanalüüs näitas, et huvigruppide arvamustele omistatud olulisuste erinevus on statistiliselt oluline.

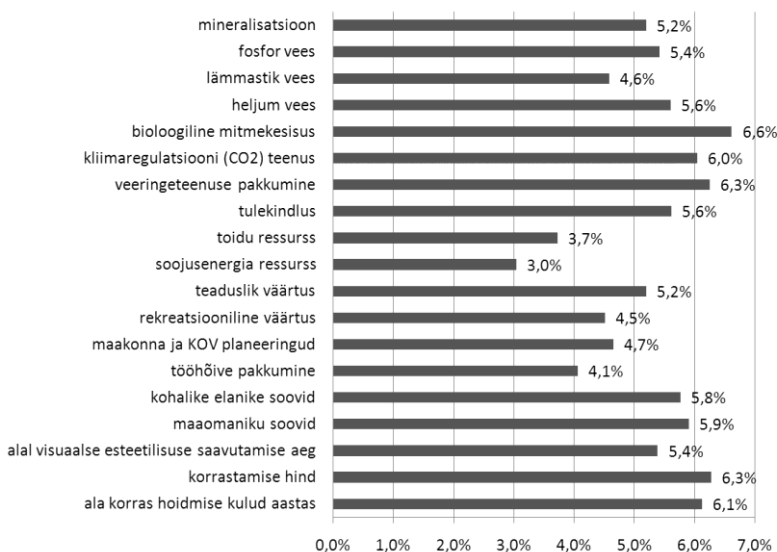
Tabel 1. Arvamusuuringu tulemused, mis näitavad, kui oluliseks hindasid huvigrupid erinevate osapoolte arvamusi jääksoo korrastamisviisi valiku tegemisel.

Huvigrupid	Arvamuse olulisus, %
Kohalikud elanikud	14,2
Teadusasutused (sh teadlased)	13,2
Keskkonnaamet ja Keskkonnaministeerium	13,0
Keskkonnaorganisatsioonid	12,3
Keskkonnakorraldusega tegelev eraettevõte	10,4
Riigimetsa Majandamise Keskus	9,8
Soomarjade kasvatamisega tegelev ettevõte	9,4
Biokütuse tootmisega tegelev ettevõte	8,9
Turbakaevandamisega tegelev ettevõte	8,9

Arvamusuuringus osalenud said valida, millised kriteeriumid peaksid olema kindlasti jääksoo korrastamise viisi valiku otsustusse kaasatud. Kõik töös eelnevalt välja töötatud ning huvigruppidele täiendada antud kriteeriumid osutusid sobivaks ja oluliseks. Minimaalselt valisid 79-st küsitlusele vastanust 10 ehk ~13%, et arvesse tuleks võtta pärast korrastamist ala poolt pakutavad toidu ja soojusenergia ressursid. Kõige enam ehk ~77% küsitletuist valis otsuse tegemisel arvestamist vajavaks kriteeriumiks ala poolt pärast korrastamist pakutava elurikkuse teenuse ehk ala bioloogilise mitmekesisuse.

Huvigruppide poolt kriteeriumidele omistatud kaalude ja huvigruppide arvamuste olulisuste koondamisel saadi kriteeriumide lõplikud kaalud (joonis 3). Kõige olulisem kriteerium, mida korrastamise viisi valiku tegemisel arvesse tuleks võtta, on ala poolt pä-

rast korrastamist pakutav bioloogiline mitmekesisus. Kõige vähemoluliseks hinnati ala poolt pärast korrastamist pakutavat soojusenergia ressursi teenust. Huvigruppide poolt 19-le kriteeriumile omistatud kaalud on oluliselt erinevad, mida näitab esmalt asjaolu, et kõige olulisemaks hinnatud kriteerium (kaal 6,6%) on rohkem kui kaks korda olulisem kui kõige vähemoluliseks hinnatud kriteerium (kaal 3,0%). Samuti näitab kriteeriumidele omistatud kaalude statistilist olulist erinevust ühefaktoriline dispersioonanalüüs, mille puhul on statistilist olulisust näitava P väärtuseks $P < 0,001$.



Joonis 3. Arvamusuuringu tulemusena välja töötatud kriteeriumid ja nende kaalud, mida jäáksoo korrastamisviisi valimisel tuleb arvesse võtta.

Välja töötatud hindamismudel on aluseks konkreetsetele jääksoodele optimaalse korrastusviisi leidmisel. Mudelis olevaid andmeid on võimalik ja vajalik käsitletava reaalse jääksoo puhul modifitseerida, andes konkreetset situatsiooni ja ala omadusi kirjeldavatele kritee-

riumidele väärtused. Vajadusel on võimalik korrigeerida ka kriteeriumide kaale vastavalt huvigruppide väärtushinnangutele.

Väljatöötatud kriteeriumide võrdlus varasemalt tehtud töödega

Karjääride korrastamiseks sobiva viisi valimisest, sh otsustusanalüüsi meetodikat kasutades, on kirjutatud küllaltki vähe teadusartikleid, turbakarjääride korrastamisega seoses pea üldse mitte. Siiski on multikriteeriumanalüüsi rakendanud mahajäetud karjääridele sobivate korrastamisviiside valimiseks näiteks Sasso *et al* (2012) ja Bottero *et al* (2013). Sarnaselt antud tööga loodi ka nendes töödes kriteeriumide süsteem, mis koosnes peamistest kriteeriumide gruppidest, mis jagunesid mitmeks kaalutud kriteeriumiks. Nii, nagu antud töös, oli ka nimetatud töödes olulisel kohal koostöö huvigruppidega. Sarnaselt antud tööle on Sasso *et al* (2012) töös käsitletud kriteeriumit kaitsealad, kuid kaalutud kriteeriumina, erinevalt antud tööst, kus tegu on piirava kriteeriumiga. Nii Sasso *et al* (2012), Bottero *et al* (2013) kui ka antud töös on kaalutud kriteeriumina käsitletud kohaliku omavalitsuse ja maakonna planeeringuid. Bottero *et al* (2013) ja antud töö kriteeriumide süsteem on mitmes aspektis sarnane. Näiteks on Bottero *et al* (2013) töös käsitletud kolm kriteeriumide gruppi neljast samad, mis antud töös: keskkonnaalased, sotsiaalsed ja majanduslikud aspektid. Lisaks on Bottero *et al* (2013) töös ühe kriteeriumide rühmana seadusandlikud aspektid, mis antud töös on paigutatud sotsiaalsete aspektide alla.

Käesoleva töö osana koostatud praktiline hindamismudel on esimene, mida on võimalik rakendada reaalsete jääksoode korrastamisviiside valimisel.

Kokkuvõte

Töös on mitmekriteeriumilisel otsustusanalüüsil põhineva meetodika kohaselt töötatud välja optimaalse jääksoo korrastamisviisi valimiseks kriteeriumid ja nende kaalud ning loodud MS *Excel*'is hindamismudel. Mudel on mõeldud abistamiseks otsustajat jääksoole korrastamisviisi valiku tegemisel nii, et võetaks vastu ratsionaalne ning huvigruppidele arusaadav otsus. Töös loodi korrastamisviisi valikut mõjutavate keskkonnaalaseid, sotsiaalseid ja majanduslikke aspekte hõlmav kaalutud kriteeriumide süsteem, mille moodustamiseks kasutati nii kirjanduse andmeid, ekspertarvamust kui ka huvigruppide seisukohti. Viimaste saamiseks viidi läbi küsitlus. Huvigrupid, kelle arvamusi küsiti, olid Riigimetsa Majandamise Keskus, Keskkonnaministeerium ja Keskkonnaamet, Turbaliit, Biokütuste Ühing, Marjasoo talu, teadusasutused (sh telmatoloogid), kohalikud elanikud, keskkonnaorganisatsioonid ning keskkonnakorraldusega tegelevad ettevõtted.

Hindamismudel koosneb alternatiividest ja kriteeriumidest. Kogutud kriteeriumid jaotati piiravateks ja võrdluskriteeriumideks. Piiravad kriteeriumid näitavad konkreetse ala omadusi, mis takistavad mõne korrastamisviisi rakendamist. Piiravad kriteeriumid on ala paiknemine kaitsealal, veetaseme tõstmise võimalikkus, keskmine alale alles jäänud turbakihi paksus ning turbaaluste orgaaniliste setete olemasolu ja paksus. Nende rakendamiseks koostati otsustuspuu, mis sorteerib viiest võimalikust korrastamisviisist (soo taastamine, marjaistanduse, energianiidu ja veekogu rajamine ning metsastamine) välja need, mis eeldatavalt vastava ala jaoks sobivad.

Juhul, kui otsustuspuu näitab, et ala jaoks sobib vaid üks korrastamisviis, saab otsustamine lõppeda. Mitme korrastamisviisi sobivuse korral toimub edasi nende võrdlemine kaalutud võrdluskriteeriumide alusel. Kriteeriumidele kaalude leidmisel tugineti huvigruppide antud hinnangutele. Lisaks küsiti huvigruppidelt seisukohti, kui olulised on nende arvates erinevate huvigruppide

arvamused jääksoo korrastamise viisi valiku tegemisel ning saadud hinnangud võeti kriteeriumide lõplike kaalude määramisel arvesse, need leiti kaalutud keskmisega. Kriteeriumid ja alternatiivid on esitatud väärtusepuuna, milles on kriteeriumide rühmad (alaspetsiifilised, ökosüsteemiteenused, sotsiaalsed ja majanduslikud aspektid) ja kriteeriumid: mineralisatsioon (kaal 5,5%), fosfori kontsentratsioon (5,7%), lämmastiku kontsentratsioon (4,9%), heljumi kontsentratsioon vees (5,7%), elurikkus ehk bioloogiline mitmekesisus (6,5%), kliimaregulatsioon ehk CO₂ reguleerimine (5,9%), veeringeteenus ehk puhta magevee olemasolu tagamine (6,3%), tulekindlus (5,5%), toidu- (3,7%) ja soojusenergiaressurs (3,0%), teaduslik väärtus (5,0%), rekreatsioonivõimalused (4,5%), maakonna ja kohaliku omavalitsuse planeeringutele vastavus (4,5%), tööhõive ja lisisissetuleku pakkumise võimalikkus (3,9%), kohalike elanike (5,7%) ja maaomaniku soovid (5,8%), ala korrastamisele kuluv aeg ehk ala visuaalse esteetilisuse saavutamiseks kuluv aeg (5,3%), ala korrastamise hind (6,3%) ning ala korras hoidmise kulud aastas (6,2%).

Juhul, kui otsustuspuu näitab, et konkreetse jääksoo korrastamiseks sobib eeldatavalt mitu alternatiivi, leitakse optimaalne lahendus paremusjärjestades need multikriteeriumanalüüsi *ELECTRE I* meetodiga.

Tänu sõnad

Töö autor tänab juhendajat Mati Ilometsa soolaste teadmiste ja edasiviivate vestluste eest, mis olid olulised käesoleva töö valmimiseks. Samuti tänab autor juhendajat Tõnis Põderit töö ülesehitust, sõnastust, vormilist poolt ning küsitluse koostamist ja läbiviimist puudutavate nõuannete andmise eest.

Kirjandus

Anderson, B. F., 2002. The Three Secrets of Wise Decision Making. Single Reef Press, Portland.

Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J., Sorenson, K., 2001. Guidebook to Decision-Making Methods: Developed for the Department of Energy.

Bottero, M., Ferretti, V., Pomariko, S. 2014. Assessing Different Possibilities for the Reuse of an Open-pit Quarry Using the Choquet Integral. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 21, 25–41.

Burton, M., Zahedi, S. J., White, B. 2012. Public preferences for timeliness and quality of mine site rehabilitation. The case of bauxite mining in Western Australia. *Resources Policy*, 37, 1–9.

Clarke, D. Rieley, J. 2010. Strategy for Responsible Peatland Management. Saarijärven Offset, Saarijärvi.

Davidson, E. J. 2004. Evaluation Methodology Basics: The Nuts and Bolts of Sound Evaluation. SAGE Publications

Drawish, T. M., Stehouwer, R., Miller, D., Sloan, J., Jomaa, I., Shaban, A., Khater, C., Hamze, M. 2008. Assessment of Abandoned Quarries for Revegetation and Water Harvesting in Lebanon, East Mediterranean. R.I. Barnhisel Ed Published by ASMR, Lexington.

Fontana, V., Radtke, A., Fedrigotti, V. B., Tappeiner, U., Tasser, E., Zerbe, S. Buchholz, T. 2013. Comparing land-use alternatives: Using the ecosystem services concept to define a multi-criteria decision analysis, *Ecological Economics*, 93, 128–136.

Huang, I. B., Keisler, J., Linkov, I. 2011. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment* 409, 3578–3594.

Ilomets, M. 2014. Suuline eksperthinnang.

Janssen, R., Goosena, H., Verhoevenb, M. L. Verhoevenb, J. T. A., Omtzigta, A. Q. A., Maltby, E. 2005. Decision support for integrated wetland management. *Environmental Modelling & Software*, 20, 215–229.

Leupold, S., Jeglum, J. 2004. After use of cutaway peatlands – an overview of options and management planning. Swedish University of Agricultural Sciences, Umea.

Olivas, R. 2007. Decision Trees. A Primer for Decision-making Professionals.

Omann, I. 2000. How can Multi-criteria Decision Analysis contribute to environmental policy making? A case study on macro-sustainability in Germany. Third International Conference of the European Society for Ecological Economics, Vienna.

Paal, J., Hein, K., Heinsoo, K., Holm, B., Ilomets, M., Ivask, M., Karofeld, E., Kõpp, V., Leiner, E., Lode, E., Melts, I., Niitlaan, E., Orru, M., Paal, T., Pikk, J., Pikka, J., Raadla, K., Raudsep, R., Saarmets, T., Triisberg, T. 2011. Jääksood, nende kasutamine ja korrastamine. Tartu.

Paal, J., Ilomets, M., Karofeld, E., Truus, L., Leibak, E., Lode, E., Pajula, R., Pikka, J., Kull, A. 2014. Korrastatavate jääksoode valik ja korrastamise tulemuste hindamine. Metoodiline juhend.

Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minayeva, T., Silvius, M., Stringer, L. (Eds.), 2008. *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.

Quinty, F. & Rocefort, L., 2003. Peatland Restoration Guide, 2nd edition. Canadian Sphagnum Peat Moss Association; New Brunswick Department of Natural Resources and Energy. Québec.

Saarikoski, H., Mustajoki, J., Marttunen, M. 2013. Participatory multi-criteria assessment as 'opening up' vs. 'closing down' of policy discourses: A case of old-growth forest conflict in Finnish Upper Lapland. *Land Use Policy*, 32, 329–336.

Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solanob, J., Soto-Elvirab, P. L., García-Cascalesb, M. S. 2013. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy*, 24, 544 – 556.

Sasso, P. D., Ottolino, M. A., Caliandro, L. P. 2012. Identification of Quarries Rehabilitation Scenarios: A Case Study Within the Metropolitan Area of Bari (Italy). *Environmental Management*, 49, 1174–1191.

Tisza, K. 2014. GIS-Based Suitability Modeling and Multi-Criteria Decision Analysis for Utility Scale Solar Plants in Four States in the Southeast US. All Theses. Graduate School of Clemson University.

Tolvanen, A., Juutinen, A., Svento, R. 2013. Preferences of Local People for the Use of Peatlands: the Case of the Richest Peatland Region in Finland. *Ecology and Society*, 18(2): 19.

Turner, R. K., van den Bergh, J. C. J. M., Söderqvist, T., Barendregt, A., van der Straaten, J., Maltby, E., van Ierland, E. C. 2000. The Values of Wetlands: Landscape and Institutional Perspectives. Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. *Ecological Economics*, 35, 7–23.

Juriidilised aktid

Keskkonnaministri määrus nr 43. Üldgeoloogilise uurimistööga, geoloogilise uuringuga ja kaevandamisega rikutud maa korrastamise kord. 2005. Riigi teataja RTL, 60, 865.

Maapõueseadus. 2004. Riigi teataja I, 84, 572.

Summary

CUT-AWAY PEATLAND REUSE DECISION MAKING USING MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS

In Estonia there are more than 9000 hectares of abandoned milled peatlands that need to be rehabilitated. Most of them are located in the lands belonging to the state. Landowner must rehabilitate these areas, and over the next decades Estonia is planning to do it in collaboration with the European Union. Peatland rehabilitation decisions made so far rely largely on a few known facts and indicators. But to ensure the sustainable development of land use, it is necessary to make decisions based on systemized comprehensive knowledge to cover all significant criteria.

In this study a decision model for optimal cut-away peatland reuse decision making is developed based on a multi-criteria decision analysis. Identifying an important environmental, social and economic criterion, which assess alternatives suitability for achieving the goal, are required. The list of criteria is obtained from the legislation and literature. The decision tree consists restrictive criteria and reuse alternatives and is framed as a choice of whether or not reuse alternatives are suitable for different situations. It shows which rehabilitation alternatives are implementable on the area. In order to compare and rank an alternatives, weighted comparison criteria are developed in cooperation with stakeholders. In the survey stakeholders evaluated the importance of these criteria and assessed how important are different stakeholders opinions – it means that every stakeholder's opinion are not equal to others, every stakeholder's opinion have also weight. The criteria weights were assigned with the weighted average method, where different stakeholders' opinions weights and the weights which they have given to criteria are combined.

The survey results shows as environmental, than economic and social criteria are important to consider the optimal cut-away peatland decision making. The most important criteria for stakeholders is a biodiversity, but also important criteria is a price of reuse alternative implementation. The study proposes a multi-criteria decision making approach that is able to support decision makers in the choice of the best solution for the reuse of a drained cut-away peatland. Created decision model has two steps: decision tree, where four restrictive criteria assess five reuse alternatives suitability for implementing on the area, and ELECTRE I matrix, where nineteen weighted criteria compare reuse alternatives in order to determine the best option for the milled peatland. It is a practical model, which is ready to apply in the real life situations.

HARILIKU KÄORAAMATU (GYMNADENIA CONOPSEA) VÄRVIVORMID JA NENDE VILJUMINE

Kristi Sootla

Tallinna Ülikool, Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut
analüütilise biokeemia doktorant
kristi.sootla@tlu.ee

Sissejuhatus

Õievärvuse polümorfism ehk mitme värvivormi esinemine samal liigil on taimede hulgas tavaline, kuid polümorfseid populatsioone on looduses vähe; valgeõielisi monomorfseid populatsioone praktiliselt ei eksisteeri (Warren & Mackenzie, 2001). Üheks selliseks on aas-vahulill (*Polygala vulgaris*), mille kohta on teada asutaja efektist tulenev valgeõieline populatsioon (Lack & Kay, 1988). Võimalik, et dokumenteerimata juhtumeid on veelgi. Inimsilmale valged õied ei pruugi seda olla putukale, neile võivad kerge varjundi anda kollased pigmendid, näiteks karotenoidid (Kevan *et al*, 1996). Taimede püsijäämise tagab nende võime pälvida tolmeldajate tähelepanu. Õie värvus on putuka jaoks muude omaduste (õie kuju, suuruse, lõhna) kõrval taimeliigi äratundmisel kõige olulisem tunnus (Chittka & Menzel, 1992).

Õievärvuse kui tolmeldajaid ligi meelitava omaduse uurimisel koerliblika liigi *Vanessa indica* puhul leiti, et värvus on lõhnast suurema tähtsusega (Ômura & Honda, 2005); Raguso & Willise (2002) väitel kasutas ööliblikas *Manduca sexta* (sgk. Surulased) distanttsilt lõhnasignaali, vahetus läheduses aga värvust. Lõhnaained võivad kahvatute ja valgete õitega isenditel erineda tüüpiliste isendite omadest (Dormont *et al*, 2010).

Õievärvuse polümorfismiga liikidel viljuvad valgeõielised taimed enamasti tüüpilistest kehvemini (Warren & Mackenzie, 2001; Kevan *et al*, 1996,); on ka teistsuguseid näiteid. Mudikäpa (*Calanthe sylvatica*) uuringus (Delle-Vedove *et al*, 2011) viljusid kahe erineva varieteedi valgeõielised isendid tunduvalt paremini pigmenteerunud õitega taimedest. Dormont *et al* (2010) jumalakäpa (*O. mascula*) looduslikus kasvukohas läbiviidud uurimuses parandasid valgeõielised isendid vahetus läheduses kasvavate tüüpiliste isendite viljumist, kuid nende endi viljumine jäi madalaks. Epperson ja Clegg (1987) leidsid, et valgeõielisi isendeid diskrimineeritakse, kui neid on alla 25%, ning koheldakse tüüpilistega sarnaselt, kui neid on üle 50%. Valgeõieliste taimede kehvena viljumise põhjuseks on pakutud kehvemat märgatavust (Kevan *et al*, 1996), aga ka nn nektari giidide (erineva värvuse ja/või epidermise ehitusega osad õiest, mis juhivad putuka nektarini) puudumist (Waser & Price, 1985). Ometi osadel liikidel – nende hulgas harilikul käoraamatul – puuduvad nektari giidid ka tüüpilistel isenditel (Claessens & Kleynen, 2011). Erinevat värvi õitel võib olla erinev epidermise ehitus; sel juhul võib õiepinna rakkude kooniline või lame kuju mõjutada õie tajutavat värvust (Dyer *et al*, 2007). Nektari olemasolu iseenesest seostub taimedel kõrgema viljumise edukusega, kuna aitab pikendada putuka õitel viibimise aega ja sellega parandab tolmeldamise tõhusust (Johnson *et al*, 2004; Neiland & Wilcock, 1998).

Antud uurimuse eesmärgiks oli teada saada, kas ja mil määral on hariliku käoraamatu viljumisedukus seotud õievärvusega ning kas ja kuidas on eri värvivariatsioonide viljumisedukuse erinevus seotud muude teguritega, näiteks õisiku suuruse ja taimede kasvutihedusega. Eeldasime, et pigmenteerunud õitega hariliku käoraamatu taimed viljuvad heleda- ja valgeõielistest taimedest paremini ning seda, et õisiku suurus ja taimede kasvutihedus mõjutavad viljumisedukust.

Uuritav liik

Harilik käoraamat (*Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br. s.l.; joonis 1) on maas kasvav käpaline, mis on levinud üle kogu Euraasia. Eesti käpaliste hulgas on ta küllaltki sage, kuuludes III kategooria kaitsealuste liikide hulka. Harilik käoraamat kasvab lubjarikka pinnasega puisniitudel ja sooservades. Ta on mitmeaastane, mittekloonaalne, maa-aluste juurmugulatega (Øien & Moen, 2002). Pikas ruljas õisikus kasvavad õied on tavaliselt roosad ja avanevad järgemööda õisiku aluselt ülespoole. Esineb ka heledaõielisi ja valgeid isendeid. Lõhnaval õiel on 25–30 mm pikkune ja 0,7 mm läbimõõduga kannus, mis sisaldab nektarit (Stpiczyńska & Matu-siewicz, 2001). Harilik käoraamat on tolmeldajaid nektariga toitva liigina kõrge viljumise edukusega, teada on Tšehhi (Kindlman & Jersakova, 2006), Inglismaa (Neiland & Wilcock, 1998), Norra (Sletvold *et al*, 2012), Rootsi (Hansen & Olesen, 1999; Lönn *et al*, 2006), Šveitsi (Huber *et al*, 2005) ja Venemaa (Vakhrameeva *et al*, 2008) populatsioonide 40–90%ne viljumise edukus. Kuigi kupraid moodustub palju, limiteerib seemnete valmimist ja kuparde massi õietolmu defitsiit (Sletvold & Agren, 2011).

Käoraamatut võib tolmeldada ligi 40 liiki (Claessens & Kleunen, 2011) nii päeva- kui ööliblikaid (Vöth, 2000). Neil peab olema kannusest nektari kättesaamiseks piisavalt pikk imilont. Tolmeldamise efektiivsuse kohta on kohati vastukäivaid andmeid (Pengjuan, 2011; Sletvold *et al*, 2012). Nagu nektarit pakkuvate liikide puhul tavaline, külastavad liblikad paljusid õisi samal õisikul (Soliva & Widmer, 1999), tõstes geitonogaamse viljastumise (viljastumine sama taime teise õie õietolmuga) osakaalu.

Õisiku suuruse mõju kohta käoraamatu viljumise edukusele on kirjanduses erinevad andmed: Vallius *et al* (2006) ja Huber *et al* (2005) väitel tõstab suurem õisik viljumise edukust, Jersakova ja Kindlman (2004) aga leidsid, et hariliku käoraamatu kui nektarit pakkuva liigi puhul jääb see õisiku suurusest sõltumatuks.

Taimede kasvutiheduse mõju kohta viljumisele on uuringutes samuti vastukäivad tulemused. Nektarit tootval liigil suurel käopõlled (*Listera ovata*) suurenes viljumise edukus, kui populatsiooni suurus kasvas kuni 30–40 taimeni, sellest suurema taimede arvu korral viljumise edukus vähenes (Brys *et al*, 2008). Petva liigi leedersõrmkäpa (*Dactylorhiza sambucina*) puhul viljumise ja kasvutiheduse vaheline seos puudus (Pellegrino *et al*, 2005). Mitchell *et al* (2004) leidsid, et suurema kasvutiheduse puhul on tolmeldajate tegevus efektiivsem tänu väiksematele vahemaadele taimede vahel.

Materjal ja meetoodika

Kolm uuritud hariliku käöraamatu populatsiooni asuvad Eesti erinevates piirkondades: Laitse populatsioon Harju maakonnas (N: 59°11', E: 24°23') Kurangu metsa populatsioon Lääne-Virumaal Kiltsis (N: 59°6', E: 26°7') ja Umbaia Läänemaal Laheva külas (N: 58°56', E: 23°40'). Laitse monomorfes tüüpiliste taimedega populatsioonis oli uuringu aastal (2013) umbkaudu 50–60 isendit, Umbaia populatsioonis 1500–2000 ja Kurangu populatsioonis 250–350. Kõik uuritud populatsioonid on hilja õitsevad, õitsemise haripunktiga juuli keskpaigast kuni juuli lõpuni. Taimede õievärvus varieerub valgest (joonis 1) roosani ja tüüpiliseni ehk lillakani. Viljumisuuring hõlmas kokku 1035 taime. Pigmenteerumata või vähenenud õievärvusega isendeid esines väga vähe: Umbaial oli 2013. aastal valgeõielisi 800st uuritud isendist 23, mistõttu võrreldavuse huvides kaasati pea sama haruldasi roosasid samuti 23, Kurangu 200st uuritud taimest oli roosasid 47, valgeid 2 ja tüüpiliste õitega taimi 151. Laitse on eranditult tüüpiliste õitega taimede monomorfne populatsioon. Huvitav on fakt, et hoolimata õitsevate isendite arvust jääb valgeõieliste ja roosade taimede arv samasse suurusjärku ka mitu korda väiksema isendite hulga puhul.



Joonis 1. Hariliku käöraamatu valgeõieline isend (Autor: Merle Toompark).

Viljumist registreeriti, kui kõik taimed (ka märgistamise ajal esimesi õisi avanud) olid kuprad moodustanud. Loendati viljunud ja viljumata õied, mille järgi arvutati suhteline viljumise edukus. Lisaks mõõdeti taime kõrgus, õievarre pikkus ja kasvutihedus. Taimed jagati kasvutiheduse järgi viide gruppi: üksikult, paaris, kuni viie isendi gruppides, kuni kümne isendi gruppides ja tihedalt koos, rohkem kui kümnest taimest koosnevate gruppides kasvavad taimed.

Statistiliseks analüüsiks kasutati programme *SPSS* ja *R*. Mitme parameetri võrdlemiseks kasutati *ANOVA*t, Levene statistiku 0,05st väiksema hajuvuse korral Tamhane'i, sellest suurema hajuvuse korral Bonferroni Post Hoc testi. Vajadusel kasutati ka Tukey ja Pearsoni teste. Parandamaks viljumise edukuse hajuvuse normaaljaotuse kuju, kasutati eksponentsiaalfunktsiooni. Võrdlemaks erinevate faktorite tähtsust statistilises mudelis, kasutati programmi *R* lme (*linear mixed-effect model*) ja gls (*general least squares*) funktsioone.

Tulemused

Taimede kõrgus ja õite arv erinesid populatsioonide ja värvivariatsioonide vahel. Valgeõielised taimed jäid ülejäänutest tunduvalt väiksemaks ning neil oli ka vähem õisi kui pigmenteerunud õitega taimedel. Umbaia populatsiooni taimed olid tervikuna märgatavalt väiksemad kui kahe teise populatsiooni taimed ning neil oli ka vähem õisi. Värvivariatsioonide vahel olid statistiliselt olulised erinevused taimede kõrguses ja õite arvus, kusjuures valge- ja roosaõielised taimed olid tüüpilistest keskmiselt väiksemad. Värvuste vahel esinesid järgmised statistiliselt olulised erinevused: taimede kõrgus: valge-roosa, valge-tüüpiline ja roosa-tüüpiline vastavalt $p < 0,0001$, $p = 0,301$, $p < 0,0001$. Õisiku suurus: valge-roosa, valge-tüüpiline ja roosa-tüüpiline vastavalt $p < 0,0001$, $p < 0,001$, $p = 0,011$.

Taimede kõrguse ja õite arvu seos viljumisega. Kõikide erinevat värvi taimede kõrgus ja keskmine õite arv (õisiku suurus) oli nõrgas statistiliselt olulises seoses suhtelise viljumisedukusega. Pearsoni korrelatsioonikonstanti kasutades: valgetel vastavalt $p = 0,03$, $r = 0,434$ ja $p = 0,026$, $r = 0,443$, roosadel vastavalt $p < 0,0001$, $r = 0,527$ ja $p < 0,0001$, $r = 0,479$ ja tüüpilistel vastavalt $p < 0,0001$, $r = 0,292$ ja $p < 0,0001$, $r = 0,257$.

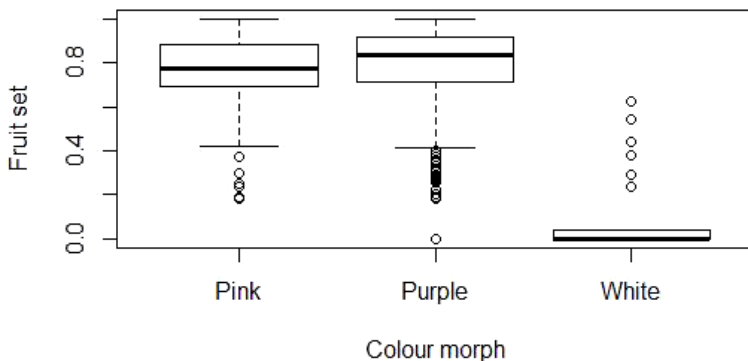
Viljumisedukuse ja värvuse statistiliselt oluline seos ilmnas kõikides uuritud populatsioonides. Tüüpiliste taimede suhteline viljumisedukus oli Umbaial 78.4% ($n = 752$), Kurangul 86.8% ($n = 151$) ning Laitses 66.7% ($n = 32$). Roosaõieliste taimede suhteline viljumisedukus oli Umbaial 62% ($n = 23$) ja Kurangul 81,2% ($n = 47$). Valgeõieliste taimede viljumise edukus mõlemas polümorfses populatsioonis oli väga madal: Umbaial 7,4% ($n = 23$) ning Kurangul 46,1% ($n = 2$). Keskmine viljumisedukus tervikuna oli valgel, roosa ja tüüpilisel värvivariatsioonil vastavalt: 10,5, 74,9 ja 79,3% (joonis 2 ja 3; joonis 4).



Joonis 2. Hariliku käoraamatu valgeõieline isend ühe viljunud kupraga tipus. Näha on viljumata jäänud närbunud õite jäänused (Autor: Kristi Sootla).

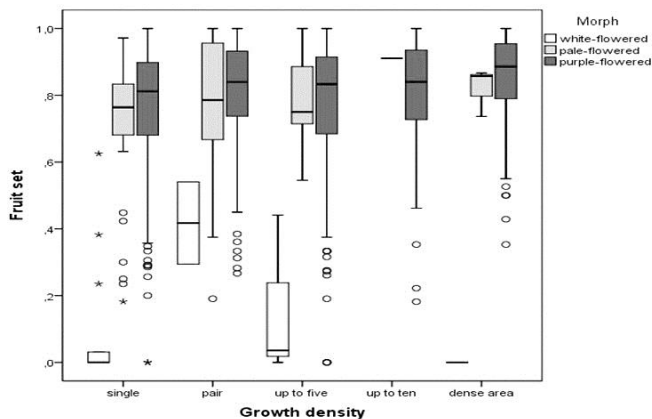


Joonis 3. Hariliku käoraamatu kuprad. Vasakul roosaõieline, paremal tüüpiline isend. Kuprad on püstises asendis, allapoole pööratud sigimikud ei arene kupardeks ega moodusta seemneid (Autor: Kristi Sootla)



Joonis 4. Hariliku käoraamatu (*G. conopsea*) värvivormide viljumise edukus (%).

Viljumise ja kasvutiheduse seos. Taimede kasvutihedus, mis varieerus üksikult ja paaris kasvavatest taimedest viie ja kümne taime gruppide ning tihedalt koos kasvavate taimedeni, mõjutas nende viljumist mõningal määral (joonis 5). Umbaial oli statistiliselt oluline seos üksikult ja tihedalt koos kasvate taimede ($p=0,001$) ning üksikult ja paaris ($p=0,04$) kasvavate taimede vahel. Üksikute taimede viljumisedukus oli teistest gruppidest mõnevõrra madalam, kusjuures kõrgeim suhteline viljumisedukus oli tihedalt koos kasvavatel taimedel. Kurangul ilmnes statistiliselt oluline erinevus ($p=0,04$) üksikute taimede ja tihedalt koos kasvavate taimede vahel; Laitses vastavad olulised seosed puudusid. Tüüpilistel isenditel tervikuna oli statistiliselt oluline seos tihedalt koos kasvavate ja üksikute taimede vahel ($p<0,0001$) ning tihedalt koos kasvavate ja kuni viie taime gruppide vahel ($p<0,001$), ehk üksikult ning viie taime kogumikena kasvavad isendid viljusid tunduvalt halvemini tihedalt koos kasvavatest taimedest.



Joonis 5. Hariliku käoraamatu (*G. conopsea*) värvivormide viljumise edukuse ja kasvutiheduse seos.

Viljumise ja värvuse kontrasti seos. Kõrgeima kasvutihedusega Umbaia populatsioonis oli tüüpiliste isendite suhteline viljumisedukus kõrge (78.4%; $n=752$), kuid tihedalt koos kasvavates gruppides veelgi kõrgem: 84.1% ($n=108$). Valgete isendite vahetus läheduses oli tüüpiliste viljumine samas suurusjärgus, 85% ($n=12$). Valgetest õitest viljus vaid 3%.

Arutelu ja järeldused

Uuritud populatsioonides oli kõrge viljumisedukus, mis kattus kirjanduse andmetega hariliku käoraamatu viljumise kohta (Sletvold *et al*, 2012; Vakhrameeva *et al*, 2008; Kindlman, Jersakova, 2006; Lönn *et al*, 2006; Huber *et al*, 2005; Hansen, Olesen, 1999; Neiland, Wilcock, 1998). Enamasti jäid viljumata tipmised õied, mis on kooskõlas faktiga, et liblikad alustavad tolmeldamist alumistest õitest, liikudes toitudes tipu poole. Mõningatel andmetel (Tremblay *et al*, 2005) võib tolmeldaja küllastuda enne tipmiste õiteni jõudmist, samuti põhjustab tipmiste õite kehvmat viljumist

närbunud alumiste õitega õisiku kehvem märgatavus õitsemise lõpuperioodil. Õitsemise algul aga muudavad värvunud pungad õisiku ülaosas selle paremini märgatavaks.

Statistiliselt oluline seos ilmnes värvuse ja viljumisedukuse vahel kõikides uuritud populatsioonides. Tüüpilised isendid viljusid kõige paremini Kurangu populatsioonis, veidi kehvem oli viljumine Umbaial ning madalaim Laitses, mis on väike ja monomorfne populatsioon. Mõlemas polümorfses populatsioonis viljusid pigmenteerunud õitega taimed paremini. Samas on täheldatav populatsioonisiseste erinevuste olemasolu värvivariatsioonide Viljuisedukuses. Tüüpiliste isendite edukam viljumine vastab kirjan-duses väidetule. Esimene õis, mida putukas külastab ja mille suhtes tekib õiekonstantsus (nähtus, mille puhul tolmeldaja jääb teatud õietüüpi eelistama), on tavaliselt antud populatsioonis sagedamini esinev (Papaj, 1986). Seega on loomulik, et tüüpilised isendid vilju-sid kõige paremini. Eppersoni ja Cleggi (1987) andmetel diskrimi-neeritakse valgeõielisi isendeid, kui neid on populatsioonis alla 25%. Kuigi kohati paiknesid valgeõielised isendid, näiteks Umbaia populatsioonis, üksteisele suhteliselt lähedal, jäi nende osakaal tervikuna tugevalt alla 25%. Nagu samades populatsioonides varemgi, viljusid vähenenud pigmendisisaldusega, roosade õitega taimed edukalt, kuid tüüpilistest mõnevõrra kehvemini, mis võib olla seotud epidermise rakkude ebatüüpilisest kujust ja seega tolmeldava putuka õiekonstantsusest tüüpiliste õite suhtes tingitud diskrimineerimisest. Dormont *et al* (2010) avastasid petturliiigi jumalakäpa (*O. mascula*) puhul, et valgeõielised isendid tõstavad tüüpiliste isendite viljumisedukust endi vahetus läheduses, samas jääb nende endi viljumine madalaks. See on kooskõlas tähele-panekutega Umbaia populatsioonis, kus valgeõieliste isenditega niidul (tihedalt koos kasvavad taimed) viljusid tüüpilised isendid väga edukalt, kuid valged enamasti ei moodustanud kupraid. Kurangu populatsioonis oli roosadel isenditel (mis olid seal reeg-lina suuremad ja tugevamad) enim vilju, mis mõjutas küllalt väikse

populatsiooni kohta saadud tulemusi. Võimalik, et Kurangul oli õiekonstantsus seotud roosade isenditega, mida kasvas seal tüüpiliste isenditega peaaegu võrdselt.

Õisiku suurus ehk õite arv õisikus ei mõjutanud antud uurimuses statistiliselt oluliselt uuritud taimede viljumist. Kirjanduses on selle seose kohta vasturääkivaid andmeid: Vallius *et al* (2006) leidsid harilikku käoraamatut uurides, et õisiku suurus meelitas küll kohale rohkem tolmeldajaid ja tõstsis seemnekuparde arvu, kuid ei mõjutanud tolmeldaja visiidi kestvust. Ka Huber *et al* (2005) leidsid seose õisiku suuruse ja suhtelise viljumise edukuse vahel. Jersakova ja Kindlman (2004) tõdesid, et hariliku käoraamatu kui nektarit pakkuva liigi puhul jääb viljumine õisiku suurusest olenemata konstantseks; samade autorite 2006. aasta uurimuses oli harilikul käoraamatul küll seos õisiku suuruse ja viljumise edukuse vahel ühel aastal, kuid mitte teisel, mis näitab, et aastate lõikes võib saada erinevaid tulemusi.

Taimede kasvutihedus, mis varieerus üksikult ja paaris kasvavatest taimedest viie ja kümne taime gruppide ning tihedalt koos kasvavate taimedeni, mõjutas nende viljumist vähesel määral (joonis 2). Umbaial oli statistiliselt oluline seos üksikult ja tihedalt koos kasvavate taimede ning üksikult ja paaris kasvavate taimede vahel. Üksikute taimede viljumisedukus oli gruppidest mõnevõrra madalam, kusjuures kõrgeim suhteline viljumisedukus oli tihedalt koos kasvavatel taimedel. Kurangul ilmnes statistiliselt oluline erinevus üksikute taimede ja tihedalt koos kasvate taimede vahel, Laitses vastavad olulised seosed puudusid. Üksikute taimede kehvem viljumine on seletatav kehvena märgatavusega. Teadaolevalt leiab putukas taime selle õite lõhna, vahetust lähedusest värvuse järgi. On loogiline eeldada, et suurem hulk taimi lõhnab tugevamini ning meelitab tolmeldajaid ligi efektiivsemalt. Dormont *et al* (2010) leitud seaduspära, mille järgi tüüpilised isendid viljuvad valgete vahetus läheduses paremini, ei tuvastatud.

Viljumist võisid mõjutada ka muud tegurid. Uuringuaastal olid valgeõielistel isenditel väga väikesed õied; võimalik, et pika ja kuiva kevade mõjul. Kuna väikesel õiel on lühem kannus, võis liblikal ebaõnnestuda normaalse õie polliiniumi paigutamine emakasuudmele. Lisaks on suurema õie pikem kannus tolmeldajale atraktiivsem, kuna sisaldab rohkem nektarit. Mõningatel andmetel (Waser & Price, 1981) külastatakse valgeid õisi vähem, kuna neist on nektari saamine aeganõudvam kannuse sissepääsuni juhtivate nektari giidide puudumise tõttu. Kuna ööliblikad põhjustavad geitonogaamse viljastamise sagenemist, mõjutab ka see viljumist. Seega, uuring näitas, et kasvutihedus ja õievärvus mõjutavad hariliku käoraamatu viljumist, kuid need seosed ei olnud üheselt mõistetavad, mistõttu saadud tulemused vajaksid täiendavat ja esinduslikuma valimiga kontrollimist. Õievärvust mõjutavate pigmentide süntees on tihti seotud õite lõhnaainete sünteesiga. Seega vajaksid uurimist ka lõhnaained, mis võivad erinevalt mõjutada erinevate värvivormidega õite atraktiivsust tolmeldajatele.

Kirjandus

- Brys, R., Jasquemun, H., Hermy, M. 2008. Pollination efficiency and reproductive patterns in relation to local plant density, population size, and floral display in the rewarding *Listera ovata* (Orchidaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 157, 713–721.
- Chittka, L. & Menzel, R. 1992. The evolutionary adaption of flower colors and the insect pollinators color vision. *Journal of Comparative Physiology A*, 171, 171–181.
- Claessens, J. & Kleynen, J. 2011 The Flower of the European Orchid. Form and Function. Schrijen-Lippertz, Voerendaal/Stein.
- Delle-Vedove, R., Juillet, N., Bessi  re, J.-M., Grison, C., Barthes, N., Pailler, T, Dormont, L., Schatz, B. 2011. Colour-scent associations in a tropical orchid: Three colours but two odours. *Phytochemistry*, 72, 8, 735–742.

- Dormont, L., Delle-Vedove, R., Bessi re, J.-M., Hossaert-Mc Key, M., Schatz, B. 2010. Rare white-flowered morphs increase the reproductive success of common purple morphs in a food-deceptive orchid. *New Phytologist*, 185, 1, 300–310.
- Dyer, A. G., Whitney, H. M., Arnold, A. E. J., Glover, B. J., Chittka, L. 2007. Mutations perturbing petal cell shape and anthocyanin synthesis influence bumblebee perception of *Antirrhinum majus* flower colour. *Arthropod-Plant Interactions*, 1, 45–55.
- Epperson, B. K. & Clegg, T. 1987. Frequency-dependent variation for outcrossing rate among flower colour morphs of *Ipomoea purpurea*. *Evolution*, 41, 6, 1302–1311.
- Hansen, I. & Olesen, J., M. 1999. Comparison of reproductive success in two orchids: the nectarless *Dactylorhiza majalis* s.s. and the nectar-producing *Gymnadenia conopsea* s.l. *Nordic Journal of Botany*, 19, 6, 665–671.
- Huber, F. K., Kaiser, R., Sauter, W. 2005. Floral scent emission and pollinator attraction in two species of *Gymnadenia* (Orchidaceae). *Oecologia*, 142, 564–575.
- Jersakova, J. & Kindlman, P. 2004. Reproductive success and sex variation in nectarless and rewarding orchids. *International Journal of Plant Sciences*, 165, 5, 779–785.
- Johnson, D. J., Peter, C. I.,  gren, J. 2004. The effects of nectar addition on pollen removal and geitonogamy in the non-rewarding orchid *Anacamptis morio*. *Proceedings of the Royal Society of London*, 271, 803–809.
- Kevan, P., Giurfa, M., Chittka, L. 1996. Why are there so many and so few white flowers? *Trends in Plant Science*, 1, 280–284.
- Kindlman, P. & Jersakova, J. 2006. Effect of Floral Display on Reproductive Success in Terrestrial Orchids. *Folia Geobotanica*, 41, 47–60. 2006.
- Lack, A. J. & Kay, Q. O. N. 1988. Allele frequencies, genetic relationships and heterozygosity in *Polygala vulgaris* populations from contrasting habitats in southern Britain. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 43, 119–147.
- L nn, M., Alexandersson, R., Gustaffson, S. 2006. Hybrids and fruit set in a mixed flowering-time population of *Gymnadenia conopsea* (Orchidaceae). *Hereditas*, 143, 222–228.

- Mitchell, R. J, Karron, J. D, Holmquist, K. G., Bell, J. M. 2004. The influence of *Mimulus ringens* floral display size on pollinator visitation patterns. *Functional Ecology*, 18, 116–124.
- Neiland, M. R. M. & Wilcock, C. C. 1998. Fruit set, nectar reward, and rarity in the Orchidaceae. *American Journal of Botany*, 85, 1657–1671.
- Ômura, H. & Honda, K. 2005. Priority of color over scent during flower visitation by adult *Vanessa indica* butterflies. *Oecologia*, 142, 588–596.
- Øien, D.-I. & Moen, A. 2002. Flowering and survival of *Dactylorhiza lapponica* and *Gymnadenia conopsea* in the Sølendet Nature Reserve, Central Norway. In *Trends and Fluctuations and Underlying Mechanisms in Terrestrial Orchid Populations* (Kindlmann, P., Willems, J.H., Whigham, D.F., eds). pp. 3–22. Backhuys Publishers, Leiden.
- Papaj, D. R. 1986. Shifts in foraging behavior by a *Battus philenor* population: filed evidence for switching by individual butterflies. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 19, 31–40.
- Pellegrino, G., Caimi, D., Noce, M. E., Musacchio, A. 2005. Effects of local density and flower colour polymorphism on pollination and reproduction in the rewardless orchid *Dactylorhiza sambucina* (L.) Soo. *Plant Systematics and Evolution*, 251, 119–129.
- Pengjuan, Z. 2011. Effects of nectar production and pollinator assemblies on mating patterns in orchids. [WWW] www.ibg.uu.se/pdf/01.11.2014
- Raguso R. A. & Willis, M. A. 2002. Synergy between visual and olfactory cues in nectar feeding by naïve hawkmoths, *Manduca sexta*. *Animal Behaviour*, 64, 685–695.
- Sletvold, N., Grindeland, J. M., Zu, P., Agren, J. 2012. Strong inbreeding depression and local outbreeding depression in the rewarding orchid *Gymnadenia conopsea*. *Conservation Genetics*, 13, 1305–1315.
- Sletvold, N. & Agren, J. 2011. Among-population variation in costs of reproduction in the long-lived orchid *Gymnadenia conopsea*: an experimental study. *Oecologia*, 167, 461–468.
- Stpiczynska, M. & Matusiewicz, J. 2001. Anatomy and ultrastructure of spur nectary of *Gymnadenia conopsea* (L.). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 70, 267–272.

Tremblay, R. L., Ackerman, J. D., Calvo, R. N. 2005. Variation in sexual reproduction in orchids and its evolutionary consequences: a spasmodic journey to diversification. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 84, 1–54.

Vallius, E., Arminen, S., Veikko Salonen. 2006. Are there fitness advantages associated with a large inflorescence in *Gymnadenia conopsea* ssp. *conopsea*? [WWW] http://www.r-b-o.eu/rbo_public/Vallius_et_al_2006.html (01.11.2014)

Vakhrameeva, M., G., Tatarenko, I., V., Varlygina, T., I., Torosyan, G., K., Zagulski, M., N. 2008. Orchids of Russia and adjacent countries (within the borders of the former USSR). A.R.G. Gantner Verlag, Ruggel / Liechtenstein.

Vöth, W. 2000. *Gymnadenia*, *Nigritella* und ihre Bestäuber. *J Eur Orchid*, 32, 547–563.

Warren, J. & Mackenzie, S. 2001. Why are all colour combinations not equally represented as flower-colour polymorphisms? *New Phytologist*, 151, 237–241.

Waser, N. M. & Price, M. V. 1985. The effect of nectar guide on pollinator preference: experimental studied with montane herb. *Oecologia*, 76, 121–126.

Summary

THE COLOUR MORPHS AND FRUITING OF GYMNADENIA CONOPSEA

Biodiversity conservation is accompanied by the need to study the ecology of different plant species. *Orchidaceae* with its complex but rather easily observable reproduction mechanism is one of the most researched plant groups. A variety of pollinator adaptations has been quite thoroughly studied. The so-called feeders and deceivers can be distinguished: some *Orchidaceae* offer their nectar to the pollinators, others do not. The species that offer nectar – *Gymnadenia conopsea* among them – are actively pollinated. The nectar of the plants contains a variety of different substances in order to avoid geitonogamy and excessive consumption of

nectar. In recent studies became evident that there might be a certain correlation between the intensity of flower colour and reproductive success. The concept of flower-colour polymorphism and its relation to reproduction has previously been studied in many plant species. White-flowered plants increase reproductive success, especially in the immediate vicinity of typical specimens. White specimens are discriminated if there is less than 25% of them on the habitat, but if there is 50% of white-flowered plants, then they are visited as often as the specimens with pigmented flowers.

G. conopsea with its large variety of colour morphs is a rewarding species that is pollinated mainly by *Lepidoptera*. Its fruit set may be related to shoot density or to inflorescence size. We hypothesized that fruit set in white- and pale-flowered plants differs significantly from fruit set of typically flowered (purple) plants, and that number of flowers in inflorescence is positively correlated to fruit set in all colour morphs. It was also expected that plants in groups set more fruits than single ones. 1035 plants of three colour morphs (typical purple, pink and white) in three populations were studied. The height, number of flowers and fruits of each plant were recorded, also whether it grew in a group or was single. The results showed that white-flowered plants had significantly less fruits than those with typical and pink colour morphs. Pink-flowered plants had less fruits than typical plants in one population, but surprisingly more than typical plants in another. Plant height had significant effect on fruit set but not inflorescence size, single plants set fruits less than those in groups. White-flowered plants had almost no fruits in groups with other plants that had high fruit set.

TARTU: CONFIGURATIONAL APPROACH AND ANALYTICAL-CONFIGURATIONAL APPROACH

Rebecca Kontus

Estonian Academy of Arts
Master of Arts
rebecca@pluss.ee

Abstract

Current article analyses the city in two ways. First it attempts to find the solution by cognitive approach, how people would perceive the city with its, history, typomorphology and current factors. The outcome of the subjective analysis is a street level layout of the case study quarter, which serves the idea of accessible space for pedestrians. Secondly the mathematical method of Space Syntax is employed to analyse the spatial configuration of the city.

In 2013 began a development process for a very central quarter in Tartu. In the same year an architectural competition was held to find a new solution for this quarter bordering with Riia-Turu-Soola-Aleksandri street in Tartu. Since Tartu has been one of the most pedestrian-friendly cities in Estonia, it is very important how the potential building volume, which covers the whole quarter, will be opened to the surrounding city space.

Since the terms of the competition suggested different layout than the three winning entries and also the cognitive analyses of the author, the Space Syntax analyses were performed in order to juxtapose the different layouts and compare their attributes in order to suggest the best scenario to keep the aforementioned quarter available to pedestrians. Aim is to learn how the spatial

configuration of proposed layout of Riia 2 may influence the potential use of the perceived accessibility of the surrounding (figure 1).

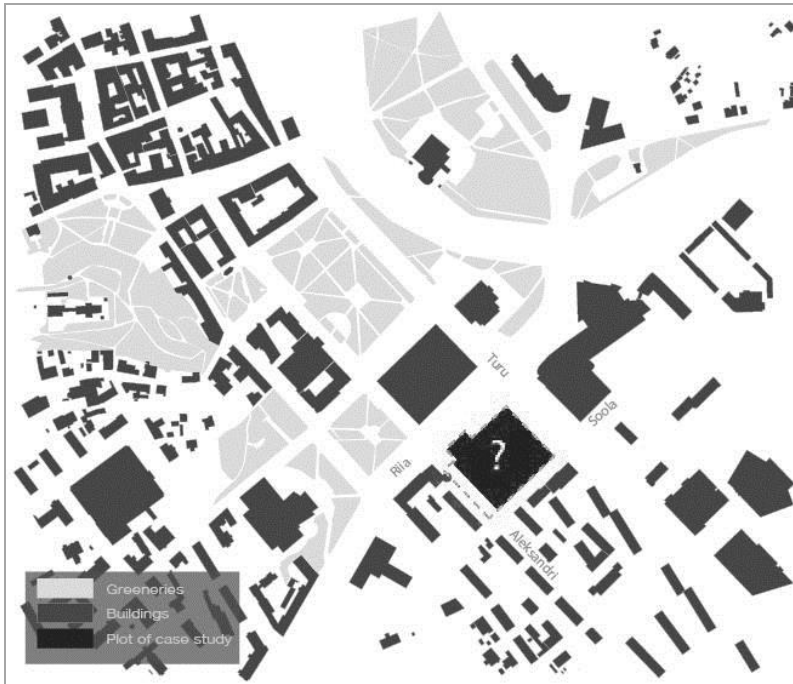


Figure 1. Riia-Turu-Soola-Aleksandri quarter at the heart of Tartu.

Configurative approach

Without any mathematical models architects and city planners have analysed and studied the city scapes throughout the years and it cannot be said that they had failed. Of course there are some cities that function somewhat better than others, but in order to learn from the mistakes it is essential to understand why some spaces are good and some are not.

The goal is to find the best solution for the street level layout for Riia 2 quarter in order to preserve the pedestrian friendliness in Tartu and some factors influence this task more than others.

History

In order to analyse one quarter (in a context of the whole city) it would be interesting to study how people have been using the area before. Historically the perceived arteries in Tartu have often been down the hill and towards the river. Being part of this route like a hub, the quarter of Riia 2 has been functionally very diverse with its residential, labour and leisure areas. The needed services in the centre have not changed the function of the buildings, but the building volumes have changed drastically. The one- or two-storied small buildings have been replaced with 5-stories high volumes, which may cover the whole quarter. One reason of these processes to take place in a city have been the destructions of the war, but the new volumes have been also acquired by the necessary functions.

New building volumes of neighbouring plots, nicknamed the goliaths, have changed the former atmosphere and the nearest traffic junction is nowadays the most time consuming in Tartu. Pedestrians are dislocated from this junction and drivers try to avoid it. All this have not contributed to improve the city centre (figure 2–4).

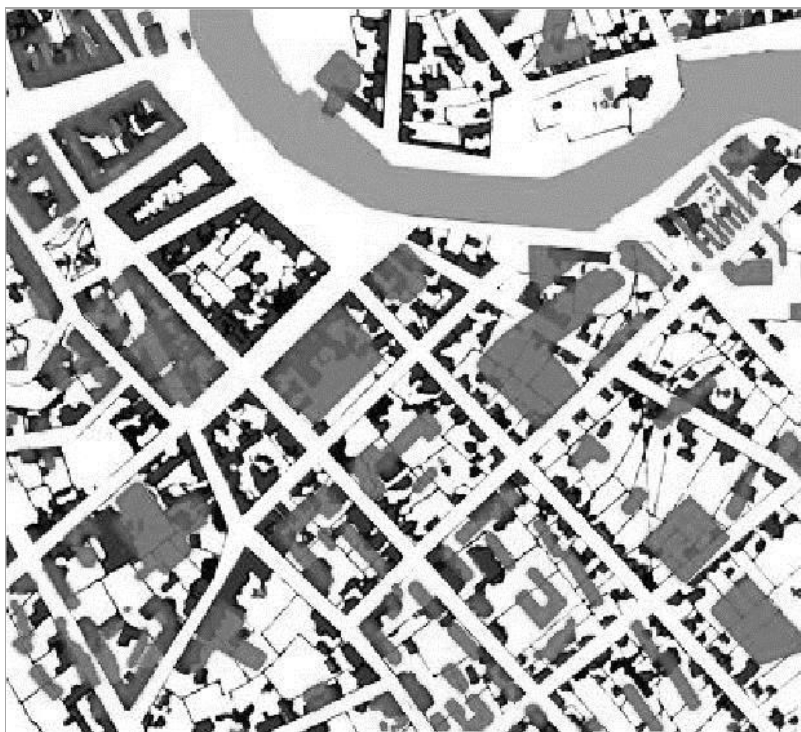


Figure 2. The buildings before the II WW marked with black and current buildings marked with red.

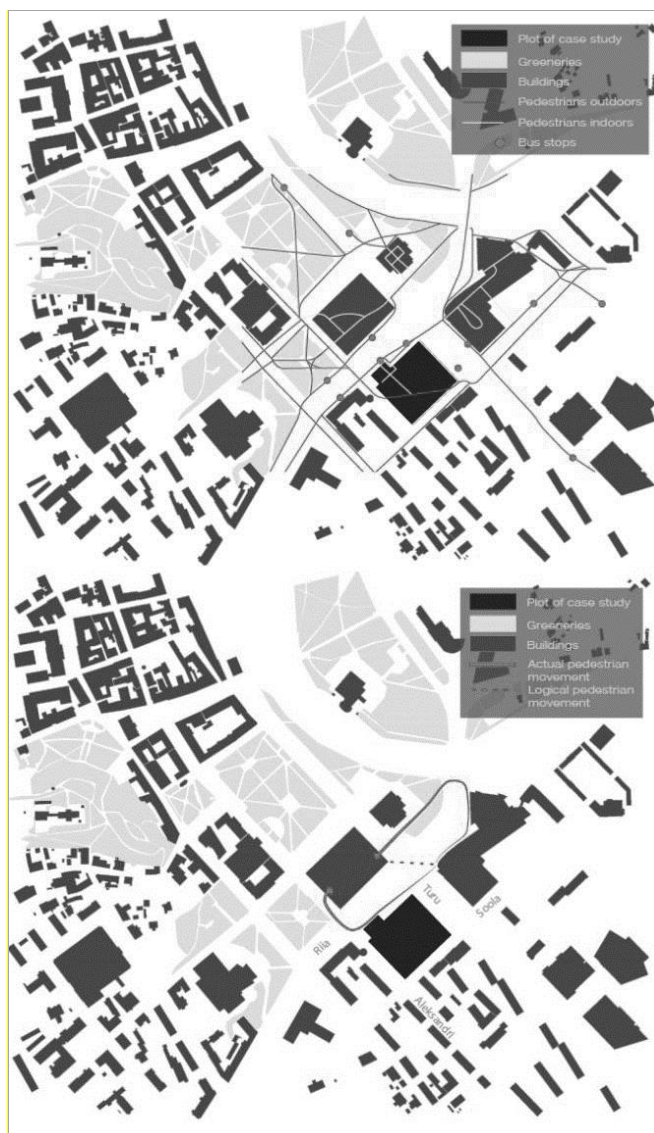


Figure 3. Pedestrians paths in central Tartu (according to citie's transport development plan) and how the biggest junction of Tartu is reserved for cars and closed for pedestrians.

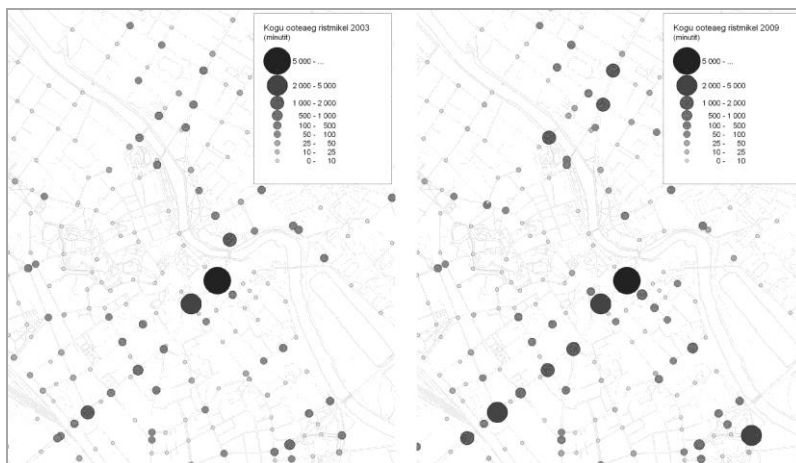


Figure 4. The time spent on junctions in Tartu (Tartu Linna transpordi arengukava 2012-2020).

Urban sprawl

Through the 20th century the city centres have shifted in most of the bigger cities in Europe, but when in larger cities it results in multiple centres, then in relatively small city as Tartu it may scatter the already low density (figure 5).

According to Tartu's development plan for 2012–2020 most of the new residential areas are planned in a periphery of a city, for example largest of them is planned in Ülejõe district, increasing the districts' population by 4600 inhabitants. (Tartu linna transpordi arengukava 2012–2020) This kind of population growth in periphery will most likely entail the increase of the movement volumes, because of the lengthening of the distances between services and workplaces. And since the increase will take place in periphery, it will also boost the traffic load in the centre (figure 6).

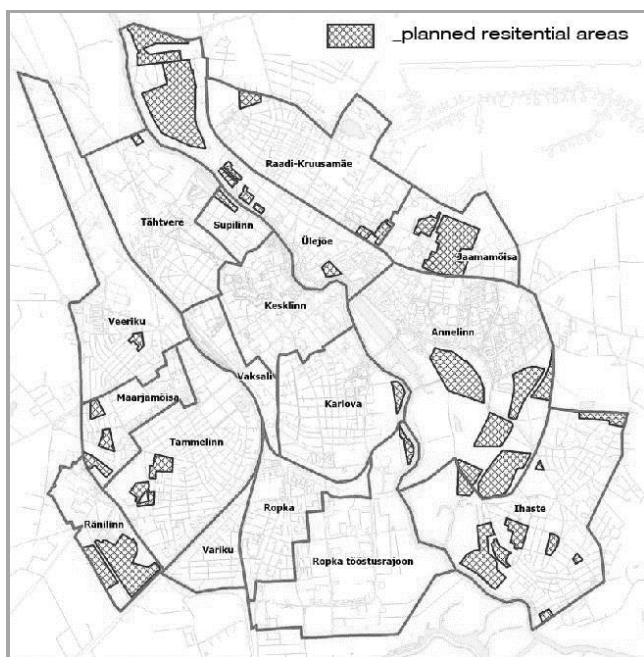


Figure 5. Most of the future developments are planned in border districts and even outside of Tartu (Tartu Linna transpordi arengukava 2012-2020).

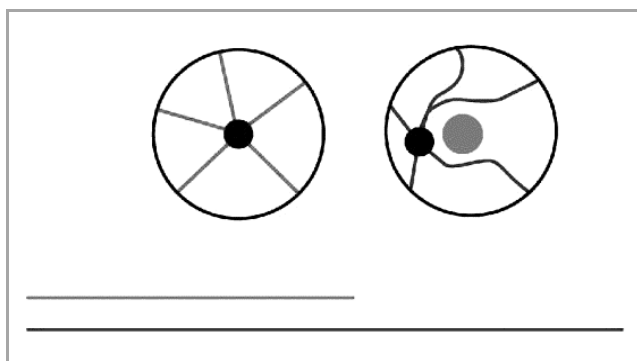


Figure 6. Having the functions in a periphery or a city the total length of the trips is longer than when having the functions in the centre (source: J. Jagomägi).

Often these suburbs are already planned with the dependency of cars, since in a planning process the good public transportation connection with the rest of the city is overlooked; therefore the urban sprawl increases personal necessity of movement, time expenditure and economic cost. Bill Hillier states that “cities are collective artefacts which bring together and relate very large collections of people. Their critical spatial properties are not relation of one part of to another, but all parts to all others.” (Hillier, 2006)

Since urban sprawl demands more people to have cars, then this increases the time spent in traffic. When the functions and services would remain in the centre and people visit them from all around the city the sum of the distances would be smaller than in case of the services also be available on periphery. When a person from a suburb needs to go to the services, but they locate another end of a city then the distances increase and also enlarge the traffic load.

Complex movement patterns and segregated central areas discourage suburban people to come to the centre. In case of Tartu sized city the centre should be enliven to attract also suburban people in order to prevent urban sprawl. This is how the new development is indirectly connected to the suburbs as well.

From different publications and informal interviews is evident that people in Tartu have been starting to avoid the area around Kaubamaja and Tasku. (Sild, 2012)

Currently the pedestrians have poor spatial accessibility in there. In a situation where a person needs to go from Tasku to Kaubamaja one has to make a round until the Aleksandri street or choose a path to go underneath the Võidu bridge (in translation a bridge of victory) (figure 3b).

Over Priviledged car

It is obvious that in some cases the city has not always prioritized the pedestrians despite of the fact that the facilities on this junction are meant to be walkable. In the foreseeable future developments should consider also how to either solve or facilitate this situation. In case of Tasku Centre realizing the plans to re-extend the shopping area, it would be beneficial for both shopping centres to analyse and plan the pedestrian pathways to be more integrated between them and also become connected to public spaces. When considering the characteristics of Tartu, which is very pedestrian friendly, then developments in central Tartu has already started to ignore it. This in turn refers to the mistakes in planning and the result is controversial, because the new buildings are meant for people, but with their solutions they rather repulse the pedestrian movement.

The cognitive solution of the new development takes account the current pedestrian paths in the centre, which have been using the quarter as a part of the everyday journeys between workplaces (in Centre and Old Town) and homes (the most inhabited district of Annelinn). Being connected to the potential extension of the Tasku centre, the new street level layout offers a good solution to connect the shopping malls and consider the potential pedestrian paths between them and with the traffic junction. Therefore the analysed street level layout would also align the historical path towards the river, but also take account the aforementioned problems.

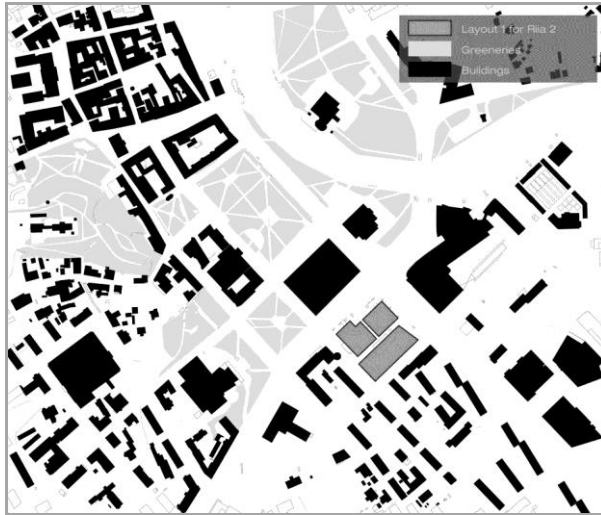


Figure 9. A streetlevel layout derived from the subjective analysis.

Analytical-configurational approach

Since the result of a street level layout of a configurational solution differed greatly from the one required in the terms of the architectural competition and also the three winning entries, they are now juxtaposed according to Space Syntax method.

When giving a shape and form to the material world we live in, architecture is something that structures the space. Since it provides the preconditions to movement patterns, it also has a relation to social life. Sometimes it can result in avoidance, sometimes as a generator of social relations. This idea states that societies have spatial logic. Henri Lefebvre has said that every society produces its own space and every social foundation is at the same time a spatial foundation.

Space syntax tries to explain whether there is a relationship between the spatial design and the way it functions socially. It is a theory originally formulated to describe the relation between spatial configuration and social structures. It developed towards a model, to map and analyse the perceived accessibility of urban layouts.

For this theory, space is the unit of understanding the social dimension to human settlements. "It shares the similarities with location. It is externally definable and can be used in mathematical operations. (Dalton, 2006)

In current article the street level layout of a case study quarter is reflected an idea of something that is inspired by the passages in Paris. The passages were initially the streets/public spaces with roof. In this sense the potential inner streets of Riia 2 quarter are taken as public spaces and can be thus analysed. In terms of axial analyses there is no separation made between two different typologies as public and private space. In order to analyse the relationship between the spaces, has taken an attitude towards the potential inner spaces as part of a route whereas they act as public spaces.

The axial analysis is a description of the network of public spaces (urban grid) as a network of the fewest and longest lines of movement and sight, which can be followed on foot. The spatial network described through this series of lines directly relates how people perceive and navigate through spatial layout. The drawn axial lines show the direct association how space is configured and how it is perceived and this representation can also help designers to interpret and read the city and use it in their design process.

Once the axial lines are drawn it is possible to analyse the urban layout with software. The program takes all the lines in the network system and defines how to reach all the system from each line, therefore it analyses the relationship of each line to all the other lines of the system.

The more central the line is, the more used it is. On the graph the comparison can be made by the colours of the lines. The shallower (red) the line is, more integrated the line is. "Although we do not feed actual vehicle movement flows into the model, the remarkable fact is that the spatial accessibility pattern corresponds closely to the actual pattern of pedestrian and vehicle movement in cities throughout the world." (Stonor, 2011)

Every line represents one space. As a description of space the syntactic properties are referred to, and a change of direction in axial map is understood as a syntactic step. Global measure is to understand how a space relates to all other spaces of the entire cities, while for locals scale 3 syntactic steps are considered based on human perception to identify space around. When the number of steps refers to changes in direction then *Depth* is a syntactic metrics to measure the topological distance between axial lines indicating the least number of syntactic steps needed in order to go from one place to another. The calculations are made with all the lines. For *Depth* value every line is taken as a bottom level and calculated as a root space. All the lines one syntactic step away are put on the first level, two steps away on second level and so on. Like this the justified graphs are constructed, offering the visual image of the depth of the city.

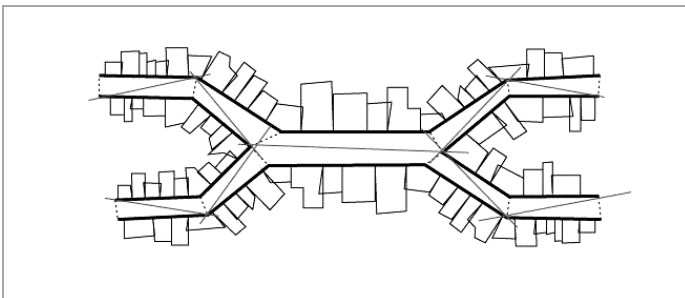


Figure 10. Simplified city configuration with buildings and drawn axial lines. Every change of direction is considered as a syntactic step.

Integration measure is basically calculated through the *Depth* measure. Integration calculates the average depth of space to all the other spaces in the system. The more axial connections one line has, the more integrated the line is. Usually the very long lines going through the city are very integrated ones. Since spaces can be deep from other spaces, it is inevitable to pass through the neighbouring spaces to arrive at the destination.

The measure to evaluate the “flow” through the space is *Choice*.

From this it can be concluded, that there are two kinds of elements in human movement: “*to-movement*” and “*through-movement*.” *To-movement* can be taking into account closeness and accessibility, arriving to destination, how close one space is to all the other spaces and the measure to this is *Integration*. The spaces with high *Integration* value are the spaces, where most of the interaction occurs, so the movement is not so fast, but a space offers many activities. The reason it is called *to-movement* is because it's often an ending point. Very integrated streets are where people usually walk.

Spaces that have the high value of choice, are the places, which foster traffic, because the movement is fast and usually people are passing by, that is why it is called *through-movement*. *Through-movement* is more focused on the spaces passed, when going from one place to another – how likely a space is to be chosen as a part of a route. It is estimating the number of times the space lies on shortest paths, from all the other spaces.

In order to clarify the open space of a settlement the usual ground plan of Tartu has turned into a negative (figure 11). From the space system it is visible that there are always choices of routes from any space to any other space. Next the open space is divided into axial lines, which are constructed by drawing the least set of the longest lines in the open space such that all possible circuits are represented and all the lines linked.



Figure 11. The map, open space and axial map of central Tartu.

Analyses

From a planning point of view, more important than creating an accurate picture of the present state (which is already observable), is to have a sense of a potential future (Joutsiniemi, 2010). Despite of the narrow focus of configurational view of urban design, a better understanding of the configurational qualities of place may also be a key to a better understanding of the fundamental interactions linking the urban structure, meaning and identity.

The quarter surrounded by very integrated streets provides high integration for the case study quarter as well. In order to employ the high integration value, the most crucial aspect is to find the

solution to open this quarter to its surrounding. With an input of five different street level scenarios the analysis was conducted and the results are entirely determined by configuration of the environment. In current article one of the most traditional configurational measures used in Space Syntax as *integration*, is described in two functions: *global*, whereas taking into account the whole system, or *local*, (R3) in relation to a limited number of conversions, involving the integration level of each road with its surrounding. The number of conversion is defined as steps. According to pedestrian movement, three topological steps (R3) were calculated. The values of local integration are displayed in figure 12 and global integration in figure 13 Integration maps indicate the lines' value in terms from most integrated to most segregated ones. The hotter the colour (red) the more integrated the line is.



Figure 12. Local Integration for 5 street level layouts for Riia 2 in Tartu.

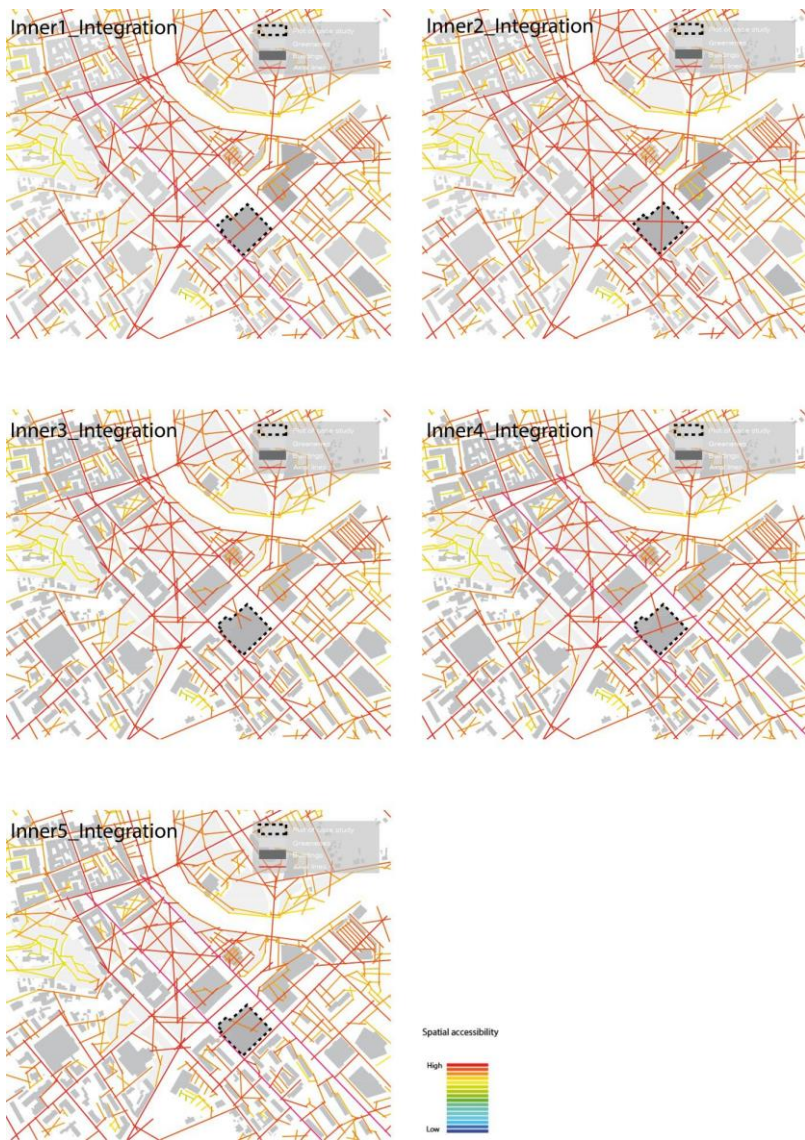


Figure 13. Globan integration for 5 street level layouts for Riia 2 in Tartu.

The global *Integration* in this case is not very informative, since the scale is very small compared to the whole city system. Due to the centrality of the quarter there is no doubt that the function of building is very suitable, but yet there has been a question, with which kind of configuration would be the best to open the building volume and to which directions it would be most useful to open the plot. The owner of the quarter sought the solution suggested one opportunity to open the building from every corner, hence this scenario would create the two diagonals through the quarter. However the different, almost equivalent opportunities are perceived in the approaches of the specialists (figure 14). All three winning entries have proposed alternative scenarios for the case study area; therefore the analysis comprises five different layouts as five different scenarios to open the quarter for its surrounding.

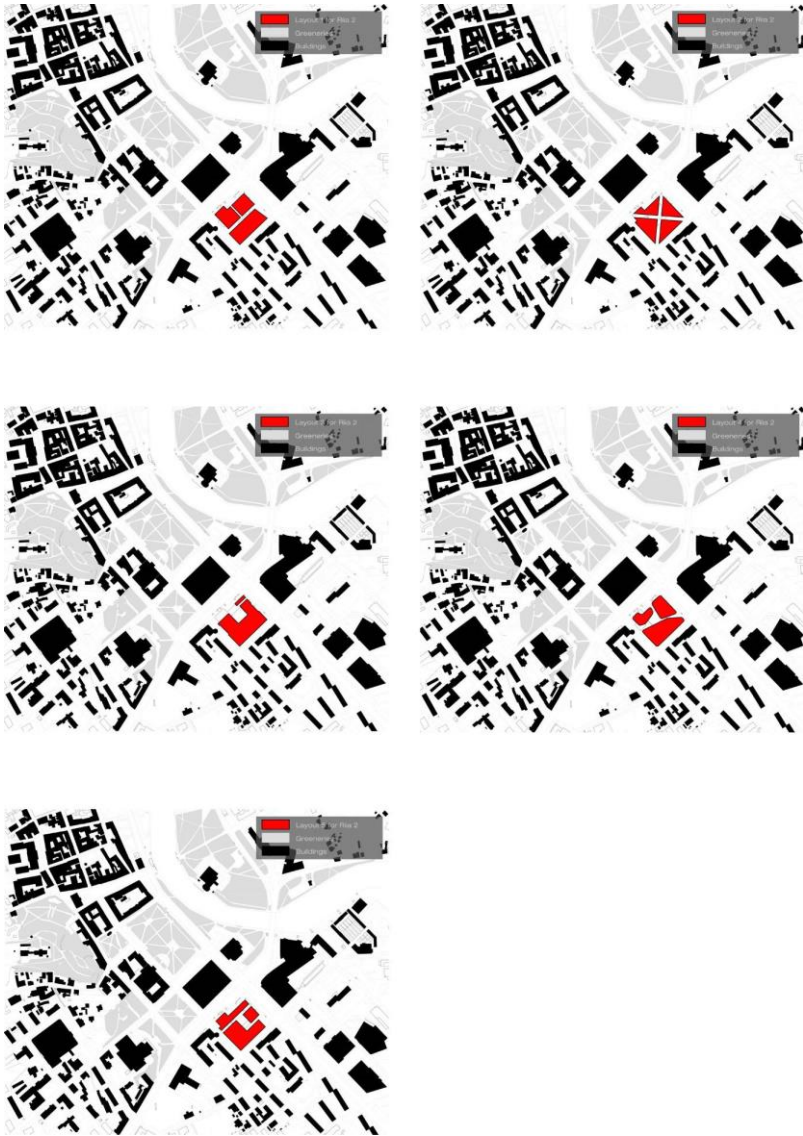


Figure 14. Streetlevel layouts to be analysed according to Space Syntax.

Outcome

When comparing the Integration maps of the case study of Riia 2 quarter, it is visible, which layouts foster more interactions, attract more people and create more accessible space. On the following figures, where the case study area Riia 2 quarter is marked with a black dotted line can be viewed, that the initial wish of the owner (inner2) would have been the most integrated one and the winning entry is drawing out the most segregated street level layout. The result of the Layout1 according to the subjective analysis (inner1) is very similar to the second place winner (inner3) and in some sense they both are alike to layout 5 (inner5), because all are creating the same amount of openings to the building, but compared to layout 1 and 3, the layout 5 creates three relatively accessible openings, whereas Inner1 and Inner3 both have one opening, which has a lower value in terms connecting the space to the surrounding system. Therefore more connections do not ensure the higher integration. The same amount of connections but in different places makes the difference in integration value.

Every representation makes some features explicit and hides others. For the analysis in current article, all the layouts are simplified, therefore the main entrances are emphasized and the small boutiques, which have the entrance directly from the street, but don't lead to any access to the overall building, are not visible.

The second measure to investigate the five scenarios is *Choice* that could also be described how likely the area is chosen as part of the route when moving from one space to another. Again the analyses were performed in local and global scale.

Since the value differences of the axial lines that represent the alternative scenarios are very small, they are not strongly reflected on the Global scale maps (figure 15), because in terms of overall system they draw relatively small variations.



Figure 15. Global Choice for 5 different street level layouts for Riia 2 in Tartu.

However local scale maps draw very clear picture of how opening this quarter affects not only the Riia 2 quarter, but as well the surrounding quarters, which impact each other mutually.

When in local integration scheme Inner1 and Inner4 were quite similar, then according to figure 16 the local choice map they draw totally different image. They might be considered similar in a sense that they both have three entrances: one towards Turu street, one towards Riia street and one towards Aleksandri street, however the connections with the neighbouring spaces make an essential difference. The highest choice value can be seen on the Inner1 scenario, and this is because of the potential hypothesis, where Tasku has changed the location of the main entrance in order to be more connected in the future with a Riia 2 shopping centre. The yellow connection is achieved due to the pedestrian bridge (towards Annelinn), which has very high choice value. This situation, where a connexion between spaces improves the value of both spaces proves the importance of every space, because it affects and is affected itself by the surrounding system. A building in a right spot with right connections to its environment activates also the surrounding and makes it more valuable. Well-designed areas support each other. In other words the decisions made in case of one yet undeveloped quarter will affect the operation of the central entity as whole. At the present moment the problem of this area is the separation of the buildings. The solution is to create the links towards better connected centre. This is confirmed also with the Local Choice map (figure 15). The geometry of the built environment has an important role. Minimizing the amount of turns also makes the paths easier to find and remember.



Figure 16. Local Choice for 5 different street level layouts for Riia 2 in Tartu.

Inner4 layout doesn't create any additional value in terms of passing the space; however Inner1 is contributing the interaction between two shopping centres and via this also with pedestrian bridge. Without the connection to Tasku and pedestrian bridge, Inner1 layout would have similar colours as Inner4. This connection is beneficial for the both centres in order to enhance the pedestrian movements and without it they both loose.

Inner2 layout, drafted by the competition terms has once again the relatively high local values (R3), because it is connecting very integrated junctions. Since it is offering two very integrated shortcuts, it is very likely, that people can use them as a part of their journey whereas Inner3 layout is in a sense of through movement a dead end. People will not randomly enter the building, unless they really need to.

Conclusions

The Space Syntax analysis shows according to different metrics that this quarter is very suitable for pedestrian movements and for retail. The surrounding streets, which are very integrated, contribute this quarter to be also integrated. Since the high integration level has been often found correlated to pedestrian movement or shopping areas, then due to the high level of integration, it can be suggested the possibility of reserving the streets surrounding the case study quarter totally for pedestrians. Of course this kind of decisions will not be done overnight, but the area has a potential to become pedestrian. Creating an opportunity for pedestrians might have an activating effect on pedestrian flow and invite more people on the streets. Obviously this decision takes a lot of courage and Estonian people might not be ready for this kind of changes yet.

The potential of this quarter does not lie in building only a new shopping centre. This district of central Tartu has already most of the desired functions in term of retail, marketing, catering, entertainment etc. and building another goliath volume with similar functions might only emphasize the decadence of the district's imago. The challenge of this development and in fact for the centre of Tartu is to find the necessary connections in order to create better and unified city space.

Space syntax method allows to control the effect of the decisions on spatial configuration. It can be used to make a quantitative analysis of urban transformation by comparing the accessibility value of the current situation with the one proposed.

This method can be beneficial for architects and urban planners for quantifying the effects that spatial development might have on existing urban areas. The quantitative outcome of the tool clearly points out the relationships between the different spaces in the city system. In decision making process the spatial scenarios are informative, and in addition they provide an opportunity to create alternatives based on different opinions in order to improve the city space.

Bibliography

Dalton, N. S. C. 2006. Configuration and Neighborhood: Is Place Mesurable? Space Syntax and Spatial Cognition. Bremen: Universität Bremen. 53-64.

Hillier, B. 2006. Studying Cities to Learn About Minds: How Geometric Intuitions Shape Urban Space and Make It Work. Space Syntax and Spatial Cognition. Bremen: Universität Bremen. 11-31.

Joutsiniemi, A. 2010. Becoming Metapolis – A Configurational Approach. Tampere: Tampere University of Technology.

Sild, T. 2012. Tiit Sild: Emajõgi, vanalinn ja city Tartu [WWW] <http://www.tartupostimees.ee/1026422/tiit-sild-emajogi-vanalinn-ja-city/> (05. 04 2013)

Stonor, T. 2011. Space Syntax and the future of urban planning software. Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, Massachusetts.

Tartu linna transpordi arengukava 2012–2020. 2010. Arengukava, Tartu.

Kokkuvõte

TARTU: KONFIGURATSIOONILINE JA ANALÜÜTILIS-KONFIGURATSIOONILINE LÄHENEMINE

Käesolev artikkel analüüsib linna kahel viisil. Esiteks proovib leida lahenduse kognitiivse lähenemisega – kuidas inimesed tajuvad linna selle ajaloo, tüpomorfoloogia ja muude faktorite kaudu. Analüüsi tulemuseks on tänava tasapinna konfiguratsioon juhtumuuringu kvartali näitel. Teiseks on kasutatud Space Syntaxi kvantitatiivset meetodit võrdlemaks erinevaid konfiguratsioone juhtumuuringu kvartalile.

Näite kvartal asub Tartus ning piirneb Riia- Turu- Soola ja Aleksandri tänavatega. 2014. aastal alustati Tartus selle väga keskset kvartali arendusega, millele korraldati 2013. aastal ka arhitektuurikonkurss. Tartu on üks enim jalakäija-sõbralikemaid linnu Eestis, seega on äärmiselt oluline, kuidas potentsiaalne hoone maht, mis katab tervet kvartalit, ümbritsevale linnaruumile avatakse. Kuna võistlustingimustes soovitud tänavatasapinna konfiguratsioon on täiesti erinev kolmest võidutööst ja ka minu subjektiivse analüüsi tulemusel saadud konfiguratsioonist, siis on viidud läbi analüüsid Space Syntaxi meetodiga võrdlemaks erinevate konfiguratsioonide integreeritust.

Eesmärk on uurida, kuidas eelnimetatud kvartali konfiguratsioon mõjutab linnaruumi tajutavat kättesaadavust.

TÄNAME TOETAJID

Maateaduste ja Ökoloogia Doktorikool

Hasartmängumaksu Nõukogu

Tallinna Ülikooli Matemaatika ja Loodusteaduste Instituut

Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut

Tallinna Ülikooli Üliõpilaskond

Eesti Teaduste Akadeemia

Tartu Ülikooli Loodus- ja Tehnoloogiateaduskonna Ökoloogia
ja Maateaduste Instituudi geograafia osakond

AS Regio