LIUSTIKE PÄRANDUS LÕUNA-SOOMES JA PÕHJA-EESTIS

Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut
Turu Ülikooli geoloogiaosakond

LIUSTIKE PÄRANDUS LÕUNA-SOOMES JA PÕHJA-EESTIS

Tallinn 2007

Liustike pärandus Lõuna-Soomes ja Põhja-Eestis.
MTÜ GEOGuide Baltoscandia. Tallinn, 2007.

ISBN 978-9985-9834-7-8

Koostajad: Anto Raukas
Atte Karhima

Täname: Tiit Hang
Reet Karukäpp
Siim Veski

Toimetaja: MTÜ GEOGuide Baltoscandia

Kujundus: Andres Abe

Joonised: Heikki Bauert, Inga Kalistru

Fotod: Heikki Bauert, Atte Karhima, Anto Raukas, Gennadi Baranov

Esikaas: Järvederikas Vooremaa, esiplaanil Soitsjärv

Tagakaas: Tarvanpää linnus (Rakveres) ehitati oosi laele

© MTÜ GEOGuide Baltoscandia, 2007

Raamatu väljaandmist kaasfinantseerisid: Euroopa Regionaalarengu Fond, Eesti Vabariigi Siseministeerium ja TTÜ Geoloogia Instituut INTERREG IIIA Lõuna-Soome ja Eesti programmi raames.

Põhjamaade maastikud on kaunid ja kordumatud. Meie kahe naabermaa nüüdispinnamoe on suuresti kujundanud mandrijää. Tänapäeval on ligikaudu 15 miljonit ruutkilomeetrit maismaast ja 7–8% Maailmamere pinnast kaetud jääga, kuid maksimaalse jäätumise ajal oli jääga kaetud koguni 45 miljonit ruutkilomeetrit ehk tervelt 30% maismaast ja suur osa poolustelähedasest merest. Kliima on Maal korduvalt muutunud, kord soojenemise, kord jahenemise suunas. Seda on põhjustanud paljud Maa välis- (Maa asend Päikesesüsteemis ja Päikesesüsteemi asend galaktilisel orbiidil, päikesekiirguse muutumine jpm.) ja sisegurid (ookeanide ja mandrite jaotumus, litosfäärikihtide ümberpaiknemine, vulkaanide tegevus, Maa magnetväli ning pöörlemis- ja tiirlemiskiirus, lumi- ja jääkate, ookeanivee keemiline koostis ja temperatuur, hoovused jpm.). Teataval kõrgusel meretasemest on Maa pinnale langev tahkete sademete hulk ja sulamisveega ärakantav ning aurustuv veehulk võrdsed. Aastate jooksul sellest piirist kõrgemal kuhjunud lumi raskuse mõjul tiheneb ja muutub sõmerlumeks ehk firniks tihedusega umbes 0.6 g/cm^3. Sellel voolav sulamisvesi ja vihmavesi tihendavad firni veelgi, sellest kaovad poorid ja ta muutub liustikujääks tihedusega 0.85–0.9 g/cm^3. Raskusjõu mõjul hakkab liustik liikuma. Selleks, et toimuks liikumine laugel nõlval, peab jää paksus olema ligikaudu 60–65 m, kuid kallakul piisab liikumiseks vaid mõnemeetrisest jää paksusest. Jää on plastiline ja liigub kihiti, mistõttu ta võib liikuda isegi mööda nõlva ülespoole ja ületada suuri takistusi. Mida paksem on jää, seda kiiremini hakkavad liikuma temast väljapressitud liustikukeeled ja seda kaugemale nad ulatuvad. Soojade põhjakihtidega liustikud liiguvad kiiremini kui tugevasti külmunud liustikud.

Maa geoloogilises minevikus on olnud väga suuri ja kestvaid jääaegu ning jäävaheaegu. Praegu me elame Kvaternaari ajastul, mis algas pärast Neogeeni ajastut umbes 2,5 miljonit aastat tagasi. Klimaatiliselt on Kvaternaar olnud väga rahutu ja ebastabiilne, jääaegade koguhulka me ei teagi. Soomes ja Eestis on teada neist vaid noorimate setteid, ülejäänud on siit lõunapoolsetele aladele minema kantud. Selgesti eristuvad Holsteini (380000–240000) ja Eemi (125000–90000 a.t.) jäävaheaja ning Elsteri (600000–380000 a.t.), Saale (240000–130000) ja Weichseli (90000–10000 a.t.) jääaja setted, mis Eestis kannavad kohalikke nimesid: Karuküla ja Prangli jäävaheaeg ning Sangaste, Ugandi ja Järva jääaeg. 10000 ^{14}C aastat tähistab Pleistotseeni (jääaja) ja Holotseeni (pärastjääaja) rahvusvaheliselt kokkulepitud piiri. Paleogeograafiliselt algas pärastjääaeg

loomulikult kõikjal erineval ajal. Näiteks Lõuna-Eestis sulas jää juba 13000–12000 ^{14}C aastat tagasi, mil Soome oli veel paksu jääkatte all. Praegu me elame jäävaheaja teisel poolel ja uue jääaja ootuses, mida meie silmad küll õnneks ei näe. Lisaks jäävaheaegadele olid ka lühemaaegsed soojaperioodid, milliseid kutsutakse interstadiaalideks. Põhjamaades ja Lääne-Euroopas on eristatud Brörupi ja Odderade interstadiaale, ülejäänud on kohaliku tähtsusega.

Liustikulise morfogeneesi põhijooned

Mandriliustikud kujundasid Soomes ja Baltimaades erinevaid setete ja pinnavormide kooslusi, mis kõige üldisemalt jaotuvad kolme rühma:

1) Liustike kulutustasandikud kristalsete kivimite avamusel;
2) Moreenitasandikud üleminekulisel kulutus-kuhjealal;
3) Kuhjelised liustiku sulamisveetekkelised tasandikud liustiku servaaladel.

Kõigi loetletud suurjaotuste piires on loomulikult väga palju erinevaid väiksemaid kulutus- ja kuhjevorme, mis näiliselt paiknevad üsna kaootiliselt. Tegelikult on siingi selged seaduspärasused. Viimase mandrijää taandumisel eristuvad kolm etappi: dani- (enam kui 13000), goti- (13000–10000) ja finiglatsiaal (vähem 10 000 a. t.), millistest igaühel oli erinev pinnamoodi kujundav toime. Esimeses (näit. Leedus) kujunesid võimsad marginaalsed künnised. Gotiglatsiaalis, mil kujunesid Läti ja Eesti liustikutekkelised pinnavormid, oli liustik oma aktiivsuse säilitamiseks veel piisavalt paks, kuid selle liikumine kohandus juba olulisel määral aluspõhja liigestatud reljeefiga ning kujundas eriilmelisi kulutus-kuhjevorme. Olulisteks suurvormideks olid ulatuslikud liustikunõod ja nendevahelised liustikutekkelised saarkõrgustikud. Finiglatsiaalis (Soomes) kujunesid pikad radiaalsed kulutusnõod, kus praegu on sageli järved ja sood ning arvukad pikioosid. Esineb ka suuri otsamoreene ja glatsiofluviaalseid deltasid, näit. Salpausselkä moodustised.

Skandinaavia liustikul olid seega radiaalseid vorme kujundavad liustikuvoolud ja -keeled, mis mugandusid liustikunõgudele (näit. Peipsi nõgu) ja jätsid enda vahele jäälahkmealad (näit. Pandivere kõrgustik). Kuid pinnavormid paiknevad varasema jääkilbi suhtes ka kontsentriliselt, tähistades mandrijää kestvamaid seisakuid. Selliselt kontsentriliselt paiknevaid liustiku kestvamaid seisakuid tähistavaid setete suurema paksusega vööndeid nimetatakse mandrijää servamoodustisteks.

Mandrijää servamoodustiste levik Soomes: 1 – Salpausselkä I, 2 – Salpausselkä II, 3 – Salpausselkä III, 4 – Kesk-Soome servamoodustised, 5 – Pielisjärve servamoodustised

Maatõus

Maakoor pole kunagi täielikus tasakaaluasendis. Ühed piirkonnad kerkivad ja teised vajuvad. Lõuna-Soome ja Põhja-Eesti kerkivad üsna nobedasti ja kõik selle detailid pole veel kaugeltki selged. Kõige enamlevinud arvamuse kohaselt loetakse maapinna tõusu põhjuseks jääaegade mõju, mis rikkus maakoore isostaatilise tasakaalu. Pealetunginud liustikukoorma all maapind vajus, pärast sellest koormast vabanemist hakkas aga kerkima. Selline kompensatsiooniline kerkimine oli esialgu väga kiire, hiljem aeglustus. Kõige paksem, ligikaudu 3 km, oli jää Botnia lahe piirkonnas, kus maapind vajus 800–1000 meetrit. Peaaegu pool kilometrit ker-

Kaasaegse maatõusu isojooned (mm/aastas). Taustafoto: Image courtesy of MODIS Rapid Response Project at NASA/GSFC

kis maakoor juba sulava ja järjest õheneva jää all. Pärast jää lõplikku sulamist kerkis maapind Botnia lahe ümbruses veel oma 200–300 meetrit, Põhja-Eestis umbes 75 meetrit. Maakoore kerkimise tõttu vabanes Läänemere nõos olnud vete alt üha uusi alasid, pikenesid jõed, kujunesid meie arvukad saared ja laiud, merelahed muutusid järvedeks ja hiljem soodeks. Maakerge jätkub ka praegu, kõige kiiremini – 9 mm/aastas Botnia lahe põhjaosas. Hankos ja Kõpu poolsaarel Hiiumaal on kerge umbes 3 mm/aastas ja Edela-Soomes ning Kirde-Eestis kõigest millimeeter aastas. Oletatakse, et lähema 7000–12000 aasta jooksul kerkib maapind veel 100–150 meetri võrra. Kuid on ka teisi arvamusi, mille kohaselt jääsurvest tingitud glatsioisostaatiline kerge peatus juba umbes 5000 aastat tagasi ja edaspidi jätkub konstantse kiirusega aeglane kerge juba tektooniliste jõudude mõjul.

Läänemere sünd ja areng

Suur osa Eestimaast ja Lõuna-Soomest on merest sündinud. See sünd on seotud viimase jääaja liustike taandumisega, mil liustikuserva ees kujunesid ulatuslikud jääpaisjärved, kust vesi suundus ookeani suunas. Pärast kohalike jääpaisjärvede ühinemist kujunes Läänemere nõos ja seda ümbritsevatel aladel magedaveeline Balti paisjärv, mis eksisteeris umbes 12000–10300 ^{14}C aastat tagasi. Järve veepind oli ookeanitasemest umbes 25 m kõrgem. Kui mandrijää taandus Billingeni mäest Kesk-Rootsis põhja poole, murdsid võimsad veevoolud tee kitsukesest maasillast läbi ja tungisid ookeani. Veetase alanes kiiresti ja ookeaniveed tungisid järve, mistõttu kujunes soolakaveeline Joldiameri. See eksisteeris vaid lühikest aega ja umbes 9500 a.t. eraldus maatõusu tõttu ookeanist. Kujunes Antsülusjärv, mis liustiku jätkuva sulamise ja jõgede sissevoolu tõttu oli esialgu transgressiivne, hiljem aga madalduv veekogu, mis umbes 8000 a.t. ühines taas ookeaniga. Kujunes soolakaveeline Litoriinameri, mille viimast 4000 aastat kutsutakse Limneamereks. Erivanuselised meresetted ja meretekkelised pinnavormid lasuvad liustikutekkelistel setetel ja pinnavormidel ning merelained on murrutanud neisse ka astanguid. Kõige võimsamad rannavormid on kujunenud Balti paisjärve, Antsülusjärve ja Litoriinamere pealetungifaasidel, mil maatõusust mõjutatud rannajoon püsis pikka aega enam-vähem ühel kõrgusel, soodustades kuhjumist ja kulutust suhteliselt kitsal alal. Paljudes kohtades, eriti moreenrannal, lükkas merejää kokku suuri rahne. Selliseid kivivalle ja kivivälju kutsutakse Soomes kuradiväljadeks.

Mandrijää poolt kohale toodud rändrahnud Pedassaare neemel, Lahemaa

Liustikutekkelised pinnavormid

Pealetungiv liustik hävitas varasemad pinnavormid või kujundas neid tundmatuseni ümber. Liustikukünde tulemusena varasem pinnamood tasandus. Liustikule ette jäänud aluspõhjalised künkad said ovaalse, mõneti leivapätsi meenutava kuju. Liustikust peaaegu voolujooneliseks lihvitud kaljusid kutsutakse **silekaljudeks** ehk **"oinapeadeks"**. "Oinapeadeks" sellepärast, et jää tulekupoolne nõlv on neil tavaliselt lauge ja sile, vastasnõlv aga järsk ja ebatasane, vahel lainjas nagu vill oina laubal. Silekaljud paiknevad enamasti rühmiti, moodustades silekaljustikke. Paljud saarterühmad Lõuna-Soome skäärrannikul kujutavad endast mere poolt üle ujutatud silekaljustikke. Eestis on rohkesti silekaljusid (kaljuvoori) Jaagarahu lademe avamusel, näiteks Kirblas, Lihulas, Saleveres jm., kus nad moodustavad hiiglaslikke ihkkeelte taolisi vorme. Järsu astanguna kerkiva kaljuvoore loodetipul leiame alati kõva biohermi, aeglaselt madalduv kagupoolne osa koosneb aga pehmetest kihilistest dolokividest ja merglitest ning on kaetud moreeni ja mereliste kruusadega.

Jäätekkeliste kõrguvate pinnavormide vahele või lähedusse jäävad **kulutusnõod ja -vagumused**. Kulutusnõod on ovaalsed või piklikud enam-vähem suletud nõod, mida jää on liikudes sügavdanud. Kulutusvagumused on pikemad ja avatud otstega orulaadsed pinnavormid, näiteks Võrtsjärve ja Peipsi nõgu. Liustiku kulutusorge nimetatakse ruhiorgudeks. Need on liustike toimel sügavnenud ja laienenud vanad

Silekaljud Hanko rannal

jõeorud. Sellised on paljud Põhja-Eesti vanad orud, milliste nõlvu ja põhja liustik on nühkinud. Et jää liikumisteele sattusid erineva kõvadusega kivimid, on jääkündeorgude põhi kohati astmeline, seal leidub laiendeid ja korrapäratu kujuga süvendeid. Ka klindilahed on suured jääkündeorud, sest nende nüüdiskuju pärineb eeskätt viimasest jääajast.

Mandrijää pisikulutusvorme – **jääkriime** – kohtame kõvade kivimite pinnal kõikjal, kus aluspõhja lihvitud pind ei ole nimetamisväärselt murenenud. Jääkriime tekitasid mandrijäässe haardunud teravad kivid, mis koos jääga liikusid mööda aluspõhja pealispinda. Suurenedes kujunevad neist kündevaod, kuni paarikümne sentimeetri laiused ja ligi kümne sentimeetri sügavused vaod, mida liustikku surutud kivid on ebaühtlase kõvadusega aluspõhjakivimitesse voolinud. Jää ja aluspõhja vahele jäänud kivide veeremisel võivad mandrijää liikumise suunas tekkida ridastikku augukesed, mida nimetatakse **hõõrdelohkudeks**. Omapärased mandrijää kulutuse väikevormid on ka **ihkkeeled**, mis vastandina jääkriimudele, kündevagudele ja hõõrdelohkudele on jääst siledaks kulutatud pindade kõrguvad vormid. Need on tekkinud aluspõhjakivimis leiduvate kõvade suletiste taha pärast ümbritseva kivimi kulutumist.

Liustikult laskuvate jugade toimel kujunesid ovaalsed või ümmargused mitme

Ihkkeeltega rifflubjakivi pealispind Vasalemma karjääris

meetri sügavused **hiiukirnud**, mille põhjal on enamasti rohkesti veeriseid. Kuulus on Soomes Askolas kahekümnest kirnust koosnev rühm, millistest suurima läbimõõt on 4,2 ja sügavus 10,3 m.

Ulatuslikel aladel kujundas liustik **moreenitasandikud**. Need liivsavise või saviliivase pinnakattega viljakad alad on kujunenud vana reljeefi tasandikulistel kohtadel, kusjuures moreenist pinnakatte paksus võib ulatuda mõnekümnest sentimeetrist kümmekonna meetrini. Moreenitasandike pind on enamasti lainjas, mis on tingitud allolevate kivimipindade ebatasasusest või moreeni ebaühtlasest paksusest. Moreen koosneb väga erineva suurusega koostisosadest, alates savist kuni **hiidrahnudeni**. Jääga on kohale kantud ka Baltimaade suurima ümbermõõduga (58 m) Muuga Kabelikivi. Edasiliikuva liustiku all kujuneb põhjamoreen, mille alumine, maapinnaga vahetus kontaktis olev osa rikastub jääkünde tagajärjel pidevalt uute murendproduktidega. Mandrijää kauakestval liikumisel tungib osa põhjamoreenist plastse ja kihtidena liikuva liustiku sisse, andes aluse sisemoreenile. See võib liustiku sulamisel jõuda ka liustiku pinnale, moodustades pinnamoreeni. Pärast liustiku sulamist saab põhja- ja sisemoreenist põhimoreen, pinnamoreenist aga jämedama koresega ablatsioonimoreen.

Ülem-Ordoviitsiumi lubjakive kattev moreen Vasalemma karjääris

Mandrijää liikumine Otepää ja Haanja saarkõrgustike kujunemise ajal (koostanud Reet Karukäpp)

Moreen on sage ka künklikus maastikus, otsamoreenides ja voortes. **Künklik moreenreljeef** on väga erineva morfoloogia, ehituse ja kujunemislooga. See võib tähistada jääserva pikemaajalisi seisakuid ja ajutisi pealetunge, kuid kujuneb hoopis sagedamini jäätumiskeskusega ühenduse kaotanud ird-jääs, nagu näiteks Vikajärvi – Kemijärvi piirkonnas Põhja-Soomes, kus nad hõlmavad 600 ruutkilomeetri suuruse ala. Eestis on künkliku maastiku põhilisteks levialadeks Otepää ja Haanja kõrgustik, kuid moreenkünkaid esineb ka Karulas, Pandivere kõrgustikul ja Sakala kõrgustiku lõunaosas, piiratumalt mujalgi. Künkad moodustavad sageli kaarjaid kogumikke, olles seega üleminekuvormideks künkliku moreenmaastiku ja liustiku serva ääristanud **otsamoreenide** vahel. Viimased jaotatakse vastavalt tekkele surve- ja kuhjeotsamoreenideks. Survemoreenid koosnevad liustiku poolt kokkulükatud, väga erineva koostisega setetest: moreenist, kruusast, liivast, aluspõhjakivimitest jm., mis kõik on kurdudesse surutud või üksteise peale lükatud ja segi tambitud. Kuhjeotsamoreenide kujunemine on märksa rahulikum. Need moodustuvad olukorras, kus jää sulamine ja lisandumine on tasakaalus. Jääst surutakse järk-järgult välja moreeni läätsed. Tegu oleks nagu transportöörlindiga, mis pidevalt veab materjali mingile kindlale joonele. Suurimad otsamoreenid on Lõuna-Soomes Salpausselkä ja Eestis Lääne-Saaremaa kõrgustik, mis on kümneid kilomeetreid pikad. Sageli on otsamoreenidel suuri rändrahne ja sölle. Väiksematest otsamoreenidest on Eestis tuntuimad Tamsalu raudteejaamast Naistevälja külani kulgev mõne meetri kõrgune otsamoreen, mis on kujunenud paeastangu servale, Vatku otsamoreen Pandivere kõrgustikul ja Kiisa otsamoreen Viljandist läänes. Kuid kõige ilmekam survemoreen on siiski Vaivara Sinimäed, mille tuumiku moodustavad paekaldast lahti kistud hiiglaslikud lubjakivipangased. Sellest otsamoreenist, kui turismiobjektist, tuleb meil juttu hiljem. Peale otsamoreenide leidub ka liustikukeelte vahelisi radiaalmoreene, suhteliselt kitsaid moreenist koosnevaid pikivorme.

Iseloomulikeks liustikutekkelisteks põikvormideks on **De Geeri moreenid**, mis on kuhjunud liustiku serva esistes paralleelsetes lõhedes. Nad on harilikult kuni 5 m kõrged, 10 – 50 m laiad ja mõnisada meetrit pikad, moodustades ulatuslikke kogumikke. Soomes on neid rohkesti Vaasa linna lähistel Raippaluotos, Eestis on neid teada Saadjärve voorestiku distaalosas.

Väga tuntud-teatud jää voolitud vormid on mandrijää liikumise suunas asetsevad pikliku ja voolujoonelise, leivapätsi meenutava kujuga **voored**. Nende ristiprofiil on sümmeetri-

Voorestiku läbilõige

line, pikiprofiil aga ebasümmeetriline. Mandrijääpoolne (proksimaalne) osa on vastaspoolest (distaalsest) kõrgem ja järsem. Osa voori koosneb täielikult moreenist, teistel on sees aluspõhjakivimitest koosnev tuum, mille taga ja hiljem ka ees algas liikuvas jääs setete kuhjumine. Harvem on voortes liiva ja kruusa. Voored esinevad tavaliselt rühmiti, moodustades voorestikke. Eesti tuntuim voorestik on Saadjärve suurvoorestik (Vooremaa), kus voorte pikkus ulatub 13 kilomeetrini (Laiuse voor) ja suhteline kõrgus 50–60 meetrini (Laiuse ja Sootaga voor). Voorte vahel on paralleelsed ja kitsad soostunud nõod, milles mõnikord asuvad järved (Saadjärv, Raigastvere järv jt.). Soomes on kaunid voorestikud Savos ja Kuhmos. Voorte nõlvadel ja lagedel esineb kohati kausjaid nõgusid, mida Saadjärve voorestikus peetakse Kalevipoja silmaveekaussideks. Nende teket seletatakse mattunud jääpankade sulamisega.

Väga mitmekesiseid setteid ja pinnavorme kujundas liustiku sulamisvesi. Need jaotuvad liustikujõgede ja liustikujärvede moodustisteks.Vesi voolas nii liustiku all, peal kui ka liustiku sees olnud koobastikes. Kui veega kantud setted kuhjusid jääjärvedes, siis moodustusid glatsiofluviaalsed deltad. Kui liustiku ees laius maismaa, siis seal voolanud arvukad ojad ja jõekesed kord ühinesid, kord liitusid ning kujundasid distaalses suunas madalduvaid liivast ja kruusast koosnevaid koonusjaid tasandikke, milliseid kutsutakse **sanduriteks**. Varemkujunenud vagumustes kuhjusid orusandurid. Jääservale lähemal on setted paksemad ja jämedateralisemad, kohati leidub seal isegi rahne. Nii deltades, sandurites kui ka orusandurites valdab distaalses suunas langev kallakkihilisus, kuid kohati

esineb ka teisi kihilisuse tüüpe. Setete sorteeritus on halb ja purdosakesed on väheümardunud. Suured glatsiofluviaalsed deltad on Tallinnas Mustamäel ja Männikul ning Tallinna ning Kunda vahemikus. Need on tähtsad ehitusliiva ja -kruusa varamud.

Liustikujõelised setted võivad kuhjuda ka jääveerulistes liustikualustes, -pealsetes, -esistes ja -sisestes jõgesid meenutavates sängides. Sel juhul kujunevad ümbritsevate jääseinte sulamise järel looklevad, kuni 30 - 40 m kõrgused (Neeruti, lisaku) järsunõlvalised, raudteetammi meenutavad **vallseljakud ehk oosid**. Pikioosid (radiaalsed oosid) on jää liikumise (taandumise) suunalised, liustikuserva ees kujunenud põikoosid (Risti-Palivere) sellele aga risti. Eestis seostatakse oose nagu voorigi Kalevipoja vägitükkidega, lugedes neid tema künnivagudeks. Enamasti koosnevad oosid kruusast ja liivast, kuid

Oosi teke

sageli on neis ka munakaid ja koguni rahne. Oosid moodustavad kümnete kilomeetrite pikkusi oosistikke ja oosistuid, vahel ka omavahel põimuvaid kogumikke. Palju kauneid oose on Eestis Lääne-Virumaal.

Eestis ja Lõuna-Soomes on palju erikujulisi liivast ja kruusast, harvem savikatest setetest koosnevaid **mõhnu**. Mõhnad on eeskätt künkad ja kuplid, harvem vallikujulised ja lavajad vormid, oosid seevastu pikad seljakud. Kui piiri panek on raske, nimetame sellist vormi oosmõhnaks. Mõhnad on tavaliselt irdjää päranduseks. Irdjää pankade vahel, kuid ka jääpankade peal või sees kujunesid väikesed järvekesed, kuhu jäistelt nõlvadelt kuhjus liiva ning savi, mis pärast ümbritseva jää sulamist jäi katva mütsina varemkujunenud moreenküngastele või iseseisvalt tasasele alale. Eristatakse järvelise tekkega savikas-aleuriitse koostisega limnomõhnu, vooluveetekkelisi fluviomõhnu ning keerulise koostisega segamõhnu, mille alumine osa koosneb

Mõhnastiku teke

näiteks jääjärvetekkelistest, ülemine osa aga liustikujõetekkelistest setetest või vastupidi. Mõnikord vahelduvad pinnavormis limno- ja fluvioglatsiaalsed setted paljukordselt nii vertikaal- kui ka horisontaalsuunas. Mõnedel mõhnadel leidub moreeni. Siis nimetatakse neid moreenkattega mõhnadeks. Mõhnad moodustavad järvederohkeid mõhnastikke. Järvi on eriti rohkesti Illuka ehk Kurtna mõhnastikus Kirde-Eestis.

Kõige kuulsamateks ja võimsamateks jää sulamisveetekkelisteks pinnavormideks vaadeldaval alal on kahtlemata kolm Salpausselkä ahelikku Lõuna-Soomes. Neist esimesed kujunesid Hilis-Dryases, kui kliima äkki jahenes ja jää taandumine peatus. Salpausselkä I ja II kulgevad paralleelsete ahelikena Edela-Soomest Põhja-Karjalasse. Kogu vööndi pikkus on 600 km ja laius 20–50 km. Kõige põhjapoolsem kolmas Salpausselkä on ligikaudu 200 km pikk. Ahelike suhteline kõrgus on umbes 20 m, kuid kohati 60–80 m. Ahelikud kujunesid jääserva ostsillatoorsel edasi-tagasi liikumisel ning nende ehitus on väga keeruline. Lisaks glatsiofluviaalsetele setetele leidub neis moreeni, aleuriiti ja savi.

Liivakarjäär Kiikalannummis, Salpausselkä III ahelikul

Jääjärvede looming

Jää sulas ja liustiku sulamisvesi otsis teed ookeani poole, kuid esialgu oldi kõikjal ookeanist jäälaamadega ära lõigatud. Seetõttu kujunesid taanduva liustiku ette suured jahedaveelised ja elustikuvaesed jääpaisjärved. Vastavalt jää taandumisele või ajutisele pealetungile järvede veetase muutus. Neis järvedes kuhjusid viirsavid, mis praegu katavad Põhja- ja Lääne-Eestis ning Lõuna-Soomes ulatuslikke alasid. Suvel kanti järvedesse rikkaliku sulamisveega rohkesti settematerjali, mille jämedam, liivakas-aleuriidikas osa settis kohe, peenem, savikam komponent jäi aga hõljuma ja settis jääkaanega kaetud veekogudes talvel, kui settematerjali juurdevool praktiliselt puudus. Seega moodustus ühe aasta jooksul kaks ebaühtlase terasuuruse, värvuse ja paksusega kihikest, mis kokku annavad aastavarvi. Varvide loendamise põhjal on võimalik määrata konkreetse settekompleksi kuhjumiskiirust, erinevate kohtade läbilõigete rööbistamise teel aga mandrijää taandumise aega, kiirust ning isegi absoluutset vanust kalendriaastates. Seda rootsi teadlase Gerard de Geeri poolt välja töötatud meetodit nimetatakse varvomeetriaks.

Viiruline savi.
Foto: Gennadi Baranov

Lõuna-Soome liustikumälestised

Hanko piirkond

Tulliniemi rannikul Hanko neeme edelaosas kerkib merest Salpausselkä I ahelik, mis kujunes Balti paisjärve eksisteerimise ajal. Merelained ja hoovused on ahelikku tugevasti räsinud ja tasandanud. Erodeeritud materjal on settinud neeme lõunaosas. Salpausselkä I kulgeb läbi Hanko linna ja mööda teda kulgeb Hankonieme maantee. Kuid oma tasasuse tõttu on teda kohati raske eristada rannasetetest. Ka Tulliniemi rannas valdavad litoraali setted, kuid sadamaalal eristuvad siiski mandrijää sulamisveesetted. Tulliniemist edelas jätkub Salpausselkä I 15 kilomeetrit vee all kuni Bengtskäri tuletornini, kus ta seejärel umbes 40 m sügavusel mattub savide alla. Kirdes jätkub servamoodustis Hankost Tammisaari ja Lohjani ning Hollola Sairakkalani, kus ta pöördub itta.

Tulliniemi rannikul on rohkesti huvitavaid rannavalle, abrasiooniastanguid ja tuuletekkelisi vorme. Siin me näeme, kuidas taimed liiguvad merest tõusnud liivadele ja hakkavad neid kinnistama. Ranna idaosas on Pallbobergeti kalju, kus veepiiril on kauneid poleeritud pindu. Rannal on ka mitmeid rändkive, millistest kõige meeldejäävam on rabakivirahn otse Pallbobergeti kaljul. Tõenäoliselt on see mandrijääga siia toodud enam kui 100 km kaugusel paiknevast Laitila rabakivimassiivist Turu linnast põhjas.

Vaade Pallbobergeti kaljult Tulliniemi liivarannale

fluvioglatsiaalsed setted
rannasetted (liiv, kruus)
aluspõhjalised kivimid
moreen
savi
aleuriit
1. Kråkuddeni hiiukirn
2. Tulliniemi ja Pallboberget
3. Puistovuori hiiukirn
4. Hiiukirnud Täktomis
5. Liivaluited Lappohjas
6. Rannavall Lappohjas
HANKO
TÄKTOM
LAPPOHJA
1
2
3
4
5
6
N
2 km

Hanko linnas ja lähikonnas on rohkesti jää poolt lihvitud jääkriimudega kaetud aluskorrapaljandeid, näiteks Puistovuoris ja Kolavikeni rannal. Puistovuoris on ka mõjuv hiiukirn, mille läbimõõt on 1,2 m ja sügavus 2,5 m. Sinna viib Hanko kasiino juurest algav tähistatud rada. Kappeli sadamast idas on kalju veelgi suurema Kråkuddens hiiukirnuga, mille läbimõõt on 3 m ja ka sügavus üle 3 meetri. Sinna on tähis Länsitielt.

Täktomi ümbrus

Täktomist lõunas on suurepärane näide, kuidas kerkival rannikul lähevad merelahed üle rannikujärvedeks. Kattrumpan, Västerfjärden, Österfjärden ja Täktbukten olid merelahed, mis erinevatel aegadel eraldusid merest. Täktomintiest algavad väikesed teed viivad matkajat nende endiste lahtede juurde. Långörintie viib teid väikese Kattrumpani sadama juurde. Tee kulgeb piki madala oosi harja. Sadamas on kitsas neem, mis ühendab Långöreni kaljut mandriga. Kaljust lõunas ulatub oos merre. Kattrumpani lahel on merega vaid kitsas ühendus ja sadade aastate jooksul tuli seda paatide läbisõiduks süvendada. Selliseid aeglaselt järvedeks muutuvaid lahtesid kutsutakse siin fladadeks.

Kobbeni tee viib teid Kobbeni künkale, kust saab vaadelda Täktbukteni lahte

Hiiukirn Puistovuoris

ja Österfjärdenit. Täktbukten on praegu küll veel laht, kuid Österfjärdenist läänes on ta juba muutunud nn glo-järveks. Glo-järv on merest eraldunud järv, kuhu tugevate tormidega tungib soolakas merevesi. Kattrumpani ja Österfjärdi vahel on Västerfjärdi glo-järv. Täktomi lahed on väikesed, kuid siinsel lõunarannikul on ka suuri järvedeks muutuvaid lahtesid. 2000 aasta pärast muutub ka Botnia laht suureks järveks, juhul kui Kvarkeni ümbrus jätkab kerkimist.

Ka Täktomis on hiiukirnusid. Täktomi teelt on tähis Lövkullani teele, kus on liustiku poolt lihvitud aluskorrapaljand 15 hiiukirnuga. Enamus hiiukirnudest on väikesed, kuid suurima läbimõõt on 1.6 m ja sügavus 3 meetrit.

Maapinna tõusu tõttu merest eraldunud Österfjärdeni glo-järv. Foto: Atte Karhima

Hiiukirnud Täktomis

Lappohja ümbrus

Hanko Lappohjas, vähem kui kilomeetri kaugusel Warmuseumist Tammisaari poole on Salpausselkä rannavall. See paikneb Hankonieme tee ja raudtee vahel. Te jõuate sinna, kui pöörate Hankonieme teelt Ruukki ristteel Satama teele ja seejärel kohe vasakule vanale teetammile. Siin on Salpausselkä I vaid kitsas aluskorrapaljandite vahel paiknev ahelik. Rannavall kulgeb Salpausselkä ahelikuga samas sihis ja jätkub kirdes ligikaudu 1,3 km. Paljandite suurus ja kuju on varieeruv, edelaosas on vormid väiksemad ja ümardunud, mujal suuremad ja teravamakandilised. Leidub mitmeid suuri rändrahne. Rannavall kujunes Litoriinamere alguses ja paikneb 20–25 meetrit üle merepinna.

Lappohja külast läänes on Koverhari tee Lappohja randa, kus asub suur taimestikuga kattunud luide. Luite järsk alttuulenõlv algab parkimisplatsilt ja rannale viiv rada kaardub ümber luite. Luide on 1,5 kilomeetrit pikk ja 5–7 meetrit kõrge. Rannajoonega paralleelne luiteahelik on kujunenud tugevate tuultega rannalt kantud settematerjalist. Kohati puhub tuul siin praegugi veel setteid ümber. Salpausselkä I lähedased merest kerkivad tasased liivikud on suurepäraseks tuiskliiva lähtealaks. Hanko neeme piirkonnas, eriti selle idaküljel Lappohja, Sandöträsketi ja Tvärminne vahemikus on rohkesti tuiskliiva ja luiteid.

Salpausselkä I rannavall Lappohjas.
Foto: Atte Karhima

Kiikalannummi ja Hyyppärä ümbrus

Salpausselkä III ahelik kujunes Joldiamere staadiumil. Kiikalannummis, Kiikalast ligikaudu 5 km idas on selle tüüplevila, mis on geoloogiliselt väga mitmekesine. Siin esinevad laiad glatsiofluviaalsed deltad, sanduriväljad, irdjää vormid ja erinevad supraakvaatsed setted (savid ja aleuriidid). Arvukad liiva- ja kruusaaugud loovad hea võimaluse Salpausselkä III aheliku siseehituse uurimiseks.

Hyyppäräs Lammenjärvist idas on muljetavaldav söllide esinemisala. Lihtsaim tee sinna jõudmiseks on Kultalähde allika juurest, kus te Suomusjärvi - Kiikala teelt ära pööravalt Oinasjärve teelt, leiate viida. Alal on lihtne likuda ja rohkete radade tõttu on ta väga sobiv matkajatele. Hyyppäräs on sügavad ja järsuveerulised söllid ning suured liiva- ja kruusakünkad. Söllid kujunesid irdjääs pärast glatsiofluviaalsetesse setetesse mattunud jääpankade sulamist. Sölle on rohkesti just ooside ja servamoodustiste lähikonnas. Kultalähde allika juurest Lammenjärvist põhjapool viib jalgrada Lammenharju oosile. Lammenharju oos on klassikaline pikk ja kitsas järsunõlvaline oos, mis tõuseb ümbritsevast maastikust kuni 25 m kõrgemale. Lammenharju oos on loode-kagu sihiline, mis ühtib mandrijää liikumise suunaga. Oosi nähtav osa on vaid mõni kilomeeter pikk, kui temast kirdes ja kagus on samasihilisi lühemaid ahelikke, mis lubab oletada, et oos on osaliselt mattunud nooremate savide, aleuriitide ja turba alla.

Lammenharju oos Hyyppäräs

Liustikuvormid Põhja-Eestis

Uljaste järv ja oos

Põhja-Eestis on kõige enamlevinud glatsiofluviaalseteks pinnavormideks piki- ja põikoosid. Pandivere staadiumi ajal kujunenud Uljaste pikioos on 9 km pikk ja koosneb peamiselt kruusast (30–40%) ja liivast (40–55%), millele lisandub veeriseid ja munakaid (10–20%), pisut (5%) ka aleuriiti. Oos on võrdlemisi lai ja tema tasasel lael on kuni12 m sügavusi glatsiokarstilisi nõgusid. Oos on sümmeetrilise ristiläbilõikega ja tema mõlemad nõlvad on järsud. Oosi kõrgus on 18–22 m. Setete kihilisus on muutlik, kuid valdab põimkihilisus. Kuna moreeni pole ei oosi lael ega nõlvadel, siis võib arvata, et ta kujunes irdjää avalõhes. Kruusa võtuga on oosi rikutud, kuid alates 1957. aastast on oosi põhjaots looduskaitse all.

Kauni ja puhtaveelise Uljaste järve pindala on 60 ha. Järv on 5,6 m sügav ja arvatavasti kujunenud glatsiokarstilise tekkega nõos. Lähikonnas on ka mitmeid väiksemaid komeetoose, millised on tõenäoliselt kujunenud deltateooria kohaselt, näidates mandrijää taandumise aastarütme. Uljaste on populaarne turismipiirkond, kus korraldatakse ka looduskaitsjate ja matkajate kokkutulekuid.

Glatsiokarstilised nõod Uljaste oosi lael (all) ja Uljaste komeetoos (paremal)

Saadjärve voorestik (Vooremaa)

Voorestik on 55 km pikk ja proksimaalses loodeosas maksimaalselt 27 km lai. Distaalses kaguotsas on voorestiku laius kõigest 5 km. Voorestikus on ligikaudu 120 voort. Nende suurus ja kuju on väga mitmesugune. Lisaks tüüpilistele kõrgema proksimaalse otsaga leivapätsikujulistele voortele on isomeetrilisi ja piklikke voori ning kokkukasvanud liitvoori. Voorestiku loodeosas valdavad suured ja lamedad voored, mis on 7–13 km pikad, 1–3,5 km laiad ja kuni 60 m kõrged. Voorestiku kaguosas seevastu valdavad väiksemad, piklikumad ja järsunõlvalisemad voored. Voorestik kujunes üle Pandivere kõrgustiku liikunud paksu jääga.

Kvaternaarisetete paksus voortes on 60–70 m, kuid kui arvesse võtta ka voorestikku läbivad mattunud orud, siis üle 100 m. Siin esinevad Kesk- ja Ülem-Pleistotseeni setted. On kindlaks tehtud Elsteri, Saale ja kaks Weichseli jäätumise moreeni. Voorestiku lõunaosast Kõrvekülast on leitud Holsteini jäävaheaja setteid. Kuni 15 m paksused Holotseeni setted on esindatud liiva, kruusa, aleuriidi, sapropeeli, järvelubja ja turbaga.

Voorestik läheb distaalses otsas sujuvalt üle künklikuks moreenmaastikuks. Vooremaad ilmestavad pikad voortevahelised järved. Siin on palju kultuuri- ja loodusmälestisi, milliseid muistendites seostatakse sageli Kalevipojaga.

Vaivara Sinimäed

Vaivara Sinimäed on suur rändpangas, mille mandrijää paekalda seinast lahti murdis ja 4–5 km lõuna poole tassis. Oma praeguses asukohas tähistavad nad viimase jäätumise Pandivere staa-

Vaade Vaivara Sinimägedele. Esiplaanil Pargimägi

Vaade voorele Raigastvere vaatetornist. Foto Anto Raukas

Tugevasti kaldu Kesk-Ordoviitsiumi lubjakivid Pargimäel

diumi servaasendit. Kokku on siin kolm tasasest maastikust 40–50 m kõrgusele kerkivat kaugele nähtavat seljakut (Tornimägi 70 m, Põrguhauamägi 83 m ja Pargimägi 85,5 m ü.m.p.). Alam-Ordoviitsiumi pankad on Tornimäe läänenõlval kohati vertikaalsed, teisal aga kurdudesse pressitud. Mandrijää toimest kõnelevad lubjakivipankade vahele surutud moreenikihid. Kuid mägesid on loetud ka tektoonilisteks. Glatsiotektoonilise tekkeviisi kasuks räägib see, et seljandike põhjanõlval on tegu surveotsamoreeniga, mis läheb üle glatsiofluviaalseks deltaks ja lõpuks jääpaisjärve tasandikuks.

Lisaks suurepärastele liustiku hiidjõudu demonstreerivatele paljanditele on Sinimäed ka rikka militaarajalooga. 1944. aasta suvel võitles siin paljurahvuselise üksuse koosseisus Eesti Leegion, kes püüdis peatada ülekaalukate jõududega pealetungivat Punaarmeed. Vaivara surnuaias on 15500 nõukogude sõjamehe hauad. Kokku kaotas Punaarmee Sinimägede ümbruses ligi 60000 võitlejat. Mõlemaid võitlevaid pooli on meeles peetud. Tornimäel on mälestusmärk nõukogude võitlejatele, Põrguhauamäel aga Saksa armees võidelnuile. 1959. aastal loodi siin ajalooliste monumentide ja loodusmälestiste kaitseks Vaivara maastikukaitseala, mille suurus on 79 ha.

SÕNASELETUSI

Aleuriit e. möll – 0.01–0.1 mm läbimõõduga terakestest koosnev purdsete

Ablatsioonimoreen – liustiku pinnal edasikantud purdmaterjal, mis hiljem kuhjub liustiku all ja sees transporditud põhimoreenile

Delta – jõe tasane lehviku- ehk kolmnurgakujuline suudmeala

Distaalne – liustikuservast kaugem osa, vastandub proksimaalsele osale

Eoolne e. eooliline – tuuletekkeline

Erosioon – uuristamine, vooluvete pinnamoodi kulutav tegevus

Fjord – merevee poolt üle ujutatud pikk ja kitsas liustikuoru suudmelaht

Geomorfoloogia – teadus Maa pinnamoest

Glatsiaalsed pinnavormid – liustikutekkelised pinnavormid

Glatsiaalsed setted – liustikusetted

Jääaeg – ajavahemik, mille vältel suurt osa Maa pinnast katsid liustikud

Jäävaheaeg – jääaegade vaheline soe aeg

Jääpaisjärv – järv, mille liustik on paisutanud oma serva ja maapinnal oleva takistuse vahele

Kaljuvoor – mandrijää kulutusel aluspõhjakivimitest tekkinud liustiku liikumise suunaline ovaalse põhijoonisega positiivne pinnavorm

Karjäär e. avakaevandus – maavara pealmaakaevandamise koht

Liivik – enamasti tasane, vahel ka lainjas ja lohkudest liigestatud kruusa- ja liivatasandik; tekkeviisi järgi liustikuserva ees olevas veekogus settinud glatsiofluviaalne delta või maismaal jääserva ees ilma kindla sängita laialt voolanud sulamisvee settekuhjatis sandur; on ka tuule- ja jõetekkelisi liivikuid

Liustikujõesetted e. glatsiofluviaalsed setted – liustiku all, sees, peal või selle serva ees voolanud jões kuhjunud kihilised setted

Liustikujärvesetted – jääpaisjärvede ja teiste jääjärvede setted, nt. viirsavi

Luide – tuulega edasi kantud liivast kuhjatud pinnavorm

Mandrijää – suurt maa-ala hõlmav väheliikuv jääkate, mis koosneb peaaegu liikumatutest jääkilpidest ja aktiivsetest liustikukeeltest

Moreen – liustiku poolt kaasa toodud ja kuhjatud, erineva suurusega, sorteerimata ja ümardumata osakestest koosnev sete, moodustab moreenitasandikke ja liustikuserva esiseid otsamoreene

Mõhn – ümara põhiplaaniga mandrijää sulamisvee setetest koosnev küngas, harilikult paiknevad rühmiti mõhnastikena

Nõlv – positiivse pinnavormi kallak külg

Oos e. vallseljak – liustikujõe setetest koosnev piklik seljak, mis liitumisel moodustab kümnete kilomeetrite pikkusi oosiahelikke; eristatakse liustiku liikumissuunalisi pikioose ja liustikuserva esiseid põikoose

Otsamoreen – liustiku serva ees kujunenud valdavalt moreenist koosnev surveline või kuhjeline pinnavorm

Paljand – koht, kus kivimid või setted avanevad maapinnal; selleks võib olla looduslik astang või inimtekkeline pinnavorm (nt. paemurd)

Pinnakate – aluspõhja kivimitel lasuvad Kvaternaari setted

Rändrahn – mandrijää poolt oma esialgsest asukohast kaugele kantud suur kivi

Silekalju – kulumiskindlatest kristalsetest kivimitest koosnev kaljurünk või küngas, mille liustikujää on siledaks lihvinud; moodustavad rannikumeres kaljusaari e. skääre; Eestis kutsutakse ka "oinapeadeks"

Veer – negatiivse pinnavormi (oru, lohu, nõo) küljeks olev kaldpind

Viirsavi – jääjärvedes settinud peeneteraline viiruline sete, mille aastakihtide (varvide) loendamisel saab määrata lasundi kuhjumise aega ja mandrijää taandumise kliirust.

KIRJANDUST

Arold, I. 2005. Eesti maastikud. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu. 453 lk.

Geology and Mineral Resources of Estonia (compiled and edited by A. Raukas and A. Teedumäe). Estonian Academy Publishers, Tallinn, 436 p.

Hirvas, H., Huhta, P., Korhonen, R., Virkki, H., Karivalo, L. 2004. Jääkauden jäljet. Kiertonäyttelyn opasvihko. Metsähallitus ja Geologian tutkimuskeskus.

Kajak, K. 1995. Eesti kvaternaarisetete kaart. Mõõtkava 1: 2 500 000. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 20 lk + kaart.

Kielosto, S., Kukkonen, M., Sten, C.-G. ja Backman, B. 1996. Hangon ja Perniön kartta-alueiden maaperä. Maaperäkarttojen selitykset, lehdet 2011 ja 2012. Suomen geologinen kartta 1:100 000. Geologian tutkimuskeskus. Espoo.

Koivisto, M. (Toim). 2004. Jääkaudet. WSOY. Porvoo 2004.

Liivrand, E. 1991. Biostratigraphy of the Pleistocene deposits in Estonia and correlations in the Baltic region. Stockholm University, Department of Quaternary Research, Report 19 (Doctoral thesis), 114 p.

Miidel, A., Paap, Ü., Raukas, A., Rähni, E. 1969. On the origin of the Vaivara Hills (Sinimäed) in NE Estonia. Eesti NSV TA Toimetised. Keemia. Geoloogia, 18, 4, 370-376 (vene keeles inglisekeelse resümeega).

Palmu, J.-P. 1999. Sedimentary environment of the Second Salpausselkä ice marginal deposits in the Karkkila-Loppi area in southwestern Finland. Tutkimusraportti 148. Geologian tutkimuskeskus. Espoo.

Raukas, A. 1978. Pleistocene deposits of the Estonian SSR. Valgus, Tallinn 310 p. (vene keeles inglisekeelse resümeega).

Raukas, A. 1986. Deglaciation of the Gulf of Finland and adjoining areas. Bull. Geol. Soc. Finland, 58, 2, 21-33.

Raukas, A. 1988. Eestimaa viimastel aastamiljonitel. Valgus, Tallinn, 279 lk.

Raukas, A. 1995. Estonia – a land of big boulders and rafts. Questiones Geographicae, 4. Adam Mickiewicz University Press, Poznan, 247-253.

Raukas, A., Hyvärinen, H. 1992. Geology of the Gulf of Finland. Estonian Academy of Sciences, Tallinn, 422 p. (vene keeles inglisekeelse resümeega).

Raukas, A., Rähni, E., Miidel, A. 1971. Marginal glacial formations in North Estonia. Valgus, Tallinn, 226 p. (vene keeles inglisekeelse resümeega).

Saarnisto, M., Rainio, H., Kutvonen, H. (Toim.). 1994. Salpausselkä ja jääkaudet. Opas 36 Geologian tutkimuskeskus ja Lahden kaupunginmuseo.

Salonen, V.-P., Eronen, M., Saarnisto, M. 2002. Käytännön maaperägeologia. Kirja-Aurora, Turku 2002.

Saltikoff, B. (edit).2002. FOREGS 2002 Excursion Guide: South-western Finland – geology and history. Guide 50. Geological Survey of Finland. Espoo.

Taipale, K., Saarnisto, M. 1991. Tulivuorista jääkausiin – Suomen maankamaran kehitys. WSOY. Porvoo 1991.

Taipale, K., Parviainen J.T. 1995. Jokamiehen geologia. Kirjayhtymä Oy, Helsinki.

Tikkanen, M. & Oksanen, J. 2002. Late Weichselian and Holocene shore displacement history of the Baltic Sea in Finland. Fennia 180: 1-2.

Virtasalo, J. J. 2006: Late-Weichselian – Flandrian depositional history of the Archipelago Sea, northern Baltic Sea. Academic Dissertation, Department of Geology, University of Turku. Annales Universitatis Turkuensis, Ser. AII 196. 156 s.

ISBN 978-9985-9834-7-8