

Tuulen viemää – 11 000 vuoden eolinen sedimenttiarkisto ympäristönmuutoksista Pohjois-Lapissa

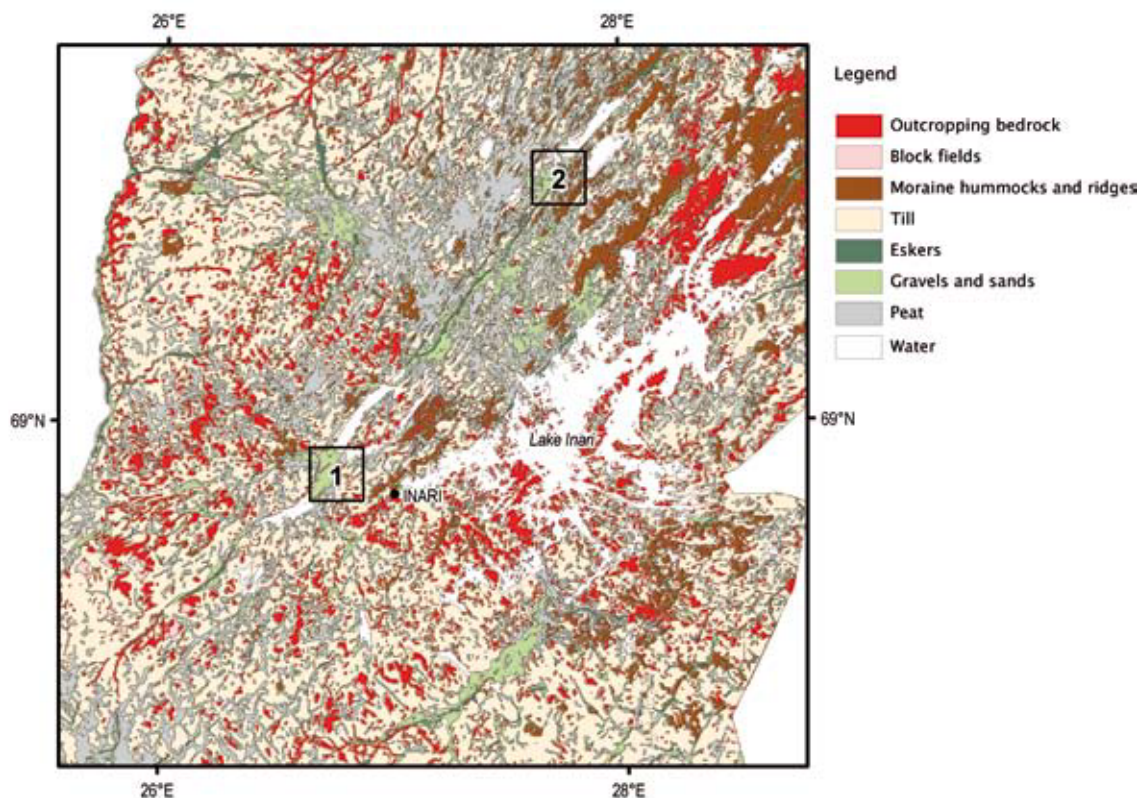
MIA KOTILAINEN

Johdanto

Aineen suuressa kiertokulussa on erodoituneen aineksen kulkeutuminen ja sedimentoituminen merkittävä osa systeemiä. Vielä 1800-luvun loppupuolelle saakka geologit uskoivat, että sedimentin kuljetuksessa veden ja jään osuus oli ratkaiseva ja tuulen merkitystä kuljettajana pidettiin vähäpätöisenä (Pye ja Tsoar 1990). Kuva muuttui kuitenkin pian, kun selvisi, että tuuli kuljetti hienoa sedimenttiainesta Afrikasta Eurooppaan (Ehrenberg 1847) ja että valtavat Kiinan lössitasangot olivat tuulen kerrostamia (von Richthofen 1882). Eolinen

tutkimus sai jalansijaa ja muodostui pian omaksi sedimentologian haarakseen.

Pleistoseenin lopussa ja holoseenin alussa sulaneet mannerjäätiköt jättivät jälkeensä laajoja alueita, mm. deltoja, joilla oli valmiiksi veden lajittelemaa ainesta tuulen vaikutukselle alttiina. Syntyi periglasiialisia eolisia kerrostumia: dyynikenttiä ja laajoja peittohiekkalueita. Nämä holoseenin alkuvaiheessa syntyneet eoliset kerrostumat ovat tietyissä ympäristöissä, erityisesti arktisella ja subarktisella ilmastovyöhykkeellä, säilyneet koko holoseenin ajan herkinä ympäristönmuutoksen in-



Kuva 1. Pohjoisimman Suomen maaperäkarta, jossa dyynikenttien sijainnit on merkitty numeroin 1= Muddusjärvi ja 2= Ijjävi. Maaperäkarta 1:400 000, lehdet 38 + 48 , Inari (GTK, Lahtinen ja Mäkinen 1985). Kuva: Kirsti Keskisaari, GTK. Fig. 1. The Quaternary sediments of the northernmost Finland. Locations of the dune fields are indicated with numbers 1= Muddusjärvi and 2= Ijjävi dune field. Quaternary Deposits 1:400 000, Sheets n:o 38 + 48 INARI, Geological Survey of Finland (Lahtinen and Mäkinen 1985). Picture by Kirsti Keskisaari, GSF.

dikaattoreina (Koster 1988). Ne reagoivat erityisen herkästi metsärajavyöhykkeellä uudelleenaktivoitumalla, kun maan pintaa stabiloiva kasvillisuus tuhoutuu. Kerrosrakennetta tutkimalla voidaan selvittää eoliset aktivaatio/stabilaatiovaiheet tuhansien vuosien ajalta (Kotilainen 2004). Kasvillisuuden tuhoutumisen on aiheuttanut tyyppillisesti metsäpalo, jonka luonnollinen frekvenssi pohjoisen havumetsissä, esim. Pohjois-Amerikassa, on noin 95–100 vuotta (Terasmae ja Weeks 1979). Metsäpalojen esiintymisvälin on havaittu riippuvan metsätyypistä, maaperästä ja geomorfologiasta niin, että kuiva mäntymetsä on erityisen altis metsäpaloille (Tolonen 1983). Metsäpalo on siis holoseenin aikana ollut luonnollinen ja säännöllinen tapahtuma pohjoisilla metsän peittämällä dyynikentillä. Kun tarkastellaan paloa seuranneen aktiivisen dyynikenttävaiheen pituutta, päästään kiinni ilmastosignaaliin: toisinaan ympäristöolojen vaikutuksesta dyynikenttä ei olekaan metsitynyt uudelleen, vaan eoliset prosessit ovat dyynikentällä ottaneet vallan. Tuuli on kerrostanut hiekkaa ja dyynit ovat vaeltaneet satojen, jopa tuhansien vuosien ajan.

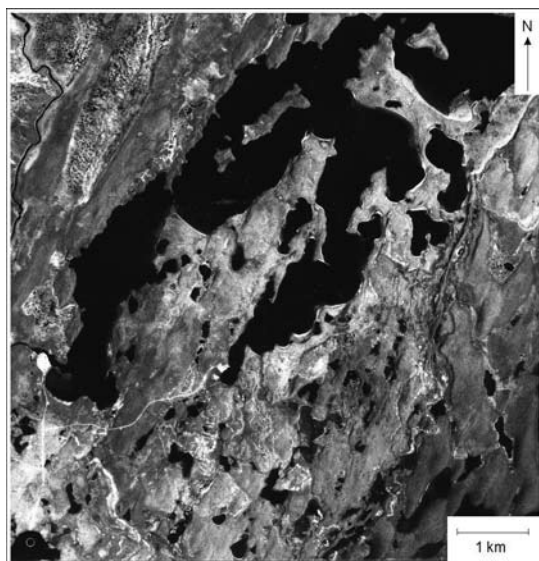
Tutkimusalueet

Tutkimusalueiksi valittiin kaksi saman harjujakson yhteyteen muodostunutta dyynikenttää: Muddusjärvän dyynikenttä Inarissa (tunnetaan kirjallisuudessa myös nimellä Tirron dyynikenttä) ja Ijjärvän dyynikenttä Iijärven eteläpäässä, 70 km:n päässä Muddusjärvän kentältä koilliseen (kuva 1).

Harjujakso, jonka yhteyteen kentät ovat syntyneet, on yksi Pohjois-Suomen pisimpiä. Se kulkee Lemmenjoen laaksosta 156 km koilliseen Opukasjärvelle saakka. Dyynikentistä eteläisempi on sijainnut suuren osan holoseenin aikaista olemassa oloaan metsärajalalla tai sen välittömässä läheisyydessä. Nykyään kenttä on mäntymetsän peittämä ja stabiili. Ijjärvän kenttä puolestaan sijaitsee männyn pohjoisen metsärajan yläpuolella ja on nykyään suurten deflaatiopainanteiden ja -altaiden kirjoma (kuva 2). Uusimpien männyn metsärajarekonstruktioiden mukaan Inarin allas on ollut holoseenin lämpöoptimin aikana (noin 6000 kalibroittua radiohiilivuotta sitten) mäntymetsän peittämä (Kultti *et al.* 2006).

Menetelmät

Dyynialueet kartoitettiin ja rajattiin, ja tarkemmat tutkimuskohteet valittiin alueellisesti koko kentän



Kuva 2. Ilmakuva Ijjärvän dyynikentältä (topografikunnan lupa no. 46/2004). Kuvan vasemmassa reunassa erotuu alaosa metsäautotie, joka haarautuu Kutulahteen. Muut valkeat alueet kuvassa ovat dyynien harjanteita myötäileviä deflaatiopainanteita.

Fig. 2. Aerial photograph of the Ijjärvri dune field. Copyright Finnish Defence Forces Topographic Service, authorization no. 46/2004.

kattavasti. Näin saatiin tutkimuskaivantojen verkosto, jossa aloitettiin tarkemmat yksittäisten dyynien tutkimuskaivaukset (kuva 3). Muddusjärvellä dyynien stratigrafia tutkittiin kolmessa leikkauksessa: dyynin vastasivun, lakiosan ja suojasivun kaivauksella.

Muddusjärveltä oli käytettävissä GTK:n maatutkaluotauksia, joista tulkitsin Kalevi Mäkisen avustuksella maapeitteiden rajat ja kontaktit. Dyynikentän paksuus vaihteli 2–6 m:n välillä. Kontakti dyynikentän alla olevaan deltaan tavoitettiin Muddusjärvän rannan eroosiotörmästä. Deltakerrostuman alla noin 70 m:n syvyydessä erottuvat maatutkaprofiilissa harjukerrostumat. Ruhjelaakson sedimenttikerrostumat ovat paksuimmillaan noin 100 m Paatarin ja Muddusjärvän välillä. Muddusjärvän kentällä ei siis ollut tavoitteena kaivaa dyynileikkauksia alakontaktiin, saati kallio-peräkontaktiin saakka, vaan ajatuksena oli tulkita dyynisedimenttien pääyksiköt ja niiden väliset kontaktit. Tilanne on toinen Ijjärvellä, jossa dyyniaines on peräisin Ijjärvän pohjukkaan kerrostuneesta deltasta. Valtaosa kentän dyyneistä sijaitsee



Kuva 3. Dyynileikkaus 51 Ijävrellä. Huomaa metsäpalo-horisontti ja sen alla oleva podsol-maannos 90–95 cm:n syvyydessä. Radiohiiliajoitus antoi paikalla kasvaneen metsän iäksi 1100 kalibroitua radiohiilivuotta. Kuva kirjoittajan.

Fig. 3. Dune section 51 at the Ijävri dune field exhibiting a re-accumulated sand unit overlaying a former dune surface with a charcoal horizon. Photo by the author.

erillään toisistaan ja on kerrostunut moreenin päälle. Kontakti alla olevaan muodostumaan saavutettiin useimmissa kohteissa. Muddusjärven kentältä tutkittiin yhteensä 21 dyyniä, joista tehtiin yhteensä 44 leikkausta, ja Ijävreltä 26 dyyniä, joista tutkittiin 31 leikkausta.

Dyynileikkauksista otettiin hiekkänäytteitä raekokoseulontaa, stereo- ja elektronimikros-

kooppisia pintarakennetutkimuksia ja mineraalimäärityksiä varten. Dyynikentän kronostratigrafian selvittämiseksi otettiin radiohiiliajoitusnäytteitä metsäpalo-horisonteista ja luminesenssijoi-tuksia hiekasta. Dyyniaineksen raekokoseulonta tehtiin kuivaseulontana seulasarjalla, jonka seulojen väli oli noin $\frac{1}{2}$ ϕ -yksikköä, jotta hyvin lajittuneen eolisen aineksen piirteet tulivat luotettavasti esille (Folk 1966). Raekokoseulontoja tehtiin yhteensä 249 näytteestä. Pintarakennetutkimukset tehtiin kvartsirakeista, joiden halkaisija oli 0,49 ϕ (0,710 mm). Stereomikroskooppisessa analyysissä laskettiin 100 raeita, joista selvitettiin mattapintaisuus/kiiltävyys ja pyörityneisyysluokitus Powersin indeksin avulla (Powers 1953, Shepard 1963). Yhteensä 225 näytettä analysoitiin stereomikroskoopilla.

Kvartsirakeiden pintarakennetta tutkittiin myös pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM), jolla voidaan erottaa rakeen pinnalta jään, veden ja tuulen aiheuttamat kulutusmerkit. SEM-analyysin oletettiin sopivan erityisesti tähän aineistoon hyvin, sillä rakeiden kulkeutumismatkat ovat olleet suhteellisen lyhyitä ja näin merkkejä koko kulkeutumishistoriasta olisi vielä jäljellä. Analyysimenetelmä on kuvattu tarkemmin julkaisussa Kotilainen (2004). Yhteensä 175 kvartsiraeita tutkittiin SEM:llä 11 eri näytteestä. Mineraalikoostumus selvitettiin ohut-hieiden avulla. Yhteensä 52 hietää tutkittiin siten, että kustakin tunnistettiin 100 raeita.

Ajoitukset tehtiin pääosin Helsingin yliopiston ajoituslaboratoriossa. Lisäksi teetettiin 4 AMS-ajoi-tusta Uppsalassa, Ruotsissa, ja Tuovi Kankainen teki ystävällisesti 8 konventionaalista radiohiiliajoi-tusta GTK:n ajoituslaboratoriossa. Sekä konventio-naalisiin ajoituksiin että AMS-ajoi-tuksiin käytettiin metsäpalo-horisonntien pieniä (noin 5x5 mm) hiilen-kappaleita, jotka poimittiin dyynileikkaukseen teh-dyltä ”pöydältä” pinseteillä (kuva 4).

Luminesenssijoi-tukset tehtiin myös Helsingin yliopiston ajoituslaboratoriossa (katso menetelmien tarkat kuvaukset julkaisusta Kotilainen (2004)). Luminesenssijoi-tuksia varten dyyni-leikkauksen seinämästä otettiin näyte hakkaamalla musta muoviputki (pituus 50 cm, halkaisija 5 cm) leikkaukseen. Yhteensä teetettiin 54 kon-ventionaalista ajoitusta ja 4 AMS-radiohiili- sekä 15 luminesenssijoi-tusta.

Päätulokset

Molemmilla dyynikentillä erotettiin 3 kerrostu-misyksikköä. Muddusjärven dyynikenttä on edus-

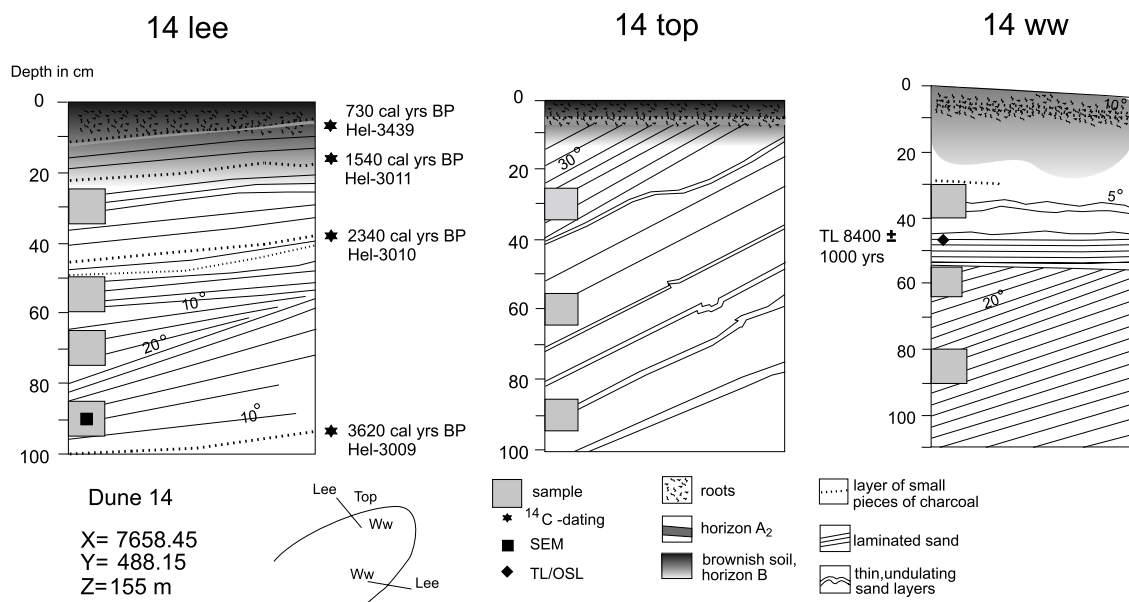


Kuva 4. Näytteenotto metsäpalohorisonttien radiohiili-ajoituksia varten tehtiin dyynileikkaukseen kaivetuilta ”pöydiltä”. Kuva kirjoittajan.

Fig. 4. The samples for radiocarbon dating were collected from “a table” dug into the dune section. Photo by the author.

tava esimerkki paraabelidyynikentästä, joka on syntynyt heti jääkauden päättymisen jälkeen. Dyynikentän morfologia kuvastaa ensimmäistä eolista vaihetta (kerrostumisyksikkö 1), jolloin kenttä muodostui lounaasta koilliseen puhaltaneiden tuulien vaikutuksesta. Dyyneissä on havaittavissa kehitys tuulen suunnassa lyhyistä poikittaisdyyneistä yhä syvempiin paraabeleihin. Tämä ensimmäinen eolinen vaihe ajoittuu aikaan noin 10800–8700 ± 1000 vuotta sitten. Tätä ensimmäistä eolista sedimenttiyksikköä kuvaavat tasomaiset foreset-kerrokset, hieno, keskimääräisesti hyvin lajittunut hiekka, jonka pyöristyneisyys on luokkaa sub-angular, kiiltävien kvartsirakeiden hienoinen enemmistö (51 %) ja pintarakenne, josta löytyy indikaatiota eolisesta kuljetuksesta. Päämineraalikomponentit ovat amfibolit ja pyrokseetit (32 %). Edellä kuvattu sedimenttiaines-aineisto viittaa suuriin tuulen nopeuksiin ja suhteellisen tehokkaaseen eoliseen prosessiin (lajittuminen ja kuluminen) kerrostumisen aikana. Ijävrellä kerrostumisyksikkö 1:n aineesta kuvaa hyvin samantapaiset piirteet, joskin kerrostuminen alkoi siellä hieman aiemmin, noin 10900 vuotta sitten. Ensimmäisen vaiheen tuulen suunta on ollut länsiluoteesta itä-kaakkoon ja litostratigrafiaa kuvaavat keskimääräinen-korkeakulmaiset, tasomaiset foreset-kerrokset. Aineksen lajittuneisuus ja pyöristyneisyys vastaavat Muddusjärvän yksikkö 1:n ominaisuuksia. Myös päämineraalit ovat samoja amfibooleja ja pyrokseenejä (37 %), joskin granaatteja on paljon (26 %). Painavien mineraalien konsentroituminen kerrostumisyksikkö 1:een viittaa puolestaan suurempaan tuulen voimakkuuteen tämän yksikön muodostumisen aikana (verrattuna nuorempiin yksiköihin 2 ja 3). Kuvassa 5 on esimerkkinä dyynin 14 vastasivun, lakiosan ja suojasivun leikkaukset.

Kerrostumisyksikkö 2 on muodostunut noin 8700–2400 kalibroitua radiohiilivuotta sitten Muddusjärvellä, kun taas yksikkö 2:n kerrostuminen jatkui Ijävrellä noin 8500–500 kalibroitua radiohiilivuotta sitten. Yksikkö 2 on molemmilla dyynialueilla pisin kerrostumissarja ja siihen sisältyy useita uudelleenaktivoitumisvaiheita ja muutoksia päätuulen suunnassa. Muutokset tuulensuunnassa ja aktivaatiovaiheet kuvastuivat dyynien stratigrafiassa ristikerroksellisinä rakenteina, joiden kulmat ovat keskimääräisistä korkeisiin. Yksikkö 2:n aines on hienoa (aineksen raako pienenee hieman yksiköstä 1), edelleen keskimääräisen hyvin lajittunutta, pääosin sub-angular-luokkaan menevää (kuitenkin hieman paremmin pyöristynyttä kuin yksikössä 1). Mattapintaiset kvartsirakeet ovat nyt enemmistönä (59 %) ja eolisen kuljetuksen jäljet ovat voimakkaasti esillä SEM-tuloksissa. Päämineraalikomponentti on maasälvät (47 %). Yksikkö 2:n aines viittaa keskimääräiseen tuulen nopeuteen ja tehokkaaseen eoliseen prosessiin (lajittuminen, pyöristyminen, ja kvartsin osuuden kasvu). Dyynikentillä tava-



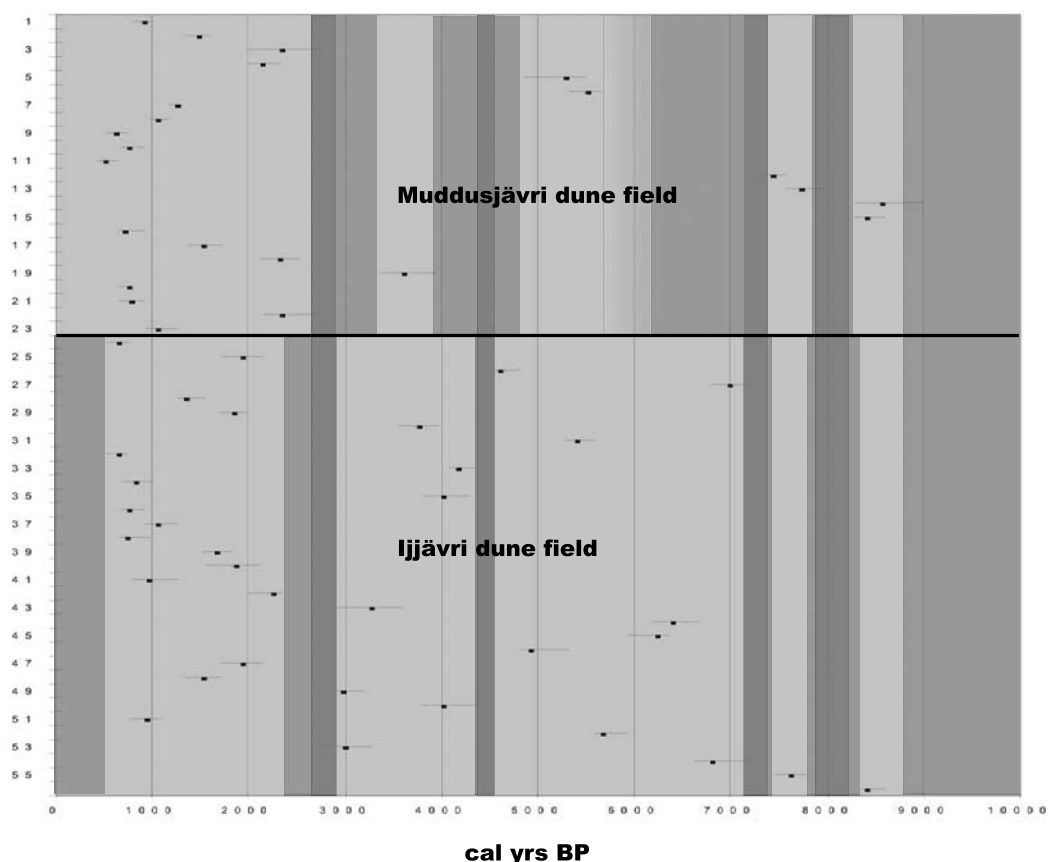
Kuva 5. Dyyni 14 Muddusjärvellä. Huomaa vastasivun leikkaus (ww), jossa alin osa edustaa kerrostumisyksikköä 1. Suojasivun leikkauksessa (lee) havaitaan tyypillistä yksikkö 2:n kerrosrakennetta.
 Fig. 5. Lithostratigraphy of Dune 14 at the Muddusjärvri dune field.

taan yksikkö 2:n kerrostumisen aikana neljä uudelleenaktivoitumisvaihetta (R1–R4, kalibroituina radiohiilivuosina): R1 8200–7800, R2 7400–5700 Muddusjärvellä ja 7500–7200 Ijjärvellä, R3 4800–3900 Muddusjärvellä ja 4600–4300 Ijjärvellä ja R4 3300–2700 Muddusjärvellä ja 2800–2400 Ijjärvellä (kuva 6).

Kerrostumisyksikkö 3 edustaa molemmilla dyynikentillä lähinnä maanpintaa olevia kerroksia. Kuitenkin suuri ero kenttien välillä on siinä, että Muddusjärvellä tämä viimeisin yksikkö on kerrostunut viimeisen 2400 vuoden aikana, eikä yksikön paksuus useassakaan paikassa ole kuin kymmenisen senttimetriä. Ijjärvellä taas yksikkö on muodostunut viimeisen 500 vuoden aikana ja on silti deflaatioaltaan reunalla varsin korkea. Ijjärvellä tavataankin uudelleenaktivoitumisvaihe R5, joka edelleen kasvattaa yksikkö 3:lle tyypillistä löyhää rakenteetonta kerrosrakennetta. Tuulen suunta molemmilla kentillä on ollut läntinen kerrostumisyksikkö 3:n muodostumisen aikana. Aineksen ominaisuudet viittaavat keskimääräisestä heikkoon tuulen nopeuteen ja aineksen kulkeutumismääriin. Aineksessa havaitaan kuitenkin merkkejä tehokkaasta eolisesta prosessista ja kvartsin osuuden kasvusta yksikön muodostumisen aikana.

Entä ilmastosignaali tai ihmisvaikutus?

Molemmilla dyynikentillä havaitaan useita uudelleenaktivoitumisvaiheita holoseenin aikana. Ihmisen vaikutus uudelleenaktivoitumiseen ennen viimeisintä aktivaatiovaihetta on pieni ja luultavasti merkityksetön. Vaikka alueilla on arkeologisten tutkimusten mukaan asuttu ja pyydystetty peuroja jo Inarin kivikaudesta saakka (8000–3000 BP, Carpelan 1988), pelkät toistuvat luonnolliset metsäpalot ovat riittäneet aiheuttamaan uudelleenaktivoitumisen. Ihmisen vaikutus myös mekaanisen kulumisen kautta on ollut ennen viimeisintä aktivaatiovaihetta varsin vähäistä. Toisaalta selvä ilmastosignaali voidaan havaita molemmilla dyynikentillä varhais- ja keski-holoseenissa. Ensimmäinen uudelleenaktivaatiovaihe R1 voidaan rinnastaa nopeaan viilenemiseen, joka havaitaan noin 8200 vuotta sitten useissa proksiaineistoissa ympäri Pohjois-Atlantia (esim. Grönlannin jääkairauksissa O'Brien *et al.* 1995; Pohjois-Atlantin merisedimenteissä Bond *et al.* 1997; Ruotsissa ja Suomessa Korhola *et al.* 2000 ja Virossa Veski *et al.* 2004). Dyynikenttien uudelleenaktivoituminen saattaa olla yhteydessä ilmahan ja pintaveden kierron muutoksiin Grönlannin ja Pohjois-Atlantin alueilla. Pohjoisten leveyspiirien viilenemi-



Kuva 6. Kalibroidut radiohiiliajoitukset (2 sigman tarkkuudella) dyynikenttien metsäpalo-horisonteista. Ehdotetut aktivaatiovaiheet on esitetty varjostetuilla pylväillä.

Fig. 6. Age estimates with age ranges (2 sigma) for the radiocarbon dates of Muddusjärvi (upper part) and Ijjävi (lower part) dune fields. Suggested aeolian activation phases are presented with shaded areas.

nen vähentäisi sadantaa sub-arktisisä Fenno-skandiassa ja aiheuttaisi viileä-kuiva-yhdistelmänä otolliset ympäristöolosuhteet dyynien aktivoitumiselle.

Keski-holoseenissa useat proksiaineistot osoittavat kuivaa ilmastoa R2-vaiheen aikoihin 7000–6000 kalibroituja radiohiilivuotta sitten (mm. Sepä *et al.* 2002, Korhola *et al.* 2000) ja alentuneita järvien pinnankorkeuksia (Hyvärinen ja Alhonen 1994). Kuiva ja lämmin keski-holoseenin ilmasto mataline pohjaveden pintoineen on ollut varsin suosiollinen Muddusjärvän pitkittyneelle uudelleenaktivoitumisvaiheelle. Toisaalta proksiaineisto antaa ristiriitaisia tuloksia. Joidenkin tutkimusten mukaan heinäkuun keskilämpötilat ovat olleet keskimääräistä matalampia (Helama *et al.* 2002). Viimeisen 4500 vuoden aikana uudelleenaktivoi-

tumisvaiheet ovat olleet dyynikentillä eriaikaiset, mikä viittaa siihen, että mikään laajempi ilmastonmuutos ei ole aiheuttanut niitä. Toisaalta tuolta ajalta kertynyt ilmasto kuvaava proksiaineisto on erittäin ristiriitaista. Lisää menetelmiä ja riippumattomia aineistoja tarvitaan. Siinä dyynikenttien sedimenttiarkistot, entisestään paremmilla ajoitusmenetelmillä tutkittuina, ovat hyödyllinen lisä.

Viimeisin aktivaatiovaihe Ijjävrellä, viimeiset 500 vuotta, on yhdistelmä ilmaston ja ihmisen vaikutusta. Vaiheen alullepanijana ilmasto on ollut ratkaiseva, pieni jääkausi on edesauttanut aktiivisen vaiheen pidentymistä alkuvaiheessa. Ijjärvän sijainti männyn metsärajan yläpuolella on edesauttanut kasvillisuuden heikosti sitovaa vaikutusta. Ihmistoiminta alueella on myös voimistunut koko ajan. Nykyisin alueella laiduntavat porotokat pitä-

vät tuulen toimintaa ja deflaatioaltaiden syöpymistä yllä. Porot valitsevat tuulisimmat dyyniharjanteet polkujensa reitiksi ja näin kilometrien pituiset dyynit muuttuvat deflaatioaltaiden ketjuksi.

Ilmastonmuutoksen ennustetaan vaikuttavan erityisen voimakkaasti arktiseen alueeseen (ACIA 2005). Tasapaino ilmaston ja eolisen aktiivisuuden välillä on herkkä jopa pienille muutoksille sadannassa (Stetler ja Gaylord 1996). Niinpä eoliset kerrostumat ovat hyvä – vaikka varsin vähän käytetty – proksiarkisto arktisen vyöhykkeen ilmastomuutoksille.

Summary

Dune reactivation history during the last 11 000 years in northern Finnish Lapland was reconstructed by studying a total of 75 dune sections from two dune fields, which are located 70 km apart from each other. The study areas were the Muddusjävri dune field between the Lakes Muddusjävri and Paatari (in the coniferous forest zone) and the Ijjävri dune field, north from Lake Inari (in the mountain birch forest zone).

Study methods included stratigraphical interpretation of the dune sections, sedimentological analyses for grain size distribution and parameters (249 samples), binocular microscopy for grain roundness and surface texture (225 samples). Study methods also included Scanning electron microscopy for quartz grain surface texture (175 quartz grains), thin sections (52) for grain mineralogical composition and microprobe analysis (117) for the chemical composition of garnet grains. Conventional radiocarbon dating (54), AMS dating (4) and TL/OSL dating (15) were used for reconstructing the chronostratigraphy.

Three lithostratigraphical units were detected on both dune fields. Paleoenvironmental model of the Holocene development was based on grain property data and dating results respective for each unit.

Unit 1, the initial dune building period, took place in the early Holocene at circa 10 800 to 8 700 yrs before present. Unit 1 is characterised by high wind velocities and transportation rates with effective aeolian processes (sorting and grinding) during the deposition. The morphological frame of the dune fields originates from the deposition of Unit 1 and met only minor modification at the deposition of Units 2 and 3. Unit 2 represents on both dune fields the longest accumulation series with several stabilization-reactivation cycles and shift-

ing wind directions. Four dune reactivation phases were recognised in connection with the deposition of Unit 2. The data suggests a dune advance with moderate wind velocities and transportation rates with effective aeolian processes and aeolian maturation of quartz particles during the deposition. Unit 3 accommodates dune reactivation phase R5 (since 500 yrs BP), which is detected at the Ijjävri dune field. The lithostratigraphy is characterised by unstratified, deformed strata. The data suggests moderate to weak wind velocities and transportation rates with effective aeolian processes and aeolian maturation of quartz particles during the deposition of Unit 3.

The data suggests a climate control on the duration of the active phases on both the dune fields during early- and mid-Holocene. However, the climate variability can not explain the reactivation processes during late-Holocene, for the last 4 500 yrs before present. Human activity as a promoter for dune reactivation prior 1 000 yrs before present is improbable on the studied dune fields. The latest reactivation phenomena at the Ijjävri dune field, from circa 500 yrs BP to the present is promoted by both climate and human impact. The LIA event provided the triggering factor for the beginning of the phase and the continuous aeolian activity has been supported by human activity including reindeer husbandry and off road vehicles.

New results provided by this study give an improved picture of the Holocene development of the northern dune areas. The results indicate that stratigraphical interpretation with adequate number of dune sections is vital for understanding the reactivation phenomenon in these areas.

Kirjallisuus – References:

- ACIA 2005. Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press, 1042 s.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., de Menocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas I. ja Bonani, G. 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science* 278:1257–1266.
- Carpelan, C. 1988. Ihmisen vuosituhannet itäisessä Inarissa. Teoksessa: Lammi, S. (toim.). Pohjoinen erämaa Kessi-Vätsäri. OjaG Kustannus, Vaasa, 46–68.
- Ehrenberg, C.G. 1847. The Sirocco dust that fell at Genoa on the May 16th 1846. *Quarterly Journal of Geological Society of London* 3:25–26.
- Folk, R.L. 1966. A review of grain-size parameters. *Sedimentology* 6(2):73–93.

- Helama, S., Lindholm, M., Timonen, M., Meriläinen, J. ja Eronen, M., 2002. The supra-long Scots pine tree-ring record for Finnish Lapland: Part 2, interannual to centennial variability in summer temperatures for 7500 years. *The Holocene* 12(6):681–687.
- Hyvärinen, H. ja Alhonen, P. 1994. Holocene lake level changes in the Fennoscandian tree-line region, western Finnish Lapland: diatom and cladoceran evidence. *The Holocene* 4:251–258.
- Korhola, A., Weckström, J., Holmsröm, L. ja Erästö, P. 2000. A quantitative Holocene climatic record from diatoms in northern Fennoscandia. *Quaternary Research* 54:284–294.
- Koster, E.A. 1988. Ancient and modern cold climate aeolian sand deposition: a review. *Journal of Quaternary Science* 3:69–83.
- Kotilainen, M. M. 2004. Dune stratigraphy as an indicator of Holocene climatic change and human impact in northern Lapland, Finland. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Geologica-Geographica* 166, 154 s.
- Kultti, S., Mikkola, K., Virtanen, T., Timonen, M. ja Eronen, M. 2006. Past changes in the Scots pine treeline and climate in Finnish Lapland – evidence from pine megafossils and lake sediments. *The Holocene* 16(3):381–391.
- Lahtinen, A. ja Mäkinen, K. 1985. Map of Quaternary deposits 1:400 000, Sheet 38 + 48, Inari. Geological Survey of Finland, Espoo Finland.
- O'Brien, S.R., Mayewski, P.A., Meeker, L.D., Meese, D.A., Twickler, M.S. ja Whitlow, S.I., 1995. Complexity of Holocene Climate as reconstructed from a Greenland ice core. *Science* 270:1962–1964.
- Powers, M.C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology* 23:117–119.
- Pye, K. ja Tsoar, H. 1990. *Aeolian sand and sand dunes*. Unwin Hyman, London, 396 s.
- Richthofen, F. von, 1882. On the mode of origin of the loess. *Geological Magazine* 9:293–305.
- Seppä, H., Nyman, M., Korhola, A. ja Weckström, J. 2002. Changes of treelines and alpine vegetation in relation to post-glacial climate dynamics in northern Fennoscandia based on pollen and chironomid records. *Journal of Quaternary Science* 17:287–301.
- Shepard, F.P. 1963. *Submarine Geology*. New York, Harper & Row, 557 s.
- Stetler, L. D. ja Gaylord, D. R. 1996. Evaluating eolian-climatic interactions using a regional climate model from Hanford, Washington (USA). *Geomorphology* 17:99–113.
- Terasmae, J. ja Weeks, N.C. 1979. Natural fires as an index of paleoclimate. *Canadian Field Naturalist* 93:116–125.
- Tolonen, K. 1983. *The Post-glacial Fire Record*. Teoksessa: Wein, R.W. ja MacLean D.A. (toim.). *The Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems*. John Wiley and Sons Ltd, 21–44.
- Veski, S., Seppä, H. ja Ojala A. 2004. Cold event at 8200 yr B.P. recorded in annually laminated lake sediments in eastern Europe. *Geology* 32:681–684.

Mia Kotilainen
Helsingin yliopisto
Geologian laitos
PL 64
00014 HY

MALMISUONI EHTYY – VAI EHTYYKÖ?

Varsinkin parin viime vuosikymmenen aikana on silloin tällöin lehdestä luettu: ”Kaivoksen toiminta loppui, kun malmisuoni ehtyi”. En ole koskaan pitänyt sanonnasta ”malmi ehtyy”, vaan yksinkertaisesti olisin ilmaissut asian, että kaivoksen tuotanto päättyi, kun malmi loppui. Asiaa voisi verrata siihen, että lehmä ehtyy, kun rehut loppuvat. Maidon tuotanto loppuu. Sehän menneinä vuosina oli varsin tavallista loppupalvesta. Pahimmassa tapauksessa lehmä teurastettiin.

Olen ollut väärässä.

Olen nyt huomannut, että jos kaivosta ei ruokita runsaalla malminetsintätyöllä, kaivos ehtyy. Ja toiminta loppuu – kaivos teurastetaan.

Olli-Pekka Isomäki
kaivosgeologi
Vammala