

Pohjois-Amerikan länsirannikon rannikkodyynit – ihmisen vaikutus ja luonnolliset muutokset

OLAVI HEIKKINEN

Maantieteen laitos, Oulun yliopisto



Heikkinen, Olavi (1994). Pohjois-Amerikan länsirannikon rannikkodyynit – ihmisen vaikutus ja luonnolliset muutokset (The Pacific Northwest coastal dunes – human influence and natural changes) *Terra* 106: 3, pp. 267–276.

Coastal dune fields are to be found in the Pacific Northwest of North America between 40 and 49 °N lat. The westerly winds, owing to their seasonal rhythm, have created various patterns of dunes, but their occurrence and forms are also dependent on the geomorphic features of the coastline, sand supply and vegetation. The European beachgrass (*Ammophila arenaria*), introduced from Europe, has altered the aeolian processes and dune forms, raised ground water levels and promoted vegetation on the open sand surfaces. This article describes forms of the dunes and the processes responsible for them and explains the environmental changes, natural and anthropogenic, that are taking place, including cycles of dune stabilization and rejuvenation.

Olavi Heikkinen, University of Oulu, Department of Geography, FIN-90570 Oulu, Finland.

Länsituulten vyöhykkeeseen liittyviä rannikkodyynejä tavataan Pohjois-Amerikan länsirannikolla noin 1000 kilometrin matkalla. Pohjoisimmat laajat esiintymät ovat Yhdysvaltain Washingtonin osavaltiossa; vähäisiä dyynejä löytyy vielä Kanadan puolelta. Eteläisimmät rannikkodyynit sijaitsevat Kalifornian Cape Mendocinossa Yhdysvalloissa, noin 40 °N (Wiedemann 1984: 3–6, 1993: 342; Wiedemann & Pickart 1994). Dyynimuodostumien yleissuunta on varsin tarkkaan pohjois-eteläinen (kuva 1). Rannikkodyynit eivät muodosta yhtenäistä esiintymää vaan vuorten, korkeiden rantatörmien ja jokisuistojen erottamia jaksoja. Cooper (1958, 1967) erottaa dyynimuodostumien ketjusta 33 jaksoa, jotka hän sitten erikseen kuvailee.

Dyynejä sisältävän rannikkokaistan kokonaispituus on Washingtonissa yli 80 km, Oregonissa noin 225 km ja Kaliforniassa reilut 90 km, siis yhteensä noin 400 km eli noin 40 % koko rannikon pituudesta. Aktiiviset dyynit ulottuvat yleensä vain noin 1–2 km, joskus 3–4 km rantaviivasta sisämaahan ja ovat muodostuneet holoseenivaiheessa eli viimeisen 10 000 vuoden aikana. Nuoruudesta johtuen niiden hiekka ei ole vielä kokenut voimakasta kemiallista rapautumista.

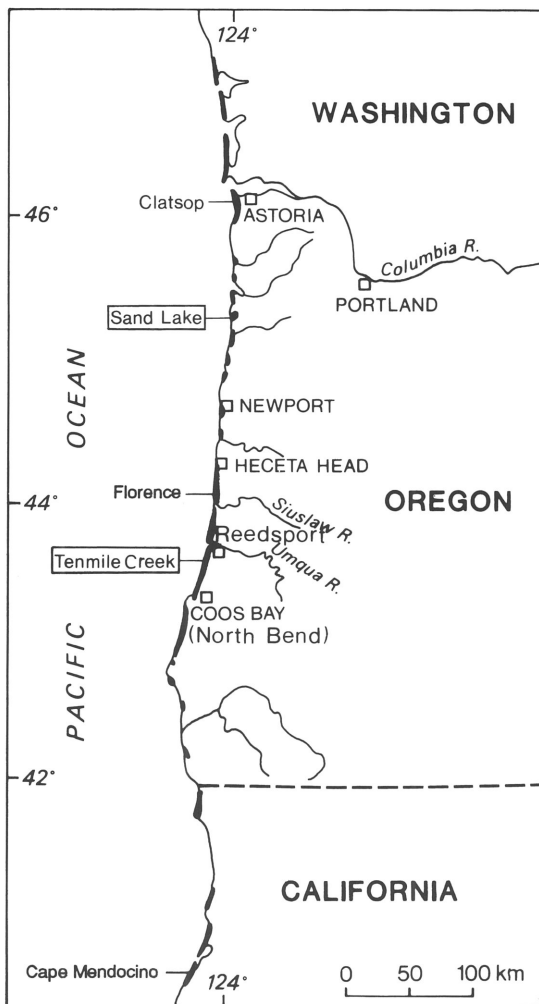
Aktiivisten lentohiekkakenttien sisämaan puoleisella sivulla ja paikoin myös niiden keskellä tulee esiin kovaa, vanhaa ja punertavaksi rapautunutta dyyniainesta, joka kerrostui jo jääkauden aikana, pleistoseenivaiheessa (esim. Wiedemann

1990; Heikkinen 1993). Holoseenisten dyynien stabilisoitumisessa ja uusiutumisessa on osoitettu syklistä (Wiedemann & Pickart 1994). Viime aikoina tapahtuneet eolisen aktiivisuuden, dyynimuotojen ja kasvillisuuden muutokset johtuvat paljolta Euroopasta saapuneiden siirtolaisten toimista.

Dyynien syntyä edistäneet tekijät

Rannikkodyynien kehittymistä ovat suosineet ilmastolliset ja geomorfologiset tekijät. Tärkeitä vaikuttajia ovat länsituulet. Alueen korkea- ja matalapaineen keskuksista ja niiden vuodenaikaisista sijanneista johtuen länsituulet puhaltavat rannikolla kesäaikaan noin luoteesta ja talvella noin lounaasta (kuva 2). Tuulensuunnan vuodenaikaisvaihtelut kuvastuvat dyynikenttien vuodenaikaisissa muodoissa.

Rannikkoalueen ilmasto on mereinen, eteläosissa jo varsin tyypillistä välimerenilmastoa. Talvet ovat huomattavasti sateisempia, viileämpiä ja kosteampia kuin kesät (esim. Cooper 1958: 11–20; Hunter *et al.* 1983). Koska talvimyrskyt ovat kesätuulia voimakkaampia, suurimmat dyynimuodostumat kasaantuvat kuitenkin talvella. Parabelidyynit kylläkin ovat joko pelkästään talvi- tai kesätuulen kasaamia – riippuen siitä, kumpi tuuli saa hiekkaan paremman otteen.



Kuva 1. Yhdysvaltain länsirannikon huomattavimmat rannikkodyyniesiintymät.

Fig. 1. Major occurrences of coastal sand dunes in the Pacific Northwest of North America.

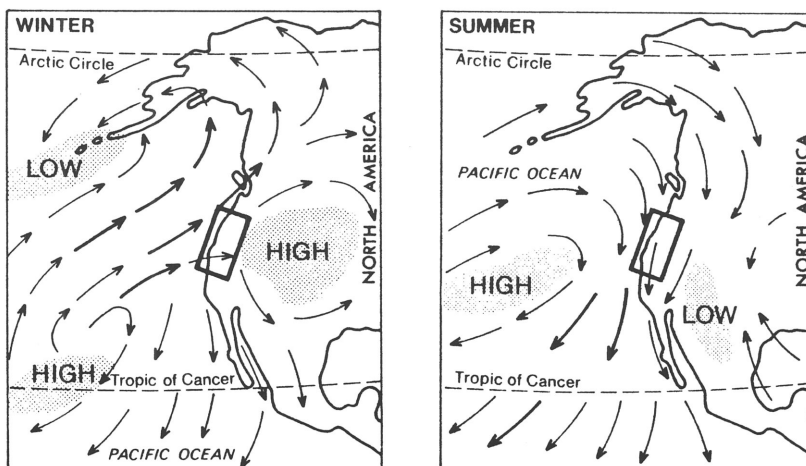
Muinainen rantaeroosio on leikannut monin paikoin rannikkoon leveitä terasseja, joille tuulen on ollut helppo kuljettaa hiekkaa litoraalivyöhykkeestä. Koska rannikon edusta on lähes saareton, länsituulet pääsevät iskemään kovalla voimalla rantaa vasten. Tämä on mahdollistanut hiekan tehokkaan liikkumisen ja dyyien muodostumisen loiville maa-alustoille. Siellä missä meri rajoittuu jyrkkiin rantatörmiiin tai kallioulkonemiin, dyyneille ei ole jäänyt tilaa muodostua.

Akkumulaation ja eroosion teho on vaihdellut eustaattisten merenpinnan vaihtelujen ja tektonisten liikuntojen mukaan. Uudemman eolisen vaiheen aikana varhemmin syntyneiden dyyneiden ainesta on peittyntä nuoremman hiekkakerrostuman alle. Esimerkiksi nykyiset holoseeniset dyynit, jotka alkoivat muodostua jäätiköiden sulamista seuranneen eustaattisen vedenpinnan nousun vaikutuksesta (Cooper 1967: 7; Wiedemann 1984: 8), kätkevät alleen pleistoseenisia dyynejä.

Dyynimateriaali on osin peräisin rantojen rapautumistuotteista, mutta pääosin siitä hiekka-aineksesta, jota Tyneenmereen laskevat joet ovat kuljettaneet ja jota meren aallokko ja tuulen ajamat rannikon myötäiset merivirrat ovat sitten levittäneet pitkin rantaviivaa: kesällä pohjoisesta etelään ja talvella etelästä pohjoiseen.

Ihmisen ympäristövaikutus

Ihmisen vaikutus dyyneihin on ollut lyhytaikainen. Intiaanien vaatimaton vaikutus rajoittui lähinnä lahdelmiin ja jokisuistoihin, joissa heillä oli asuinpaikkoja (esim. Cooper 1958: 23). Ympäristöä mullistivat vasta eurooppalaiset siirtolaiset, jotka alkoivat perustaa farmeja ja asutuskeskittyymiä dyyrialueiden ruohostoille ja estuaareihin: Kaliforniassa 1800-luvun alussa, Oregonissa ja Washingtonissa huomattavassa määrin vasta



Kuva 2. Ilmanpaineolot ja tuulisysteemit talvella ja kesällä.

Fig. 2. Air pressure and wind systems in winter and summer.

1800-luvun puolivälissä (Lund 1973; Hunter *et al.* 1983; Wiedemann 1984).

Aluksi siirtolaiset aiheuttivat dyynialueilla eroosiota ja alkuperäisen kasvillisuuden tuhoutumista, mikä sitten johti kasvien istutuksiin maanpinnan sitomiseksi. Istutuksissa käytettiin yleisesti Euroopasta tuotuja lajeja. Näistä pahamaineisin on ollut rantakaura (*Ammophila arenaria*), joka tuotiin Pohjois-Amerikan länsirannikolle maanpinnan stabiloimiseksi vuonna 1868 (Wiedemann & Pickart 1994). Sitä alettiin käyttää Kaliforniassa yleisesti viime vuosisadan puolella ja Oregonissa noin vuodesta 1910 alkaen. Varsinkin myöhempinä aikoina rantakauran jälkeen istutettiin alueille tyypeä sitovaa ja maaperää parantavaa eurooppalaista jänönpapua (*Cytisus scoparius*) ja sen jälkeen vaatimattomaan alustaan tyytyväää ja kovaa tuulta kestäväää paikallista puulajia, kierreneulasmäntyä (*Pinus contorta*) (Wiedemann *et al.* 1969; Wiedemann 1984). Tämä on myös ekologisesti järkevä sukkessiojärjestys.

Varsinkin rantakaura ja vähäisemmässä määrin jotkut muutkin vierasperäiset kasvit ovat villiintyneinä tai istutettuina korvanneet hyvin laajalti alkuperäisen rantakasvillisuuden. Rantakaura nähdään syyppääksi noin 10 m korkean, yhtäjaksoisen esidyynin muodostumiseen välittömästi korkeanveden rajan taakse. Ennen rantakauran tuloa rannalla lienee ollut vain vähäisiä heikosti kehittyneitä esidyynyjä (Cooper 1958). Mahtava esidyyni estää nykyään hiekkaa pääsemästä litoraalivyöhykkeestä sisämaahan. Se myös vaikeuttaa vesien hakeutumista dyynialueelta mereen, mikä on nostanut pohjaveden tasoa esidyynin takana. Muuttuneissa olosuhteissa esidyynin sisämaanpuoleinen alue on alkanut kasvittaa ja metsittyä.

Alkuperäisen kasvillisuuden korvautuminen uusilla tulokkailla huolestuttaa luonnonsuojelijoita. Huolta lisää vielä se, että suosituilla ulkoilualueilla vapaa-ajanvietäjien maastoajoneuvot

ovat rikkoneet kasvillisuutta jo usean vuosikymmenen ajan. Liike-elämää taas kiusaa dyynialueiden lisääntyvä kasvittuminen ja sen mukana hiipuva matkailullinen vetovoima.

Dyynimuodot, prosessit ja ajoitukset

Yhdysvaltain Tyynenmeren rannikolta voidaan erottaa dyynimuotojen perusteella neljä erilaista dyynisysteemiä (Wiedemann 1984: 38–42). Rinnakkaiset, rantaviivan myötäiset dyyniselänteet muodostavat paikoin paralleelisten dyynien systeemin (parallel ridge system). Lahtien suissa voi olla jopa niiden poikki ulottuvia dyynisysteemiä (bay dune system). Varsinkin Oregonin leveillä hiekkakentillä esiintyy monen tyyppisiä dyynimuotoja, mm. vallitsevien tuulten vastaisia dyynejä (transverse ridge system). Paikoissa, joihin vain joko talvi- tai kesätuuli pääsee voimalla puhaltamaan, syntyy parabelidyynien luonnehtimia muodostoja (parabolic dune system).

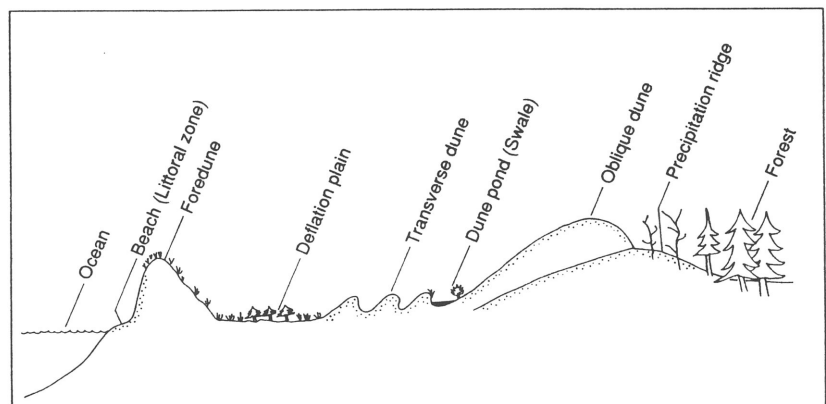
Seuraavassa luonnehditaan esimerkinomaisesti kahta Oregonin dyynikenttää: Tenmile Creek ja Sand Lake (kuva 1). Tenmile Creek edustaa poikkitaisten dyynimuotojen luonnehtimaa lentohiekkaluuetta (Hunter *et al.* 1983; Heikkinen 1993; Wiedemann 1993). Sand Lake on eräs näyttävimpiä rantaviivasta pohjoiskoilliseen työntyviä, talvituulten luomia parabelidyynikomplekseja (Wiedemann 1990, 1993). Tässä artikkelissa käytetty dyynimuotoja koskeva englanninkielinen termistö noudattelee mm. edellä viitatuissa artikkeleissa esitettyä käytäntöä.

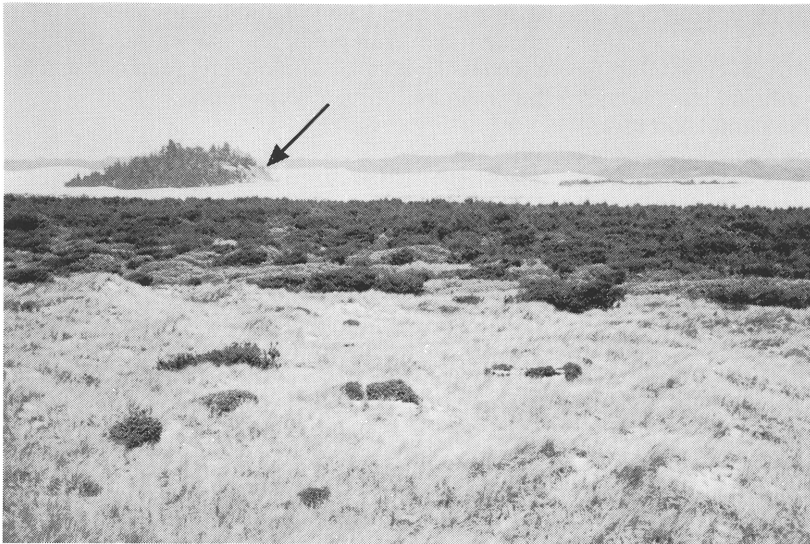
Tenmile Creek

Kuva 3 esittää Tenmile Creekin dyynikentän poikki länsi-itäsuunnassa vedettyä, noin kolme kilometriä pitkää profiilia. Litoraalivyöhyke (littoral zone, beach), matalimman ja korkeimman

Kuva 3. Noin 3 km pitkä profiili Tenmile Creekin dyynikentän poikki mereltä metsittyneeseen sisämaahan. Mittasuhteet eivät ole oikeita.

Fig. 3. Cross-section through the 3 km wide Tenmile Creek dune field from the ocean to the forested terrain in the east. Not to scale.





Kuva 4. Näkymä esidyyniltä itään. Etualalla rantakauran (*Ammophila arenaria*) sitoma esidyynin suojasivu, sen takana metsittyvä deflaatiotasanne ja kauempana paljas dyynikenttä, jonka keskeistä kohoaa metsäjäänne. Nuoli osoittaa kuvan 7 esittämän maannosprofiilin paikkaa. Tenmile Creek. 12.7.1984. Kuvat: Olavi Heikkinen.

*Fig. 4. View from the foredune towards the east. In the foreground is the leeward side of the foredune bound by European beachgrass (*Ammophila arenaria*), and beyond that the forested deflation plain and the active dune field with a forest remnant. The arrow indicates the location of the soil profile shown in Fig. 7. Tenmile Creek. July 12, 1984. Photos: Olavi Heikkinen.*



Kuva 5. Kesätuulten luomien poikittaisdyynien kenttä etelästä pohjoiseen nähtynä. Tenmile Creek. 12.7.1984.

Fig. 5. Transverse dune pattern created by summer winds. View towards the north. Tenmile Creek. July 12, 1984.

veden välinen rantakaista, on noin 100 m leveä. Sen takana kohoaa noin 10 m korkea esidyyni (foredune), joka on kasvanut nykyisiin mittoihinsa vasta noin viimeisen 50 vuoden aikana lähinnä alueelle kulkeutuneen rantakauran vaikutuksesta.

Deflaatiotasanne (deflation plain), joka sijaitsee esidyynin takana, on syntynyt siksi, että mereltä puhaltava tuuli ei enää pysty kuljettamaan litoraalivyöhykkeeltä sisämaahan hiekkaa korkean esidyynin yli. Sen sijaan tuuli nyt erodoi esidyynin takaista hiekkapintaa aina pohjaveden tasoon. Näin syntynyt ja laajeneva deflaatioallas on alkanut kasvittaa: ensin tulee hiekkaa sitova rantakaura, sitten tietyt varpuyhdyskunnat ja ennen pitkää myös pioneeriipuulajit, kierreneulasmänty ja sitkankuusi (*Picea sitchensis*).

Vuonna 1939 otetut kuvat kertovat, että Tenmile Creekissä ei ollut vielä silloin yhtenäistä esidyyniä eikä minkäänlaista deflaatiotasannetta. Eri-ikäisten valokuvien perusteella on lisäksi laskettu, että deflaatiotasanne laajeni vuosina 1954–75 itään keskimäärin 5,7 m vuodessa (Hunter *et al.* 1983). Heikkisen (1993: 293) dendrokronologisissa tutkimuksissaan kairaama vanhin puu (kierreneulasmänty) ilmaantui esidyynin takaiselle deflaatiopinnalle vuonna 1952. Sen jälkeen alueelle on kasvanut liki puolikilometriä leveä tiheän puuston vyöhyke (kuva 4).

Kapeneva poikittaisdyynien (transvere dunes) kenttä avautuu kasvittomana deflaatiotasanteen itäpuolella (kuva 5). Nämä 2–6 m korkeat dyynit ovat suunnaltaan luoteesta puhaltavien tuulien vastaisia. Dyynit ovat selväpiirteisiä kesällä,

jolloin luoteistuulet puhaltavat.

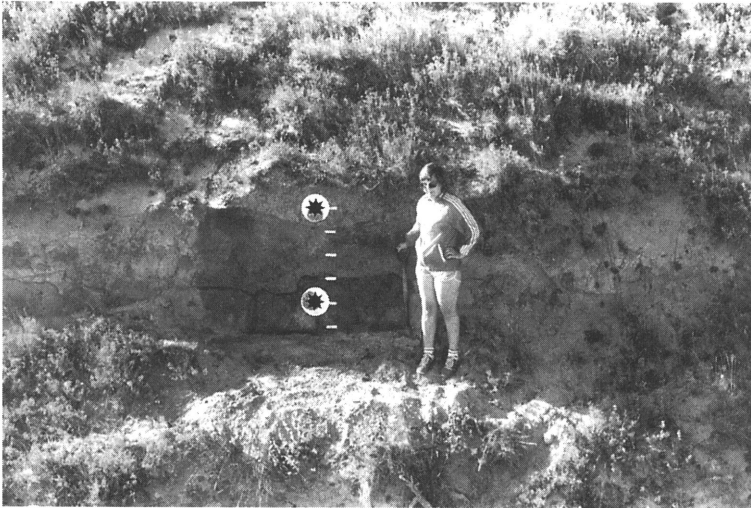
Edelleen itäänpäin siirryttäessä tavataan »vinottaisia dyynejä» (oblique dunes). Näiden on katsottu olevan vinosti molempia vallitsevia tuulensuuntia vastaan, vaikkakin lähinnä talvituulten muotoilemia ja hiljalleen pohjoiskoilliseen siirtämiä. Itse asiassa näitä dyynejä voitaneen pitää talvituulten luomina poikittaisdyyneinä (Wiedemann & Pickart 1994). Korkeutta dyyneillä on 20–60 m ja pituutta noin kilometri tai enemmän (kuva 6). Niiden vuotuinen etenemisvauhti on ollut alueella aikajaksona 1939–75 keskimäärin 4,4 m (Hunter *et al.* 1983).

Suurten vinottaisten dyynien keskeen jää paikoin painanteita, joista monet ovat märkähajaisia tai avovesialtaita (dune ponds, swales) ainakin suuren osan vuodesta. Vuonna 1984, kun Heikkinen (1993) tutki Tenmile Creekin aluetta, kuusi eteläisintä ja lähinnä merenpinnan tasoa olevaa dyyniallasta kasvoi kierreneulasmäntyä. Vanhin löydetty puu oli aloittanut kasvunsa vuonna 1947. Yleensä altaiden vanhimmat puut ovat juurtuneet 1950- ja 1960-luvuilla. Myös dyynialtaiden metsittyminen saattaa osittain johtua suuren pohjavesiä salpaavan esidyynin rakentumisesta meren äärelle 1940-luvulta alkaen.

Tenmile Creekin dyynikentän keskeltä kohoaa kaksi korkeaa täysikasvuisen metsän peittämää kumpareta, jonkalaisista muodoista käytetään nimitystä metsäjäänne (forest remnant). Kumpareiden kova ydin on vanhaa punertavaksi rapautunutta hiekkaa, joka eteläisemmässä kumpareessa (kuva 4) pistää esiin päälle kerrostuneen nuo-



Kuva 6. Lähinnä talvituulten luomia »vinottaisia dyynejä» Florencessa. Näkymä etelään. 16.4.1982. Fig. 6. Oblique dunes or winter transverse dunes at Florence. View towards the south. April 16, 1982.



Kuva 7. Leikkausprofiili kuvassa 4 näkyvän metsäjäänteiden rinteessä. Tähdet osoittavat termoluminesenssinäytteiden ottokohdat. Ylemmässä kohdassa aines on löyhää holoseenista hiekkää (1060 ± 100 vuotta), alemmassa kohdassa kovaa punertavaksi rapautunutta pleistoseenista hiekkää (18300 ± 1500 vuotta). Tenmile Creek. 19.7.1984.

Fig. 7. Soil profile on the slope of the forest remnant shown in Fig. 4. The asterisks indicate sites of thermoluminescence datings. The sand at the upper site is loose and of Holocene origin (age 1060 ± 100 years), whereas that at the lower site is hard, reddish and of Pleistocene age (18300 ± 1500 years). Tenmile Creek. July 19, 1984.

ren, harmaan ja löyhän hiekan alta (kuva 7). Nuoren hiekkapatjan pohjaosalle saatiin termoluminesenssi-ikäksi 1060 ± 100 vuotta. Vanhemman punertavan hiekan termoluminesenssi-ikäksi saatiin $18\,300 \pm 1500$ vuotta (Heikkinen 1993). Nuorempi hiekka on siis holoseenista ja vanhempi pleistoseenista kuten on oletettu.

Aktiivisen dyynikentän itälaidalla hiekka työnny metsään haudaten hiljalleen puita kuoliaaksi (kuva 8). Metsään työntyvästä hiekkaselänteestä käytetään englanninkielisiä nimityksiä precipita-

tion ridge ja retention ridge. Muodostuma syntyy, kun itään etenevä, hiekkää kuljettava tuuli törmää metsän reunaan ja joutuu väistämään ylöspäin. Samalla tuulen nopeus hidastuu, minkä seurauksena sen kuljettamaa hiekkää sataa alas metsän reunaan. Näin syntyvä dyyniselänne on edennyt Tenmile Creekissä vuosisadan puolivälissä noin 1,6 metrin vuosivauhtia (Cooper 1958: 115).

Suurten vinottaisten dyynien eli talvisten poikkitaidsdyynien (oblique dunes) välisistä painanteista löytyy suurten puiden kantoja (kuva 9). Nuo



Kuva 8. Sisämaahan työntyvä »precipitation» dyyni syntyy, kun metsänreunan kohtaava ilmavirtaus menettää nopeutta ja sataa hiekkakuormansa alas. Täällä dyyni hautaa alleen kierreneulasmäntyjä (*Pinus contorta*). Tenmile Creek. 22.7.1984.

*Fig. 8. This precipitation or retention dune is moving to the east (left) burying the lodgepole pines (*Pinus contorta*). Tenmile Creek. July 22, 1984.*

Kuva 9. Kerran hiekkaan hautatuneen puun paljastunut kanto dyyniselänteiden välisessä painaumassa. Tenmile Creek. 20.7.1984.
Fig. 9. An exposed stump in an inter-dune depression. Tenmile Creek. July 20, 1984.



puut ovat kuolleet dyynien yliajossa. Viiden osittain lahonneen kannon ulko-osasta tehdyt ^{14}C -ajotukset osoittavat puiden kuolleen vasta muutamia satoja vuosia sitten, jos ei sitäkin myöhemmin. Saadut konventionaaliset ^{14}C -iät (Heikkinen 1993) olivat seuraavat: 90 ± 100 , 170 ± 100 , 180 ± 100 , 390 ± 100 ja 570 ± 130 B.P. Suurin osa tutkituista kannoista lienee kokenut vain yhden vinottaisen dyynin ylikulkeutumisen; nuo dyynithän ovat edenneet vuosina 1939–75 4,4 m vuodessa. Hautatuneiden puiden uudelleen paljastuminen varmaan lahoittaa puuainesta tehokkaasti, mikä vaikeuttaa kovin vanhojen kantojen säilymistä ja löytämistä. Toisaalta voi olla niinkin, ettei dyynialueella juuri kasvanut puita pitkään aikaan ennen kuin vasta viime vuosisatoina, sillä Cooper (1958: 100) arvioi metsäsaarekkeen (forest remnant) vanhimpien puiden ikien perusteella, että Tenmile Creekin alue stabiloitui täysin noin 500 vuotta sitten.

Tenmile Creekin avoin hiekkakenttä siis laajenee idässä kohti sisämaata. Lännessä se kuitenkin nykyään kutistuu ehkä noin kolme kertaa nopeampaa vauhtia deflaatiotasanteen metsittymisen johdosta. Niin ollen avoin hiekkakenttä kapenee. Lisäksi hiekan pääsyn estyminen rannalta sisämaahan – yli korkean esidyynin ja sen takaisen metsittyvän deflaatiotasanteen – saattaa estää uusien vinottaisten dyynien syntymisen, mikä myös voi edistää hiekkakentän metsittymistä. Nykyiset vinottaiset dyynithän ajautuvat hiljalleen idässä metsän reunaan ja yhtyvät siellä ns. precipitati- on dyyneihin (Wiedemann 1984: 27). Luonnolli-

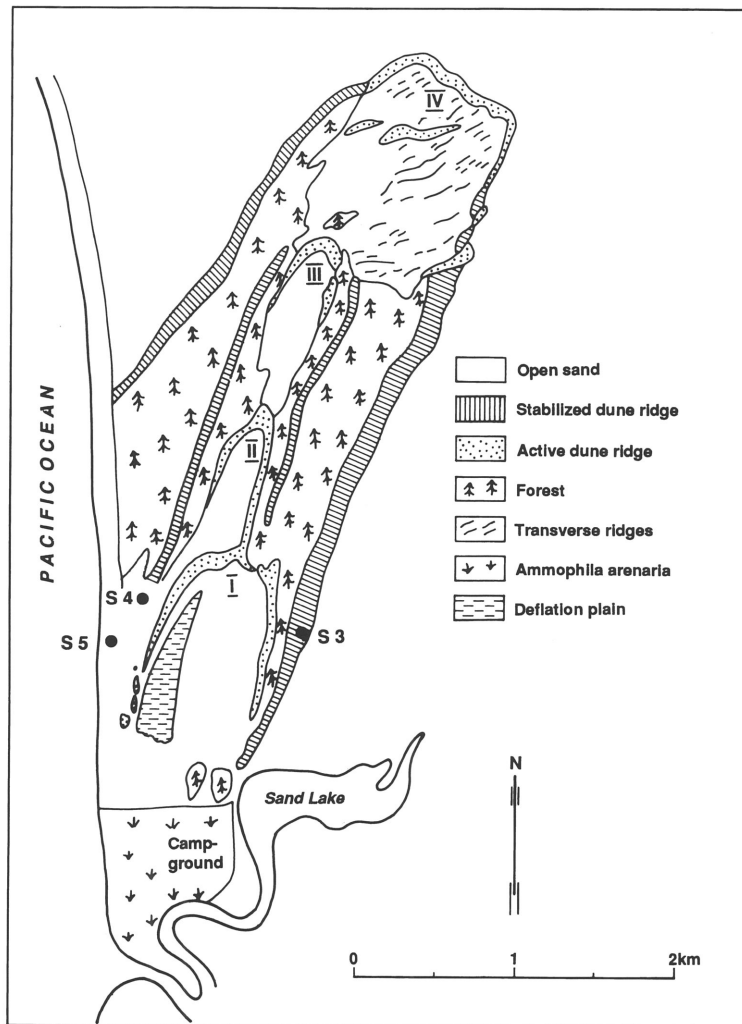
nen kehitys voi myös johtaa esidyynin murtumiseen ja hiekan pääsyyn sisämaahan, mikä aktivoisi eolista toimintaa.

Sand Lake

Sand Laken parabelidyynien systeemi (Wiedemann 1990, 1993) on yksi Yhdysvaltain länsirannikon suurimpia; pinta-alaa sillä on $6,3 \text{ km}^2$ (kuvat 1 ja 10). Se on talvituulten luoma ja suuntautuu meren rannalta pohjoiskoilliseen. Noin viisi kilometriä pitkä ja enimmillään 1,7 km leveä systeemi muodostuu neljästä sisäkkäin olevasta aktiivisesta parabelidyynistä (I–IV) ja kahdesta stabiloituneesta dyynistä, jotka lepäävät vanhan, kovan, punertavan hiekkakerrostuman päällä. Sisin dyyni on edennyt kenttämittausten mukaan 1960–1980-luvuilla yli 4 m vuodessa. Metsäpaikat ovat saattaneet olla yksi välitön syy aina uuden parabelidyynin syntyyn.

Sisimmän parabelidyynin keskeen jää paljolta kasvittunut, mm. kierreneulasmäntyä kasvava deflaatioallas, joka on talvella osittain veden peitossa (kuva 11). Altaan pohjalta paljastuu paikoin punertavaa hiekkaa. Tälle vanhalle alustalle Wiedemann (1990: 180) on saanut termoluminesenssi-ajotuksessa iän $11\,200 \pm 1500$ vuotta (paikka S5 kuvassa 10). Aines on siis otaksutusti pleistoseenista.

Pleistoseenisen hiekan päälle kasaantuneesta uloimmasta parabelidyynistä on saatu eri maanosprofiileihin liittyville hiekoille termolumine-



Kuva 10. Sand Laken parabelidyynisysteemi käsittää neljä aktiivista dyyniä (I–IV) ja kaksi vanhempaa stabiloitunutta dyyniä. Rantakauran (*Ammophila arenaria*) puuttuminen leirintäalueelta pohjoiseen johtuu maastoajoneuvojen ankarasta kulutuksesta. Kohteet S3, S4 ja S5 viittaavat termoluminesenssiajoituksiin (lähemmin tekstissä). Dyynialueen ulkopuoliset alueet ovat lähinnä metsää. Karttapiirros perustuu Wiedemannin (1990, 1993) esityksiin.

Fig. 10. Parabolic dune system at Sand Lake, consisting of four active parabolic dunes (I–IV) and two older stabilized dunes. The lack of European beachgrass (*Ammophila arenaria*) north of the campground is due to severe disturbance by off-road vehicles. The area beyond the dune system is mostly forested. Based on Wiedemann (1990, 1993).

senssimenetelmällä iät 1600 ± 200 ja 1200 ± 150 vuotta (Wiedemann 1990; paikka S4 kuvassa 10). Toisesta uloimpaan (stabiloituneeseen) dyyniin hautautuneesta maannosprofiilista Wiedemann (1990) sai termoluminesenssiajoituksella iän 1600 ± 200 vuotta (paikka S3 kuvassa 10).

Osittain esitettyihin termoluminesenssi-ikiin mutta ennen kaikkea parabelidyynien tutkittuihin liikkumisnopeuksiin perustuen neljä nykyään aktiivista parabelidyyniä saivat Wiedemannin (1990) mukaan alkunsa noin 900, 670, 440 ja 250 vuotta sitten.

Hiekka-alueiden pioneerikasvi on täälläkin useimmiten rantakaura (*Ammophila arenaria*), joskus myös hernekasvi *Lathyrus japonicus*. Usein rantakaura sitoo hiekkaa kumpareiksi, jotka sitten reilun metrin korkeuden saavutettuaan pyrkivät erooitumaan. Minne syntyy paljon kum-

pareita, siellä eolinen toiminta heikkenee ja myös huonommin hiekkaan hautautumista kestävät lajit pääsevät juurtumaan.

Maastoajoneuvot ovat kuluttaneet kasvillisuutta ja turmelleet muutoinkin Sand Laken ympäristöä 1960-luvun lopulta alkaen. Moottorikulkuneuvoilla ajelu on hävittänyt laajalta alueelta jopa rantakauran. Ajoneuvojen ja ihmisten määriä on rajoitettu ja turistipalveluja kehitetty 1970-luvulta alkaen.

Entä tulevaisuus? Niille avoimille aloille, missä maastoajelu lopetetaan, rantakaura palaa takaisin. Puut korvaavat aikanaan rantakauran. Ennen pitkää metsäpalo tai muu ympäristömuutos laukaisee taas uuden parabelidyynivaiheen. Näin tapahtuisi ilman ihmisen väliintuloa ja ehkä joka tapauksessa, kuten seuraavassa luvussa päätellään.

Kuva 11. Sand Laken parabelidyynisysteemin nuorimman dyynin sisään jäävä deflaatioallas (ks. kuva 10) on talvella osittain veden peittämä. Altaassa kasvaa harvakseltaan kierreneulasmäntyä (*Pinus contorta*).
10.7. 1984.

Fig. 11. Deflation plain within the youngest parabolic dune of the Sand Lake dune system (see Fig. 10), supporting lodgepole pines (Pinus contorta). July 10, 1984.



Dyynien uusiutumisen ja stabiloitumisen ajat

Muun muassa dendrokronologisten sekä radiohiili- ja termoluminesenssijoiutusten perusteella on pääteltävissä, että Yhdysvaltain länsirannikon dyynikentät ovat kokeneet umpeenkasvittumisen ja uudelleenavautumisen syklimäistä vuorottelua. Wiedemann ja Pickart (1994) ovat esittäneet tällaista mallin (kuva 12), jota seuraavassa tarkastellaan

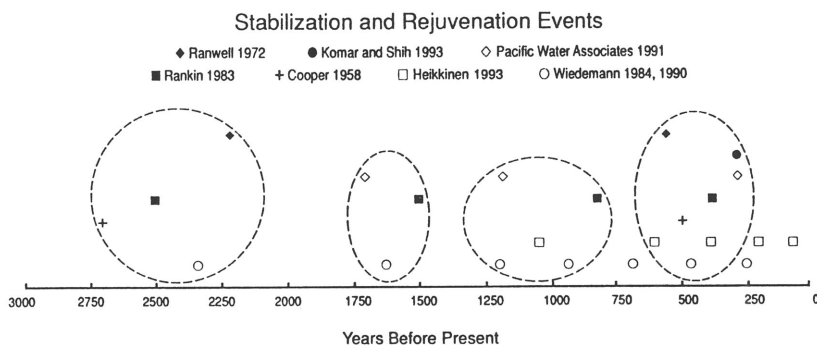
lähinnä heidän esittämiinsä perusteisiin nojautuen.

Cooperin (1958), Wiedemannin (1990) ja Heikkinen (1993) ajoitustuloksia käsiteltiin jo Tenmile Creekin ja Sand Laken luonnehdintojen yhteydessä. Rankinin (1983) ajoitukset koskevat Kolumbiajoen suulla sijaitsevan Clatsopin (ks. kuva 1) parabelidyynien muodostumisvaiheita. Pacific Water Associates (1991) otaksuu Pohjois-Kalifornian rannikolla tehtyjen havaintojen ja ¹⁴C-ajoiutusten perusteella, että nopeat tektoniset liikunnat aiheuttivat siellä eolista aktivoitumista aina-

Kuva 12. Dyynialueiden ta-
pahtumia ja kohteita ajoitettaessa saatuja ikä on rajattu katkoviivalla ryhmiiksi, jotka osoittanevat aikajaksoja, jolloin eolinen aktiviteetti oli voimakasta Pohjois-Amerikan länsirannikolla (Wiedemann & Pickart 1994: fig. 5). Tarkemmin tekstissä.

Fig. 12. Dates obtained for various events and materials by a number of several investigators suggest that stabilization and rejuvenation of coastal dunes in the Pacific Northwest is cyclic. The encircling dashed lines suggest clusters of events related to major periods of aeolian activity. According to Wiedemann and Pickart (1994: fig. 5).

Pacific Northwest Coastal Dunes



kin noin 300 ja mahdollisesti myös 1100 ja 1600 vuotta sitten. Komar & Shih (1993) tutkivat Oregonin rantatörmien eroosiota ja otaksuvat, että alueella tapahtui huomattava maanjäristys 300 vuotta sitten, mikä laski rantakaistaa ja aiheutti rantatörmän ja muiden rantamuotojen kulumista. He myös otaksuvat, että suuria maanjäristyksiä on tapahtunut vähintään kuusi kertaa Oregonin ja Washingtonin rannikolla viimeisten 4000 vuoden aikana, noin 300–1000 vuoden välein.

Ranwell (1972) arvelee koviin myrskyjen ja korkean vuoroveden, jolla olisi 1700 vuoden sykli, edistävän dyynimuodostusta. Viimeinen maksimi olisi ollut noin 560 vuotta sitten (vuonna 1433) ja sitä edellinen 2260 vuotta sitten. Cooper (1958) sijoittaa nykyisten eolisten uudistumissykliä alun noin 2700 vuoden päähän nykypäivästä. Tätä tukee Wiedemannin (1984: 44) mielestä Keski-Oregonin rannikolla suoritetussa syväkairauksessa tehty havainto, että hiekan kerrostumisnopeus alkoi kasvaa noin 2350 vuotta sitten.

Kun edellä esitetyt erilaisten tapahtumien ja kohteiden ajoitukset pannaan aika-akselille (kuva 12), voidaan hahmottaa ikäryppäitä, joiden Wiedemann ja Pickart (1994) katsovat ajoittuvan noin vuosien 400, 1050, 1650 ja 2400 BP. ympärille. Nuo vuodet siis viittaavat eolisen aktiivisuuden aikoihin. Tämä malli koskee koko Pohjois-Amerikan länsirannikon dyynejä.

Loppupäätelmät

On ilmeistä, että nykyään havaittava Pohjois-Amerikan länsirannikon dyynien kasvittuminen ja sitä kautta tapahtuva hiekkapintojen stabiloituminen on luonnollinen tapahtuma. Wiedemannin & Pickartin (1994) mukaan lentohietikoitten stabiloituminen kuten myös eolisten prosessien aktivoituminen ovat syklisiä niin, että stabiilit vaiheet kestävät pitempään; niiden aikana on ehtinyt muodostua mm. selviä maannosprofiileja. Nykyään käynnissä olevaa, ilmeisen luonnollista kasvittumisvaihetta kiihdyttää Euroopasta tuotu rantakaura (*Ammophila arenaria*). Rantakaura ei kuitenkaan ole kasvittumisen perimmäinen tai ainoa syy, vaikka niin on yllättävän usein luultu.

Rantakaura on hyvin elinvoimainen ja kilpailukykyinen paikallisiin lajeihin verrattuna. Se on hävittänyt niitä alkuperäisiä kasviyhdyksuntia, jotka luontaisesti kasvittivat rannikkodyynejä. Myös tästä syystä on ryhdytty estämään rantakauran leviämistä ja suorastaan tuhoamaan sitä polttamalla, kitkemällä, kasvimyrrykyillä, suolalla, kairinkoneilla jne. (mm. Heikkinen 1993; Wiedemann & Pickart 1994). Moninaisten ja pitkälle

erilaistuneiden alkuperäisten kasviyhdyksuntien suojeleminen rantakaurainvaasiolta on kuitenkin osoittautunut vaikeaksi ja kalliiksi.

KIRJALLISUUS

- Cooper, W.S. (1958). Coastal sand dunes of Oregon and Washington. *Geological Society of America. Memoir* 72. 169 s.
- Cooper, W.S. (1967). Coastal sand dunes of California. *Geological Society of America. Memoir* 104. 131 s.
- Heikkinen, O. (1993). Environmental development among the Tenmile Creek coastal dunes in Oregon, USA. *Proceedings of the International Coastal Congress ICC-Kiel '92* (ed. by H. Sterr, J. Hofstede and H-P. Plag), 283–295. Peter Lang, Frankfurt am Main.
- Hunter, R.E., B.M. Richmond & T.R. Alpha (1983). Storm-controlled oblique dunes of the Oregon coast. *Geological Society of America Bulletin* 94: 1450–1465.
- Komar, P.D. & S.M. Shih (1993). Cliff erosion along the Oregon coast: a tectonic-sea level imprint plus local controls by beach processes. *Journal of Coastal Research* 9: 747–765.
- Lund, E.H. (1973). Oregon coastal dunes between Coos Bay and Sea Lion Point. *Ore Bin* 35: 73–92.
- Pacific Water Associates (1991). *Physical processes, geomorphology, and management options for the coastal sand dunes of Humboldt Bay, Humboldt County, California*. Humboldt County Planning Department, Eureka, California. 76 s.
- Rankin, D.K. (1983). *Holocene geologic history of the Clatsop Plains foredune ridge complex*. M.S. Thesis, Portland State University, Portland, Oregon. 189 s.
- Ranwell, D.S. (1972). *Ecology of salt marshes and sand dunes*. Chapman and Hall Ltd., London. 258 s.
- Wiedemann, A.M. (1984). *The ecology of Pacific Northwest coastal sand dunes: a community profile*. U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Services Program, Washington, D.C., FWS/OBS-84/04. 130 s.
- Wiedemann, A.M. (1990). The coastal parabola dune system at Sand Lake, Tillamook County, Oregon, U.S.A. *Proceedings Canadian Symposium on Coastal Sand Dunes 1990*, 171–194.
- Wiedemann, A.M. (1993). Dry coastal ecosystems of northwestern North America. *Teoksessa van der Maarel, Eddy (ed.): Ecosystems of the World 2B: Dry Coastal Ecosystems – Africa, America and Oceania*, 341–358. Elsevier, Amsterdam.
- Wiedemann, A.M., L.J. Dennis & F.H. Smith (1969). *Plants of the Oregon coastal dunes*. Oregon State University Bookstores Inc., Corvallis, Oregon. 117 s.
- Wiedemann, A.M. & A. Pickart (1994). The *Ammophila* problem on the northwest coast of North America. Presented paper: *Dunes '94 – An International Conference on the Science and Management of Coastal Dunes*. 6–11 January 1994. Institute for Coastal Research, University of Port Elizabeth, Republic of South Africa.