

Animaatio geologisessa visualisoinnissa – esimerkkinä Skandinavian mannerjäätikön reunan vetäytyminen viime jääkauden lopulla

ANSSI JUSSILA JA
VELI-PEKKA SALONEN

Sulavan mannerjäätikön reunan asemat ovat olleet kestotutkimuskohde glasiaaligeologiassa siitä lähtien kun jääkausteoria 1800-luvun puolivälin tienoilta vakiintui. Suomessa etenkin Sauramo (1918, 1929) loi vahvan perustan deglasiaatiotutkimuksemme. Myöhemmistä tutkimuksista on syytä mainita Länsi-Lapin deglasiaatiokuvaa analysoinut Kujansuu (1967) sekä Aartolahti (1972), joka kartoitti systemaattisesti Etelä-Suomen de Geer-moreenikentät ja hahmotti niihin pohjautuvat toisiaan seuranneet vetäytyvän jäätikön reuna-asemat. Jäätikön sulamisvaiheen dynamiikka ilmenee sulavan jäätikön virtauskielekkeinä ja niiden välisinä passiivisen jään alueina Punkari (1980). Nykyinen käsityksemme mannerjäätikön reunan asemista deglasiaation kuluessa on tiivistetty Ignatius *et al.* (1980) ja Johanson *et al.* (2011) laatimiin yhteenvedoihin.

Vastaavaa tutkimusta on sitten de Geerin pioneeritöiden (esim. 1896) suoritettu systemaattisesti eri puolilla Pohjois-Eurooppaa. Aivan viime aikoina on ilmestynyt laajoja ja

tärkeitä tutkimuksia, joissa koko Skandinavian jäätikön reuna-asemia koskeva ajoitettu tutkimusaineisto on koottu yhteen (Hughes *et al.* 2016, Stroeven *et al.* 2016). Aineistoa on myös analysoitu ja mallinnettu viime jäätiköitymisvaiheen mittakaavassa (esim. Patton *et al.* 2017). Viime jääkautta ja sen vaikutuksia koskeva tietoaaineisto on varsin kattava ja korkeatasoinen tarjoten erinomaisia lähtökohtia monen tyyppiseen alueelliseenkin tarkasteluun.

Eräs kiintoisa mahdollisuus tiedon käsittelyyn on sen havainnollistaminen liikkuvan kuvan keinoin. Stroeven *et al.* (2016) oheisaineistoon sisältyykin karkea animaatio, joka kuvaa vetäytyvän jäätikön toisiaan seuranneita reuna-asemia. Tästä syntyi ajatus visualisoida tapahtumasarja tehokkaalla animaatiotekniikalla, jolla saataisiin koko olemassa oleva laaja tietomäärä konkretisoitua näkyville, mahdollisesti uusia ajatuksia herättäväksi synteesiksi. Tavoitteena oli tekniikan testaamisen lisäksi saattaa lopputulokset julkiseen levitykseen ja suuren yleisön nähtäväksi.

Animaatioista tehtiin kaksi eri versiota. Toisen kohteena oli koko Pohjois-Euroopan

mannerjäätikö ja toisessa keskityttiin Suomen alueen deglasiaatioon tarkemmalla resoluutiolla. Työ tehtiin pro gradu -tutkielmana (Jussila 2017) ja siihen liittyvät animaatiot on ladattu YouTubeen.

Tausta-aineistot

Visualisointiaineistona hyödynnettiin kahta eri tyyppistä lähdeaineistoa. Pohjois-Euroopan mannerjäätikön kasvua ja sulamista kuvaavaan animaatioon aikavälillä 34 000–10 000 vuotta sitten hyödynnettiin yksinomaan Hughes *et al.* (2016) esittämiä mannerjäätikön reunan asemia, joiden sijoittuminen pohjautuu DATED-1 tietokannan aineistoon.

Suomen alueelta on vain suhteellisen niukasti ajoitettuja jäätikön reunan asemia, minä johdosta maamme deglasiaatiokuvaa (Ignatius *et al.* 1980, Johansson *et al.* 2011, Hughes *et al.* 2016) tarkennettiin lisätulkinnoilla, jotka perustuivat aiempiin tutkimuksiin (Sauramo 1929, Punkari 1980, Saarnisto ja Saarinen 2001, Johansson ja Kujansuu 2005, Ojala *et al.* 2015). Julkaistua aineistoa täydennettiin LiDAR-korkeusmallin tulkinalla erityisesti Peräpohjolan rannikkoseudulta, josta on varsin vähän tutkimustietoa.

Suomen alueella tapahtuneen deglasiaation visualisoinnissa pyrittiin huomioimaan jäätikön pienenemiseen vaikuttaneet sulavan reunan vaihtelevat olosuhteet. Näitä ovat jäätikön virtauskielekkeiden ja toisaalta passiivisen deglasiaation vyöhykkeet (Punkari 1980, Boulton *et al.* 2001) samoin kuin suurimittakaavaisten poikivien jäätikölähtien toiminta Pohjanlahden altaan piirissä (Bouchard ja Salonen 1990). Animaatiossa havainnollistettiin myös korkeimman rannan asemat ja tärkeimmät proglasiaalijärvet tukeutuen Ojala *et al.* (2013) kokoamaan yhteenvedon.

Visualisoinnin pohjaksi rekonstruointiin Suomen alueen deglasiaatiosta ajanjakson 13 000–10 000 vuotta sitten kattavat jääti-

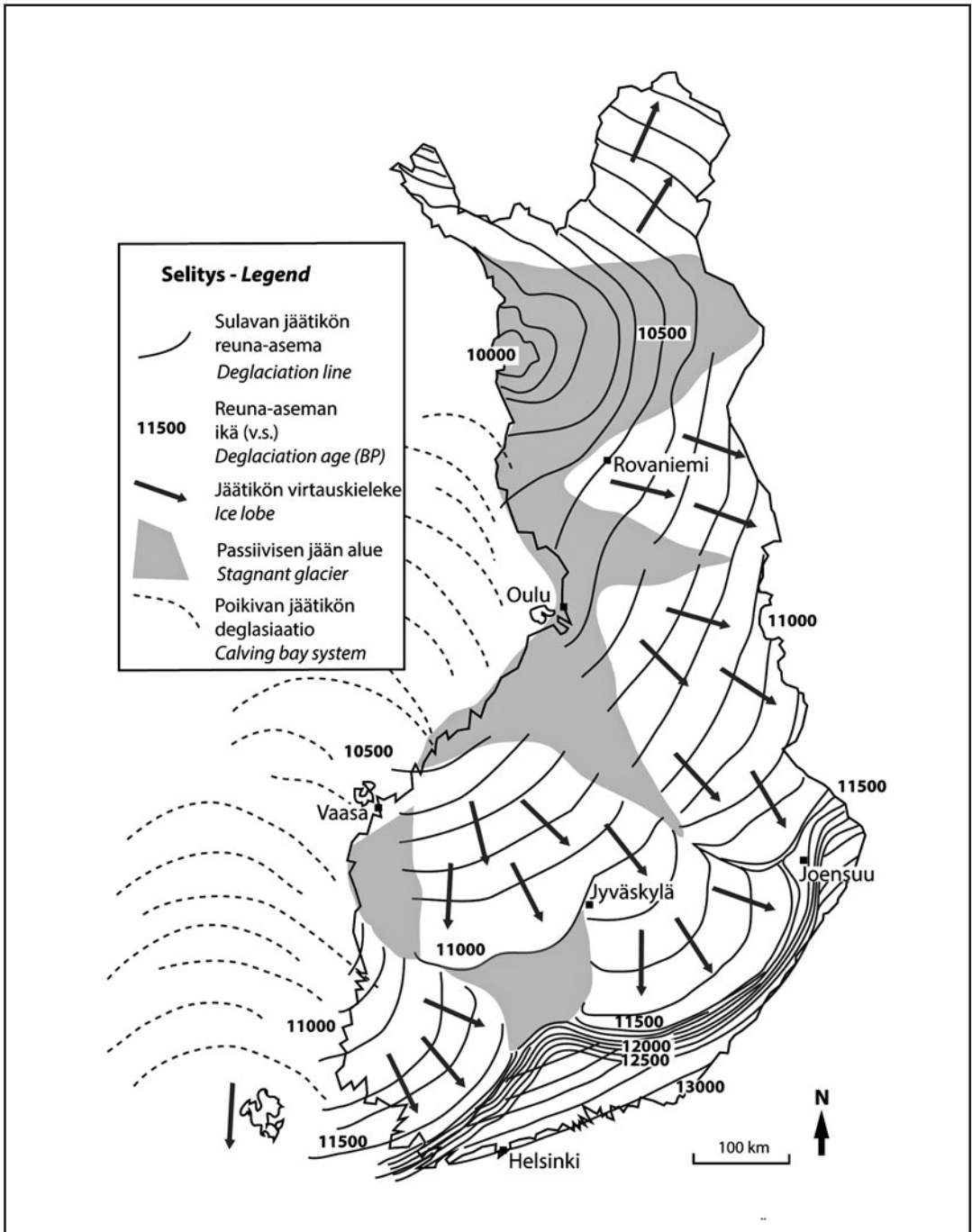
kön reunan asemat 100 vuoden välein. Animaation tausta-aineisto on esitetty kuvassa 1.

Menetelmän kuvaus

Animaatioiden muodostamiseen käytettiin Blender-nimistä GPL-lisenssin alaista vapaasti käytettävää 3D-grafiikkaohjelmaa (<https://www.blender.org>). Kuvassa 2 on esitetty ohjelman käyttöliittymä. Ohjelmassa animaatioiden muodostamisprosessi jakautui kuuteen päävaiheeseen, jotka olivat materiaalit, lähtöaineistot, animointi, valotus, komposiitti ja kuvantaminen (renderointi).

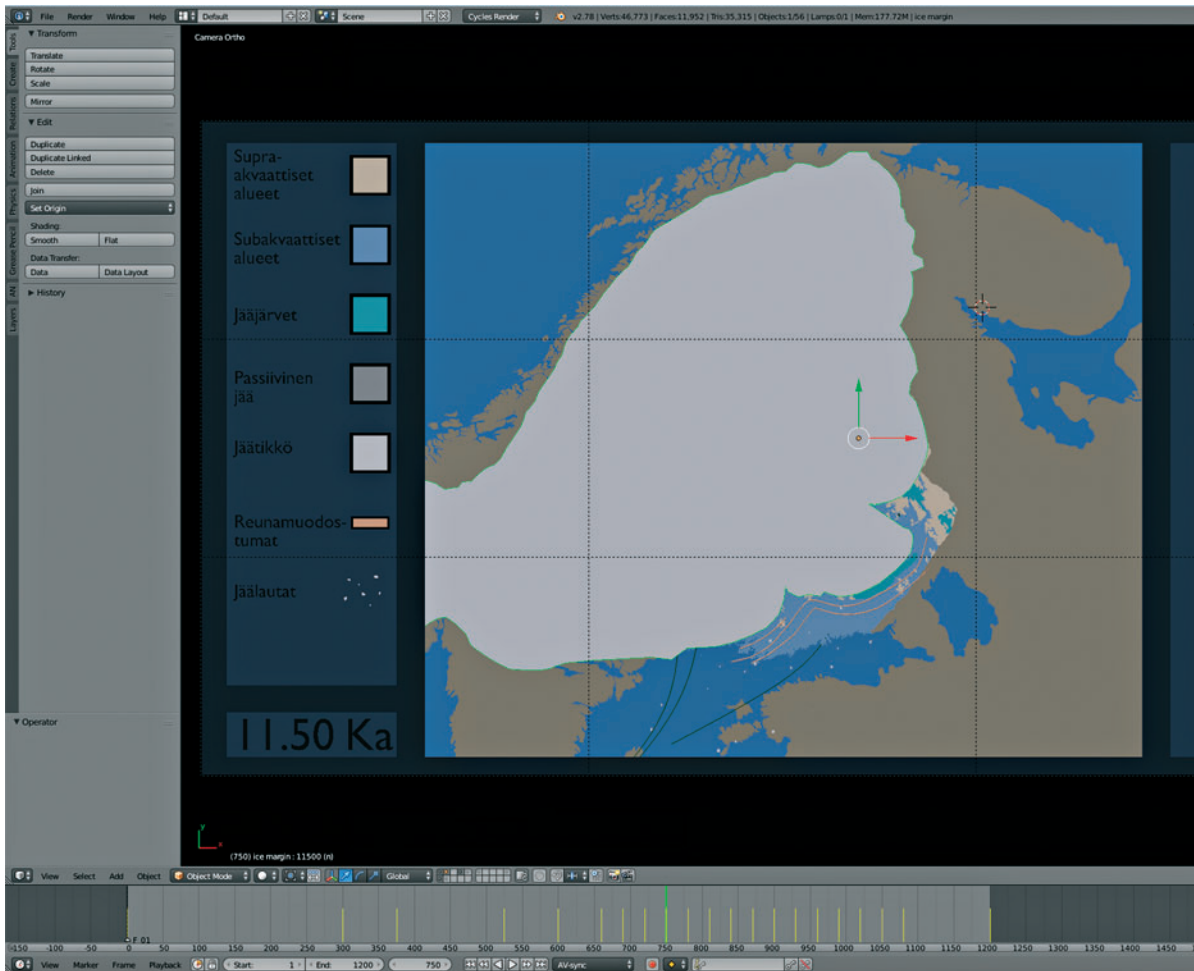
Blender-ohjelman mallintamisessa aineistojen perusteella rakennettiin objektit, jotka muodostivat animaatioissa näkyvät geometriset muodot. Tärkeimmät objektit olivat tässä tapauksessa deglasiaatiota indikoivat mannerjäätiköobjektit, jotka sisälsivät eri-ikäiset reuna-asemat. Osa käytetyistä lähtöaineistoista oli mallinnettu valmiiksi ArcGIS-alustalla kuten Hughes *et al.* (2016) reuna-asemat, mikä helpotti mallintamista Blender-ohjelmassa. Objektien muodostamisen jälkeen niille rakennettiin materiaalit noodi-editorin noodien avulla. Noodeja yhdistelemällä tuotettiin ominaisuuksia ja värejä, joista muodostettiin objektien haluttu ulkoasu.

Animointivaiheessa tavoitteena oli deglasiaatiotapahtuman esittäminen lineaarisen, vakionopeudella etenevän ajan suhteen. Mannerjäätiköiden liike toteutettiin objektien sisältämien muuttujayksiköiden (Shape Key) avulla. Yksiköihin tallennettiin jäätikön reuna-asemat, joita käytettiin muuttamaan objektien muotoa. Kielekevirtauksien ja stagnanttien jäänalueiden vaihtuminen toteutettiin animoimalla ja kuvantamalla materiaalit vaihtumaan toisikseen yksi kerrallaan, aikajärjestyksessä. Materiaalien ominaisuuksien animointia hyödynnettiin myös jääjärvien ja reunanuodostumien syntyminen esittämisessä. Jäätikön poikimisessa syntyneiden jäälautto-



Kuva 1. Suomen alueen deglasiaation reuna-asemat 100 vuoden välein. Kuvassa ilmenevät myös jään sulamiseen vaikuttaneiden alueellisten suurtekijöiden kuten kielekevirtausten, paikalleen sulavan passiivisen jään ja poikivan jään vyöhykkeet.

Figure 1. Deglaciation pattern in Finland depicted at 100-year intervals. Zones of active ice lobes, stagnant glacier and extensive calving bay systems are also shown.



Kuva 2. Kuvakaappaus deglasiatioanimaation teosta Blender-ohjelmalla.

Figure 2. A screen capture showing the user interface of Blender.

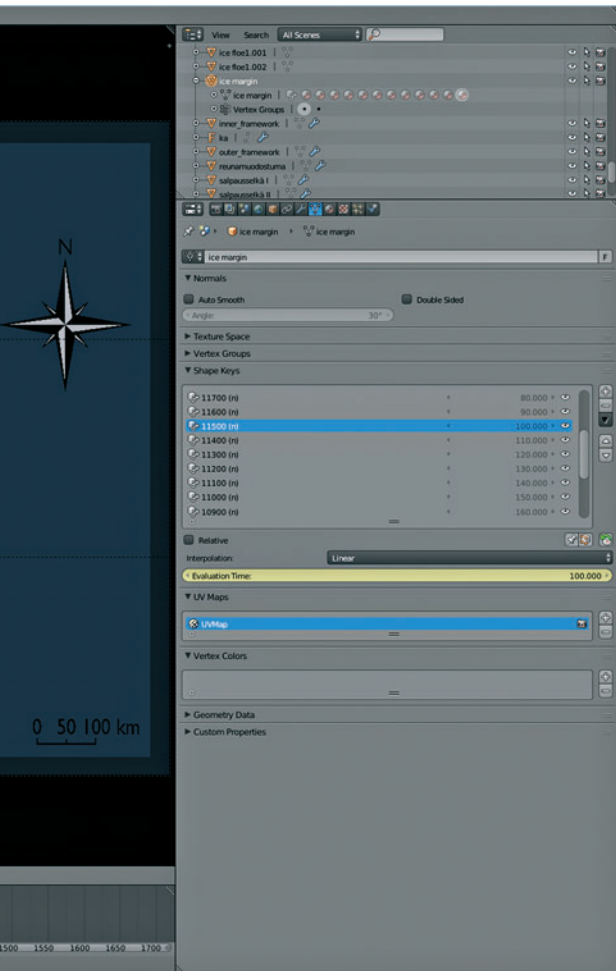
jen liike ja liikeradat toteutettiin partikkelisysteemien partikkelien avulla. Partikkeleille annettiin jäälauttoja imitoiva muoto ja ne seurasivat ennalta määritettyjä reittejä. Kohtauksiin lisättiin myös yksinkertainen valotusjärjestelmä, jotta objektit ja niiden materiaalit näkyivät animaatioissa.

Animaatioihin muodostettiin komposiitti, jossa suoritettiin animaatioiden jälkikäsittely. Siinä animaatioiden visuaalista ilmettä parannettiin lisäämällä erilaisia tehosteita tuo-

rosten päälle. Komposiitin jälkeen tapahtui kuvantaminen, eli animaatioista tuotettiin valitussa formaatissa (.avi) oleva videotiedosto. Yksityiskohtainen selvitys käytetystä animaatiotekniikasta on esitetty pro gradu -tutkielmassa (Jussila 2017).

Deglasiatiovideot

YouTubeen tallennettu animaatio Pohjois-Euroopan deglasiatiosta on nähtävissä osoitteessa <https://www.youtube.com/watch?v=2pL>



Yi687IDQ. Animaatio kestää 86 sekuntia ja kattaa ajanjakson 34 000–10 000 vuotta sitten. Animaation kuvaama aika etenee lineaarisena vakionopeudella ja se esittää Blender-ohjelman tuottamat jäätikön reunan muodonmuutokset nopeudella 24 ruutua/s. Koko videopätkä siis koostuu 2064 kuvasta.

Videossa kuvattu viime jäätiköitymisen (LGM) kasvuvaihe perustuu vain muutamaa reuna-aseman (Hughes *et al.* 2016), minkä vuoksi se on varsin kaavamainen. Deglasiaa-

tiovaiheen animaatioissa ilmenee hyvin Skandinavian mannerjäätikön epäsymmetrinen toiminta: 20 000 vuotta sitten alkanut jäätikön sulaminen pienentää jäätikön alaa lännessä samalla kun jäätikkö vielä etenee idässä matalaprofiilisinä jäätikkökielekkeinä Luoteis-Venäjän sedimenttitasangon laaksoissa.

Suomen alueen 56 sekuntia kestävä deglasiaatiovideo on katsottavissa osoitteessa <https://www.youtube.com/watch?v=Y2jOZ2u8jNQ>. Se pohjautuu tarkempaan ja monipuolisempaan aineistoon kuin Pohjois-Euroopan jäätikköä kuvaava animaatio. Animaatioissa näkyy nuoremman Dryaksen aikainen jäätikön reunan oskillaatio ja seisautuminen Salpausselkävyöhykkeessä, kiihtyvä vetäytyminen holoseenin alkaessa, jäätikön eriytyminen paikalleen sulaviksi lohkoiksi sekä Pohjanlahden–Perämeren alueella tapahtunut nopea jäätikön häviäminen tehokkaan poikimisen ansiosta. Tässä animaatioissa Skandinavian jäätikkö jakautuu loppuvaiheessa kolmeen osaan ja Suomesta jäätikkö sulaa lopullisesti 10 000 vuotta sitten Kolarissa.

Kehitysjatoksia

On toivottavaa, että videot kiinnostavat ja avautuvat hyvin suurelle yleisölle, minkä vuoksi niillä voi olla merkitystä geologisen tutkimuksen kansantajuistamisessa. Ne ovat myös käyttökelpoisia opetuksessa, sillä niiden avulla voi hyvin havainnollistaa esimerkiksi jäätikön sulamisnopeuden kiihtymistä jääkauden lopulla. Myös nuoremman Dryaksen aikaisen (12 500–11 700 vuotta sitten) ilmaston viilenemisen vaikutus jään reunan dynamiikkaan Salpausselkävyöhykkeellä voidaan tällä keinolla esittää.

Animaatio tähdentää sitä tosiasiaa, että Suomen alueen deglasiaatioon on eri alueilla vaikuttanut suuresti jäätikön häviämistäpa. Jään reunan asemaan vaikutti se, suliko jäätikkö paikalleen, liittyikö viime vaiheisiin kie-

lekevirtausta ja sulamisvesien kanavoitumista vai edesauttoiko jäätikön häviämistä tehostunut jäälauttojen muodostuminen, poikiminen. Animaatiota laadittaessa kävi myös selväksi, että deglasiaatiotutkimuksessa on vielä tekeväntä työtä erityisesti nykyisen Perämeren alueella. Myös lisäajotukset olisivat tarpeen, sillä Suomen panos tässä mielessä on melko vaatimaton verrattuna esimerkiksi muissa Pohjoismaissa tehtyyn tutkimukseen (Hughes *et al.* 2016).

Deglasiaatiovideoita voisi kehittää edelleen. Niihin olisi kiinnostava lisätä aito 3D-efekti, jossa olisi mukana sekä jäätikön paksuus että todellinen, glasioisostasian vaikutuksen huomioiva alustan topografia. Myös hydrologian, kuten Itämeren vaiheiden, jäärvi- ja sulamisvesiuomien tarkempi mukaanotto olisi mahdollista.

Tässä esitellyt animaatiot ovat ajattelun työvälineitä, eivät tieteellistä mallinnusta. Ne ovat tärkeitä ideoiden testaamisessa ja vaikeasti hahmotettavien näkökulmien tarkistuksessa. Geologia on luonteeltaan erilaisia ajassa tapahtuvia prosesseja mallintava tiede. Animaatiotekniikka tarjoaa tuoreen näkökulman tulosten tarkasteluun ja esittämiseen.

ANSSI JUSSILA

Geotieteiden ja maantieteen laitos
Gustaf Hällströmin katu 2a
00014 Helsingin yliopisto
anssi.jussila@helsinki.fi

VELI-PEKKA SALONEN

Nikkilänmäentie 12
03250 Ojakkala
veli-pekka.salonen@helsinki.fi

Anssi Jussila on opintojaan päättellessä oleva geologian opiskelija Helsingin yliopistosta. Kirjoitus perustuu hänen tuoreeseen pro gradu -tutkielmaansa, joka on avoimesti luettavissa ver-

kossa (<http://hdl.handle.net/10138/209212>). Veli-Pekka Salonen on ympäristögeologian emeritusprofessori Helsingin yliopistosta.

Summary

Two animations visualize deglaciation patterns of the Scandinavian Ice Sheet during the late Weichselian

Two cartoon videos were created to visualize patterns of waning North European ice sheets during the last deglaciation. The animations were processed using the free open source 3D software Blender (<https://www.blender.org>). The first video (<https://www.youtube.com/watch?v=2pLYi687IDQ>) is based on deglaciation lines presented by Hughes *et al.* (2016) and covers the time frame 34,000–10,000 years ago. The other video (<https://www.youtube.com/watch?v=Y2jOZ2u8jNQ>) is more detailed, covering time frame 14,000 to 10,000 B.P. The animation displays some key conditions affecting deglaciation in the Finnish territory: zones of active ice lobes, areas of stagnant glacier ice and proglacial glaciolacustrine environments with effective calving bay systems.

Kirjallisuus

- Aartolahti, T., 1972. On deglaciation in southern and western Finland. *Fennia* 144:1–84.
- Bouchard, M.A. ja Salonen V.-P., 1990. Boulder transport in shield areas. Teoksessa: Kujansuu, R. ja Saarnisto, M. (toim.), *Glacial Indicator Tracing*. A.A. Balkema, Rotterdam, 87–107.
- Boulton, G.S., Dongelmans, P., Punkari, M. ja Broadgate, M., 2001. Palaeoglaciology of an ice sheet through a glacial cycle: the European ice sheet through the Weichselian. *Quaternary Science Reviews* 20:591–625.
- De Geer, G., 1896. Skandinavien's geografiska utveckling efter istiden. Sveriges Geologiska Undersökning, Serie C 161:1–160.

- Hughes, A.L.C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø.S., Mangerud, J. ja Svendsen, J.I., 2016. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas* 45:1–45.
- Ignatius, H., Korpela, K. ja Kujansuu, R., 1980. The deglaciation of Finland after 10,000 BP. *Boreas* 9:217–228.
- Johansson, P. ja Kujansuu, R. (toim), 2005. Pohjois-Suomen maaperä: maaperäkarttojen 1:400 000 selitys. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 1–236.
- Johansson, P., Lunkka, J.P. ja Sarala, P., 2011. The Glaciation of Finland. Teoksessa: Ehlers, J., Gibbard, P.L. ja Hughes, P.D. (toim.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology A Closer Look. Developments in Quaternary Sciences* 15:105–116.
- Jussila, A., 2017. Suomen alueella tapahtuneen mannerjäätikön vetäytymisen visualisointi. Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos, Geologian oppiaine. Pro gradu -tutkielma, 62 s. E-thesis: <http://hdl.handle.net/10138/209212>
- Kujansuu, R., 1967. On the deglaciation of western Finnish Lapland. *Bulletin de la Commission géologique de Finlande* 232:1–98.
- Ojala, A.E.K., Palmu, J.-P., Åberg, A., Åberg, S. ja Virkki, H., 2013. Development of an ancient shoreline database to reconstruct the Litorina Sea maximum extension and the highest shoreline of the Baltic Sea basin in Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 85:127–144
- Ojala, A.E.K., Putkinen, N., Palmu, J.-P. ja Nenonen K., 2015. Characterization of De Geer moraines in Finland based on LiDAR DEM mapping. *GFF* 137:304–318.
- Patton, H., Hubbard, A., Andreassen, K., Auriac, A., Whitehouse, P.L., Stroeven, A.P., *et al.*, 2017. Deglaciation of the Eurasian ice sheet complex. *Quaternary Science Reviews* 169:148–172.
- Punkari, M., 1980. The ice lobes of the Scandinavian ice sheet during the deglaciation in Finland. *Boreas* 9:307–310.
- Saarnisto, M. ja Saarinen, T., 2001. Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the Lake Onega Basin to the Salpausselka End Moraines. *Global and Planetary Change* 31:387–405.
- Sauramo, M., 1918. Geochronologische Studien über die spatglaziale Zeit in Südfinnland. *Fennia* 41:1–44.
- Sauramo, M., 1929. The Quaternary geology of Finland. *Bulletin de la Commission géologique de Finlande* 86:1–110.
- Stroeven, A.P., Hättestrand, C., Kleman, J., Heyman, J., Fabel, D., Fredin, O., *et al.*, 2016. Deglaciation of Fennoscandia. *Quaternary Science Reviews* 147:91–121.