

Palsan selittäminen – esimerkki teorian muodostuksesta

MATTI SEPPÄLÄ

Maantieteen Laitos, Luonnonmaantieteen laboratoriot, Helsingin yliopisto



Seppälä, Matti (1994). Palsan selittäminen – esimerkki teorian muodostuksesta (Explanations of the origin of palsas – an example of the formation of theories.) Terra 106: 3, pp. 204–208.

Different theories of the origin of palsas have been described and commented upon. Kihlman (1890) put forward a hypothesis of an erosional origin for palsas. He did not notice that palsas are surrounded by thicker peat layers than the palsas themselves have. Auer (1924) presented that palsas are as craters and peat is pressed up from the surroundings and underneath the palsas by an ice layer on the mire. He did not pay attention to the frozen core of palsa which prevents all movement of unfrozen peat upwards. Salmi (1972) thought that adjacent pounus may first develop into pounu palsas and these may further develop into palsas of different types. Pounus are normally surrounded by peat layers which are too thin to protect the frozen core of palsa and their steep edges collect thick layers of snow which prevents the increase of a permafrost core in the area. Railton and Sparkling (1973) suggested that the formation of palsas may be dependent upon changes in surface albedo caused by a light coloured lichen cover. However, it can be argued that the change in vegetation is more a consequence of palsa formation than a cause of it. Aggradation in palsa formation denotes the formation of ice in peat. Degradation has been explained as a reason for palsa formation by several authors. Degradation caused by thermokarst cannot take place without a larger permafrost occurrence which is then destroyed. Degradation can deform and shape original palsas, but it is not able to form them. Floating and buoyancy of frozen peat is an important factor in raising the first stage of a palsa above the mire surface. High palsas anchored at the bottom of the mire cannot be explained with this phenomenon. Ice segregation and movement of capillary water in the peat and frozen core of palsas increase the volume of the frozen core and this explains the occurrence of the high palsas. The main reason for ice segregation in certain places is the thin snow cover. Wind drifts snow and allows the opportunity for deep frost formation (Fries & Bergström 1910). This palsa formation has been experimentally proved in the field in Lapland (Seppälä 1982; 1988b). Palsa formation is based on the fact that the thermoconductivity of saturated peat is rather good, but it is still five times better in frozen peat with 25 times better thermoconductivity than in dry peat, which insulates the frozen core during the thawing season. Cold can easily penetrate frozen peat and its melting requires much more energy and time. The next steps in palsa research should be the studies of capillary hydrology of unfrozen and frozen peat and the measurements of thermoconductivity of different types of peat.

Matti Seppälä, Department of Geography, Laboratory of Physical Geography, P.O. Box 9 (Siltavuorenpenger 20 A), FIN-00014 University of Helsinki, Finland.

Tutkijat mielellään tulkitsevat ja selittävät havaitsemiaan ilmiöitä. Haetaan säännönmukaisuuksia ja muodostetaan teorioita ja lakeja asioiden ymmärtämiseksi. Hyvän selityksen edellytyksenä ovat oikeat havainnot. Usein on käynyt niin, että hyvät havainnot ovat johtaneet uusiin tulkintoihin ja parempiin selitysmalleihin. Asioiden selitykset muuttuvat, mutta oikein suoritettut kokeet ja täsmälliset havainnot säilyvät ja tukevat myös uusia selitysmalleja.

Varsinkin routailmiöiden selittämisessä on monesti ollut mukana runsaasti mielikuvitusta ja epäjohdonmukaisuuksia. Ensi sijaisena syynä tähän näkisin sen, että havainnot on tehty kesällä, jolloin ilmiöt ovat lepotilassa. Hyvänä esimerkkinä mainittakoon aapasoiden jänteiden muodostumisesta esitetyt monet selitykset (ks. Seppälä & Koutaniemi 1985). Kuitenkin jo 1912 esitti Heilaakoski useille routailmiöille päteviä selityksiä, joihin hän päätyi, koska hän pohjoisen asukka-

na pystyi tekemään ympärivuotisia havaintoja soilla vallitsevista oloista.

Toiset vielä pohjoisempana esiintyvät suopin-
nanmuodot, palsat, ovat myös kauan kiehtoneet
tutkijoita. Ehkä ensimmäisen tieteellisen kuvauksen
näistä oudoista ikiroutaa sisältävistä turve-
kummuista esitti islantilainen geologi Sveinn
Pálsson vuonna 1792 (Thorarinsson 1951). Hän
kutsui niitä nimellä ruts. Nimitystä palsa on käy-
tetty Lapissa ja se on vakiintunut myös tieteelli-
seen kirjallisuuteen (Seppälä 1972). Selitettäessä
palsojen syntyä on käytetty useita analogioita,
erosiojäänteitä ja kraatereita muun muassa,
jotka ovat tulleet tutkijoiden mieleen heidän kat-
sellessa pohjoisen outoja ikiroutakumpuja. Nämä
mielikuvat ovat sitten vaikuttaneet teorianmuo-
dostukseen.

Eroosioteoria

Kihlman (1890) löysi Kuolaan suuntautuneella
tutkimusmatkalla myös palsoja, tosin hän ei kir-
joituksessaan käyttänyt tätä nimitystä. Kihlman
teki havaintoja aktiivin kerroksen paksuudesta ja
routakerroksen sijainnista sekä palsasoiden kas-
villisuudesta. Hän totesi erästä kumpua käytetyn
jääkellarina (Kihlman 1890: 59). Kihlmanin
(1890: 16) tuntemassa kirjallisuudessa ei ollut ai-
empia tietoja hänen kuvaamistaan turvekummuista.

Kihlman (1890: 13) esitti, että suuret turve-
kummut olivat muodostuneet ilmastonmuutoksen
seurauksena tapahtuneen eroosion takia. Hän kyti
palsojen reunojen lohkeilut ja sortumat suon
läpi virtaavaan jokeen. Edelleen hän esitti, että
tuuli irroitti kuivaa rahkaturvetta ja kasasi sen
kumpareen suojasivulle (Kihlman 1890: 15; ks.
myös Rikkinen 1980: 139–143).

Eroosioteorialla on se heikkous, että turveker-
rostuma on palsojen ympärillä paljon paksumpi
kuin itse palsoissa, joiden päällä turpeenmuodos-
tus on hidastunut. Kun palsa sulaa jää jäljelle ve-
den täyttämä painanne, usein turvekehän ympäröimänä.

Turvekraateri

Auer (1924: 152–153) oli siitepölyjen avulla to-
dennut »että palsan pinnalla oleva turve on iäl-
tään vanhempaa kuin muu suon pintaturve.» Hän
havaitti kyllä, että eroosio ja deflaatio kuluttavat
palsan pintaa, mutta piti ilmeisenä, »että turvetta
nousee alhaalta ylöspäin, jotta tasapainotilanne
olisi mahdollinen.» Tästä Auer tuli seuraavaan
päättelmään: »Näin ollen on siis todisteita siitä,

että kupupalsa ja myös selännepalsa on ikäänkuin
kraatteri, josta turvetta aikojen kuluessa puristuu
sisustasta pinnalle.»

Mainitsematta ruotsalaisten esittämää hypotee-
siä (Fries & Bergström 1910) Auer (1924: 153)
esitti palsan syntyvän, kun »talvella paljaaksi tai
ohuemman lumipeitteen alle jäänyt kohta suossa
jäätty paksummin kuin ympäristö. Keväällä siinä
jää säilyy kauemmin kuin ympärillä ja täten
muodostuneelle kohoumalle alkaa levitä sammalta
– *Sphagnum*-lajeja. Kun *Sphagnum* on huono läm-
mönjohtaja, jäätyy tuo kohta syystalvella myö-
hemmin sekä puristuu ympäröivän jään työnnön
vaikutuksesta koholle. Keväällä siinä taas routa
säilyy yhä kauemmin ja sulamisveden eroosio kul-
uttaa sen reunoja. Näin regelatio vuosi vuodelta
laajentaa mätästä, kunnes saavutetaan määrätty
olosuhteiden mukainen maksimikorkeus. Silloin
alkaa ehjä pinta särkyä sitä mukaa kuin jään työn-
tö tuo uutta jäätyynyttä turvetta pinnalta sulavan
roudan vahvikkeeksi. Roudan mukana kulkeutuu
turvetta suosta palsaan, jonka reunat ovat senta-
kia vetiset. Joskus kohoavat palsat saarten tavoin
pienestä suolammesta.»

Kentällä tehdyt havainnot eivät tue Auerin esi-
ttämää palsan muodostumista. Palsan ydin on iki-
roudassa, joten sieltä ei pursua sulaa turvetta min-
nekään. Rahkasammalta kasvaa palsan pinnalla
ani harvoin ja vain painanteissa, joissa termokarsti
on jo alkanut sulattaa palsan ydintä. Kosteaa
Sphagnum on paljon parempi lämmönjohtaja kuin
kuiva *Bryales-Ericales* turve, jolla palsan pinta on
yleensä katettu. Palsan reunojen vetisyys johtuu
sortuvista turvepaakuista ja palsan reunoihin ker-
tyvästä runsaasta lumimassasta (Seppälä 1990).
Palsan reunoilla routa on hyvin ohutta paksun lu-
mipeitteen takia, joten mitään jääntyöntöä ei esiin-
ny, eikä puljuihin kertyvä vesi liiku aiheuttaen
eroosiota.

Myöskään palsoista tehdyt siitepölyanalyysit
ja palsojen kerrosrakenne (Ruuhijärvi 1962; Sal-
mi 1972) eivät tue sitä käsitystä, että turve pur-
kautuisi kuin kraaterista palsaan, jolloin se väis-
tämättä sekottuisi. Pidän Auerin kraateriteoriaa
voimakkaan mielikuvituksen tuotteena.

Pounut palsojen alkiona

Salmi (1972) esitti käsityksen, että pounut toimi-
vat palsojen alkioina, joista kasvavat ensin pou-
nupalsat ja edelleen eri tyyppiset suuret palsa-
kummut. Myös Jahn (1986) kuvasi pounuja Va-
rangan niemimaalta. Hänen mukaansa niitä on
vaikea erottaa tyyppillisistä palsoista. Suurissa
pounuissa voi säilyä ylivuotista routaa, mutta
useimmiten niiden ympärillä varsinkin palsasoi-

den laiteilla on vain hyvin ohut turvekerros. Suomen Lapissa tarvitaan vähintään 40–50 cm turvetta palsan päällä suojaamaan jäätynyttä ydintä (Seppälä 1988b: 269). Näin pounikon turpeen paksuus ei riitä eristämään routaa sulamiselta, vaikka pounu kasvaisi sivuille päin. Tällaista tosin ei pääse tapahtumaan, koska pounun jyrkät reunat kokoavat paksun eristävän lumikerroksen, joka estää roudan tunkeutumisen syvälle pounun laiteilla. Samasta syystä palsojen laajuuskasvu pysähtyy, kun ne kohoavat riittävästi suon pinnasta, jolloin niihin muodostuu jyrkät rinteet (Seppälä 1986: 145).

Suon pinnan albedon muutos

Railton ja Sparling (1973) huomasivat, että palsojen pinnalla kasvaa vaaleita jäkäläitä (*Cladonia* spp.), jolloin suon pinnan albedo *Sphagnum fuscum* pintaan verrattuna kasvaa. Tämä on heidän mukaansa palsojen syntyyn vaikuttava tekijä. Vastaväitteenä on todettava, että palsan ytimeen kehittyvä routa alkaa muodostua jo ennen kasvillisuuden vaihtumista jäkälävaltaiseksi, joten albedon muutos ei ole syynä vaan seurausta palsan kehittymisestä, vaikka vaalea pinta edistää roudan säilymistä. Jahnin (1986) mukaan venäläinen tutkija Tyrtikov on sitä mieltä, että palsojen sulaminen alkaa, kun ohut, vaalea jäkäläkerros kuluu pois.

Aggradaatio ja degradaatio

Aggradaatiolla tarkoitetaan yleensä jokitoiminnan tuloksena tapahtuvaa materiaalin kasaantumista maan pinnalle ja tästä aiheutuvaa rinteiden muodostusta (Moore 1963: 8). Degradaatio on myös fluviaalimorfologiaan ja glasiaalimorfologiaan kuuluva termi. Se tarkoittaa prosessia, joka alentaa kuluttamalla maan pintaa (Moore 1963: 50). Näin ollen nämä termit soveltuvat huonosti palsan muodostumista kuvaamaan.

Sedimentaatiosta tai fluviaalieroosiosta ei ole kysymys palsojen muodostuessa. Schunke (1973) käytti näitä termejä kuvaamaan tapahtumia Islannissa. Sittemmin Jahn (1976) esitti saman kaltaisia ajatuksia. Hänen teoriansa sisälsi useita oletuksia, jotka eivät vastaa todellisuutta. Jahnin (1976: fig. 3) palsamallissa ei ole turvetta ollenkaan palsojen ympärillä, missä se on normaalisti paksuimmillaan. Jahnin mukaan ikiroutaa oli myös palsojen väleissä, mistä se normaalisti puuttuu kokonaan. Kritisoin Jahnin käsitystä (Seppälä 1982) ja hän vastasi kirjoitukseeni (Jahn 1986: 123–124) selventämättä asiaa kuitenkin olennai-

sesti. Myös Sollid & Sörbel (1974, fig. 4) esittivät oudon poikkileikkauksen palsasta Dovrefjellin alueelta Norjasta. Siinä palsan jäätynyt ydin nousee kuin sieni ikiroutakerroksesta. Tyypillisen palsan laiteilla ja ympäröivässä suossa ei ole ikiroutaa ollenkaan palsojen ulkopuolella. Huippuvuorilta yhtenäisen ikiroudan alueelta on löydetty muutamia pieniä, hyvin matalia palsojen kaltaisia turvekumpuja (Salvigsen 1977; Åkerman 1982).

Myös Washburn (1983) käytti termejä aggradaatio ja degradaatio palsojen yhteydessä. Jos niillä ymmärretään jäämassan lisäystä turpeessa ja toisaalta termokarstin vaikutuksesta tapahtuvaa roudan sulamista (Schunke 1973), niin nämä voidaan hyväksyä palsan muodostumista kuvaavina termeinä. Palsasuon morfologiaan molemmat mekanismit vaikuttavat jatkuvasti ja näin palsojen muoto vaihtelee suuresti. Degradaatio voi muotoilla palsoja vain laajemmista ikiroutamuodostumista (=palsoista), joten se ei selitä palsojen alkuperää (Nelson *et al.* 1992: 320).

Yhtenäisen ikiroudan alueilla esiintyy roudan muodostumisesta ja sulamisesta johtuvia routakumpuja, joita ei pidä sekoittaa palsoihin (Jahn 1986). Ungavan niemimaalta löytyi turvekerrostumia, joita jokieroosio oli leikannut muodostaneen palsan kaltaisia eroosiojäänteitä (Seppälä 1988a). Samoin kuvasin alueelta suolla esiintyviä jääkiilapolygoneja, joiden sulaminen oli jättänyt keskiosat koholleen sekä paannekumpuja (*frost blister*) turpeen alla, jotka muodostuvat paineenalaisen pohjaveden jäätyessä talvella ikiroudan päällä (van Everdingen 1982). Jahn (1986) tekee selkeän eron palsojen, pingojen ja muiden ikiroutakumpujen välille. Palsat muodostuvat pinnalta käsin tapahtuvan jäätyneen tuloksena, kun taas pingot ja muut yhtenäisen ikirouta-alueen routakummut muodostuvat ikiroudan kylmyyden jäädyttäessä roudan sisällä tai alla olevaa vettä.

Kelluva palsa

Vesi jäätyessään laajenee ja sen tiheys pienenee, jolloin jäätynyt turve voi kellua. Eräät tutkijat pitävät tätä »poijuilmioitä» tärkeänä varsinkin laajojen palsaplatoiden muodostuessa (Zoltai 1972; Outcalt & Nelson 1984; Nelson *et al.* 1992). Harris & Nyrose (1992) kuvasivat nuoren palsan muodostumista vedessä kelluvassa turpeessa Yukonissa. Kun jäätynyt ydin osittain sulii kesällä myös pohjasta, niin alla olevan turpeen ja jäätyneen ytimen väliin jäävä tila oli täynnä vettä, joka sitten ilmeisesti jäätynyt jälleen talvella. Sulamaton osa ytimestä kasvaa ja kohottaa palsaa suon pin-

nasta edelleen.

Noste voi olla riittävä tekijä kohottamaan turvekummun suon pinnasta, ja se voi olla ratkaisevan tärkeää palsan tulevalle kehitykselle, koska lumipeite pääsee ohenemaan kummun päältä. Nosteella ei kuitenkaan voida selittää jopa 7 metriä korkeiden palsojen kohoamista 3 metriä paksulta turvealustalta.

Jään segregoituminen

Kun routaa alkaa muodostua niin maakerroksista erottuu ja siirtyy routarintamaan vettä, joka jäätyy kerroksiksi, jäälinseiksi. Ilmiötä kutsutaan segregoitumiseksi. Maapartikkeleita ympäröi routaantuneessakin maassa ohut huokosvesikerros, joka liikkuu kapillaarisesti. Se kasvattaa segregoituvaa jääkerrosta (Williams & Smith 1989). Toistuvat kylmät jaksot kasvattavat jäälinsejä ja suon pinta kohoaa. Segregoitunut jää voidaan tunnistaa kristallografisin keinoin (Nelson *et al* 1992: 315). Segregoitumisen ja huokostilat täyttävien pienien jääkiteiden takia palsan ytimestä suurin osa 80–90 tilavuusprosenttia on jäätä.

Lumipeitteen paksuusvaihtelu

Jään segregoituminen palsoissa ei vielä selitä syytä, miksi näin tapahtuu juuri niissä kohdissa, joissa palsat kehittyvät, mutta ei muualla.

Vaikka Kihlman (1890) käsitteli laajasti tuulen ja lumen merkitystä metsänrajan muodostumisen kannalta, hän ei osannut yhdistää näitä kahden tekijää palsojen syntyyn.

Ruotsalaiset kasvitieteilijät Fries ja Bergström (1910) julkaisivat ajatuksen, että tuuli ohentaa lumipeitteen paikoin suon pinnalla, jolloin routa pääsee kehittymään tavallista syvemmälle. Tämä kohottaa suon pintaa ja muodostuu palsakumpuja. Tätä hypoteesiä he eivät pyrkineet millään mittauksilla tai suoranaisilla havainnoilla osoittamaan todeksi.

Lumi on erinomainen lämmöneriste. Vaikka ilman lämpötila on $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, niin metrin paksuisen lumikerroksen alla maan pinnalla lämpötila on lähellä $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Seppälä 1983a, 1986, 1990).

Tuuli kuljettaa lunta ja ohentaa lumipeitteen toisissa kohdissa ja kasaa toisaalle. Tästä tuli ajatus kokeilla voisiko palsan muodostumista tutkia kokeellisesti kenttäoloissa. Koejärjetyt suoritettiin vuonna 1976 Utsjoella Vaisjeäggin palsasuolla lähellä Lapin tutkimusasemaa Kevoa (Seppälä 1982, 1983c, 1988b).

Lapioimalla lumi pois suon pinnalta useita kertoja talven kuluessa routakerros saatiin kaksinker-

taiseksi normaaliin luonnontilaan verrattuna. Tätä kehittyä ylivuotista routaa, ja koetta jatkettiin vielä kahden talven ajan. Tuloksena oli n. 30 cm korkea palsa, jossa routa säilyi aina kesään 1984 asti (Seppälä 1988b). Tuolloin koeala oli tulvan alla vielä syyskuussa, ja se sulatti roudan koepalsasta. Koe osoitti kuitenkin, että subarktisisissa oloissamme Lapissa lumipeitteen paksuus on tärkein palsan muodostumista säätelevä tekijä.

Turpeen lämmönjohto-ominaisuudet

Fysikaalisen taustan palsojen ikiroutaytimen muodostumisessa muodostaa turpeen lämmönjohtokyvyn vaihtelu olosuhteiden muuttuessa. Veden kylmästä turve johtaa lämpöä varsin hyvin ($0,0011\text{ cal cm}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$), mutta jäätyneen turpeen lämmönjohtokyky on jokseenkin jään arvoa vastaava eli vielä viisi kertaa parempi ($0,0056\text{ cal cm}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) (Washburn 1979). Tästä on seurauksena, että ilman lumipeitettä olevaan turpeeseen kylmä pääsee tunkeutumaan erittäin syvälle. Lyhyen kesän aikana palsan routaantunut ydin ei ehdi sulaa, koska kuiva turve johtaa hyvin heikosti lämpöä ($0,0002\text{ cal cm}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) eli se eristää 25 kertaa paremmin palsan ytimen kuin jäätynyt turve. Sulamisen alkaessa keväällä palsan pinta sulaa ja kuivuu nopeasti jo silloin kun muualla suon pinnalla on vielä lunta. Sen jälkeen sulaminen hidastuu merkittävästi (Seppälä 1983b). Aktiivikerroksen paksuus palsojen päällä Suomen Lapissa on yleensä alle 70 cm sulamiskauden lopulla.

Johtopäätöksiä

Monenlaisten tutkimusten ja vaiheiden jälkeen on päädytty esittämään palsan syklinen kehitysmalli (Seppälä 1982, 1983c, 1988b), johon on yhtynyt esimerkiksi Jahn (1986). Sen mukaan palsat kehittyvät tiettyyn kokoon asti ja sen jälkeen ne alkavat sulaa ja sykli voi alkaa alusta mikäli olosuhteet ovat sopivat paksujen routakerrosten muodostumiselle. Tehty työ on esimerkki aika harvinaisesta luonnossa ja luonnollisessa mitassa tehdystä kokeellisesta geomorfologisesta tutkimuksesta (Seppälä 1982). Tietämyksemme palsoista on lisääntynyt huomattavasti, ja tällä on ollut oma käytännön merkityksensä esimerkiksi parannustyössä Muonio–Kilpisjärvi-tiellä, joka läpäisee useita palsasoita (Saarelainen & Seppälä 1989).

Palsojen syntyteorioista osa on osoittautunut hyvin kevein perustein tehdyiksi, joskin nekin ovat olleet tärkeitä askeleita kohti ilmiön parempaa ymmärtämistä. Edelleen syvennettäessä tietojamme näen seuraavina askeleina turpeen kapil-

laarisuuden selvittämisen ja erilaisten turpeiden lämmönjohtokyvyn mittaamisen. Yhä useammin myös luonnonmaantieteellisessä tutkimuksessa meidän on päästävä kiinni ilmiöiden fysikaaliseen taustaan. Tämä edellyttää mittauksia niin luonnossa kuin laboratoriossakin.

KIRJALLISUUS

- Auer, Väinö (1924). Enontekiön suurmättäistä (paloista). *Terra* 36, 149–154.
- Everdingen, R.O. van (1982). Frost blisters of the Bear Rock area near Fort Norman, N.W.T. *Arctic* 35, 243–265.
- Fries, T. & E. Bergström, (1910). Några iakttagelser öfver palsar och deras förekomst i nordligaste Sverige. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar* 32, 195–205.
- Harris, Stuart A. & Darren Nyrose (1992). Palsa formation in floating peat and related vegetation cover as illustrated by a fen bog in the Macmillan Pass, Yukon Territory, Canada. *Geografiska Annaler* 74A, 349–362.
- Helaakoski, A. R. (1912). Havaintoja jäätymisilmiöiden geomorfologisista vaikutuksista. *Suomen Maantieteellisen Yhdistyksen Julkaisuja* (1), 1–108.
- Jahn, Alfred (1976). Pagorki mrozowe typu palsa. (Summary: Palsa-type frost mounds). *Stud. Soc. Sci. Torun* 8C (4–6), 123–139.
- Jahn, Alfred (1986). Remarks on the origin of palsa frost mounds. *Biuletyn Peryglacjalny* 31, 123–130.
- Kihlman, A. Osw. (1890). Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. *Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica* 6(3), 1–263.
- Moore, W.G. (1963). *A dictionary of geography*. 196 s. Penguin Reference Books, Middlesex.
- Nelson, Frederick E., Kenneth Hinkel M. & Samuel Outcalt I. (1992). Palsa-scale frost mounds. *Teoksessa* Dixon, John C. & Abrahams, Athol D. (eds.): *Periglacial Geomorphology*, 305–325. John Wiley & Sons, Chichester.
- Outcalt, Samuel I. & F. Nelson (1984). Computer simulation of buoyancy and snow-cover effects in palsa dynamics. *Arctic and Alpine Research* 16, 259–263.
- Railton, J. B. & J. H. Sparling (1973). Preliminary studies on the ecology of palsa mounds in northern Ontario. *Canadian Journal of Botany* 51, 1037–1044.
- Rikkinen, Kalevi (1980). *Suuri Kuolan retki 1887*. 189 s. Otava, Helsinki.
- Ruuhijärvi, R. (1962). Palsoista ja niiden morfologiasta siitepölyanalyysin valossa. *Terra* 74, 58–68.
- Saarelainen, S. & M. Seppälä (1989). Swedish/Finnish border – Finnish/Norwegian border (Finland). V International Conference on Permafrost, Trondheim 1988 Excursion Guide. *Meddelanden fra Geografisk Institutt Universitet i Oslo Naturgeografisk Serie Rapport* 12, 39–75.
- Salmi, Martti (1972). Present developmental stages of palsa in Finland. *The Proceedings of the 4th International Peat Congress*, Otaniemi, Finland, 121–141.
- Salvisgen, O. (1977). An observation of palsa-like forms in Nordaustlandet, Svalbard. *Norsk Polarinstittutts Årsbok 1976*, 364–367.
- Schunke, E. (1973). Palsen und Kryokarst in Zentral-Island. *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen II, Mathematisch-Physikalische Klasse* 4, 65–102.
- Seppälä, Matti (1972). The term »palsa». *Zeitschrift für Geomorphologie* 16, 463.
- Seppälä, Matti (1982). An experimental study of the formation of palsa. *Proceedings Fourth Canadian Permafrost Conference*, National Research Council of Canada, Ottawa, 36–42.
- Seppälä, Matti (1983a). Palsasuon talvilämpötiloista Utsjoella. *Oulanka Reports* 4, 20–24.
- Seppälä, Matti (1983b). Seasonal thawing of palsa in Finnish Lapland. *Proceedings Fourth International Permafrost Conference*, National Academy Press, Washington DC, 1127–1132.
- Seppälä, Matti (1983c). Palsojen synnystä. *Teoksessa* Hohti, Paavo (toim.): *Perinteet ja tulevaisuus*, 373–384. WSOY, Helsinki.
- Seppälä, Matti (1986). The origin of palsa. *Geografiska Annaler* 68A, 141–147.
- Seppälä, Matti (1988a). Frozen peat mounds in continuous permafrost, northern Ungava, Québec, Canada. *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl.-Bd.* 71, 107–116.
- Seppälä, Matti (1988b). Palsa and related forms. *Teoksessa* Clark, M.J. (ed.): *Advances in periglacial geomorphology*, 247–278. John Wiley & Sons, Chichester.
- Seppälä, Matti (1990). Depth of snow and frost on a palsa mire, Finnish Lapland. *Geografiska Annaler* 72A, 191–201.
- Seppälä, Matti & Leo Koutaniemi (1985). Formation of a string and pool topography as expressed by morphology, stratigraphy and current processes on a mire in Kuusamo, Finland. *Boreas* 14, 287–309.
- Sollid, J.L. & L. Sörbel (1974). Palsa bogs at Haugtjønnin, Dovrefjell, South Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 28, 53–60.
- Thorarinsson, S. (1951). Notes on patterned ground in Iceland, with particular reference to the Icelandic »fläs». *Geografiska Annaler* 33, 144–156.
- Washburn, A. L. (1979). *Geocryology*. 406 s. Edward Arnold, London.
- Washburn, A. L. (1983). What is a palsa? *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, Dritte Folge* 35, 34–47.
- Williams, Peter J. & Michael W. Smith (1989). *The frozen earth. Fundamentals of geocryology*. 306 s. Cambridge University Press, Cambridge.
- Zoltai, S. C. (1972). Palsa and peat plateaus in central Manitoba and Saskatchewan. *Canadian Journal of Forest Research* 2, 291–302.
- Åkerman, Jonas (1982). Observations of palsa within the continuous permafrost zone in eastern Siberia and in Svalbard. *Geografisk Tidsskrift* 82, 45–51.