

Lierojen esiintyminen suhteessa salaojiin pellon mittakaavassa

Sirpa Pöyhönen

Pro gradu –tutkielma
Oulun yliopisto
Biologian laitos
Toukokuu 2008

Laitos		Tekijä	
Biologian laitos		Pöyhönen Sirpa	
Työn nimi			
Lierojen esiintyminen suhteessa salaojiin pellon mittakaavassa			
Oppiaine	Työn laji	Aika	Sivumäärä
Ekologinen eläintiede	Pro gradu -tutkielma	Toukokuu 2008	58 s. + I
<p>Tutkimuksessa haluttiin selvittää, vaikuttaako salaojitus syvälle kaivautuvan kastelieron tai pintamaassa elävien lierolajien esiintymiseen savimaassa ja kuinka sääolojen vaihtelu vaikuttaa kastelieron esiintymiseen. Maaperä- ja sääilmiöitä tarkastelemalla haluttiin löytää havaintoja selittäviä tekijöitä. Salaojien sijainnin vaikutusta lierojen esiintymiseen ei ollut aiemmin tutkittu juuri lainkaan.</p> <p>Aineisto kerättiin vuosina 1998 ja 1999 lounaissuomalaiselta, aktiivisesti viljellyltä savimaalta. Kesä 1998 oli melko sateinen, kun taas kesä 1999 oli lämmin ja ennätyksellisen kuiva. Vuonna 1998 otettiin kemiallista menetelmää käyttäen kastelieronäytteet pareittain salaojan kohdalta ja ojien välistä. Vuonna 1999 näytteenotto toistettiin osassa edellisistä pareista. Lisäksi otettiin maanäytteet pintamaan lajien määrittystä varten oja- ja välipisteistä. Alueelta kerättiin tietoa säästä ja maaperän ominaisuuksista.</p> <p>Salaojituksen havaittiin vaikuttavan kastelieron esiintymiseen. Sen sijaan pintamaassa elävillä lajeilla vastaavaa selkeää vaikutusta runsauteen ei havaittu.</p> <p>Vuonna 1998 kastelierotiheys oli salaojan kohdalla noin kaksinkertainen ja tuorepaino noin viisinkertainen ojaväliin verrattuna. Valtaosa lieroista oli nuoria. Lähes kaikki aikuiset olivat salaojan kohdalla, mikä selittää suuremman eron tuorepainoissa. Syksyllä 1999 kastelieroja tavattiin ainoastaan salaojan kohdalla, mutta yksilömäärä jäi hyvin alhaiseksi. Lähes kaikki lierot olivat aikuisia.</p> <p>Poikkeuksellisen kuiva ja lämmin kesä aiheutti kastelieromäärän romahtamisen vuonna 1999. Salaojan vaikutus pohjaveden pinnan tasoon johti syvällä maaperässä siihen, että elinolosuhteet maan kuivuessa ja toisaalta myös routaantuessa säilyivät kastelierojen kannalta edullisempina juuri salaojan kohdalla. Tämä selittää ainakin osittain kastelierojen runsaampaa esiintymistä salaojan kohdalla.</p> <p>Lieronkäytävät toimivat maaperässä makrohuokosina: reitteinä juurille, kaasunvaihtokanavina sekä tehostavat pintavesien virtausta syvemmälle maahan. Ne pysyvät avoimina myös märässä maassa ja voivat säilyä pitkään toimintakykyisinä pohjamaassa. Lieronkäytävät voivat olla yhteydessä muuhun maaperän huokos- ja halkeamaverkostoon ja salaojan välittömässä läheisyydessä olevien käytävien on havaittu olevan yhteydessä salaojaputkeen tai aivan sen lähelle. Käytävällä voi myös olla huomattava ohivirtausvaikutus, jolloin mm. lannoitteet ja kemikaalit voivat huuhtoutua sen kautta suoraan pohjaveteen tai vesistöihin. Käytävien merkitys savialueiden viljelymaan vesitaloudessa on huomattava.</p> <p>Salaojan voi ajatella olevan viljelymaassa häiriötekijä, laikku, joka lisää yhteisön heterogeenisuutta. Se voi olla myös stabiloiva tekijä ylläpitäessään paikallisesti vakaampia olosuhteita. Salaoja voi olla kastelieron esiintymisen mahdollistava tekijä sekä toimia lieron lisääntymisalueena, josta käsin ojien välinen alue voidaan asuttaa.</p> <p>Ilmiön laajuuden selvittämiseksi tulisi tutkimuksia laajentaa useammille alueille ja maalajeille. Myös salaojan mahdollista merkitystä kastelieron lisääntymisalueena tulisi tutkia lähemmin.</p>			
Muita tietoja			
Osa tuloksista julk.: Nuutinen ym. (2001), lehdessä: European Journal of Soil Biology 37: 301-304.			

Sisältö

1	Johdanto	1
1.1	Lierojen rakenteesta	1
1.2	Lierojen ekologiset ryhmät	2
1.3	Maaperän rakenteesta	3
1.4	Lierojen toiminta maaperässä	4
1.4.1	Vaikutukset hajotukseen ja ravinteiden kiertoon	5
1.4.2	Vaikutukset maan rakenteeseen	7
1.4.3	Lierot ekosysteemi-insinööreinä	9
1.5	Suomen lierosto	9
1.6	Lierot viljelymaassa	10
1.6.1	Viljelytoiminnan vaikutus lieroihin	10
1.6.2	Lieronkäytävät viljelymaan makrohuokosina	12
1.7	Yhteys salaojitukseen	13
1.8	Tutkimusongelmat	15
2	Aineisto ja menetelmät	17
2.1	Tutkimusalue	17
2.2	Kastelierotiheyden arviointi	18
2.3	Endogeeisten lajien tiheyden arviointi	19
2.4	Sinappimenetelmän tehokkuuden arviointi	20
2.5	Näytteiden käsittely	21
2.6	Sää ja maaperä	21
2.7	Tilastolliset analyysit	22
2.7.1	Kastelierot	22
2.7.2	Endogeeiset lierot	23

3 Tulokset	24
3.1 Kasteliero	24
3.1.1 Oja-ojavälivertailu vuonna 1998	24
3.1.2 Oja-ojavälivertailu vuonna 1999	27
3.1.3 Tarkennettu kastelieroaineisto	27
3.2 Endogeeiset lierot	29
3.3 Sinappimenetelmän tehokkuuden arviointi	31
3.4 Sää ja maaperä	32
3.4.1 Sade ja lämpötila	32
3.4.2 Maaperän ravinteet, kosteus ja routaantuminen	32
4 Pohdinta	36
4.1 Tulosten tarkastelu	36
4.1.1 Lierojen runsauden vaihtelua selittäviä tekijöitä	36
4.1.2 Aineiston rajoituksia ja virhelähteitä	39
4.2 Johtopäätökset	41
4.2.1 Merkitys viljelymaan prosesseille	41
4.2.2 Lierojen tilavaihtelun huomioiminen	43
4.3 Jatkotutkimuksia	46
5 Yhteenveto	48
Kiitokset	50
Viitteet	51
Liite 1	56

1 Johdanto

Lierot (*Lumbricidae*) on harvasukasmatoihin (*Oligochaeta*; pääjakso *Annelida*, nivelmadot) kuuluva selkärangattomien maaperäeläinten heimo, joka sisältää valtaosan Euroopassa esiintyvistä lierolajeista (Sims & Gerard, 1985). Vilkasta keskustelua lierolajien taksonomisesta luokittelusta ja nimeämisestä on käyty jo useita vuosikymmeniä: Easton (1983) esitti *Lumbricidae*-heimoon kuuluvaksi n. 390 erikseen nimettyä lajia tai alalajia, nyttemmin on arvioitu lajimääräksi n. 670 (Blakemore, 2006). Morfologia, elintavat, esiintyminen ja maaperän kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien sietokyky vaihtelevat huomattavasti lajien välillä. Kaikkiaan lierot ovat levittäytyneet laajalti monelaisiin elinympäristöihin. Aavikoilta ja kuivilta ruohostomailta ne kuitenkin puuttuvat ja pohjoisten alueiden happamissa metsä- ja kangasmaissa jäävät harvalukuisiksi (Bardgett, 2005).

1.1 Lierojen rakenteesta

Lierot ovat tukirangattomia ja niiden pitkänomainen ruumis koostuu perättäisistä jaokkeista, joista jokaisessa aivan paria ensimmäistä lukuunottamatta on kahdeksan lyhyttä sukasta, usein ryhmittyneenä neljäksi pariiksi. Ensimmäisessä jaokkeessa olevan suun yläpuolella sijaitsee huuliliuska (prostomium), jota liero käyttää apuna syödessään. Hengityselimenä toimivan ihon alla on kaksi lihaskerrosta, päällimmäisenä ruumiin ympäri kiertävä rengaslihas ja sen alla lieron pituussuuntainen pitkittäislihas. Pitkittäislihasten supistamisesta seuraa jaokkeiden laajeneminen sivuille, jolloin syntyy sivuttaissuuntainen paine, ja vastaavasti rengaslihasten supistaminen aikaansaa jaokkeiden pitenemisen ja ohenemisen aiheuttaen pituussuuntaisen paineen. Näitä vuorottelemalla liero laajentaa vapaata tilaa ympärillään ja kykenee näin tehokkaasti tunkeutumaan maahan.

Nesteen täyttämä ruumiinontelo jakautuu ulkoisia jaokkeita vastaaviin, väliseinien (septum) jakamiin osiin. Ruumiinontelon keskellä kulkee putkimainen ruoansulatuskanava. Suuontelosta seuraavana on lihasten ympäröimä nielu, josta ruokatorvi johtaa kupuun. Tämän jälkeen seuraa vahvaseinäinen lihasmaha, jossa karkea ravinto lihassupistusten ja ruoan mukana kulkeutuneiden mineraalikiteiden vaikutuksesta jauhautuu pienemmiksi partikkeleiksi. Lihasmahasta alkaa suoli, jossa tapahtuu ravintoaineiden imeytyminen ennen ulosteen poistumista peräaukosta.

Ruoansulatuskanavaan erittyy erilaisia ruoan pilkkoutumiseen vaikuttavia entsyymejä, joiden kirjo on melkoinen ja vaihtelee lierolajeittain. Tutkimuksissa on havaittu mm.

sellulaaseja, kitinaaseja, proteaaseja, amylaaseja ja lipaaseja, joista osa lienee lieron suolistomikrobien tuottamia. Useimmat lajit erittävät lisäksi kalkkirauhasistaan kalsiumkarbonaattia, jonka on arveltu liittyvän mm. ruoansulatuskanavan pH-tason säätelyyn (Edwards & Bohlen, 1996).

Pääosa keskeisistä elimistä sijoittuu ruumiin etuosaan. Aivogangliossa (3. jaokkeessa) yhdistyvät etupään hermot ja takapäähän saakka ulottuva hermopunos, vatsaydin, joka haarautuu jokaiseen jaokkeeseen, tästä syntyy käsite tikapuuhermosto. Verenkierto on suljettu ja verta pumppaavat parittaiset kylkisydämet. Kuona-aineiden poistosta huolehtivat lähes joka jaokkeessa yleensä pareittain sijaitsevat nefridiot, joiden tiehyet avautuvat valtaosalla lajeista suoraan lieron ulkopinnalle.

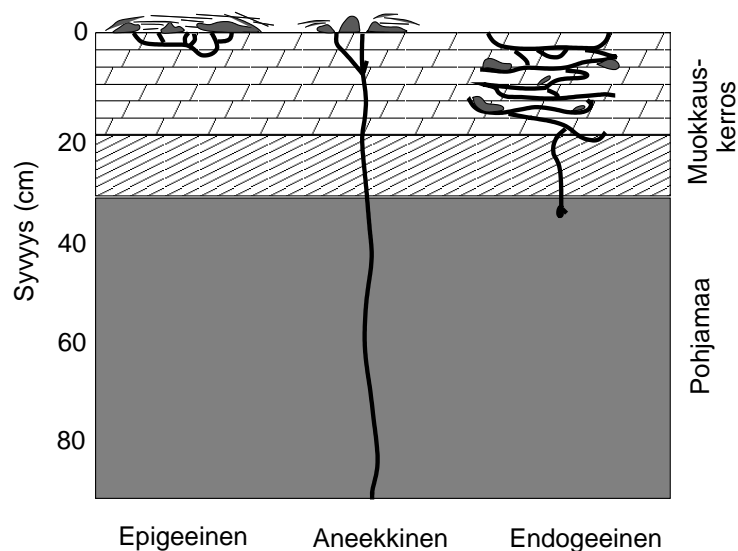
Lierot ovat kaksineuvoisia ja molemmat sukupuoliaukot sijaitsevat lieron etupäässä: selkeästi erottuvat siittiöjohtimien aukot ja niiden etupuolella pienet munanjohtimien aukot usein 13–15. jaokkeissa. Sukukypsällä yksilöllä erottuu lisäksi ruumiin paksunnos eli vyö (clitellum), jonka reunassa molemmilla kyljillä on nystymäiset tai vallimaiset paksunnokset, parittelukyhmyt. Vyö tuottaa munakotelon (engl. cocoon), josta hedelmöityksen jälkeen tapahtuvan suoran yksilönkehityksen tuloksena kuoriutuu lopulta ulkonäöltään aikuista muistuttava nuori liero.

1.2 Lierojen ekologiset ryhmät

Lierolajien elintavoissa ja ulkoisessa olemuksessa on suuria eroavaisuuksia. Niiden perusteella lajeja on pyritty ryhmittelemään suuremmiksi, ekologiaaltaan samankaltaisten lajien ryhmiksi. Yleisesti käyttöön on vakiintunut Bouchén (1977) esittämä ryhmittely, jonka mukaan lierolajit jaetaan elintapojensa mukaisesti kolmeen ekologiseen ryhmään: epigeisiin (engl. epigeic), aneekkisiin (anecic) ja endogeeisiin (endogeic) lajeihin. Seuraavassa näiden ryhmien tunnusomaiset Edwardsin ja Bohlenin (1996) mukaan.

Epigeiset lajit elävät maan pintaa peittävässä karikkeessa, eivät kaiva pysyviä käytäviä eivätkä muutamaa lajia lukuunottamatta kaivaudu syvälle maahan ja kaivautuvillakin käytävät sijaitsevat aivan maan pinnassa (kuva 1). Ravintonaan lajit käyttävät lähes yksinomaan kariketta, kaivautuvat lajit saattavat syödä myös hieman maata. Yksilöt ovat pienikokoisia, nopealiikkeisiä ja lähes kauttaaltaan voimakkaasti pigmentoituneita. Epigeisiin lajeihin kohdistuu voimakas saalistuspaine.

Aneekkisten lajien yksilöt elävät kaivamissaan pysyvissä, pystysuorissa käytävissä (kuva 1), jotka ulottuvat syvälle mineraalimaahan, kotimaisten havaintojen mukaan jopa yli metrin syvyyteen. Maata kulkeutuu lierojen ruoansulatuskanavaan kaivautumisen yhteydessä, mutta pääasialliseksi ravinnokseen ne käyttävät maatuvia kasvinosia, jotka



Kuva 1: Lierojen ekologiset ryhmät ja kunkin ryhmän käytäville tyypilliset piirteet peltoaaprofilissa. Muokkauskerroksen alaosaan muodostuu painavien maatalouskoneiden käytön seurauksena usein vettä huonosti läpäisevä tiivistymiskerros (myös muokausantura tai jankko), joka on kuvassa esitetty vinoviivoitettuna.

vedetään ruokailua varten sisään käytävään. Ulostaminen puolestaan tapahtuu maan pinnalle. Ulostetut ja kasvinosat muodostavat asutun käytävän suuaukolle vähitellen ravinteikkaan muodostelman, ”keon” (engl. midden). Yksilöt ovat suurikokoisia ja yleensä vain eturuumiin alueelta pigmentoituneita. Vaaran uhatessa ne sujahtavat nopeasti suojaan käytäväänsä. Aneekiset lajit ovat suojaan käytävissään, mutta niihin kohdistuva saalistus on suurta niiden liikkeessä maan pinnalla ravinnonhaussa.

Endogeeiset lajit elävät pintamaassa 10–20 cm syvyyteen ulottuvalla vyöhykkeellä, jossa ne kaivavat runsaasti tilapäisiä, eri suuntiin risteileviä käytäviä (kuva 1). Lisäksi nämä lajit voivat kuivuutta ja routaa paetessaan kaivautua syvemmälle maahan, tuoreen kotimaisen havainnon mukaan jopa metrin syvyyteen (Nuutinen ym., 2008), missä ne kääriytyvät tiukalle ”kiepille”. Ravinnokseen lajit käyttävät mineraalimaata, jossa on mukana orgaanista ainesta. Yksilöt ovat keskikokoisia ja hidasliikkeisiä, eikä niillä yleensä ole pigmenttiä lainkaan tai sitä on erittäin vähän. Endogeeisiin lajeihin kohdistuva saalistus on alhaista, uhkana ovat lähinnä eräät linnut ja niveljalkaispedot.

1.3 Maaperän rakenteesta

Maaperä koostuu kiinteästä aineksesta, nesteestä ja kaasusta. Kiinteää ainesta ovat eloperäinen, pääasiassa kasveista peräisin oleva materiaali ja kallioperästä rapautunut mineraaleista koostuva kiviaines. Jälkimmäinen jaetaan raekokonsa perusteella eri ko-

koluokkiin, maalaajitteisiin, joita ovat mm. sora, hiekka ja saves. Yhdessä nämä kiinteät ainekset muodostavat maamatriisin eli maaperän perusrakenteen. Matriisin hienoin osa koostuu kiteytymättömistä aineksista kuten savesmineraaleista, metallihydroksideista ja humusainemolekyyleistä. Kaikkein pienimpiä hiukkasia kutsutaan kolloideiksi.

Kun yksittäiset maahiukkaset liittyvät yhteen, syntyy muru eli aggregaatti: hajotusvoimia (mm. vesi, tuuli) vastustava, pysyvä rakenne. Muruja pitävät koossa heikot sähköiset voimat, ja murujen rakenne onkin herkästi hajoava. Kestävämpiä muruja syntyy, jos matriisin savesainepitoisuus on korkea. Myös kolloidit toimivat tehokkaana sidosaineena (Westman, 1991), samoin mikrobien sokeripitoiset eritteet sekä sienirihmastot (Bardgett, 2005). Hiukkasen koon pienentyessä sen pinta-tilavuussuhde kasvaa, mikä ansiosta maan hienoaineksen, erityisesti saveksen, ioninvaihtokapasiteetti on suuri. Maaperän ioninpidätyskapasiteetti on tärkeä varsinkin kasvien kannalta, sillä niille tärkeät aineet liikkuvat maaperässä pääasiassa ionimuodossa.

Matriisin rakenne, sen huokostila sekä hienon aineksen määrä ja muodostuminen määrittelevät pitkälti maaperän ravinteisuuden ja vedenpidätyskyvyn (Westman, 1991). Huokosten koko ja määrä vaikuttavat puolestaan maaperän kaasujen vaihtoon. Mururakenteisen maan huokosten kokojakauma on näiden toimintojen kannalta usein hienojakoista maata edullisempi murujen väliseen tilaan muodostuvien kanavien ansiosta.

Huokokset jaetaan kokonsa perusteella kolmeen ryhmään: mikro-, meso- ja makrohuokosiin. Mikrohuokokset ovat pienimpiä, halkaisijaltaan alle 0,0002 mm, joihin pidättyvää vettä kasvit eivät pysty hyödyntämään, koska vettä imevät juurikarvat eivät mahdu niiden sisälle. Keskikoiset mesohuokokset, halkaisijaltaan 0,0002 mm–0,030 mm, pidättävät vettä ja toimivat kasvien vesilähteinä. Suurimmat makrohuokokset, halkaisijaltaan yli 0,03 mm, eivät varastoi vettä, koska ovat kooltaan niin suuria, että vesi poistuu niistä painovoimaisesti. Vesi pidättyy maaperässä sekä ohuena, maahiukkasia ympäröivänä kalvona (adsorptio) että kapillaarisesti mikro- ja mesohuokosissa (Westman, 1991).

1.4 Lierojen toiminta maaperässä

Suurikokoiset lierot kuuluvat mm. nilviäisten, kovakuoriaisten ja eräiden tuhatjalkaisten tavoin maaperän makroeliöstöön. Tuottavilla multamailla voi jopa suurin osa maaperän eläinbiomassasta olla peräisin juuri lieroista (Bardgett, 2005).

Lierot vaikuttavat maaperäekosysteemin toimintaan monin eri tavoin, ja niiden osuutta aineiden kiertokulussa pidetään merkittävänä. Lierot ovat tärkeässä roolissa monissa maaperän tapahtumissa: ne nopeuttavat orgaanisen aineksen hajoamista (Brown, 1995) ja parantavat ravinteiden saatavuutta ja sitä kautta kasvien tuottavuutta (Scheu,

1987; Brown, 1995) mm. kiihdyttämällä ravinteiden muuntumista orgaanisesta muodosta epäorgaaniseen, kasveille käyttökelpoiseen muotoon (mineralisaatio) (Edwards & Bohlen, 1996). Lierojen toiminta vaikuttaa myös pitkällä aikavälillä maaprofilin kehittymiseen (Lavelle & Martin, 1992).

Lierojen tärkeimmät vaikutusmekanismit voidaan jakaa karkeasti kahteen osa-alueeseen: hajotustoiminnan vaikutuksiin maaperän orgaanisen aineen pilkkomisessa ja ravinteiden kierrossa sekä kaivamistoiminnan vaikutuksiin maaperän fysikaalisen rakenteen osalta. Nämäkin vaikutukset ovat osin päällekkäisiä ja liittyvät kiinteästi toisiinsa. Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan hieman tarkemmin pientä osaa niistä prosesseista, joiden yhteenliittymät johtavat suuren mittakaavan vaikutuksiin.

1.4.1 Vaikutukset hajotukseen ja ravinteiden kiertoon

Maan pinnalle päätyvän orgaanisen materiaalin hajoamisnopeus vaihtelee suuresti. Osa hajoaa nopeasti suoraan mikrobien vaikutuksesta, mutta varsinkin kovemman aineksen ja suurikokoisten partikkelien (juuret, paksut lehdet ym.) lopullista hajoamista helpottaa, jos niitä ensin pilkotaan ja pehmennetään maaperäeläinten toimesta. Tässä toiminnassa lieroilla on usein merkittävä osuus.

Lierot käyttävät ravinnokseen maaperän orgaanista ainesta ja sen mukana kulkeutuvaa pieneliöstöä, kuten sieniä, leviä ja bakteereita. Ne pilkkovat suuria ravintopartikkeleita pienemmiksi sekä mekaanisesti ruoansulatuskanavassaan (lihasmaha) hienontamalla että kemiallisesti mm. entsyymien avulla. Osittain entsyymit ovat lieron itsensä erittämiä, osittain niitä tuottavat suolistomikrobit. Eräillä niveljalkaisilla on suolistossaan symbionttisia mikrobeja (esim. Zimmer & Topp, 1998), mutta lieroilla vastaavasta ei ole juurikaan näyttöä ja mikrobikannan lierojen suolistossa on todettu vastaavan pääosin ympäröivän maan kantaa (Edwards & Bohlen, 1996).

Mikrobien toiminta voi suolessa tehostua huomattavasti. Brown (1995) mainitsee suoliston mikrobiaktiivisuuden voivan olla lierolajista riippuen 2–12-kertainen ympäröivään maahan verrattuna. Tätä selittänevät monille mikrobeille suotuisat olosuhteet: neutraalihko pH, lieron erittämän liman sisältämät liukoiset hiiliyhdisteet, hienoksi jauhautunut orgaaninen aines ja korkea kosteuspitoisuus. Aina vaikutukset eivät kuitenkaan ole suotuisat ja pieneliöstön vaste vaihtelee suuresti. Esimerkiksi joidenkin sieni-itiöiden itämisen on todettu heikentyvän (Moody ym., 1996). Eräät sienet ja bakteerit myös tuottavat antibioottisia yhdisteitä, jotka voivat estää muiden mikrobien kasvua ja jopa hidastaa lieron kehitystä (Brown, 1995).

Kulku ruoansulatuskanavan läpi voi myös katkaista siementen lepotilan (Pierce & Rog-

gero, 1994; Scheu, 2003). Lierot voivat siten vaikuttaa kasvien leviämiseen, kun kasvien siemenet joutuvat lieron suolistoon, kulkeutuvat eläimen mukana uusille paikoille ja lopulta poistuessaan ulosteen mukana saavat vielä ympärilleen täsmälannoituksen (Pearce & Roggero, 1994). Toisaalta lierot voivat kuljettaa mukanaan myös haitallisia sieniä ja bakteereita tai aktivoita niiden kasvua maaperässä ja näin levittää mm. kasveille haitallisia sienitauteja (Brown, 1995).

Pilkkoutunut, osittain hajonnut aines palaa lopulta muiden maaperässä toimivien hajottajien saataville ulosteina, lierolajin elintavoista riippuen joko maan pinnalle tai käytäviin perusmaan joukkoon. Muun hajottajayhteisön kannalta ravinto on nyt helpommin käytettävässä muodossa: ulosteissa olevan pilkotun karikkeen pinta-ala on alkupe räistä kariketta suurempi ja hienojakoisen aineksen osuus ympäröivää maata korkeampi (Sharpley & Syers, 1976).

Mikrobien määrän ja aktiivisuuden on useissa tutkimuksissa todettu olevan tuoreissa ulosteissa ympäröivää maata korkeampia. Lisäksi ulosteissa on havaittu kohonneita entsyymipitoisuuksia, joihin voi olla syynä entsyymien jalostuminen lieron ruoansulatuskanavassa mikrobien toimesta tai ulosteiden mikrobeille tarjoama suotuisa elinympäristö (Bardgett, 2005).

Ulosteiden on myös todettu sisältävän ympäröivään maahan verrattuna runsaasti mm. fosforia (Sharpley & Syers, 1976) ja typpiyhdisteitä, joista osa on jo valmiiksi epäorgaanisessa muodossa (Lavelle & Martin, 1992). Lieron ruoansulatuskanavaansa erittämä lima sisältää hiiliyhdisteitä, jotka kohottavat ulosteen hiilipitoisuutta verrattuna ympäristöön (Edwards & Bohlen, 1996). Toisaalta joissakin tutkimuksissa on myös havaittu C:N-suhteen olevan lieron ulosteissa alhaisempi kuin sen ravintona käyttämässä karikkeessa (esim. Cortez ym., 1989). Alhaisempi C:N-suhde mahdollistaa nettomineralisaation, jonka seurauksena maaperässä muodostuu suoraan kasveille käyttökelpoisessa muodossa olevaa mineraalityppeä (Bardgett, 2005).

Aktiivisista prosesseista johtuen tuoreista ulosteista tapahtuva ravinteiden huuhtoutuminen voi olla huomattavan suurta. Esim. Sharpley ja Syers (1976) totesivat lieron ulosteen hienojakoisessa osassa, joka on herkästi huuhtoutuvaa ainesta, fosforipitoisuuden olevan kaksinkertainen ympäröivään maahan verrattuna. Liukoisten lopputuotteiden lisäksi lierot voivat vaikuttaa ravinteiden huuhtoutumista nopeuttavasti myös ruokaillessaan: maanpinta, jolta suojaava karikekerros on syöty pois, on alttiimpi mm. sateen vaikutuksille.

Tehostunut hajoaminen ja ravinteiden vapautuminen kestää kuitenkin vain lyhyen aikaa, minkä jälkeen kohonnut mikrobiaktiivisuus palautuu normaalitasolle. Maissa, joissa esiintyy savimineraaleja, saattaa tämä tehostunut jakso kestää pidempään kuin hiek-

kamailla, joissa sen kesto voi olla jopa vain muutamia päiviä (Lavelle & Martin, 1992).

Yleisesti lierojen toiminnan on todettu nopeuttavan hiilen mineralisaatiota (Edwards & Bohlen, 1996). Trooppisella lierolajilla tehdyssä tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että tehokkaan hajoamisvaiheen jälkeen lierojen ulosteissa oleva orgaaninen aines hajosi hitaammin kuin aines maassa, joka ei ollut lierojen käsittelemää (Martin, 1991). Vielä yli vuotta myöhemmin orgaanisen aineksen pitoisuus ulosteessa oli 10% suurempi kuin maassa. Tämän perusteella Lavelle ja Martin (1992) ovat esittäneet, että vanhetessaan lierojen ulosteet voivatkin muuttua orgaanisen aineksen varastoiksi.

Aihetta on sittemmin tutkittu myös lauhkeassa ilmastossa. Ilmiön olemassaolosta on sielläkin saatu viitteitä, mutta lisätutkimuksia tarvitaan edelleen. Edwards ja Bohlen (1996) kuitenkin arvioivat, että ilmiö saattaa olla hyvinkin tärkeä myös lauhkeilla alueilla.

1.4.2 Vaikutukset maan rakenteeseen

Lierojen toiminta-alueen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet eroavat usein huomattavasti ympäröivästä maasta. Esimerkiksi kastelieron käytävien seinämässä on todettu ympäristöään korkeampia pH-arvoja ja enemmän tyypeä. Lieron ihosta seinämiin tarttuva limainen erite tarjonnee myös suotuisat elinolot joillekin sienille ja bakteereille (Edwards & Bohlen, 1996). Tästä ohuesta kerroksesta käytävän seinämässä onkin alettu käyttää erityistä termiä drilosfääri (engl. drilosphere) (Lee & Foster, 1991). Toisinaan sanaa käytetään myös laajemmassa merkityksessä, jolloin drilosfääriksi kutsutaan koko sitä aluetta, johon lierojen toiminta vaikuttaa (Lavelle & Martin, 1992).

Lierot vaikuttavat maaperän rakenteeseen pääasiassa kahdella tapaa: pilkkomalla maaperän orgaanista ainesta pienempiin osiin samalla sekoittaen sitä maa-aineksen joukkoon ja kaivamalla maahan käytäviä kuljettaen pohjamaata maan pintakerrokseen (Edwards & Bohlen, 1996).

Endogeeisillä lajeilla on tiheä, pääasiassa horisontaalinen ja maan pintaosiin sijoittuva käytäväverkosto, ja maa-aineksen osuus niiden ravinnossa on muita lajiryhmiä huomattavampi. Näiden lajien onkin todettu nopeuttavan huomattavasti maaperän ainesten sekoittumista (nk. bioturbaatio) ja mullan muodostumista, samalla lisäten ravinteiden saatavuutta (Scheu, 1987). Myös aneekiset lajit sekoittavat maa-aineksiä tehokkaasti: ravintoa syvälle käytäviinsä vetäessään ne hautaavat orgaanista ainesta ja maan pinnalle ulostaessaan siirtävät pohjamaata ylöspäin maaprofilissa.

Maaperän mururakenne voi olla hyvä, vaikka lierot eivät kuuluisikaan sen eläimistöön. Kuitenkin siellä, missä lieroja on, niiden vaikutus mururakenteen muodostumiseen voi

olla merkittävä (Edwards & Bohlen, 1996). Vaikutustapoja on pääasiassa kaksi, joista toinen on maa-aineksen sekoittaminen: ruokaillessaan lierot tuovat orgaanista ainesta ja mineraalipartikkeleita kosketuksiin toistensa kanssa, mitä ruoansulatuskanavassa tapahtuva intensiivinen hienontaminen ja sekoittaminen vielä tehostavat.

Toinen, Edwardsin ja Bohlenin (1996) mukaan pääasiallinen, tekijä on ulosteissa tapahtuva murustuminen, jonka aiheuttajiksi on ehdotettu monenlaisia tekijöitä: sidosaineena toimivaa lieron tai bakteerien eritettä, mekaanista kiinnittymistä kasvikuidon tai sienirihmaston avulla, orgaanisen ja mineraalisen osan välisiä sidoksia, kostumiskuivumissykliä sekä orgaanisia sidoksia yhdessä ajan myötä tapahtuvan kovettumisen kanssa. Murustumisen voimakkuus myös vaihtelee suuresti mm. lajin tai lierojen ravinnon mukaan. Prosessi on ilmeisen tehokas, sillä pintamaan rakenteellisista muruista jopa valtaosa voi olla peräisin juuri tästä lähteestä (Lee & Foster, 1991).

Edellämainittujen tapojen lisäksi murustumista voi mahdollisesti tapahtua myös lierokäytävän seinämissä (Edwards & Bohlen, 1996).

Maaperän nesteiden- ja kaasujenvaihto tapahtuu huokosten kautta. Murujen ja maapartikkelien välisten mikro- ja mesohuokosten lisäksi maassa on suurikokoisia makrohuokosia, joihin luetaan kuuluvaksi myös lierojen muodostamat käytävät.

Käytävien tiheys vaihtelee suuresti alueittain ja siihen vaikuttavat mm. ilmasto, maalaji, maankäyttö ja lieropopulaation koko. Tyypillisesti tiheys on n. 100-300 käytävää neliömetrillä (Lee & Foster, 1991), mutta suotuisissa olosuhteissa määrä voi olla huomattavastikin suurempi. Hylätyt käytävät voivat lisäksi säilyä syvemmällä maassa pitkään avoimina (Nuutinen, 2000), jolloin pitkän ajan kuluessa maan käytävätiheys kasvaa.

Aneekkisten lajien syvälle ulottuvat, pystysuorat ja pinnalle avautuvat käytävät ovat merkittäviä veden virtausreittejä (mm. Edwards ym., 1988), mutta myös endogeeisten lajien pääasiassa vaakasuoran ja harvoin pinnalle avautuvan käytäväverkoston on todettu johtavan vettä tehokkaasti (Joschko ym., 1992).

Lierojen puuttuminen maaperästä voi myös johtaa lisääntyneeseen pintavaluntaan ja siten lisääntyneeseen hienoaineksen ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Esimerkiksi Sharpley ym. (1979) havaitsivat, että lierojen eliminointi laidunmaalta aiheutti infiltraation (veden imeytymisnopeuden) putoamisen kolmannekseen lierojen läsnäollessa havaitusta. Samanaikaisesti epäorgaanisten typen ja fosforin huuhtoutuminen pintavalunnan mukana kolminkertaistui. Vastaavia kytkentöjä pintavalunnan ja infiltraation välillä on todettu lukuisissa muissakin tutkimuksissa.

1.4.3 Lierot ekosysteemi-insinööreinä

Edelläolevan perusteella voidaan todeta lierojen vaikuttavan toiminnallaan maaperän muuhun eliöstöön sekä vielä niitäkin pidemmälle: maasta voimansa ottavaan kasvilisuuteen. Paitsi tarjoamalla suoraan ravintoa hajottajille ulosteiden muodossa, lierot vaikuttavat ympäristöönsä myös välillisesti oman toimintansa ohella. Kaivautuessaan lierot ilmastavat ja kuohkeuttavat ympäristöään, lisäävät makrohuokosten määrää ja siten vaikuttavat mm. maaperän vesitalouteen. Maan fysikaalista rakennetta muuttaessaan ne samalla muokkaavat myös muiden eliöiden elinympäristöä, vaikuttavat niiden toimintaan, joko myönteisesti tai kielteisesti, ja tätä kautta aineiden liikkumiseen maaperässä.

Tässä valossa lieroja voidaankin kutsua ekosysteemi-insinööreiksi (engl. ecosystem engineers): ne aiheuttavat toiminnallaan fysikaalisia muutoksia, jotka vaikuttavat suoraan tai epäsuorasti muiden lajien resurssien saatavuuteen (Jones ym., 1994). Näin ne voivat muokata, ylläpitää tai luoda kokonaan uusia elinympäristöjä. Lieroja pidetään termiittien ohella yhtenä tärkeimmistä maaperän ekosysteemi-insinööreistä, koska niiden maan fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia muuttava toiminta on laajaa ja sen vaikutukset pitkäaikaisia (Brussaard, 1998).

1.5 Suomen lierosto

Maassamme on tavattu 16 eri lierolajia (Terhivuo, 1988). Määrä on alhainen verrattuna Keski- ja Etelä-Eurooppaan, missä lajimäärä liikkuu useissa kymmenissä alueesta riippuen (esim. Sveitsi 38 lajia, Italia 57 lajia; Edwards & Bohlen (1996)). Lajien vähyys selittyy karujen ilmasto-olosuhteiden lisäksi myös lierostomme nuorella iällä: nykyiset lajimme ovat levinneet maahamme vasta jääkauden jälkeen, eivätkä kaikki lajit ole välttämättä vielä ehtineet Suomeen lainkaan (Terhivuo, 1988).

Lajistostamme löytyy edustajia kaikista kolmesta ekologisesta ryhmästä: epigeisiä lajeja ovat mm. metsäliero (*Dendrobaena octaedra*) ja onkiliero (*Lumbricus rubellus*) ja endogeeisiä lajeja edustaa esimerkiksi peltoliero (*Aporrectodea caliginosa*). Aneekkisista lajeista Suomessa tavataan harvinaista tarhalieroa (*Aporrectodea longa*) ja kasteliero (*Lumbricus terrestris*), joka on kookkain lajeistamme.

Kaikkein laajimmalle ovat levittäytyneet metsäliero ja punaliero (*Dendrodrilus rubidus*), joita tavataan aivan maamme pohjoisosissa saakka (Terhivuo, 1988). Nämä suvuttomasti lisääntyvät lajit viihtyvät mm. tuoreissa metsissä ja niityillä, eivätkä ole merkittävästi sidoksissa ihmisen muokkaamiin elinympäristöihin. Ne elävät karikkeessa

tai aivan maan pintaosissa alttiina luonnonvoimille ja eläimille. Tämä mahdollistaa passiivisen levittäytymisen esimerkiksi tulvien ja tuulten mukana tai eläimiin tarttuneina uusille elinalueille, missä yksi yksilö voi perustaa kokonaisen uuden populaation. Valtaosa maamme lierolajeista on kaivautuvia, useimmiten suvullisesti lisääntyviä. Näille lajeille ihmisen muokkaamat elinympäristöt ovat tärkeitä varsinkin levinneisyysalueen pohjoisreunalla (Terhivuo, 1988).

1.6 Lierot viljelymaassa

Maamme peltomaiden lierolajistoa on selvitetty aivan viime aikoina (Nieminen ym., 2008). Eri puolilta Suomea sekä pellolta että pientareelta kerättyjen lieronäytteiden perusteella on saatu ajantasaista tietoa lajiston koostumuksesta ja mm. maantieteellisen sijainnin, maalajin ja viljelytavan vaikutuksista lajistoon.

Koko maan yhteenvetona peltomaiden lajistossamme ovat edustettuina kaikki kolme ekologista ryhmää yhteensä yhdeksän lajin voimin: epigeeisistä lajeista onki-, metsä- ja punaliero sekä ruskoliero (*Lumbricus castaneus*), endogeeisistä lajeista peltoliero, multaliero (*Aporrectodea rosea*), harmaaliero (*Octolasion lacteum*) ja viherliero (*Allolobophora chlorotica*) sekä aneekkisista lajeista kasteliero.

Pientareilta on tavattu kaikkia lajeja ja peltomaastakin kahdeksaa, ainoastaan ruskolieron esiintyessä vain pientareilla. Yleisimmin esiintyviä lajeja ovat pelto-, kaste- ja onkiliero, joista erityisesti peltolieroa on havaittu lähes kaikissa laskentapisteissä sekä pellolla että pientareella. Kaikkiaan pientareiden lajisto on runsaampi kuin pellon, sillä siellä viihtyvät myös pintakarikkeessa elävät lajit.

Pientareen yksilömäärän todettiin olevan yli kaksinkertainen peltoon (runsaat sata yksilöä neliometrillä) verrattuna. Maalajeista parhaiten lierot viihtyvät hiesumailla, joiden keskimääräinen yksilömäärä oli vajaat 400 yksilöä neliometrillä, kun savimailla määrä jäi alle sataan yksilöön neliometrillä.

1.6.1 Viljelytoiminnan vaikutus lieroihin

Viljelykäytössä olevilla mailla tehdään monenlaisia toimenpiteitä, joiden vaikutukset tuntuvat myös maanpinnan alapuolella. Tällaisia toimia ovat mm. maan muokkaus, kuivaus, sadonkorjuu, kalkitus, lannoittaminen ja erilaisten kemikaalien, yleensä torjunta-aineiden, levitys. Nämä edellyttävät yleensä liikkumista pellolla erilaisilla työkoneilla, jotka vaikuttavat maata tiivistävästi.

Lierolajien määrä samoin kuin yksilötiheys viljelymaassa riippuu paljon siitä, millaisessa käytössä maa on. Diversiteetti on suurimmillaan kasvipeitteisillä vähän tai ei lainkaan häiriytyillä mailla (esim. pysyvä laidun, suorakylvetty maa) ja alenee intensiivisesti muokatuilla, jatkuvassa viljelyksessä olevilla pelloilla. Yksilömäärä on tyypillisesti nurmen peittämässä maassa noin kolminkertainen muokattuun maahan verrattuna (Edwards, 1983). Lierotiheyden aleneminen muokatussa maassa voi johtua siitä, että muokkauksessa käytettävät koneet vaurioittavat lieroja fyysisesti tai nostavat ne maan pintaan alttiiksi saalistukselle. Muokkaus voi myös hävittää maan pintaa suojaavan ja eristävän karikkekerroksen, minkä seurauksena olosuhteet muuttuvat lieroille epäedullisemmiksi (Edwards & Bohlen, 1996).

Perinteinen kyntö tuhoaa syvälle kaivautuvilla lajeilla niiden käytävän yläosan. Vaikka eläin itse pystyykin vetäytymään suojaan, se häiriintyy toistuvasta muokkauksesta ja väistyy alueelta. Pintamaan lajien taas on havaittu kaivavan käytäviään syvemmälle sellaisilla mailla, joita säännöllisesti muokataan (Edwards, 1983).

Maan muokkauksessa perinteisen kynnon tilalla voidaan käyttää kevennettyjä menetelmiä, joissa maanpinta jää kasvipeitteiseksi kasvukausien väliseksi ajaksi. Tällaisia menetelmiä ovat mm. auraton muokkaus ja suorakylvö. Aurattomassa viljelyssä maata ei kynnetä lainkaan, vaan muokkaus tehdään kevyemmin esimerkiksi kultivaattorilla, joka kääntää maata auraa vähemmän. Suorakylvössä kylvö tehdään ilman mitään edeltävää muokkausta edellisen kasvin sänkeen, jolloin maa pysyy jatkuvasti kasvipeitteisenä. Myös lannoitus voidaan tehdä yhtä aikaa kylvön kanssa, jolloin liikennöinti pellolla vähenee ja maan tiivistyminen on vähäisempää.

Lierotiheyden on havaittu kohoavan tällaisilla kevyesti tai ei lainkaan muokatuilla alueilla (Nuutinen, 1992; Alakukku ym., 2004). Kasvipeitteinen maanpinta ja sen tarjoama ravinto houkuttelee erityisesti syvälle kaivautuvia lajeja, sillä niiden yksilömäärä kasvaa huomattavimmin. Pintamaan lajeillakin tapahtuu runsastumista, mutta nousu on maltillinen (Edwards, 1983; Nuutinen, 1992).

Tärkein viljelymaan lieromäärää säätelevä tekijä lienee ravinnon saatavuus (Edwards & Bohlen, 1996). Tähän viittaavat myös kevytmuokkauksen yhteydessä tehdyt havainnot. Käytettävällä sadonkorjuumenetelmällä ja korjuujätteiden käsittelytavalla voi siten olla mahdollista vaikuttaa lierostoon. Jos kaikki tähteet kuljetetaan pois, maan pinnalla olevan orgaanisen aineksen määrä vähenee toistuvan sadonkorjuun myötä. Herkimmin tähän reagoivat ainesta ravinnokseen käyttävät lajit kuten kasteliero, ja niiden yksilömäärä alenee. Endogeeiset lajit, kuten peltoliero, puolestaan säilyvät edelleen suhteellisen runsaslukuisina (Edwards, 1983).

Korjuutähteiden ohella lierot voivat hyötyä lannoitteista, joita maatalousmaalle levi-

tetään säännöllisesti. Sekä orgaanisilla että epäorgaanisilla lannoitteilla on havaittu lierotiheyttä kasvattavia suoria vaikutuksia (Edwards & Bohlen, 1996), joskus myös epäsuorasti kasvien tehostuneen tuotannon välityksellä (Edwards, 1983). Nestemäisenä levitettävä liotelanta voi aiheuttaa hetkellisen piikin kuolleisuuteen, mutta sitä seuraa nopeasti lierojen runsastuminen (Edwards & Bohlen, 1996).

1.6.2 Lieronkäytävät viljelymaan makrohuokosina

Lierot vaikuttavat maatalousmaassa ravinteiden kiertoon, sekoittavat orgaanista ainesta ja kivennäismaata toisiinsa sekä parantavat maan rakennetta kaivamalla käytäviä ja tehostamalla murujen muodostumista. Nämä prosessit ovat käytännössä samanlaisia niin luonnossa kuin ihmisen muokkaamassa ympäristössäkin, ja niiden mekanismeja on jo melko laajasti selvitetty kappaleessa 1.4. Tarkastellaan kuitenkin hieman lähemmin yhtä niistä: makrohuokosina toimivia lieronkäytäviä ja niiden merkitystä maatalousmaassa.

Makrohuokosia on kahta tyyppiä: maan jäätyneen, kuivumisen tai muokkauksen seurauksena syntyviä halkeamia ja juurten ja lierojen vaikutuksesta syntyviä sylinterimäisiä ”biohuokosia” (Alakukku, 2000). Suuret makrohuokokset ovat erityisen hyödyllisiä jäykissä savimaissa, joissa hienojakoinen aines reagoi voimakkaasti olosuhteiden muutoksiin: kuivuessaan maa kovettuu ja kostuessaan turpoaa.

Kuivassa savimaassa juurten eteneminen on raskasta. Lisäksi kasvien vedensaanti vaikeutuu, kun vettä on jäljellä vain maahiukkasten välisissä mikrohuokosissa, jonne juuret eivät ylety. Syvälle ulottuvien makrohuokosten kautta juuret voivat tunkeutua pidemmälle pohjamaahan, missä kosteus säilyy kauimmin. Juurten onkin havaittu käyttävän kasvureitteinään mm. lierojen käytäviä (Pitkänen & Nuutinen, 1997). Käytävien houkuttelevuutta voivat vielä lisätä niiden seinämien erityisominaisuudet.

Kuivan maan jälleen kostuessa mekaanisesti syntyneet halkeamat turpoavat umpeen sylinterimäisten liero- ja juurikanavien säilyessä avoimina (Nuutinen, 2000). Niissä vesi pääsee liikkumaan silloinkin, kun maa muuten on vedenkyllästämää. Lieronkäytävien onkin todettu vaikuttavan ratkaisevasti tällaisen savimaan vedenläpäisykykyyn (Aura, 1991). Märässä maassa myös makrohuokosten happiolot voivat olla ympäröivää maata paremmat.

Vastakuoriutuneen lieron käytävä on halkaisijaltaan 1–2 mm, aikuisen kastelieron jopa yli 10 mm. Käytäviä voi olla viljelymaassa runsaasti: esimerkiksi lounaissuomalaisella savipellolla Pitkänen ja Nuutinen (1997) laskivat kokonaislukumääräksi 20 cm syvyydessä n. 1000 käytävää neliometrillä ja vielä 80 cm syvyydessäkin oli neliometrillä lä-

hes 200 käytävää. Tiiviissä savimaassa hylätyt käytävät voivat säilyä pitkään avoimina varsinkin pohjamaassa, minne muokkaus ei yllä.

Edellämainitun tutkimuksen mukaan suurin osa käytävistä maakerroksen yläosissa oli halkaisijaltaan melko pieniä (2–3 mm), mutta syvemmälle mentäessä suurehkojen (3–5 mm) käytävien suhteellinen osuus kasvoi. Tämä selittyy sillä, että käytävät syvällä maassa olivat lähes yksinomaan suurikokoisen kastelieron muodostamia. Suurehkoja käytäviä oli 20 cm syvyydessä n. 400 ja 80 cm syvyydessä n. 100 käytävää neliömetrillä. Koko maan tilavuudesta käytävien osuus oli kuitenkin pieni: kaikkien käytävien osuus tutkitusta maatilavuudesta oli 20 cm syvyydessä n. 1% ja 80 cm syvyydessä enää n. 0,2%.

Kun lieronkäytävien osuus maatilavuudesta on noinkin pieni, on hämmästyttävää kuinka suuri merkitys niillä silti voi olla pintavesien liikkumiseen. Useissa tutkimuksissa (mm. Edwards ym., 1988; Pitkänen & Nuutinen, 1995, 1998) on havaittu makrohuokosten, varsinkin lieronkäytävien, tehostavan infiltraatiota eli veden imeytymistä. Muutos nopeudessa voi olla huomattava, 2–10-kertaistumista on raportoitu usein (Lee & Foster, 1991). Erityisesti ilmiö on havaittu sellaisilla viljelymailla, joilla käytetään kevennettyä maanmuokkausta tai maata ei muokata lainkaan. Tämä selittyy sillä, että raskas muokkaus yleensä rikkoo käytävien rakenteen pintamaassa, jolloin veden virtaus niihin hidastuu tai estyy. Jotta käytävä johtaisi tehokkaasti vettä, sen täytyisi olla kokonaan avoin (Edwards & Bohlen, 1996).

Yksittäisten käytävien välillä voi olla huomattavia eroja vedenjohtokyvyssä, johon vaikuttavat mm. maanpinnan korkeuserot ja peitteisyys, maan kosteus ja maalaji. Myös sillä, millaiseen tilaan käytävä päättyy, on todettu olevan merkitystä. Savimaassa pohjamaahan päättyvän käytävän vedenjohtavuus on heikko (Urbánek & Doležal, 1994) mutta jos käytävä muuten tiiviissä maassa päättyy alueelle, joka on ympäröivää maata karkeampaa, infiltraatio tehostuu merkittävästi (Shipitalo & Gibbs, 2000). Erityisen hyvä vedenjohtokyky on kuitenkin havaittu sellaisilla lieronkäytävillä, jotka päättyvät maassa sijaitsevaan salaojaan (Urbánek & Doležal, 1994; Shipitalo & Gibbs, 2000).

1.7 Yhteys salaojitukseen

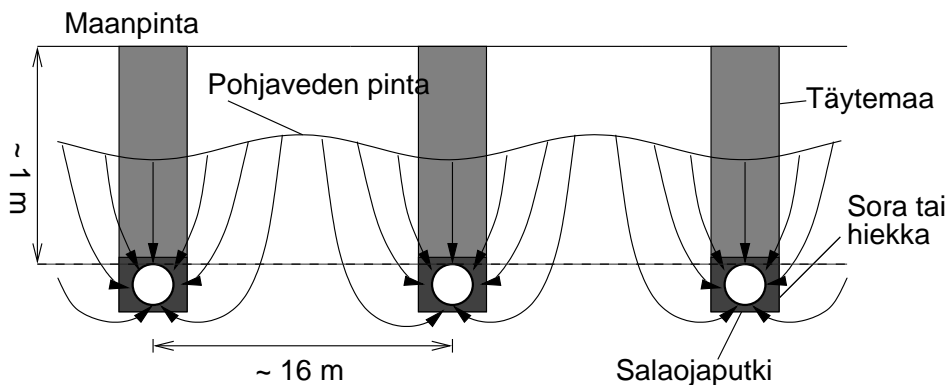
Viljelyolosuhteiden parantamiseksi ja liikaveden poisjohtamiseksi käytetään peltoviljelyssä avo-ojituksen lisänä tai sen sijasta salaojitusta. Salaojat ovat maan sisään sijoitettuja tiili- tai muoviputkistoja (aiemmin on käytetty myös lautaputkia), jotka johtavat vettä pois pohjamaasta. Salaojaputket sijoitetaan kapean ojakaivannon pohjalle, peitetään karkearakeisella maa-aineksella (sora tai hiekka) ja kaivanto täytetään täyte-

maalla (kuva 2). Kokonaisen pellon salaojitusjärjestelmä sisältää yleensä varsinaisten imuojien lisäksi myös kokoomaojia ja -kaivoja, joiden kautta vesi johdetaan keskitetysti avo-ojaan tai vesistöön.

Tutkimusten ja käytännön havaintojen perusteella suositeltava salaojasyvyys on n. 1 m putken yläreunasta. Salaojien etäisyys toisistaan puolestaan vaihtelee olosuhteiden mukaan. Tiheimmillään tiiviillä, huonosti läpäisevillä savimailla suositeltu ojaväli on 14–17 m, kun toista ääripäätä olevilla hyvin läpäisevillä liejusavi- ja liejumaille suositellaan ojien väliseksi etäisyydeksi 30–80 m (Pälikkö, 1987).

Kokonaisuudessaan viljelytoiminnan vaikutuksia lierojen esiintymiseen on tutkittu melko paljon. Lieronkäytävien vedenjohtavuudesta löytyy runsaasti materiaalia ja myös maan kuivatuksen vaikutuksista yleisesti on raportoitu. Erityisesti salaojien avulla tapahtuvan kuivatuksen vaikutuksia lieroihin on tutkittu jonkin verran esimerkiksi Alankomaissa, missä merenpohjaa on aktiivisesti muutettu viljelykäyttöön (esim. Hoogerkamp ym., 1983). Australiassa havaittiin dramaattinen ero vertailtaessa salaojitettua ja -ojittamattoman laitumen peltolieromääriä: ojitetulla laitumella yksilömäärä oli yli kaksinkertainen ojittamattomaan verrattuna (Baker, 1998). Näissä tutkimuksissa on kuitenkin aina tarkasteltu vain lierojen keskimääräistä runsautta huomioimatta salaojien sijainnin vaikutusta esiintymiseen.

Kirjallisuudesta suoranaisia viittauksia lierojen ja salaojien välisiin yhteyksiin löytyy vain muutama. Niistä keskeisimmät ovat Suomessa tehty havainto salaojien läheisyydessä kohonneesta lieronreikien määrästä savimaalla (Aura, 1990) ja entisessä Tšekkoslovakiassa niin ikään savimaalla tehty tarkastelu (Urbánek & Doležal, 1994), jossa havaittiin käytävien päättyvän hyvin lähelle ojaa tai jopa olevan kosketuksissa siihen. Ajatus yhteyden olemassaolosta saa vielä tukea tutkimuksesta, jossa lieronkäytävien on todettu tehostavan veden kulkua salaojiin (Shipitalo & Gibbs, 2000).



Kuva 2: Salaojien sijoittuminen maahan ja niiden vaikutus pohjaveden pinnan korkeuteen.

Eräs tärkeimmistä lierojen runsauteen vaikuttavista tekijöistä on maaperän kosteus. Vaikka lierot sietävätkin märkyyttä melko hyvin, pyrkivät ne kuitenkin hakeutumaan itselleen sopivaan kosteustasoon (Edwards & Bohlen, 1996). Salaojituksella puolestaan on huomattava vaikutus pohjaveden pinnan korkeuteen: pinta on salaojan kohdalla keskimäärin selvästi alempana kuin kahden salaojan puolivälissä (kuva 2).

Tämän seikan voisi ajatella vaikuttavan myös lierojen esiintymiseen salaojitetuilla mailloilla. Vaikutus saattaisi olla erityisen suuri syvälle kaivautuvilla lajeilla, Suomessa siis kastelieroilla, jonka pystysuorien käytävien on havaittu ulottuvan syvälle pohjamaahan. Lounaissuomalaisessa savimaassa käytävien on todettu jatkuvan ainakin metrin syvyyteen, missä salaojatkin sijaitsevat (Nuutinen, 2000). Ilmiön mahdollinen vaikutusalue on lisäksi hyvin laaja: koko Suomen peltoalasta on salaojitettu hieman yli puolet, yhteensä n. 1 360 000 hehtaaria (Salaojakeskus, 1996). Salaojitus on lisäksi keskittynyt savialueiden pelloille, jotka ovat maamme tärkeintä maatalousaluetta.

Monissa viljelymaan lierostoa käsittelevissä tutkimuksissa on myös havaittu lierotiheyden vaihtelevan huomattavasti peltolohkon sisällä (mm. Guild, 1952; Poier & Richter, 1992; Rossi ym., 1997; Nuutinen ym., 1998). Tätä voi selittää mm. maaperän fysikaalisten ominaisuuksien paikallinen vaihtelu, joka vaikuttaa lieroille suotuisten alueiden sijaintiin (Guild, 1952). Tältä pohjalta salaojia voisi hyvinkin pitää eräänä lierojen esiintymiseen vaikuttavana tekijänä.

Lierojen esiintymistä pidetään usein merkkinä maaperän hyvästä kasvukunnosta. Kun arvioidaan viljelymenetelmien vaikutuksia maaperään, tutkimukseen sisällytetään usein yhtenä osana myös lieromäärän arviointi. Sen suuri kontrolloimaton vaihtelu pellon eri osien välillä aiheuttaa kuitenkin epätarkkuutta alueen keskimääräisten lierotiheyksien arviointiin. Mahdollisen salaojien aiheuttaman systemaattisen vaihtelun huomioiminen mahdollistaisi lierojen populaatiokoon luotettavamman arvioinnin.

1.8 Tutkimusongelmat

Tässä kahtena eri vuotena toteutetussa tutkimuksessa pyrittiin selvittämään vaikuttaako salaojitus lierojen esiintymiseen savimaassa, muuttuuko tilanne sääolosuhteitaan erilaisina vuosina ja mitkä tekijät voisivat selittää havaittuja ilmiöitä. Havaintojen pohjalta pyrittiin lisäksi lähinnä kastelieron osalta selvittämään ilmiön merkitystä sekä lajin elinympäristön, tässä tapauksessa viljelymaan, että lajin itsensä kannalta.

Vuonna 1998 haluttiin tutkia, vaikuttaako salaojien sijainti kastelieron esiintymiseen. Tätä varten syksyllä suhteellisen runsassateisen kesän jälkeen suoritettiin Lounais-Suo-

messa sijaitsevalla pellolla, jonka maalajina oli savi, laaja kastelieronäytteenotto pareittain salaojan kohdalla ja kahden vierekkäisen ojalinjan puolivälistä.

Kun saadun aineiston käsittely aloitettiin ja alustavia tuloksia päästiin tarkastelemaan, heräsi kiinnostus selvittää ilmiötä ja sen syitä tarkemmin. Lisäksi kesän 1999 edetessä kävi ilmeiseksi, että kyseessä oli sääolosuhteiltaan erityisen lämmin ja vähäsateinen kesä. Vuonna 1998 tutkitulla alueella suoritettiin uusi, edellisvuotta monipuolisempi näytteenotto syksyllä 1999.

Tässä jälkimmäisessä tutkimuksessa haluttiin selvittää, oliko kastelierojen esiintyminen pysynyt ennallaan ja oliko erityisen kuiva kesä vaikuttanut lierotiheyteen. Tätä varten kastelieronäytteenotto toistettiin osassa edellisvuoden pisteistä. Lisäksi otettiin uudet näytteet myös 1,5 ja 3,5 m etäisyydeltä salaojasta. Näiden avulla haluttiin tarkemmin selvittää kuinka jyrkkärajaisesti kastelierojen runsaus muuttuu, kun etäisyys salaojaan kasvaa.

Aiemmat tutkimukset olivat keskittyneet yksinomaan aneekkiseen kastelieroon. Tutkimuslohkon lajistoon kuului kuitenkin myös endogeeisia lajeja, joiden elintavat poikkeavat huomattavasti aneekkisten lajien elintavoista. Nyt haluttiin selvittää myös vaikuttavatko salaojat endogeeisten lierojen esiintymiseen. Tätä varten näytteenottoa tehostettiin ottamalla näiden lajien arviointiin soveltuvat lisänäytteet salaojan kohdalla ja ojien puolivälistä.

Lisäksi haluttiin selvittää, mitkä tekijät voisivat selittää kastelierojen esiintymistä salaojan kohdalla. Tätä varten kerättiin tietoja sademäärästä, lämpötilasta, maaperän kosteudesta, pohjaveden pinnan korkeudesta ja roudan syvyydestä tutkimusalueella. Lisäksi pellolta otetuista maanäytteistä selvitettiin keskeisiä maaperän ominaisuuksia kuten pääravinteet, pH ja orgaanisen hiilen osuus erikseen ojan kohdalla ja ojavälissä.

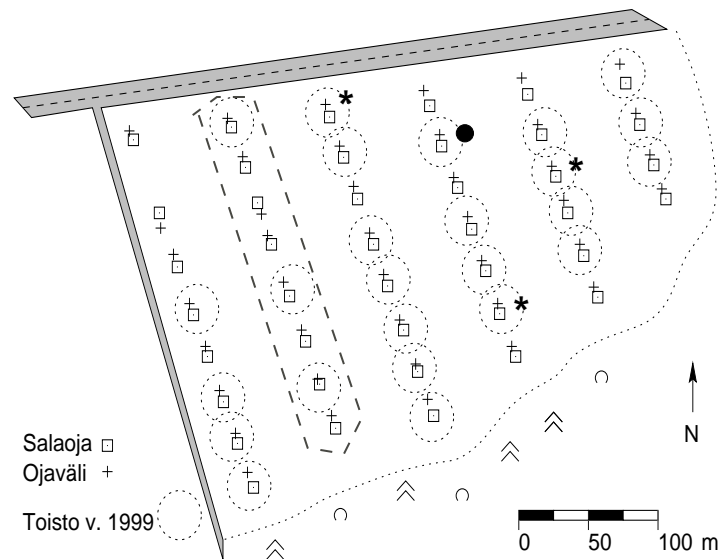
Vuoden 1998 kastelierotutkimuksia ja -tuloksia koskevat asiat kuvataan myös artikkelissa Nuutinen, V., Pöyhönen, S., Ketoja, E. & Pitkänen, J. (2001): Abundance of the earthworm *Lumbricus terrestris* in relation to subsurface drainage pattern on a sandy clay field. *European Journal of Soil Biology* 37: 301–304.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusalue

Tutkimuksessa käytetty aineisto kerättiin Lounais-Suomessa Jokioisilla Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) Lintupajun tilalla sijaitsevalta, n. 8 ha laajuiselta peltolohkolta ($60^{\circ} 49' N$, $23^{\circ} 28' E$) (kuva 3). Lohkon maalaji on hietasavea pintamaan savipitoisuuden vaihdellessa 40–46% (Urvas, 1982). Lohko on salaojitettu 1950-luvulla n. metrin syvyyteen sijoitetuilla tiiliputkilla. Imuojat on pyritty sijoittamaan pääasiassa 16 m välein, mutta etäisyyksissä havaittiin pientä paikallista vaihtelua. Aktiivisessa viljelyssä oleva peltolohko oli tutkimuksen aikana nurmi-viljakierrossa, vuonna 1998 sillä kasvoi toisen ja vuonna 1999 kolmannen vuoden nurmi.

Ennen syksyn 1998 näytteenottoa lohkon salaojien sijainti määritettiin tarkasti. Tehtävää helpotti kesän 1998 runsassateisuus, jonka seurauksena kasvusto salaojien kohdalla erottui silmännähdessä rehevämpänä. Ojien sijainti varmistettiin lisäksi salaojapiikillä ja näytepisteiden koordinaatit määritettiin differentiaali-GPS:n avulla.



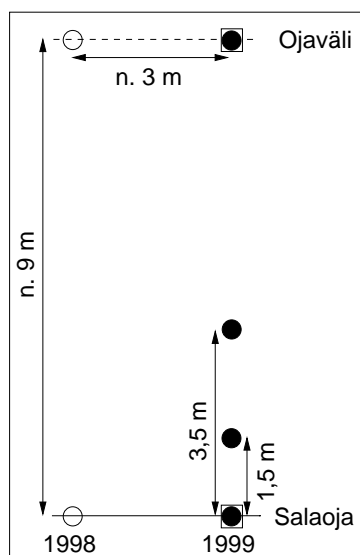
Kuva 3: Lintupajun tutkimuskenttä ja vuoden 1998 näytepisteiden sijainti. Vuoden 1999 näytepaikat (kastelierotiheyden toistomittaus ja tihennetty mittaus sekä maanäytteenot) on ympyröity. Paikat, joissa arvioitiin sinappimenetelmän tehokkuutta kastelieroilla, on merkitty ympyrällä (1998) tai tähdellä (1999) ja mittauslinja, jolta kerättiin routa- ja pohjavesihavaintoja, ympäröity katkoviivalla.

2.2 Kastelieroitiheyden arviointi

Kastelierojen esiintymistä kartoitettiin vuoden 1998 syyskuussa (23.–28.9.) yhteensä 41 oja–ojaväliparissa (kuva 3). Ojapisteet sijoitettiin salaojien kohdalle tasaisesti koko lohkon alueelle, ojavälipisteet kahden vierekkäisen salaojan puoliväliin pariksi kullekin ojapisteelle (kuva 4). Näytepisteitä oli näin 82. Välipisteen etäisyys ojapisteestä oli keskimäärin n. 9 m. Parien minimietäisyys toisistaan oli keskimäärin 25 m.

Vuoden 1999 lokakuussa (6.–13.10.) kastelieroarviointi toistettiin 25 oja–ojaväliparissa (kuva 3). Kolme pareista sijoitettiin tarkoituksellisesti pisteisiin, joiden läheisyydessä seurattiin pohjaveden ja roudan syvyyttä. Loput 22 paria arvottiin vuoden 1998 näyteparien joukosta. Lisäksi näytteenottoa tarkennettiin lisäämällä kuhunkin oja–ojavälipariin kaksi välipistettä, jotka sijoitettiin 1,5 m ja 3,5 m etäisyydelle ojapisteestä (kuva 4). Näytepisteitä oli näin vuonna 1999 kaikkiaan sata.

Koska edellisen vuoden näytteenoton vaikutus näytepisteen lierotiheyteen oli todennäköistä, sijoitettiin uudet pisteet ojalinjan suunnassa noin 2,5–3 m sivuun edellisvuoden näytepisteistä (kuva 4). Koska vanhojen näytepisteiden tarkat koordinaatit tiedettiin, niiden löytämisessä käytettiin apuna GPS-paikanninta. Lähes kaikkien vanhojen pisteiden sijainti näkyi vielä selkeinä renkaan painaumuksina pellon pinnassa.



Kuva 4: Sinappinäytteenottokohtien sijoittuminen yksittäisen näyteparin (1998, valkeat ympyrät) tai -linjan (1999, mustat ympyrät) osalta. Paikat, joista otettiin maanäyte endogeeisten lierojen tiheysmäärittystä varten vuonna 1999 on ympäröity neliöllä.

Lierojen pyydystämisessä käytetään mm. kemiallisia näytteenottomenetelmiä, joissa lierot saadaan tulemaan esiin kaatamalla eläimiä ärsyttävää kemikaalia liuoksena niiden käytäviin. Nämä menetelmät soveltuvat erityisen hyvin aneekkisille lierolajeille, koska liuos pääsee tehokkaasti valumaan niiden maan pinnalle avautuviin, pystysuoriin käytäviin (Baker & Lee, 1993). Yleisimmin käytetään formaliiniliuosta mutta myös muita kemikaaleja on onnistuneesti kokeiltu. Tässä tutkimuksessa näytteenotto toteutettiin molempina vuosina sinappimenetelmää (Gunn, 1992) käyttäen.

Näytteenottoa edeltävänä päivänä valmistettiin annospulloihin väkevää sinappiliuosta sekoittamalla 60 g sinappijauhetta 0,5–1,0 litraan lämmintä vettä. Liuospullot pidettiin huoneenlämmössä yön yli, jonka jälkeen ne vielä sekoitettiin perusteellisesti.

Kastelierojen yksilötiheyden määrittämisessä on luotettavaksi todettu ja yleisesti käytetty 0,5 m² laajuista näytealaa (Baker & Lee, 1993). Alueelta paljastettiin maanpinta leikkaamalla ruoho ja poistamalla irtonainen kasviaines. Ala rajattiin metallirenkaalla (ns. infiltrometrirenkas), joka lyötiin alareunastaan maahan muutaman sentin syvyydeltä. Käytössä oli 9 rengasta, joiden rajaamat pinta-alat tunnettiin (vaihtelu 0,45–0,50 m²).

Pullollinen sinappiliuosta kaadettiin kastelukannuun ja laimennettiin kymmeneksi litraksi lisäämällä kylmää vettä. Alue renkaan sisällä kasteltiin kauttaaltaan sinappiliuoksella ja pidettiin liuoksen peitossa puolen tunnin ajan. Liuoksen imeytymisnopeudesta riippuen sitä käytettiin 2–4 kannullista yhtä näytepistettä kohti. Käsittelyajan loputtua rengas poistettiin ja imeytymättä jääneen sinappiliuoksen annettiin valua pois näytealalta. Kaikki käsittelyn aikana maan pinnalle nousseet ja välittömästi renkaan poistamisen jälkeen näytealalta havaitut lierot poimittiin talteen, huuhdeltiin puhtaalla vedellä ja säilöttiin kostealla paperipyyhkeellä vuorattuihin muovirasioihin.

2.3 Endogeeisten lajien tiheyden arviointi

Endogeeisten lierojen esiintymisen luotettavaan arviointiin voidaan käyttää mekaanisia näytteenottomenetelmiä (engl. physical methods) kuten maanäytteen käsinlajittelua, pesua tai seulontaa (Baker & Lee, 1993). Erityisen tehokkaaksi on todettu yhdistelmä, jossa kemiallisen käsittelyn jälkeen maanäytteestä vielä etsitään jäljelle jääneet lierot mekaanisin keinoin (Edwards & Bohlen, 1996).

Vuonna 1999 haluttiin saada tietoa kastelierojen lisäksi myös muiden viljelymaan lierolajien esiintymisestä suhteessa salaojiin, joten näytteenottoa tehostettiin ottamalla välittömästi sinappikäsittelyn jälkeen jokaisen oja- ja ojavälinäytealan keskeltä lapiolla 25 × 25 cm kokoinen 20 cm syvyyteen ulottuva maanäyte. Näyte koko on todettu

riittäväksi endogeeisten lierojen yksilömäärän luotettavaan arviointiin (Zicsi, 1962).

Näytteet, kaikkiaan 50, säilytettiin muovipusseissa viileässä (n. +6°C) kunnes ne käsiteltiin märkäseulonnalla. Näyte asetettiin seulalle (silmäkoko 2 mm), jonka alla oli lisäksi tiheä nailonkangas, murrettiin käsin pienemmiksi osiksi, maa-aines huuhdeltiin varovasti veden avulla pois ja kaikki havaitut lierot kerättiin talteen. Lierot käsiteltiin kuten kastelieroja sinappinäytteenoton jälkeen.

2.4 Sinappimenetelmän tehokkuuden arviointi

Sinappimenetelmän tehokkuutta kastelieroja näytteenotossa arvioitiin tutkimalla muutama näytepiste pari perinpohjaisesti näytteenoton jälkeen, tarkoituksena löytää näytealalle mahdollisesti jääneet yksilöt. Näytealan kohdalle kaivettiin lapiolla infiltrometriin laajuinen, pohjamaahan saakka ulottuva kuoppa. Kaivettu maa seulottiin (1998) tai lajiteltiin (1999) pellolla käsin. Löydetyt kastelieroja otettiin talteen ja niistä määritettiin myöhemmin kehitysaste.

Vuonna 1998 varsinaisten näytepisteiden ulkopuolelta tutkittiin yksi oja-oväli pari. Pellolta valittiin ojapiste erään näytepisteen läheisyydestä ja sille määritettiin pari pistettä ojävälillä. Varsinaisten näytepisteiden tapaan suoritettiin sinappinäytteenotto, jonka jälkeen näytealan pinta pidettiin 10 minuuttia väriaineliuoksen (metyylisini) peitossa. Väriainetta käytettiin käytävien seuraamisen helpottamiseksi. Tämän jälkeen kaivettiin salaojan kohdalla 95 cm (salaojan sijainti näytepisteen kohdalla) ja ojävälillä 80 cm syvyyteen saakka. Koska tehokkuuden arviointi suoritettiin tutkimuksen näytteenotosta erillään, pisteparin havainnot eivät ole mukana varsinaisissa analyyseissä.

Vuonna 1999 pistepareja tutkittiin kolme (kuusi näytealaa). Tällä kertaa tarkastelu tehtiin näytteenoton yhteydessä varsinaisista näytepisteistä, eikä väriainetta käytetty. Ojapisteissä kaivettiin salaojaan (1,00–1,10 m) ja ojävälipisteissä metrin syvyyteen saakka. Näiden pisteiden osalta sinappinäytteenoton havainnot ovat mukana myös lopullisissa analyyseissä.

Endogeeisten lieroja osalta tehokkuutta ei tutkittu samalla tarkkuudella kuin kastelieroja, vaan sitä tarkasteltiin epäsuorasti neliömetriestimaattien avulla. Jokaiselle näytepisteelle muodostettiin neliömetriestimaatit erikseen sinappi- ja maanäytteille, jotka yhdistettiin kokonaisarvioksi. Tämän jälkeen laskettiin sinappiarvion osuus kokonaisarviosta.

2.5 Näytteiden käsittely

Lieron tuorepainosta jopa 20% voi johtua suolen sisällöstä (Edwards & Bohlen, 1996). Jotta biomassa-arviosta saataisiin luotettavampi, sinappimenetelmällä saatujen kaste-lierojen suolen tyhjentymistä odotettiin vuorokauden ajan säilyttämällä eläimiä ilman ravintoa viileässä kostutetulla käsipyypaperilla vuoratuissa muovirasioissa. Vuorokausi näytteenoton jälkeen lierot tainnutettiin eetterillä ja säilöttiin 70% alkoholiin. Käsittely oli sama molempina vuosina.

Lierot määritettiin laboratoriossa stereomikroskooppia ja kirjallisuutta (Sims & Gerard, 1985) apuna käyttäen. Määrittäminen pyrittiin mahdollisuuksien mukaan tekemään lajitasolle. Yksilöt jaettiin lisäksi kolmeen ikäluokkaan: nuoriin (engl. juveniles), lähes sukukypsiin aikuisiin (subadults) ja lisääntymiskykyisiin aikuisiin (adults). Yksilö määriteltiin aikuiseksi silloin, kun sekä parittelukyky myöskin että vyö olivat selvästi nähtävissä. Lähes sukukypsiksi määriteltiin ne, joilla parittelukyky ja/tai vyö olivat muodostumassa, mutta eivät olleet vielä täysin kehittyneet. Nuoriksi luokiteltiin kaikki ne yksilöt, joilla ei voinut havaita minkäänlaisia sukukypsyyden merkkejä. Määrittämisen jälkeen lierot punnittiin yksilöittäin tarkkuusvaa'alla.

2.6 Sää ja maaperä

Lintupajun lohkolle oli käynnissä useita mittauksia, joista saatiin tarkkaa tietoa sääilmiöiden paikallisista vaikutuksista. Ilman ja maan lämpötilaa seurattiin automaattisesti (tallennusväli 1 min) kentälle sijoitetun tietojenkeruulaitteen, dataloggerin, avulla. Sademittari (virallinen suomalainen) pyrittiin lukemaan aina viimeistään sadepäivää seuraavana aamupäivänä.

Lisäksi kentällä oli kiinteä mittausteline (kuva 3), jonka mittauspisteet oli sijoitettu salaojien kohdalle ja ojalinjojen puoliväliin. Linjalle oli asennettu putket pohjaveden pinnan korkeuden ja roudan syvyyden mittaamista varten sekä metallipuikot maankosteuden määrittämiseksi. Kosteusmäärittämiseen käytettiin TDR-menetelmää (time-domain reflectometry) (Hillel, 1998), jolla mitattiin kosteuspitoisuus maakerroksissa 0–15 cm ja 0–60 cm.

Syksyllä 1999 lieronäytteenoton jälkeen otettiin muihin tutkimuksiin liittyen maaperänäytteet kultakin tutkimuslinjalta etäisyysluokista 0 (ojapiste) ja 2 (3,5 m ojapisteestä), yhteensä 50 näytettä. Kustakin pisteestä otettiin typpikairalla 0–40 cm syvyydestä kolme maanäytettä, jotka yhdistettiin 10 cm kerroksina (0–10, 10–20, 20–30 ja 30–40 cm).

Lierotutkimustamme varten pintamaan (0–10 cm) näytteistä määritettiin laboratorioissa tilavuuspaino (tiheys), raekokojakauma, pH sekä pääravinteet ja -kivennäisaineet.

2.7 Tilastolliset analyysit

2.7.1 Kastelierot

Koska näytealojen kokojen välillä oli pientä vaihtelua, ei absoluuttisia yksilö- ja tuorepainoarvoja voitu suoraan käyttää vertailuun. Tämän vuoksi kunkin pisteen havainnot muutettiin neliömetriarvoiksi jakamalla yksilömäärä ja tuorepaino näytealan pinta-alalla. Neliömetrimuunnos tehtiin sekä vuoden 1998 että vuoden 1999 aineistoille. Tulosten esittäminen neliömetriarvoina on lisäksi vakiintunut käytäntö ja helpottaa vertailua muiden tekemiin tutkimuksiin.

Kaikkien aineistojen kuvaileva tarkastelu ja tilastollinen analysointi suoritettiin SAS tilasto-ohjelmistoa käyttäen. Vuoden 1998 aineiston alustavassa tarkastelussa havaittiin, että varsinaiset neliömetriarvot eivät jakautuneet normaalisesti (liite 1). Tämän vuoksi muodostettiin uudet muuttujat lukumääräero ja massaero laskemalla pareittain oja-ojavälierotus lukumäärälle ja tuorepainolle. Erotusmuuttujien todettiin jakautuvan normaalisesti (liite 1).

Monien tilastollisten testien perusoletuksiin kuuluu myös havaintojen välinen riippumattomuus. Tässä tapauksessa riippuvuus tarkoittaisi samankaltaisten arvojen kasautumista pellon joihinkin osiin: esimerkiksi suurten positiivisten tai negatiivisten arvojen sijoittumista lähekkäin. Mahdollisen tilariippuvuuden havaitsemiseksi erotusmuuttujien spatiaalista autokorrelaatiota tarkasteltiin laskemalla niille Moranin I -kertoimet, joiden perusteella todettiin myös riippumattomuusoletuksen olevan voimassa.

Erotusmuuttujien tilastollista merkitsevyyttä tutkittiin parametrisella yhden otoksen t -testillä. Aineistosta erottunut yksittäinen poikkeava havainto (outlier) huomioitiin testaamalla aineisto sekä ilman kyseistä havaintoa että sen kanssa. Testin luotettavuutta tutkittiin vielä testaamalla erotusmuuttujat parametrittömällä merkkitestillä, jossa erillistä outlier-tarkastelua ei tehty. Lisäksi muodostettiin erotusmuuttujien luottamusvälit: keskiarvojen erotukselle 95% luottamusväli ja mediaanien erotukselle 94% luottamusväli.

Luottamusväli ilmaisee niiden mahdollisten erotusten välisen alueen, jonka sisällä havaittu erotus sijaitsee 95% (94%) todennäköisyydellä. Testattaessa väitettä ”havaittu erotus=0” tämä tarkoittaa sitä, että mikäli nolla jää luottamusvälin sisään, ei erotus

ole tilastollisesti merkitsevä. Mitä lyhyempi luottamusväli on, sitä tarkempi arvio erotuksen suuruudesta saadaan.

Vuonna 1999 kastelieroyskilöitä saatiin lukumääräisesti erittäin vähän ja lisäksi aineiston todettiin olevan äärimmäisen vinoutunut runsaiden nolla-havaintojen vuoksi (liite 1). Tämän vuoksi myös erotusmuuttujien jakauma säilyy erittäin vinona (liite 1), eikä parametristen testien käyttö tälle aineistolle tule lainkaan kysymykseen. Kun jakauman lisäksi havaintojen lukumääräkin on hyvin alhainen, ei parametrittomankaan testin käyttäminen vaikuta järkevältä ratkaisulta. On tyydyttävä aineiston visuaaliseen tarkasteluun ja pitää tuloksia vain karkeasti suuntaa-antavina.

2.7.2 Endogeeiset lierot

Endogeeisten lajien yksilömäärää ja tuorepainoa arvioitaessa huomioitiin sekä sinappinäytteenoton yhteydessä saadut että maanäytteiden seulonnassa löytyneet lierot. Koska maanäytteet oli otettu vain etäisyysluokista 0 ja 3, keskityttiin aineiston jatkokäsittelyssäkin näihin luokkiin.

Kunkin pisteen osalta laskettiin muuttujien neliömetriarvot (jakamalla näytteen yksilömäärä tai tuorepaino näytteen pinta-alalla) erikseen kummallekin näytetavalle. Sinappi- ja maanäytteen mukaiset neliömetriarvot laskettiin yhteen, jolloin saatiin kokonaisarvio yksilömäärästä ja tuorepainosta neliömetrille.

Tarkastelu osoitti, että neliömetriestimaatit eivät olleet normaalisesti jakautuneet (liite 1). Muodostettiin jälleen erotusmuuttujat (oja-väli) lukumääräero ja massaero, joista massaero oli selkeästi ei-normaalin (liite 1). Lukumäärien erotus olisi testin perusteella voitu hyväksyä normaalisesti jakautuneeksi (liite 1) mutta visuaalisesti tarkasteltuna jakaumassa oli aukkoja ja muuttujan keskihajonta oli suuri. Näistä syistä päätettiin käyttää parametritonta testiä.

Koska autokorrelaatioanalyysin oletuksiin kuuluu, että aineisto noudattaa normaalijakaumaa, ei tilariippuvuutta voitu tarkastella samaan tapaan kuin kastelieroilla. Tämän vuoksi endogeeisten lierojen tapauksessa tyydyttiin silmämääräiseen tarkasteluun ns. bubble-kuvien avulla: näytteenottoalueesta piirrettiin karttakuvat, joissa erotusmuuttujien arvot sijoitettiin ojapisteen koordinaatteihin.

Muuttujien ei-normaalisen jakautumisen vuoksi tilastolliseen testaamiseen käytettiin parametritonta merkkitestiä, eikä erillistä outlier-tarkastelua tehty. Mediaanin erotuksille laskettiin lisäksi 95,7% luottamusvälit.

3 Tulokset

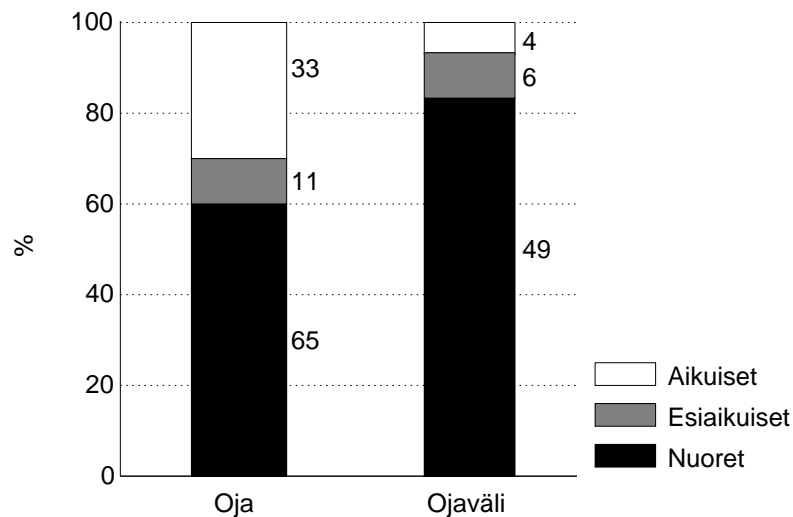
3.1 Kasteliero

3.1.1 Oja-ojavälivertailu vuonna 1998

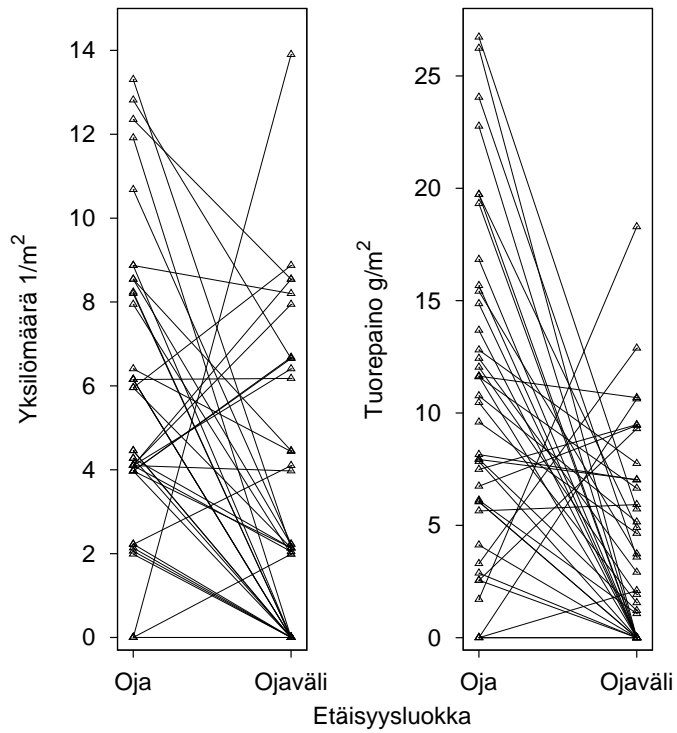
Vuonna 1998 saatiin kasteliero-yksilöitä yhteensä 168, joista 109 salaojan ja 59 ojavälin kohdalla. Pareja, joista ei tavattu ainuttakaan kasteliero, oli kaksi. Kaikkia ikäluokkia löytyi sekä ojien kohdalla että ojaväleistä, mutta aikuisten osuus oli ojan kohdalla suurempi (kuva 5).

Kuvassa 6 on esitetty yksilömäärien ja tuorepainojen neliömetriestimaatit oja-ojavälipareittain. Kastelierojen esiintyminen oli tyypillisesti runsaampaa salaojan kohdalla kuin ojien välissä, vaikkakin myös päinvastaisia havaintoja esiintyi. Mm. aineiston suurin yksilömäärä havaittiin välipisteessä, jonka ojapisteparista ei löydetty ainoatakaan kasteliero.

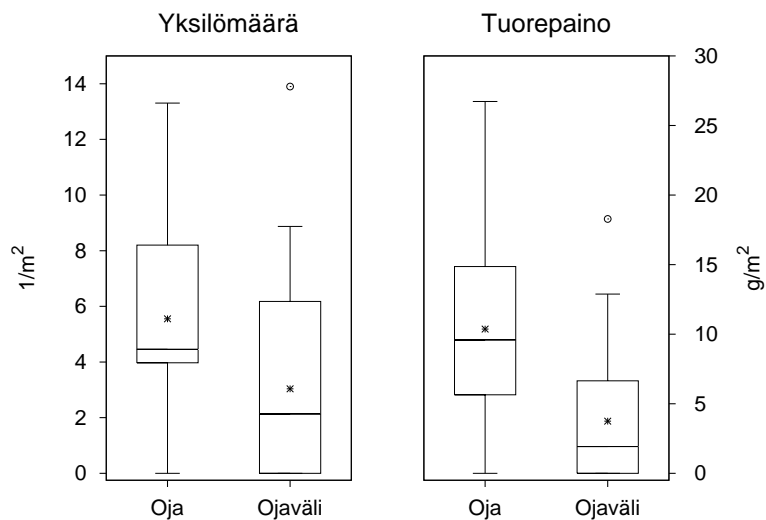
Yksilömäärä ojan kohdalla oli noin kaksinkertainen verrattuna ojaväliin (mediaani ojan kohdalla 4,5 yks. / m² ja ojavälissä 2,1 yks. / m²), tuorepaino puolestaan lähes viisinkertainen (mediaani ojan kohdalla 9,6 g / m² ja ojavälissä 1,9 g / m²) (kuva 7). Suurempi ero tuorepainoissa selittyy aikuisten yksilöiden suuremmalla osuudella ojan kohdalla.



Kuva 5: Ikäluokkien suhteelliset osuudet vuoden 1998 kastelieroaineistossa. Kuvaan on merkitty myös kuhunkin luokkaan kuuluvien yksilöiden lukumäärä.



Kuva 6: Kastelierojen yksilömäärä ja tuorepaino neliömetrillä vuonna 1998 oja-
 ojavälipareittain. Kukin pari yhdistetty viivalla. Pareja 41, joista tyhjiä 2.

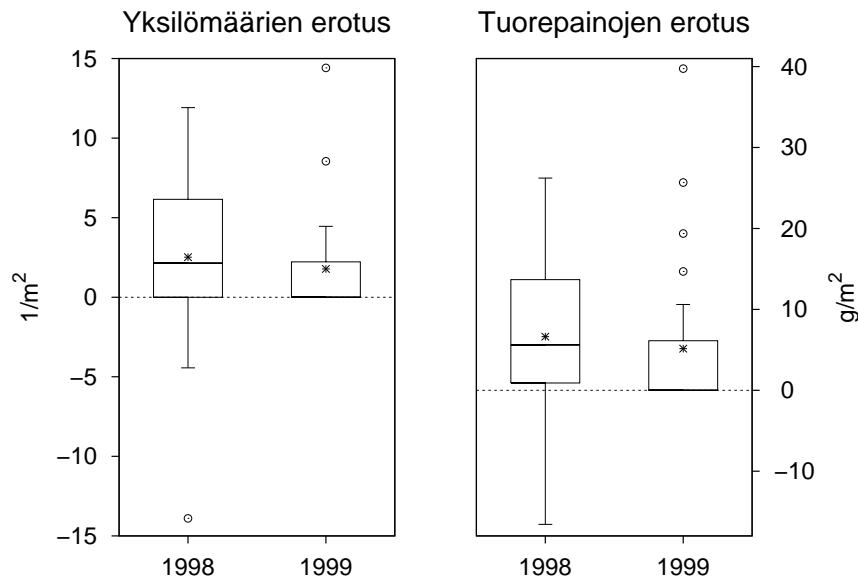


Kuva 7: Neliömetriarvojen jakaumat vuoden 1998 kastelieroaineistossa. Mediaani on
 esitetty viivalla ja keskiarvo tähdellä. Poikkeava arvo on merkitty ympyrällä. Laatikon
 sisään sijoittuu 50% havainnoista.

Taulukko 1: Oja–ojavälierotusten tilastolliset testit vuoden 1998 kastelieroaineistolle. Keskiarvoestimaatit 95% luottamusväleinen sekä t -testin tulos (H_o : erotus=0). Mediaanien 94% luottamusvälit sekä merkkitestin tulos (H_o : erotuksen mediaani=0).

t -testi	Muuttuja	N	df	\bar{x}	t	p	95% CI
	lukumääräero ($1/m^2$)	41	40	2,52	3,33	0,0019	0,99 – 4,04
	lukumääräero ($1/m^2$), outlier poistettu	40	39	2,92	4,50	0,0001	1,61 – 4,24
	massaero (g/m^2)	41	40	6,62	4,46	0,0001	3,62 – 9,62
Merkkitesti	Muuttuja	N		Md	M	p	94% CI
	lukumääräero ($1/m^2$)	41		2,14	9,5	0,0034	1,84 – 4,27
	massaero (g/m^2)	41		5,62	11,5	0,0003	2,87 – 9,52

Yksilömäärän keskimääräinen oja-ojavälierotus koko aineistolle oli 2,52 yks. / m^2 (t -testi, $t_{40}=3,33$, $p=0,0019$) ja erotuksen mediaani 2,14 yks. / m^2 (merkkitesti, $M_{41}=9,5$, $p=0,0034$). Kun poikkeavan korkea ojavälilhavainto jätettiin tarkastelun ulkopuolelle, keskimääräinen yksilömäärien erotus kasvoi ollen 2,92 yks. / m^2 ($t_{39}=4,50$, $p=0,0001$). Vastaavasti keskimääräinen erotus tuorepainolle oli 6,62 g/m^2 ($t_{40}=4,46$, $p=0,0001$) ja erotuksen mediaani 5,62 g/m^2 ($M_{41}=11,5$, $p=0,0003$) (kuva 8 ja taulukko 1). Myös molempien erotusmuuttujien 95% (merkkitestissä 94%) luottamusvälit sijaitsivat positiivisella alueella (taulukko 1).



Kuva 8: Erotusmuuttujien (oja-ojaväli) jakaumat vuoden 1998 ja 1999 kastelieroaineistoissa. Mediaani on esitetty viivalla, keskiarvo tähdellä ja poikkeavat arvot ympyröillä. Laatikon sisään sijoittuu 50% havainnoista.

3.1.2 Oja-ojavälivertailu vuonna 1999

Vuonna 1999 kastelieroja saatiin yhdeksästä näytepisteestä salaojan kohdalta, yhteensä 21 yksilöä, joista 18 oli aikuisia ja 3 nuoria. Ojavälipisteistä kastelieroja ei löytynyt ainuttakaan (taulukko 2). Kaikki yksilöt saatiin sinappinäytteenotolla. Pareja, joissa sekä oja- että välipisteestä ei tavattu ainuttakaan kastelieroja, oli 15 eli yli puolet tutkituista pareista.

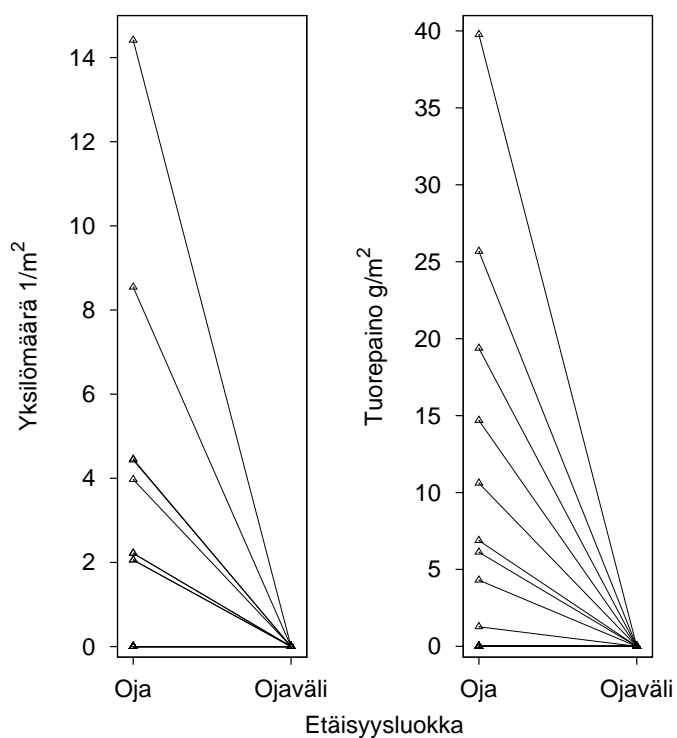
Kuvassa 9 on esitetty yksilömäärien ja tuorepainojen neliömetriestimaatit oja-ojavälipareittain. Aineiston runsaslukuisten nolla-havaintojen vuoksi neliömetriarvojen jakaumat olivat erittäin vinoja (kuva 10) ja ojavälipisteiden täydellisestä lierottomuudesta johtuen vinous säilyi myös erotusmuuttujien jakaumissa (kuva 8).

3.1.3 Tarkennettu kastelieroaineisto

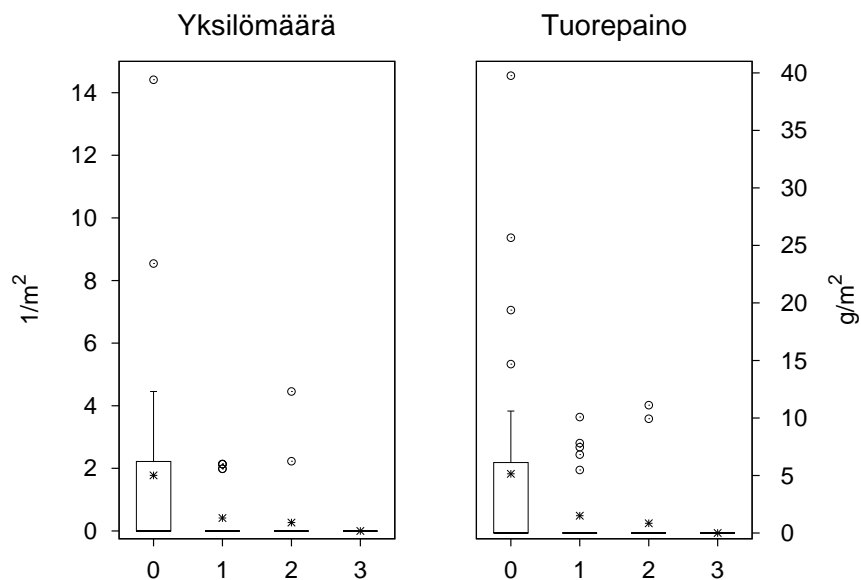
Kastelieroja oli erittäin vähän myös vuoden 1999 tarkennetussa aineistossa (taulukko 2). Etäisyysluokassa 1 (1,5 m ojasta) saatiin viidestä näytepisteestä yhteensä seitsemän yksilöä (5 aikuista ja 2 nuorta, tyhjiä näytepisteitä 20) ja etäisyysluokassa 2 (3,5 m ojasta) kolme yksilöä kahdesta näytepisteestä (kaikki aikuisia, tyhjiä näytepisteitä 23). Tämän vuoksi myös neliömetriestimaattien jakaumat välipisteiden osalta jäivät erittäin vinoiksi (kuva 10).

Taulukko 2: Vuoden 1999 näytepisteiden jakautuminen eri etäisyysluokissa kastelierojen yksilömäärän ja tuorepainon neliömetriestimaattien suuruusluokan mukaan. Täysin lierottomien pisteiden lukumäärä on ilmoitettu Tyhjiä-sarakkeessa. Näytepisteitä oli yhteensä 100, 25 kussakin etäisyysluokassa.

Etäisyysluokka	Tyhjiä pisteitä	Näytepisteitä (kpl), joissa kastelieroja							
		1/ m ²			g/ m ²				
		1-4	5-8	9-	1-5	6-10	11-15	16-	
0	16	6	1	2	2	2	2	3	
1	20	5	0	0	1	4	0	0	
2	23	1	1	0	0	1	1	0	
3	25	0	0	0	0	0	0	0	
Yht.	84	12	2	2	3	7	3	3	



Kuva 9: Kastelierojen yksilömäärä ja tuorepaino neliömetrillä vuonna 1999 oja-ojavälipareittain. Kukin pari yhdistetty viivalla. Pareja 25, joista tyhjiä 15.



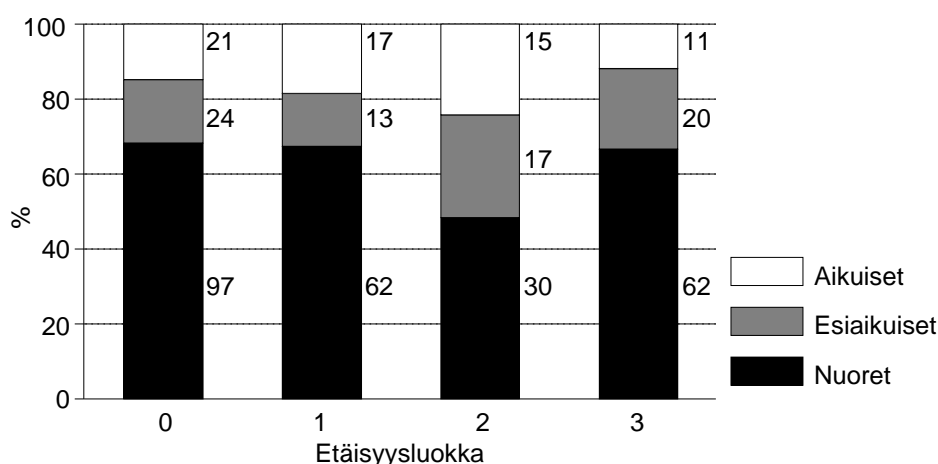
Kuva 10: Neliömetriarvojen jakaumat vuoden 1999 kastelieroaineistossa. Mediaani on esitetty viivalla (kaikissa nolla) ja keskiarvo tähdellä. Poikkeavat arvot on merkitty ympyröillä. Laatikon sisään sijoittuu 50% havainnoista.

3.2 Endogeeiset lierot

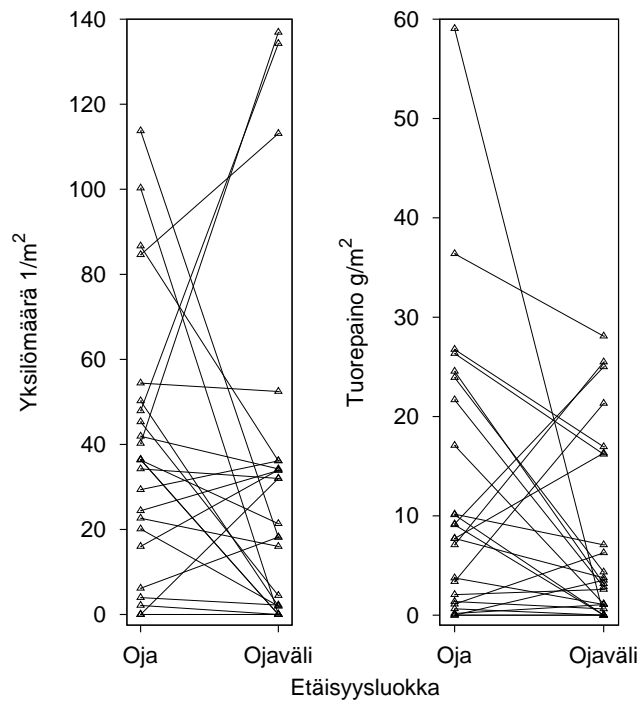
Kaikkiaan endogeeisia lieroja saatiin 399 yksilöä, joista 311 sinappi- ja 88 maanäyteistä. Salaojan kohdalta saatiin yhteensä 142, etäisyysluokasta 1 yhteensä 92, etäisyysluokasta 2 yhteensä 62 ja ojavälistä yhteensä 93 yksilöä. Valtaosa lieroista oli kehitysasteeltaan nuoria (kuva 11). Lajeista runsaimmin tavattiin peltolieroa, 136 yksilöä. Lisäksi lajitasolle tunnistettiin 3 multalieroa. Suurin osa, 260 yksilöä, voitiin määrittää ainoastaan sukutasolle.

Sellaisia oja-ojavälipareja, joissa ei tavattu yhtään endogeeista lieroa oja- eikä ojaväli- pisteessä, oli kaksi. Aineisto neliömetrimuunnoksen jälkeen näkyy parikohtaisesti kuvassa 12. Aineistosta erottui muutamia pisteitä, joiden vaikutus näkyi sekä yksilömäärä- ja tuorepainomuuttujien että niistä muodostettujen erotusmuuttujien jakaumissa (kuva 13).

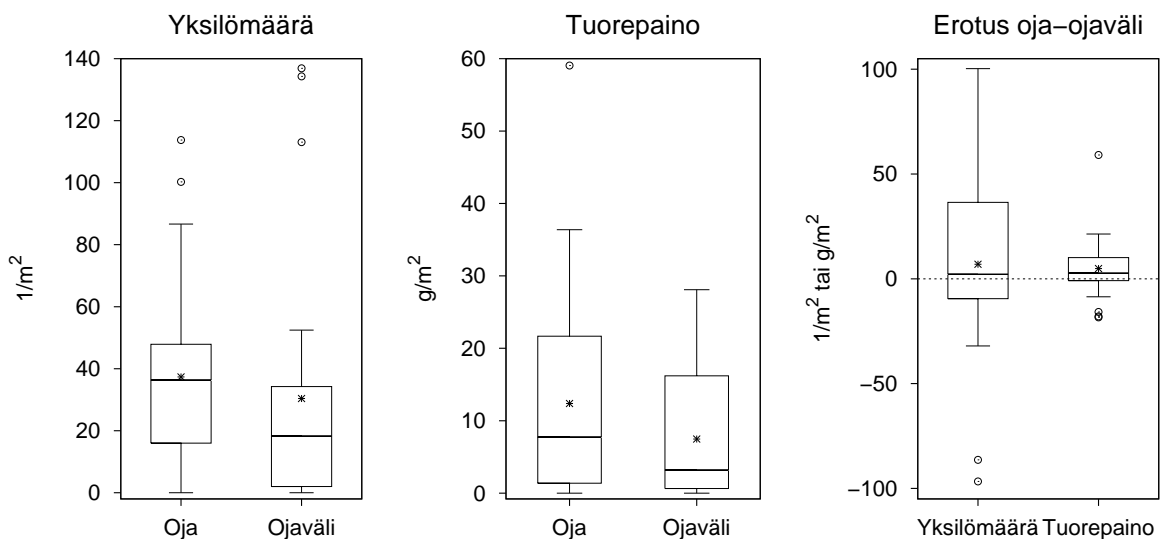
Yksilömäärä ja tuorepaino eivät poikenneet merkittävästi toisistaan salaojan ja ojavälin kohdalla. Oja-ojavälierotuksen mediaani endogeeisten lierojen yksilömäärälle oli 2,14 yks. / m² (merkkitesti, $M_{25}=3,5$, $p=0,2100$, 95,7% CI : [-6,76 – 18,12]) ja tuorepainolle 2,67 g / m² ($M_{25}=3,5$, $p=0,2100$, 97,5% CI : [-0,52 – 9,81]). Molempien erotusmuuttujien tapauksessa myös nolla-arvo sijaitsi luottamusvälin sisällä. Sijainti tosin oli tuorepainon osalta aivan välin toisessa reunassa, ja yksilömäärällä puolestaan jäi välin pituus kokonaisuudessaan melko suureksi.



Kuva 11: Ikäluokkien suhteelliset osuudet endogeeisilla lieroilla vuonna 1999. Kuvaan on merkitty myös kuhunkin luokkaan kuuluvien yksilöiden lukumäärä. Etäisyysluokissa 1 ja 2 tehtiin vain kemiallinen näytteenotto, etäisyysluokista 0 ja 3 otettiin lisäksi maanäytteet.



Kuva 12: Endogeeisten lierojen yksilömäärä ja tuorepaino neliometrillä vuonna 1999 oja-ojavälipareittain. Kukin pari on yhdistetty viivalla. Pareja 25, joista tyhjiä 2.



Kuva 13: Neliometriarvojen ja niistä muodostettujen erotusmuuttujien jakaumat vuoden 1999 endogeeisten lierojen aineistossa. Mediaani on esitetty viivalla, keskiarvo tähdellä ja poikkeavat arvot ympyröillä. Laatikon sisään sijoittuu 50% havainnoista.

3.3 Sinappimenetelmän tehokkuuden arviointi

Vuoden 1998 tarkastelussa saatiin sinappimenetelmällä ojapisteestä 8 yksilöä (7 nuorta ja 1 aikuinen) ja ojavälipisteestä 5 yksilöä (4 nuorta ja 1 aikuinen). Kun maa näytealan kohdalta tutkittiin, löydettiin ojapisteestä kolme kastelieroja ja ojavälipisteestä yksi. Nämä olivat kaikki nuoria. Luvuista voidaan laskea erittäin suuntaa-antavasti sinappimenetelmän tehokkuudeksi ojapisteessä 73% ja ojavälipisteessä 83% (taulukko 3). Havaintojen vähäisyyden vuoksi on mahdotonta arvioida, onko sinappimenetelmä tehokkaampi aikuisten suhteen.

Vuonna 1999 näytteenoton jälkeisessä tarkastelussa ainoastaan yhdestä ojapisteestä löytyi käsinlajittelun yhteydessä kastelieron pää. Samasta pisteestä saatiin sinappinäytteenotolla kaksi aikuista kastelieroyskilöä. Muista tutkituista pisteistä ei löydetty yhtään lieroja sen paremmin sinappimenetelmällä kuin käsinlajittelullakaan.

Kuitenkin sinapin tehokkuutta arvioitiin nyt useammassa pisteessä kuin vuotta aiemmin, joten tarkastelu oli siltä osin kattavampi ja myös luetettavampi. Koska kastelieroja ei löydetty sinappikäsittelyn jälkeen käsinlajittelullakaan, voidaan olettaa että syy lierottomuus oli todellista eikä johtunut pelkästään sinappimenetelmän tehottomuudesta.

Endogeeisiä lieroja löydettiin 41 näytepisteestä, joista 22 oli ojapisteitä ja 19 ojavälipisteitä. Ainoastaan sinappimenetelmällä lieroja saatiin kymmenessä pisteessä (5 oja- ja 5 välipistettä), vastaavasti menetelmä oli täysin tehoton neljässä pisteessä (1 oja- ja 3 välipistettä). Sinappimenetelmällä saatujen lierojen osuus vaihteli huomattavasti pisteiden välillä menetelmän tehokkuuden ollessa ojan kohdalla keskimäärin 36% ja ojavälissä 35% (taulukko 3).

Taulukko 3: Sinappimenetelmän tehokkuus. Kastelieroilla on ilmoitettu löydettyjen yksilöiden lukumäärä ja näistä laskettu tehokkuusarvio (%). Endogeeisillä lieroilla on ilmoitettu pistekohtaisesti laskettujen tehokkuusarvioiden jakauman tunnusluvut ja keskimääräiset tehokkuusarviot (%). N=tutkittujen näytepisteiden lukumäärä, s=keskihajonta.

Kastelierot	Vuosi		Sijainti	sinappi		maanäyte		teho(%)
	N							
1998	1		Oja	8		3		73
	1		Väli	5		1		83
1999	3		Oja	2		1		–
	3		Väli	0		0		–
Endogeeiset lierot	Vuosi		Sijainti	Min		Max		\bar{x}
	N							
1999	22		Oja	0	100	22,1	36,9	36,4
	19		Väli	0	100	11,8	41,6	34,7

3.4 Sää ja maaperä

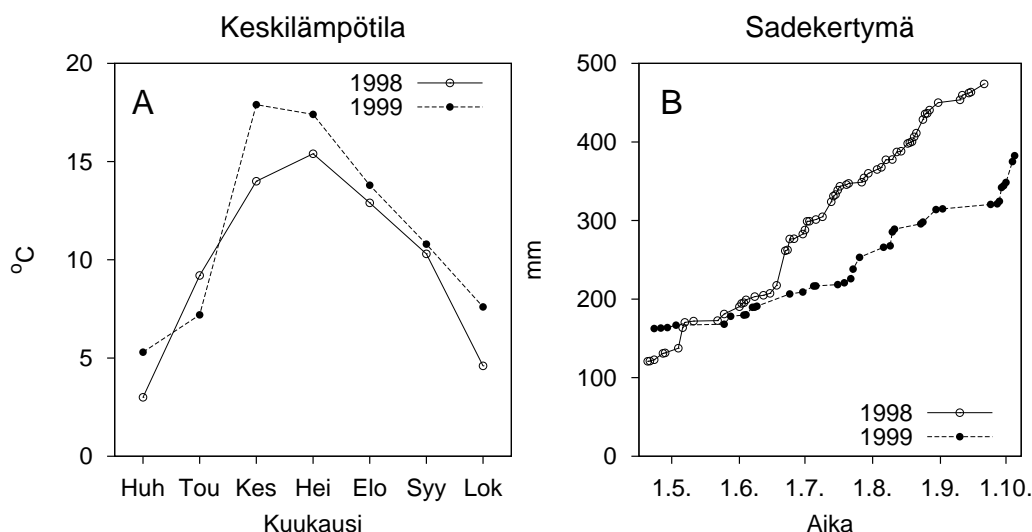
3.4.1 Sade ja lämpötila

Sadanta jakautui eri tavalla tutkimusvuosina. Koko vuoden (tammi–joulukuu) sademäärien ero jäi melko pieneksi (vuonna 1998 noin 610 mm ja vuonna 1999 noin 570 mm), mutta kasvukauden aikainen sadekertymä jäi vuonna 1999 selkeästi pienemmäksi (356 mm vuonna 1998 ja 225 mm vuonna 1999) ja myös sadepäiviä oli edellisvuotta vähemmän (kuva 14 B). Kesä 1999 oli lisäksi jonkin verran edellistä lämpimämpi. Vain toukokuun keskilämpötila jäi vuoden 1998 vastaavaa alemmaksi (kuva 14 A).

3.4.2 Maaperän ravinteet, kosteus ja routaantuminen

Etäisyysluokista 0 ja 2 (3,5 m salaojasta) tehtyjen maanäyteanalyysien perusteella ei maaperän ravinteisuudessa ja happamuudessa näyttänyt olevan suuriakaan eroja ojan- kohdan ja kauempana ojasta olevan alueen välillä (taulukko 4).

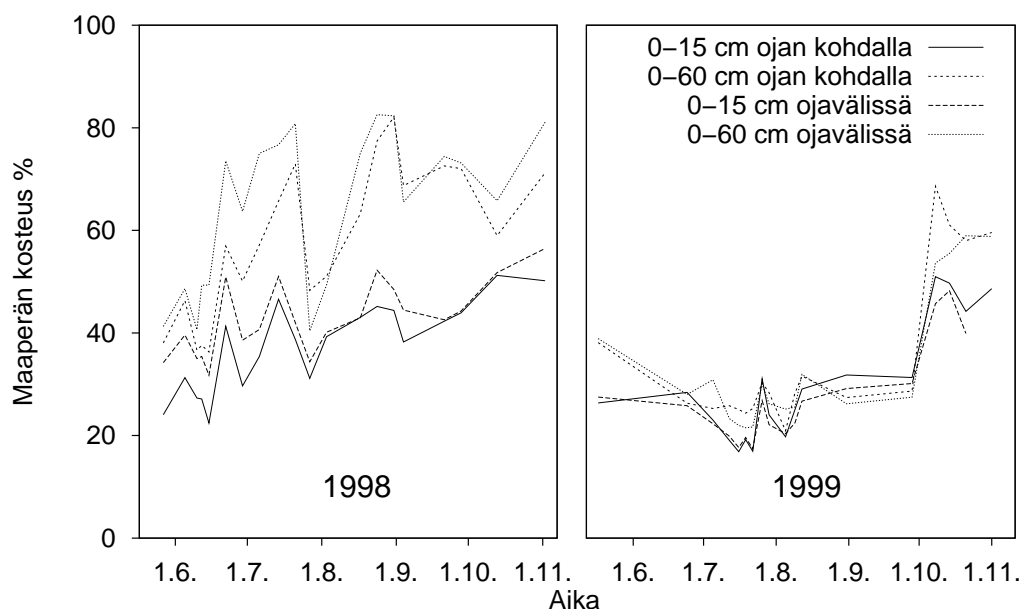
Maan kosteuspitoisuudessa ero vuosien välillä oli dramaattinen: vuonna 1998 pohjamaa oli keskikesällä pintamaata selvästi kosteampaa, kun samaan aikaan vuonna 1999 pohja- ja pintamaan kosteus olivat hyvin lähellä toisiaan. Maa oli 1999 myös kokonaisuudessaan kuivempaa edellisen vuoden vastaavaan ajanjaksoon verrattuna (kuva 15). Vuoden 1999 näytteenoton yhteydessä havaittiin pellon pintakerroksen olevan erittäin kuiva ja halkeillut.



Kuva 14: A: Kuukauden keskilämpötila Lintupajun lohkolla vuosina 1998 ja 1999 aikavälillä huhtikuu – 17.10. B: Sadekertymä (mm) Lintupajun lohkolla kasvukauden alusta näytteenottojakson loppuun vuosina 1998 ja 1999. Kunkin piste vastaa yhtä sademittarin lukukertaa.

Taulukko 4: Keskeisiä maaperän ominaisuuksia kuvaavia muuttujia pintamaassa (maakerros 0–10 cm) salaojan kohdalla ja 3,5 m salaojasta Lintupajun tutkimuslohkolla syksyllä 1999. s =keskihajonta

	Sijainti	Min	Max	Md	s	\bar{x}
N (%)	Oja	0,14	0,36	0,25	0,05	0,24
	3,5 m ojasta	0,11	0,35	0,24	0,05	0,24
C (org.) (%)	Oja	2,49	5,30	3,19	0,63	3,28
	3,5 m ojasta	2,38	5,35	3,15	0,64	3,25
Humus (%)	Oja	4,31	9,17	5,52	1,10	5,67
	3,5 m ojasta	4,11	9,25	5,44	1,11	5,60
pH	Oja	5,46	6,10	5,71	0,19	5,73
	3,5 m ojasta	5,47	6,07	5,74	0,17	5,79
Ca (g/l)	Oja	2,5	3,7	2,9	315,2	2,9
	3,5 m ojasta	2,3	3,7	2,9	347,2	2,9
K (mg/l)	Oja	103,2	212,6	145,3	28,7	149,8
	3,5 m ojasta	103,6	186,2	131,6	26,8	139,8
Mg (mg/l)	Oja	281,7	557,9	366,4	76,0	382,0
	3,5 m ojasta	286,1	543,7	364,3	77,8	379,0
P (mg/l)	Oja	8,8	71,1	15,4	12,3	18,2
	3,5 m ojasta	7,0	78,5	15,9	13,6	18,2



Kuva 15: Pintamaan (maakerros 0 – 15 cm) ja pohjamaan (maakerros 0 – 60 cm) kosteudet vuosina 1998 ja 1999. Kuviossa on esitetty mittauspäivien keskiarvot viidestä oja- ja viidestä ojavälipisteestä.

Routa- ja pohjavesimittausten osalta havaittiin muutamissa tutkituissa pisteissä kiinnostava ilmiö erityisesti talvella 1997–1998: roudasta ja vedestä vapaata tilaa jäi enemmän salaojan kuin ojavälin kohdalla (kuva 16). Pohjaveden pinta oli salaojien kohdalla lähes poikkeuksetta alempana kuin ojavälissä ja valtaosassa pareista routa ei ulottunut ojan kohdalla yhtä syvälle kuin ojavälissä. Kokonaisuutena talvi 1997–1998 oli ankarampi: routa ulottui syvemmälle ja varsinkin ojavälissä pohjaveden pinta oli korkealla.

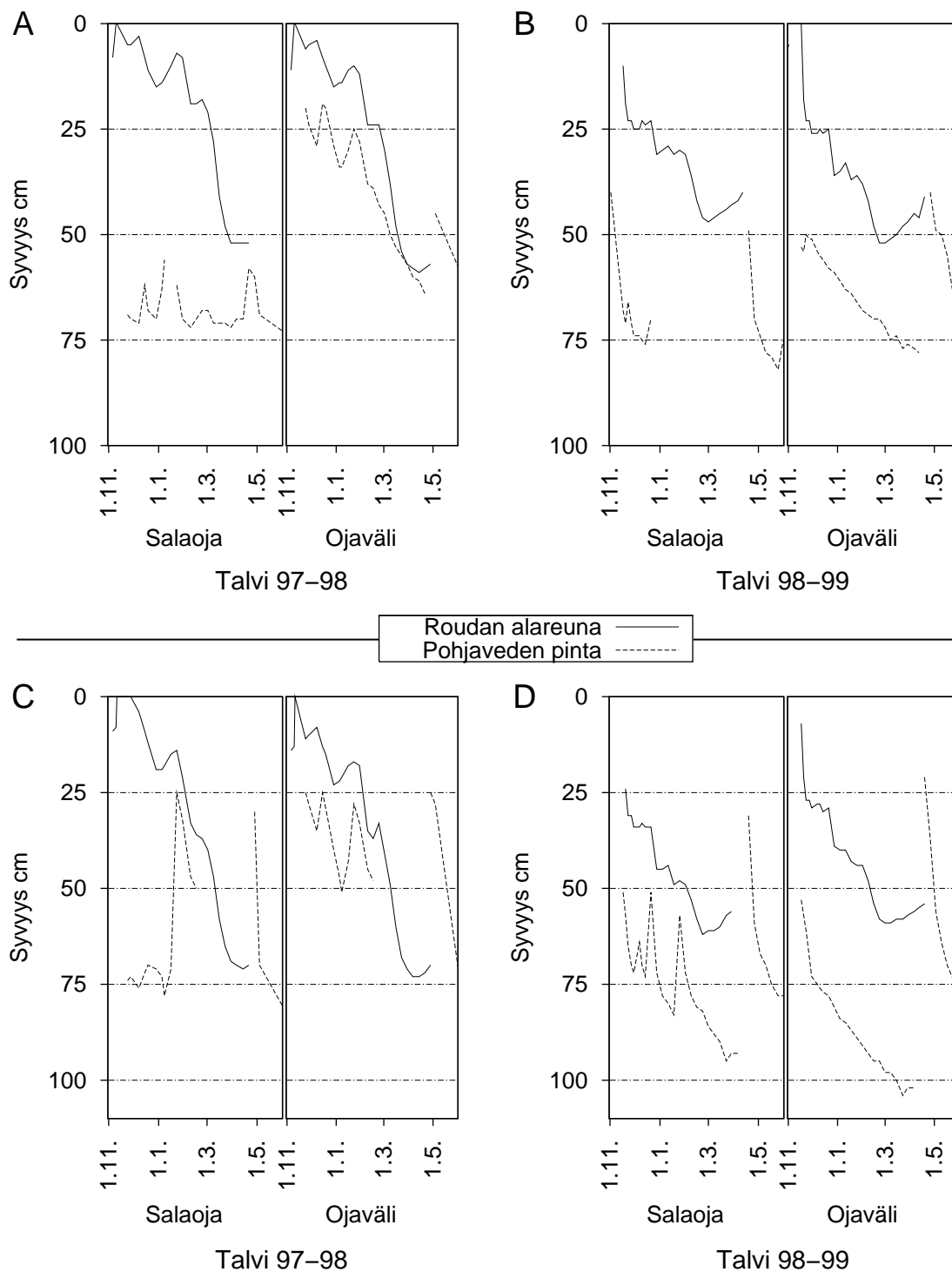
Talvikaudella 1997-1998 maa routaantui syvemmältä (maksimiero 2–9 cm) ojavälin kohdalla kaikissa neljässä tutkitussa pisteparissa (esim. kuvat 16 A ja C). Näin tapahtui myös talvikaudella 1998-1999 kahdessa pisteparissa (maksimiero 5–7 cm), mutta kahdessa parissa routa ulottui syvemmälle ojan kohdalla (ero suurimmillaan molemmissa 6 cm) (esim. kuvat 16 B ja D).

Talvella 1997-1998 kahdessa ojapisteessä pohjaveden pinta oli selkeästi roudan alareunaa syvemmällä ja vastaavasti routa ja pohjavesi leikkasivat kahdessa välipisteessä (esim. kuva 16 A). Kahden muun oja- ja välipisteen osalta mittaustulokset jäivät puutteellisiksi (esim. kuva 16 C).

Talvella 1998-1999 pohjaveden pinta pysyi roudan alareunaa syvemmällä kolmessa oja- (esim. kuva 16 D) ja kahdessa välipisteessä (esim. kuvat 16 B ja D). Yhden oja- ja yhden välipisteen osalta havainnot olivat saman suuntaisia kuin edellä, mutta mittaustuloksia puuttui (esim. kuva 16 B ojapiste). Ainoastaan yhdessä välipisteessä yhdellä mittauskerralla pohjaveden pinta ja roudan alareuna leikkasivat. Pian tämän jälkeen mittaussarja kuitenkin katkesi ja uusia arvoja saatiin vasta keväällä roudan sulettua, joten tilanteen kehitys jäi epäselväksi.

Mielenkiintoinen havainto oli myös se, että vuonna 1999 vähäsateisen jakson lopussa pohjavesitilanne kääntyi päinvastaiseksi kolmessa pareista: pohjaveden pinta oli ojan kohdalla korkeammalla kuin ojavälissä. Esimerkiksi eräässä parissa mitattiin 13.9. pohjaveden pinnan sijainniksi ojan kohdalla 103 cm ja ojavälin kohdalla vähintään 115 cm. Mittausputken syvyys oli 115 cm, joten vedenpinta ojavälissä saattoi olla vielä mitattua syvemmälläkin. Veden nousu ylemmäksi salaojan kohdalla alkoi parista riippuen heinäelokuussa ja tilanne normalisoitui taas vähitellen lokakuussa sateiden alettua. Yhdessä parissa ilmiö oli nähtävissä jo kevättalvella (kuva 16 D). Tässäkin parissa vedenpinta painui salaojan kohdalla syvemmälle keskikesän ajaksi.

Aineiston laskennallista tarkastelua ei tehty, koska täydellisiä mittauspistepareja (sekä routa- että pohjavesimittaus vierekkäisissä oja- ja ojavälipisteissä) oli ainoastaan neljä. Lisäksi mittaussarjat jäivät osittain hyvin rikkonaisiksi ja virhearvojen mahdollisuus huomattavaksi. Saadut havainnot antoivatkin vain viitteitä ilmiön luonteesta.



Kuva 16: Roudan syvyys ja pohjaveden korkeus kahtena peräkkäisenä talvena kahdessa oja-ojaväliparissa, ylhäällä pari 11 (A+B), alhaalla pari 15 (C+D). Routajakso (1.11. – 31.5.) talven 1997-1998 osalta vasemmalla ja talven 1998-1999 osalta oikealla. Roudan sulaminen tapahtuu pääasiassa pinnasta käsin, mistä seuraa roudan alarajan syvyyskäyrän äkillinen katkeaminen keväällä.

4 Pohdinta

4.1 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako salaojitus kastelierojen esiintymiseen savimaassa ja kuinka sääolojen vaihtelu vaikuttaa esiintymiskuvaan. Lisäksi haluttiin tutkia yksityiskohtaisemmin kuinka kastelierojen runsaus muuttuu suhteessa salaojien sijaintiin ja onko salaojien sijainnilla merkitystä endogeeisten lajien runsauden kannalta. Maaperän ominaisuuksia ja sääilmiöitä tarkastelemalla haluttiin selvittää syitä, jotka voisivat selittää tehtyjä havaintoja.

Salaojituksen havaittiin vaikuttavan kastelieron esiintymiseen. Ensimmäisenä tarkastelusyksynä kastelierotiheys oli salaojan kohdalla noin kaksinkertainen ja tuorepaino noin viisinkertainen ojaväliin verrattuna. Ero tuorepainoissa selittyi aikuisten yksilöiden suuremmalla osuudella ojan kohdalla. Seuraavana syksynä kastelieroja tavattiin ainoastaan ojan kohdalla mutta yksilömäärä jäi hyvin alhaiseksi. Sen sijaan pintamaassa elävien lajien kohdalla vastaavaa selkeää salaojien vaikutusta runsauteen ei havaittu.

Poikkeuksellisen kuiva ja lämmin kesä aiheutti kastelierojen määrän romahtamisen toisena tutkimusvuotena. Salaojan vaikutus pohjaveden pinnan tasoon johti syvällä maaperässä siihen, että elinolosuhteet maan kuivuessa ja toisaalta myös routaantuessa säilyivät kastelierojen kannalta edullisempina salaojan kohdalla kuin salaojien välissä. Tämä selittää ainakin osittain kastelierojen runsaampaa esiintymistä salaojan kohdalla kumpanakin vuonna.

4.1.1 Lierojen runsauden vaihtelua selittäviä tekijöitä

Kastelieron tiedetään vetäytyvän epäsuotuisissa oloissa käytävänsä pohjalle, missä se viettää aikaa elinolosuhteiden huonontuessa ylempänä maassa esimerkiksi kuivuuden tai routaantumisen vuoksi (Sims & Gerard, 1985). Pohjaveden voi ajatella rajoittavan lieronkäytävän syvyyttä, jolloin salaojan kohdalla alempana oleva vedenpinta mahdollistaa lieron kaivautumisen syvemmälle. Yleisesti vedenpinnan rajoittavan vaikutuksen ovat havainneet mm. Hoogerkamp ym. (1983) kuivattavana olleella alangolla, missä kastelieron käytävät päättyivät pohjaveden pinnan tasolle. Salaojien osalta asiaa on myöhemmin tutkittu tarkemmin myös käyttämällämme Lintupajun lohkokolla. Tehdyt havainnot viittaavat syvyserojen olemassaoloon: Keskimääräinen syvyys salaojan kohdalla sijaitsevilla kastelieron käytävillä oli 1,0 m (n=27) ja ojien välissä sijaitsevilla käytävillä 0,83 m (n=12) (Nuutinen & Butt, 2003).

Ojavälissä korkeammalla olevasta pohjaveden pinnasta seuraa maan routaantuessa tilanne, jossa sekä roudasta että vedestä vapaata tilaa jää ojavälissä vähemmän kuin salaojan kohdalla. Kun tähän yhdistetään vielä mahdollinen syvempi maan routaantuminen ojavälissä, kapenee edullinen elintila entisestään tai jopa kutistuu olemattomiin. Vaikka samoin lopulta tapahtuisi roudan syvetessä myös salaojan kohdalla, kestäisi tilanne ojavälissä pitempään.

Vähäsateisina kausina kuivuminen etenee pintamaasta alkaen, kosteuden säilyessä pisimpään syvällä pohjamaassa. Salaojan kohdalla elävät lierot pystyvät siirtymään käytävissään syvemmälle kuivuutta pakoon kuin lierot matalammassa käytävissä ojavälin kohdalla. Pitkään jatkuva kuivuus voi johtaa jopa lierojen menehtymiseen, jolloin ensimmäisenä vaarassa ovat ylempi maahan jääneet yksilöt ojavälissä. Loppukesällä 1999 havaittu pohjaveden painuminen ojavälissä ojankohtaa syvemmälle on myös kiinnostava ilmiö. Mikäli pitkän kuivuusjakson aikana maa salaojaputken läheisyydessä pysyy kosteana kauemmin, lisääntyy ojankohdan merkitys entisestään.

On myös mahdollista, että maan rakenne olisi salaojan kohdalla lierojen kannalta edullisempi. Salaojien asennusvaiheessa syntyvä kaivanto täytetään täytemaalla, jonka voi ajatella olevan pehmeämpää ja siten helpompaa kaivautua kuin ympäristön tiivis ja koskematon pohjamaa. Ainakin Urbánek ja Doležal (1994) ovat raportoineet salaojakaivannon reunoilla täytemaan ja pohjamaan rajassa olevasta karkeamman ja läpäisevämmän maa-aineksen vyöhykkeestä. Mahdollista olisi ehkä sekin, että täyttövaiheessa maa-aines jonkin verran sekoittuu ja pintamaan orgaanista ainesta joutuu syvemmälle maahan.

Myös mahdollisesti rehevämpi kasvusto ja siitä seuraava parempi ravintotilanne ojan kohdalla voisi olla lierojen kannalta edullinen. Maanäyteanalyysien perusteella ei kuitenkaan pintamaan orgaanisen aineksen pitoisuudessa voitu sanoa olevan suurta eroa ojan ja ojavälin kohdalla. Analyysit tosin tehtiin kuivan jakson jälkeen maan oltua pitkään läpikotaisin kuivaa. Kasvuston voisi ajatella olevan salaojan kohdalla runsaampaa ainakin sateisena aikana, jolloin ojavälin kasvusto saattaa kärsiä liiallisesta märkydestä.

Kastelieron ja pintamaan lajien erilainen vaste salaojiin on jokseenkin odotettavissa näiden ryhmien elintapojen eroavaisuuksia ajatellen. Edellä esitetyistä kastelieroitiheyden eroa selittävistä tekijöistä valtaosassa vaikutukset korostuvat syvällä maaprofiilissa. Pintamaan lajeille merkityksellisiksi voisi ajatella salaojan kohdan löyhemmän rakenteen sekä paremman ravintotilanteen, josta ei kuitenkaan saatu näyttöä. Pelto- ja kastelieron erilaiset vasteet maanmuokkaukseen (esim. Nuutinen, 1992) kertovat vähintäänkin sen, että nämä lajit voivat reagoida samaan ilmiöön aivan eri tavoin. Pel-

toliero näyttäisi ainakin sietävän kovempaa ja pitempiaikaista häirintää huomattavasti kastelieroja paremmin.

Koska endogeeisten lajien aktiivisuus keskittyy maan pintaosiin, ne ovat alttiimpia elinympäristön muutoksille ja niiden mahdollisuudet välttää ääriolosuhteita ovat kastelieroja heikommalla. Kun olosuhteet käyvät ankariksi, niiden selviytymiskeinona on lähinnä asettuminen lepotilaan. On tosin mahdollista, että peltolierolla onkin käytössään useampia selviytymiskonsteja. Tuoreet tulokset nimittäin viittaavat siihen, että peltoliero kestäisi jossain määrin jopa jäätymistä (Holmstrup & Overgaard, 2007). Jokioisilla tehdyissä tutkimuksissa on aiemmin havaittu, että kuivuutta karttaessaan peltolierot kaivautuvat n. 30 cm syvyyteen asettuen siellä lepotilaan (Pitkänen & Nuutinen, 1997) mutta tuoreiden havaintojen mukaan ne voivat talvella routaa paetessaan kaivautua jopa metrin syvyyteen (Nuutinen ym., 2008).

Eroa vuosien välisessä kastelieroitiheydessä selittänee pääasiassa ero kesien aikaisessa säätilassa. Korkeasta lämpötilasta ja samanaikaisesta kuivuudesta seuranneen maan kuivumisen voi sanoa heikentäneen lierojen olosuhteita oleellisesti. Ojavälin lierottomuus voi ainakin osittain olla seurausta sen huonommista elinolosuhteista ojankohdan verrattuna. Myös muutos kastelierojen ikäjakaumassa oli huomattava. Vuonna 1998 suurin osa yksilöistä oli nuoria (104 nuorta vs. 37 aikuista, esiakuisia ei ole tässä laskettu mukaan), kun vuonna 1999 aikuiset olivat enemmistönä (5 nuorta vs. 26 aikuista). Lisäksi aikuiset yksilöt keskittyivät molempina vuosina salaojan läheisyyteen. Tämä voinee johtua ikäluokkien erilaisesta selviytymiskyvystä tai nuorten yksilöiden epäedullisesta sijainnista.

Vuoden 1999 alhaisen kastelieroitiheyden selittäjäksi voisi ajatella myös routaantumista tai aiemmin esitetystä roudan ja pohjaveden yhteisvaikutuksesta johtuvaa lierojen talvikuolleisuutta. Tarkasteluvuosien välisen vaihtelun selittäjänä se ei kuitenkaan tunnu kovin todennäköiseltä. Kevättalvella 1998 routa ulottui syvälle ja mittausaineistossa nähdään viitteitä roudan ja pohjaveden yhteisvaikutuksista (kuva 16). Tästä huolimatta syksyllä 1998 saatiin lieroja kohtuullisesti molemmista etäisyysluokista. Kevättalvella 1999 routaa oli edellisvuotta vähemmän ja pohjaveden pinta pysyi alhaalla (kuva 16), mutta edellisvuotta paremmista talviolosuhteista huolimatta lierokanta oli syksyyn mennessä romahtanut. On kuitenkin mahdollista, että kevättalven 1998 olosuhteet ovat jossain määrin osallisia syksyllä 1998 havaittuihin ojavälin ja ojankohdan välisiin ikäluokka- ja yksilöitiheyseroihin.

Lämpötila tuntuu todennäköisemmältä selitykseltä myös sen vuoksi, että lierojen on todettu sietävän suhteellisen hyvin kylmiä ja kosteita olosuhteita ja ne pystyvät selviytymään pitkiäkin aikoja upoksissa veden alla, kunhan veden happipitoisuus on riit-

tävä (Edwards & Bohlen, 1996). Lierot eivät kuitenkaan kykene sisäisesti säätelemään kehonsa vesitaloutta, vaan ovat riippuvaisia ympäröivän maaperän vesipotentiaalista (Kretzschmar & Bruchou, 1991). Korkean lämpötilan ja kuivuuden yhdistelmää pidetäänkin lieroille haitallisempina kuin vetistä ja viileää. Pitkään jatkuva kuivuus voi alentaa lieropopulaation kokoa dramaattisesti ja sen palautuminen olosuhteiden parannuttua voi kestää jopa kaksi vuotta (Edwards & Bohlen, 1996).

Euroopassa tehdyissä tutkimuksissa peltolieron on havaittu siirtyvän lepotilaan maan kosteuspuiteisuuden laskiessa alle 25–30% ja selviytymisen heikkenevän alle 20% kosteudessa (Edwards & Bohlen, 1996). Peltolierolla havaittuja kosteustoleransseja ajatellen olisi ollut mielenkiintoista tarkastella kuivuuden vaikutusta myös pintamaan lierojen runsauteen. Valitettavasti aineisto ei tätä mahdollistanut.

4.1.2 Aineiston rajoituksia ja virhelähteitä

Populaatiotiheyttä arvioitaessa on tärkeää käyttää sellaista näytekokoa, jolla tutkittavasta kohteesta saadaan edustava otos. Lieroille soveltuvaa näytealan kokoa on tutkittu kiitettävästi ja tutkimuksessa käytetyt näytekoot noudattelivat yleisesti käytettyä linjaa.

Kastelierojen keräämiseen käytetty sinappimenetelmä ei erityisesti vuonna 1998 tavoittanut kaikkia maaperässä olevia lieroja. Tästä johtuen on mahdollista, että kastelieroitiheys oli todellisuudessa arvioitua suurempi. Menetelmän tehokkuus voi lisäksi vaihdella eri ikäluokkien välillä (Baker & Lee, 1993), mikä voi johtaa jonkin ikäryhmän yli- tai aliedustukseen. Endogeeisten lierojen osalta pelkkä sinappinäytteenotto olisi ollut täysin riittämätön yksilötiheyden arviointiin, joten näytteenoton tarkentaminen maanäytteillä oli ehdottomasti tarpeen.

Tällaisessa työssä olisi tarpeellista kerätä riittävästi aineistoa ja sitä varten muodostaa mahdollisimman kattava näytepisteverkosto. Näytteiden keruu ja niiden myöhempi käsittely on kuitenkin melko aikaavievää ja fyysisesti raskastakin, joten kovin suureen näytemäärään on käytännössä vaikeaa löytää riittävästi resursseja. Koska sääolosuhteilla voi olla vaikutusta lierojen esiintymiseen, olisi myös tärkeää kerätä aineisto jokseenkin samanlaisten olosuhteiden vallitessa eikä näytteenottojakso saisi ajallisesti kestää kovin pitkään.

Jo pelkkä näytteenotto vaatii paljon työtä. Esimerkiksi vuonna 1999 maastotöihin tarvittiin neljän ihmisen noin viikon työpanos, jonka lisäksi tulivat vielä esivalmistelut (mm. näytealojen merkintä ja sinappiliuosten valmistus). Työläimmäksi osoittautui maanäytteiden seulonta, koska käsiteltävä maa oli tiivistä ja etsittävät kohteet pieniä.

Vuoden 1998 kastelieroaineisto oli kooltaan riittävä tilastolliseen testaamiseen, mutta seuraavana vuonna jouduttiin luopumaan kaikista suunnitelluista tilastollisista vertailuista ja tyytymään pelkkään kuvailevaan tarkasteluun. Aineisto sisälsi huomattavan paljon nolla-arvoja, ja myös lierojen lukumäärä oli vähäinen. Lisäksi ojavälin täydellinen lierottomuus vaikutti myös erotusmuuttujiin. Aineiston perusteella tulos oja- ojavälivertailussa olisi toki varsin ilmeinen, mutta varsinaisen tilastollisen päättelyn osalta epäluotettava. Vuoden 1999 aineiston heikko laatu estää myös ojaetäisyyden tarkemman tarkastelun (etäisyysluokat 1 ja 2) ja vuosien välisen vertailun.

Määperäanalyysyjä varten olisi ollut hyvä saada näytteet todellakin ojavälin kohdalla (etäisyys keskimäärin 8 m ojasta), nyt jouduttiin tyytymään käytännössä salaojan ja ojavälin puoliväliin (3,5 m ojasta).

Routa- ja pohjavesiaineistoa saatiin varsin niukasti, koska täydellisiä mittauspistepareja (sekä routa- että pohjavesimittaus vierekkäisissä oja- ja ojavälipisteissä) oli vain neljä. Lisäksi erityisesti pohjaveden osalta data oli ajoittain huonolaatuista. Pohjaveden korkeuden mittausmenetelmä vaikutti olevan melko herkkä häiriöille (putken jäätyminen kokonaan tai osittain, pintaveden pääsy mittausputkeen), minkä vuoksi havaintosarjat jäivät osassa mittauspisteistä katkonaisiksi ja puutteellisiksi. Lisäksi havaintosarjoissa esiintyi yksittäisiä korkeita arvoja, joiden syy jäi epäselväksi. Esimerkiksi lähes jokaisessa mittausarjassa havaittu, roudan lopulliseen sulamishetkeen sijoittuva, pohjaveden pinnan korkeuspiikki johtui todennäköisesti jostakin ulkoisesta häiriötekijästä.

Loppukesällä 1999 havaitut poikkeavat pohjaveden korkeudet voivat liittyä pellon (ja samalla myös salaojien) kaltevuuteen ja mittauspaikan sijaintiin salaojalinjassa. Tutkimuslohko (kuva 1) oli loivasti kohti luoteiskulmaa viettävä. Valtaosa salaojalinjoista sijaitsi lähes itä-länsisuuntaisesti päättyen länsilaidassa olevaan kokoomaajaan. Myös routa-pohjavesi-mittauslinja sijaitsi lähellä länsilaitaa, joten linjan kohdalla salaojiin oli jo kertynyt valtaosa koko pellon salaojavalunnasta. Ainoa ”normaalihavainto” (pohjavesi ojan kohdalla alempana) mitattiin linjan pohjoisimmasta pisteparista, muut kolme paria sijaitsivat linjalla tasaisin välein. Voi olla, että vain tässä sijainniltaan alimmas- sa tarkastelupisteessä vedenpinta oli tasolla, jolla salaoja poisti vettä ympäriltään ja muissa pisteissä pitemmältä salaojista tuleva virtaama kosteutti salaojaa ympäröivää maata.

4.2 Johtopäätökset

Useissa aikaisemmissa tutkimuksissa kuivatuksen on todettu lisäävän lierojen laji- ja yksilömääriä maaperässä (mm. Hoogerkamp ym., 1983; Baker, 1998; Makulec, 1991) ja joidenkin tutkimusten ohessa on myös raportoitu suuremmasta lieronreikien tiheydestä salaojan lähetyvillä (Aura, 1990; Urbánek & Doležal, 1994).

Erityisesti lierotiheyden ja salaojien suhdetta ei ollut ennen tutkimustamme juurikaan tarkasteltu, Shipitalon ja Gibbsin (2000) tekemää tutkimusta lukuunottamatta. Tässä suorakylvetyllä pellolla tehdyssä tarkastelussa salaojan sijainnin ei kuitenkaan havaittu vaikuttavan kastelierotiheyteen. Tulos tosin perustuu ainoastaan kahteen tutkituun oja-ojavälilinjaan, joten aineisto saattaa olla riittämätön ilmiön havaitsemiseen. Omassa työssämme oli vuoden 1998 kastelierojen oja-ojaväliaineistossa useita todetulle ilmiölle vastakkaisia havaintopareja ja vain muutamaa paria tarkastelemalla ilmiö olisi jäänyt havaitsematta. Erot pohjaveden käyttäytymisessä ja siten sen vaikutuksissa kastelieron ovat myös mahdollisia, sillä amerikkalaistutkimuksessa pellon maalaji oli tutkimaamme savimaata karkeampaa.

4.2.1 Merkitys viljelymaan prosesseille

Maaperän huokosrakenne vaikuttaa maan tuottavuuden kannalta tärkeisiin ominaisuuksiin: vedenpidätyskykyyn, kaasujen liikkeisiin ja ravinteiden sitoutumiseen. Suuret makrohuokokset, kuten lieronkäytävät, toimivat reitteinä juurille, kaasunvaihtokanavina kosteassa maassa sekä tehokkaina pintaveden kerääjinä vähentäen näin pintavaluntaa ja ravinteiden huuhtoutumista. Maan vedenläpäisykyvyn ja vesivarastona toimimisen kannalta suurten huokosten olisi hyvä ulottua vähintään metrin syvyyteen ja toimivan makrohuokosverkoston ylläpitäminen onkin keskeinen tavoite viljelymaan hoidossa (Alakukku, 2000).

Kestävän makrohuokosrakenteen muodostuminen ja ylläpito edellyttää, että liiallinen kosteus pääsee poistumaan maaperästä (Alakukku, 2000). Jos maa on liian märkää, luonnollisten huokosia muodostavien prosessien toiminta hidastuu tai estyy: kasvit eivät menesty, jolloin juurten muodostamat huokokset jäävät vähäisiksi, tai maan ajoittaiseen kuivumiseen liittyviä kutistumis-turpoamissyklejä ei pääse tapahtumaan. Myös työkoneiden aiheuttamaa maan tiivistymistä tapahtuu märässä maassa herkemmin. Kosteuden poistamiseksi tarvitaan toimivaa avo- tai salaojitusta.

Avoimet lieronkäytävät toimivat tässä tehokkaasti apuna ohjatessaan pintavesiä syvemälle maaperään. Sen lisäksi, että ne itsessään toimivat makrohuokosina, ne voivat myös edesauttaa uusien huokosten syntymistä vaikuttaessaan maan kuivatukseen. On

havaittu, että kastelierojen käytävät voivat olla routaantuneessa maassa täysin avoimia maan pintaan saakka (Nuutinen ym., 2008). Ne ovat siis heti valmiina toimimaan esimerkiksi keväällä, kun lumien sulaminen alkaa. Routaantuneen tai muuten tiivistyneen maan pinnalle jäätyvä vesi, jääpolte, voi myös aiheuttaa laaja-alaista kasvuston tuhoutumista. Avoimena pysyvien, routakerroksen läpi johtavien, lieronkäytävien olemassaolon voisi ajatella pienentävän huomattavasti poltteen muodostumisen riskiä.

Kastelieron käytäviä on Lintupajun loholla ehditty tutkia jo enemmänkin. Aivan ojalinjan läheisyydessä (etäisyys ojalinjasta 0–0,17 m) on tehty havaintoja lähes pystysuorista käytävistä, jotka ovat suoraan kosketuksissa salaojaputkeen tai sitä ympäröivään soraan (Nuutinen & Butt, 2003). Shipitalo ja Gibbs (2000) havaitsivat käytävien vedenjohtavuutta tutkiessaan, että korkeintaan metrin etäisyydellä ojalinjasta sijaitsevista käytävistä oli avoin yhteys salaojaan, kuitenkin suurimman osan käytävistä sijaitessa vain n. 20 cm leveällä vyöhykkeellä ojalinjan päällä. Myös he raportoivat käytävistä, jotka päättyivät n. 2 cm päähän salaojaputkesta.

Lintupajun loholla on tutkittu myös lieronkäytävien ja maan muiden makrohuokosten välistä yhteyttä ja veden liikettä kuivassa ja halkeilleessa savimaassa (Shipitalo ym., 2004). Tutkimuksessa havaittiin, että veden imeytyminen maahan oli halkeamien kautta nopeaa, mutta sen kulku pysähtyi muokkauskerroksen alla olevaan tiivistyneeseen kyntöanturaan. Vesi liikkui vaakasuuntaisesti anturan päällä, kunnes pääsi jälleen valumaan alaspäin anturan läpäisevien lieronkäytävien kautta. Syvällä pohjamaassa veden virtausta tapahtui myös sellaisissa käytävissä, jotka eivät avautuneet kyntöanturan yläpintaan. Tämä viittaa siihen, että vesi kulkeutui halkeamien välityksellä laajemmalle alueelle ja myös vanhempiin käytäviin.

Havaintojen perusteella voidaan todeta, että lieronkäytävien ja muun makrohuokoston välinen vuorovaikutus voi olla merkittävän suurta. Sateella vesi johtuu tällaisessa maassa hyvin nopeasti syvemmälle huokosiin ja halkeamiin, läpäisee lieronkäytävien kautta tiivistymiskerroksen ja virtaa edelleen käytäviä pitkin pohjamaahan tai sopivan käytävän välityksellä suoraan salaojaan. Veden vaakasuuntaisen liikkeen seurauksena yksittäinenkin käytävä voi kerätä vettä laajalta alueelta. Koska maa tutkimushetkellä oli erityisen kuivaa, halkeamien merkitys veden liikkumisessa korostui. Kosteammissa olosuhteissa kuivumisen aiheuttamat halkeamat pääosin turpoavat umpeen, jolloin veden kuljetus jää lähinnä lieronkäytävien vastuulle.

Edwards & Bohlen (1996) toteavat, että vettä johtavien reittien määrä voi merkittävästi alentua maassa, jota muokataan. Shipitalo ym. (2004) kuitenkin mainitsevat, että käytävät eivät useinkaan alkaneet maan pinnalta, vaan ne näkyivät vasta tiivistyneessä kyntöanturassa muokkauskerroksen poiston jälkeen. Syyksi tälle oletettiin muokkaus,

joka on rikkonut käytävien rakenteen pintamaassa. Kuivuneessa maassa halkeamat lie-
nevätkin tehokkaampia veden kerääjiä kuin lieronkäytävät.

Käytävien kautta tapahtuvaa veden kulkeutumista kutsutaan myös ohivirtaukseksi
(engl. bypass flow), jos vesi ei jää maaperään vaan valuu maakerrosten läpi pohja-
veteen tai päätyy muuta reittiä suoraan pintavesiin, esimerkiksi salaojien kautta vesis-
töön. Tässä mielessä veden nopea virtaus pintamaasta käytävien kautta salaojaan ei ole
pelkästään positiivinen asia. Tällainen äkillinen virtaus kuljettaa mukanaan myös maa-
perän hienoainesta ja viljelymaassa käytettäviä torjunta-aineita. Myös kasveille tarkoi-
tetut lannoitteet voivat käytävien kautta huuhtoutua salaojiin ja edelleen vesistöihin,
missä ne saattavat aiheuttaa mm. rehevöitymistä.

Esimerkiksi Shipitalo & Gibbs (2000) totesivat lieronkäytävien tehostavan lietelannan
kulkeutumista salaojiin. Tuossa tutkimuksessa lieronkäytävillä oli kuitenkin yhteys sa-
laojaan vain kapealla ojalinjan suuntaisella vyöhykkeellä. Tämän perusteella tutkijat
esittivätkin, että välttämällä lietteen levitystä aivan ojalinjojen kohdalle olisi mahdol-
lista vaikuttaa merkittävästi huuhtoutuvan aineksen määrään. Lintupajussa havaitun
(Shipitalo ym., 2004) veden poikkisuuntaisen liikkeen perusteella tämä ei kuitenkaan
aina välttämättä ole riittävä ratkaisu.

Edwardsin ja Bohlenin (1996) mukaan on mahdollista, että infiltraation tehostumi-
seen ei tarvita kuin muutama erityisen tehokkaasti toimiva lieronkäytävä neliömetrillä.
Infiltraationopeuden on myös havaittu korreloivan huomattavasti voimakkaammin lie-
ronkäytävän syvyyden kuin sen halkaisijan kanssa (Lee & Foster, 1991). On siis mah-
dollista, että jopa yksittäinenkin kastelieron käytävä voi vaikuttaa merkittävästi veden
johtumiseen pois pintamaasta.

Havaittujen salaojien ja kastelierojen välisten vuorovaikutusten perusteella tätä ei ole
kovinkaan vaikeaa uskoa. Varsinkin käytävien suoraa salaojayhteyttä ajatellen, voi tut-
kimuksessamme havaitulla kahden kastelieron erolla salaojankohdan hyväksi olla yllät-
tävän suuri merkitys.

4.2.2 Lierojen tilavaihtelun huomioiminen

Jo 1800-luvun lopulla Charles Darwin kiinnitti huomiota lierojen esiintymisen vaihte-
luihin (Darwin, 1881). Häntä askarrutti mm. kysymys siitä, miten jo yksittäisen pellon
sisällä lierotiheys saattoi vaihdella suuresti ilman, että selkeää syytä ilmiölle voitiin ha-
vaita. Noista havainnoista huolimatta on myöhemmin ollut vallalla jopa näkemys, jon-
ka mukaan peltojen väliset erot johtuisivat erilaisista viljelyhistorioista, mutta pellon
sisällä lierosto jakautuisi suhteellisen tasaisesti ja havaitut pellonsisäiset erot selittyisi-

vät otantavirheellä (Guild, 1952). Sittemmin lierotiheyden lohkonsisäiseen vaihteluun vaikuttavia tekijöitä on pyritty selvittämään lukuisissa tutkimuksissa (mm. Poier & Richter, 1992; Rossi ym., 1997; Nuutinen ym., 1998).

Edwardsin ja Bohlenin (1996) mukaan lierojen esiintymistä maaperässä ei voida pitää satunnaisena, vaan tilavaihtelua selittävät useat eri tekijät, jotka voidaan jakaa neljään ryhmään:

1. Fysikaalis-kemialliset tekijät: maan lämpötila, kosteus, pH, epäorgaaniset suolat, ilmavuus, rakenne.
2. Ravinnon saatavuus: kasvillisuus, lehtikarike, karjanlanta, kiinteä orgaaninen aines.
3. Lajin lisääntymiskapasiteetti ja leviämiskyky.
4. Historialliset tekijät: mm. häirintä, levinnäisyysalueen laajeneminen.

Kaikkien edellämainittujen tekijöiden voidaan ajatella olevan jollakin tapaa yhteydessä myös salaojiin.

Kosteus lienee fysikaalis-kemiallisista tekijöistä merkittävin lierojen tilavaihtelun kanalta. Salaoja aiheuttaa kosteuspitoisuuden paikallista vaihtelua maaperässä ja tätä kautta viljelymaahan muodostuu elinolosuhteiltaan poikkeavia alueita, jotka vaikuttavat lierojen horisontaaliseen levittäytymiseen. Pintamaan kuivuminen pohjamaan pysyessä kosteana saa aikaan myös lierojen pystysuuntaista liikettä, jota pohjaveden pinnan sijainti voi rajoittaa.

Lämpötila vaikuttaa lierojen sijaintiin niiden hakeutuessa esimerkiksi syvemmälle maahan routaa pakoon. Eri lajien kylmänsietokyky tai lämpötilaoptimi voivat olla hyvinkin erilaiset, mikä voi johtaa lajiston kerroksittaiseen sijoittumiseen maaperässä. Talvella maan routaantuminen voi rajoittaa lierojen liikkumista ylhäältäpäin samalla, kun alhaalla rajoittaa pohjaveden pinta, jonka tasoon salaoja vaikuttaa. Myös suoraviivaisempi salaojan vaikutus lämpöolosuhteisiin on mahdollinen, mikäli yleisemminkin esiintyy tutkimuksessa havaittua ojankohdan matalampaa routaantumista.

Lierojen sijaintiin vaikuttavat myös maan rakenne ja maalaji. Yleistäen lierojen voisi sanoa suosivan hiesumaita ja välttelevän sekä kovin karkeita että hyvin hienojakoisia maita (Edwards & Bohlen, 1996). Karkearakeiset maat ovat yleensä paitsi epämiellyttäviä kaivautua, usein myös kuivia, kun taas hienojakoisilla savimailla maa on rakenteeltaan tiivistä ja siinä kaivautuminen raskasta. Tiiviissä savimaassa elävien lierojen voisi

hyvin ajatella hakeutuvan salaojan ympäristön sekoitettuun maahan. Ojakaivanto tosin on varsinkin nykytekniikalla asennetuissa salaojissa hyvin kapea, vain n. 10–20 cm, joten täytemaan vaikutusalue voi olla hyvin rajallinen.

Maaperän rakenteen muutoksista salaojan läheisyydessä on tehty joitakin havaintoja (esim. Urbánek & Doležal, 1994). Myös kastelierojen käytäviä Lintupajun lohkolle tutkineet Nuutinen ja Butt (2003) havaitsivat viitteitä suotuisammasta pohjamaan rakenteesta tarkastellessaan maaperän ominaisuuksia maaleikkauksessa salaojan läheisyydessä. Kolmesta eri syvyydestä (0,05–0,15 m, 0,40–0,50 m ja 0,80–0,90 m) otettujen maanäytteiden perusteella maan savipitoisuudet suoraan salaojan kohdalla olivat pinnasta alkaen 40%, 62% ja 60% sekä 0,40 m päässä ojasta 41%, 67% ja 67%.

Saatavilla olevan ravinnon määrä ja laatu vaikuttavat merkittävästi lierojen populaatiotiheyteen, lajistoon sekä yksilöiden kasvuun ja lisääntymiseen (Edwards & Bohlen, 1996). Hyvä esimerkki tästä on lierotiheyden ja lajiston muuttuminen viljelymaassa kevennettyyn muokkaukseen siirryttäessä. Parempaa ravintotilannetta on ehdotettu yhdeksi kohonneen lierotiheyden selittäjäksi myös salaojan kohdalla. Nuutinen ja Butt (2003) tarkastelivat orgaanisen hiilen pitoisuutta kolmessa eri syvyydessä (0,05–0,15 m, 0,40–0,50 m ja 0,80–0,90 m). Ojan päällä pitoisuudet olivat 3,6%, 0,6% ja 0,7% ja vastaavasti 0,40 m etäisyydellä ojasta 3,1%, 0,4% ja 0,2%. Omien havaintojemme perusteella ei ainakaan pintamaan ravinnon saatavuus selittänyt kastelierojen runsautta salaojan kohdalla. Toisaalta tuottavuuserojen esiintyminen ojankohdan ja ojavälin kasvustojen välillä voi vaihdella sääolosuhteiden mukaan.

Lierotiheyden vaihtelua ei kuitenkaan aina pystytä selittämään fysikaalisilla tekijöillä tai ravinnon saatavuudella. Tämän havaitsivat mm. Rossi ym. (1997) etsiessään selittäviä tekijöitä erään endogeenisen lierolajin tilavaihteluun. Sen sijaan vaihtelun taustalla olivat demografiset, eli populaation ikärakenteeseen liittyvät, tekijät: kolme eri ikäluokkaa, aikuiset & esiaikuiset, nuoret ja munakotelot, olivat sijoittuneet omiksi ryhmikseen tutkimusalueen eri osiin. Erityisesti aikuiset yksilöt ja munakotelot sijaitsivat toisistaan erillään.

Lieropopulaatioissa ikäjakauma noudattelee yleensä pyramidimallia, aikuisia yksilöitä on suhteellisesti vähän ja populaation valtaosan muodostavat nuoret ja eriaisteiset aikuistumassa olevat yksilöt (Edwards & Bohlen, 1996). Ikäjakaumassa tapahtuu ajallista vaihtelua esimerkiksi vuodenaikojen mukaan (mm. nuorten yksilöiden huomattava runsaus heti lisääntymiskauden jälkeen tai talvikuukausina). Lisäksi voi esiintyä myös tilavaihtelua, kuten Rossi ym. (1997) totesivat. He tarjoavat yhtenä selityksenä aikuisten ja munakoteloiden erillisille sijainneille lajinsisäistä kilpailua, jonka seurauksena tiheissä aikuisten lierojen keskittymissä hedelmällisyys laskee ja munakoteloiden

tuotanto loppuu.

Olisi mielenkiintoista tietää, mitkä tekijät ovat Lintupajussa kastelieroilla havaittujen ikäluokkaerojen ja -muutosten taustalla. Vuonna 1998 suurin osa lieroista oli nuoria, aikuisten keskittyessä lähes pelkästään salaojan kohdalle, ja vuonna 1999 vallitsevana ryhmänä olivat aikuiset, keskittyen jälleen salaojan läheisyyteen. Oliko nuorten selviytymiskyky vain aikuisia heikompi, eivätkö ne vielä olleet ehtineet kaivautua tarpeeksi syvälle vai johtuiko nuorten väheneminen niiden epäedullisemmasta sijoittumisesta ojavälin kohdalle — ja miksi ne olivat vallitseva ryhmä juuri ojavälissä?

Aikuisten keskittyminen ojan läheisyyteen voi johtaa siihen, että alueella myös tuotetaan huomattava osa jälkeläisistä. Yksilötiheyden kasvaessa osa lieroista, mahdollisesti juuri nuorista yksilöistä, joutuu etsimään elintilaa tämän keskittymän ulkopuolelta. Levittäytyminen on mahdollista lähinnä ojien välisille alueille, joiden elinkelpoisuus voi kuitenkin huonoissa olosuhteissa olla riittämätön, mistä seuraa näillä alueilla yksilömäärän romahtaminen. Voisikin ajatella, että salaojan ympäristö toimii lisääntymisalueena, josta käsin ojien välinen alue voidaan aika-ajoin asuttaa uudelleen.

Tässä tutkimuksessa on saatu viitteitä siitä, miten merkittävästi poikkeavat sääolosuhteet, erityisesti kuivuus, voivat vaikuttaa lierojen määrään. Lisäksi näyttää siltä, että salaojan merkitys lierojen elinpaikkana voi korostua juuri tällaisissa ääritilanteissa.

Ekologisessa mielessä häirintä on tekijä, joka voi lisätä yhteisön monimuotoisuutta (mm. Becon ym., 1996). Salaoja voidaan ajatella häiriötekijäksi, joka vaikuttaa käytävissä olevaan tilaan ja ravinnonsaantiin sekä muuttaa eliöiden fyysistä ympäristöä. Toisaalta salaoja voi toimia myös elinympäristöä stabiloivana tekijänä ylläpitäessään vakaampia olosuhteita toistuvien maaperässä tapahtuvien heilahtelujen keskellä. Esi-merkkejä tällaisista vaikutuksista lieroyhteisön kannalta on jo edellä listattu.

Viljelymaassa salaojien voi ajatella olevan laikkuja, jotka lisäävät elinympäristön heterogeenisuutta. Tällainen alkuperäisestä ympäristöstä poikkeava alue saattaa houkutelaa paikalle sellaisia eliölajeja, jotka ovat kiinnostuneita laikun tarjoamista uusista resursseista. Salaoja voi siten vaikuttaa viljelymaan diversiteettiä kohottavasti: esimerkiksi tiiviissä savimaassa salaoja voi tarjota varsinkin kastelierolle sellaisia oleellisia etuja, jotka ylipäätään mahdollistavat lajin esiintymisen tässä ympäristössä.

4.3 Jatkotutkimuksia

Salaojien vaikutus kastelieron esiintymiseen on havaittu vasta yhdellä peltolohkolla ja yhdellä maalajilla. Savimaan osalta ilmiön taustalla vaikuttavia tekijöitä on selvitetty

melko intensiivisesti ja saattaa olla, että juuri tiiviillä savimailla sen merkitys onkin suurin. Ilmiön vaikutusalueesta olisi kuitenkin hyvä saada laajempi käsitys, sekä yleisemmin savimaiden että myös muiden maalajien osalta. Auran (1990) tekemä havainto kohonneesta lieronreikien tiheydestä savimaalla salaojan läheisyydessä ainakin viittaa siihen, että ilmiö ei olisi aivan ainutlaatuinen.

Olisi myös kiinnostavaa tarkastella salaojien vaikutusta lierostoon erilaisten viljelymenetelmien yhteydessä. Erityisen houkuttelevia tutkimuskohteita olisivat kevyesti muokattavat tai suorakylvettävät maat, missä lierojen ravintotilanne on tavanomaista viljelymaata parempi ja yksilö- ja lajimäärät suurempia. Näillä mailla myös lierojen rooli maaperän kunnossapidossa, mm. makrohuokosten muodostajina, on tavanomaisia viljelymaita tärkeämpi.

Ajatus siitä, että salaojan ympäristö toimisi lierojen, varsinkin kastelieron, lisääntymisalueena, ansaitsee myös lisähuomiota. Tämä vaatisi mm. sen selvittämistä, onko munakoteloiden esiintymisessä tai niiden kehittymisessä havaittavissa säännöllistä, salaojien sijaintiin kytkeytyvää, vaihtelua. Samalla olisi mahdollista hankkia tietoa kastelieron populaatiodynamiikkaan vaikuttavista tekijöistä, esimerkiksi dispersaatiosta tai lajinsisäisestä kilpailusta, joista tiedetään nykyisellään hyvin vähän.

Tutkimustalvina mitattiin Lintupajun lohkolle roudan maksimisyvyudeksi vähintään n. 50 cm kaikissa mittauspisteissä. Päättäneenä talvena (2007-2008) on Jokioisissa savimaassa mitattu maksimisyvyudeksi n. 10 cm (Ympäristöhallinto, 2008). Vaihtelu vuosien välillä voi olla suurta, joten näiden arvojen perusteella ei vielä kannata vetää kovin suuria johtopäätöksiä. Silti ero on hätkähdyttävä ja saa ajattelemaan mahdollista tulevaa kehitystä.

Keskustelua ilmastonmuutoksesta ja sen seurauksista käydään kiihtyvällä tahdilla. Valitseva käsitys on, että keskilämpötilan maltillisen kohoamisen vaikutukset olisivat vähäisiä maaperäeliöstölle, jonka optimi lämpötila-alue on suhteellisen laaja (Bardgett, 2005). Kohonnutta keskilämpötilaa ongelmallisempia ovat kuitenkin aikaisempaa tiheimmin esiintyvät säätilan ääri-ilmiöt (Parmesan & Root, 2000).

Muuttuvien olosuhteiden vaikutukset lierostoon voivat olla huomattavia monella eri tasolla: täysin uusien lajien saapuminen alueelle tai nykyisten lajien levinneisyyden muutokset, yhteisön lajikoostumuksen vaihtelu ekologiaaltaan erilaisten ryhmien osuuksien muuttuessa sekä paikalliset muutokset yksilötiheydessä. Vastaavasti lieroston muutokset heijastuvat myös niiden elinympäristöihin. Olosuhteiden muuttuminen voi merkitä melkoisia muutoksia myös viljelymaan lierostossa ja sitä kautta maan tuottavuudessa ja toiminnassa. Tästä johtuen viljelymaan lajiston ja ääriolosuhteiden vaikutusten tutkiminen on jatkossa tärkeää.

5 Yhteenveto

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako salaojitus syvälle kaivautuvan kastelieron esiintymiseen savimaassa ja kuinka sääolojen vaihtelu vaikuttaa lierojen esiintymiskuvaan peräkkäisinä vuosina. Lisäksi haluttiin tutkia yksityiskohtaisemmin kuinka kastelierojen runsaus muuttuu suhteessa salaojien sijaintiin ja onko salaojien sijainnilla merkitystä pintamaassa elävien lajien runsauden kannalta.

Maaperän ominaisuuksia ja sääilmiöitä tarkastelemalla haluttiin selvittää syitä, jotka voisivat selittää tehtyjä havaintoja. Lisäksi pyrittiin lähinnä kastelieron osalta selvittämään ilmiön merkitystä sekä viljelymaan että lajin itsensä kannalta. Salaojien sijainnin vaikutusta lierojen esiintymiseen ei ennen tätä tutkimusta ollut tutkittu juuri lainkaan.

Tutkimuksen aineisto kerättiin peräkkäisinä syksyinä vuosina 1998 ja 1999 Lounais-Suomessa sijaitsevalta, aktiivisessa viljelyssä olevalta peltolohkolta, jonka pääasiallinen maalaji oli savi. Ensimmäinen vuosi oli sääolosuhteiltaan melko sateinen, kun taas toisen vuoden kesä oli lämmin ja ennätysellisen kuiva.

Vuonna 1998 otettiin kemiallista näytteenottomenetelmää käyttäen kastelieronäytteet pareittain salaojan kohdalla ja kahden vierekkäisen ojalinjan puolivälistä. Vuonna 1999 näytteenotto toistettiin osassa edellisvuoden pareista vanhojen näytepisteiden läheisyydestä. Lisäksi otettiin tarkentavat kastelieronäytteet 1,5 m ja 3,5 m päässä salaojasta sekä maanäytteet pintamaan lajien määrittämistä varten oja- ja välipisteistä. Tutkimuslohkolta kerättiin maaperään ja säätilaan liittyvää tietoa mm. sademäärästä, lämpötilasta, maaperän kosteudesta sekä roudan ja pohjaveden syvyydestä.

Salaojituksen havaittiin vaikuttavan kastelieron esiintymiseen. Sen sijaan pintamaassa elävien lajien kohdalla vastaavaa selkeää salaojien vaikutusta runsauteen ei havaittu.

Ensimmäisenä tarkastelusyksynä kastelierotiheys oli salaojan kohdalla noin kaksinkertainen ja tuorepaino noin viisinkertainen ojaväliin verrattuna. Valtaosa lieroista oli nuoria. Lähes kaikki aikuiset olivat salaojan kohdalla, mikä selittää suuremman eron tuorepainoissa. Seuraavana syksynä kastelieroja tavattiin ainoastaan ojan läheisyydestä, mutta yksilömäärä jäi hyvin alhaiseksi. Lähes kaikki lierot olivat aikuisia. Tarkemmat tutkimukset jäivät kuvaileviksi aineiston runsaiden nolla-havaintojen vuoksi.

Poikkeuksellisen kuiva ja lämmin kesä aiheutti kastelierojen määrän romahtamisen toisena tutkimusvuotena. Salaojan vaikutus pohjaveden pinnan tasoon johti syvällä maaperässä siihen, että elinolosuhteet maan kuivuessa ja toisaalta myös routaantuessa säilyivät kastelierojen kannalta edullisempina salaojan kohdalla kuin salaojien välissä. Tämä selittää ainakin osittain kastelierojen runsaampaa esiintymistä salaojan kohdalla

kumpanakin vuonna.

Lieronkäytävät toimivat maaperässä makrohuokosina: reitteinä juurille, kaasunvaihtokanavina sekä tehokkaina pintaveden kerääjinä. Ne voivat säilyä pitkään toimintakykyisinä pohjamaassa ja ne pysyvät avoimina myös märässä maassa. Salaojan välittömässä läheisyydessä olevien lieronkäytävien on havaittu olevan kosketuksissa salaojaputkea ympäröivään sorakerrokseen tai jopa suoraan salaojaputkeen. Käytävät voivat myös olla yhteydessä muuhun maaperän huokos- ja halkeamaverkostoon. Käytävät tehostavat pintavesien virtausta syvemmälle maahan, jolloin pohjamaa varastoi vettä pintamaan säilyessä hyväkuntoisena. Käytävien merkitys savialueiden viljelymaan vesitaloudessa onkin huomattava.

Tehokas virtaus ei kuitenkaan aina ole toivottavaa. Käytävällä voi myös olla huomattava ohivirtausvaikutus, jolloin mm. maataloudessa käytetyt lannoitteet ja kemikaalit voivat huuhtoutua sen kautta suoraan pohjaveteen tai vesistöihin.

Salaojan voi ajatella olevan viljelymaassa häiriötekijä, laikku, joka lisää yhteisön heterogeenisuutta ja tarjoaa uudenlaisia resursseja, joiden ansiosta alueelle voi levittäytyä uusia eliölajeja. Toisaalta salaoja voi toimia myös elinympäristöä stabiloivana tekijänä ylläpitäessään vakaampia olosuhteita toistuvien maaperän stressitilanteiden keskellä. Esimerkiksi tiiviissä savimaassa salaoja voi tarjota varsinkin kastelierolle sellaisia oleellisia etuja, jotka ylipäätään mahdollistavat lajin esiintymisen tässä ympäristössä.

Salaoja toimii mahdollisesti lisääntymisalueena, josta nuoret leviävät ojaväleihin. Voisikin ajatella, että salaojan ympäristö toimii kastelieron lisääntymisalueena, josta käsin ojien välinen alue voidaan aika-ajoin asuttaa uudelleen.

Ilmiötä on tutkittu vasta yhdellä maalajilla ja yhdellä peltolohkolla. Jatkossa tulisi tarkastella sekä muita savimaita että muita maalajeja, jotta saataisiin käsitys ilmiön laajuudesta ja merkityksestä.

Mahdollista salaojan merkitystä kastelieron lisääntymisalueena tulisi tutkia lähemmin. Tutkimus antaisi tietoa myös kastelieron populaatiodynamiikasta. Lisäksi tutkimus auttaisi etsimään toimintatapoja, joilla peltojen kastelieropopulaatioita pystytään ylläpitämään ja näin parantamaan maan laatua.

Kiitokset

Suuri kiitos ohjaajalleni Visa Nuutiselle innostavasta opastuksesta kiinnostavan aiheen pariin sekä vielä suurempi kiitos kärsivällisyydestä ja panoksesta loppurutistuksen aikana! Kiitos myös Juha Tuomelle outoon aiheeseen sekaantumisesta, kommentaista sekä pitkästä pinnasta. Kiitos Kari Koivulalle hyödyllisistä vinkeistä loppusuoralla. Niius Elise Ketojalle pitkistä SAS-istunnoista ja tilastotieteellisestä ohjauksesta sekä kumarrus Risto Seppälälle & Taisto Sirénille sinapinhuuruista syyspäivistä ja aineiston eteen raatamisesta.

Kiitos Salaojituksen tutkimussäätiölle, jonka myöntämä rahoitus mahdollisti jatkotyökentelyni aineiston parissa vuonna 2000. Kiitokset myös MKF:lle (mikä ikinä nykyään onkaan...) että sain olla teillä töissä sekä Anna-Lyydia Vilpposen säätiölle perusopin-tojeni tukemisesta historian aamuhämärissä.

Sampo kiitän teknisestä tukipaketista ja artikkelinmetsästyksestä, samoin kiitos kaikille muille jotka ovat matkan varrella auttaneet, teitä lienee muutama... Kiitän myös Satua tsempityksistä ja Hannaa kannustavan selväjärkisestä vertaistuesta sekä salakavalasta hommiin potkimisesta. Lopuksi kiitos Timolle tuesta, avusta ja jaksamisesta sekä hyvistä hermoista varsinkin kahden viimeisen kirjoitusviikon aikana.

Kirjoittamiseen käytetyistä välineistä

Kirjoitustyö ja kuvitus on tehty vapaasti saatavilla olevia ohjelmia käyttäen: ulkoasu ja ladonta L^AT_EX-ladontajärjestelmällä, aineiston pohjalta piirretyt kuvat Gnuplot-ohjelmalla ja muu havainnollistava kuvitus XFig-vektoriopiirto-ohjelmalla tarvittaessa yhteistyössä Gnuplotin kanssa.

Viitteet

- Alakukku, L., 2000: Erityyppisten makrohuokosten synty ja merkitys peltoviljelyssä. *Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A.* Numero 79: 20–30.
- Alakukku, L., Turtola, E., Ventelä, A.-M., Nuutinen, V., Aura, E. & Uusitalo, R., 2004: Suorakylvön soveltuvuus käytännön vesiensuojelutyöhön : esiselvitys. *Pyhäjärvi-instituutin julkaisuja. Sarja A.* Numero 28.
- Aura, E., 1990: *Salaojien toimivuus savimaassa.* Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen. Tiedote 10/90.
- Aura, E., 1991: Lierot savi- ja hiesumaiden syväkuohkeuttajina. *Koetoiminta ja käytäntö* 48: 24.
- Baker, G. H., 1998: The ecology, management, and benefits of earthworms in agricultural soils, with particular reference to Southern Australia. Teoksessa: Edwards, C. A. (toim.), *Earthworm Ecology*, luku 11. Soil and Water Conservation Society, ss. 229–257.
- Baker, G. H. & Lee, K. E., 1993: Earthworms. Teoksessa: Carter, M. R. (toim.), *Soil Sampling and Method of Analysis*, luku 35. Lewis Publishers, ss. 359–371.
- Bardgett, R., 2005: *The Biology of Soil. A community and ecosystem approach.* Biology of Habitats, Oxford University Press, New York.
- Becon, M., Harper, J. L. & Townsend, C. R., 1996: *Ecology.* Kolmas painos. Blackwell Science, Milan.
- Blakemore, R. J., 2006: A series of searchable texts on earthworm biodiversity, ecology and systematics from various regions of the world. 2nd edition and supplement. CD-ROM publication, COE Soil Ecology Research Group, Yokohama National University, Japan. URL: <<http://bio-eco.eis.ynu.ac.jp/eng/database/earthworm/>>, sivulla käyty 27.4.2008.
- Bouché, M. B., 1977: Stratégies lombriciennes. Teoksessa: *Soil Organisms as Components of Ecosystems.* Numero 25 sarjasta *Ecological Bulletin*, Stockholm.
- Brown, G. G., 1995: How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? *Plant and Soil* 170: 209–231.
- Brussaard, L., 1998: Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology* 9: 123–135.

- Cortez, J., Hameed, R. & Bouche, M. B., 1989: C and N transfer in soil with or without earthworms fed with ^{14}C - and ^{15}N -labelled wheat straw. *Soil Biology and Biochemistry* 21: 491–497.
- Darwin, C., 1881: *The Formation of Vegetable Mould, through the Action of Worms, with Observations on Their Habits*. Murray, London.
- Easton, E. G., 1983: A guide to valid names of Lumbricidae (Oligochaeta). Teoksessa: Satchell, J. E. (toim.), *Earthworm Ecology. From Darwin to Vermiculture*, luku 41. Chapman and Hall, London, ss. 475–485.
- Edwards, C. A., 1983: Earthworm ecology in cultivated soils. Teoksessa: Satchell, J. E. (toim.), *Earthworm Ecology. From Darwin to Vermiculture*, luku 10. Chapman and Hall, London, ss. 123–137.
- Edwards, C. A. & Bohlen, P. J., 1996: *Biology and Ecology of Earthworms*. Kolmas painos. Chapman & Hall, London.
- Edwards, W. M., Norton, L. D. & Redmond, C. E., 1988: Characterizing macropores that affect infiltration into notilled soil. *Soil Science Society of America Journal* 52: 483–487.
- Guild, W. J. M., 1952: Variation in earthworm numbers within field populations. *The Journal of Animal Ecology* 21: 169–181.
- Gunn, A., 1992: The use of mustard to estimate earthworm populations. *Pedobiologia* 36: 65–67.
- Hillel, D., 1998: *Environmental soil physics*. Academic Press, San Diego.
- Holmstrup, M. & Overgaard, J., 2007: Freeze tolerance in Aporectodea caliginosa and other earthworms from Finland. *Cryobiology* 55: 80–86.
- Hoogerkamp, M., Rogaar, H. & Eijsackers, H. J. P., 1983: Effect of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands. Teoksessa: Satchell, J. E. (toim.), *Earthworm Ecology. From Darwin to Vermiculture*, luku 8. Chapman and Hall, London, ss. 85–105.
- Jones, C. G., Lawton, J. H. & Shachak, M., 1994: Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373–386.
- Joschko, M., Sochtig, W. & Larink, O., 1992: Functional relationship between earthworm burrows and soil water movement in column experiments. *Soil Biology and Biochemistry* 24: 1545–1547.

- Kretzschmar, A. & Bruchou, C., 1991: Weight response to the soil water potential of the earthworm *Aporrectodea longa*. *Biology and Fertility of Soils* 12: 209–212.
- Lavelle, P. & Martin, A., 1992: Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. *Soil Biology and Biochemistry* 24: 1491–1498.
- Lee, K. E. & Foster, R. C., 1991: Soil fauna and soil structure. *Australian Journal of Soil Research* 29: 745–775.
- Makulec, G., 1991: The effect of long term drainage of peat soil on earthworm communities (Oligochaeta: Lumbricidae). *Polish Ecological Studies* 17: 203–219.
- Martin, A., 1991: Short- and long-term effects of the endogeic earthworm *Millsonia anomala* (Omodeo) (Megascolecidae, Oligochaeta) of tropical savannas, on soil. *Biology and Fertility of Soils* 11: 234–238.
- Moody, S. A., Pearce, T. G. & Dighton, J., 1996: Fate of some fungal spores associated with wheat straw decomposition on passage through the guts of *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea longa*. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 533–537.
- Nieminen, M., Nuutinen, V., Terhivuo, J., Ketoja, E. & Sirén, T., 2008: Pellon käyttö, maaperän ominaisuudet ja lieroyhteisöjen maantieteellinen vaihtelu. Teoksessa: Hopponen, A. (toim.), *Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote*. Numero 23.
- Nuutinen, V., 1992: Earthworm community response to tillage and residue management on different soil types in southern Finland. *Soil & Tillage Research* 23: 221–239.
- Nuutinen, V., 2000: Läpi harmaan saven – pellon pienet kovakasvot maan rakennetta hoitamassa. *Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A*. Numero 79: 39–46.
- Nuutinen, V. & Butt, K. R., 2003: Interaction of *Lumbricus terrestris* L. burrows with field subdrains. *Pedobiologia* 47: 578–581.
- Nuutinen, V., Pitkänen, J., Kuusela, E., Widblom, T. & Lohilahti, H., 1998: Spatial variation of earthworm community related to soil properties and yield in a grass-clover field. *Applied Soil Ecology* 8: 85–94.
- Nuutinen, V., Butt, K. R., Ketoja, E. & Pöyhönen, S., 2008: Earthworms under drought and frost in arable boreal clay – with climate change implications. *Käsikirjoitus*.
- Parmesan, C. & Root, T. L., 2000: Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81: p443–450.

- Pearce, T. G. & Roggero, N., 1994: Earthworms and seeds. *Journal of Biological Education* 28: 195–202.
- Pitkänen, J. & Nuutinen, V., 1995: Soil macropores, saturated hydraulic conductivity and earthworm activity in two soils under long-term reduced tillage in Southern Finland. *Acta Zoologica Fennica* 196: 251–253.
- Pitkänen, J. & Nuutinen, V., 1997: Distribution and abundance of burrows formed by *Aporrectodea caliginosa* Sav. and *Lumbricus terrestris* L. in the soil profile. *Soil Biology and Biochemistry* 29: 463–467.
- Pitkänen, J. & Nuutinen, V., 1998: Earthworm contribution to infiltration and surface runoff after 15 years of different soil management. *Applied soil ecology* 9: 411–415.
- Poier, K. R. & Richter, J., 1992: Spatial distribution of earthworms and soil properties in an arable loess soil. *Soil Biology and Biochemistry* 24: 1601–1608.
- Pälikkö, E., 1987: Peltojen kuivatus. Teoksessa: Köppä, P. (toim.), *Kasvinviljelyoppi 1*. Kirjayhtymä, Helsinki, ss. 69–112.
- Rossi, J.-P., Lavelle, P. & Albrecht, A., 1997: Relationships between the spatial pattern of the endogeic earthworm *Polypheretima elongata* and soil heterogeneity. *Soil Biology and Biochemistry* 29: 485–488.
- Salaojakeskus, 1996: *Salaojitus 95*. Salaojakeskus ry., Helsinki.
- Scheu, S., 1987: The role of substrate feeding earthworms (Lumbricidae) for bioturbation in a beechwood soil. *Oecologia* 72: 192–196.
- Scheu, S., 2003: Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives. *Pedobiologia* 47: 846–856.
- Sharpley, A. N. & Syers, J. K., 1976: Potential role of earthworm casts for the phosphorus enrichment of run-off waters. *Soil Biology and Biochemistry* 8: 341–346.
- Sharpley, A. N., Syers, J. K. & Springett, J. A., 1979: Effect of surface-casting earthworms on the transport of phosphorus and nitrogen in surface runoff from pasture. *Soil Biology and Biochemistry* 11: 459–462.
- Shipitalo, M. J. & Gibbs, F., 2000: Potential of earthworm burrows to transmit injected animal wastes to tile drains. *Soil Science Society of America Journal* 64: 2103–2109.
- Shipitalo, M. J., Nuutinen, V. & Butt, K. R., 2004: Interaction of earthworm burrows and cracks in a clayey, subsurface-drained soil. *Applied Soil Ecology* 26: 209–217.

- Sims, R. W. & Gerard, B. M., 1985: *Earthworms. Keys and notes for the identification and study of the species*. Numero 31 sarjasta Synopses of the British Fauna, Linnean Society of London.
- Terhivuo, J., 1988: The Finnish Lubricidae (Oligochaeta) fauna and its formation. *Annales Zoologici Fennici* 25: 229–247.
- Urbánek, J. & Doležal, F., 1994: Review of case studies on the abundance and on the hydraulic efficiency of earthworm channels in Czechoslovak soils, with reference to the subsurface pipe drainage. *Soil Biology and Biochemistry* 24: 1563–1571.
- Urvas, L., 1982: Jokioisten kartanoiden peltojen viljavuus. Tiedote 15, Maatalouden tutkimuskeskus, Maantutkimuslaitos, Jokioinen.
- Westman, C. J., 1991: *Maaperä ja sen toiminta kasvualustana*. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen tiedonantoja N:o 67, Helsinki.
- Ympäristöhallinto, 2008: Routa Hämeen ympäristökeskuksen alueella. URL: <http://www.i3.ymparisto.fi/i3/tilanne/fin/routa/ham.htm>, sivulla käyty 14.5.2008.
- Zicsi, A., 1962: Determination of number and size of sampling unit for estimating lumbricid populations on arable soils. Teoksessa: Murphy, P. W. (toim.), *Progress in Soil Zoology*. Butterworths, London, ss. 68–71.
- Zimmer, M. & Topp, W., 1998: Microorganisms and cellulose digestion in the gut of the woodlouse *Porcellio scaber*. *Journal of Chemical Ecology* 24: 1397–1408.

Liite 1

Vuoden 1998 ja 1999 kastelieroaineiston sekä vuoden 1999 endogeeisten lierojen aineiston yksilömäärä-, tuorepaino- ja niistä muodostettujen erotusmuuttujien jakauminen tunnusluvut ja aineistoille tehtyjen normaalisuustestien (Shapiro-Wilks) tunnusluvut ja p -arvot. W =Shapiro-Wilks-testisuure, s =keskihajonta.

Muuttuja	Etluokka	N	\bar{x}	Md	Min	Max	s	W	p
Kastelierot 1998									
yksilömäärä ($1/m^2$)	0	41	5,55	4,45	0	13,31	3,52	0,937	0,0349
	3	41	3,04	2,14	0	13,90	3,52	0,819	0,0001
tuorepaino (g/m^2)	0	41	10,37	9,59	0	26,72	7,34	0,943	0,0554
	3	41	3,75	1,92	0	18,28	4,50	0,818	0,0001
lukumääräero ($1/m^2$)	0 – 3	41	2,52	2,14	-13,90	11,91	4,84	0,959	0,2071
–”– (outlier poistettu)	0 – 3	40	2,93	2,18	-4,44	11,91	4,12	0,969	0,4295
massaero (g/m^2)	0 – 3	41	6,62	5,62	-16,58	26,23	9,51	0,983	0,8733
Kastelierot 1999									
yksilömäärä ($1/m^2$)	0	25	1,77	0	0	14,41	3,39	0,600	0,0001
	1	25	0,42	0	0	2,14	0,85	0,500	0,0001
	2	25	0,27	0	0	4,45	0,98	0,309	0,0001
	3	25	0	0	0	0	0		
tuorepaino (g/m^2)	0	25	5,15	0	0	39,76	9,97	0,605	0,0001
	1	25	1,51	0	0	10,08	3,15	0,531	0,0001
	2	25	0,84	0	0	11,11	2,92	0,313	0,0001
	3	25	0	0	0	0	0		
lukumääräero ($1/m^2$)	0 – 3	25	1,77	0	0	14,41	3,39	0,600	0,0001
massaero (g/m^2)	0 – 3	25	5,15	0	0	39,76	9,97	0,605	0,0001
Endogeeiset lierot 1999									
yksilömäärä ($1/m^2$)	0	25	37,34	36,31	0	113,74	31,52	0,904	0,0228
	3	25	30,38	18,23	0	136,91	40,20	0,719	0,0001
tuorepaino (g/m^2)	0	25	12,37	7,73	0	59,06	14,30	0,808	0,0003
	3	25	7,48	3,18	0	28,09	9,36	0,769	0,0001
lukumääräero ($1/m^2$)	0 – 3	25	6,96	2,14	-96,67	100,27	44,30	0,934	0,1056
massaero (g/m^2)	0 – 3	25	4,90	2,67	-18,41	59,06	15,61	0,868	0,0040