

Sirkku Whitney

# Sora- ja hiekkapohjaisten luiskarakenteiden parantaminen sienirihmastojen avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Insinöörityö

4.12.2015

Tekijä(t) Otsikko  Sivumäärä Aika	Sirkku Whitney Sora- ja hiekkapohjaisten luiskarakenteiden parantaminen sienirihmastojen avulla 33 sivua + 5 liitettä 4.12.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Bio- ja elintarviketekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Elintarvike- ja prosessitekniikka
Ohjaaja(t)	DI Laura Pennanen, Liikennevirasto TkL Carola Fortelius, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Insinööritö tehtiin Liikennevirastolle. Työn tavoitteena oli selvittää sienirihmastojen potentiaalia tieympäristön sora-, hiekka- ja maarakenteiden eroosionhallintaratkaisuna. Eroosion aiheuttamat vauriot ovat yksi suurimmista teiden ylläpidon kustannuksista talviajan aurauksen ja muun liukkaudentorjunnan, sekä kesäajan niiton lisäksi. Sienirihmastojen käyttö tarjoaisi mahdollisesti edullisen ja ympäristöystävällisen, koko maan tienpidon laajamittaiseksi ratkaisuksi kelpaavan vaihtoehdon perinteisille eroosionhallintamenetelmille. Niitä voisi käyttää myös ongelmallisten kohteiden paikkauskorjausmetodina.</p> <p>Insinööritö sisälsi menetelmän arviointia kirjallisuuden ja aikaisempien tutkimusten pohjalta, asiantuntijahaastatteluita, kaksi koejärjestelyä sekä kenttätutkimuksen eroosion esiintymisestä tieympäristössä. Koejärjestelyissä tutkittiin menetelmän toimivuutta Suomelle tyypillisissä olosuhteissa, testattiin kaupallisesti valmistetun sieni-itiövalmisteiden etuja luonnonkantoihin verrattuna sekä aloitettiin menetelmän kenttäkoe eteläsuomalaisen E18-väylän varrelta tarjotussa, eroosiovaurioiden kannalta ongelmallisessa kohteessa.</p> <p>Tehdyn tutkimuksen pohjalta menetelmällä voisi olla potentiaalia toimivana ja ympäristöystävällisenä ratkaisuna. Laajamittaisia kenttäkokeita tarvittaisiin kuitenkin menetelmän tehokkuuden todentamiseksi laajempaa käyttöönottoa varten.</p>	
Avainsanat	mykorritsa, eroosionhallinta, teiden ylläpito, maarakenteet

Author(s) Title Number of Pages Date	Sirkku Whitney Improvement of gravel and sand based slope structures with mycorrhiza 33 pages + 5 appendices 4 December 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Bio and Food Technology
Specialisation option	Food and Process Technology
Instructor(s)	Laura Pennanen, M.Sc, Liikennevirasto Carola Fortelius, Lic.Sc, Metropolia University of Applied Sciences
<p>This thesis was made for Liikennevirasto (Finnish Transport Agency). The goal of this study was to examine the potential of fungal mycorrhizas as a method for erosion control of gravel, sand and other soil-based structures. The damage caused by erosion is one of the greatest costs of road upkeep besides plowing and de-icing in the winter season and vegetation control in the summer season. The utilization of mycorrhizas might present an affordable and environmentally friendly bulk method for country-wide road upkeep – an alternative for traditional erosion control methods. They could also be used as a spot treatment for maintenance of locations with particularly troublesome erosion damage.</p> <p>The thesis included assessing the method based on existing literature and research, expert interviews, two experiments and a field study of erosion occurrence in road environment. Experimental design focused on studying the functionality of the method in Finnish roadside conditions, testing a commercially available fungal spore product against naturally occurring fungal strands and starting a long-term field study at an erosion-troubled site by the road E18 in Southern Finland.</p> <p>Based on completed studies the method may have potential as an effective and environmentally friendly solution. Extensive field studies are still required to validate the effectiveness of fungal mycorrhizas for widespread use.</p>	
Keywords	mycorrhiza, erosion control, road maintenance, soil-based structures

## Sisällys

Lyhenteet

Termit

1	Johdanto	1
2	Maarakenteiden eroosio	1
2.1	Eroosio ilmiönä	1
2.2	Eroosion aiheuttamia ongelmia teiden luiskarakenteissa	3
2.2.1	Esimerkkikohteet	4
3	Sienirihmastomenetelmä	7
3.1	Sienirihmastomenetelmän esittely	7
3.2	Sienirihmastomenetelmällä aiemmin tehdyt kokeilut	9
3.3	Menetelmään liittyvät ympäristönäkökulmat	10
3.3.1	Toiminta hiilinieluna	10
3.3.2	Vieraslajien leviäminen	11
3.3.3	Tieliikenteen raskasmetallit	11
3.3.4	Rihmastosienten leviäminen	12
3.4	Sienirihmastomenetelmän käyttö	12
3.4.1	Levitysmetodit	12
3.4.2	Sienirihmastojen ominaisuudet ja soveltuvuus Suomen oloihin	13
3.4.3	Mahdolliset esteet käytölle	15
4	Sienirihmastomenetelmän kustannukset	17
4.1	Eroosihuollon ja sienirihmastomenetelmän kustannuksista	17
4.2	Sienirihmastomenetelmän kustannusarviointi	18
5	Kokeellinen osuus	20
5.1	Koejärjestely 1: tutkimus menetelmän soveltuvuudesta Suomeen	20
5.1.1	Työn tavoite	20
5.1.2	Menetelmät ja metodit	21
5.1.3	Virhelähteet	23
5.1.4	Tulokset	23
5.2	Koejärjestely 2: kenttäkoe E18-väylän Sammatin liittymässä	25

5.2.1	Työn tavoite	25
5.2.2	Kohteen kuvaus	26
5.2.3	Suoritettut toimenpiteet	27
5.2.4	Jatkotoimenpiteet ja seuranta	28
5.3	Ehdotus eroosionseurantaan Sammatin liittymän kenttäkoealueella	29
5.3.1	Valokuva-arkisto	29
5.3.2	Kruunumittaus	29
6	Johtopäätökset	30
	Lähteet	32

Ohje liitteiden tarkasteluun

Liitteet

Liite 1. Haastattelu: 24.6.2015, Eeva-Maria Tuhkanen, vanhempi tutkija, FT, Luke

Liite 2. Haastattelu: 1.7.2015, Tuomo Ratia, kunnossapitoasiantuntija, Uudenmaan ELY-keskus

Liite 3. Haastattelu: 2.7.2015, Pekka Rajala, kunnossapitopäällikkö, Uudenmaan ELY-keskus

Liite 4. Haastattelu: 2.9.2015, Hanna Ruotsalainen, projekti-insinööri, Finnmap Infra Oy

Liite 5. Haastattelu: 10.9.2015, Pekka Siitonen, Liikennevirasto, silta-asiantuntija

## Lyhenteet

AM	Arbuscular mycorrhiza eli arbuskelimykorrhiza tai keräsienijuuri. <i>Glomeromycota</i> -kaaren sienten kasvien kanssa muodostama symbioottinen juurakko, jossa sienirihmastoille on ominaista kasvaa kasvin juurten solujen sisään muodostuvaan onteloon.
jm	Juoksumetri, tienpidon käyttämä mittayksikkö alueelle joka kattaa tiealueen metrin etenemismatkalla tietä pitkin.
TYL	Työyhteenliittymä, jolla tässä insinööriyössä viitataan E18-väylän rakennus- ja ylläpitotoimia koordinoivaan projektiryhmään.

## Termit

arbuskeli	AM-sienten muodostama rakenne kumppanikasvin juurakoon. Rakenne muodostuu kasvin juuren sisään muodostuneesta ontelosta ja sen sisällä sykerömäisesti kasvavasta sienirihmasta.
hyyfa	Sienirihmaston rakenteen kasvava kärkiosa.
kaari	Eliöiden taksonomisessa luokittelussa käytetty hierarkiaporras
mikrobiomi	Tietyn elinympäristön mikrobeista koostuva ekosysteemi.
monoklonaalinen	Eliölaji jonka perimässä ei tapahdu muutoksia sukupolvien välillä, eli jälkeläiset ovat vanhempiensa kloonit.
mykorritsa	Symbioottisessa suhteessa elävän sienien rihmaston ja kasvin juurakon muodostama rakenteellinen kokonaisuus.
mykotrofi	Kasvi joka saa kaiken tai osan tarvitsemastaan vedestä ja ravinteista symbioottiselta sienikumppaniltaan.
obligatorinen symbiontti	Eliö joka vaatii symbioottisen kumppanin elääkseen.
symbioosi	Kahden tai useamman eliön yhdessä muodostama kumppanuussuhde, jossa osapuolet hyötyvät yhteistyöstä.
vesikkeli	Ks. arbuskeli.
ymppi	Mikrobiologinen lähtöaine, jonka sisältämät eliöt alkavat kasvaa kun ympäristöön lisätään sopivaan kasvualustaan. Esimerkiksi kuivahiiva on ympäristö.

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli selvittää sienirihmastojen potentiaalia tieympäristön maarakenteiden eroosionhallintaratkaisuna. Työn osalta on keskitytty luiskarakenteisiin. Innoituksen lähteenä toimi Caltransin eli California Department of Transportationin tilaama tutkimus samasta aiheesta vuodelta 2007. Eroosion aiheuttamat vauriot ovat yksi suurimmista teiden ylläpidon kustannuksista talviajan aurauksen ja muun liukkaudentorjunnan, sekä kesäajan niiton lisäksi. Suoranaisen tien vaurioitumisen lisäksi eroosion vuoksi teiltä kulkeutuva sedimentti tukkii ojia sekä muita kuivatusrakenteita ja päätyy lopulta jokiin ja meriin. Tämä aiheuttaa veden sameutta, saastumista sekä pohjan ruoppaustarvetta. Sienirihmastojen käyttö tarjoaisi mahdollisesti edullisen ja ympäristöystävällisen, koko maan tienpidon bulkkiratkaisuksi kelpaavan vaihtoehdon perinteisille eroosionhallintamenetelmille. Insinööriyö sisälsi menetelmän arviointia kirjallisuuden ja aikaisempien tutkimusten pohjalta, asiantuntijahaastatteluita, kaksi koejärjestelyä ja erityyppisten eroosiokohteiden seuranta Etelä-Suomessa. Koejärjestelyissä tutkittiin menetelmän toimivuutta Suomelle tyypillisissä olosuhteissa, testattiin kaupallisesti valmistetun sieni-itiövalmisteen etuja luonnonkantoihin verrattuna sekä aloitettiin menetelmän kenttäkoe E18-väylän varrelta tarjotussa, eroosiovaurioiden kannalta ongelmallisessa kohteessa.

Suurkiitokset työtäni ohjanneelle ryhmälle, johon kuuluivat: Liikenneviraston Laura Penanen, Anne-Mari Haakana, Ismo Kohonen ja Timo Tirkkonen, sekä Metropolia Ammattikorkeakoulun tutkintovastaava Carola Fortelius.

## 2 Maarakenteiden eroosio

### 2.1 Eroosio ilmiönä

Tien ja sitä reunustavien ojien pientareet sekä tienvarsiluiskat ovat vastarakennettuina erityisen alttiita eroosiolle. Eroosion suurin lähde on sade, joka sisältää kolme päävaikutusta:

- Iskuvoima: Sadepisarot irrottavat maan pintakerrosta iskeytyessään maahan.



- Virtauskuljetus: Valuessaan kaltevia pintoja pitkin ojiin tai uomiin vesimassa kuljettaa mukanaan hienojakoista maa-ainesta. Maa-aines kulkeutuu veden mukana ojiin, joiden pohjille se laskeutuu virtausnopeuden hidastuessa.
- Virtauskovertaminen: Jyrkillä kaltevilla pinnoilla virtauksen nopeus nousee etenkin rankkasateilla ja maa-ainesta kuljettava vesimassa kovertaa syviäkin uria maahan. Pahimmillaan tämä voi aiheuttaa maan sortumista ja vyörymistä heikentäen tien pohjaa. [1 s. 3-1 – 3-5]

Tienvarsien kasvillisuus heikentää sadepisaroiden iskuvoimaa, sillä ensin kasvinosiin iskeytyvällä pisaralla on maakerrokseen päästyään huomattavasti pienempi liikemäärä. Kasvillisuus hillitsee myös virtauskovertamista ankkuroimalla juurakollaan suurikokoista maa-ainesta ja toimimalla täten virtausnopeutta heikentävästi. Virtauskuljetus voi olla hyvinkin passiivista, mutta pidemmällä tarkastelujaksolla merkittävää maa-aineksen siirtoa. Lyhimmän mahdollisen reitin periaatteen mukaan suunnitellut ojat vaativat vähemmän rakentamista kuin virtausnopeuden pienentämiseen suunnitellut järjestelmät. Ne kuitenkin johtavat puroihin ja jokiin, jotka tulevat ennemmin tai myöhemmin vaatimaan ruoppausta hienojakoisen lietteen kasauduttua pohjaan. [1 s. 5-1 – 5-4]

Arbuskelimykorrhizasienet ovat rihmastonsa kautta kasvien kanssa symbioosin muodostavia maanalaisia sienilajeja. Ne kohdistavat eroosivoimaan kaksi vaikutusta; kasvillisuuden nopeamman kasvun edistäminen vastarakennetulle maa-alueelle sekä hienojakoisen maa-aineksen sitominen.

Maa-aineksen eroosionkestävyys riippuu kolmesta seikasta: maa-aineksen koostumus (sora, siltti, hiekka, savi, seokset), sitä peittävä kerros (useimmiten kasvillisuus) ja maa-ainesta sitovan juurakon määrä siinä. Eroosio kiihtyy paikoissa joissa veden virtausnopeus ja virtausmäärä lisääntyvät; toisin sanottuna missä veden liikemäärä on suurin. Eroosiota vähennetään pienentämällä veden liikemäärää, mutta myös poistamalla vettä maan pintakerroksesta. Veden kyllästäessä maan pintakerroksen esiintyy muita, epäsuorasti eroosiota aiheuttavia vaikutuksia, joista tärkeimmät ovat routimisen aiheuttava jäätyminen sekä märän maa-aineksen muuttuminen plastiseksi mudaksi. [1 s. 3-1 – 3-3]

Törmä- ja luiskarakenteiden eroosio voi etenkin keväisin maan sulaessa muodostua suureksi ongelmaksi. Sulamisvedestä kylläinen, plastinen maa-aines kulkeutuu herkästi alas lievästikin jyrkkiä rinteitä ja saattaa pahimmillaan aiheuttaa sortumia tien reunaan tai sen alle. Tätä hillitsee luonnostaan pintakasvillisuuden juurakko, joka pysyy paikoillaan maassa vaikka kasvien maanpäälliset osat olisivatkin lakastuneet. Juurakko sitoo maa-

aineksen paikoilleen ja parantaa sen vedenläpäisevyyttä, jolloin maarakenteet kuivuvat helpommin. [1 s. 4–41, 4–49]

## 2.2 Eroosion aiheuttamia ongelmia teiden luiskarakenteissa

Tien käyttöään kanalta on olennaista hallita veden aiheuttamaa eroosiota. Tämä tarkoittaa veden hallittua poistamista teiltä, joka tapahtuu pääsääntöisesti virtauksena luiskien kautta kuivatusojiin. Luiskat ja kuivatusojat ovat yleensä maarakenteita, jotka koostuvat hienojakoisen ja karkean maa-aineksen seoksesta. Hienojakoinen maa-aines estää karkeampaa materiaalia paljastumasta kokonaan. Pelkkä karkea materiaali ei muodosta täysin stabiilia pintaa, vaan lähtee herkästi liikkumaan jos hienojakoinen aines ei ole sitä tukemassa. Kun menetetään hienojakoinen aines, menetetään lopulta siis koko maarakenne. [1 s. 7–2, 5–6]

Sekä uusissa luiskarakenteissa että uudelleen auki kaivetuissa ojissa lopputuloksena on usein paljas maaluiska. Se että paljaaseen maaluiskaan saadaan kasvillisuutta, on luiskan vakauden ja sade-eroosion kannalta ensiarvoisen tärkeää. Eräs keino tehdä tämä nopeasti on sijoittaa poiskaivettua pintakasvillisuuden juurimattoa takaisin avatun ojan luiskille. [1 s. 5-12, 6-13]

Luiskien oikeantyyppinen ”kasvipinnoite” on halvempi, esteettisempi ja ympäristöystävällisempi ratkaisu niiden stabilointiin kuin esimerkiksi maa-ainesta sitova tukikangas. Kasvillisuuspeite ei myöskään vaadi niiton lisäksi jatkohoitoa, sillä se korjaa itse itsensä. Maa-aineksen luiskista ja tieltä karkaamisen hidastaminen on halvempaa kuin sen jatkuva korvaaminen. Teiden ja reunaojien reunaluiskat ovat tyypillisesti hyvin kiinteäksi pakkautunutta maata, jolloin veden imeytyminen niihin on vähäistä (veden suurempi liikemäärä) ja kasvillisuuden muodostuminen hidasta. [1 s. 5–17]

Teiden ja reunaojien luiskien hyvä kunto vähentää esimerkiksi sorateiden merkittävintä kunnostustarpeen lähdettä eli kelirikkoa. Merkittäviä syitä vaurioitumisen lisääntymiseen ovat kuljetusajoneuvojen yhä suuremmat massat sekä ilmastonmuutos. Esimerkiksi leudot talvet mahdollistavat kelirikon myös talvikuukausina, jolloin jäätyneet maarakenteet ovat perinteisesti olleet kantavimmillaan. [2 s. 7–8]

Tärkeä rakenteellinen elementti veden poistamisessa tieltä on tien reunaa seuraava sivuoja, jonka toimivuus riippuu sen reunaluiskien rakenteen vakaudesta. Tieltä ja tuoreeltaan huolletuista luiskista ojiin päätyvä sedimentti tai suurempikokoinen aines on sekä pois tien rungosta että täyttämässä ojien pohjia. Oja kuljettaa pois tihkua voimakkaampien sateiden tuoman veden, mutta pohjan sedimentoituessa vesi poistuu ojista liian hitaasti ja suurempi osa siitä imeytyy tien runkoon. [2 s. 20–25]

### 2.2.1 Esimerkkikohteet

Tieympäristön tyypillisiin eroosiokohteisiin tutustuttiin myös valokuvaamalla insinööriyön aikana useita kohteita sekä keväällä että syksyllä 2015. Kohteissa kiinnitettiin huomiota eroosion etenemiseen ja siihen vaikuttaviin tekijöihin, sekä mahdollisiin toteutettuihin korjaustoimenpiteisiin. Kohteita on eritelty tarkemmin alla.

E18-väylän kevyen liikenteen alikulkusilta Kirkkojärven kohdalla Espoossa (kuva 4 s. 16) havainnollisti siltoihin liittyviä eroosio-ongelmia. Alikulkusilta oli pitkän mäen alla, jolloin sen kohdalla tieltä valui suuri määrä vettä. Tien ali kulkevan kevyen liikenteen väylän kivituhka tukki veden poistoon suunnitellut viemäriaukot ja kevyen liikenteen väylä oli veden peitossa monen viikon ajan. Sillan vedenohjaus oli puutteellista ja vesi valui saumoihin ja laakeritasolle kuljettaen mukanaan hienojakoista ainetta moottoritieltä.

Ukkosaarentie on perinteinen vanha soratie Virolahden kunnassa Kymenlaaksossa. Se sijaitsee alimmilta osuuksiltaan lähellä sekä läheisen meren että pohjaveden pintaa. Sateisen kesän vuoksi normaalit huoltotoimenpiteet tuntuivat menneen hukkaan lukuunottamatta kuivatusojien uudelleenleikkausta. Vesi nousi helposti kapillaari-ilmiön avulla tien runkoon ja tie kärsi reunojen heikosta kantavuudesta sekä ajopinnan huonosta kunnosta.

Ylästöntien perusparannusurakka Vantaalla tarjosi monipuolisen katsauksen erilaisiin kunnossapito- ja maisemointitoimenpiteisiin taajama-alueella. Osaa tiestä siirrettiin joitakin metrejä, jotta kevyen liikenteen väyliä saisi parannettua. Eroosioaurioita ehkäistiin nurmetuksen ja ojituksen keinoin (kuvapari 1 s. 5). Mielenkiintoisena sivuhuomiona oli vanhan pintamaan kierrätys uusiin luiskiin. Projektissa toiminutta insinööriä haastateltiin aiheesta, mutta kävi ilmi että luiskat oli tarkoitus nurmettaa huolimatta niille jo muodostuneesta luonnonkasvillisuudesta. [3]



Kuva 1. Savirinteen maisemointi Vantaan Ylästöntiellä. Yläkuva otettu keväällä 2015, alakuva syksyllä 2015. Vantaan Ylästöntien peruskorjauksen yhteydessä sortuva jyrkkä savirinne maisemoitiin nurmettamalla. Toimenpide sisälsi multa- ja nurmikerroksen lisäämisen saven päälle. Savimaalla on hienojakoisuutensa vuoksi erityinen taipumus muuttua kastuessaan plastiseksi myös ilman siihen kohdistuvia ulkopuolisia leikkausvoimia. Tämä tekee kasvillisuuden luonnollisesta muodostumisesta erityisen vaikeaa.

E18-väylän soraluiskat Loviisan kohdalla oli esimerkillisesti suunniteltu. Leikkauskulman loivuuden takia sade-eroosioauriot jäivät pinnallisiksi. Luonnonkasvillisuudelle oli tarkoituksella jätetty tilaa vallata luonnossa harvinaistuvat, paahteiset sorarinteet (kuva 2 s. 6).





Kuva 2. Huolella suunniteltu soraluiska E18-väylän varressa Loviisassa. Yläkuva otettu keväällä 2015, alakuva syksyllä 2015. E18-väylän varrella Loviisassa on jätetty paljas soraluiska paahdeniittyjen kasvillisuudelle. Sorarakenteiden tyypillisiä eroosiovaurioita ovat yläkuvassa selkeästi näkyvät, veden kaivertamat uomat ja maa-aineksen sortumat ojiin. Luiskan loivuuden ansiosta merkittäviä vaurioita ei kuitenkaan ole syntynyt. Huolimatta alueen karusta ulkonäöstä keväällä, pienikokoinen luonnonkasvillisuus voi siellä hyvin.

### 3 Sienirihmastomenetelmä

#### 3.1 Sienirihmastomenetelmän esittely

Erosion haittavaikutuksia voidaan minimoida luonnollisen kasvillisuuden mahdollisimman nopealla palautuksella tietyömaalle. Vierasperäiset kasvit ovat tienvarsille tyypillisiä alkuperäiskasvillisuutta nopeamman ja tehokkaamman leviämistapansa vuoksi, mutta ne eivät sido maaperää yhtä voimakkaasti kuin alueelle luonnolliset lajit. Esteettisten arvojen perusteella valitut vieraslajit saattavat vaatia erikoishoitoa, vaikka näyttävätkin usein komeilta. Vieraslajeihin liittyviä ympäristönäkökulmia on käsitelty laajemmin kapaleessa 3.3. Luonnollisen, eritoten ruohomaisen kasvillisuuden suosimisen avain on mykorritsoja niiden kanssa muodostavien sienilajikkeiden lisääminen maaperään. Tämä luonnonkasvillisuuden nopea lisääminen muodostaa suurimman vaikutuksen mykorritsojen eroosionhidastuksesta. [4 s. 63–64, 88, 90; 5]

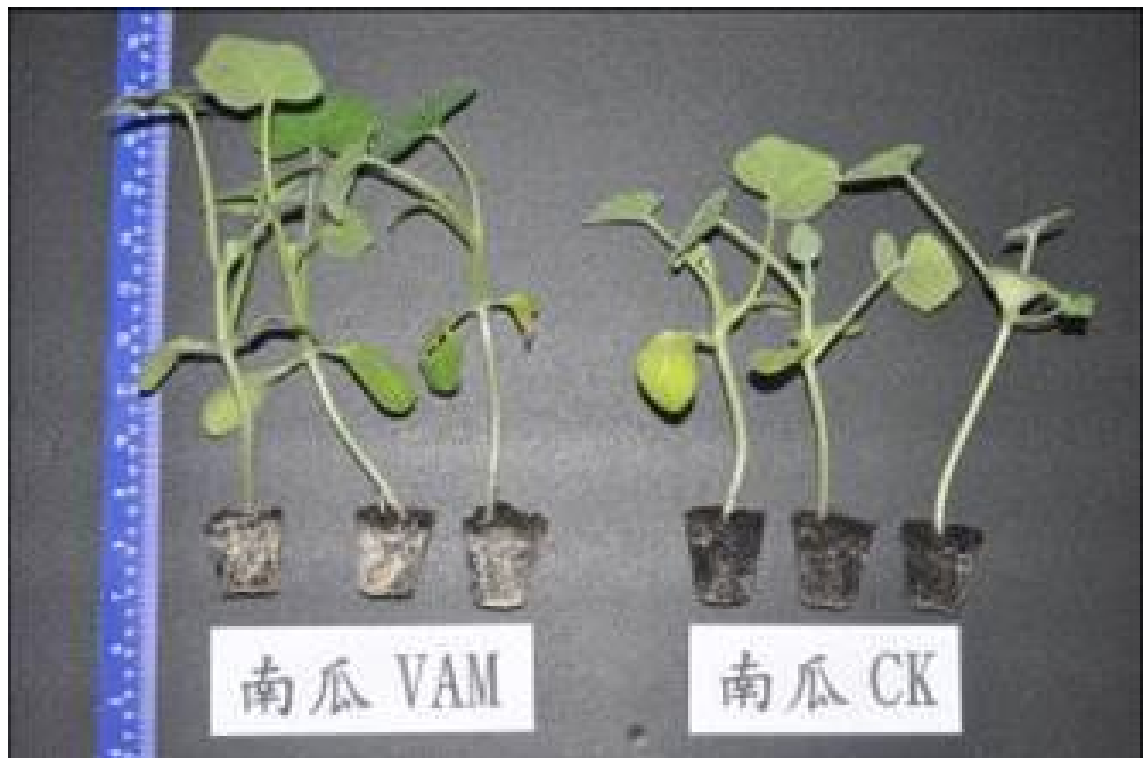
Jopa 80 % kaikista kasvilajikkeista muodostaa AM-sienten kanssa molempia osapuolia hyödyttävän symbioottisen suhteen. Yhteistyö suojaa kasveja muun muassa sukkulamatojen, kuivuuden, raskasmetallien ja maaperän suolaisuuden aiheuttamilta vaurioilta. Fosforiköyhässä maaperässä sienikumppani pystyy irrottamaan tuottamillaan entsyymeillä maa-aineksen mineraaleista fosforia, jonka se siirtää kasvikumppanilleen. Täten sieni ruokkii sitä samaan tapaan kuin kasvilannoitus, mutta myös auttaa sitä löytämään vettä vaihtokaupassa kasvin tuottamista sokereista. [6]

Toinen merkittävä vaikutus on kasvi- ja sienijuurten yhdessä muodostamat veteen liukenemattomat kokkareet eli aggregaatit, jotka eivät muutu märkänä plastiseksi massaksi kuten paljas maa. Sienijuurten vaikutus on tässä jopa suurempi kuin kasvijuurten, sillä ne erittävät glomaliini-nimistä glykoproteiinia maaperään. Glomaliini koostuu 30–40 %:sesti kasvikumppanilta peräisin olevasta hiilestä. Glomaliini on pitkäikäistä, liimaista ainetta joka tunkeutuu sienijuurta ympäröivään maahan. Kuivuessaan se muodostaa maa-aineksesta aggregaatteja eli kiinteitä möykkyjä. [7]

Sieni muodostaa glomaliinia oman kasvunsa tuki- ja suojarakenteeksi. Sienijuuren vanhempien osien kuollessa glomaliini ja sen muodostamat aggregaatit jäävät maaperään. Aggregaatit ovat tarpeeksi stabiileja kestääkseen vesi- ja tuulieroosiota, mutta myös kyllin huokoisia läpäistäkseen vettä, ilmaa ja juurten kasvua. [4 s. 11–13, 24]

Maa-aineksen partikkelit muodostavat aggregaatteja eritoten luonnonvaraisten kasvilajien vaikutuksesta. Eroosion kannalta stabiileja ja merkittävän kokoisia aggregaatteja (halkaisija 0,25 - 2 mm) muodostuu sienijuurten, glomaliinin ja kasvien hiusjuurten yhteisvaikutuksesta. [4 s. 63–64, 88, 90]

Sienirihmastojen rooli korostuu maaperän voimakkaassa muokkauksessa kuten tienrakennustöissä. Maanmuokkaus hävittää kasvillisuuden ja sen myötä myös siitä riippuvaisen sienirihmaston. Kasveille otollisen pintamaan muodostuminen omillaan voi kestää sadoista tuhansiin vuosiin. Useimmat AM-sieni-itiöt kestävät kuitenkin kuivuutta hyvin, joten ne säilyvät maaperässä elinkelpoisina pitkään. [4 s. 15, 89–90, 140–141]



Kuva 3. Kurpitsojen kasvatuskoe AM-sienten vaikutuksen toteamiseksi. Viisi viikkoa istutuksen jälkeen kuvattuna sienikäsitellyt kurpitsantaimet (kolme ensimmäistä vasemmalla) ovat muodostaneet silminnähdn tiiviimmän juuripaakun kuin pelkässä mullassa kasvatetut kontrollitaimet (oikealla, merkitty CK). Huomattavaa on myös ero taimien kasvunopeudessa. [8]

Sinijuurten kasvua rajoittaa tai estää voimakas maanmuokkaus kuten kyntö, mutta myös kaalinsukuiset *Brassicae*-kasvilajit, jotka eivät muodosta sen kanssa symbioosia. Siksi *Glomus*-suvun sienet sopivat parhaiten pysyviin kasvualustoihin kuten esimerkiksi tienpenkkoihin, joissa vallitseva kasvillisuustyyppe on usein ruohomainen. [7]

### 3.2 Sienirihmastomenetelmällä aiemmin tehdyt kokeilut

Indiana University of Pennsylvania ja Pennsylvania State Universityn yhteistyössä tehdyssä selvityksessä eriteltiin perusteellisesti sorateiden ja -rakenteiden eroosiota. Selvityksessä käsiteltiin eroosiovaurioiden ympäristöystävällistä korjausta, sekä esitettiin joitakin mekaanisia bioteknisiä menetelmiä sorateiden palauttamisesta luonnontilaan. Esi- tellyt menetelmät vaikuttavat Suomen oloihin yleisesti ottaen tarpeettomilta, sillä urakoitsijat Suomessa noudattavat leikkauskulma- sekä muita rakennussuosituksia kohtuullisen hyvin. Lisäksi vastaavia menetelmiä, kuten rinteiden ankkurointi verkoilla tai kankailla, on jo laajalti käytössä. Ne voivat kuitenkin tulla kyseeseen yksittäisissä, haastavissa tilanteissa, joissa tie on esimerkiksi pakko vetää kosteikkoalueen halki tai alikulkukäytävä on rakennettava eroosioherkkyyden takia muutoin ongelmalliseen maaperään. [1 s. 6-12, 6-26 – 6-31]

Vähän liikennöityjen teiden nopeutettu palauttaminen luonnontilaan niiden käytöstä poiston yhteydessä on yksi mahdollinen sovellus sienirihmastomenetelmälle ja vaihtoehto Pennsylvanian tutkimuksessa käytetyille mekaanisille menetelmille. Tierakenteiden poiston jälkeen paljaaksi jää suuri maa-alue, joka saattaa olla osittain saastunut. Luonnonkasvillisuuden leviämistä karulle maa-alueelle olisi mahdollista nopeuttaa siirtämällä sille sieni-itiöitä sisältävää maa-ainesta, jolloin kasvien veden ja ravinteiden saantimahdollisuudet paranisivat. Luonnonkasvillisuuden nopea leviäminen entisen tien alueelle hillitsisi myös paljaan maan eroosiota ja olisi erityisen hyödyllistä alueilla joilla on tärkeitä vesistöalueita tai sortumavaaran riski. [1 s. 6-12 – 6-13; 4 s. 111; 9]

Sienirihmastomenetelmän käytöstä liikenneympäristössä kattavin tutkimus on tehty Caltransin toimeksiantona University of Indianan ja University of Californian yhteistutkimuksena. Caltrans on Kalifornian osavaltion liikennesuunnittelua ja tieinfrastruktuurin rakennusta ohjaava viranomaisena. Kalifornialle tyypilliset eroosiovauriot koskevat pitkistä kuumista ja kuivista kausista johtuvia ongelmia; tienvarsikasvillisuuden muodostumisen hitaus, sekä tästä johtuvat pöly sekä äkillisten, voimakkaiden sateiden aiheuttamat irtomaisen maa-aineksen siirtymät (esimerkiksi mutavyöryt ja viemäreiden tukkeutuminen sedimentillä). [4 s. 109–112]

Menetelmää oli kokeiltu kolmen vuoden ajan AM-sienillä ja niiden kanssa symbioosin muodostavilla kasveilla koealueella Kaliforniassa. Vertailututkimuksena oli selvitetty vie-



raslajien toimintaa samanlaisella koejärjestelyllä. Erotuksena tämän insinööriyön yhteydessä tehtyihin kokeisiin, Kalifornian kokeissa oli steriloitu paikallinen siemenmaasiirros autoklaavissa kuumentamalla. Tällöin oli päästy kokeilemaan pelkkien AM-sieni-itiöiden vaikutusta eroosioon, mutta todellinen järjestelmä maaperän ekosysteemissä on todennäköisesti hyvin paljon monimutkaisempi yhteistyöverkosto. Siihen kuuluvat sienten ja kasvien lisäksi bakteerit ja mahdollisesti myös selkärangattomat pieneliöt. [10 s. 61–74; 4 s. 111]

Kalifornian kokeet eivät täysin edustaneet tyypillistä tilannetta sikäli että ne tapahtuivat täyttömaa-alueella varsin suolaisessa maaperässä. Kokeiden tuloksena oli kuitenkin maaperän parantunut vedenläpäisevyys sekä jossain määrin parantunut sedimentinpidätyskyky. Lisäksi kokeissa todettiin kahdella eri tutkimusmenetelmällä vieraslajien muodostavan kotoperäisiä kasvilajeja harvemmin symbioottisen suhteen AM-sienten kanssa, mikä osittain selittäisi niiden nopeaa leviämistä vastarakennetuille, steriileille maa-alueille. Todettiin myös että vieraslajit eivät stabiloi maaperää muodostamalla aggregaatteja yhtä tehokkaasti kuin kotoperäiset kasvilajit. Suomeen menetelmä olisi siltä osin sovellettavissa että käytettäisiin Suomen oloille tyypillisiä AM-sieniä ja kasveja. Tutkimuksessa kokeillun, varsin monimutkaisen ja hintavan järjestelyn voisi mahdollisesti korvata yksinkertaisemmalla ja halvemmalla levitysmenetelmällä, jonka toimivuutta on selvitetty tämän insinööriyön kokeellisessa osuudessa. [4 s. 77–85, 115–118]

### 3.3 Menetelmään liittyvät ympäristönäkökulmat

#### 3.3.1 Toiminta hiilinieluna

Sienirihmastojen erittämä glomaliini muodostuu pääosin hiilestä, jonka ne saavat kasvikumppaneiltaan. Normaalissa kasvin elämänkierrossa hiili palautuu lopulta ilmakehään hiilidioksidina kasvin kuollessa ja mädäntyessä, mutta glomaliinin hiili on pitkäikäisessä (jopa 40 vuotta), mineralisoituneessa muodossa. Koska glomaliinista suurin osa on hiiltä, toimii se myös passiivisena hiilinieluna. USDA:n sekä Kalifornian ja Stanfordin yliopistojen tutkijoiden muodostama ryhmä totesi kahdessa erillisessä tutkimuksessa että ilman hiilidioksidipitoisuuden noustessa noin 80 %:lla (tämän vuosisadan lopun ennustepitoisuuden ilmakehässä) glomaliinin erityis nousee sienijuurissa kolminkertaiseksi. [7]

### 3.3.2 Vieraslajien leviäminen

Useiden moottoriteiden varsilta ja koulupihoilta tuttua kurtturuusua (*Rosa rugosa*) pidetään erityisen haitallisena vieraslajina. Muita tienvarsilla usein viihtyviä, haitallisia vieraslajeja ovat esimerkiksi komealupiini (*Lupinus polyphyllus*) ja piennarmatara (*Galium x pomeranicum*). [11]

AM-sienten vaikutus kasvien kasvunopeuteen riippuu kasvien ja sienien lajipareista. Voidaan kuitenkin yleisesti todeta sienijuuren nopeuttavan erityisesti kotoperäisten kasvien kasvua. Vieraslajikasveilla ei välttämättä ole yhtä selkeää hyötyä sienijuurista, joten ne valloittavat herkemmin ”steriilit,” tuoreet maarakenteet. Koska vieraslajit eivät usein muodosta symbioosia sienien kanssa, johtaa tämä sienien kuolemiseen alueella ja täten luonnollisten lajien sille leviämisen hidastumiseen entisestään. [4 s. 31–32, 90]

Natiivit kasvit eivät välttämättä leviä uudelle alueelle itsestään, mikäli kilpailevilla vieraslajeilla on nopeampi leviämismekanismi. Luonnonkasvillisuuden muodostumista kannattaa edesauttaa alussa kun maaperä on vielä ”steriiliä”. Vieraslajien saapuminen alueelle lisää vieraslajien määrää ja lopulta syrjäyttää luonnonkasvit tekemällä maaperästä niille epäedullisen. Tilanteen korjaaminen jälkeinpäin on huomattavan hankalaa ja vaatii usein suuren pintamaamäärän poistamista alueelta. Kalifornian kokeiden tulokset viittaavat siihen että maaperän mikrobeilla voisi kontrolloida mitä kasvillisuutta maahan lopulta muodostuu. [4 s. 36–37, 58–59]

### 3.3.3 Tieliikenteen raskasmetallit

Raskasmetallit vähentävät maa-aineksen normaalia mikrobiologista elämää myös EU:n päästöraja-arvot alittavina pitoisuuksina. Tällä ei kuitenkaan ole suurta vaikutusta *Glo-mus*-suvun sieniin, joilla on kyky pelkistää myrkyllisessä kationimuodossa olevia metalli-ioneja vaarattommiksi muodoiksi. Tällä tavoin mineralisoituneet muodot eivät imeydy kasveihin tai liukene herkästi veteen. Mahdolliset raskasmetallit eivät siis haittaa sienirihmaston kasvua ja rihmasto voi myös ennaltaehkäistä niiden kulkeutumista pois alueelta. [12]

### 3.3.4 Rihmastosienten leviäminen

*Glomeromycota*-lajit eivät pysty elämään ilman kasvikumppaniaan. Ne leviävät luonnossa hitaasti kasvillisuuden levitessä uudelle alueelle, sekä mahdollisesti itiöiden kulkeutumisena tuulen mukana. Itiöt se kuitenkin muodostaa maan alle, joten tuulikulkeuman voi olettaa olevan varsin vähäistä. Tästä huolimatta kumppanuussuhde on ollut lajeille niin edullista, että sama lajimäärältään suhteellisen harvalukuinen joukko *Glomuksia* on löydettävissä lähes joka maankolkasta. [13]

Itiöt muodostuvat maaperässä lajikkeesta riippuen kasvin ulkopuolisiin hyyfiin eli sienirihmoihin tai kumppanikasviin juurten välittömään läheisyyteen. *Glomeromycota*-kaaren sienet eivät muodosta maanpäällisiä itiömiä samaan tapaan kuin vaikkapa tatit. Suomen biotoopille vieraan sienen käyttö ei ole suositeltavaa, mutta jos näin tehdään, on leviämisen riski todennäköisesti pieni tai hallittavissa itiöiden maaperäsidonnaisuuden takia. Siihen ei kuitenkaan ole tarvetta, sillä suomalaiset *Glomeromycota*-kaaren sienet mitä todennäköisimmin ovat täysin vertailukelpoinen ratkaisu. [13]

## 3.4 Sienirihmastomenetelmän käyttö

AM-sienten käyttöönotto maaperän eroosionhallinnassa sisältää käytännössä itiöiden levityksen alueelle, jolle toivotaan muodostuvan kasvillisuutta. Täysikasvuisten sienten rihmastorakenteiden haurauden takia niitä ei voida suoraan siirtää, mutta itiövaiheessa ne ovat varsin kestäviä. Eri levitysmenetelmiä, soveltuvuutta Suomen oloihin ja mahdollisia esteitä on eritelty luvuissa 3.4.1–3.4.3.

### 3.4.1 Levitysmetodit

Kappaleessa 3.2 esitelty Caltrans-kokeilu sisälsi kolme eri levitysmetodia sieni-itiöille:

- sieni-itiöitä sisältävän maa-aineksen levitys,
- itiöillä päällystetyt kasvinsiemenet,
- nestemäinen, ruiskun avulla levitettävä sieni-itiöitä sisältävä seos.

Edellä mainitut menetelmät eivät tuloksiltaan poikenneet merkittävästi toisistaan. Ne kaikki ovat kuitenkin liian kalliita menetelmiä laajamittaiseen käyttöön vaaditun työmäärän ja materiaalikustannusten takia. Siksi tässä insinööriyössä tarkastellaan myös mahdollisuutta kierrättää lähiympäristön pintamaata uuden maarakenteen pintakerrokseen. Soveltuva pintamaa sisältäisi jo luonnostaan sieni-itiöitä sekä niiden kanssa symbioottisesti eläviä bakteereja, jotka ovat mukautuneet tieympäristön haasteisiin (mahdollisesti saasteinen, karu, kuiva ja kesäisin myös kuuma kasvupaikka). Erikoismenetelmiä voisi harkita erityisten ongelmallisten kohteiden paikkakorjaukseen siltä osin kuin muut eroosionhallintamenetelmät eivät niihin sovellu. [4 s. 77–85, 115–118]

### 3.4.2 Sienirihmastojen ominaisuudet ja soveltuvuus Suomen oloihin

Rihmasto- eli mykorritsasienilajeja on valtava määrä. Ne ovat tyypillisesti erikoistuneet tietyn kasvilajin tai -suvun kumppaniksi ja levinneet yhtä laajalle alueelle kuin isäntälajinsa. Tämän tutkimuksen osalta on keskitytty *Glomeromycota*-kaaren sieniin, jotka tyypillisesti muodostavat useiden yksivuotisten, tienvarsille tyypillisten kasvien kanssa symbiooseja. Ne ovat obligatorisia symbiontteja eli ne eivät voi elää ilman kasvikumppaniin. Sopivia kasvikumppaneita *Glomeromycota*-kaaren lajeille ovat sammalet, saniaiset, havupuut, lehtipuut, ruohot ynnä muut kukkivat kasvit pois lukien kaalit. Rihmastosienet voivat muodostaa erittäin suurikokoisia ja hyvin vanhaksi eläviä kasvustoja. Yksi mainittavimmista yksilöistä on vuonna 2003 löydetty 965 hehtaarin alueelle levinnyt ja nuorimmilta osiltaan jopa 1900-vuotinen *Armillaria ostoyae*. [14 s. 111, 116, 127]

Tienvarsille *Glomeromycota*-lajit ovat erityisen sopivia kolmesta syystä:

- ne kestävät tieympäristölle tyypillisiä saasteita hyvin,
- lisäävät kasvien suolan-, niukkaravinteisuuden ja kuivuuden kestävyyttä sekä
- muodostavat yhdessä kasvien kanssa paremmin eroosiota kestävästä maaperän. [14 s. 134]

*Glomeromycota*-kaaren lajien maantieteellistä levinneisyyttä ei ole vielä selvitetty kovin laajalti. On mahdollista etteivät samat lajit ole levinneet maailmaan tasaisesti. Tällöin uudenlaisen sienilajikkeen tuominen ekosysteemiin voi aiheuttaa odottamattomia seurauksia, kuten luonnollisten lajien korvautuminen vieraslajeilla. Suomessa elää kuitenkin

jo ennestään useita luonnonvaraisia AM-sienilajeja. AM-sienet ovat luonnostaan sukupuolettomia ja lisääntyvät monoklonalisesti, niiden lajillista monimuotoisuutta pitävät yllä erilaiset ympäristölliset tekijät. Eritoten lämpötila ja maaperän kosteus vaikuttavat lajien ilmentymiseen. AM-sienten rihmastoja on löydetty jopa vulkaanisista oloista, joissa kasvien juuret eivät enää selviydy. AM-sienilajit saattavat siis sietää hyvinkin äärimmäisiä olosuhteita, joten sienille luonnostaan ihanteelliset olosuhteet Suomessa tuskin tuottavat niille ongelmia selviytymisen kannalta. [15 s. 532–534, 538–539; 16]

Typen lisäys Suomelle tyypilliseen fosforiköyhään maahan lisää AM-sienten toimintaa. Typeä maaperään sitovat nurmetus- ja tienvarsikasvit kuten apila tai herneensukuiset kasvit kuten hiirenvirna eivät siis estä niiden käyttöä. AM-sienten levinneisyys riippuu jonkin verran leveysasteista, mutta tämän ilmiön taustalla olevaa mekanismia ei osata vielä yksiselitteisesti selittää. Siihen todennäköisesti vaikuttaa eniten paikallinen ilmasto, joka puolestaan vaikuttaa isäntäkasvien esiintyvyyteen. AM-sienet ovat obligatorisia symbiontteja ja niiden levinneisyys on tiiviisti sitoutunut mykotrofisten isäntäkasvisukujen levinneisyyteen. Kylmän talvikauden ne viettävät lepotilassa ja keväällä kasvavat kumppanikasviensa mukana. [15 s. 531, 541]

Viime vuosikymmeninä tehdyn kartoituksen tuloksena AM-sienilajikkeita kuten *Glomus*- ja *Acaulospora*-sukuihin kuuluvia lajikkeita on todettu löytyvän luonnonvaraisina Ahvenanmaalta Pohjois-Lapin Kevoon asti. Täten sienirihmastomenetelmä olisi sovellettavissa koko maan laajuisesti eroosionhallinnassa. [15 s. 542; 16]

Tieympäristön kasvillisuuden kustannustehokkuus on ollut tutkimuksen aiheena ennenkin. Varsinais-Suomen ELY-keskuksen ja Liikenneviraston aloitteesta käynnistetyssä Liikennevihreä-projektissa tarkoituksena on ollut löytää tieympäristöön kestävä kasvillisuutta, joka olisi myös helppohoitoista. Helppohoitoisuudella viitataan seuraaviin seikkoihin:

- luonnostaan matalakasvuista kasvillisuutta, joka ei kaipaisi niittoa myöhemmin,
- nopeasti peittäväksi kasvavia perennoja, joista rikkaruohot eivät saisi yliotetta,
- käytetyt pensaat eivät vaadi leikkausta, koska pysyvät pienikokoisina,
- lajit kestävätkä kuumaa, kuivaa tieympäristöä kesällä sekä selviävät talven auringonlumisesta,

- lajien valikoinnissa huomioitu leviämispotentiaali, eli myöhempien mahdollisten vieraslajien muodostumisen ennakointi. [5; 17 s. 4-7; 18 s. 8]

### 3.4.3 Mahdolliset esteet käytölle

AM-sienten käytön huomattavin sivuvaikutus olisi kasvillisuuden lisääntyminen teiden yhteydessä. Insinööriyössä selvitettiin sovelluskohteita, joissa tämä ei ole toivottavaa ja joissa sienirihmastomenetelmää ei siis voisi käyttää. Yleisesti ottaen kasvillisuuden muodostumiseen suomalaisessa tieympäristössä suhtauduttiin asiantuntijahaastattelujen pohjalta myönteisesti. Kasvillisuuden on todettu muodostavan elävän, eroosiota hillitsevän pinnoitteen, joka on lisäksi esteettisesti miellyttävä. Tieympäristöön harvinaistumassa olevien kasvilajien suojelualueena on kiinnitetty huomiota esimerkiksi jättämällä paahdeniittykasveille sopiva ympäristö nurmettamatta. Myös kasvintorjunta-aineita nykyisin vältetään ja kasvillisuuden poisto pyritään suorittamaan mekaanisin menetelmin. On kuitenkin joitain paikkoja, joissa kasvillisuuden muodostuminen ei ole toivottavaa. [19; 20]

Risteysalueet ovat paikkoja joissa on rajoituksia kasvillisuuden muodostumisen suhteen. Niissä tulee huomioida liikenneturvallisuus, joten korkeaksi kasvava kasvillisuus vaatii joko mekaanisen poiston tai ylimääräisen niiton kesän kasvukauden aikana. Puita ei risteysalueilla suosita. [19]

Jotkin kuivatusrakenteet kuten erilaiset putket, rummut, rännit ja kourut on toiminnallisuutensa vuoksi pidettävä avoimina ja puhtaina. Niihin ei tämän vuoksi toivota muodostuvan kasvillisuutta. Siltojen rakenteelle kasvillisuus itsessään on kulumista suurempi eroosion lähde ja sen muodostumista pyritään välttämään varsinaisen siltarakenteen yhteydessä. [21]



Kuva 4. Siltojen yhteydessä ilmenevät eroosioauriot. Siltojen eroosioauriot ilmenevät keilojen sortumina (1), maan karkaamisena tien rakenteen alta veden kuljettamana (2), kuivatusrakteiden kuten kourujen, putkien ja kaivojen (3) tukkeutumisena, sekä veden ja joskus myös kasvillisuuden kertymisenä saumoihin (4) ja laakeritasoille (5). [21, kuva: Sirkku Whitney]

Ruuhomaiset kasvit saattaisivat olla paras valinta tien välittömään läheisyyteen niin turvallisuuden, toiminnallisuuden kuin hinnankin puolesta. Puiden kaatuessa tai lahotessa tielle tai sen sivuosiin muodostuu esteitä liikenteelle tai veden virtaukselle. Tämä saattaa aiheuttaa vaaratilanteita ja tukoksia. Ruuhomaisten kasvien hoidosta suoriutuu parhaimmillaan yhdellä niitolla vuodessa. [1 s. 4–47, 6–13]

Sorateille pölynsitoja-aineeksi levitettävä kalsiumkloridisuola ( $\text{CaCl}_2$ ) toimii sienien kasvua hidastavana tekijänä. Pölyäminen on puolestaan enemmän liikennöityjen sorateiden ongelma. Voimakas suolaus voi siis muodostaa hidasteen tai esteen sienirihmastomenetelmän toimivuudelle, mutta esimerkiksi erilaisten liukkaudentorjunta-aineiden suhteen pitäisi selvittää tarkemmin niiden myrkyllisyys mikrobeille. [22]

## 4 Sienirihmastomenetelmän kustannukset

### 4.1 Eroosiohuollon ja sienirihmastomenetelmän kustannuksista

Liikennevihreä-projektissa on kokeiltu tieympäristössä uusia perennalajikkeita E18-väylällä Turun Kupittaaan kohdalla. Kokeillut istutusmenetelmät – käsin istutus ja valmiiksi istutetut levitettävät matot eivät käytännössä sovellu koko tieverkon laajuiseen käyttöön hintavuutensa vuoksi, mutta taajama-alueilla ja ongelmakohteissa se vaikuttaisi esteettiseltä ja halutun mukaista kasvillisuutta vaalivalta ratkaisulta. On tarvetta koko maassa käytettävissä olevalle edulliselle yleisratkaisulle. [5]

Suomen sorateiden kunnossapitoon käytetään vuosittain noin 40 miljoonaa euroa talvi-aurasta lukuun ottamatta. Pelkkä pölyämisen aiheuttama materiaalihävikki on 1,5 kg/v/tiekilometri. Soratiet vaativat tyypillisesti vuosittaisen tasaustöiden ja ne ovat erityisen herkkiä säästä johtuvalle eroosiolle. [2 s. 7–8, 17]

Indianan ja Kalifornian yliopistojen vuosina 2000–2003 yhdessä suorittamissa kenttäkokeissa on osoitettu niin sanotun ”elävän mullan” lisäämisen parantavan sekä maan koossapysyvyyttä että vedenläpäisevyyttä. Elävä multa oli kerätty luonnonvaraisia ja tulokaslajeja kasvavien maa-alueiden pintakerroksesta. Pelkkien sieni-itiöiden lisäämisellä ei havaittu yhtä suoraa vaikutusta näihin ominaisuuksiin. Pelkkiä sieni-itiöitä lisäämällä maan pintakerrokseen havaittiin kokeissa myös alhainen kasvien itämisprosentti – vain 20 %. Täten menetelmää ei myöskään hintavuutensa vuoksi voida pitää varteenotettava huoltotoimena. [4 s. 109–110, 123, 140]

Rihmastosieni-itiöt kestävät maa-aineksen seassa elinkelpoisina jopa neljä vuotta, Mikäli esimerkiksi rakennustöiden yhteydessä ylös kaivettua maa-ainesta haluttaisiin palauttaa myöhemmin muokatulle maa-alueelle. Tämä vaatii kuitenkin jatkuvaa kylmäsäilytystä, joten todellinen säilytysaika ulkoilmassa on lähempänä kahta vuotta. [4 s. 136–137, 140]

*Glomeromycota*-kaaren sienten kaupallinen itiöiden tuotto on toistaiseksi ollut liian kallista ja hankalaa laajamittaiseen käyttöön muutamaa lajiketta lukuun ottamatta. Itiöiden tuoton on havaittu käynnistyvän noin kaksi viikkoa kasvin ”sienitartunnan” jälkeen. Tätä ilmiötä hyödynnetään viljelemällä esimerkiksi *Glomus intradices* -lajiketta maissin juura-



kossa tartuttamalla itiöt kasvihuoneellisen isäntäkasveja. Kaikkein helpoimmin sienirihmastoja saa kasvamaan siirtämällä maa-ainesta ja juurakkoa paikalta, jolla kasvaa jo valmiiksi sienitartunnan saaneita kasveja. [23]

Suomessa ainoaa myynnissä olevaa AM-sieni-itiövalmistetta Myko-Ympäriä tuotetaan Luonnonvarakeskuksen toimesta. Ongelmaksi sen käytössä rajallisen saatavuuden lisäksi muodostuu yli 30 €/m<sup>2</sup>:n lisäkustannus nurmetustoimenpiteisiin. Tästä huolimatta sen toimintaa testattiin insinööriyön ensimmäisessä koejärjestelyssä (ks. kappale 5), jossa se toimi positiivisena näytteenä.

Tiehallinnon selvityksessä 65/2005 ”Vähäliikenteisten teiden kuivatus, ominaispiirteet ja kunnostaminen” oli listattu yksitoista yleisimmin havaittua puutetta teiden kuivatuksessa. Näistä kolme johtuu eroosion kautta ojiin päätyneestä maa-aineksestä. Alkuperäinen lista oli koottu havaitsemisjärjestyksessä, eli listan ensimmäinen puute oli myös useimmin havaittu. Kyseiset puutteet alkuperäisine järjestysnumeroineen olivat:

- 1. Laskuojat ovat kokonaan tukossa tai kunnostus rajoittuu muutamaan metriin tiestä.
- 3. Päätierummut ovat liettyneitä tai tukossa.
- 6. Sivuoja on kokonaan liettynyt tai ummessa. [24 s. 17]

Luiskien ongelmat liittyvät nimenomaan niiden eroosioon, jonka seurauksena ojien laidoilta irtoava maa-aines irtoaa ja sedimentoituu ojien pohjalle hidastaen veden virtausnopeutta. Materiaalin irrotessa tien rungon puoleiselta luiskalta, tien reuna saattaa ajan kuluessa heikentyä aiheuttaen kantokyvyn pienentymistä tai jopa sortumavaaran. Veden virtausnopeuden luiskia alas tulisi olla hidasta, niin ettei hienojakoinen maa-aines kulkeudu sen mukana ojaan. Ojaan päästyään virtauksen tulisi nopeaa jotta suuret vesimäärät saadaan mahdollisimman nopeasti poistettua laskuojiin tien rungolta. [24 s. 31–32]

#### 4.2 Sienirihmastomenetelmän kustannusarviointi

Sienirihmastojen käyttöön liittyy kolme huomioitavaa kustannusvaikutusta: sienirihmaston istutus rakenteeseen sekä tähän liittyvät työ ja materiaalit, sekä huoltotarpeen muu-

tos tieosuudella. Sienirihmaston istutus rakenteeseen muistuttaa toimenpiteiltään nurmetusta, joten tässä työssä on kustannusten lähtökohtana käytetty nurmetuksen yksikkökustannusta 3,50 €/m<sup>2</sup> vuodelta 2007. Huomioitavaa on, että sienirihmaston istutuksen onnistuminen olisi todennäköisintä, mikäli se tehtäisiin normaalien nurmetustoimenpiteiden yhteydessä. Tällöin lisäkustannus koostuisi pelkistä materiaalikuluista. [25 liite 1]

Taulukossa 1 on lueteltu yleisimpiä eroosioaurioiden korjaukseen ja ehkäisyyn liittyviä kustannuksia. Ilman pitkäaikaista kenttäkoedataa on mahdotonta arvioida kuinka paljon sienirihmastomenetelmä vähentäisi näitä kustannuksia tai niiden toistuvuutta. Vähentämällä eroosiota yleisesti ainakin pieni vähennys on kuitenkin odotettavissa.

Taulukko 1. Normaaleja eroosioaurioiden ennaltaehkäisytoimenpiteitä sekä niiden kustannuksia tieympäristössä. [Rantanen, Turunen, Nousiainen: Vähäliikenteisten teiden kuivatus, ominaispiirteet ja kunnostaminen; Tiehallinnon selvityksiä 65/2005; liite 2 s. 1–3]

Ongelma	Huoltotoimenpide	Kustannus	Toimenpiteen elinkaari
Ojien pysyvyys, heikot tienreunat (ojat täyttyvät nopeasti ojituksen jälkeen)	Ojien ja luiskien vahvistus karkealla materiaalilla	5–10 €/jm	kesto 5–10 v
Ojien pysyvyys, eroosio (ojaluiskat syöpyvät, materiaali täyttää ojan ja rummut)	Rummun pään ympäristön kiviverhous	30–40 €/m <sup>2</sup>	kesto 10–15 v
Ojien pysyvyys, eroosio (ojaluiskat syöpyvät, materiaali täyttää ojan ja rummut)	ojan pohjien ja luiskien verhoilu murskeella	5–10 €/jm	kesto 10–15 v
Ojien pysyvyys, kunnostusajankohdan vaikutus (loppukesän ojahuolto)	Ojaluiskien sitominen nopeasti juurtuvalla erikoiskasvillisuudella	Riippuu kohteesta	Riippuu kohteesta

Uudisrakennuskohteessa toimenpide olisi varsin yksinkertainen ja edullinen. Kun kohdetta aletaan raivata, vanha pintamaa siirrettäisiin sivuun ja kierrätettäisiin uusien rakenteiden pintakerrokseen. Nykyisissä maisemointitoimenpiteissä vanha pintamaa kierrätetään rakenteiden sisään ja pintakerrokseksi tuodaan jokseenkin steriiliä multaa. Toimenpiteen etuna nurmetukseen nähden on luonnonvaraisten kasvien siemennurmea pa-

rempi kuivuudenkestävyys. Ruohomaisia kasveja suosiva valmis mikrobiomi eli mikrobiekosysteemi parantaisi todennäköisesti myös tavallisen nurmen menestystä alueella. Tämä käyttömetodi ei sinänsä sisältäisi lisäkustannuksia, vain hieman vanhasta poikkeavan maankäyttömenetelmän.

Sienirihmastojen käyttö ongelmakohteiden eroosioaurioiden paikkauksessa vaatii enemmän työtä ja pintamaa-aineksen hankkimisen. Koska kyse on elävistä, kasvavista ja suhteellisen nopeasti lisääntyvistä eliöistä, pintamaata ei välttämättä tarvitsisi koko aluetta peittäväksi kerrokseksi. Tarvittavaa määrää ei tämän insinööriyön yhteydessä arvioitu, mutta menetelmää on kokeiltu kenttäkoejärjestelyssä 2 (s. 25–28). Menetelmän hinnaksi on arvioitu 4,50 €/m<sup>2</sup> – tavallisen nurmetuksen kustannus hieman yläkanttiin, sillä ongelma-alueille voi olla hankala kuljettaa materiaalia. Tämä lisäisi työtuntien määrää ja siten myös kustannuksia.

## 5 Kokeellinen osuus

### 5.1 Koejärjestely 1: tutkimus menetelmän soveltuvuudesta Suomeen

#### 5.1.1 Työn tavoite

Koejärjestelyn tarkoituksena oli toisintaa yhdysvaltalaisen Caltrans-tutkimuksen kenttäkoe Suomelle tyypillisissä tienvarsiolosuhteissa. Kokeessa rakennettiin neljä tieympäristön maa-ainesluiskaa simuloivaa laatikkoa (ks. kuva 6), joissa tutkittiin sienirihmaston vaikutusta luiskassa sateen vaikutuksesta tapahtuvaan eroosioon.

Huomattavia eroja alkuperäiseen koesuunnitelmaan on Suomen erilainen kasvi- ja sienilajisto, ilmasto ja maaperä. Toisin kuin Kaliforniassa, Suomessa on subarktinen mannerilmasto (*Köppenin ilmastoluokitus*), erilaiset mineraalit maaperässä sekä yleisesti ottaen happamampi maa. Alkuperäisen kokeen tutkimuskohteena oli sienirihmastojen eroosionhallintapotentiaali yleisemmällä tasolla. Koejärjestely oli alkuperäistä huomattavasti suppeampi, sillä sen tarkoituksena oli määrittää ylipäätään menetelmän mahdollista toimivuutta eikä niinkään toiminnan optimointia. Lisäksi alkuperäisen kokeen siirrotetut maa-ainekset oli steriloitu. [4 s. 109–118]

### 5.1.2 Menetelmät ja metodit

Kokeen kesto oli kaksi kuukautta, jolloin mahdollisten vaikutusten oletettiin olevan nähtävissä. Sedimentinpidätyskyvyn lisäksi arvioitiin lopuksi myös peitekasvien kasvunopeuserot. Vastaavien tutkimusten perusteella kasvijuurten ja sienirihmaston kasvunopeuksiksi oletettiin 10–20 mm/vrk (kasvijuuri) ja 1-3 mm/vrk (sienijuuri). [26; 27]

AM-sienen symbioosi kasvin kanssa todennettiin juurista mikroskopoimalla. Mikroskopinnissa tuli löytyä muodostuneiden kasvien juurista vesikkeleitä eli arbuskeleja, jotka ovat ainoastaan AM-sienille tyypillisiä rakenteita.

Koejärjestelyn laatikoiden kallistuskulmaksi valittiin 27° – tarpeeksi jyrkkä jotta mahdollinen eroosio olisi selkeästi todennettavissa, mutta tarpeeksi lievä kulma niin että sitä voisi mahdollisesti käyttää tienpenkassa ilman maa-aineksen oman painon aiheuttamaa sortumavaaraa. Kulma edustaa Liikenneviraston suositusta ojien reunaluiskien kaltevuudesta (1:2 vähimmäiskaltevuus ojien ulkoluiskalla, enimmäiskaltevuus sisäluiskalla). [2 s. 20]

Erilaisia biotooppimuuttujia edusti neljä samankokoista, maa-aineksella täytettyä vanerilaatikkoa. Maa-aineena oli sekoitus silttiä, hiekkaa, soraa ja multaa, joista kvartsihiekkä ja graniittisora muodostivat suurimmat komponentit. Hiekka ja sora olivat sekoituksia eri raekokojen osalta ja jaettu edeltä niin että laatikoiden sisältämät maa-ainekset olivat koostumukseltaan keskenään samanlaisia.

Lisäksi tutkittiin kuinka mikäkin mikrobivalmiste vaikuttaisi kasvillisuuden muodostumiseen lähtökohtaisesti likimain steriiliin maa-ainekseen. Kuhunkin laatikkoon lisättiin tyypillisten tienvarsikasvien siemeniä. Käytetyt lajit olivat pietaryrtti, siankärsämö, voikukka ja metsälauha. Siemenet kerättiin 7-tien varresta Loviisassa 7.4.2015. Laatikoihin oli lisätty myös noin kahden desilitran erä kullekin kokeelle tyypillistä mikrobivalmistetta alla listatusti.

Laatikko 1: maa-aines (kontrolli)

Laatikko 2: maa-aines ja luonnonympäristö eli luonnon mikrobeja sisältävä lähtöaines

Laatikko 3: maa-aines ja Myko-ympäristö eli kaupallinen mikrobeja sisältävä lähtöaines

#### Laatikko 4: maa-aines, Myko-ympäri ja luonnonympäri

Valuma-aukosta sadevesi virtasi talteenottoämpäriin, joka keräsi maakerroksen läpäisseen sadeveden. Kunkin sadetapahtuman jälkeen talteenottosäiliöön valunut vesi suodatettiin ja sen sisältämän sedimentin kuivapaino mitattiin. Myös sademäärä ja sateen kesto kustakin sadetapahtumasta mitattiin ja huomioitiin tulosten yhteydessä. Laatikot aseteltiin niin että ne altistuivat kokeen aikana mahdollisimman samanlaisille sääoloille.

Laatikoiden mitat perustuivat Suomelle tyypilliseen ojatyyppiin (syvyys 0,5 m kallistuskulma 27°). [2 s. 20]

- yksittäisen laatikon leveys: 0,5 m
- yksittäisen laatikon pituus: 1,0 m
- yksittäisen laatikon syvyys: 0,1 m

Sedimenttimittaukset suoritettiin joka sadetapahtuman jälkeen, mutta kuitenkin vähintään kerran viikossa. Sadetapahtuma-termi on käännetty alkuperäisen tutkimuksen termistä ”rain event” ja sillä tarkoitetaan tämän insinööriyön kontekstissa ajallisesti jokseenkin yhtäjaksoista vesisadetta, jolloin sataa joko tauotta tai enintään kahden tunnin erottamina peräkkäisinä kuuroina. Mittausten yhteydessä kirjattiin ylös kunkin sadetapahtuman kesto ja sadekertymä. Tiedot olivat peräisin Ilmatieteen laitoksen datakertymästä sijainnille Myyrmäki, Vantaa (lähimmän sääaseman sijainti Helsinki-Vantaan lentokenttä, Vantaa). Sadetapahtuman kestoksi kirjattiin se tuntimäärä, jonka aikana vesi oli satanut. Mikäli kolmen tunnin sadetapahtumassa olisi ollut esimerkiksi tunnin tauko välissä, kirjattaisiin sateen kestoksi kaksi tuntia.

Mittaustulosten vertailu tapahtui kaavalla:

$$(\text{kontrollilaatikon sedimentti}) - (\text{tutkitun laatikon sedimentti}) = \text{eroosioero}$$

Kunkin sadetapahtuman jälkeen laatikkokohtaisiin sadeveden talteenottosäiliöihin valunut vesi suodatettiin suodatinpaperilla (Melitta 102, huokoskoko 20  $\mu\text{m}$ ) ja kuivattiin veden poistamiseksi. Mittausta odottavia näytteitä säilytettiin pakastimessa mikrobiologisen toiminnan minimoimiseksi. Sedimenttinäytteiden kuivapainot mitattiin punnitsemalla

kaikki näytteet satunnaisessa järjestyksessä, samana päivänä ja samalla vaa'alla mitausepä-tarkkuuden vaihtelun ja systemaattisen virheen minimoimiseksi.

Kasvien keskimääräisen pituuden laskuun käytettiin kasvin pisimmän maanpäällisen osan pituutta, eli monihaaraisista kasveista käytettiin pisimmän haaran pituutta. Näistä pituuksista laskettiin keskiarvo, joka sitten kirjattiin mittausten yhteyteen.

### 5.1.3 Virhelähteet

21.6.2015 huomattiin että laatikosta 3 (maa-aines ja Myko-Ympäri) oli poistettu valuma-aukon metalliverkko, jonka tehtävänä oli pitää maa-aines laatikossa niin että sedimentti pääsee kuitenkin poistumaan. Tämä oli johtanut suurehkoon sortumaan. Sortuman suu-resta koosta johtuen laatikko 3 ei ollut enää tämän jälkeen vertailukelpoinen muiden laatikoiden kanssa sedimenttimittausten osalta. Laatikon sisällön fyysisen rakenteen katsottiin muuttuneen huomattavasti, vaikka verkko asennettiin laatikkoon uudelleen jo samana päivänä 21.6.2015. Kasvien keskimääräiseen pituuteen tämän ei ole katsottu vaikuttavan, joten kasvillisuuden arvioinnissa myös laatikon 3 tulokset on otettu mukaan vertailuun.

### 5.1.4 Tulokset

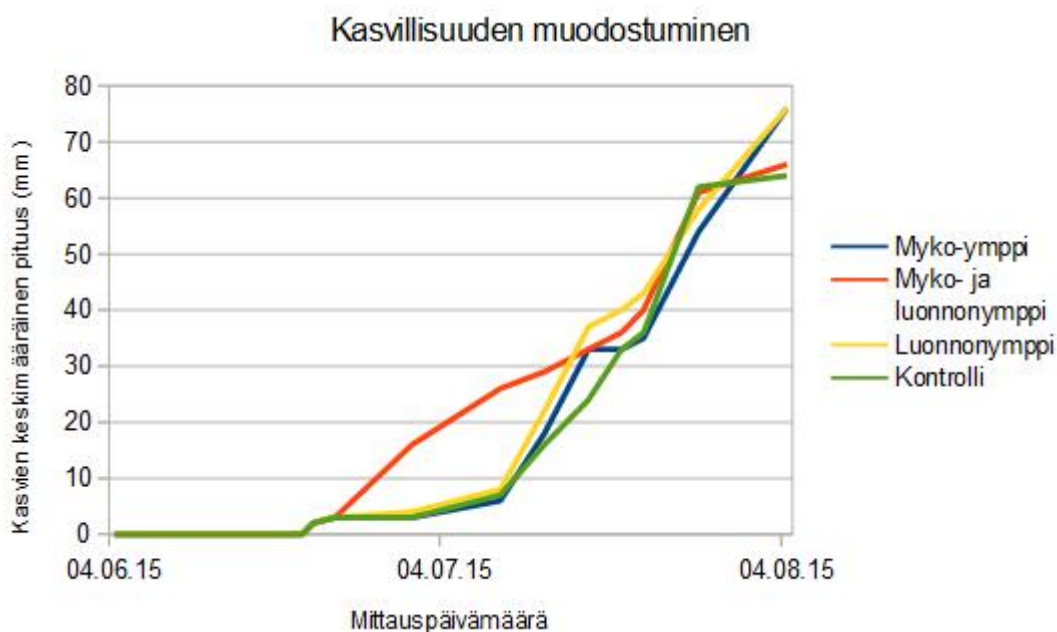
Kokeen tulokset eroosionhallinnan kannalta on esitelty taulukossa 2. Kesä 2015 oli varsin sateinen ja sedimenttinäytteitä kertyi kokeen aikana 16 kappaletta kustakin laatikosta. Sadetapahtumien intensiteettien mediaaniarvo oli noin 0,9 mm/t, joka Ilmatieteen laitoksen asteikolla on Suomen oloissa vähäistä.

Kokonaisuudessaan sedimenttiä pidätti parhaiten laatikko 2 eli se johon oli lisätty luonnon pintamaata. Laatikko 4 (kaupallinen tuote sekä pintamaa) oli pidättänyt sedimenttiä toiseksi parhaiten, mutta sen tulos ei eronnut merkittävästi kontrollista. Kasvillisuuden muodostuminen oli nopeinta laatikossa 4, mutta erot tasaantuivat kokeen toisen puoliskon aikana. Kasvillisuuden muodostumisen nopeutta on kuvattu kunkin laatikon osalta ajan funktiona kuvassa 5.

Varma positiivinen AM-sienitartunta todettiin laatikoista 2 ja 3 juurinäytteitä mikroskopoidulla. Näytteet laatikosta 4 eivät yksiselitteisesti varmistaneet AM-sienitartuntaa. Laatikosta 1 ei odotetusti löytynyt merkkejä AM-sienitartunnasta. Kasvillisuuden muodostumista on havainnollistettu kuvassa 7, mutta kokeen aikana ei muodostunut erityisen merkittävää eroa laatikoiden välille.

Taulukko 2. Koejärjestelyyn osuneen ulkopuolisen häiriön vuoksi laatikon 3 loppusedimenttimäärää ei voida suoraan vertailla muihin laatikoihin. Vaikkakin luonnonymppin käyttö (laatikossa 2 ja sekoitteena laatikossa 4) näyttäisi johtavan sedimentin parempaan pidätykseen maarakenteessa, on näin pienimuotoisen koejärjestelyn pohjalta mahdotonta vetää yleistettäviä johtopäätöksiä.

	Sedimentin kertymä kokeen lopussa (grammaa)	Huomioita
Laatikko 1	51,5	
Laatikko 2	41,6	
Laatikko 3	120,6	Ei vertailukelpoinen näytesarja
Laatikko 4	48,45	



Kuva 5. Kasvillisuuden muodostumisen nopeutta tutkittiin vertailemalla neljässä laatikossa kasvavien kasvien keskimääräistä pituutta kokeen keston ajan. Siementen erittäin epätasaisen itävyysasteen takia kasvien keskimääräisen tiheyden mittaamisesta luovuttiin (mittausvirhe näin pienillä koeaihoilla katsottiin liian suureksi). Sekoitettu Myko-luonnonymppi johti nopeimpaan kasvuun, mutta ero tasaantui myöhemmin kokeessa.



Kuva 6. Simuloituja soraluiskia koejärjestelyn päätöspäivänä 12.8.2015. Laatikot vasemmalta oikealle: Myko- ja luonnonymppi, luonnonymppi, kontrollikoe, Myko-Ympäri. Laatikoista valunut sedimentti kertyi veden mukana ämpäreihin. [Kuva: Sirkku Whitney]

## 5.2 Koejärjestely 2: kenttäkoe E18-väylän Sammatin liittymässä

Koejärjestelyssä yhteistyökumppaneina toimivat: Liikennevirasto, Uudenmaan ELY-keskus, E18-TYL-ryhmä ja Skanska. Työ tehtiin kahdessa vaiheessa: 21.7.2015 klo 19–21 ja 28.7.2015 klo 19–21.

### 5.2.1 Työn tavoite

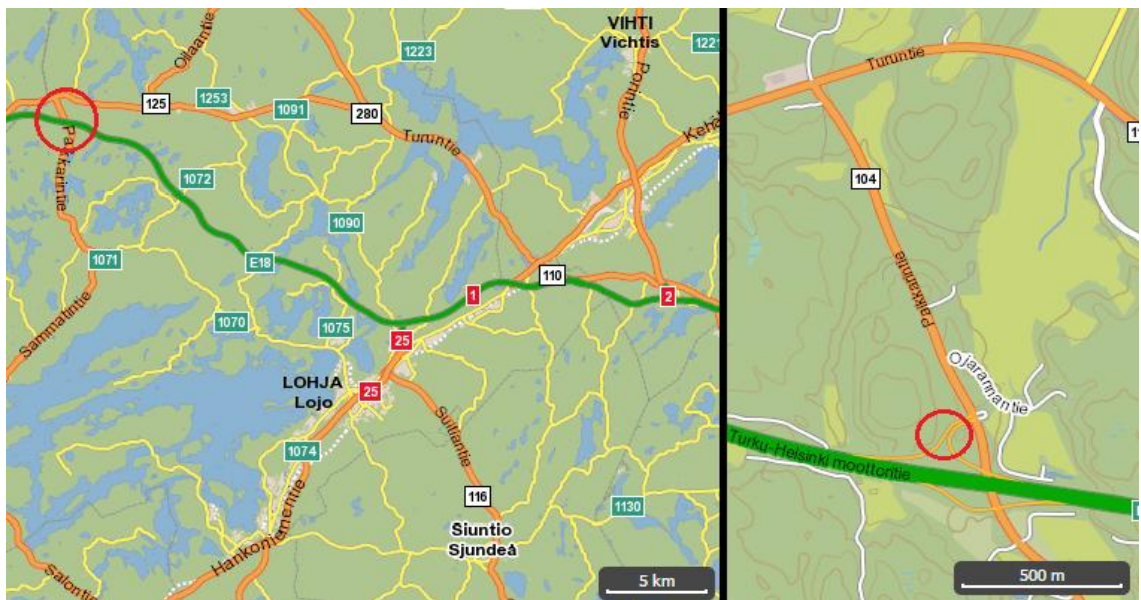
Kokeilun tarkoituksena oli Liikennevirastolle tehdyssä insinööriyössä esitetyn bioteknisen, sienirihmastoihin perustuvan eroosionhallintamenetelmän testaaminen kenttäolosuhteissa. Hypoteesina oli se että luonnon pintamaa, jossa on ennestään kasvanut kasveja, toimisi luontaisena sieni- ja bakteeriympäristönä. Lisättynä pintakerrokseen ympäri lähtisi kasvamaan eroosioalueelle ja tukisi näin sekä uusien että jo olemassa olevien kasvien juurakonmuodostusta ja kasvua, mikä puolestaan vähentäisi alueella tapahtuvaa



eroosiota. Tällöin sienirihmastomenetelmän käyttökustannukset rajoittuisivat lähinnä työvoimaan. Insinööriyön ohjausryhmän puolesta oli ehdotettu menetelmän tutkimista pienten ongelmakohteiden paikkauskorjaukseen käytettäväksi.

Koealueella on tarkoitus havainnoida menetelmän pitkäkestoisia vaikutuksia, mitä varten on luotu myös erillinen menetelmä eroosion etenemisnopeuden mittaukseen (ks. kapale 5.3). Menetelmä perustuu vertailuvalokuvien arkistointiin ja yksinkertaiseen, nopeasti toteutettavaan mittaukseen alueella.

## 5.2.2 Kohteen kuvaus



Kuva 7. E18-väylän kenttäkoealue liittymän 20 kohdalla. Koealueen sijainti on ympyröity punaisella molemmista kuvista. Oikeanpuoleisen kuvan korkeuskäyristä voi päätellä veden valumasuuntaa rinnettä alas. [Kuva: Fonecta]

Noin 100 m<sup>2</sup>:n laajuinen kohde sijaitsee E18-väylällä Sammatin liittymän poistumisrampin vieressä (tarkempi sijainti esitetty kuvassa 7). Kohteen valintaa varten oli käyty keskusteluja sekä vierailtu mahdollisilla koealueilla E18-väylän työyhteisliittymäryhmän jäsenten kanssa. Kohteen ongelmana on ollut savinen maaperä, joka sortuu ja vyöryy sateen vaikutuksesta. Hankala eroosio-ongelma uhkasi viedä rinteet harjalle rakennetun hirviäidan mennessään.

Kesän runsaiden ja toistuvien sateiden takia eroosio on ollut niin voimakasta, että vain nopeakasvuisimmat lajit ovat saaneet muodostettua riittävän tukevan juurakon ennen

uusien sortumien tapahtumista. Alueella vallitseva kasvillisuus sisälsi enimmäkseen erilaisia heinäkasveja ja apiloita, sekä leskenlehtiä, voikukkia ja komealupiineja.

### 5.2.3 Suoritetut toimenpiteet

Toimenpiteenä siroteltiin valmiiksi kasveja kasvanutta pintamaata eroosioalueelle. Pintamaata siirrostettiin noin puoli kiloa per koealueen neliometri. Lisäksi alueelle kylvettiin voikukan siemeniä. Kasvilajikkeena käytettiin voikukkaa (*Taraxacum officinalis*) sen nopean kasvun, ankkurimaisen juuren ja lyhyen kasvukorkeutensa takia. Voikukat ovat nopeakasvuisia kumppanilajeja mykorritsasienille ja pärjäävät hyvin tienvarsioloissa muodostaen pitkän, kaapelimaisen juuren. Lisäksi ne pysyvät normaaliolosuhteissa niin matalakasvuisina, etteivät ne lisää alueen niittotarvetta.



Kuva 8. Kenttäkoealue välittömästi sienirihmastokäsittelyn jälkeen. Eroosiosta kärsivään rinteseen siirrostettiin pintamaata läheiseltä alueelta, jolla kasvillisuus oli runsasta. Lisäksi alueelle kylvettiin hieman sellaisten lyhytkasvuisten kasvien siemeniä (ruohot, voikukka), jotka toimivat sienirihmastoille erityisen hyvinä kumppaneina. Vaikka tummat paakut ovat lähietäisyydeltä ilmeisiä, ne eivät olleet selkeästi nähtävissä tieltä katsottuna. [Kuva: Sirkku Whitney]



#### 5.2.4 Jatkotoimenpiteet ja seuranta

Tarkoituksena on tehdä koealueelle vähintään kaksi seurantakäyntiä, jotka sijoittuvat eroosion kannalta otollisiin sää- ja lämpötilaosuhteisiin; yksi syysateiden käynnistyttyä ja toinen keväällä roudan sulaessa. Seurantakäynneillä olisi tarkoitus verrata alkuperäisen eroosiotilanteen valokuvien pohjalta onko muutosta tapahtunut ja tarkkailla erityisesti kasvillisuuden määrää sortuma-alueella. Mahdollinen menetelmä seurata eroosion etenemistä muuten kuin visuaalisesti on esitelty insinööriyön kappaleessa 5.3. Seurantakäyntien tekijää ja raportojaa ei ole vielä vahvistettu.



Kuva 9. Liittymän koealue kauempaa tarkasteltuna. Suoritettu toimenpide ei muuta kohteen ulkonäköä normaalilta katseluetaisyydeltä tarkasteltuna (eroosioalue harmaana oikealla, aidan ja kallion välissä). Kuva 8 oli otettu (oikealta lukien) neljännen hirviastian seipään kohdalta. [Kuva: Sirkku Whitney]

Koska kokeen tarkoituksena oli arvioida sienirihmastomenetelmän toimintaa pitkällä aikavälillä, joka ylittää insinööriyön keston vuosilla, johtopäätöksiä ei insinööriyön valmistumisen aikaan vielä päästy tekemään. Huomattavaa eroa kokeen alkutilanteeseen ei kuitenkaan ollut syntynyt marraskuuhun mennessä.

### 5.3 Ehdotus eroosionseurantaan Sammatin liittymän kenttäkoealueella

Maa-aineksen siirtymistä on vaikea todentaa kvantitatiivisesti, vaikka se olisikin ilmeistä visuaalisen tarkastelun kautta. Ilman maanmittauslaitteita toteutettavaan eroosionseurantaan ehdotetaan tässä insinööriyössä kahta menetelmää, joista kumpikaan ei vaadi erikoislaitteita tai -osaamista.

#### 5.3.1 Valokuva-arkisto

Suuressa osassa kohteita eroosio on kausiluontoista ja keskittyy erityisesti roudan sulamisen ja syyssateiden aikaan. Sen etenemistä, hidastumista tai siirtyneen maa-aineksen määrää voi olla vaikea todentaa silmämääräisesti, joten menetelmäksi ehdotetaan eroosion kannalta arveluttavien kohteiden valokuvausta vuosittain. Menetelmä on varsin nopea toteuttaa ja vaatii lähinnä uuden luokan perustamista Liikenneviraston jo olemassa olevaan valokuva-arkistoon. Valokuvissa tulisi kiinnittää huomiota maamassan liikkumisen lisäksi kasvillisuuden muodostumiseen, joka indikoisi eroosion hidastumista alueella. Valokuvaus voi suuremman kokonaisuuden lisäksi keskittyä pienempiin yksityiskohtiin, kuten esimerkiksi puron uoman siirtyminen.

#### 5.3.2 Kruunumittaus

Kaltevilla maa-alueilla – kuten teiden pientareet, luiskat ja leikkaukset – eroosio etenee levymäisinä valuvina maakerroksina. Tällöin voi olla hankalaa todeta valokuvasta ilmeisen samannäköisessä rinteessä tapahtuneen mitään. Kuvassa 11 on esimerkki kenttäkoealueelta, E18-väylän Sammatin liittymärampin vierestä, jolla voimakas eroosio uhkaa viedä hirviaidan mennessään. Levymäisen eroosion mittaukseen ehdotetaan menetelmää, jolla mitataan eroosiokruunun etäisyyttä kiintopisteestä (valokuvassa esimerkiksi hirviaita). Eroosiokruunulla tarkoitetaan linjaa, joka muodostaa sortuma-alueen yläreunan. Tämä on huomattavasti yksiselitteisempi mitata kuin valuma-alueen alareuna. Sammatin liittymän tapauksessa se voi olla esimerkiksi keskiarvo useammasta mittauksesta.



Kuva 10. Eroosioalueen kruunurajaa on tässä korostettu valkoisilla pisteillä. Kruunumittaus tapahtuisi kuvan tilanteessa mittaamalla mittanauhalla aidan muodostaman pystysuoran vektorin kohtisuoraa etäisyyttä pisteisiin. Etäisyyksien keskiarvo toimisi tällöin mittana sille, missä eroosion eteneminen on kussakin mittaustilanteessa.

## 6 Johtopäätökset

Tämän insinööriyön perusteella sienirihmastomenetelmä tarjoaisi uudentyyppisen ratkaisun tieympäristön maarakenteiden laajan mittakaavan eroosionhallintaan. Menetelmän toimivuus eroosion hidastamisessa perustuu sienten kasvillisuuden muodostumista lisäävään vaikutukseen, maa-aineksen vedenläpäisevyyden parantamiseen sekä hienojakoisen maa-aineksen pidättämiseen liimaamalla sitä aggregaateiksi sienirihmojen erittämällä glomaliini-proteiinilla. Nämä vaikutukset suojaavat maarakenteita sadepisaroiden iskuvoimalta, vettymiseltä kapillaari-ilmion kautta, sekä maa-aineksen asteittaiselta karkaamiselta.

Kirjallisuusselvityksen ja aikaisempien tutkimusten perusteella menetelmän toimivuudesta oli jo hieman näyttöä ulkomailta. Tutkimuksista kattavin oli tehty Yhdysvalloissa

Kalifornian osavaltion liikenneviraston toimeksiannosta ja sen tulokset osoittivat sienirihmastomenetelmän parantavan tieympäristön luiskamaisten maarakenteiden eroosionkestävyyttä. Kirjallisuusselvityksen lisäksi haastateltiin viittä kotimaista asiantuntijaa menetelmään liittyvien mahdollisten ongelmien ja mahdollisuuksien kartoittamiseksi.

Insinööriyön toisena tavoitteena oli selvittää sienirihmastomenetelmän käyttömahdollisuuksia Suomen oloissa. Toimivuutta selvitettiin kahdella koejärjestelyllä, joissa pyrittiin selvittämään sekä ratkaisun toimivuutta Suomessa että pidemmän aikavälin vaikutuksia tieympäristössä. Tehtyjen alustavien kokeiden perusteella menetelmän toimivuus Suomen olosuhteissa on todennäköistä ja kotimaisesta maaperästä luonnostaan löytyvät rihmastosienilajikkeet osoittavat toiminnallista potentiaalia siinä missä kaupallisesti viljellyt, kalliimmat sienilajikkeet. Menetelmän toimivuuden arviointi pidemmällä aikavälillä vaatii jatkoarviointeja Sammatin kenttäkoealueella. Insinööriyön aikana seurantakäyntejä oli suoritettu vain yksi, jonka perusteella ei vielä kyetty tekemään johtopäätöksiä. Seurantakäynnillä ei kuitenkaan havaittu merkittävää lisäeroosiota verrattuna kokeen aikaiseen tilanteeseen kolme kuukautta aiemmin.

Sienirihmastomenetelmän käytännön sovellukseksi ehdotetaan tässä insinööriyössä pintamaa-aineksen siirtämistä kohdealueelle. Verrattuna kaupallisiin itiötuotteisiin, tämän sovelluksen etuna olisi sen edullisuus ja helppous, sekä se että pintamaa sisältäisi myös rihmastosientien kanssa symbioottisia bakteereja. Mahdollinen lisäkustannus olisi erityisen vähäinen uudisrakennuskohteissa. Sovellus perustuisi tuolloin rakennusalueelta saatavaan ilmaiseen materiaaliin, jolloin vältettäisiin sekä materiaalin hankinnasta ja kuljetuskustannuksista johtuvat lisäkustannukset. Sekä uudisrakennus- että paikka- korjaussovelluksissa otollisin aika kierrättää vanha pintamaa maarakenteiden uuteen pintakerrokseen on kohteiden maisemoinnin yhteydessä. Siirrostetun pintamaan tulisi olla hyvin läheisessä tai välittömässä kosketuksessa halutun kasvillisuuden siementen kanssa menetelmän parhaan toimivuuden saavuttamiseksi. Maisemoinnin yhteydessä tämä olisi helpointa ja edullisinta toteuttaa.

Menetelmän etuina ovat insinööriyötä varten tehdyn tutkimuksen perusteella edullisuuden lisäksi luonnonmukaisuus ja kotoperäisiä, myös harvinaistuvia kasvilajeja suosivien olosuhteiden luomisen mahdollisuus. Ympäristöystävällisenä sivuvaikutuksena on lisäksi sienten kyky mineralisoida raskasmetalleja vaarattomampaan muotoon. Menetelmä ei todennäköisesti sovellu siltojen välittömään läheisyyteen kasvillisuutta lisäävän vaikutuksensa takia.



## Lähteet

- 1 John A. Anderson, Alan L. Gesford: Environmentally Sensitive Maintenance For Dirt and Gravel Roads - A Manual to provide guidance using natural systems and innovative technologies to reduce erosion, sediment and dust pollution while more effectively and efficiently maintaining dirt and gravel roads; a report paid by U.S. Environmental Protection Agency, Penn State Center for Study of Dirt & Gravel Roads 2007
- 2 Sorateiden kunnossapito, Liikenneviraston ohjeita 1/2014; Liikennevirasto; Helsinki; 2014
- 3 Haastattelu: Hanna Ruotsalainen, projekti-insinööri, Finnmap Infra Oy, 2.9.2015
- 4 Keith M. Vogelsang, James D. Bever, Margot Griswold, Peggy A. Schultz: The Use of Mycorrhizal Fungi in Erosion Control Applications; Final Report for Caltrans Contract No. 65A0070; June 2004
- 5 Haastattelu: Eeva-Maria Tuhkanen, vanhempi tutkija, FT, Luke, 24.6.2015
- 6 Topics in Ecological and Environmental Microbiology; toim. Thomas M. Schmidt, Moselio Schaechter; Elsevier Inc; 2012; 139
- 7 USDA - ARS: "Glomalin: Hiding Place for a Third of the World's Stored Soil Carbon" (<http://www.ars.usda.gov/is/ar/archive/sep02/soil0902.htm>) luettu 27.3.2015
- 8 Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, COA, EY: Lab of soil and fertilizer (<http://kdais.coa.gov.tw/eng/view.php?catid=5565>) luettu 27.3.2015
- 9 Great Falls Tribune: Roads removed to restore forest health 21.10.2014 (<http://www.greatfalls Tribune.com/story/news/local/2014/10/20/roads-removed-restore-forest-health/17647643/>) luettu 25.4.2015
- 10 Jeff Lowenfels & Wayne Lewis: Teaming with Microbes – The Organic Gardener's Guide to the Soul Food Web; 2nd edition; Timber Press; 2010
- 11 Vieraslajit.fi: Kasvit; ([www.vieraslajit.fi/lajit/HBE.MG2/list](http://www.vieraslajit.fi/lajit/HBE.MG2/list)) luettu 8.4.2015
- 12 American Society for Microbiology, Applied and Environmental Microbiology: Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungus Populations in Heavy-Metal-Contaminated Soils (<http://aem.asm.org/content/65/2/718.full>) luettu 27.3.2015

- 13 Janusz Błaszowski, Beata Czerniawska, Sławomir Kowalczyk, Katarzyna Turnau, Szymon Zubek: *Ambispora gerdemannii* and *Glomus badium*, two species of arbuscular fungi (Glomeromycota) new for Europe and Poland, respectively; *Acta Mycologica*; Vol. 45 (1); s. 17-25; 2010
- 14 *Modern Soil Microbiology - Second Edition*; toim. Jan Dirk Van Elsas, Janet K. Jansson, Jack T. Trevors; CRC Press; 2007
- 15 V.B. Chaudhary, M.K. Lau, N.C. Johnson; *Macroecology of Microbes – Biogeography of the Glomeromycota*; Mycorrhiza; Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2008
- 16 MaarjAM: Web-based database for studies on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) (<http://maarjam.botany.ut.ee/>) luettu 9.9.2015
- 17 Tuhkanen, E-M: Monimuotoista ja kestävää liikennevihreää; *Tie&Liikenne*; 3/2015
- 18 Tuhkanen, E-M, Juhanoja S: Kasvit tarjoavat ekosysteemipalveluja rakennettuun viherympäristöön; *Maaseudun Tiede*; 2/2015
- 19 Haastattelu: Tuomo Ratia, kunnossapitoasiantuntija, Uudenmaan ELY-keskus, 1.7.2015
- 20 Haastattelu: Pekka Rajala, kunnossapitopäällikkö, Uudenmaan ELY-keskus, 2.7.2015
- 21 Haastattelu: Pekka Siitonen, Liikennevirasto, silta-asiantuntija, 10.9.2015
- 22 Pera LM, Callieri DA: Influence of calcium on fungal growth, hyphal morphology and citric acid production in *Aspergillus niger*; *Folia Microbiol (Praha)*; 1997; 42(6); s. 551-556
- 23 Teresa E. Pawlowska, David D. Douds Jr, Iris Charvat: In vitro propagation and life cycle of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus etunicatum*; *Mycological Research* 103 (12); s. 1549-1556; 1999
- 24 Taina Rantanen, Jouni Turunen, Antero Nousiainen: Vähäliikenteisten teiden kuivatus, ominaispiirteet ja kunnostaminen; *Tiehallinnon selvityksiä* 65/2005; Tiehallinto; Helsinki; 2005
- 25 Maantie 6110 Keljonkankaantien ja Sääksvuorentien välillä, Jyväskylä, Aluevaraussuunnitelma; Tiehallinto, Jyväskylä; 2007



- 26 C. G. Castillo, F. Puccio, D. Morales, F. Borie, and E. Sieverding: Early arbuscular mycorrhiza colonization of wheat, barley and oats in Andosols of southern Chile; *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*; 2012, 12 (3); s. 511-524
- 27 Michelle Watt, Wendy K. Silk, John B. Passioura: Rates of Root and Organism Growth, Soil Conditions, and Temporal and Spatial Development of the Rhizosphere; *Annals of Botany* 2006 May; 97(5); 839–855

## Huomiona haastatteluliitteiden tarkasteluun

Insinööriyön sisällön teoreettisuuden vuoksi siihen sisällytettiin myös useita asiantuntijahaastatteluja mahdollisten sovelluskohteiden ja ongelmien kartoittamiseksi. Kullekin haastateltavalle lähetettiin etukäteen haastattelurunko pohjustamaan haastattelun kysymyksiä. Varsinainen haastattelu toteutettiin kuitenkin kunkin asiantuntijan oma toimiala huomioon ottaen, eivätkä haastattelut välttämättä sisältäneet kaikkien haastattelurungon kysymysten käsittelyä. Haastatteluliitteet sisältävät haastattelujen sisällölliset yhteenvedot.

### Haastattelurunko

1. Millaisia maa-aineesta (sora, hiekka, multa) koostuvia tai sillä pinnoitettuja rakenteita toimialueeseesi kuuluu? (esim. luiskat, rampit, kuivatusojat)
2. Kuinka paljon näitä rakenteita on? Kuinka laajoja yksittäiset kohteet ovat? (esim. tiekilometreinä tai pinta-alana)
3. Minkälaisia maarakenteiden huoltotoimenpiteitä toimialueesi kohteissa tyypillisesti suoritetaan?

Huoltotoimenpide:	Kuinka usein?	Arvio tavanomaisista kerkustannuksista:

4. Riittääkö yleensä kertakorjaus vai onko yleistä että samaa ongelmaa joudutaan korjaamaan useita kertoja?
5. Onko näissä paikallisia tai laajamittaisia, eroosiosta johtuvia ongelmia? (sortumat, ojien ym. kuivatusrakenteiden tukkeutuminen lietteellä jne.)
6. Millaisia vaikutuksia korjaustöillä on kohteen ympäristöön?

**Haastattelu: 24.6.2015, Eeva-Maria Tuhkanen, vanhempi tutkija, FT, Luke**

Eeva-Maria Tuhkanen on ollut mukana koordinoimassa ja toteuttamassa Varsinais-Suomen ELY-keskuksen ja Liikenneviraston aloitteesta käynnistettyä Liikennevihreä-projektia. Häntä haastateltiin tätä insinööriyötä varten tienvarsikasvillisuuden asiantuntijana. Liikennevihreä-projektin tarkoituksena on ollut löytää tieympäristöön kestävää kasvillisuutta, joka olisi myös helppohoitoista. Helppohoitoisuudella viitataan seuraaviin seikkoihin:

- luonnostaan matalakasvuista kasvillisuutta, joka ei kaipaisi niittoa myöhemmin
- nopeasti peittäväksi kasvavia perennoja, joista rikkaruohot eivät saisi yliotetta
- käytetyt pensaat eivät vaadi leikkausta, koska pysyvät pienikokoisina
- lajit kestävät kuumaa, kuivaa tieympäristöä kesällä sekä selviävät talven aurouslumista
- lajien valikoinnissa huomioitu leviämispotentiaali, eli myöhempien mahdollisten vieraslajien muodostumisen ennakointi

Elokuusta 2014 lähtien on arvioitu erilaisten kasvilajien ja uuden perennojen istutusmenetelmän toimivuutta. Perennoja istutettiin kahdella eri metodilla, joita ei ollut tieympäristön mittakaavassa ennen kokeiltu. Istutusmenetelmät olivat taimilaatikoissa kasvatetut ”perennalaatat” ja kookoskuitumaton päälle kasvatettu, auki rullattava perennamatto. Molemmat istutusmenetelmät tuottivat hyviä tuloksia, mutta kookosmattorullan perennat kasvoivat hieman hitaammin kuin laattaperennat. Lisäksi kokeiltiin erilaisia kasvatusalustoja: perusmultaa, kompostoitua jätevesilietettä eli ns. kierrätysalustaa, sekä kierrätysalustaa johon oli lisätty biohiiltä maaperän kasvuolosuhteita parantamaan vettä ja ravinteita sitomalla ja edistämällä mikrobitoimintaa.

Projektiin kuuluu kaksi koealuetta: 450 m<sup>2</sup>:n kokoinen perenna-alue sekä 350 m<sup>2</sup>:n pensasalue. ELY-keskusten teialueiden huoltoon tarkoitetut määrärahat hupenevat lähes joka vuosi ennen aikojaan ja tarkoitus on löytää huoltotarvetta vähentäviä ratkaisuja. Vaikka pensaiden ja perennojen istuttaminen ei välttämättä maksa itseään takaisin sääs-

tyneissä hoitokuluissa, saavutetaan toimenpiteellä esteettisesti miellyttävämpi, luontoystävällisempi tieympäristö. Projekti on saanut koealueiden ohi kulkevien teiden käyttäjiltä positiivista palautetta jo ensimmäisen vuoden aikana.

Kokeillut menetelmät soveltuvat periaatteessa koko maahan. Pohjoisimpaan Suomeen olisi todennäköisesti tarpeen valikoida omia, paikalliseen ilmastoon sopivia lajikkeita. Istutusmenetelmät eivät käytännössä sovellu koko tieverkon laajuiseen käyttöön hintavuutensa vuoksi, mutta taajama-alueilla ja ongelmakohteissa käyttö vaikuttaisi luonnollista kasvillisuutta vaalivalta ratkaisulta. Käyttöönottokustannukset nousisivat huomattavasti käytettäessä menetelmää kohteissa, joihin on jo muodostunut peittävä kasvillisuuskerros. Vanha kasvillisuuskerros olisi mekaanisesti poistettava ennen istutuksia. Menetelmän vaikutusta eroosioon ei ole arvioitu, sillä koejärjestelyt ovat tapahtuneet melko tasisella maalla.

## **Haastattelu: 1.7.2015, Tuomo Ratia, kunnossapitoasiantuntija, Uudenmaan ELY-keskus**

Tuomo Ratiaa on haastateltu tieliikenteen väylänhoidon asiantuntijana. Hän toimii Uudenmaan ELY-keskuksen liikenne- ja infrastruktuuri –vastuualueen kunnossapitoasiantuntijana.

Uudenmaan ELY-keskuksen toimialueeseen kuuluvia maarakenteita ovat tieympäristöt, niitä varten lunastetut maa-alueet, luiskat, vallit ja ojat. Tienpitäjän ylläpitoon kuuluu varsinaisen tien lisäksi noin kymmenen metrin levyinen kaistale tien kummallakin puolen, ns. tieympäristö. Kohdekohtaisesti sovitaan rakenteiden elinkaaren huoltotoimenpiteistä: ELY-keskus vastaa pääosin rakenteen kestävyuden elinkaaresta. Erillisten teiden rakenteen parantamis-, rakennus- ja ylläpitourakoissa voi urakoitsijalle olla tapauskohtaisesti säilytetty vastuita rakenteen elinkaaresta. Hankalia rajatapauksia saattavat olla yksityisen ja julkisen tieympäristön rajapinnat tien viereen sijoittuvissa kiinteistöissä. Näillä sijaitsee monenkirjavaa rakennetta sähkökaapista bensapumppuun ja alueiden ylläpidon vastuun jakautuminen ei ole aina yksiselitteistä.

Tyypilliset korjauskohteet ovat laajuudeltaan muutamasta neliömetristä sataan, usein luiskien vauriokorjauksia tai ojien perkauksia. Kustannukset vaihtelevat tapauskohtaisesti, mutta tyypillinen luiskan korjaus pyörii 1 500 €:n paikkeilla. Tällöin korjaus on usein kivimurskeen lisäys tien pohjarakenteeseen ja mahdollisesti uusi pinnoitus. Rahoituksen vähyyden takia korjauksissa käytetään ensiksi ns. pikapaikkausta, kuten esimerkiksi tien pintavaurioiden korjausta. Tilannetta ja korjaustarvetta arvioidaan perusteellisemmin, mikäli vaurio uusiutuu. Usein tällöin tulee kyseeseen veden juoksun muuttaminen esimerkiksi ojitusratkaisuja muuttamalla.

Korjaustarve riippuu yleisesti ottaen eritoten säästä (sade- ja lumisademäärät sekä talven sula-ajat), sillä suurin osa tievaurioista on ainakin välillisesti veden aiheuttamaa. Muita vaikuttavia tekijöitä on tien rakenteeseen asti nouseva vesiraja, sekä kalliopinnat tien vieressä ja alla.

Kasvillisuuden muodostuminen on epäsuotuisaa saumakohdissa ja pinnoitetuissa rakenteissa. Korkeasta kasvillisuudesta on haittaa sellaisissa paikoissa joissa ne estävät näkyvyyttä aiheuttaen vaaratilanteita (risteykset). Yleisesti ottaen kasvillisuudesta on

kuitenkin hyötyä ”elävänä pinnoitteena” ja ympäristön viimeistelystä vastaa hankkeen suunnittelija.

## **Haastattelu: 2.7.2015, Pekka Rajala, kunnossapitopäällikkö, Uudenmaan ELY-keskus**

Pekka Rajalaa on haastateltu tieliikenteen väylänhoidon asiantuntijana. Hän toimii Uudenmaan ELY-keskuksen liikenne- ja infrastruktuuri –vastuualueen kunnossapitopäällikkönä.

Rajala vastaa Uudenmaan, Päijät-Hämeen ja Kanta-Hämeen maakuntien alueiden tieympäristöjen kunnossapidosta. Tulevaisuudessa alueeseen tullaan liittämään myös Kymenlaakson alue, jolloin tieverkoston laajuus nousee 9 500 kilometristä lähes 14 000 tiekilometriin. Toimialue koskee lähinnä autoteitä, niiden välitöntä ympäristöä, siltoja ja tasoristeyksiä. Toimialue sisältää vain kunnossapidon, ei rakentamista.

Alueen hoitoon osoitettu vuosibudjetti on noin 40 000 000 €. Tästä talvikunnossapito eli teiden auraus ja suolaus vie suurimman osan; talven säästä riippuen likimain 60 %. Luottoman ajan ylläpitotoimet käsittävät pääosin pintavaurioiden korjausta, niitto- ja vesakointitöitä, sekä kuivatusrakenteiden huoltoa, johon budjetista kuluu noin neljännes. Ajoradan ulkopuoliseen ylläpitoon budjetista osoitetaan vuositasolla noin miljoona euroa.

Kuivatusrakenteiden huolto koostuu ojituksen, sekä ojien liettymien ja tukosten poistosta. Sorateillä tämä tapahtuu noin 8-10 vuoden välein, päällystetyillä teillä tarvetta on vähemmän ja huoltoa tehdään kerran 25 vuodessa tai harvemmin. Keskimäärin soratiet ja kasvaneen liikenteen määrän takia jälkepäin päällystetyt soratiet vaativat hieman enemmän huoltotoimenpiteitä kuin asfaltitiet, jotka on jo lähtökohtaisesti suunniteltu suurille liikennemäärille.

Kasvillisuuden niitto suoritetaan tyypillisesti kerran vuodessa ja risteysalueilla kahdesti. Vesakointi eli puunvesojen karsiminen ja poisto tehdään 2-3 vuoden välein. Kasvillisuuden muodostuminen ei ole toivottavaa kivetyillä alueilla tai siltojen saumakohdissa, mutta yleisesti siitä ei ole vaivaa tai se on jopa toivottava ”päällyste” maarakenteille. Aikaisemmin on käytetty jonkin verran kemiallisia torjunta-aineita kasvillisuuden poistamiseksi, mutta se ei ole ollut käytäntönä enää kymmeneen vuosiin. Nykyään kriittisissä paikoissa kasvillisuus poistetaan mekaanisesti. Risteysalueilla näkyvyydelle on vähimmäisvaatimuksia, joten niiden ylläpitomenetelmät ovat huolellisempia.

Hyväksi havaittuja kasvillisuuden muodostamisen menetelmiä tieympäristössä on ollut nurmetus ja pensaiden tai puiden istutus. Nurmetus tarkoittaa yleensä kasvupohjan eli ohuen multakerroksen levittämistä ja soveliaan, ruohomaisista kasvilajeista koostuvan siemenseoksen kylvämistä.

Uudenmaan ELY-keskuksen alueen ylläpidon piiriin kuuluu erilaisia maarakenteita. Tällaisia ovat erikorkuiset kaivetut luiskat, osa siltojen rakenteista, meluvallit jotka eivät sijaitse taajama-alueella, laiturit ja rakenteet joilla ohjataan vettä eli käytännössä ojat. Näistä eroosiovaurioiden kannalta ongelmallisimpia ovat 90-luvulla rakennetut pitkät ja jyrkät luiskat.



**Haastattelu: 2.9.2015, Hanna Ruotsalainen, projekti-insinööri, Finnmap Infra Oy**

Ruotsalainen toimii Vantaan Ylästöntien peruskorjaushankkeessa, yhtenä suunnittelu-toimisto Finnmap Infra Oy:n käytännön huoltotoimenpiteitä valvovista projekti-insinöö-reistä. Haastattelussa ei sovellettu haastattelurunkoa, sillä se koski vain Ylästöntien piennarten suunnittelua ja maisemointia, joka oli haastatteluhetkellä jo osittain toteutettu.

Ruotsalaisen mukaan työ toteutettiin Liikenneviraston ohjeiden mukaan. Alun perin työ-maalta poistettu pintamaa oli täten kelvollista tien luiskien verhouksmateriaaliksi ja tähän tarkoitukseen kelpaa myös savi. Luiskat usein nurmetetaan tai istutetaan jälkikäteen, eikä Ylästöntiellä ollut suunnitelmia toimia toisin. Vanhaa pintamaata ei kierrätetty uuden joukkoon. Huoltotoimenpiteitä suorittavana aliurakoitsijana toimi Destia.

**Haastattelu: 10.9.2015, Pekka Siitonen, Liikennevirasto, silta-asiantuntija**

Pekka Siitosta haastateltiin tähän insinööriyöhön siltarakenteiden asiantuntijana. Siltojen ympäristössä muodostuva kasvillisuus saattaa aiheuttaa ongelmia, joita pyrittiin tällä haastattelulla kartoittamaan.

Siltojen erikoispiirteet maarakenteiden kannalta koskevat erityisesti siltojen betonirakenteiden rapautumista sekä veden ohjausta sillan kannalta suunnitellusti. Suurin osa ongelmista vältetään huolellisella suunnittelulla, mutta joskus ongelmia käy ilmi vasta vuoden päästä. Vaikeita ennakoida ovat esimerkiksi veden virtaus rinteissä ja siltapaikoilla pitkäkestoisten tai tulvasateiden jälkeen sekä poikkeuksellisten sääolojen vaikutus pohjaveden pinnankorkeuteen.

Sillan saumat kuten päällysteen ja reunapalkin sekä kannen ja maatuen reunapalkkien välinen sauma sekä sillan laakeritaso ovat kriittisimpiä paikkoja kasvillisuuden suhteen. Näihin sitä ei saisi muodostua lainkaan.

Varsinainen ongelmakohta voi olla kaukana sillasta, kuten esimerkiksi siltaan nähden korkeammalla tai matalammalla sijaitsevalla tieosuudella tapahtuva eroosion tai muun vaurion aiheuttama veden väärä kanavoituminen. Se, aiheutuuko eroosiosta ongelmia sillalle, riippuu melkein aina siitä mihin vesi lopulta kanavoituu. Siltojen ja teiden korjaustoimenpiteet aiheuttavat omia ongelmiaan veden kanavoitumisen suhteen, mikäli niitä ei ole suunniteltu kohteeseen sopiviksi.

Suurin osa siltoihin liittyvistä eroosiovaurioista ilmenee keiloissa ja luiskissa. Näistä suurin osa saadaan kuntoon kertakorjauksella, joten samassa kohteessa toistuvat vauriot ovat harvinaisen ilmiö. Sillalle ajautuneen maa-aineksen itsensä aiheuttamat vahingot ovat harvinaisia. Avattavien sekä rautatiesiltojen kanssa ei ole mainittavia ongelmia eroosioon liittyen.

Korjaustoimenpiteistä ja niiden kustannuksista on olennaista ymmärtää että siltojen huoltoon ja korjauksiin laitetaan vuosittain hyvin vähän rahaa. Suuruusluokaltaan sadan euron summan tulisi kattaa koko vuoden sillanhoitotarpeet, joten käytännössä sillä hankitaan lähinnä sillan pesu. Tällä ehkäistään maa-aineksen kertyminen ja kasvillisuuden

muodostuminen kriittisiin paikkoihin kuten kouruihin. Muita mahdollisia pieniä huoltotoimenpiteitä on päällystemakkaroiden lisääminen tien reunoihin ja sillan päihin, mikä ohjaa vettä valumaan suunnitellusti ja siten estää maan karkaamisen asfaltin alta. Myös ongelmalliseksi muodostunutta kasvillisuutta voidaan poistaa, niin varsinaisen sillan rakenteesta kuin sen välittömästä läheisyydestä.