

Pro gradu -tutkielma

Puutuhkan vaikutukset komealupiinin (*Lupinus polyphyllus*) siementen itämiseen ja taimien kasvuun

Anna Tuominen



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede

29.03.2020

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Ympäristötiede

Anna Tuominen: Puutuhkan vaikutukset komealupiinin (*Lupinus polyphyllus*) siementen itämiseen ja taimien kasvuun
Pro gradu -tutkielma: 33 s., 2 liitettä (2 s.)
Työn ohjaajat: Yliopistonopettaja Elisa Vallius, NCC Industry Oy:n projektipäällikkö Marjo Sairanen ja Villi Vyöhyke ry:n puheenjohtaja Jere Nieminen
Tarkastajat: Yliopistonlehtori Anssi Lensu ja yliopistonopettaja Elisa Vallius

Maaliskuu 2020

Hakusanat: vieraslajit, haitalliset vieraslajit, vieraslajien torjunta, pH, itävyys, tuhka, rakeistettu tuhka, turve, piennarniityt

Haitalliset vieraslajit uhkaavat luonnon monimuotoisuutta ja samalla monimuotoisuudesta syntyviä ekosysteemipalveluja. Suomessa komealupiini (*Lupinus polyphyllus*) määritellään kansallisesti haitalliseksi vieraslajiksi, sillä se syrjäyttää kasvupaikoiltaan muun muassa kotoperäistä niittylajistoa ja siitä on vaikea päästä eroon. Vaikutukset näkyvät koko eliöyhteisössä. Monet syrjäytetyistä lajeista ovat uhanalaisia. Aiemmat tutkimukset ovat antaneet viitteitä siitä, että emäksinen maaperä heikentää lupiinin kasvua. Tässä tutkimuksessa selvitettiin, voisiko puutuhkalla nostaa kasvualustan pH:n lupiinille epäedullisen korkeaksi, ja voisiko rakeistetulla tuhalla torjua lupiinia piennaralueilla. Tuhkan vaikutuksia siementen itävyyteen ja taimien kasvuun testattiin sekä laboratoriossa kasvatuskaapissa että ulkona kasvatusastioissa. Kasvatusalustan pH säädettiin turpeen avulla. Lupiinin lisäksi käsittelyt tehtiin kolmelle verrokkilajille, punanadalle (*Festuca rubra*), valkoopilalle (*Trifolium repens*) sekä mäkitervakolle (*Silene viscaria*). Kasvatuskaappikokeissa sekä tuhka että turve heikensivät lupiinin itämistä ja kasvua. Tuhka heikensi punanadan siementen itävyyttä ja vaikeutti sirkkalehden kasvattamista kaikilla tutkituilla lajeilla. Se myös pienensi käsiteltyjen lupiinitaimien tuorepainoa, mutta ei vaikuttanut kuivapainoon. Ulkokokeissa rakeistettu tuhka ei muuttanut kasvualustan pH:ta eikä käsittelyillä ollut vaikutusta lupiinin itävyyteen tai kasvuun. Sen sijaan punanadan peittävyys kasvoi tuhkakäsittelyjen myötä. Ulkokokeissa suurellakaan tuhkamäärällä ei saatu laboratoriokokeita vastaavia tuloksia, joten rakeistetun tuhkan levittäminen pientareille saattaisi ennemminkin lannoittaa lupiinia kuin estää sen kasvun. Laboratoriokokeiden perusteella pH:ta nostava tuhkakäsittely voisi heikentää lupiinia, mutta samalla myös vaikeuttaa piennaralueen nurmettamista kotoperäisillä lajeilla.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science

Department of Biological and Environmental Science
Environmental science

Anna Tuominen: The effect of wood ash on large-leaved lupine (*Lupinus polyphyllus*) seed germination and seedling growth
MSc thesis: 33 p., 2 appendices (2 p.)
Supervisors: University teacher Elisa Vallius and project manager Marjo Sairanen (NCC Industry Oy) and chairman Jere Nieminen (Villi Vyöhyke ry)
Inspectors: Senior lecturer Anssi Lensu and university teacher Elisa Vallius
March 2020

Invasive species are one of the biggest threats to biodiversity and the ecosystem services generated by biodiversity. The large-leaved lupine (*Lupinus polyphyllus*) is considered invasive in Finland because the species displaces native flora where it grows and is difficult to remove. The effect is seen in the whole community. Many of the displaced species are endangered. Previous studies have suggested that alkaline soil is not suitable for lupine. This study aimed to determine whether wood ash could raise the substrate alkalinity to a level that would prevent lupine growth and whether road verges could be treated with granulated ash in order to remove lupine permanently. The effects of ash on seed germination and seedling growth were examined both in a growth chamber in laboratory conditions and in plant pots outdoors. The alkalinity was adjusted with peat. Along with lupine, three native species were tested as comparators: red fescue (*Festuca rubra*), white clover (*Trifolium repens*) and sticky catchfly (*Silene viscaria*). In laboratory conditions both the ash and the peat affected the lupine adversely. The ash hindered red fescue germination and emergence of the cotyledons of all the studied species. It also lowered the fresh weight of the treated lupine seedlings but didn't affect their dry weight. The experiments outdoors showed that the granulated ash didn't raise the soil pH nor did it affect lupine germination or growth. It did, however, fertilize the fescue. The results of the laboratory experiments could not be reproduced outdoors even when using a large amount of ash, suggesting that treating road verges with granulated ash would not prevent lupine growth, but might instead fertilize the lupines. The experiments in the growth chamber also indicate that using ash treatment to raise the pH might weaken the lupine but would also complicate covering the road verges with native species.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	1
2 MATERIAALIT JA MENETELMÄT	3
2.1. Tutkimuslaji.....	3
2.2 Laboratoriokokeet.....	3
2.2.1 Materiaalit.....	3
2.2.2 Siementen idätys ja taimien kasvatusta kasvatuskaapissa	4
2.3 Ulkokoe	8
2.3.1 Materiaalit.....	8
2.3.2 Siementen idätys ja taimien kasvatusta muovisaaveissa ulkona.....	8
2.4 Tilastoanalyysit	12
3 TULOKSET.....	13
3.1 Laboratoriokokeet.....	13
3.2 Ulkokokeet.....	21
4 TULOSTEN TARKASTELU	26
4.1. Siementen idätys kasvatuskaapissa	26
4.2. Taimien kasvatusta kasvatuskaapissa.....	28
4.3. Ulkokokeet.....	28
5 Tuhkan käyttö lupiin torjunnassa	30
KIITOKSET.....	31
KIRJALLISUUS.....	31
LIITTEET	
Liite 1. Tutkimuksessa käytetyn rakeistetun tuhkan tuoteseloste.....	
Liite 2. Sää Nokian tutkimusalueella 9.5.-9.9.2018 ja 1.12.2018-28.2.2019.....	

1 JOHDANTO

Vieraslajeja pidetään yhtenä pääsyynä maailmanlaajuiseen luonnon monimuotoisuuden hupenemiseen. Ne ovat yksi pahimmista taloutta ja ihmisyyttä uhkaavista tekijöistä muun muassa siksi, että ne heikentävät monimuotoisuudesta syntyviä ekosysteemipalveluja (Rai 2013, EU 2014). Maailmankaupan ja -matkailun mukana lajit siirtyvät alueelta toiselle tarkoituksella tai tahattomasti. Ihmistoiminta on heikentänyt elinympäristöjä, joten ne ovat alttiimpia tulokkaille (Rai 2013).

Vieraslaji määritellään Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa 1143/2014 lajiksi tai sitä alemman taksonin yksilöksi tai lisääntymiskykyiseksi osaksi, joka on tuotu sen luontaisen levinneisyysalueen ulkopuolelle ja joka saattaa selviytyä ja muodostaa elinkykyisen populaation tai risteytyä alkuperäislajin kanssa. Haitallinen siitä tulee silloin, kun sen leviäminen uhkaa alkuperäisen lajiston monimuotoisuutta ja siihen liittyviä ekosysteemipalveluja (EU 2014).

Valtioneuvoston asetuksen 704/2019 mukaan komealupiini (*Lupinus polyphyllus*) on kansallisesti haitallinen vieraslaji. Vieraslajeista aiheutuvien riskien hallintaa koskeva laki 1709/2015 kieltää muun muassa niiden päästämisen ympäristöön ja määrää toimijan velvolliseksi huolehtimaan, ettei hänen kuljettamassaan tai välittämässään tuotteessa ole EU:n tai valtion haitalliseksi listaamia vieraslajeja. Komealupiini leviää muun muassa maansiirron mukana (Fremstad 2010), joten lajin määrittely haitalliseksi vaatii varmistamaan, ettei niin tapahdu jatkossa.

Komealupiinia on vaikea saada poistettua alueelta, jolle se on ehtinyt levitä. Sen siemenpankki säilyy vuosikymmeniä, minkä lisäksi juuren kappaleetkin voivat itää (Fremstad 2010). Lajin torjumiseen on kokeiltu muun muassa näivettämistä niittämällä (Saarinen ym. 2010), mutta se ei estänyt lajin levittäytymistä.

Monien lupiinilajien on havaittu kasvavan huonosti kalkkipitoisilla mailla (Peiter ym. 2000). Korkeamman pH:n on todettu heikentävän komealupiinin taimien kasvua, joka on parhaimmillaan hiukan happamassa ympäristössä (Nieminen ja

Rantanen 2012). Suomessa maaperä on luontaisesti hapan, minkä lisäksi happamoittavat päästölaskemat laskevat pH:ta alueittain entisestään.

Tämä tutkimus on osa NCC Industry Oy:n ja Villi Vyöhyke ry:n hanketta, jonka tavoitteena on kehittää keinoja lupiinin torjumiseen piennaralueilla (Nieminen ja Piironen 2015). Alustavien kokeilujen mukaan puutuhka heikentää komealupiinin kasvua ja jopa estää sen (Villi Vyöhyke ry 2017). Suomessa biomassan polttamisesta jäänyttä tuhkaa käytetään säädellysti metsälannoitteena (Huotari 2012). Sitä käytetään useimmiten rakeistetussa muodossa pölyämisen estämiseksi.

Tutkimuksessa ulos sijoitelluissa kasvatusastioissa testattiin metsälannoituskäyttöön tarkoitetun rakeistetun puutuhkan vaikutuksia maaperän pH:hon ja koelajien kasvuun. Tutkimus aloitettiin kuitenkin siementen idätyksellä kasvatuskaapissa. Puutuhkan ja luonnonturpeen avulla siementen kasvatusalustojen kasteluveteen säädettiin eri pH-arvoja.

Komealupiinia vertailtiin pientareiden nurmettamisessa yleisesti käytettyihin punanataan (*Festuca rubra*) ja valkoapilaan (*Trifolium repens*), joista jälkimmäinen on lupiinin tavoin hernekasvi. Verrokkina käytettiin myös mäkitervakkoa (*Silene viscaria*), syväjuurista kuivien ja valoisten kasvupaikkojen lajia, jonka elinympäristöä piennarniityt ovat. Pientareiden kasvillisuudella on tärkeä merkitys eroosion torjumisessa, joten tuhkakäsittelyn jälkeen kotoperäisen kasvipeitteen tulee säilyä.

Tutkimuskysymykset: Miten puutuhka ja sen avulla nostettu pH vaikuttavat komealupiinin ja verrokkilajien itämiseen ja taimien kasvuun? Voisiko tuhkakäsittelyllä estää lupiinin kasvun piennaralueilla?

0-hypoteesi: Tuhkakäsittelyt eivät vaikuta siementen itävyyteen, taimien kuivapainoon, kasvien lehtien tai kukintojen määrään eikä kasvien pituuskasvuun.

Työhypoteesi: Puutuhka heikentää ja jopa estää siementen itämisen ja taimien kasvun.

2 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

2.1. Tutkimuslaji

Komealupiini on tuotu Suomeen koristekasvina Pohjois-Amerikasta (MMM 2012). Se viihtyy piennaralueilla vaikeissakin olosuhteissa ja on levinnyt aina maan pohjoisosiin asti (Lampinen ja Lahti 2019).

Komealupiini on vahva kilpailija suomalaisilla pientareilla (MMM 2012). Sen levittäytyminen laskee kasvupaikkojen kasvilajien määrää ja haittaa etenkin matalakasvuisia lajeja (Valtonen ym. 2006). Komealupiini kykenee sitomaan ilmakehän tyypeä juuristossaan elävien bakteerien avulla, minkä vuoksi sillä on maaperää rehevöittävä vaikutus. Ominaisuuksiensa vuoksi komealupiini uhkaa jo valmiiksi taantunutta kotoperäistä niittylajistoa, jolle karut pientareet ovat tärkeitä elinympäristöjä (MMM 2012). Kasvien lajiversiteetin huetessa vaikutukset näkyvät koko eliöyhteisössä, sillä päiväperhosten yksilömäärän on todettu laske-
neen lupiinia runsaasti kasvavilla piennarosuuksilla (Valtonen ym. 2006).

2.2 Laboratoriokokeet

2.2.1 Materiaalit

Tutkimuksessa käytettävät komealupiinin (*Lupinus polyphyllus*) siemenet oli kerätty Tampereelta kahdelta eri kasvupaikalta, kuivattu ilmastavasti ja otettu talteen varisseet, eli varmimmin täysin kehittyneet siemenet. Kaikki laboratoriokokeissa käytettävät siemenet olivat kuitenkin samalta kasvupaikalta.

Kokeissa lupiinin rinnalla tutkituista verrokkikasveista valkoapilan (*Trifolium repens*) ja mäkitervakon (*Silene viscaria*) siemenet haettiin puutarhamyymälästä. Valkoapilan siemenet olivat Schtelig Oy:n ja mäkitervakon siemenet Suomen Niittysiemen Oy:n toimittamia. Punanadan (*Festuca rubra*, lajike: SW Cygnus) siemenet saatiin Lantmännen Agron koetilalta.

Idätys- ja taimikasvatuskokeiden käsittelyissä käytettiin vesijohtovettä. Veden pH:n säätämiseen käytettiin puutarhamyymälästä hankittua Kekkilän luonnonturvetta sekä yksityisen kotisaunan kiukaan puutuhkaa. Tuhka oli peräisin lehtipuista. Kontrollina käytettiin pelkkää vesijohtovettä. Veden pH:n nostoon ei käytetty puskuriliuoksia, sillä on havaittu, että niillä on myös pH:sta riippumattomia vaikutuksia siementen itävyyteen (Redmann ja Abouguendia 1979, Rezvani ja Zaefarian 2017). Esimerkiksi kissankellolla eräät puskuriliuokset heikensivät itävyyttä (Basto ym. 2013). Puutuhka ja luonnonturve valittiin, jotta saadut tulokset mukailisivat tuhkakäsittelyä piennaralueella.

Kokeessa käytetyt kastelunesteet valmistettiin liottamalla puutuhkaa ja luonnonturvetta vedessä. Liotuksessa turpeen tilavuuden suhde veteen oli 1:2. Vesi suodatettiin kahvin suodatinpaperin läpi. Säädettyjen pH-arvojen ääripäinä olivat suodatettu turvevesi (pH n. 4,5) ja tuhkavesi (pH n. 12). Näitä sekoittamalla muodostettiin myös pH:t 7, 8, 9, 10 ja 11 0,1:n tarkkuudella. Valituilla arvoilla pyrittiin haarukoimaan puutuhkan vaikutuksia emäksisemmissä olosuhteissa. Nesteitä sekoitettiin lisää kokeen edetessä, ja näiden erien välillä ääripäiden pH vaihteli hiukan enemmän kuin sekoitettujen nesteiden pH:t. Mittaamiseen käytettiin koko tutkimuksen ajan samaa Radiometer Copenhagenin MeterLab PHM 220 LabpH Meter 6 -pH-mittaria.

Siementen idätyskokeessa kasvualustana käytettiin valkaisematonta kahvin suodatinpaperia ja astiana muovisia tuikepulloja. Taimikasvatuskokeessa kasvualustana käytettiin puuvillaisia vanulappuja sekä talouspaperia itävien siementen suojana. Taimet kasvatettiin pienissä lasipurkeissa. Siemenet idätettiin hanavedellä kastelemalla, ja käsiteltiin tuhka- ja/tai turvevedellä. Lisäksi taimet saivat Kekkilän luonnonmukaista kasvilannoitetta.

2.2.2 Siementen idätys ja taimien kasvatus kasvatuskaapissa

Kaksivaiheisissa laboratoriokokeissa testattiin, miten pH vaikuttaa komealupiinin ja kolmen verrokkilajin siementen itävyyteen sekä lupiinin sirkkataimien kasvuun.

Ensimmäisessä vaiheessa keväällä 2017 (Taulukko 1) lupiinista tehtiin kaksi koesarjaa, joista toinen esikäsiteltiin ravistelemalla 10 minuuttia lasipurkissa siemenen lepotilan eli dormanssin murtamiseksi (Hamly 1932). Useimpien muiden hernekasvien tavoin lupiininsiemenen kuori estää veden pääsyn siemenen sisään, joten kuoren täytyy vaurioitua ennen kuin se voi itää (Baskin & Baskin 2001). Verrokkikasveilla itäminen ei vaatinut esikäsitteilyä. Siemenet idätettiin ja taimet kasvatettiin HiPoint Plant Growth Chamber EH-1800 -kasvatuskammiossa 15 °C:n lämpötilassa ja 50 %:n valoteholla 16 tunnin valo- ja 8 tunnin pimeäjaksoilla.

Taulukko 1. Siementen idätyskokeen toistojen määrät tutkimuslajeittain ja käsittelyittäin. Siementen esikäsitteilyt (E = ei käsittelyä, R = ravistelu 10 min) ja käsittelynesteen alku-pH:t. Arvot 4 ja 12 kuvaavat ääripäitä.

Laji (idätyskoe)	Esik.	pH 4	pH 7	pH 8	pH 9	pH 10	pH 11	pH 12	vesi
<i>Lupinus polyphyllus</i>	E	10	10	10	10	10	10	10	10
<i>Lupinus polyphyllus</i>	R	10	10	10	10	10	10	10	16
<i>Trifolium repens</i>	E	10	10	10	10	10	10	10	16
<i>Silene viscaria</i>	E	10	10	10	10	10	10	10	16
<i>Frstuca rubra</i>	E	10	10	10	10	10	10	10	16
Laji (taimikoe)	Esik.	pH 4	pH 7	pH 8	pH 9	pH 10	pH 11	pH 12	vesi
<i>Lupinus polyphyllus</i>	R	10	10	-	-	10	-	10	16

Idätyskokeet tehtiin Eviran (2018) ohjeita mukaillen. Siemenet idätettiin tuikepulloissa, kussakin 10 siementä. Siemenet aseteltiin erilleen koenesteellä (3 ml) kastellulle suodatinpaperille, joka taitettiin puoliksi, käärittiin rullalle ja laitettiin pystyyn tuikepulloon. Tuikepullot peitettiin muovisilla kuvuilla veden liiallisen haihtumisen estämiseksi (Kuva 1). Tulokset tarkistettiin 7–9 päivän kuluttua riippuen siitä, oliko viikko itämisaikana lajille riittävä. Valkoapilat ja mäkitervakot lähes

kuivuivat, joten niille lisättiin koenesteitä idätyksen aikana 1 ml kuhunkin tuikepulloon. Valkoapilan kontrolliryhmää ei kasteltu, sillä ne olivat pysyneet kosteina.



Kuva 1. Laboratoriokokeessa siemenet idätettiin kastellulla kahvin suodatinpaperilla tuikepulloissa. Kussakin pullossa on kymmenen siementä.

Tuloksiin merkittiin, moniko siemenistä oli sirkkajuurivaiheessa, sirkkalehtivaiheessa tai ei ollenkaan itänyt. Lisäksi merkittiin muut mahdolliset huomiot siementen kunnosta tai suodatinpaperin kosteudesta. Kokeen yhteydessä selvitettiin pH-paperilla, miten koeyksiköiden pH muuttui kokeen aikana.

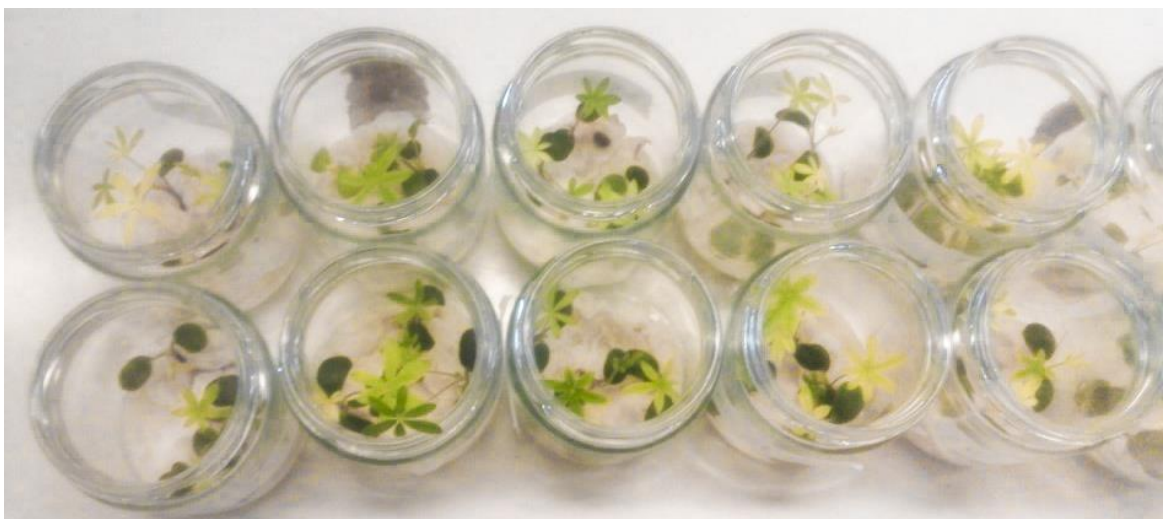
Kastelunesteitä säilytettiin kokeessa käytetyssä kasvatuskaapissa lasipurkeissa parafilmillä peitettyinä. Niiden loppuessa sekoitettiin lisää huoneenlämmössä säilytettyä turvevettä ja kasvatuskaapissa säilytettyä tuhkevettä suodattamalla ja sekoittamalla.

Kokeen toisessa vaiheessa syksyllä 2017 ravisteltuja komealupiinin taimia idätettiin lasipurkeissa vanulapuilla sirkkataimivaiheeseen. Vanulaput kasteltiin 6 ml:lla hanavettä. Siementen päälle asetettiin talouspaperin pala, joka kasteltiin 1

ml:lla vettä. Talouspaperi poistettiin itämisen jälkeen. Kuhunkin purkkiin laitettiin itämään 13 siementä, mutta ennen koekäsittelyä itäneiden taimien määrät tasattiin neljään taimeen niin, että kussakin lasipurkissa oli kaksi sirkkataimea ja kaksi taimea, jotka olivat jo kasvattaneet ensimmäiset lehdet. Taimien juuret eivät tarttuneet vanulappuihin, joten juuret peiteltiin vesijohtovedellä kostutetulla vanulla.

Käsittelyt tehtiin, kun kokeen aloituksesta oli kulunut 20 päivää. Käsittelyssä taimet kasteltiin 4 ml:lla nestettä, jossa oli sekä ravinneliuosta että säädetty pH (Kuva 2). Ravinneliuosta mitattiin 0,5 ml desilitraan nestettä. Ääripäät olivat laboratoriokokeen tavoin turveveden sekä tuhkaveden pH:t, joihin oli kuitenkin lisätty ravinneliuosta. Tuhkaveden pH lannoitteen kanssa oli 12,7 ja turveveden 4,3. Ääripäiden välille muodostettiin pH:t 7 ja 10 0,1:n tarkkuudella. Siementen idätyskokeen alustavien tulosten perusteella osa käsittelyistä karsittiin tarpeettomina. Kustakin käsittelystä tehtiin 10 toistoa, pelkällä ravinneliuoksella kastelluista kontrolleista 16 toistoa (yht. 56). Ravinneliuos laski hanaveden pH:n 8:sta 4,6:een.

Ravinneliuos täytyi lisätä kasteluveteen ennen pH:n säätämistä, minkä vuoksi nesteiden lopputilavuuksiin tuli suurimmillaan noin kymmenen prosentin ero. Tämä aiheutti ravinneliuoksen suhteelliseen määrään hieman vaihtelua käsittelyiden välille.



Kuva 2. Komealupiinin taimet kasvatuskokeen päättyessä.

Koe päättyi 22 päivää käsittelyjen jälkeen, jolloin kokeen aloituksesta oli kulunut 42 päivää. Tulokset saatiin kuivaamalla sirkkataimet 60-asteisessa uunissa noin kahden päivän ajan ja vertailemalla kunkin lasipurkin tainten yhteenlaskettuja kuivapainoja toisiinsa. Tällöin voitiin todeta, onko pH:lla ollut vaikutusta taimen kasvuun. Myös tässä kokeessa sekä sekoitettujen nesteiden että vanulappujen pH:n muutokset tarkistettiin pH-paperilla kaksi päivää myöhemmin. Tuossa vaiheessa purkkien pH:t olivat kaikki jo tasaantuneet 7:n ja 8:n välille.

2.3 Ulkokoe

2.3.1 Materiaalit

Tutkimuksessa käytettiin samoja siemeniä kuin laboratorioskokeissa, mutta lupiin siemenistä käytettiin sekaisin kahdelta eri kasvupaikalta kerättyjä siemeniä. Käsittelyissä pH nostettiin metsän lannoitukseen tarkoitetulla tuhalla. Käytetty tuhka oli Ecolan Oy:n rakeistettua Silva Cinis puu-/turvetuhkalannoitetta (Liite1), joka saatiin yrityksen Nokian tehtaalta. Koeyksiköt olivat Järnvikin kierrätysmuovista valmistettuja myrkyttömiä sekoitussaaveja. Niiden tilavuus oli 90 l, halkaisija 66 cm, korkeus 34 cm ja väri musta.

Kokeessa käytetty maa-aines otettiin koealueen vierestä NCC Industry Oy:n maanlajitysalueelta, sillä samantyyppistä maa-ainesta käytetään myös tienvarsien rakennuksessa, johon tämän tutkimuksen tuloksia pyritään soveltamaan. Maa-aineksen koostumus oli paikoin soraista. Isot savipaakat ja kivet poistettiin. Maanäytteiden säilytykseen käytettiin Amergrip-pusseja, niiden kuivatukseen alumiinisia leivontavuokia ja pH:n mittaamiseen muovisia ja lasisia mittalaseja.

2.3.2 Siementen idätys ja taimien kasvatus muovisaaveissa ulkona

Ulkokoe perustettiin 9.5.2018 Nokian Juhansuolle NCC Industry Oy:n maanottoalueen tuntumaan. Muovisaavit ryhmiteltiin kymmeneen lähekkäiseen ryhmään, joista kuhunkin tuli viisi saavia (Kuva 3). Niiden kylkiin porattiin noin sentin

läpimittaisia reikiä reilun kymmenen sentin korkeudelle, jotta ylimääräinen vesi pääsisi valumaan pois. Saavit täytettiin maalla niin, että laita jäi vielä noin kymmenen senttiä.



Kuva 3. Ulkokokeen koesaavien ryhmät 9 ja 10 Nokian Juhansuolla. Kuvattu 10.7.2018.

Astioille tehtiin käsittelyt (Taulukko 2) siten, että kussakin ryhmässä oli kolme eri tuhkakäsittelyä ja siemenellinen sekä siemenetön kontrolli satunnaistetussa järjestyksessä. Siemenettömällä kontrollilla selvitettiin, päätyykö koeyksiköihin ympäristöstä tulevia siemeniä tai itääkö kasvualustan siemenpankista jotain, joka pitäisi huomioida tuloksissa.

Käsittelyt merkittiin astioihin erivärisillä teipeillä (Taulukko 2). Tuhka punnittiin keittiövaakalla muutaman gramman tarkkuudella. Sata grammaa tuhkaa koesaavia kohti vastaa metsälannoituksessa pinta-alaa kohti suositeltua tuhkamäärää (Metsäkeskus 2019). Kuhunkin siemenelliseen koesaaviin laskettiin noin 60 siementä jokaisesta lajista (komealupiini, valkoapila, punanata, mäkitervakko). Idättämällä eri lajeja yhteisönä pyritään imitoimaan tienpientareen olosuhteita.

Muutama siemen putosi myös yhteen siemenettömistä kontrollisaaveista, siinä itäi yksi lupiinintaimi. Koesaavien läheisyydessä kasvavat lupiinit myrkytettiin

Roundup-torjunta-aineella, jotta niistä ei putoaisi ylimääräisiä lupiinin siemeniä saaveihin.

Taulukko 2. Ulkokokeen tuhkakäsittelyt ja kontrollit värikoodeineen.

Käsittelyno	Väri	Tuhkaa (g)	Siemenmäärä
0	Valkoinen	0 g	0
1	Harmaa	0 g	60+60+60+60
2	Sininen	100 g	60+60+60+60
3	Oranssi	200 g	60+60+60+60
4	Punainen	400 g	60+60+60+60

Syyskuun alussa 2018 saaveista saatiin tulokset ainoastaan lupiinista, sillä muista lajeista vain yksittäisiä siemeniä oli itänyt. Saaveista laskettiin itäneiden lupiinintaimien määrät, kunkin taimen lehtien määrä sekä pisimmän lehden pituus senttimetrin tarkkuudella. Mittauksissa kesti kaksi päivää, ryhmät 1-5 mitattiin 5.9. ja ryhmät 6-10 neljä päivää myöhemmin 9.9.2018.

Maaperän pH:n määrittämistä varten saaveista otettiin maanäyte kolmesta eri kohdasta (keskeltä, reunasta ja vastakkaiselta puolelta) kokoomanäytteiksi. Maanäytteet otettiin noin sentti pinnan alta. Välineet huuhdeltiin vedellä ja kuivattiin jokaisen astian jälkeen. Näytteet siirrettiin analyysivaa'alla punnittuihin alumiinisiin vuokiin ja punnittiin samalla vaa'alla vuoan kanssa ennen kuivatusta. Punnitukset kirjattiin neljän desimaalin tarkkuudella. Näytteitä kuivattiin 50-asteisessä uunissa. Kuivatut näytteet punnittiin uudelleen haihtuneen veden osuuden laskemiseksi. Osuudet laskettiin promillen tarkkuudella. Tällä selvitettiin maan koostumuksen eroja koeyksiköiden välillä. Maanäytteet jauhettiin morttelilla ja laitettiin takaisin kuivauskaappiin odottamaan seuraavaa työvaihetta.

Jauhetut näytteet sekoitettiin ultrapuhtaaseen veteen suhteessa 10 ml maanäytettä, 25 ml vettä ja sekoitettiin hyvin (Opetushallitus 2019). Näyteastiat peitettiin parafilmillä ja jätettiin huoneenlämpöön yön yli. Seuraavana päivänä nesteestä mitattiin pH samalla mittarilla, jota käytettiin laboratoriokokeissa. Tässä vaiheessa näytettä sekoitettiin vain kevyesti, ettei mittarin elektrodi vaurioituisi.

Seuraavana keväänä 15.5.2019 saaveista otettiin edellisen syksyn tapaan uudet maanäytteet rakeiden liukenemisen vaikutusten arvioimiseksi. Kaikki rakeet eivät olleet vielä täysin liuenneet, mutta kuitenkin selvästi pienentyneet. Näytteiden pH:t mitattiin edellissyksyn tavoin.

Maanäytteiden ottamisen yhteydessä laskettiin itäneiden lupiinintaimien määrät. Ne olivat niin alhaiset sekä kontrolli- että koesaaveissa, etteivät ne olleet vertailukelpoisia edellisen kesän tulosten kanssa. Muista koelajeista punanata oli kuitenkin itänyt ja kasvoi hyvin, joten siitä määritettiin peittävyys koeyksiköittäin. Kustakin saavista otettiin 5.7.2019 kuva suoraan yläpuolelta ja kuvat analysoitiin ImageJ-ohjelmalla (Kuva 4). Multapinnan ala mitattiin ellipsinä ja punanadan ala vapaasti piirtämällä. Ohjelma esitti tulokset pikseleiden lukumääränä. Peittävyysdet määritettiin prosentoin tarkkuudella.



Kuva 4. Esimerkki punanadan peittävyys laskemisesta ImageJ-ohjelmalla. Multapinnan ala (vas.) verrattiin vapaasti piirrettyyn punanadan alaan (oik.).

2.4 Tilastanalyysit

Tilastolliset analyysit tehtiin IBM SPSS (versio 25) -ohjelmalla. Tilastollisen merkitsevyyden rajana oli kaikissa testeissä 0,05.

Siementen idätyskokeissa aineiston kaikki ryhmät eivät olleet normaalijakautuneita, joten varianssianalyysi tehtiin parametrittömällä Kruskal-Wallis testillä. Selittävänä muuttujana olivat nestekäsittelyt ja vesikontrolli, ja selitettävänä muuttujina itäneiden siementen osuus sekä sirkkalehtivaiheeseen ehtineiden taimien osuus.

Taimikasvatuskokeessa selvitettiin, muuttuuko taimien tuorepaino, kuivapaino tai kuiva-aineen osuus painosta nestekäsittelyjen ja kontrollin välillä. Aineistossa varianssit eivät eronneet käsittelyjen välillä, mutta yksi tulosjoukko ei aivan yltänyt normaalijakaumaan. Aineisto analysoitiin Kruskal-Wallis testillä ja parittaiset vertailut tehtiin Dunn-Bonferronin testillä.

Ulkokokeiden tulokset poikkesivat normaalijakaumasta. Ensin saaviryhmiä vertailtiin Kruskal-Wallis testillä, jossa selitettävänä muuttujana oli maa-aineksen vesipitoisuus. Koska ryhmien välillä ilmeni suuria eroja, aineisto analysoitiin ryhmittäin riippuvien otosten parametrittömällä Friedmanin testillä. Merkitsevät erot vertailtiin pareittain Wilcoxonin Signed Rank -testillä. Analyysissä selittävänä muuttujana oli tuhkakäsittely kontroleineen ja selitettävänä muuttujana kasvualustan pH molempina tutkimuskausina, itäneiden lupiinien määrä, lehtiruusukkeiden pituus ja lehtien lukumäärä ruusukkeittain ensimmäiseltä kasvukaudelta sekä punanadan peittävyys toiselta kasvukaudelta.

3 TULOKSET

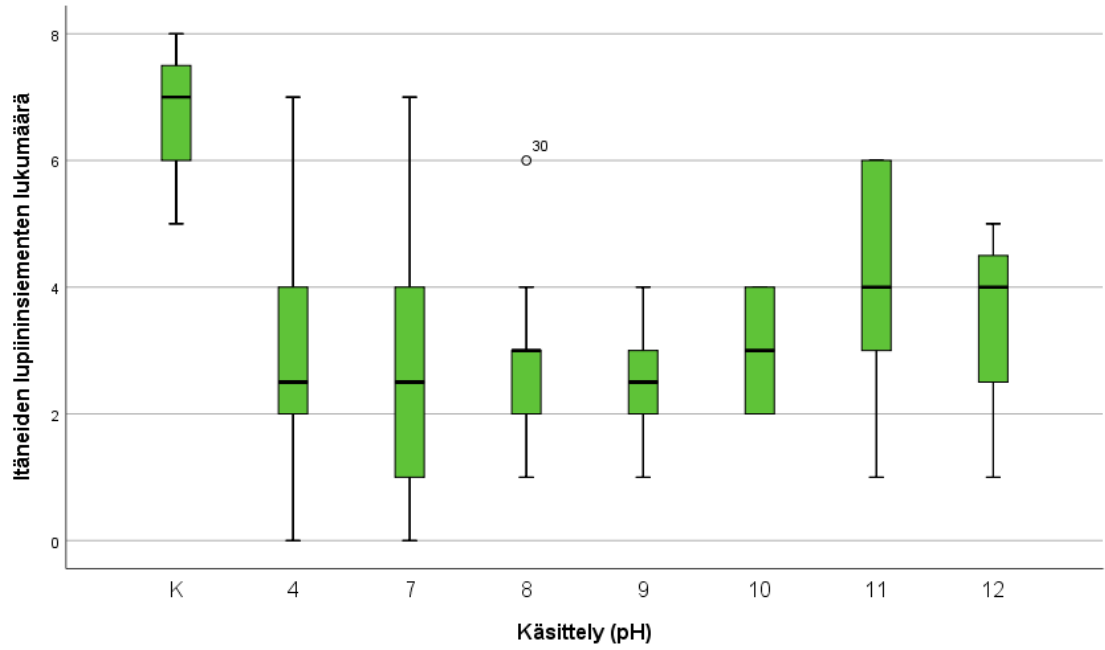
3.1 Laboratoriokokeet

Ravistelemattomista lupiininsiemenistä iti alle yksi kymmenestä, mikä osoitti esikäsitteilyn tarpeellisuuden. Käsitteilyt heikensivät ravistellun lupiininsiemenen itävyyttä (Kuva 5A) (Kruskal-Wallis testi, $H=38,339$, $Df=7$, $p<0,001$). Pareittainvertailusta selvisi, että tilastollinen ero löytyy kontrolliryhmän ja kaikkien muiden käsitteilyiden paitsi pH11-ryhmän väliltä (Taulukko 3). Käsitteilyryhmien välillä sen sijaan ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja.

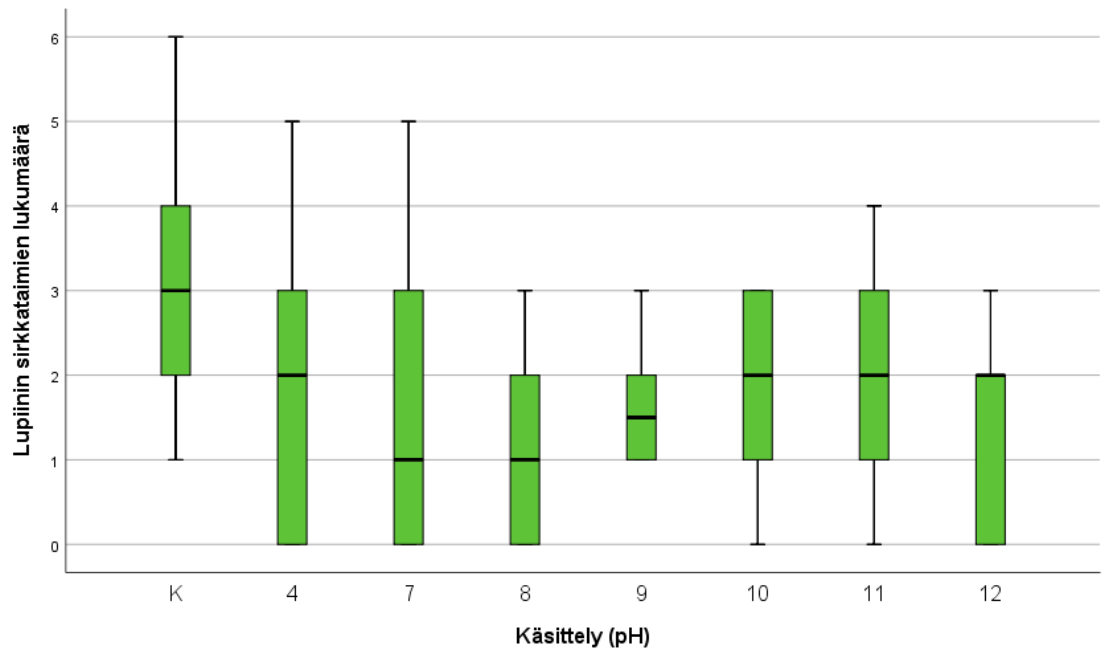
Käsitteilyjen haittavaikutus näkyi myös sirkkalehden kasvattaneiden lupiinintaimien määrässä (Kuva 5B) ($H=14,845$, $Df=7$, $p=0,038$). Suurin tilastollisesti merkitsevä ero löytyi hanavesikontrollin ja käsitteilyn 8 väliltä (Taulukko 3).

Taulukko 3. Komealupiinin idätyskokeiden monivertailujen tulokset kahdeksan käsitteilyryhmän välillä (Dunn-Bonferronin testi, $N=86$).

Mitattu asia	Vertailupari	Testisuureen z arvo	p
Itävyys	K-4	39,894	<0,001
Itävyys	K-7	45,094	<0,001
Itävyys	K-8	41,194	<0,001
Itävyys	K-9	47,794	<0,001
Itävyys	K-10	39,094	<0,001
Itävyys	K-11	25,816	0,011
Itävyys	K-12	32,866	0,001
Sirkkalehdet	K-4	20,219	0,037
Sirkkalehdet	K-7	26,069	0,007
Sirkkalehdet	K-8	29,669	0,002
Sirkkalehdet	K-9	20,619	0,034
Sirkkalehdet	K-12	28,287	0,003



A.



B.

Kuva 5. Kymmenestä siemenestä A, itäneet ja B, sirkkataimivaiheeseen kasvaneiden lupiintaimien määrä eri käsittelyillä (K=vain vesi, 4=turve, 12=tuhka, 7 ja 10=turve ja tuhka). Käsittely (pH) on nesteen pH:n likiarvo. Viiksilaatikko näyttää tulosten keskiarvot, minimin, maksimin ja kvartiilit. Ympyrällä merkitty poikkeava arvo on jätetty pois tilastollisesta testistä.

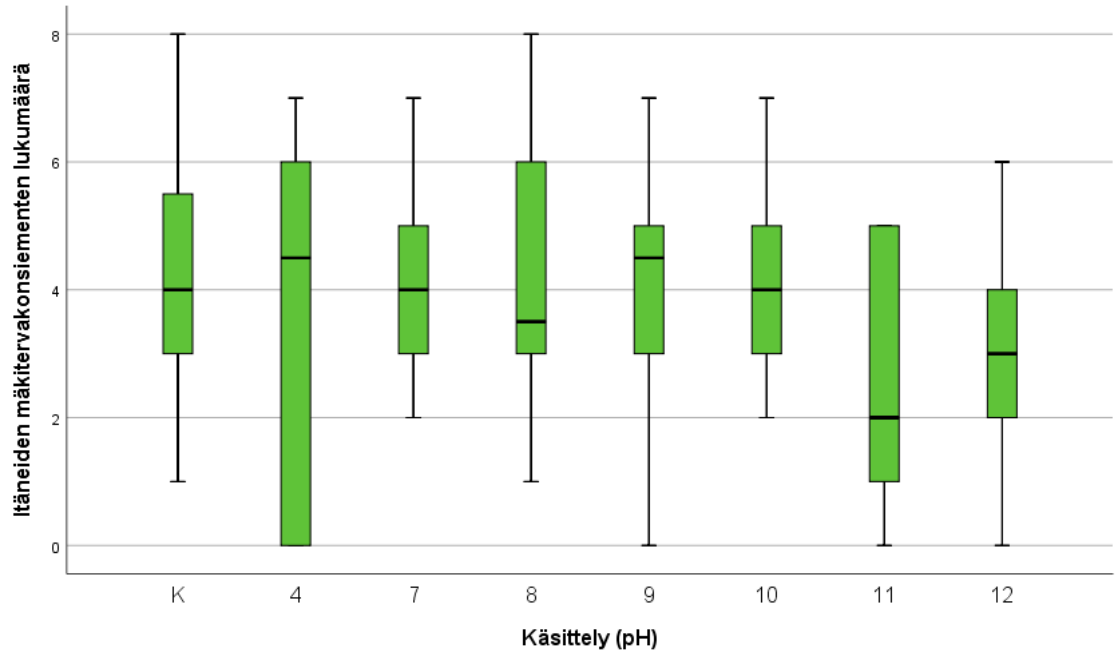
Mäkitervakon itävyyteen (Kuva 6A) käsittelyneeste ei juuri vaikuttanut (Kruskal-Wallis testi $H=4,895$, $Df=7$, $p=0,673$), mutta sirkkalehtivaiheessa (Kuva 6B) erot tulivat näkyviin ($H=18,693$, $Df=7$, $p=0,009$). Tuhkan määrän noustessa mäkitervakon kasvu sirkkalehtivaiheeseen vaikeutui. Erot näkyivät selvimmin emäksisimmän käsittelyn ja melkein kaikkien muiden käsittelyiden välillä (Taulukko 4.)

Valkoapilan itävyys oli korkea (Kuva 7A), eikä käsittelyjen välille muodostunut tilastollisesti merkitseviä eroja (Kruskal-Wallis testi $H=4,323$, $Df=7$, $p=0,742$). Sen sijaan sirkkalehtivaihe estyi pelkkää tuhkaa sisältäneessä käsittelyssä lähes kokonaan (Kuva 7B), ja ero oli tilastollisesti merkitsevä ($H=32,377$, $Df=7$, $p<0,001$). Tuo ero löytyi emäksisimmän käsittelyn ja kaikkien muiden käsittelyiden väliltä (Taulukko 5).

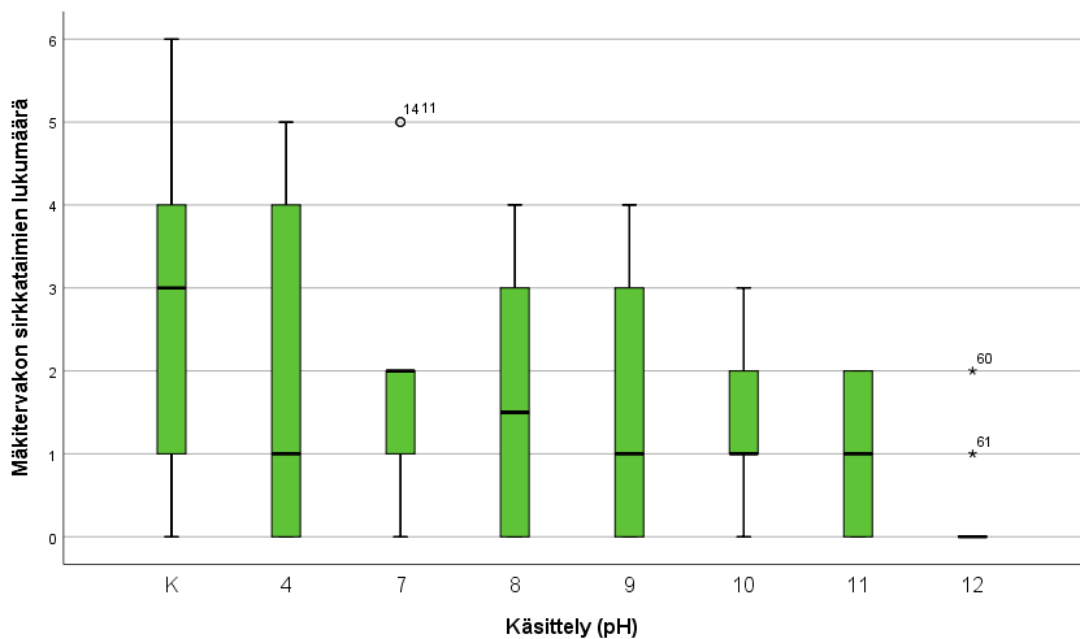
Koekäsittely heikensi punanadan itävyyttä (Kruskal-Wallis testi $H=19,915$, $Df=7$, $p=0,006$) (Kuva 8A), mutta vasta emäksisimmällä käsittelyllä (Taulukko 6). Sirkkalehtivaiheessa samanlaiset erot näkyivät yhä silmämääräisesti (Kuva 8B), mutta tilastollisen merkitsevyyden rajaa ne eivät aivan ylittäneet (Kruskal-Wallis testi $H=12,486$, $Df=7$, $p=0,086$).

Taulukko 4. Mäkitervakon idätyskokeiden monivertailujen tulokset kahdeksan käsittelyryhmän välillä (Dunn-Bonferronin testi, $N=86$).

Mitattu asia	Vertailupari	Testisuureen z arvo	p
Sirkkalehdet	12-9	21,582	0,041
Sirkkalehdet	12-8	24,682	0,020
Sirkkalehdet	12-7	28,482	0,007
Sirkkalehdet	12-4	22,982	0,030
Sirkkalehdet	12-K	38,807	<0,001
Sirkkalehdet	11-K	23,292	0,021



A.



B.

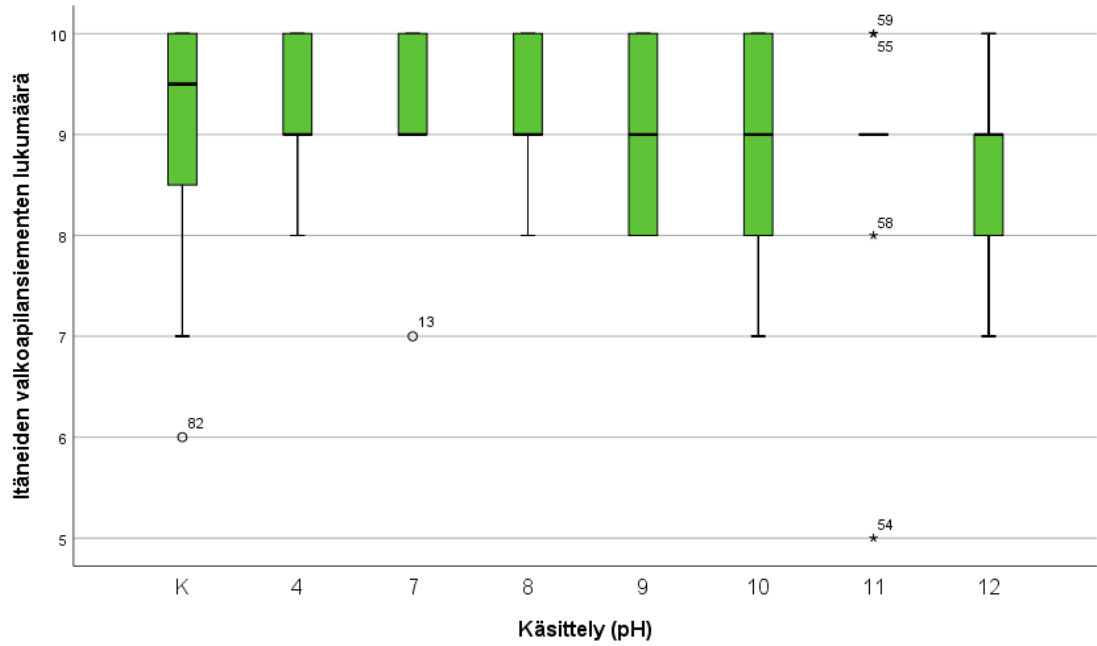
Kuva 6. Kymmenestä siemenestä A, itäneiden ja B, sirkkataimivaiheeseen kasvaneiden mäkitervakontaimien määrä eri käsittelyillä (K=vain vesi, 4=turve, 12=tuhka, 7 ja 10=turve ja tuhka). Käsittely (pH) on nesteen pH:n likiarvo. Viiksilaatikko näyttää tulosten keskiarvot, minimin, maksimin ja kvartiilit. Ympyrällä ja tähdellä merkityt poikkeavat arvot on jätetty pois tilastollisesta testistä.

Taulukko 5. Valkoapilan idätyskokeiden monivertailujen tulokset kahdeksan käsittelyryhmän välillä (Dunn-Bonferronin testi N=86).

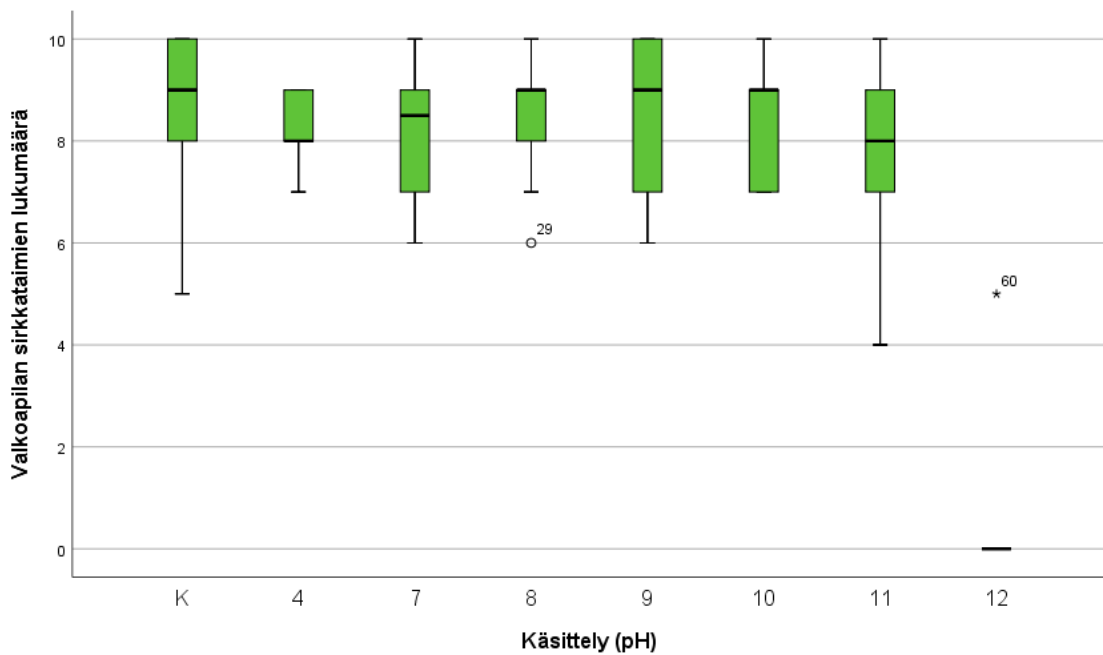
Mitattu asia	Vertailupari	Testisuureen z arvo	p
Sirkkalehdet	12-11	33,263	0,002
Sirkkalehdet	12-10	47,218	<0,001
Sirkkalehdet	12-9	45,468	<0,001
Sirkkalehdet	12-8	45,618	<0,001
Sirkkalehdet	12-7	40,118	<0,001
Sirkkalehdet	12-4	38,118	<0,001
Sirkkalehdet	12-K	46,537	<0,001

Taulukko 6. Punanadan idätyskokeiden monivertailujen tulokset kahdeksan käsittelyryhmän välillä (Dunn-Bonferronin testi N=86).

Mitattu asia	Vertailupari	Testisuureen z arvo	p
Sirkkalehdet	12-11	39,086	<0,001
Sirkkalehdet	12-10	33,514	0,002
Sirkkalehdet	12-9	28,164	0,008
Sirkkalehdet	12-8	30,464	0,004
Sirkkalehdet	12-7	24,614	0,020
Sirkkalehdet	12-4	38,814	<0,001
Sirkkalehdet	12-K	11,489	0,018

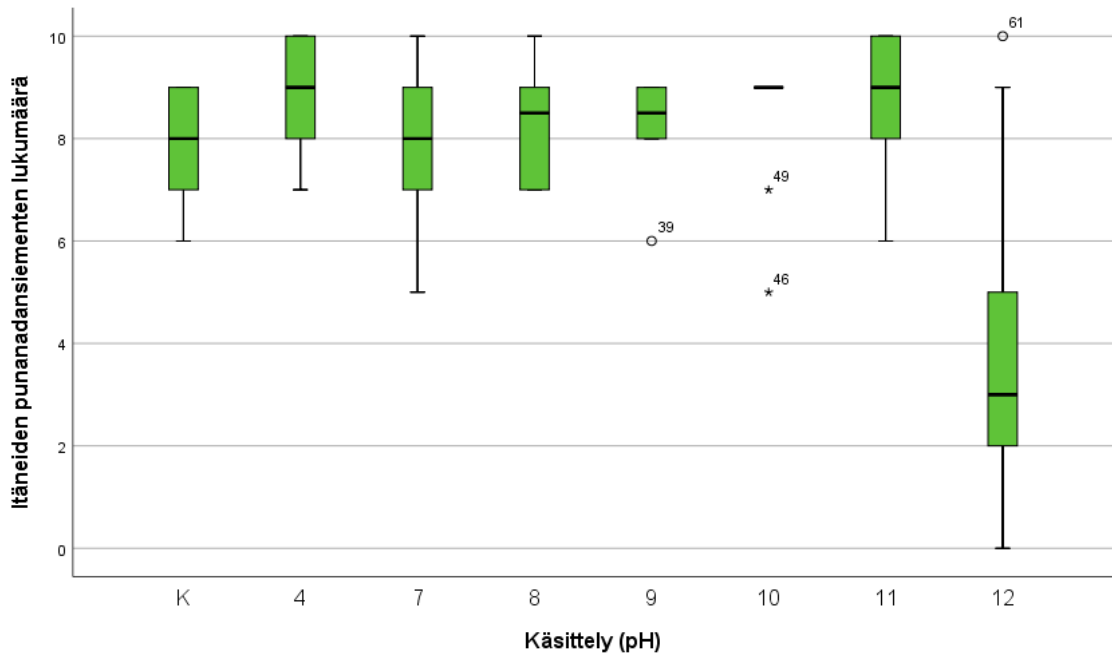


A.

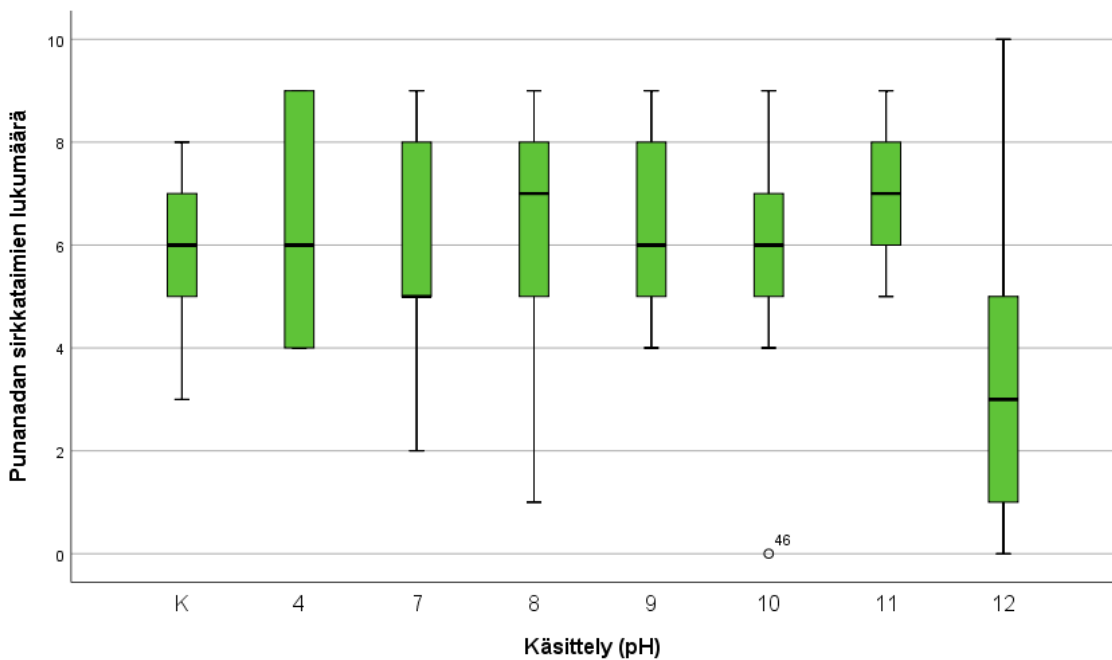


B.

Kuva 7. Kymmenestä siemenestä A, itäneiden ja B, sirkkataimivaiheeseen kasvaneiden valkoapilantaimien määrä eri käsittelyillä (K=vain vesi, 4=turve, 12=tuhka, 7 ja 10=turve ja tuhka). Käsittely (pH) on nesteen pH:n likiarvo. Viiksilaatikko näyttää tulosten keskiarvot, minimin, maksimin ja kvartiilit. Ympyrällä ja tähdellä merkityt poikkeavat arvot on jätetty pois tilastollisesta testistä.



A.



B.

Kuva 8. Kymmenestä siemenestä A, itäneiden ja B, sirkkataimivaiheeseen kasvaneiden punanadantaimien määrä eri käsittelyillä (K=vain vesi, 4=turve, 12=tuhka, 7 ja 10=turve ja tuhka). Käsittely (pH) on nesteen pH:n likiarvo. Viiksilaatikko näyttää tulosten keskiarvot, minimin, maksimin ja kvartiilit. Ympyrällä merkitty poikkeava arvo on jätetty pois tilastollisesta testistä.

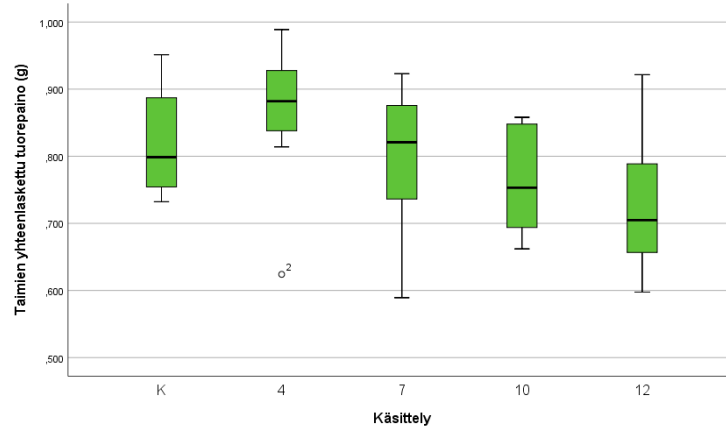
Taimikasvatuskokeessa taimien tuorepaino oli suurin turvekäsittelyllä ja laski emäksisemmällä käsittelyillä myös kontrolliryhmää matalammaksi (Kuva 9A) (Kruskal-Wallis testin $H=11,230$, $Df=4$, $p=0,024$). Merkitsevät erot löytyivät emäksisimmästä käsittelystä verrattuna kontrolliin ja happamimpaan käsittelyyn (Taulukko 7). Tuorepainosta poiketen kuivapainot (Kuva 9B) eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Kruskal-Wallis testin $H=4,429$, $Df=4$, $p=0,351$).

Taimien kuiva-aineen osuuksia vertaillessa (Kuva 9C) Kruskal-Wallis varianssi-analyysi antoi p-arvoksi 0,010 ($H=13,244$, $Df=4$). Parittaisissa vertailuissa eroja löytyi käsittelystä 4 suhteessa emäksisiin käsittelyihin 12 ja 10 sekä toisaalta kontrolliin (Taulukko 7).

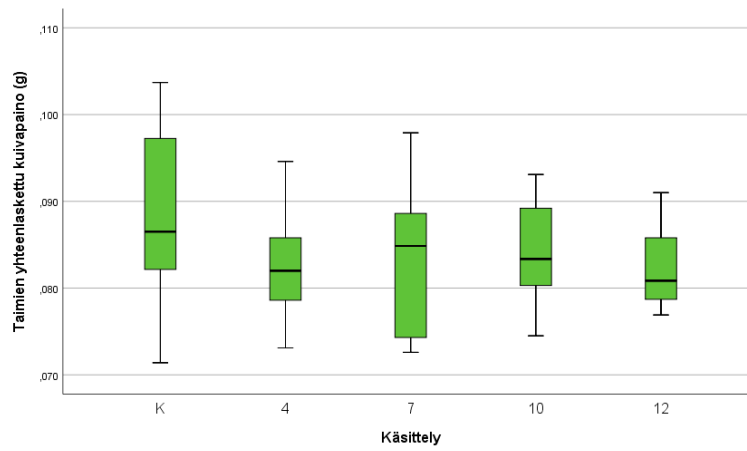
Ennen tilastokokeita aineistosta poistettiin yhden kontrolliryhmään kuuluvan koeyksikön tiedot, sillä sen taimet olivat kuolleet ja kuivuneet käsittelyn aikana. Muissa koeyksiköissä oli yksilöitä, joiden pinnalla kasvoi hiukan hometta, mutta ne olivat tästä huolimatta kasvaneet hyvin, eikä niiden katsottu vaikuttavan tuloksiin.

Taulukko 7. Komealupiinin taimikasvatuskokeiden monivertailujen tulokset viiden käsittelyryhmän välillä (Dunn-Bonferronin testi, $N=55$).

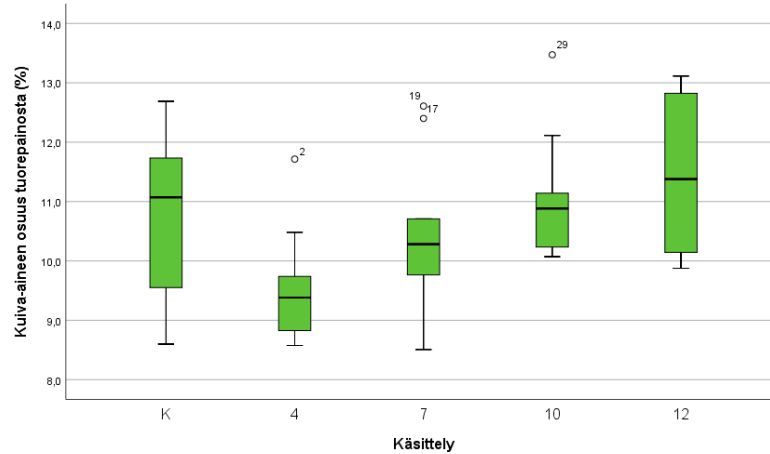
Mitattu asia	Vertailupari	Testisuureen z arvo	p
Tuorepaino	12-4	21,100	0,003
Tuorepaino	12-K	13,900	0,034
Tuorepaino	10-4	17,600	0,014
Kuiva-aineen osuus	4-12	-23,400	0,001
Kuiva-aineen osuus	4-10	-20,700	0,004
Kuiva-aineen osuus	4-K	16,500	0,012



A.



B.



C.

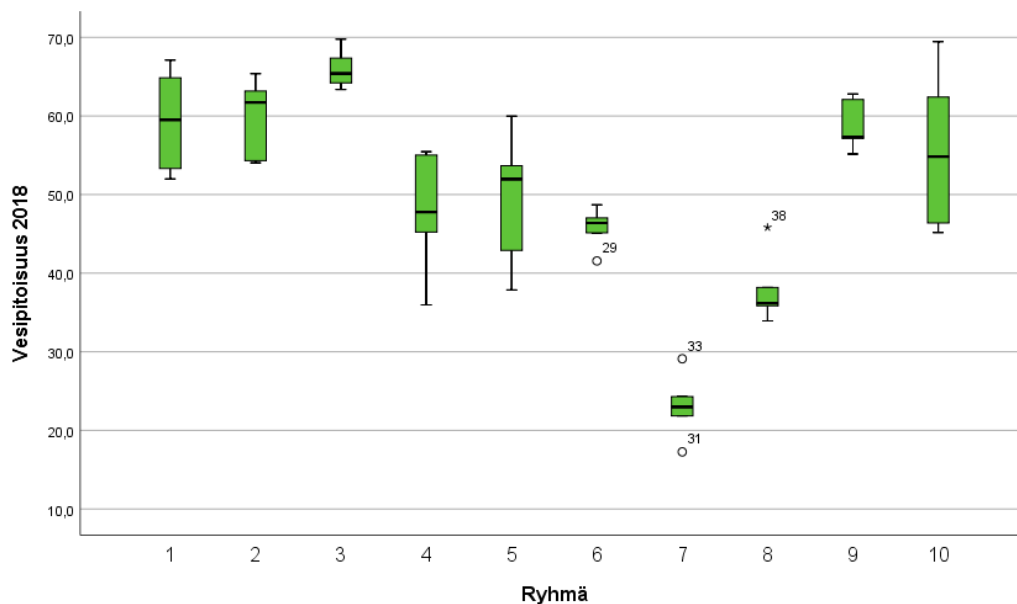
Kuva 9. Taimikasvatuskokeen lupiinintaimien yhteenlaskettu A, tuorepaino sekä B, kuivapaino ja C, kuiva-ainepitoisuus eri käsittelyillä (K=vain vesi, 4=turve, 12=tuhka, 7 ja 10=turve ja tuhka). Käsittely (pH) on nesteen pH:n likiarvo. Viiksilaatikko näyttää tulosten keskiarvot, minimin, maksimin ja kvartiilit. Ympyrällä merkityt poikkeavat arvot on jätetty pois tilastollisesta testistä.

3.2 Ulkokokeet

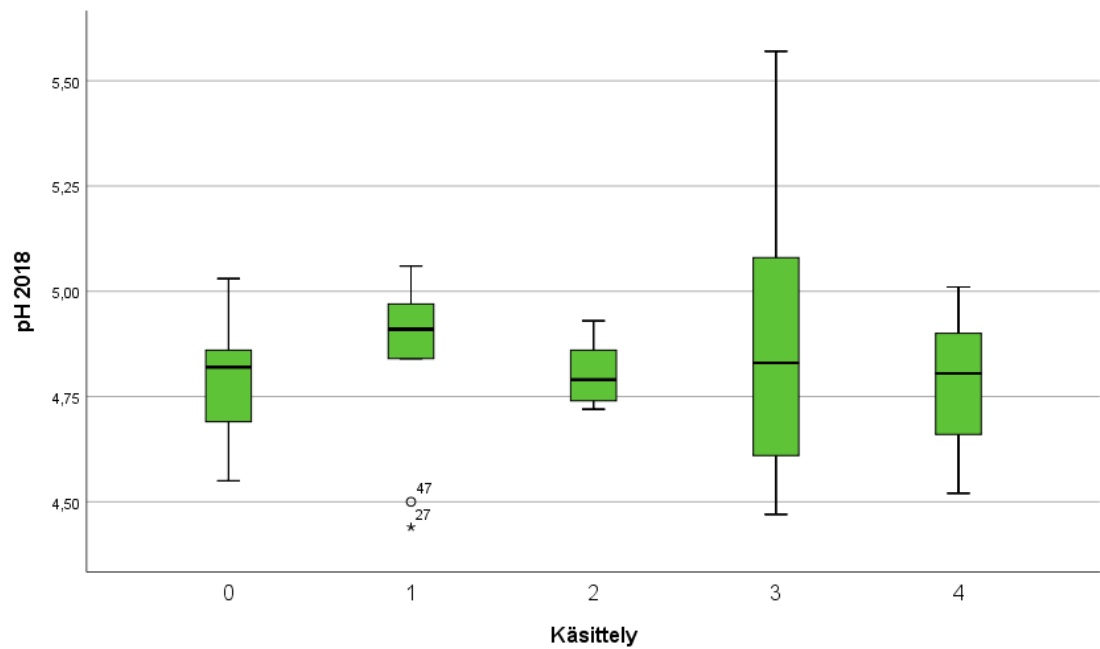
Kasvatusalustasta mitattujen vesipitoisuuksien (Kuva 10) ja silmämääräisen arvion perusteella maa-aines todettiin hyvin heterogeeniseksi (Kruskal-Wallis testi $H=36,893$, $Df=9$, $p<0,001$). Koska saaviryhmän sisällä erot olivat pienempiä ryhmittäisen täyttöjärjestyksen vuoksi, päätettiin tehdä tilastolliset kokeet niin, että ryhmän sisäiset tulokset ovat toisistaan riippuvia.

Mitatut vaihtelut pH:ssa olivat pieniä (Kuvat 11A ja 11B) eivätkä muuttuneet käsittelyjen perusteella kasvukaudella 2018 (Friedmanin testi $Q=4,203$, $Df=4$, $p=0,379$) tai 2019 ($Q=1,939$, $Df=4$, $p=0,747$). Kasvatusalusta oli hyvin hapan sekä ensimmäisellä (ka.=4,68) että toisella mittauskerralla (ka.=4,82) Liukenevat tuhkarakeet eivät siis nostaneet pintamaan pH:ta.

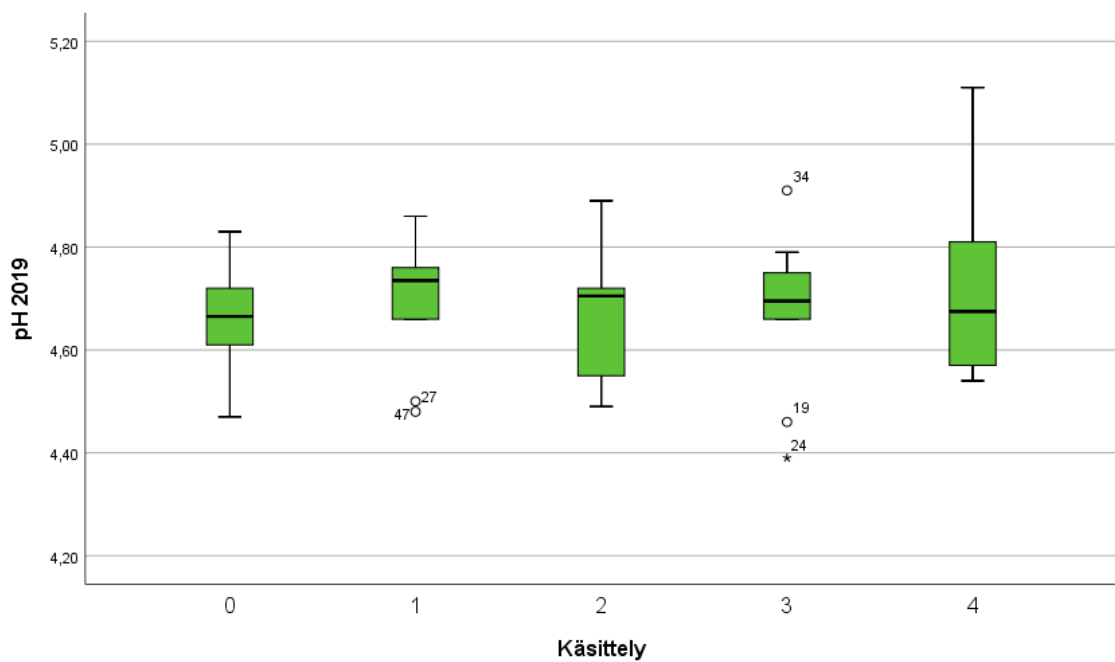
Siemenettömissä kontrollisaaveissa ei kahdenkaan kesän jälkeen kasvanut kuin yksittäisiä kasveja (mm. leskenlehti), joten saaveista tutkitut koelajit ovat itäneet tutkimukseen kuuluvista siemenistä.



Kuva 10. Kasvatusalustana käytetyn maa-aineksen vesipitoisuus (%) kaikki käsittelyt sisältävissä saaviryhmissä 1–10. Viiksilaatikko näyttää tulosten keskiarvot, minimin, maksimin ja kvartiilit. Ympyrällä ja tähdellä merkityt poikkeavat arvot on jätetty pois tilastollisesta testistä.



A.



B.

Kuva 11. A, syksyllä 2018 ja B, loppukesällä 2019 mitattu kasvatusalustan pH käsittelyryhmittäin (0=ei tuhkaa tai kasveja, 1=ei tuhkaa, 2=100 g tuhkaa, 3=200 g tuhkaa, 4=400 g tuhkaa). Viiksilaatikko näyttää tulosten keskiarvot, minimin, maksimin ja kvartiilit. Ympyrällä ja tähdellä merkityt poikkeavat arvot on jätetty pois tilastollisesta testistä.

Kylvetyistä koelajeista iti hyvin ainoastaan lupiini. Muista kolmesta koelajista, valkoapilasta, mäkitervakosta ja punanadasta, iti vain yksittäisiä taimia kesän 2018 aikana, eikä niistä saatu mittaustuloksia.

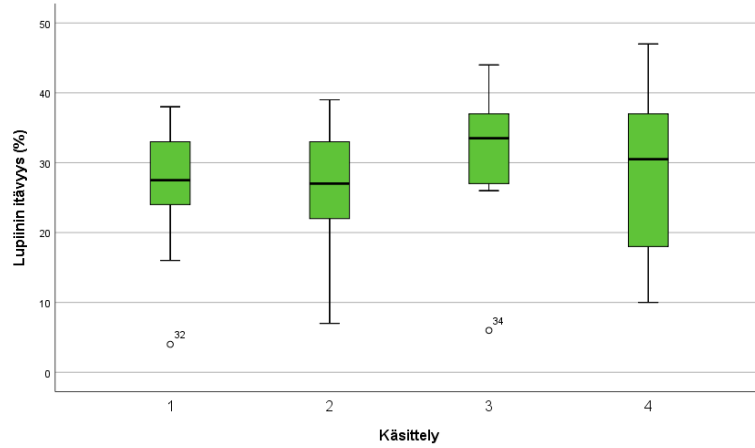
Käsittelyillä ei ollut vaikutusta lupiininsiementen itävyyteen (Kuva 12A) ($Q=3,12$, $Df=3$, $p=0,373$). Itävyys oli keskimäärin melko hyvä (ka.=22,5). Taimien lehtien lukumäärää käsittely vaikutti silmämääräisesti pienentävän (Kuva 12B), mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($Q=4,531$, $Df=3$, $p=0,210$). Myöskään vaikutus lehtiruusukkeen pituuteen (Kuva 12C) ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($Q=3,121$, $Df=3$, $p=0,373$), mutta parhaiten kasvoivat kaksinkertaisella tuhkamäärällä käsitellyt taimet.

Kesällä 2019 lupiini iti todella huonosti, ja useat edelliskesän taimet olivat kuolleet. Lupiinista ei saatu uusia mittaustuloksia, mutta edelliskesänä kylvetyistä tutkimuslajeista punanata oli alkanut kasvaa. Punanadan peittävyys mitattiin jokaisesta saavista.

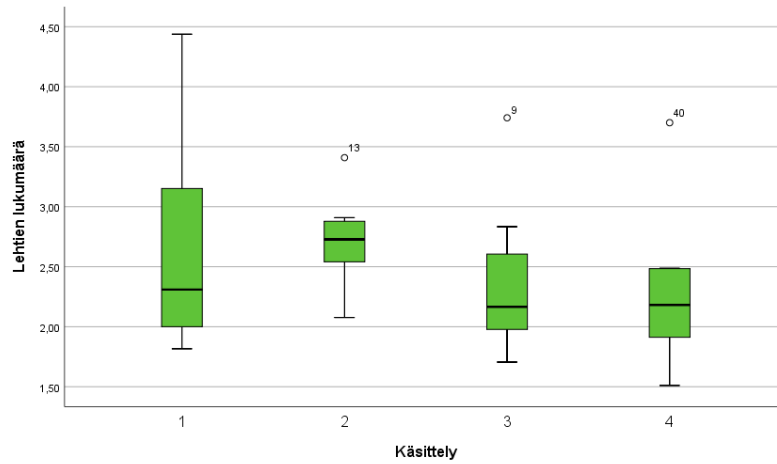
Punanata hyötyi tuhkakäsittelystä (Kuva 13). Sen peittävyys kasvoi suuremmissa tuhkamäärissä ($Q=11,250$, $Df=3$, $p=0,010$). Merkitsevät erot löytyivät tuh kattoman ryhmän ja käsittelyjen 2 sekä 4 väliltä (Taulukko 8). Myös ero käsittelyyn 3 oli juuri merkitsevän rajalla.

Taulukko 8. Punanadan peittävyydet neljän käsittelyryhmän välillä Wilcoxonin Signed Rank -monivertailulla (N=40).

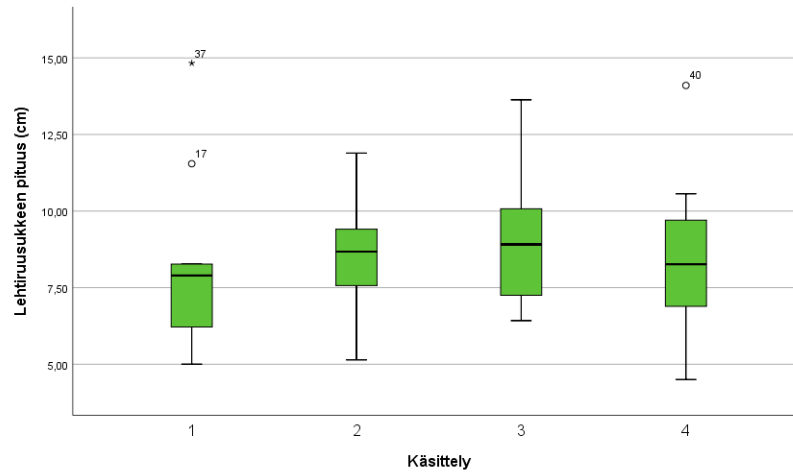
Mitattu asia	Vertailupari	Testisuureen W arvo	p
Peittävyys	K-2	50,0	0,022
Peittävyys	K-3	46,5	0,052
Peittävyys	K-4	51,0	0,017



A.

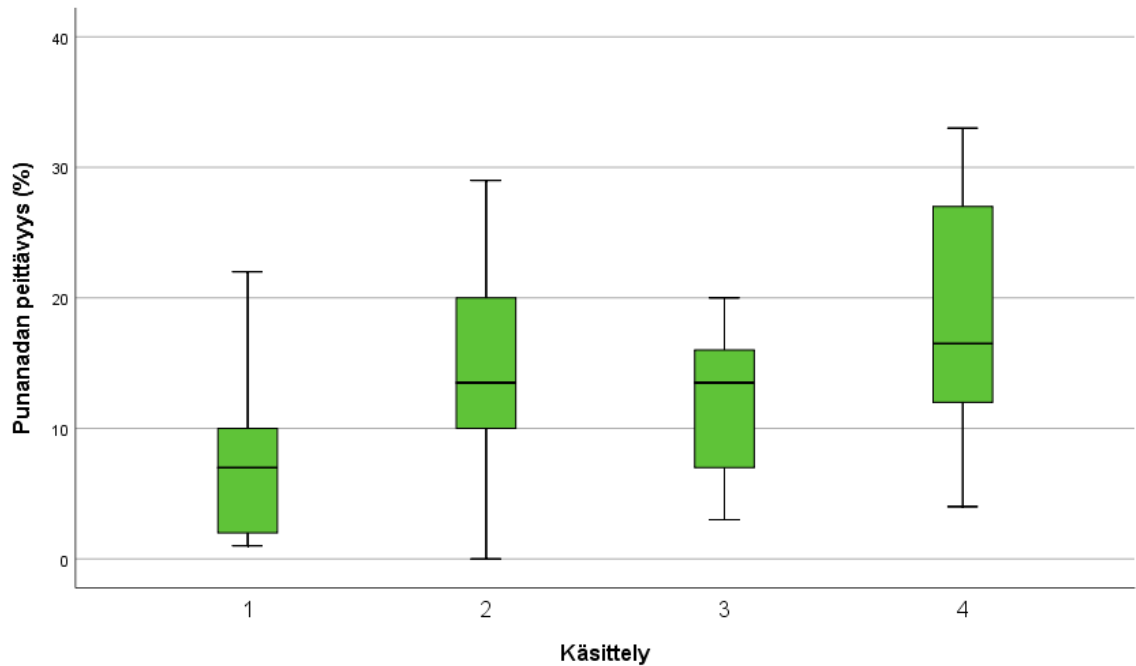


B.



C.

Kuva 12. Lupiinintaimien A, itävyys sekä B, lehtiruusuukkeiden määrä ja C, lehtiruusuukkeiden pituus käsittelyryhmittäin (0=ei tuhkaa tai kasveja, 1=ei tuhkaa, 2=100 g tuhkaa, 3=200 g tuhkaa, 4=400 g tuhkaa). Viiksilaatikko näyttää tulosten keskiarvot, minimin, maksimin ja kvartiilit. Ympyrällä ja tähdellä merkityt poikkeavat arvot on jätetty pois tilastollisesta testistä.



Kuva 13. Punanadan peittävyys kasvatusastioissa käsittelyryhmittäin (0=ei tuhkaa tai kasveja, 1=ei tuhkaa, 2=100 g tuhkaa, 3=200 g tuhkaa, 4=400 g tuhkaa). Viiksilaatikko näyttää tulosten keskiarvot, minimin, maksimin ja kvartiilit.

4 TULOSEN TARKASTELU

4.1. Siementen idätys kasvatuskaapissa

Tuhkakäsittelyt, etenkin pelkkä tuhkavesi, vaikuttivat kaikkiin tutkittuihin lajeihin. Joko siementen itävyys, sirkkalehtivaiheeseen eteneminen tai molemmat heikkenivät. Tutkimukset ovat osoittaneet, että pH vaikuttaa kasvien entsyymien toimintaan ja sitä kautta niiden kykyyn hyödyntää siemeneen varastoituja ravinteita (Murray 1984). Optimaaliset pH:n tasot vaihtelevat lajeittain ja entsyymeittäin. Tutkituista lajeista valkoapila suosii vähemmän hapanta kasvualustaa kuin muut (Ellenberg ym. 1991), mutta siitä huolimatta emäksisin koeneste esti senkin kasvun sirkkalehtivaiheeseen lähes kokonaan.

Komealupiinilla myös turvekäsittelyt heikensivät kasvua. Komealupiinin onkin todettu sietävän huonosti sekä hyvin hapanta että emäksistä kasvualustaa (Nieminen ja Rantanen 2012). Koska lupiinin kasvu ei pärjännyt kontrolliryhmälle millään käsittelyllä, on oletettavaa, että kastelunesteissä oli jotain muutakin lupiinin kasvua heikentävää kuin pH.

Kokeen aikana huomattiin, etteivät kastelunesteiden pH:t pysyneet säädetyissä lukemissa. Ääripäät olivat pysyneet melko lailla ennallaan, mutta niiden välillä lukemat olivat lähestyneet neutraalia. Tästä syntyi eroja eri lajien käsittelyihin, sillä osaa varten nesteiden pH säädettiin juuri ennen kokeen aloittamista, kun taas osa kokeista aloitettiin nesteillä, jotka olivat jo ehtineet seisoa kaapissa ja pH oli ehtinyt muuttua. Eri lajien tulokset eivät siis ole keskenään vertailukelpoisia, mutta koska kaikki saman lajin koeyksiköt perustettiin samaan aikaan, voi kunkin lajin tuloksista nähdä, reagoiko se puutuhkaan. Tämä voi myös selittää, miksi valkoapilan mittaustuloksissa näkyy suuri hyppy juuri käsittelyjen 11 ja 12 välillä.

Tuhkavesi nosti nesteen pH:ta paljon nopeammin kuin turvevesi sitä laski. Tuhkavedessä tuhkan pitoisuus on siis selvästi suurempi kuin käsittelyssä 11. Tulosten tarkentamiseksi olisikin syytä testata erikseen sekä tuhkan että turpeen eri pitoisuuksien vaikutuksia kasvien itämiseen, jotta nähtäisiin, kuinka myrkyllisiä ne ovat tutkituille lajeille.

Idätyskokeiden tuloksiin vaikuttaa myös itämisen vaiheiden erottamisen haastavuus. Etenkin punanadalla sirkkalehtivaiheen määrittely jäi liian epämääräiseksi. Valkoapilalla itäneisiin saattoivat määrittäytyä myös sellaiset siemenet, joissa solunjakautuminen ei juuri ollut käynnistynyt vaan siemenessä tapahtuneet muutokset ja sirkkajuuren ilmestyminen johtuivat veden fysikaalisista vaikutuksista (Bewley ym. 2013). Rajatapausten varalta itämisen vaiheet olisi siis pitänyt määrittellä tarkemmin etukäteen ja kullekin lajille erikseen.

4.2. Taimien kasvatusta kasvatuskaapissa

Taimikasvatuskokeessa happamin kasteluneste, eli lannoitettu turvevesi, nosti taimien tuorepainon muita käsittelyjä korkeammalle. Tulos on ristiriitainen sekä suhteessa tuikepulloissa tehtyyn idätyskokeeseen että Niemisen ja Rantasen (2012) tutkimukseen, jonka tulosten mukaan lupiini ei viihdy hyvin happamassa kasvualustassa.

Kuiva-aineiden osuuksia vertaillessa juuri turvekäsittelyn ja emäksisimpien käsittelyjen ero korostuu. Lannoitetulla turvevedellä kasteltujen taimien vesipitoisuus on vielä kontrollikäsittelyäkin pienempi, mikä voi toisaalta viitata siihen, että taimet imevät jopa epäedullisen paljon vettä. Tämä tukisi jälleen aiempia tutkimustuloksia.

Tuhka pienensi odotetusti lupiinintaimien tuorepainoa, mutta ei kuivapainoa. Tulokset viittaavat siihen, että emäksisessä ympäristössä taimien veden otto vaikeutuu. Se voisi lopulta heikentää taimien kasvua, vaikka tässä tutkimuksessa kuivapainoissa ei havaittu eroja.

4.3. Ulkokokeet

Tuhkakäsittely ei vaikuttanut ulkokokeissa kasvatusalustan pH:hon eikä lupiinin kasvuun. Tuhkarakeet olivat kuitenkin selvästi alkaneet liueta, joten joko maan aineksen ominaisuudet tai siinä tapahtuvat biogeokemialliset prosessit kompensoivat tuhkan vaikutuksia (Strawn ym. 2015). Voi myös olla, että osa tuhkasta huuhtoutui astiassa syvemmälle lupiinin juurten ulottumattomiin.

Yksinkertaisella ja kaksinkertaisella tuhkamäärällä käsitellyissä astioissa kasva-neista lupiineista mitattiin syksyllä suurimmat keskiarvot sekä lehtiruusukkeiden pituudessa että niiden lehtien määrässä, joskaan tulos ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että pidemmällä aikavälillä tuhka ennemmin lannoittaisi lupiinia kuin heikentäisi sen kasvua.

Punanadan kasvu kiihtyi tuhkakäsittelyn myötä kesällä 2019. Mittaushetkellä tuhkarakeet olivat jo pitkälti lienneet. Vaikutus oli selvä, vaikka muutamissa saaveissa itäneet lupiinit saattoivat vaikuttaa punanadan kasvuun.

Aiemmissä tutkimuksissa tuhkan vaikutukset itävyyteen ja taimiin ovat olleet lajikohtaisia. Puutuhkan vaikutuksia taimien kasvuun on tutkittu Suomessa muun muassa kangasvuokolla (Laitinen 2008), jonka taimettumista pieni määrä tuhkaa paransi maan muokkaamiseen yhteydessä, mutta ei ilman muokkausta. Suurenkaan tuhkamäärän ei havaittu vaikuttavan männyntaimien kasvuun uudistettavassa metsässä (Silfverberg ym. 2010), mutta se kiihdytti hakkuuaukolle jääneiden metsäsammallajien taantumista ja häviämistä. Erityisesti heinäkasvit hyötyivät tuhkan lannoittavasta vaikutuksesta. Tuon tutkimuksen suurin tuhkamäärä vastasi kasvatussaavien voimakkainta tuhkakäsittelyä, ja vastaavasti punanadan peittävyiden kasvu myötäili Silfverbergin ym. tutkimuksen tuloksia.

Ulkokokeissa kesän 2018 sää oli kasveille vaikea (Liite 2). Märkään maahan kylvetyt siemenet eivät saaneet juuri lainkaan vettä yli kuukauteen ja päivän ylimmät lämpötilat pysyivät vuodenaikaan nähden poikkeuksellisen korkeina. Ennen mullan kuivumista itäneet kasvit saattoivat kuolla kuivuuteen hyvin nopeasti. Koko tutkimuksen aikana missään saavissa ei kasvanut mäkitervakkoa, vaikka se on lajeista parhaiten sopeutunut kuiviin olosuhteisiin (Ellenberg ym. 1991). Toisaalta mäkitervakko iti kasvatustaapikokeissa hitaammin kuin muut lajit, joten kasvualustan pinta saattoi ehtiä kuivua ennen kuin mäkitervakon siemenet ehtivät itää ja juurtua. Valkoapiloitakin säilyi hengissä vain muutama yksilö, joilla ei arvioitu olevan tulosten kannalta merkitystä. Punanadan siemenet säilyivät lepotilassa itämiskykyisinä seuraavaan kesään asti, ja vahvajuurinen lupiini taas selvisi kuivuudestakin melko hyvin.

Talvikausi 2018–2019 (Liite 2) oli lupiineille vahingollinen. Keväällä 2019 kasvuun lähti enää keskimäärin alle 4,5 taimea saavia kohden. Useimmat yksilöt kasvoivat vain kituliaasti. Lupiinin kasvu oli romahtanut myös tuhkatomissa kontrolli-

saaveissa, joten syy katoon ei löytynyt tuhkakäsittelystä. On mahdollista, että kasvualusta saaveissa kylmeni liikaa talven aikana, mutta lupiinin kotiutuminen yhä pohjoisempaan Lappiin (Lampinen ja Lahti 2019) ei tue tätä päätelmää.

Vaihtelevan itävyyden ja lupiinin korkean kuolleisuuden vuoksi tuhkan vaikutuksia lajiyhteisöön ei voitu arvioida. Koe tulisikin toteuttaa uudelleen valvotuissa olosuhteissa, jotta poikkeukselliset säät eivät estäisi kokeen onnistumista.

5 TUHKAN KÄYTTÖ LUPIININ TORJUNNASSA

Puutuhka vaikutti kaikkiin lajeihin laboratorionkokeissa, ja erityisesti vaikeutui itämisen eteneminen sirkkalehtivaiheeseen asti. Vaikka eri lajien tulokset eivät ole suoraan keskenään vertailukelpoisia, voidaan todeta, että puutuhka hankaloittaa taimen kasvua.

Laboratorionkokeiden tuloksia ei kuitenkaan saatu toistettua piennaralueen olosuhteita imitoivissa ulkokokeissa. Ulkokokeiden tulosten vertailu laboratorionkokeiden tuloksiin osoittaa, ettei lannoitusosuuteen nähden nelinkertainenkaan tuhkamäärä ulkona pysty vastaamaan laboratoriossa pelkälle tuhkalta altistuneiden siementen olosuhteita, erityisesti huomattavan korkeaa pH:ta. Vaikka tuhkarakeet eivät olleet ehtineet liueta kokonaan ensimmäisen kesän aikana, tulosten perusteella on epätodennäköistä, että tuhkakäsittelyllä pystyttäisiin merkittävästi nostamaan piennaralueen pH:ta tai estämään lupiinin kasvua.

Lupiinin selviäminen kuivan ja kuumen kesän yli antaa viitteitä siitä, että ilmastonmuutoksen myötä yleistyvissä sään ääriolosuhteissa lupiini voisi saada lisää kilpailuetua joihinkin alkuperäisiin piennarlajeihin nähden. Vaikka verrokilajeista erityisesti pitkäjuurinen mäkitervakko sietää kuivempiakin olosuhteita (Ellenberg ym. 1991), itämishetkeen ajoittuva kuivuus oli sille vahingollinen.

Koska voimakas tuhka-altistus kuitenkin heikensi lupiinia, olisi aiheellista vielä testata rakeistamattoman tuhkan vaikutuksia lupiiniin ja muuhun kasviyhteisöön piennaraluetta vastaavissa olosuhteissa. Saaveihin lisätty rakeistettu tuhka liukeni hitaasti ja mahdollisesti epätasaisesti, sillä rakeet olivat vaihtelevan kokoisia. Rakeistamattomalla tuhalla voimakkain altistus saattaisi kuitenkin jäädä vain hetkelliseksi, ja pölyävän tuhkan käytön soveltaminen laajamittaiseen lupiinin-torjuntaan vaatisi tarkkaa suunnittelua.

KIITOKSET

Tämä tutkimus on osa NCC Industry Oy:n ja Villi Vyöhyke ry:n hanketta, jonka tavoitteena on kehittää keinoja lupiinin torjumiseen piennaralueilla. Kiitokset NCC Industry Oy:lle tutkimuksen rahallisesta tukemisesta ja käytännön toteutuksen mahdollistamisesta. Tutkimukseen tarvittavista materiaaleista kiitos myös Villi Vyöhyke ry, Lantmännen Agro sekä Ecolan Oy. Lopuksi erityiskiitos kaikille tutkimuksen kolmelle ohjaajalle tarkoista kommentteista ja tarttuvasta innostuksesta hankalienkin kysymysten edessä.

KIRJALLISUUS

- Baskin C.C. ja Baskin J.M. 2001. *Seeds – Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination*. Academic Press. University of Kentucky.
- Basto S., Dorca-Fornell K., Thompson K. ja Rees M. 2013. Effect of pH buffer solutions on seed germination of *Hypericum pulchrum*, *Campanula rotundifolia* and *Scabiosa columbaria*. *Seed Science and Technology* 41: 298–302.
- Bewley J.D., Bradford K.J., Hilhorst H.W.M. ja Nonogaki H. 2013. *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. Springer. New York.

- Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W. ja Paulißen D. 1991. Indicator values of plants in Central Europe. *Scripta geobotanica* 18: 64–153.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) haitallisten vieraslajien tuonnin ja leviämisen ennalta ehkäisemisestä ja hallinnasta. 22.10.2014/1143 [virallislähde: lakiviite]
- Evira 2018. Ohje viljelijöille: Viljakasvin siementen idätysohje. (Luettu 12.4.2018.) Saatavissa: <https://www.evira.fi/globalassets/kasvit/viljely-ja-tuotanto/siemenet/laboratorio/idadysohje-viljelijoille.pdf>
- Fremstad E. 2010. NOBANIS – Invasive alien species fact sheet: *Lupinus polyphyllus*. (Luettu 12.4.2018.) Saatavissa: <https://www.nobanis.org/globalassets/speciesinfo/1/lupinus-polyphyllus/lupinus-polyphyllus.pdf>
- Hamly D.H. 1932. Softening of the seeds of *Melilotus alba*. *Botanical Gazette* 93(4): 345–375.
- Huotari N. 2012. *Tuhkan käyttö metsälannoitteena*. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu, Vammalan kirjapaino Oy.
- Laki vieraslajeista aiheutuvien riskien hallinnasta 30.12.2015/1709 [virallislähde: lakiviite]
- Laitinen P. 2008. Metsäpalojen vaikutus kangasvuokon (*Pulsatilla vernalis* L. Mill) menestymiseen. *Pro gradu*. Jyväskylän yliopisto.
- Lampinen R. ja Lahti T. 2019. *Kasviatlas 2018*. Helsingin Yliopisto, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki. Saatavissa: <http://koivu.luomus.fi/kasviatlas>
- Maa- ja metsätalousministeriö 2012. *Kansallinen vieraslajistrategia*. Saatavissa: http://vieraslajit.fi/sites/default/files/Vieraslajistrategia_web.pdf#overlay-context=fi/node/27
- Metsäkeskus. *Tuhkalannoitus materiaalit*. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/tuhkalannoitus-materiaalit> (Luettu 5.11.2019.)
- Murray D.R. 1984. *Seed physiology, Volume 2: Germination and reserve mobilization*. Academic Press. (Toisen käden viittaus.)
- Nieminen A. ja Rantanen P. 2012. Komealupiinin (*Lupinus polyphyllus*) levittäytymiskyky ja taimien kasvuun vaikuttavat tekijät. *Pro gradu*, Jyväskylän yliopisto.
- Nieminen J. ja Piironen T. 2015. *Lupiinin hävittäminen puutuhkan avulla: Tutkimussuunnitelma 2015*. Villi Vyöhyke ja NCC Roads. Saatavissa: http://villivyohyke.net/ver2/wp-content/uploads/2015/10/Lupiinihanke_VV_NCC_26.10.2015.pdf
- Opetushallitus. *Laboratorioanalyysit: pH:n määrittäminen maanäytteestä*. Saatavilla: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/ymparistoanalyysit_ph_maanaytteesta.html (Luettu 5.11.2019.)
- Peiter E., Yan F. ja Schubert S. 2000. Are mineral nutrients a critical factor for lime intolerance of lupins? *Journal of Plant Nutrition* 23(5): 617–635.
- Rai P.K. 2013. *Plant invasion ecology: impacts and sustainable management*. Nova Science Publishers, Inc. New York. (Toisen käden viittaus.)

- Redmann R.E. ja Abouguendia Z.M. 1979. Germination and seedling growth on substrates with extreme pH - Laboratory evaluation of buffers. *Journal of Applied Ecology* 16: 901-907.
- Rezvani M. ja Zaefarian F. 2017. Effect of some environmental factors on seed germination of *Eryngium caeruleum* M. Bieb. populations. *Acta Botanica Brasiliica* 31(2): 220-228.
- Saarinen K., Jantunen J. ja Valanti M. 2010. Niittokaan ei hillitse lupiinia. *Lutukka* 26(1): 10-15.
- Silfverberg K., Huotari N ja Kokkonen A-M. 2010. Puu- ja turvetuhkan vaikutukset kasvillisuuteen ja männyn taimettumiseen päätehakatulla turvekankaalla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2010: 341-353.
- Strawn D.G., Bohn H.L. ja O'Connor G.A. 2015. *Soil chemistry*. Wiley-Blackwell.
- Valtioneuvoston asetus vieraslajeista aiheutuvien riskien hallinnasta 23.5.2019/704 [virallislähde: lakiviite]
- Valtonen A., Jantunen J. ja Saarinen K. 2006. Flora and lepidoptera fauna adversely affected by invasive *Lupinus polyphyllus* along road verges. *Biological Conservation* 133: 389-396.
- Villi Vyöhyke ry 2017. Lupiinin torjunta puutuhkan avulla - Tutkimus- ja kehityshanke. <http://villivyohyke.net/ver2/toiminta/lupiinintorjunta/> (Luettu 29.3.2018.)

LIITTEET

Liite 1. Tutkimuksessa käytetyn rakeistetun tuhkan tuoteseloste

Tuoteseloste

ECOLAN SILVA® CINIS TUHKALANNOITE

Tyyppinimi:	Puun ja turpeen tuhka	
Erä:	KK5 Nokia/2016	
Toimituskosteus:	25 %	
Rakeisuus:	0–35 mm	
Neutraloiva kyky:	15,7 % (Ca)	
Ravinteet:	Kokonaisfosfori (P)	0,98 %
	Vesiliukoinen fosfori	< 0,01 %
	Kokonaiskalium (K)	4,0 %
	Kokonaismagnesium (Mg)	1,7 %
	Kokonaiskalsium (Ca)	13,8 %
	Boori (B)	0,014 %

Tuote sisältää luonnostaan sivu- ja hivenravinteita sekä fosforia pidättäviä rauta- ja alumiiniyhdisteitä.

Käyttöohje

Haitta-ainepitoisuudet (mg/kg ka.) alittavat tyyppinimen (Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/2011) mukaiset raja-arvot (mg/kg);

Arseeni (As)	13	Nikkeli (Ni)	36
Elohopea (Hg)	< 1	Kromi (Cr)	58
Lyijy (Pb)	69	Kupari (Cu)	85
Kadmium (Cd)	5,1	Sinkki (Zn)	930

Käyttö on sallittu ainoastaan metsälannoitukseen, käyttö peltolannoituksessa kielletty. Suurin sallittu käyttömäärä on 27000 kg/ha 60 vuoden ajanjaksolla. Vesistöjen rannoille on jätettävä vähintään 25 metrin levyinen suojavyöhyke. Käyttö suojele- ja pohjavesialueilla on kielletty. Julkaisu: www.metsanhoitosuositus.fi

Valmistaja: Ecolan Oy
Testiradantie 2
39150 Nokia
www.ecolan.fi

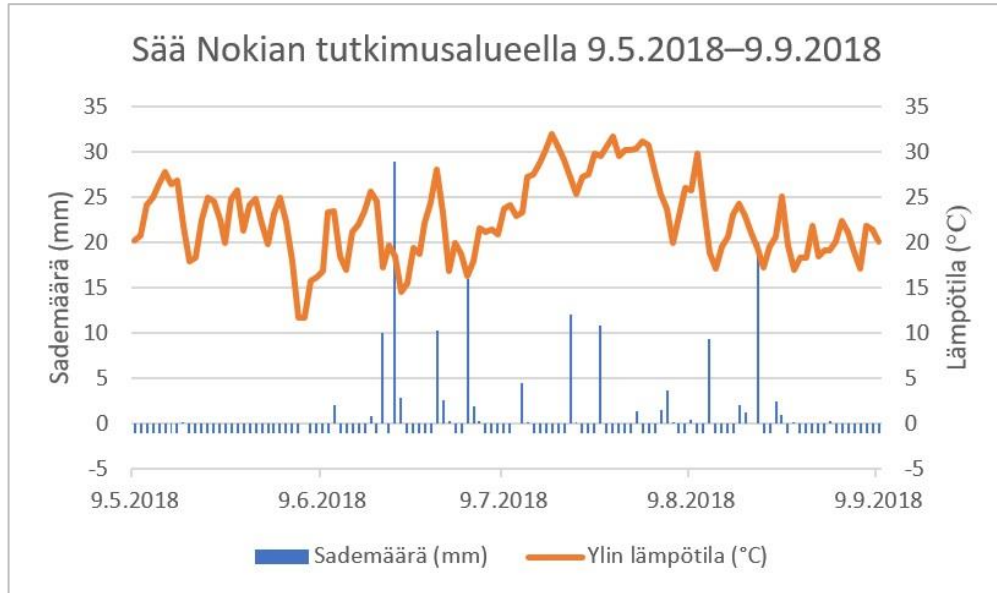
ecolan®
KASVUN TEKIJÄ

Liite 2. Sää Nokian tutkimusalueella 9.5.–9.9.2018 ja 1.12.2018–28.2.2019

Lämpötilan mittausasema: Tampere, Tampella

Sademäärän ja lumensyvyuden mittausasema: Nokia, Tottijärvi

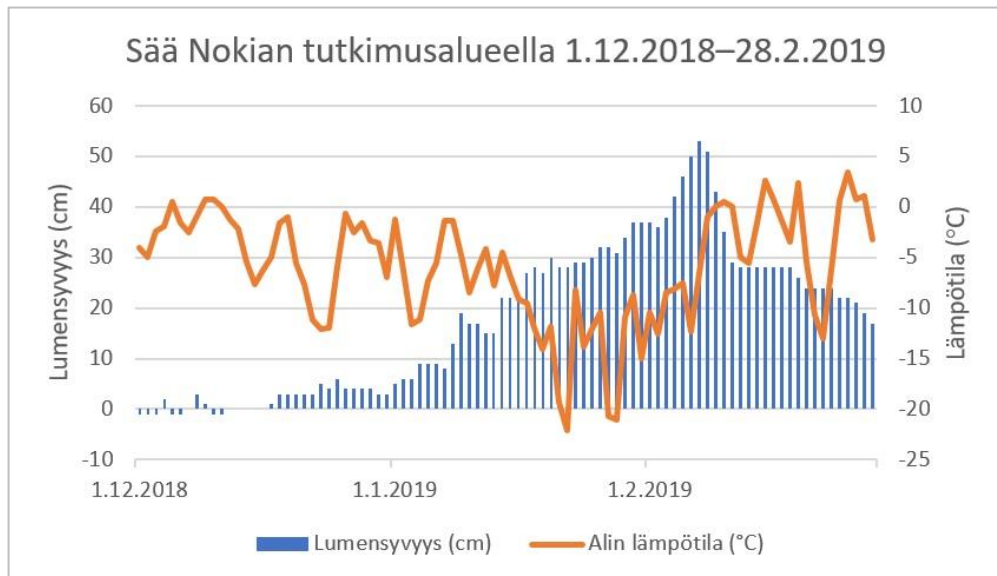
Lähde: Ilmatieteen laitos (<https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>)



Kuukauden keskiarvojen suhde vuosien 1981–2010 keskiarvoihin Tampereella:

Lämpötila: toukokuu +4 °C, kesäkuu +0,1 °C, heinäkuu +3,4 °C, elokuu +1,9 °C

Sademäärä: toukokuu 61 %, kesäkuu 88 %, heinäkuu 82 %, elokuu 54 %



Kuukauden keskiarvojen suhde vuosien 1981–2010 keskiarvoihin Tampereella:

Lämpötila: joulukuu +1,9 °C, tammikuu -1,5 °C, helmikuu +5,3 °C

Sademäärä: joulukuu 53 %, tammikuu 107 %, helmikuu 130 %