

MTT RAPORTTI 85

Perunan sadetuksen hallinta

Minna Juntunen, Merja Myllys, Anu Kankaala, Yeshitila Degefu,
Anna Sipilä ja Elina Virtanen



Perunan sadetuksen hallinta

Minna Juntunen, Merja Myllys, Anu Kankaala, Yeshitila Degefu, Anna Sipilä ja Elina Virtanen



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Pohjois-Pohjanmaa

Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

ISBN: 978-952-487-436-6

ISSN 1798-6419

www-osoite: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti85.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Minna Juntunen, Merja Myllys, Anu Kankaala, Yeshitila Degefu, Anna Sipilä ja Elina Virtanen

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2013

Kannen kuva: Anna Sipilä

Perunan sadetuksen hallinta

Minna Juntunen¹⁾, Merja Myllys²⁾, Anu Kankaala¹⁾, Yeshitila Degefu¹⁾, Anna Sipilä¹⁾ ja Elina Virtanen¹⁾

¹⁾Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, Biotekniikka- ja elintarviketutkimus Oulu, PL 413, 90014 Oulun yliopisto, etunimi.sukunimi@mtt.fi

²⁾Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, merja.myllys@mtt.fi

Tiivistelmä

Perunan vedentarve on muita viljelykasveja suurempi. Kasvukauden aikainen kuivuus aiheuttaa sadon määrän alenemista ja laadun heikkenemistä. Perunan sadetuksen hallinta -hankkeen tavoitteena oli tuottaa käytännön perunantuotantoon soveltuvaa tietoa sadetuksen satovaikutuksista, työmenekistä ja kannattavuudesta. Kenttäkokeissa selvitettiin sadetuksen vaikutuksia perunan kehitykseen, satoon ja laatuun.

Kokeissa ei havaittu sadetuksella olevan vaikutuksia kasvuston kehittymiseen. Mukulalukumäärää sadetus sen sijaan lisäsi. Sadetus lisäksi nopeutti mukulasadon kehitystä kasvukauden puolivälissä, mutta lopullisen sadon ja tärkkelyssadon määrään sadetuksella ei tässä tutkimuksessa havaittu olevan vaikutusta. Sadetus lisäsi terveiden mukuloiden osuutta sadossa; sadettamattomissa ruuduissa oli seittirupisia mukuloita huomattavasti enemmän. Vuonna 2011 annettu lisätyppilannoitus hidasti kasvuston tuleentumista. Typpilisäys nosti sadon määrää ja suurempien mukuloiden osuutta sadossa, mutta onttoja tai keskeltä ruskeita oli enemmän. Typpilisäys nosti myös tärkkelysprosenttia ja tärkkelyssadon määrää.

Kenttäkokeissa seurattiin sadetuksen vaikutuksia maan kosteuteen ja ravinnetilaan. Sadetetut alueet olivat sadettamattomia kosteampia kaikissa syvyyksissä. Käytetyt sadetusmenetelmät vaikuttivat maan kosteuteen samalla tavalla, eikä menetelmien välillä havaittu eroja. Kenttäkokeet toteutettiin kasvukausina 2010 ja 2011. Molempina vuosina luontainen sadanta oli niin runsasta, ettei sadetuksesta saatavaa hyötyä voitu selkeästi todentaa.

Hankkeessa selvitettiin lisäksi sadetukseen käytettävien jokivesien laatua tärkeillä perunantuotantoalueilla sekä veden puhdistukseen tarkoitettujen menetelmien toimivuutta sadetusveden puhdistuksessa. Tulokset osoittivat käytetyn AOT-laitteiston puhdistavan vettä sekä perunalle tyvimätää aiheuttavista *Dickeya* spp -bakteereista että ihmisille haitallisista koliformisista bakteereista.

Avainsanat:

Peruna, kastelu, vedenpuhdistus

Management of irrigation in Finnish potato production

Minna Juntunen¹⁾, Merja Myllys²⁾, Anu Kankaala¹⁾, Yeshitila Degefu¹⁾, Anna Sipilä¹⁾ ja Elina Virtanen¹⁾

¹⁾ MTT Agrifood Research Finland, Biotechnology and Food Research Oulu, PL 413, 90014 Oulun yliopisto, firstname.lastname@mtt.fi

²⁾ MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research, 31600 Jokioinen, merja.myllys@mtt.fi

Abstract

Potato water demand is greater than that of the other crops in Finland. During the growing season, lack of water causes yield and quality losses. The aim of the project “Management of irrigation in Finnish potato production” was to produce practical knowledge of the effects of irrigation on potato crop, working hours and profitability. The effects of irrigation on potato development, yield and quality was investigated in field trials.

In these trials, irrigation did not have any effect on potato stem development. However, irrigation did increase the number of tubers and speeded up the development of the yield in the mid of season. There were no differences in total yields nor starch yields between treatments. Irrigation increased the proportion of healthy tubers in yield, mainly because there was significantly more black scurf (*Rhizoctonia solani*) infected tubers in non-irrigated plots. In the second year we also tested the effect of extra nitrogen fertilizing on potato. Nitrogen supplement during early stage of tuber development delayed stem ripening. It also increased tuber yield and size, starch content and starch yield but reduced tuber quality by increasing internal defects.

Soil moisture and nutrient content were also monitored. In the irrigated areas soil water content was higher in all depths (10–50 cm). Both gun (sprinkler) and boom irrigation methods had similar effects on soil moisture and no differences were observed between these methods. Field trials were carried out in growth periods of 2010 and 2011. In both years the natural rainfall was so heavy that the benefits of irrigation could not be clearly verified.

We investigated the quality of river water in major potato production areas in Northern Ostrobothnia and also tested the effectiveness of different water purification methods to bacterial pathogens of potato. The results showed decrease in the total number of *Dickeya* bacteria (Ech 1A) which causes blackleg on potato and coliform bacteria which is harmful to human health, as the water circulated through the AOT water purification system.

Keywords:

Potato, irrigation, water purification

Alkusanat

Perunan sadetuksen hallinta -hanke toteutettiin vuosina 2010–2012. Hankkeessa tuotettiin käytännön perunantuotantoon soveltuvaa tietoa sadetuksen satovaikutuksista, työmenekistä ja kannattavuudesta. Tavoitteena oli eliminoida kasvukauden aikaisista maan kosteusvaihtelusta johtuvia sadon ja laadun menetyksiä kustannustehokkaasti. Entistä parempi sadontuotto tehostaa myös annettujen ravinteiden hyväksikäyttöä

Hankkeessa verrattiin eri sadetusmenetelmien toimivuutta sekä nykyisin käytössä olevaa summittaista sadetustarpeen ja -määrän arviointia teknologian avulla optimoituun sadetukseen. Kenttäkokeet toteutettiin Kalajoen Himangalla sijaitsevalla koekentällä. Hankkeessa selvitettiin myös kasteluveden käyttötarpeita ja luonnonvesien laatua tärkeillä perunantuotantoalueilla (Tyrnävä ja Kalajoki). Lisäksi tutkittiin veden puhdistukseen tarkoitettujen menetelmien toimivuutta kasteluveden puhdistuksessa perunalle haitallisista mikrobeista. Tavoitteena oli, että näiden selvitysten perusteella voidaan paremmin suunnitella ja kehittää perunan kastelua ja sadetusjärjestelmien käyttöä. Hankkeen aikana luotiin myös kansainvälisiä yhteistyöverkostoja alan asiantuntijoihin ja tuotiin heidän osaamistaan suomalaiseen käyttöön.

Hankkeen toteutti MTT Biotekniikka- ja elintarviketutkimus Oulu, RMV Yhtymä Oy ja Muuraiskankaan perunatila. Mukana oli useita asiantuntijoita ja yhteistyökumppaneita mm. Sveriges lantbruksuniversitet SLU Ruotsi, Warwick University Iso-Britannia, Rosenqvists Irrigation (www.rosenqvists.com), Dacom (www.dacom.nl), Laqua Treatment (www.laqua.se), Suomen siemenperunakeskus Oy ja Kalajoen Maa-seutupalvelut. Hankkeessa oli yhteistyötä myös EU:n rahoittaman Water Bee –hankkeen (www.water-bee.eu) kanssa. Hanke rahoitettiin Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta (Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus). Lisäksi rahoittajina olivat MTT ja Rosenqvists Irrigation. Raportin aineiston tilastolliset testaukset on tehnyt Lauri Jauhiainen. Kiitos kaikille hankkeeseen osallistuneille.

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	7
1.1 Perunan kastelu	7
1.2 Kastelumenetelmät	7
1.2.1 Tykkisadetus	8
1.2.2 Ramppisadetus	8
1.2.3 Tihkukastelu.....	9
1.2.4 Salaojakastelu.....	9
1.3 Maan vesitalous ja mittausmenetelmät.....	10
1.4 Kasteluveden laatu	11
1.5 Kastelun kustannukset.....	11
2 Aineisto ja menetelmät	13
2.1 Sadetuskenttäkokeet	13
2.1.1 Sadetusteknologiat	13
2.1.2 Perunan kasvustohavainnot ja satoanalyysit	13
2.2 Veden puhdistus	14
2.2.1 Wallenius AOT-veden puhdistuslaitteisto	14
2.2.2 Veden puhdistaminen perunalle tyvimätää aiheuttavista bakteereista	14
2.2.3 Jokiveden puhdistaminen	15
2.2.4 <i>Dickeya</i> -bakteerin analysointi jokivesinäytteistä	15
2.3 Tilastoanalyysit	15
3 Tulokset ja tuloksen tarkastelu	16
3.1 Sadetuksen vaikutus maan kosteuteen ja ravinnetilaan.....	16
3.1.1 Maan kosteustila.....	16
3.1.2 Maan ravinnetila.....	19
3.2 Sadetuksen vaikutus perunan kasvuston kehitykseen, satoon ja laatuun	20
3.2.1 Vaikutukset kasvuston kehitykseen	20
3.2.2 Vaikutukset perunan satoon ja laatuun.....	23
3.3 Sadetuksen kustannukset.....	25
3.4 Veden puhdistus	25
3.5 Jokiveden laatu.....	27
4 Yhteenveto.....	28
5 Kirjallisuus	29
Liitteet	30

1 Johdanto

Maailman ruoantuotannosta merkittävä osa on mahdollista vain kastelun avulla. Suomessakin kastelun avulla olisi usein mahdollista saada tuotantokasveilla suurempi ja parempilaatuinen sato. Työ- ja materiaalikustannusten vuoksi kastelu on Suomessa taloudellisesti kannattavaa lähinnä puutarhakasvien ja perunan viljelyssä.

Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus (Tike) on kerännyt kaikilta suomalaisilta maatalous- ja puutarhayrityksiltä kastelutiedot vuodelta 2010. Raportin mukaan kasteltavissa oleva ala Suomessa on noin 68 600 hehtaaria eli 3 % käytössä olevasta maatalousmaasta. Kastelu on mahdollista 4 600 tilalla, mikä on 7 % Suomen maatalous- ja puutarhayrityksistä. Alueellisesti suurin kasteltavissa oleva maatalousmaa-ala on Varsinais-Suomessa, jossa lähes 16 % tiloista voi kastella viljelyksiään. Puolet tiloista, joilla on kastelukalustoa käytettävissään, kasteli viljelyksiään vuonna 2010. Pääosin kasteltiin avomaan vihanneksia ja perunaa. Kastelu on perinteisesti tehty sadettamalla, mutta tihkukasteluakin käytetään yleisesti. Vihannesten ja perunan kastelu tehtiin lähes kokonaan sadettamalla. Mansikan ja muiden marjojen sekä omenapuiden kastelussa tihkukastelulla on merkittävä osuus. Kastelussa käytetään yleensä pintavettä, joka on peräisin tilan alueella tai tilan lähellä sijaitsevasta vesistöstä. Joillakin alueilla myös pohjaveden käyttö on merkittävää (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, 2012).

1.1 Perunan kastelu

Kasvin kasvu ja vesitalous ovat kiinteässä yhteydessä toisiinsa. Kasvit tarvitsevat vettä yhteyttämistuotteiden ja ravinteiden kuljetukseen, solupaineen ylläpitoon, fotosynteesiin ja haihduttamiseen. Peruna tarvitsee vettä sadonmuodostukseen muita kasveja enemmän. Yhden satokilon tuottamiseen Suomen olosuhteissa tarvitaan vettä 100–200 litraa (Aura 1997), mikä tarkoittaa 350–500 mm sadantaa kasvukauden aikana. Luontainen sadanta on noin 250 mm, joten sadannan vaje eli kastelutarve on noin 100–200 mm. Perunan juuristo on heikosti kehittynyt ja juuret ovat lisäksi lähellä maanpintaa. Lisäksi perunaa viljellään yleensä karkeilla kivennäismailla, joiden vedenpidätyskyky on huono. Kastelutarvetta lisää vielä se, että perunamaiden vapaasta maanpinnasta haihtuu vettä runsaasti kesä-elokuun aikana.

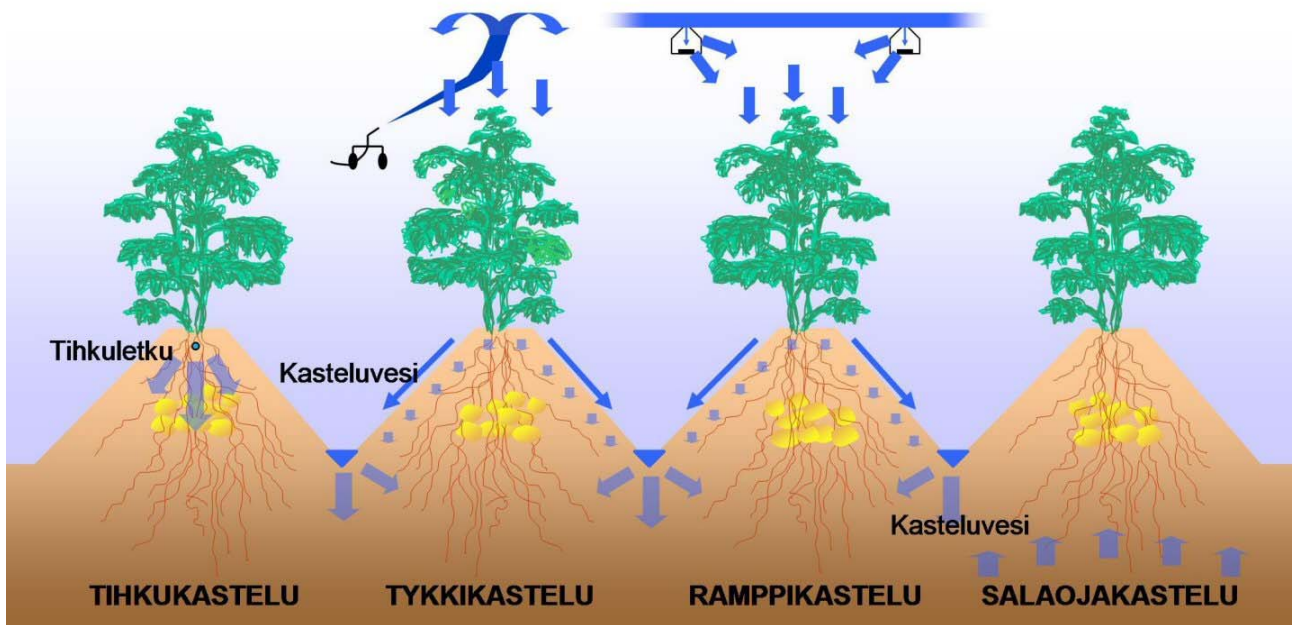
Ennen taimettumista perunan vedentarve on vähäinen. Taimettumisesta mukulanmuodostukseen peruna kuluttaa vettä noin 1,5 mm/vrk ja mukulanmuodostuksesta kukkanuppujen ilmestymiseen noin 2,5 mm/vrk. Perunan alkukehitysvaiheissa vedenpuute hidastaa kasvuston kehittymistä ja pienentää kasvuston korkeutta, lehtialaa sekä rönsyjen ja mukuloiden määrää. Pahimmillaan vedenpuute pysäyttää mukulanmuodostuksen, joka alkaa vasta maan kosteuden palaututtua. Mukulasadon kasvuvaiheessa maan kosteudella on ratkaiseva vaikutus perunan lopulliseen satoon ja mukulakokoon (Wikman ym. 1996).

Erikoistuminen on lisääntynyt perunantuotannossa. Monia perunan sato-ominaisuuksia voidaan muuttaa haluttuun suuntaan viljelymenetelmien kuten kastelun avulla. Varhaisperunan viljelyssä kastelua käytetään pääasiassa hallantorjuntaan, mutta se lisää myös satoa. Ruokaperunan viljelyssä pyritään tasaiseen maankosteuteen koko viljelykauden aikana. Siemenperunan viljelyssä pyritään saamaan mahdollisimman monta mukulaa samassa kokoluokassa, jolloin kastellaan mukulan muodostusvaiheessa. Perunarupea voidaan torjua tasaisella maankosteudella mukulanmuodostusvaiheessa. Kastelulla voidaan myös vähentää mukuloiden epämuotoisuutta, maltovikoja kuten onttoutta, sisäistä ruskettumista tai ruskolaikkuisuutta, sekä kasvuhalkeamien muodostumista. Liian runsas kastelu puolestaan saattaa lisätä monien kasvitautien riskiä.

1.2 Kastelumenetelmät

Suomessa yli 90 % perunaviljelmien kastelusta tehdään sadettamalla (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, 2012). Muita Suomessa käytössä olevia menetelmiä ovat tihkukastelu ja salaojakastelu. Vaikka usein pelkästään riittävä ja oikea-aikainen kastelu lisääkin sadon määrää ja laatua, on kastelume-

netelmien välillä eroja (kuva 1). Esimerkiksi veden kulkeutumistapa maahan, veden vaikutukset maahan ja kasviin, laitteiden käyttötavat, työmäärä ja kustannukset vaihtelevat menetelmien välillä.



Kuva 1. Veden kulkeutuminen maahan eri kastelumenetelmissä (Myllys ym. 2009).

1.2.1 Tykkisadetus

Yleisin sadetusmenetelmä on tykkisadetus. Tykkisadetuksessa sadetuskoneen letkukelan päähän liitetään kelkalla kulkeva sadetintykki. Siinä on yksi suutin, joka kastelee puoliympyrää tai vähän laajempaa aluetta. Kastelun alussa letku vedetään traktorilla kelalta auki kasteltavan lohkon toiseen päähän. Sadetuksen aikana kasteluv veden paine pyörittää kela, jolloin sadetin liikkuu lohkon poikki kohti letkukelaa. Sadetuskone pysähtyy automaattisesti, kun sadetin saavuttaa letkukelan. Yhden kaistan kastelun jälkeen siirrytään seuraavalle. Sadetintykin kasteleman kaistan leveys voi olla 30 metristä yli 100 metriin, riippuen paineesta, putken halkaisijasta ja sadettimen säädöistä. Tunnissa sadetettu vesimäärä vaihtelee 6–20 mm laitemallin ja säätöjen mukaan. Sadetintykeillä on taipumus heittää vettä runsaimmin ulkokehälle ja lähelle tykkiä, joten sadetus ei ole täysin tasaista. Sadetintykin vesipisararat ovat isoja ja raskaita, ja niiden liike-energia on suuri. Pisararat iskeytyvät maahan kovalla voimalla. Tykkisadetus saattaa aiheuttaa heikkorakenteisilla mailla liettymistä ja pintavaluntaa erityisesti alkukesällä, jolloin kasvusto ei suojaa vielä maanpintaa eroosiolta. Pisanan kokoa voidaan pienentää suutinta pienentämällä tai painetta nostamalla, mutta samalla sadetusteho pienenee ja paineen nostaminen voi olla riski työturvallisuudelle.

Tykin vesisuihku on herkkä tuulelle ja haihtumiselle, sillä pisarat lentävät ilmassa pitkän matkan. Tuulen aiheuttamat häviöt ovat arviolta 2–3 mm 30 mm sadetuksessa. Haihtuminen jatkuu maastakin ja on arvioitu että kaikissa päältäkastelumenetelmissä noin 5 mm haihtuu maan pinnalta kastelua seuraavina päivinä (Elonen 1979).

Tykkisadetus sopii parhaiten suurille säännöllisenmuotoisille peltolohkoille. Sadetintykin etuna on suuri kapasiteetti ja suhteellisen pieni työmäärä, koska laite liikkuu automaattisesti ja siinä on vain yksi säädettävä suutin. Tykkisadetuksessa käyttökustannuksia aiheuttavat sadetuskoneen siirto kasteltavalle lohkolle sekä koneen siirrot ja putken auki vetäminen uudelle kaistalle siirryttäessä. Tykkisadetukseen käytettävien sadetuskoneiden hinnat vaihtelevat putken pituuden ja halkaisijan sekä lisävarusteiden mukaan. Pienimpien koneiden hinnat alkavat 5 000 eurosta suurimpien hyvin varusteltujen ollessa noin 30 000 euroa.

1.2.2 Ramppisadetus

Ramppisadetuksessa sadetuskoneen letkun päähän liitetään pyörillä tai kelkalla liikkuva puomi. Siinä on useita suuttimia 1–2,5 metrin välein, joten sillä saadaan tasaisempi vesisuihku kuin tykillä. Tavalliset

puomin leveydet vaihtelevat 20 metristä 50 metriin. Koska puomin työleveys on kapeampi kuin perinteisen tykin, sadettimen siirtoja kertyy enemmän kuin perinteisessä tykkisadetuksessa.

Useiden suuttimien käyttö mahdollistaa suuren sadetustehon. Aikayksikköä kohti annettu vesimäärä on tavallisesti kaksinkertainen sadetintykkiin nähden, joten samaan sadetusmäärään pyrittäessä ramppi voi liikkua kaksinkertaisella nopeudella tykkiin verrattuna. Rampin etenemisnopeus on tavallisesti 30–60 metriä tunnissa. Kastelupaine on 1–2,5 baaria. Suuttimet ovat pienempiä kuin tykissä, joten vesi on syytä suodattaa tukkeutumien välttämiseksi.

Sadetusrampin vesipisarat ovat pieniä ja niiden liike-energia on pieni, joten kastelu on hellävaraisempaa ja tasaisempaa kuin tykillä. Vesisuihku ei ole myöskään arka tuulelle. Haihtuminen on vähäistä, koska veden kulkumatka suuttimesta maahan on lyhyt. Tämä on tärkeää koska kapean työleveyden vuoksi kastelua täytyy tehdä usein päivälläkin. Ramppisadetuksessa annetaan aikayksikössä isoja vesimääriä pienelle pinta-alalle, jolloin riskinä on pintavalunta ja eroosio, jos maalajia ei oteta kastelussa huomioon.

Ramppisadetus sopii säännöllisenmuotoisille peltolohkoille, joilla ei ole sähkötolppia tai muita puomin kulkua haittaavia esteitä. Tykkisadetukseen verrattuna ramppikasteluun tulee lisäkustannuksia puomista. Puomisadetuslaitteistojen hinta vaihtelee 20 000 eurosta 55 000 euroon, riippuen putken pituudesta ja halkaisijasta, puomin leveydestä ja lisävarusteista. Ramppisadetuksessa työnmenekki on suurempi kuin tykkisadetuksessa, koska puomista aiheutuu enemmän siirtokustannuksia sekä huolto- ja korjauskustannuksia.

1.2.3 Tihkukastelu

Tihkukastelussa vesi johdetaan maahan asennettuja tihkuletkuja pitkin suoraan juuristokerrokseen pienellä paineella lyhyin väliajoin. Tihkukastelu ei kastele maata tasaisesti vaan pistemäisesti suuttimen ympäriltä. Tihkukastelussa vettä ei haihdu ilmaan, jolloin käytettävän veden määrä on pienempi kuin sadetusmenetelmissä. Myöskään ravinteita ei huuhtoudu vähäisen vesimäärän ansiosta. Tihkukastelun etuna on myös se että kasteluv veden mukana voidaan annostella nestemäisiä lannoitteita täsmällisesti ja nopeasti liittämällä kastelusysteemiin lannoituslaitteisto (Forsman ym. 2000, Mylly ym. 2009).

Tihkukastelussa vesi pumpataan vesilähteeltä tavallisilla kastelupumpuilla. Vesi suodatetaan ja paine tasataan tihkukastelun suuttimille sopivaksi. Tämän jälkeen vesi ohjataan virtaamaan oikealle lohkolle jakoputkea pitkin. Jakoletkuun asti kastelulaitteiston osat ovat monivuotisia. Tihkuletkut lähtevät jakoputkesta. Perunalle käytetään yleensä joka vuosi uusittavaa tihkuletkuja jonka seinämän paksuus on 0,1 mm ja jossa on suuttimia 20 cm välein. Koska suuttimet ovat paineentasaavia, kastelu on tasaista paineen vaihdelleessa, epätasaisissa maastoissa tai pitkissä kastelulinjoissa. Kastelu myös alkaa ja loppuu samaan aikaan koko kastelulinjassa. Tihkukastelujärjestelmä voi toimia manuaalisesti tai se voidaan automatisoida. Tihkuletkut asennetaan istutuksen tai multauksen yhteydessä koneellisesti. Asentamissyvyys on 3–5 cm. Tihkuletkujen käsittely vaatii huolellisuutta. Syksyllä laitteisto puretaan ja tihkuletkut kerätään joko varrenmurskauksen tai sadonkorjuun yhteydessä.

Tihkukastelua voidaan käyttää minkä tahansa kokoisille tai muotoisille lohkoille sen vaikuttamatta juurikaan käyttökustannuksiin. Tihkukastelussa kiinteät kustannukset aiheutuvat pumpusta, veden siirtolinjasta, suodattimista ja jakolinjoista. Vuosittaisia kustannuksia ovat pumpun, siirtolinjan, suodattimien ja jakoletkujen huoltoon liittyvät työt sekä tihkuletkujen hankinta ja niiden asennus keväällä ja poisto syksyllä.

1.2.4 Salaojakastelu

Salaojakastelussa hyödynnetään salaojaputkistoa, joka normaalisti ja alkuperäisen tarkoituksensa mukaisesti johtaa ylimääräisen veden pois pellolta märkinä aikoina pohjaveden ollessa korkealla. Liiallinen maan kuivuminen kuivina kausina on luonut tarpeen vähentää pois virtaavan veden määrää patoamalla, jolloin pohjaveden määrää ei päästetä niin alas kuin se ilman patoamista laskisi, vaan vettä jää maahan varastoon kuivia kausia varten. Tällöin puhutaan säätösalojituksista. Salaojakastelu on tästä askel eteenpäin; siinä johdetaan salaojien kautta maahan ulkopuolelta pumpattua lisävetä ja nostetaan pohjaveden pintaa. Salaojaputkistoa voidaan siis käyttää maan vesitalouden optimaaliseen säätelyyn kuivatuksesta kasteluun.

Säätösalaajitus- ja salaajakastelujärjestelmä toteutetaan rakentamalla salaajien kokoojajoihin säätökaivoja aina kun kokoojajon korkeus muuttuu 0,5 metriä. Kaivoon tehdään sulkuputki, jonka korkeutta voidaan säädellä. Kuivatustilanteessa salaajia pitkin virtaa vettä pois pelloilta vasta kun pohjaveden pinta nousee sulkuputkea korkeammalle. Salaajakastelua käytettäessä kaivoon pumpataan vettä ja paine kaivossa työntää vettä salaajia pitkin pellolle.

Säätösalaajitus- ja salaajakastelu sopivat parhaiten pelloille, joiden kaltevuus on korkeintaan 1 %. Maalajin tulee olla vettä hyvin läpäisevää, mutta ei liian karkeaa, sillä veden on liikuttava kapillaarisesti. Lisäksi pohjaveden on oltava luonnostaan korkealla. Salaajakastelun lisävaatimus on kasteluveden riittävä saavuus. Salaajakastelun veden tarve on suurempi kuin päältäkastelumenetelmien.

Valumavesien säätelyllä on lisäksi monia myönteisiä ympäristövaikutuksia. Pelloilta pois valuvan vesimäärän pienentyessä ja maan kosteusolojen muuttuessa vähenee myös liukoisten ravinteiden huuhtoutuminen vesistöihin. Varastoaltaita rakentamalla voidaan edelleen vähentää vesistöihin huuhtoutuvien ravinteiden määrää. Kun ravinteita poistuu pelloilta vähemmän, voidaan lannoitusta vähentää. Tämän takia säätösalaajitus ja salaajakastelu kuuluvat EU:n maatalouden ympäristötukijärjestelmän erityistukisopimusten piiriin.

Sadetukseen verrattuna säätösalaajitus ja salaajakastelu ovat helppo hoitaa ja käyttää. Investointikustannukset ovat kuitenkin suuret. Tavallisten salaajituskustannusten lisäksi säätösalaajituksessa muodostuu investointeja säätökaivosta ja mahdollisesti tiennetyistä salaajituksista. Salaajakastelussa tulee lisäksi kustannuksia pumppaamosta ja mahdollisista lisäajista, kasteluveden putkituksista ja varastoaltaasta. Käyttökustannuksia syntyy kaivojen hoito- ja säätötöistä ja pohjaveden seurannasta.

1.3 Maan vesitalous ja mittausmenetelmät

Kastelun tarkoitus on lisätä maan kosteutta niin, että kasvien juuret saavat jatkuvasti riittävän määrän vettä. Jotta kastelusta saataisiin mahdollisimman suuri hyöty, se on suoritettava oikeana ajankohtana ja oikeaa vesimäärää käyttäen. Kastelun ajankohta ja määrä riippuvat ennen kaikkea maan kosteustilasta, kasvilajista ja kasvin kehitysasteesta. Lisäksi huomioidaan sade-ennuste ja muut sääolosuhteet, jotka vaikuttavat haihdunnan arviointiin. Kastelu pitäisi aloittaa selvästi ennen kuin maa on kuivunut lakastumispiiteeseen, sillä lyhytaikainenkin veden puute saattaa johtaa pysyviin satotappioihin. Kastelu kannattaa aloittaa, kun kasveille käyttökelpoisesta vedestä on maassa jäljellä noin puolet (Wikman ym. 1996). Kasteluv veden määrä riippuu juuristokerroksen veden varastointikyvystä sekä sen kosteustilasta. Liian kosteassa maassa kaasujen vaihto on huonoa, juuriston hengitys vaikeutuu ja joidenkin kasvitautien riski kasvaa. Myös maan rakenne voi heiketä liiallisen märkyden vuoksi ja ravinteita voi kulkeutua pinta- ja pohjavesiin.

Kastelun tarpeen arviointiin on useita menetelmiä, joista seuraavassa joitakin tilakäyttöön sopivia menetelmiä:

a) Yksinkertaisin menetelmä on ns. kouratesti, jossa otetaan juuristokerroksesta maata ja puristetaan se palloksi. Kastelutarvetta ei ole niin kauan kun maa pysyy pallona. Tämä on hyvin karkea menetelmä, joka toimiakseen vaatii kokemusta.

b) Sademääriä mittaamalla ja arvioimalla kasvien vedenkäyttöä kasvuvaiheen ja sään perusteella voidaan arvioida kastelun aloittamisen ajankohta. Kastelu pitäisi aloittaa karkeilla mailla kun sadannan vajoaus on 15–20 mm ja hienojakoisimmilla mailla 30–53 mm. Kastelu siirtyy päivällä, jos kasvun alkuvaiheessa saadaan 3 mm sade ja myöhemmin 2,5 mm sade.

c) Kuivaamalla maanäyte, jonka tilavuus tunnetaan, saadaan laskettua, paljonko maanäyte sisältää vettä tilavuusprosentteina. Menetelmän käyttö edellyttää että tiedetään yhteys maan kosteuslukemien ja veden sitoutumisvoimakkuuden välillä, tai että tiedetään kokemuksesta missä kosteudessa maan kastelutarve alkaa.

d) Tensiometri on yksinkertaisin menetelmä mitata kastelutarvetta. Se kertoo suoraan maan vesitilan kasvin kannalta eli millä voimakkuudella maassa oleva vesi on sitoutunut maahan ja minkä voiman kasvi

tarvitsee vettä ottaakseen. Jos halutaan maksimoida perunan sadontuotto, kasteluun ryhdytään kun tensiometrin lukema on 0,25 baaria. Hienoimmilla mailla voidaan odottaa kauemmin enimmillään 0,50 baariin. Hienommilla mailla on suuremmat vesivarastot kuin karkeilla ja niissä myös kapillaarivesi liikkuu helpommin kohti juuristoa.

e) Maan kosteusmittaukseen on kehitetty useita sähköisiä menetelmiä, joilla tulokseksi saadaan maan kosteus prosentteina joko maan kokonaistilavuudesta tai maan kokonaishuokostilavuudesta. Mittarit perustuvat eri tekniikoihin kuten Time Domain Reflectometry -tekniikkaan (TDR) ja Frequency Domain Reflectometry -tekniikkaan (FDR).

f) Kastelun tarpeen arviointiin on kehitetty myös tietokoneohjelmia. Ohjelma tarvitsee säätietoja ennusteen laatimista varten ja mitattuja tietoja toteutuneen haihdunnan arviointiin.

1.4 Kasteluveden laatu

Kastelun edellytys on että saatavilla on riittävästi hyvänlaatuista vettä, silloin kun sitä tarvitaan. Kasteluvetenä käytetään Suomessa yleisimmin pintavettä, mutta paikoitellen myös pohja- ja merivettä (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2012). Veden saatavuus voi olla ongelma, jos järviä tai luonnonuomia ei ole lähistöllä, tai virtaamat ovat niin pieniä, etteivät ne riitä kasteluun. Kasteluun käytettävän veden pitää olla hyvälaatuista, eikä se saa sisältää ihmiselle, eläimille, kasveille eikä maaperän eliöstölle vahingollisia orgaanisia tai epäorgaanisia aineita tai mikrobeja. Hygieeniset tekijät (bakteerit, virukset, parasiitit) ovat tärkeimmät veden laadun mittarit, kun vettä käytetään raakana syötävien kasvien kasteluun. Hedelmien, marjojen ja raakana syötävien vihannesten kasteluveden laatuvaatimukset ovat periaatteessa samat kuin talousvedelle. Laatuvaatimukset ovat lievemmiä vedelle, jolla kastellaan keitettäviä juureksia ja vihanneksia. Vedenpuhdistukseen on kehitetty useita menetelmiä kuten suodatus, kemialliset menetelmät ja otsonointi. Suomessa kasteluveden puhdistamiseen bakteereista on harvoin ollut tarvetta.

Perunalle tyvi- ja märkämätää aiheuttavat *Pectobacterium*- ja *Dickeya*-sukujen bakteerit. *Dickeya*-suvun bakteerit ovat levinneet Suomessa voimakkaasti 2000-luvulla. *Dickeya*-bakteerit voivat tuottaa tautioireita paljon alhaisempina pitoisuuksina kuin *Pectobacterium*-lajit (van der Wolf 2007). Myös viimeaikaiset havainnot käytännön perunantuotannosta osoittavat tyvi- ja märkämädän muuttuneen entistä tuhoisammaksi taudiksi. Ennen se aiheutti lähinnä siemenperunan laatuongelmia, mutta uusi tyvimätä pystyy aiheuttamaan merkittäviä satotappioita myös ruokaperunalle. Näitä bakteereita löytyy yleisesti Suomen jokivesistä (Laurila ym. 2008, Pirhonen ym. 2012). On kuitenkin vielä epäselvää kuinka kauan bakteerit pysyvät elävinä vedessä ja leviääkö tyvi- ja märkämätä kasteluveden kautta.

1.5 Kastelun kustannukset

Kastelulla saatavan sadon lisäyksen tai laadun paranemisen on oltava niin suuri, että siitä saatu lisätuotto kattaa kastelun kustannukset. Kastelukustannukset voidaan jakaa kiinteisiin kustannuksiin ja käyttökustannuksiin, jotka riippuvat järjestelmän käyttöasteesta. Kustannusten kannalta on keskeistä kuinka kaukaa vesi joudutaan tuomaan. Pitkät runkolinjat nostavat varsinkin pienillä kastelualoilla sekä investointi- että käyttökustannuksia. Toinen keskeinen kannattavuustekijä on veden riittävyys. Veden saannin turvaaminen koko kasvukauden aikana patoja, kanavia tai varastoaltaita rakentamalla lisää kustannuksia merkittävästi. Kastelumenetelmä valitaan tapauskohtaisesti. Sekä investointikulut että vuosittaiset käyttökulut menetelmien välillä vaihtelevat suuresti. Tilakohtaiset olosuhteet ja tarvittava työmäärä on otettava huomioon menetelmää valitessa.

Erilaisissa selvityksissä kastelun positiiviset vaikutukset laatuun ovat olleet suuremmat kuin vaikutukset sadon määrään. Peruna viljelykasvina on herkkä kuivuudelle ja jo lyhyetkin kuivat jaksot saattavat alenuttaa sadon määrää. Perunantutkimuslaitoksen koesarjoissa 1989–1995 perunan kauppakelpoinen sato oli keskimäärin noin 22 % verrannetta suurempi (Wikman ym. 1996, Kuisma 1998, Kuisma 2004). Yhtä suureen laatulisään päästiin myös tihkukastelukokeessa vuonna 2000 (Forsman ym. 2000, Forsman ym. 2001). Erityisen kuivana kesänä 1994 päästiin jopa 42 % sadon lisäykseen (Kuisma 2002). Toisaalta Perunantutkimuslaitoksen koesarjassa 2001–2003 kastelu ei tuottanut sadonlisää, eikä myöskään vaikuttanut sadon laatuun (Kuisma 2002, 2003, 2004).

Veden määrä vaikuttaa myös mukuloiden kokoon ja määrään. Tätä voidaan käyttää hyväksi tuotanto-suunnasta riippuen, esimerkiksi siemenperunatuotannossa halutaan enemmän ja pienempiä mukuloita, kun taas ruokaperunatuotannossa halutaan isompia mukuloita. Oikea-aikaisella ja määrältään sopivalla sadetuksella voidaan vaikuttaa käyttökelpoisen sadon laatuun. Kastelun on todettu vaikuttavan eniten perunarupeen, joka heikentää määrällisesti ja taloudellisesti eniten perunan laatua. Lisäksi kastelulla voidaan vähentää kasvukauden aikaisten, epätasaisten maan kosteusolosuhteiden aiheuttamia mukuloiden laatuongelmia.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Sadetuskenttäkokeet

Perunan sadetuksen hallinta -hankkeen kenttäkokeet toteutettiin tilakokeina Himangalla kasvukausina 2010 ja 2011. Tilakokeet toteutettiin kumpanakin vuonna saman tilan eri lohkoilla. Viljelytoimet on toteutettu tilan käytäntöjen mukaisesti. Kokeissa oli lajikkeena molempina vuosina Melody. Istutustiheys oli 24 cm ja riviväli 80 cm. Lannoituksen typpitasona oli 70 kg/ha ja muita ravinteita annettiin maan ravinnetilan mukaisesti.

Kenttäkokeet toteutettiin kaistakokeina. Jokaisella kaistalla oli neljä ruutua, joista tehtiin rinnakkaisia havaintoja ja näytteenottoja. Lisäksi vuoden 2011 kokeessa joka kaistalla oli mukana kaksi lisälannoitusruutua. Lisälannoitusruuduilla typen kokonaismäärä oli 100 kg/ha. Lannoitus tehtiin kukinnan alkaessa (61 vrk istutuksesta).

2.1.1 Sadetusteknologiat

Kenttäkokeilla verrattiin eri sadetusmenetelmiä sadettamattomaan. Koejäseninä olivat sadettamaton, tykkisadetus ja ramppisadetus. Sadetustarpeen viljelijä päätti tykkisadetus-koejäsenellä ns. kouratestillä, mikä oli tilalla aiemmin käytössä ollut menetelmä. Viljelijän asiantuntemus ja kokemuksen kautta karttunut tieto kyseessä olevasta peltolohkosta on tällöin erittäin tärkeää. Ramppisadetus-koejäsenellä sadetustarvetta seurattiin Dacom Agriyield Management -sadetuksen hallintaohjelman avulla. Ohjelma ilmoittaa viljelijälle sadetustarpeen maan kosteusmittausten ja asetettujen raja-arvojen perusteella. Sadetuksen tarpeen määrittämiseen tarvittavat raja-arvot, kenttäkapasiteetti ja lakastumispiste on määritettävä kullekin maalajille ja peltolohkolle erikseen. Kenttäkokeissa käytetyt sadetuslaitteistot toimitti Rosenqvist Irrigation. Ramppisadetuksessa käytettiin tietokoneohjattua R2500e- sadetusjärjestelmää.

Molempina koevuosina luontainen sadanta oli varsin runsasta, ja sadetuksen määrä jäi vähäiseksi. Vuonna 2010 sadetettiin tykillä neljä kertaa, yhteensä 62 mm, ja rampilla viisi kertaa, yhteensä 60 mm. Vuonna 2011 tykillä sadetettiin kerran 10 mm ja rampilla kaksi kertaa, yhteensä 33 mm.

2.1.2 Perunan kasvustohavainnot ja satoanalyysit

Kenttäkokeista tehtiin kasvukauden aikana normaalit kasvustohavainnot: kehitysaste-, tautihavainnot ja yksilölaskenta sekä kasvuston korkeuden mittaus. Kehitysastehavainnot tehtiin Hack ym. 1993 mukaan (Liite 1) ja taudeista havainnoitiin visuaalisesti perunaseitti, tyvimätä ja viroottisuus.

Vuonna 2010 tehtiin kaksi kasvunostoa: ensimmäinen 13.7. kasvuston ollessa 20–30 cm korkea ja toinen 16.8. kukinnan päätyttyä. Vuonna 2011 kasvunosto tehtiin 14.7. kukinnan alkaessa. Kasvunostoissa laskettiin versojen ja mukuloiden lukumäärät, sekä punnittiin niiden tuorepainot. Kasvunostojen yhteydessä analysoitiin myös versojen ravinnepitoisuudet. Versoista analysoitiin kuiva-aine, kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), rikki (S) ja typpi (N). Vuonna 2010 vastaavat ravinneanalyysit tehtiin myös toisen kasvunoston mukuloista.

Satomäärittämisä varten nostettiin koeruutujen (1,6 m x 7 m) sato käsin ennen peltolohkon sadon varsinaista nostoa. Perunoiden noston jälkeen tehtiin satopunnitukset kokoluokittain ja määritettiin kokonaissato. Lajittelussa käytetyt kokoluokat olivat < 30 mm, 30–40 mm, 40–50 mm, 50–60 mm, 60–70 mm ja > 70 mm. Satopunnitusten jälkeen mukuloista analysoitiin tärkkelyspitoisuus, sekä ulkoinen laatu ja keittolaatu. Lisäksi ravinnemäärittämissä analysoitiin mukuloiden kuiva-aine, Ca-, K-, Mg-, S- ja N-pitoisuudet.

Tutkimuksessa seurattiin sadetuksen vaikutusta maan ravinnetilaan. Koealueilta otettiin maanäytteet ruuduittain. Maasta tehtiin ravinneanalyysit ennen istutusta ja noston jälkeen. Maanäytteistä analysoitiin maalaji, johtoluku, pH sekä kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), fosfori (P), rikki (S), ammoni-

umtppi ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitraattityppi ($\text{NH}_3\text{-N}$) ja liukoinen typpi. Maan ja mukuloiden ravinneanalyysit tehtiin Suomen ympäristöpalvelu Oy:ssa.

Maan kosteutta (tilavuusprosentteina) seurattiin Dacomin sadetuksen hallintaohjelman avulla. Ohjelmaan kuului maan kosteuden jatkuva seuranta kerran tunnissa kymmenen senttimetrin välein 10 cm syvyydestä 50 cm:n syvyyteen saakka. Maan kosteuden lisäksi ohjelman kautta seurattiin kasvukauden sademääriä.

2.2 Veden puhdistus

2.2.1 Wallenius AOT-veden puhdistuslaitteisto

AOT (advanced oxidation technology) -laitteistossa on yhdistetty kaksi erilaista suodatinta, Boll & Kirch Filterbau:n mekaaninen suodatin ja Wallenius Water:n AOT suodatin (Kuva 2). Mekaaninen suodatin poistaa $> 50 \mu\text{m}$ partikkelit vedestä ja puhdistuu automaattisesti takaisin huuhtelun avulla. AOT-suodatin on suljettu sauva, jonka sisällä muodostuu vedestä happiradikaaleja. Happiradikaalit ovat reaktiivisia ja osuessaan mikro-organismien soluseinään vievät siitä vetyatomit itselleen ja siten hajottavat soluja. Radikaalit muuttuvat prosessissa vesimolekyyleiksi. AOT-suodattimen puhdistusprosessissa ei käytetä lisäyksiä kemikaaleja. AOT-suodatin pystyy hajottamaan erilaisia bakteereita, viruksia, sieniä ja kemikaaleja. AOT-puhdistamon lävitse voidaan ajaa vettä 20 m^3 tunnissa. Tutkimuksessa käytettiin pientä AOT-puhdistamoa, johon kuului vain yksi AOT-suodatinyksikkö. Käytössä olevissa laitteistoissa AOT-suodatin yksiköitä on yleensä sarjassa useita (<http://www.walleniuswater.com>).



Kuva 2. Wallenius Water AOT -vedenpuhdistuslaitteisto (Kuv. MTT/Anna Sipilä)

2.2.2 Veden puhdistaminen perunalle tyvimätää aiheuttavista bakteereista

Ensimmäisessä kokeessa tutkittiin AOT -vedenpuhdistuslaitteiston kykyä puhdistaa vettä perunalle tyvimätää aiheuttavista bakteereista *Dickeya* spp. (Ech 1A). Kokeissa käytettiin Limingan kunnallista vesijohtovettä, ja näytetilavuus oli 1000 l.

Dickeya spp. bakteeria kasvatettiin Nutrient Broth -kasvatusalustalla ravistelevassa inkubaattorissa 200 rpm sekoitusnopeudella vähintään 24h $27 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa. Vesijohtoveteen siirrostettiin 1 pmy/ml , 10^1 pmy/ml , 10^3 pmy/ml , 10^6 pmy/ml tai 10^8 pmy/ml Ech 1A bakteeria. Kontrollina käytettiin puhdasta vesijohtovettä.

Puhdistuslaitteistossa käytettiin kahta eri virtausnopeutta (500 l/h ja 1000 l/h). Vesinäyte oli 1000 l tankissa, josta 500 l vettä ajettiin kummallakin nopeudella puhdistuslaitteiston läpi. Tankista otettiin vertailunäyte ennen puhdistusta ja ajon aikana näyte kummastakin nopeudesta. 2,5 l näytteet otettiin 3 l muovipulloon.

Kerätyt näytteet säilytettiin yön yli huoneenlämpötilassa, että vaurioituneet solut ehtisivät hajota pidemmälle ennen analysointia. Näytteet sekoitettiin ja kaikista otettiin 50 ml näyte pesäkkeiden laskentaa varten. Näytteistä tehtiin laimennussarjat (laimentamaton, 10^{-1} – 10^{-6}), ja kontrollina käytettiin vesijohtovettä. 1 ml kutakin näytettä maljattiin Nutrient Agar -maljoille. Jokaisesta näytteestä tehtiin kaksi rinnakkaista maljaa. Bakteereita kasvatettiin 37 °C:ssa vähintään 24 h ja muodostuneet pesäkkeet laskettiin.

Bakteeripesäkkeistä karakterisoitiin *Dickeya* spp. käyttäen julkaistua PCR- menetelmää. Alukkeina käytettiin ADE1 ja ADE2 alukkeita (Degefu ym., 2009).

2.2.3 Jokiveden puhdistaminen

Toisessa kokeessa testattiin AOT -laitteiston kykyä puhdistaa vettä ihmiselle haitallisista bakteereista. Laitteistolla puhdistettiin Tyrnävän Ängesleväjoen vettä 1000 l, virtausnopeudet ja näytteenotto samoin kuin edellisessä kokeessa. Näytteet otettiin ennen puhdistusta ja puhdistuksen jälkeen. Näytteistä mitattiin koliformisten ja *Clostridium perfringes* -bakteerien pitoisuudet Oulun seudun elintarvike- ja ympäristölaboratorio Oy:ssä.

2.2.4 *Dickeya*-bakteerin analysointi jokivesinäytteistä

Vuonna 2010 otettiin jokivesinäytteet (4 l) kaksi kertaa (22.6 ja 5.7.) Temmesjoesta, Tyrnävänjoesta, Ängeslevänjoesta, Leppiojasta ja Lestijoesta. Lisäksi Lestijoesta otettiin näyte 23.9.2010. Vuonna 2011 otettiin kaksi näytettä Lestijoesta ja yksi Lestijokeen laskevasta ojasta.

Jokivesinäytteet esikäsiteltiin ennen varsinaista *Dickeya*-analyysia. Esikäsitelyssä näytteet suodatettiin, jaettiin kymmeneen 15 ml putkeen (1 näyte 150 ml) ja sentrifugoitiin 1000 rpm nopeudella 10 min. Tämän jälkeen putkista pipetoitiin vettä pois, siten että jäljelle jäävän näytteen määrä oli noin 100 µl/putki, jäljelle jääneestä näytteestä yhdistettiin 10 x 100 µl yhteen ja sekoitettiin hyvin. Tästä yhdistetystä näytteestä 100 µl siirrettiin 5 ml PEM-liuosta. Tämän jälkeen näytteitä kasvatettiin ravistelevassa inkubaattorissa 48 h 27 °C:ssa, minkä jälkeen ne käsiteltiin normaalin *Dickeya*-analyysin protokollan mukaan (Degefu ym. 2009).

2.3 Tilastanalyysit

Aineistolle tehtiin tilastollisia testejä sen selvittämiseksi, vaikuttiko sadetusmenetelmä perunan kehitykseen, satoon ja laatuun tai maan kosteuteen ja ravinnetilaan. Tilastollinen analysointi tehtiin SAS-ohjelmiston 9.1.3-versiolla. Yksisuuntaista varianssianalyysia käytettiin silloin, kun aineistoa oli vain yhdeltä vuodelta tai vuodet analysoitiin erikseen. Aineisto analysoitiin käyttäen sekamallia, silloin kun analyysissä oli molempien vuosien tuloksia. Vuosi oli tällöin mallissa satunnainen ja sadetusmenetelmä kiinteä tekijä. Jäännösten ja sovitteiden sirontakuviolla tarkasteltiin mahdollisia poikkeavia arvoja, sekä tarkasteltiin aineiston normaalisuutta. Log- ja neliöjuurimuunnoksia tehtiin, jotta aineistosta saatiin normaali.

3 Tulokset ja tuloksen tarkastelu

3.1 Sadetuksen vaikutus maan kosteuteen ja ravinnetilaan

3.1.1 Maan kosteustila

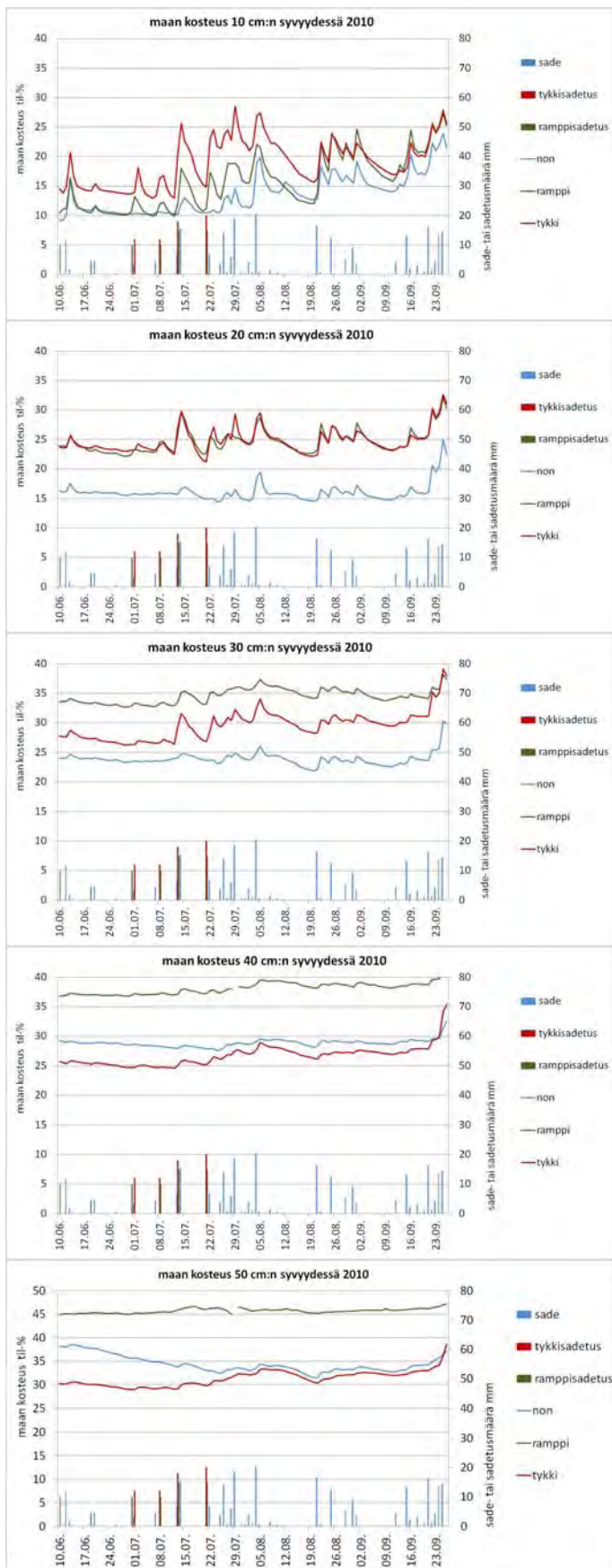
Maan kosteustilaan vaikuttivat luontaiset sateet ja sadetukset. Niiden vaikutukset ulottuivat noin 30 cm:n syvyyteen vuonna 2010, jolloin koealueen maa oli hienoa hietaa. Vuonna 2011 koe sijaitti karkeammalla hietamaalla, ja sateet ja sadetukset kostuttivat maata nopeasti 40 cm:n syvyyteen asti, rankat sateet jopa 50 cm:n syvyyteen.

Joka kastelualueella olleen jatkuvatoimisten antureiden mittausten mukaan sadetetut alueet olivat kumpanakin vuonna koko kasvukauden yleensä kosteampia kuin sadettamaton kaikissa mitatuissa syvyyksissä. Poikkeuksen teki tykkisadetusalue vuonna 2010, joka pysyi 40–50 cm:n syvyydessä muita kuivempainä koko kasvukauden. Tykkisadetusalue oli muita kuivempi myös vuonna 2011 heinäkuun alun rankkoihin sateisiin asti. Näistä kumpikaan ei kuitenkaan johtunut sadetusmenetelmästä vaan siitä, että maan luontaiset kosteudet näyttivät olevan erilaiset eri alueilla. Tämä saattoi johtua eroista maankoostumuksessa tai siitä, että kosteusanturit saattoivat sijaita eri etäisyyksillä salaojista, jolloin pohjavesi on ollut eri korkeuksilla. Myös virhelukemat ovat mahdollisia, koska joka alueella oli vain yksi mittauspaiikka.

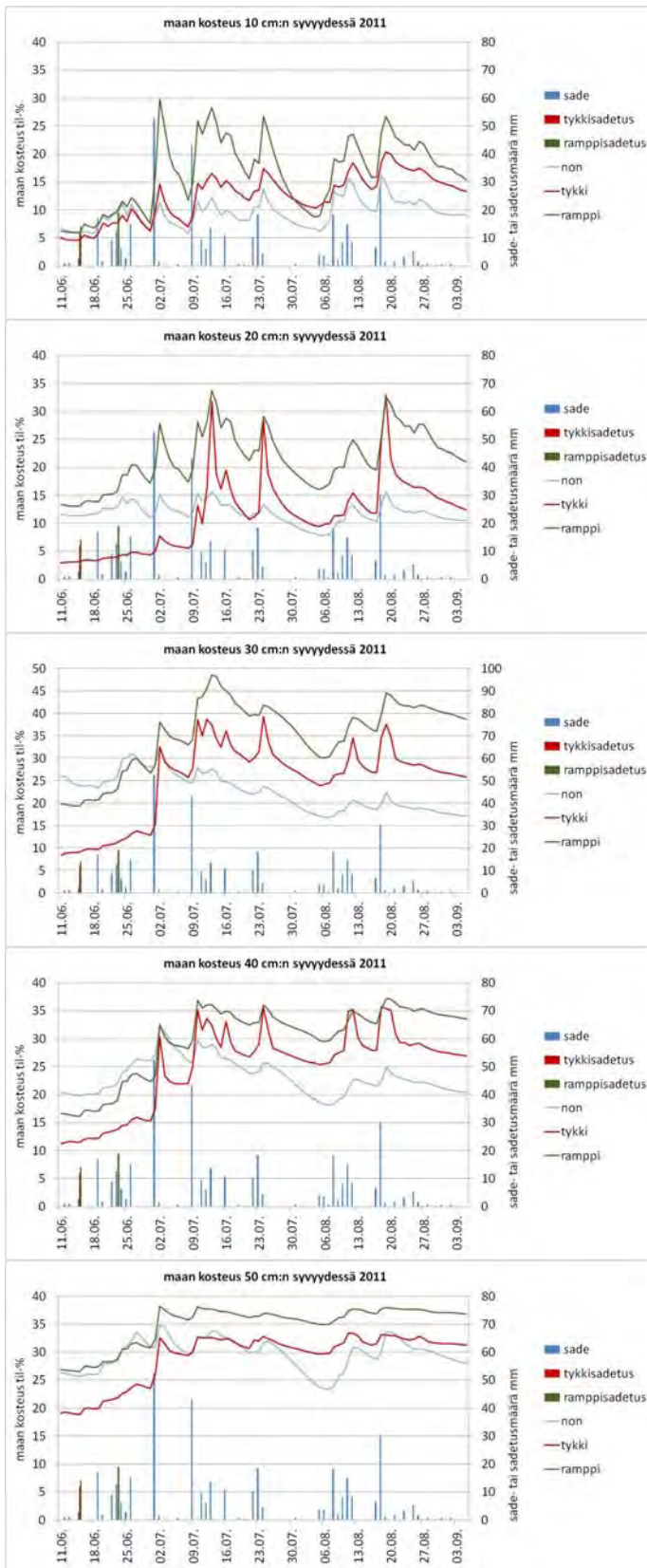
Ramppisadetusalueella pohjavesi oli selvästi muita alueita korkeammalla vuonna 2010, todennäköisesti vain vähän syvemmällä kuin 50 cm. Tämän voi päätellä siitä, että maa oli 50 cm:n syvyydessä lähes vedellä kyllästetty (kosteus yli 45 til-%) koko kasvukauden ajan. Yksi ramppisadetusalueella ollut koeruutu olikin niin pahasti veden kyllästämä, että se jouduttiin poikkeavana jättämään pois tulosten käsittelystä.

Kastelumenetelmät eivät aiheuttaneet eroja maan kosteustilassa vaan kosteuden muutokset olivat kummassakin samanlaisia; sama vesimäärä kostutti maata samalla tavalla (kuvat 3 ja 4). Vuonna 2011 ramppisadetusalue sai yhden kastelukerran (19 mm) enemmän kuin tykki-, mikä kostutti maata hetkellisesti. Sen jälkeen alkoivat runsaat sateet ja kastelulla ei ollut enää merkitystä.

Tutkimuskautena 10.6.–26.9.2010 luonnonsateen määrä oli 254 mm. Erityisesti loppukesällä luontainen sadanta riitti tyydyttämään perunan vedentarpeen myös sadettamattomalla koealalla. 11.6.–5.9.2011 satoi 353 mm. Pitkiä kuivia kausia ei ollut kumpanakaan vuonna. Vuoden 2010 loppukesä ja varsinkaan vuosi 2011 eivät olleet otollisia tuomaan esille kastelun vaikutuksia.



Kuva 3. Maan kosteudet 10–50 cm:n syvyydessä 10.6–26.9.2010.



Kuva 4. Maan kosteudet 10–50 cm:n syvyydessä 11.6–5.9.2011.

3.1.2 Maan ravinnetila

Sadetuksen vaikutusta maan ravinnetilaan tarkasteltiin vertaamalla ravinnepitoisuuden muutoksia keväästä syksyyn. Tarkastelu tehtiin vain vuonna 2010. Kevään näytteet otettiin ennen istutusta ja syksyn näytteet heti noston jälkeen (taulukko 1). Ravinnepitoisuudet olivat yleensä pienentyneet keväästä syksyyn. Maasta oli siis kasvukauden aikana hävinnyt enemmän ravinteita kuin lannoitteena oli annettu; ravinteita oli siirtynyt satoon, ja märkyyden takia todennäköisesti myös huuhtoutunut ja typen osalta vapautunut kaasuna ilmaan. Koejäsenten välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja kaliumin ja liukoisen typen pitoisuuksien muutoksissa (taulukko 1). Kalium ja liukoinen typi ovat helposti huuhtoutuvia ravinteita. On oletettavaa, että runsaiden luontaisten sateiden ja annetun sadetuksen takia nämä ravinteet olivat huuhtoutuneet. Maan ravinnetulokset ovat vain suuntaa antavia.

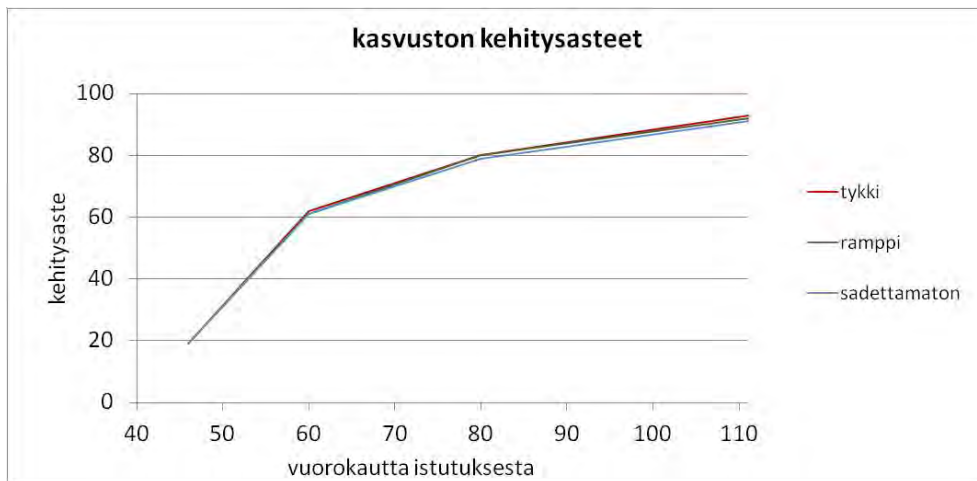
Taulukko 1. Maan ravinnepitoisuuksien muutokset keväästä syksyyn eri kastelumenetelmissä vuonna 2010. Miinusmerkkinen luku tarkoittaa, että ravinnepitoisuus on pienentynyt kasvukauden aikana. Taulukossa on esitetty myös tilastomatemattinen p-arvo, joka kertoo riskin johtopäätökselle, että tulokset eri kastelumenetelmien välillä eroavat toisistaan. Ero katsotaan merkitseväksi, jos riski on alle 5 % ($P < 0,05$). Taulukossa on esitetty p-arvo testille, jossa on verrattu kaikkia kastelumenetelmiä toisiinsa.

		sadettamaton	ramppi	tykki	p-arvo
JI	10*mS/cm	-0,9	-0,5	-2,2	0,68
pH		-0,2	0,0	0,2	0,15
Ca	mg/l	-368	-273	-238	0,57
K	mg/l	1	43	-13	0,00
Mg	mg/l	-20	-28	-25	0,98
P	mg/l	-3,4	-0,2	-2,1	0,43
Cu	mg/l	-2,1	-0,4	-0,8	0,08
Mn		-3	-10	-20	0,30
Zn	mg/l	-0,5	-0,2	0,3	0,20
Na	mg/l	0,7	-1,8	-6,0	0,32
S	mg/l	-27	-63	-167	0,73
Ca/Mg		-1,2	-0,6	-0,4	0,47
Liuk.N	mg/l	-9	-4	-1	0,02
org.aines	%-ka	0,13	0,40	0,08	0,86

3.2 Sadetuksen vaikutus perunan kasvuston kehitykseen, satoon ja laatuun

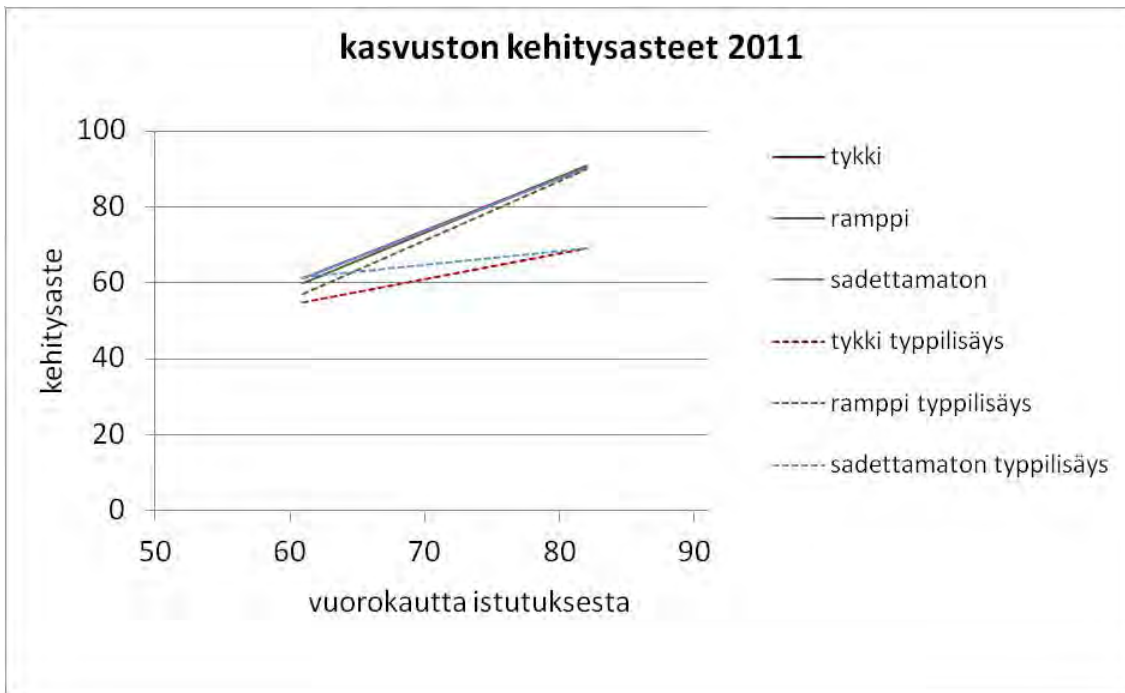
3.2.1 Vaikutukset kasvuston kehitykseen

Perunan istutusajankohtien välillä oli kahden viikon ero vuosina 2010 ja 2011, joten perunak kasvuston kehitystä tarkasteltiin sen mukaan, montako vuorokautta oli kulunut istutuksesta. Kun tarkasteltiin samalla tavalla lannoitettujen ruutujen kehitysasteita tai kasvuston korkeutta, kasvustot kehittyivät hyvin samalla tavalla riippumatta siitä, oliko niitä sadetettu jommallakummalla menetelmällä vai ei (kuva 5).



Kuva 5. Perunak kasvuston kehitysasteet kasvukausien 2010 ja 2011 keskiarvoina eri sadetusmenetelmissä.

Vuonna 2011 jokaisella koealueella oli mukana myös kaksi ruutua, jotka saivat lisätyppilannoitusta, kun istutuksesta oli kulunut 61 vuorokautta. Typpilisä viivästytti kasvuston tuleentumista merkitsevästi ($p=0,02$) lukuun ottamatta ramppisadetuksen saaneita ruutuja (Kuva 6). Ramppisadetusruutujen erilaisuus johtunee siitä, että ne olivat muita ruutuja kosteampia (kuvat 3 ja 4). On todennäköistä, että ramppisadetusruuduissa lisätyppiä on huuhtoutunut tai haihtunut ilmakehään, ja kasvustolla on ollut vähemmän typpiä käytettävissään kuin muissa typpilisäyksen saaneissa ruuduissa.

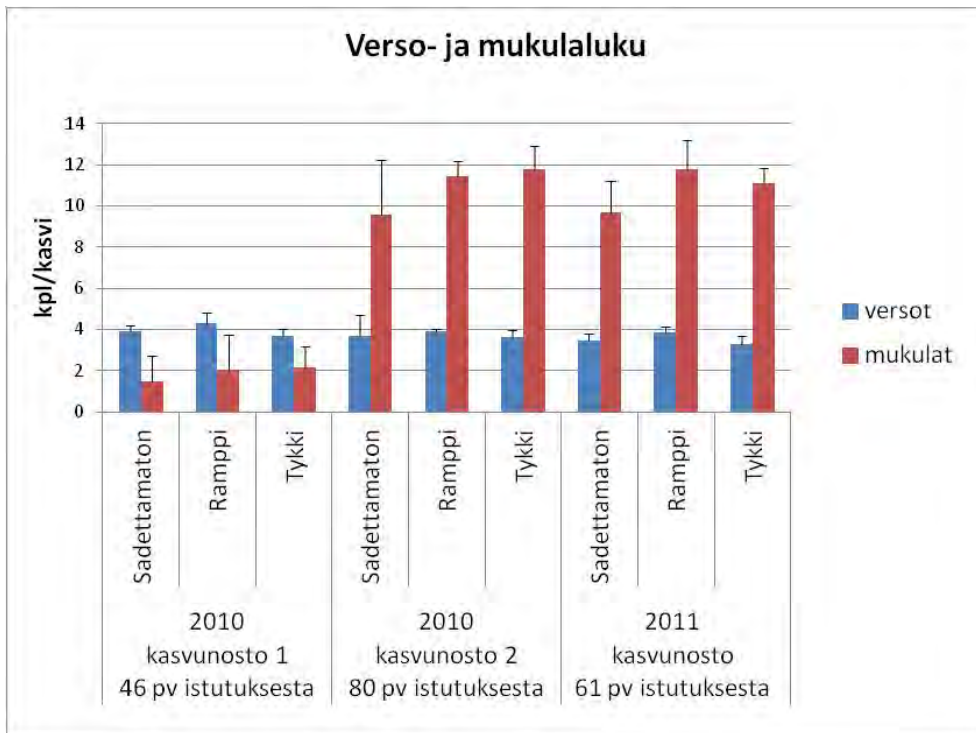


Kuva 6. Kasvuston kehitysasteet vuonna 2011 normaalilannoituksen ja typpilisäyksen saaneissa ruuduissa.

Perunalle tehtiin kaksi kasvunostoa vuonna 2010 ja yksi vuonna 2011. Koska ne tehtiin eri kasvuvaiheissa, jokaiselle nostokerralle tehtiin erillinen tilastollinen testaus. Kasvunostot tehtiin vain ruuduille, jotka eivät olleet saaneet lisätyppiä.

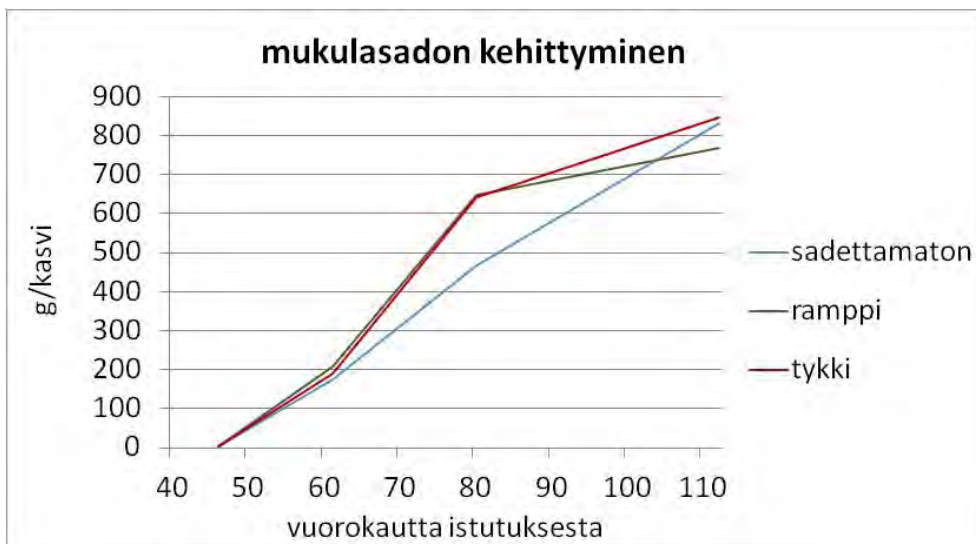
Se, oliko sadetettu vai ei, ei vaikuttanut versojen lukumäärään kasvia kohti. Kuitenkin kummankin vuoden ensimmäisissä kasvunostoissa ramppisadetetuilla ruuduilla oli enemmän versoja kuin tykkisadetetuilla (2010 $p=0,04$ ja 2011 $p=0,03$). Toisessa kasvunostossa (joka tehtiin vain vuonna 2010) tätä eroa ei enää ollut. Ero ensimmäisissä kasvunostoissa saattaa johtua siitä, että ramppiruudut olivat kumpanakin vuonna luonnostaan muita mämpiä.

Sadetus lisäsi mukuloiden lukumäärää kasvia kohti vuonna 2011 ($p=0,05$), erityisesti ramppisadetus ($p=0,04$). Vuonna 2010 suuret hajonnat aiheuttivat sen, ettei tilastollisia eroja syntynyt (Kuva 7).



Kuva 7. Verso- ja mukulaluvut eri kasvunostojen yhteydessä vuosina 2010 ja 2011. Määritykset tehtiin vain ruuduista, jotka eivät olleet saaneet lisätyppeä. Virhepalkki kuvaa lukumäärien keskihajontaa eri sadetusmenetelmissä.

Kasvukauden alun kuivempina jaksoina sadettujen ruutujen mukulasato kehittyi nopeammin kuin sadettamattomien ($p=0,03$). Perunan nostoon mennessä kasvukauden lopun runsaat sateet olivat tasoittaneet erot sadon määrässä (kuva 8).



Kuva 8. Mukulasadon kehittyminen (g/kasvi) vuosina 2010 ja 2011 ensimmäisestä kasvunostosta sadonkorjuuseen.

Versojen ravinnemäärityksillä haluttiin selvittää, vaikuttavatko sadetusmenetelmät tai -määrät kasvin ravinteiden ottoon tai kulkeutumiseen. Versojen ravinnepitoisuuksissa oli muutamia tilastollisesti merkitseviä eroja sadetusmenetelmien välillä, mutta tulokset olivat liian ristiriitaisia johtopäätösten tekemiseksi. Mukuloiden ravinnepitoisuudet määritettiin vain vuoden 2010 toisen kasvunoston yhteydessä (80 pv istutuksesta). Typeä oli merkitsevästi enemmän sadettamattomissa mukuloissa kuin tykki- tai ramppikastelun saaneissa mukuloissa, kun kaikkia sadetusmenetelmiä verrattiin tilastotestillä keskenään (taulukko 2). Kun testattiin pelkästään sitä, onko sadetuksella ylipäättään vaikutusta, saatiin useampia eroja; kaliumia

oli enemmän sadettamattomissa mukuloissa kuin ramppisadetetuissa ($p=0,03$), ja rikkiä oli enemmän sadettamattomissa mukuloissa kuin tykkisadetetuissa ($p=0,05$). Tulokset viittaavat siihen, että sadetus saattaa pienentää mukuloiden ravinnepitoisuuksia ainakin niiden ravinteiden osalta, jotka liikkuvat maassa helposti veden mukana. Tässä tutkimuksessa yhteyttä maan ravinnetilan ja mukuloiden ravinnepitoisuuksien välillä ei voitu osoittaa.

Taulukko 2. Mukuloiden ravinnepitoisuudet (g/kg kuiva-ainetta) vuoden 2010 jälkimmäisessä kasvunostossa eri kastelumenetelmissä. Taulukossa on esitetty p-arvo testille, jossa on verrattu kaikkia kastelumenetelmiä toisiinsa. Tämän lisäksi testattiin kaikkia menetelmiä pareittain, ja lisäksi sitä, oliko kastelulla ylipäätään merkitystä. Mikäli nämä testit osoittivat merkitseviä eroja, niistä on kerrottu tekstissä.

	ravinne	sadettamaton	ramppi	tykki	p-arvo
2010 Kasvunosto 2	Ca	0,3	0,3	0,3	0,99
	K	31,5	27,8	28,6	0,07
	Mg	1,2	1,2	1,2	0,99
	S	1,8	1,7	1,6	0,11
	N	15,8	11,9	12,8	0,004

Kasvunostoissa ei tullut esille eroja tautien määrässä kastelumenetelmien välillä. Taudit havainnoitiin kumpanakin vuonna ensimmäisten kasvunostojen yhteydessä.

3.2.2 Vaikutukset perunan satoon ja laatuun

Tässä kaksivuotisessa kokeessa sadetuksella ei ollut vaikutusta sadon määrään, tarkasteltiinpa kokonais-satoa, kaupakelpoista satoa tai kuiva-ainesatoa (taulukko 3). Tämä todennäköisesti johtui siitä, että vettä oli luontaisestikin riittävästi, eikä sadettamattomallakaan alueella mukulapesä kuivunut liikaa (Kuvat 3 ja 4).

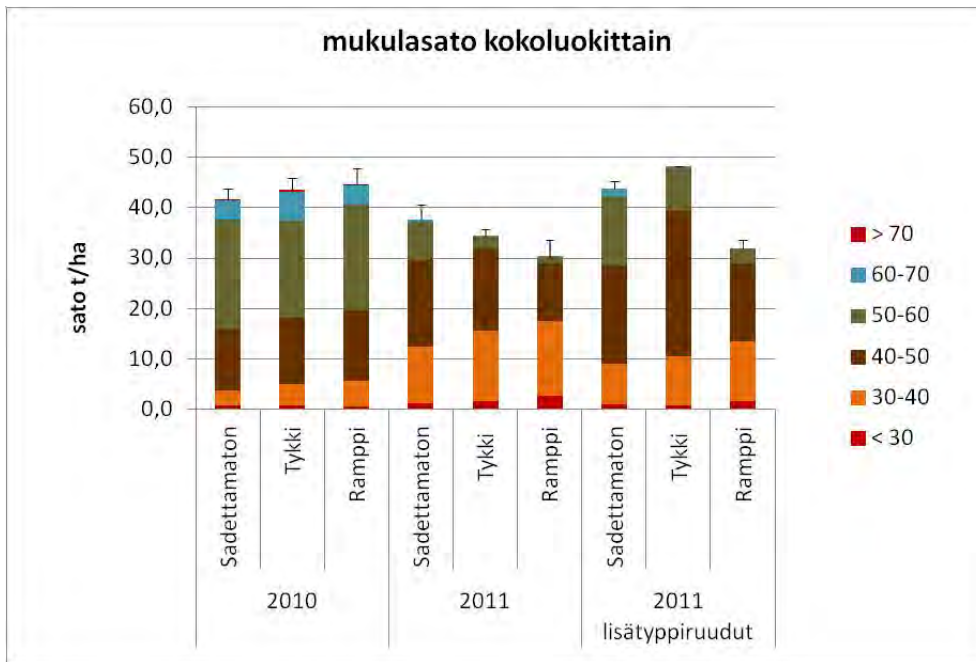
Sadetusmenetelmien välillä oli kuitenkin muutamia merkitseviä eroja. Sadettamattomissa ruuduissa oli muita enemmän 50–60 mm:n kokoluokan perunoita ($p=0,001$) ja muita vähemmän pieniä (30–40 mm ja <30 mm) perunoita ($p=0,0001$ ja $p=0,01$). (Kuva 9).

Tykkisadetusruutujen tärkkelyspitoisuus oli hieman suurempi kuin sadettamattomien ($p=0,03$). Tärkkelyssadossa ei kuitenkaan ollut eroja (taulukko 3). Tykkisadetusruuduissa myös mukuloiden kalsiumpitoisuus oli suurempi kuin sadettamattomissa ($p=0,01$). Ramppisadetusruudut eivät kuitenkaan eronneet sadettamattomista tärkkelyksen eivätkä kalsiumpitoisuuden suhteen.

Sadetus lisäsi terveiden mukuloiden osuutta sadossa ($p=0,05$). Seittirupisten mukuloiden osuus oli sadettamattomissa ruuduissa selvästi suurempi kuin typpi- tai ramppisadetusruuduissa ($p=0,02$ ja $p=0,01$). Muuten sadon ulkoisessa laadussa ei ollut eroa sadetusmenetelmien välillä, kuten ei keittolaadussa eikä raakatummumisessakaan. Tykkisadetusruutujen mukuloista 0,5 % oli kärsinyt liiallisen kosteuden vuoksi hapenpuutteesta, kun taas muissa ruuduissa niitä ei ollut lainkaan. Tällä kuitenkaan ei ole käytännön merkitystä. Kokeiden perunat olivat ulkoisen laadun analyysin mukaan hyvälaatuisia, taudeista ainoastaan seittiruven määrän ylittäessä 10 % havainnointirajan.

Taulukko 3. Sadon määrä ja laatu eri kastelumenetelmissä vuosien 2010 ja 2011 keskiarvoina. Vuodelta 2011 mukana vain ”perusruudut” (ei lisälannoitusruutuja). Taulukossa on esitetty p-arvo testille, jossa on verrattu kaikkia kastelumenetelmiä keskenään. Tämän lisäksi testattiin kaikkia menetelmiä pareittain, ja lisäksi sitä, oliko kastelulla ylipäätään merkitystä. Mikäli nämä testit osoittivat merkitseviä eroja, niistä on kerrottu tekstissä.

	muuttuja	yksikkö	sadettamaton	ramppi	tykki	p-arvo
SATO	kokonaissato	t/ha	39,7	37,0	38,9	0,32
	sato 30-60 mm	t/ha	36,4	33,2	34,7	0,26
	kuiva-ainesato	t/ha	7,0	6,6	6,9	0,36
	yksilösato	kg/kasvi	0,8	0,8	0,8	0,12
KOKO-LAJITTELU	< 30	%	2,5	5,5	3,3	0,01
	30-40	%	18,5	31,0	25,3	0,00
	40-50	%	37,5	34,0	38,7	0,17
	50-60	%	35,9	25,1	25,7	<.0001
	60-70	%	5,4	4,3	6,6	0,31
	> 70	%	0,3	0,2	0,4	0,73
TÄRKKELYS	tärkkelys	%	12,6	13,0	13,2	0,08
	tärkkelyssato	kg/ha	5012	4784	5135	0,36
ULKOINEN LAATU; TAUDIT	terveet	%	72	82	81	0,13
	rupi >10 %	%	1,1	1,3	1,3	0,96
	mukularutto	%	0	0	0	
	muut sienitaudit	%	0	0	0,3	0,12
	bakteerimädät	%	0	0	0,2	0,41
	seittirupi > 10 %	%	21,8	7,4	9,1	0,02
ULKOINEN LAATU; MEKAANISET	pintaviat	%	3,5	5,1	4,2	0,43
	maltoviat	%	0,1	0,0	0,2	0,50
ULKOINEN LAATU; FYSIOLOGISET YM. VIAT	nestejännityshalkeamat	%	0	0	0	
	korkkeutuneet halkeamat	%	0,2	0,4	0,2	0,88
	ontot, keskeltä ruskeat	%	0	0	0	
	epämuotoiset	%	0,6	2,2	1,4	0,34
	mallon värivirheet	%	0	0	0,6	0,13
	vihertyneet	%	1,1	1,3	0,6	0,58
	paleltuneet	%	0	0	0	
	hukkuneet	%	0	0	0,5	0,01
KEITTOLAATU	ulkonäkö		9	9	9	
	rikkikiehuminen		7,6	8,0	8,2	0,36
	väri		5	5	5	
	jauhoisuus		6,4	5,9	5,8	0,48
	maku		6,8	6,7	6,8	1,00
	jälkitummuminen		9,0	8,9	9,0	0,48
	raakatummuminen		8,9	9,0	9,0	0,16
MUKULARAVINTEET KUIVA-AINEESSA	kuiva-aine	%	17,7	17,7	17,7	0,99
	B	mg/kg	7,4	7,3	7,2	0,71
	Ca	g/kg	0,2	0,2	0,3	0,02
	Cu	mg/kg	7,1	6,1	5,8	0,42
	Fe	mg/kg	35,4	30,2	40,0	0,02
	K	g/kg	27,0	26,6	26,8	0,83
	Mg	g/kg	1,2	1,2	1,3	0,21
	Mn	mg/kg	6,2	5,8	6,0	0,87
	Na	g/kg	0,0	0,0	0,1	0,10
	P	g/kg	1,7	2,0	1,9	0,44
	S	g/kg	1,5	1,4	1,5	0,31
	Zn	mg/kg	17,6	14,4	14,7	0,31
	N	g/kg	11,9	11,7	11,1	0,59



Kuva 9. Mukulasato kokoluokittain. Virhepalkki kuvaa kokonaissatojen keskihajontaa eri sadetusmenetelmissä.

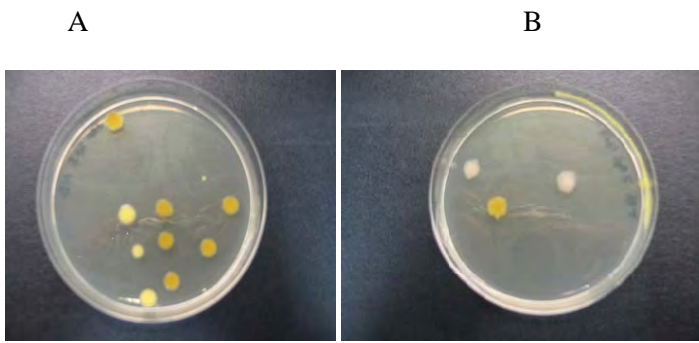
Vuonna 2011 jokaisella koealueella oli mukana myös kaksi ruutua, jotka saivat lisätyypilannoitusta. Lisätyppi lisäsi merkittävästi sadon määrää ja myös kooltaan yli 40 mm mukuloiden määrää. Myös tärkkelysprosentti ja tärkkelyssato kasvoivat. Typpilisä vähensi pintavikoja, mutta lisäsi onttojen tai keskeltä ruskeiden mukuloiden määrää. Typpilisan antaminen kastelluilla perunaviljelmillä edellyttää enemmän tutkimusta vaikutusten selvittämiseksi.

3.3 Sadetuksen kustannukset

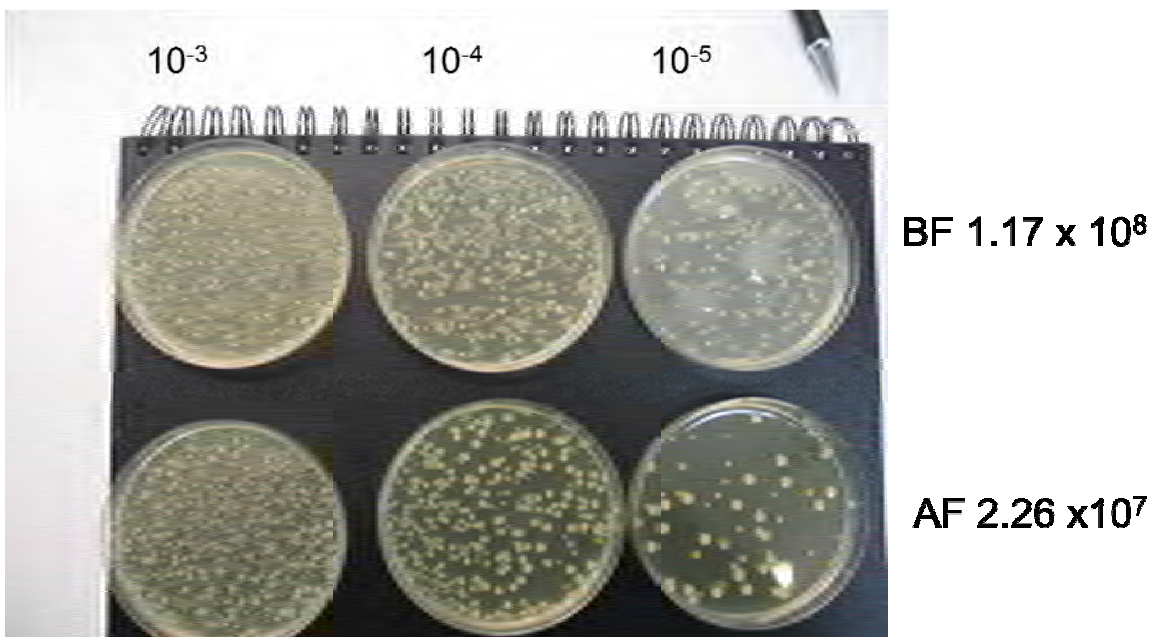
Sadetuksen taloudelliseen tarkasteluun on huomioitava välittömät muuttuvat kustannukset ja lisäksi koneiden ja laitteistojen kiinteät kustannukset sekä työvoiman varallaolosta aiheutuvat kustannukset. Hankkeen sadetuskokeissa sadetuksesta ei saatu esille merkittävää tuloksellista hyötyä runsaan sadannan vuoksi. Sadetuskertoja oli vuonna 2010 neljä ja vuonna 2011 yksi (tykki) tai kaksi (ramppi). Näinä vuosina suurin osa sadetuksen kuluista muodostuikin kiinteistä kuluista. Hankkeen tulosten perusteella on vaikea esittää taloudellista tarkastelua yleisellä tasolla, sillä käytetty työaika oli uudenaikaiseen teknologiaan perehtymistä (ramppikastelu) normaalin sadetustoimintojen lisäksi. Sadetusmenetelmien kustannuksia on laskettu tarkemmin esimerkiksi Perunan kastelumenetelmien vertailu -raportissa (Myllys ym. 2009).

3.4 Veden puhdistus

Tehdyt alustavat kokeet osoittavat, että bakteerien määrä vähenee veden kulkiessa Wallenius AOT -puhdistuslaitteiston läpi (kuvat 10 ja 11). Bakteerien määrän väheneminen huomattiin kaikissa näytteissä: vesijohtovedessä, jokivedessä ja vesinäytteissä, joihin oli lisätty eri määriä *Dickeya* spp -bakteereja.

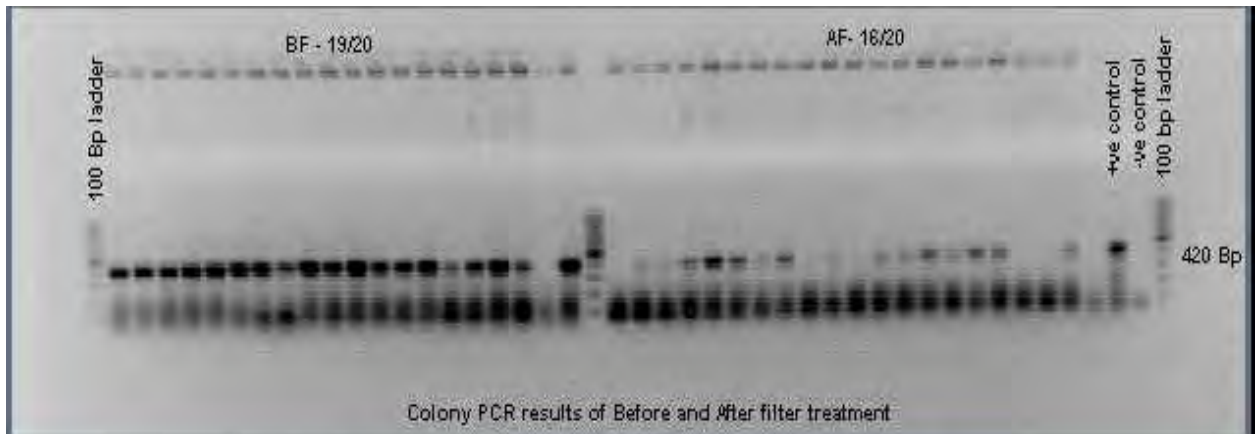


Kuva 10. Bakteripesäkkeiden määrä vesijohtovedessä ennen (A) ja jälkeen (B) AOT vedenpuhdistuslaitteistoa.



Kuva 11. AOT -vedenpuhdistuslaitteiston vaikutus, kun vedessä on suuri määrä bakteereja. Tankkiin, jossa oli 1000 l vesijohtovettä, lisättiin, 1,5 l yön yli kasvatettua *Dickeya* spp. (Ech 1A) -bakteerikasvustoa, jolloin kokonaisbakteerimäärä oli n. 10^8 pmy/ml. Kuvassa on bakteripesäkkeiden määrä vesijohtovedessä ennen (BF) ja jälkeen (AF) AOT -vedenpuhdistuslaitteistoa

Näytteistä joihin oli lisätty *Dickeya* spp. (Ech 1A) -bakteerikasvustoa karakterisoitiin 20 satunnaisesti valittua pesäkkettä (kuva 12). Saaduista pesäkkeistä 80–95 % oli *Dickeya* spp. -bakteeria.



Kuva 12. Bakteeripesäkkeiden karakterisointi PCR-menetelmällä.

Bakteerien määrä näytteissä väheni edelleen kun näyte ajettiin uudelleen puhdistuslaitteiston läpi. Esimerkiksi näytteessä, jossa ensimmäisen ajon bakteeripitoisuus oli 3.4×10^4 pmy/ml, toisessa ajossa se väheni 3×10^3 pmy/ml ja kolmannessa ajossa 1.1×10^3 pmy/ml.

Jokivedestä mitattiin yleisesti luonnonvesissä esiintyvien koliformisten ja *Clostridium perfringens* -bakteerien pitoisuudet. Koliformisten bakteerien pitoisuus jokivedessä oli 210 mpn/100 ml. Näytettä säilytettiin yön yli $+4^\circ\text{C}$:ssa, jolloin pitoisuus oli noussut 400 mpn/100 ml. AOT vedenpuhdistuslaitteiston jälkeen pitoisuus oli pudonnut 13 mpn/100ml. *Clostridium perfringens* -bakteerin pitoisuus Ängesleväjoen vedessä oli alle mittausrajan.

Nämä alustavat kokeet osoittavat, että bakteereiden määrä vähenee veden kulkiessa Wallenius AOT -puhdistuslaitteiston läpi. Laitteisto vaikuttaisi tehokkaalta puhdistamaan *Dickeya* spp. -bakteeria kaste luun käytettävästä vedestä. Suomessa ja Skotlannissa tehtyjen tutkimusten mukaan *Dickeya* spp. -bakteerin pitoisuus jokivesissä on yleensä hyvin matala (≤ 1 pmy/ml). Korkea bakteeripitoisuus koesarjassa ($10^6 - 10^8$ pmy/ml) ei ole verrannollinen luonnossa löytyviin pitoisuuksiin, vaan korkeat pitoisuudet valittiin helpottamaan koejärjestelyä. Näytteen kierrättäminen laitteistossa useamman kerran vähentää bakteerien määrää edelleen. Alustavissa tuloksissa ei havaittu merkittävää eroa, kun laitteistoa käytettiin eri virtausnopeuksilla.

3.5 Jokiveden laatu

Vuonna 2010 otettiin jokivesinäytteet kaksi kertaa Temmesjoesta, Tyrnävänjoesta, Ängeslevänjoesta, Leppiojasta ja kolme kertaa Lestijoesta. Vähintään yhdestä Temmesjoen, Leppiojan ja Lestijoen vesinäytteestä löytyi *Dickeya* spp -bakteeria. Vuonna 2011 otettiin kaksi näytettä Lestijoesta ja yksi Lestijokeen laskevasta ojasta. Kaikista näytteistä löytyi *Dickeya* spp. -bakteeria. Saadut tulokset ovat alustavia ja vaativat runsaasti lisäselvitystä.

4 Yhteenveto

Perunan sadetuksen vaikutuksia perunakasvuston kehitykseen, satoon ja sadon laatuun selvitettiin kenttäkokeiden avulla vuosina 2010 – 2011. Perunakasvustot kehittivät samalla tavalla sadetusmenetelmästä tai sadetuksesta riippumatta. Versojen lukumäärään sadetuksella ei ollut vaikutusta, mutta mukulamäärää se lisäsi. Sadetus nopeutti mukulasadon kehitystä kasvukauden puolivälissä, mutta kasvukauden lopussa erot tasoittuivat, eikä satotasoiissa eroja enää ollut. Sadetuksella ei tässä selvityksessä ollut vaikutusta sadon eikä tärkkelyssadon määrään. Sadetus lisäsi terveiden mukuloiden määrää sadossa; seittirupea oli sadettamattomissa ruuduissa sadetettuja huomattavasti enemmän.

Vuonna 2011 annetulla tyypillisäyksellä oli vaikutuksia kasvuston kehitykseen. Tyypillisäys hidasti kasvuston tuleentumista, lukuun ottamatta ramppisadetusruutuja, joilla märkyys ja huuhtoutuminen lienevät pienentäneet kasvuston typensaantia. Kuitenkin tyypillisäys nosti lopullisen sadon määrää, tärkkelysprosenttia ja tärkkelyssatoa. Tyypillisäys lisäsi sadossa keskeltä onttojen tai ruskettuneiden mukuloiden määrää. Tyypillisäyksen vaikutukset vaativat lisätutkimusta.

Oikea-aikaisella ja -määräisellä sadetuksella pystytään tehostamaan kasvin ravinteiden ottoa maaperästä. Kenttäkokeissa seurattiin molempina kasvukausina sadetuksen vaikutuksia maan kosteuteen ja ravinnetilaan. Sadetetut alueet olivat yleensä koko kasvukauden ajan kaikissa syvyyksissä kosteampia kuin sadettamaton alue. Maan kosteudessa ei ollut sadetusmenetelmien välillä eroja vaan kumpikin menetelmä kosteutti maata samalla tavalla. Kumpanakin kasvukautena luontainen sadanta oli riittävä perunan vedentarpeen tyydyttämiseksi ja etenkin vuosi 2011 oli runsassateinen. Sadetuksella saatavan hyödyn vaikutuksia ei saatu hankkeen toteutusvuosina esille suuren luontaisen sadannan vuoksi.

Yleensä Suomessa sadetukseen käytettävän veden laatu on hyvä. Viime vuosina joidenkin bakteeritautien lisääntyminen perunantuotannossa ja tietoisuus perunalle haitallisten bakteerien leviämisestä veden mukana on lisännyt mielenkiintoa vedenpuhdistusmenetelmiin. Tässä hankkeessa testattiin vedenpuhdistuslaitteistoa ja sen kykyä puhdistaa tietyillä bakteereilla saastunutta kasteluvettä. Ensimmäisessä kokeessa tutkittiin Wallenius AOT -vedenpuhdistuslaitteiston kykyä puhdistaa vettä perunalle tyvimätää aiheuttavista *Dickeya* spp. (Ech 1A) -bakteereista. Bakteerien määrän väheneminen huomattiin kaikissa näytteissä: vesijohtovedessä ja vesinäytteissä, joihin oli lisätty eri määriä *Dickeya* spp -bakteereja. Toisessa kokeessa testattiin AOT -laitteiston kykyä puhdistaa vettä ihmiselle haitallisista bakteereista. Tyrnävän Ängeslevänjoesta otetuista vesinäytteistä mitattiin luontaisesti jokivesissä olevien koliformisten ja *Clostridium perfringens* -bakteerien pitoisuudet. Vedenpuhdistuslaitteisto puhdisti 97 % vedessä olleista koliformisista bakteereista. *Clostridium perfringens* -bakteerin pitoisuus Ängesleväjoen vedessä oli alle mittausrajan.

Perunan sadetuksen hallinta -hankkeen tavoitteena oli antaa lisätietoa perunan sadetuksen suunnitteluun sekä kehittää perunan sadetusta ja sadetusjärjestelmien käyttöä. Hankkeen toteuttaminen vuosina 2010 – 2011 ajoittui kasvukausiin, jolloin myös luontainen sadanta oli runsasta, eikä sadetuksen tai sadetusajankohdan ja vesimäärän määrittämiseen käytetyn uuden teknologian hyötyjä saatu toivotusti esille. Lisäksi haluttiin selvittää sadetusveden laatua ja puhdistusmenetelmien toimivuutta perunalle haitallisten bakteerien puhdistuksessa. Tulokset osoittavat, että käytetty puhdistuslaitteisto vähensi sekä ihmiselle että perunalle haitallisten bakteerien määrää vedessä. Uuden teknologian mahdollisuudet ja toimivuus sadetusveden puhdistamisessa hyödyntäisivät ennen kaikkea korkealaatuisen tai korkeampien siemenperunaluokkien perunan tuottajia.

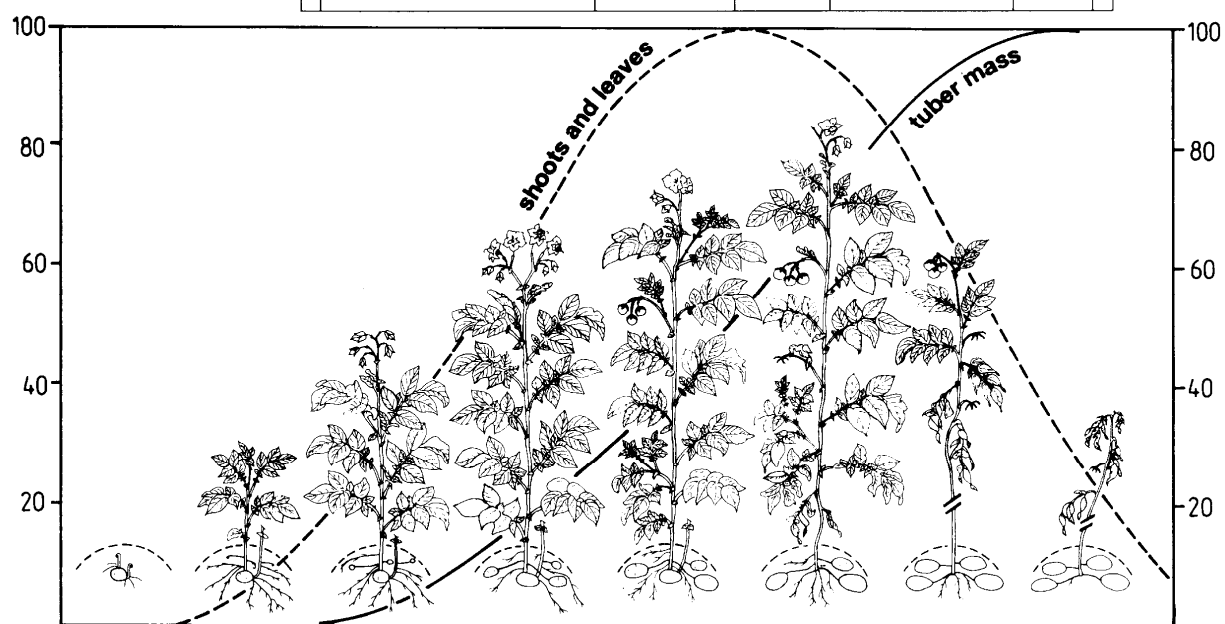
5 Kirjallisuus

- Aura, E. 1997 Perunamaan vesitalous. Tuottava Peruna 24, 2:15–16.
- Degefu, Y., Virtanen, E. & Väyrynen, T 2009. Pre- PCR processes in the molecular detection of blackleg and soft rot erwiniae in seed potatoes. Journal of Phytopathology 157, 370–378.
- Elonen P. 1979 Peltokasvien sadetus. Teoksessa: Sadetusopas. Maatalouskeskusten Liiton julkaisuja 619: Tieto tuottamaan 6: 21–44.
- Forsman K., Linna E., Luoma S. & Virtanen E. 2000. Perunan tihkukastelu –hanke. Tutkimusraportti 2000. Ruukki: MTT Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema. 55 s.
- Forsman K., Luoma S & Virtanen E. 2001. Tihkukastelu lisää perunan satoa ja parantaa sen laatua. Koe-toiminta ja käytäntö 3:10.
- Hack H., Gall, H., Klemke, Th., Klose, R., Meier, U., Strauss, R. & Witzemberger, A. 1993. Phänologische Entwicklungsstadien der Kartoffel. Deut. Pflanzenschutzd., 45 (1): 11–19.
- Kuisma P. 1998 Sadetuskokeista esille saatua. Tuottava peruna 25(2):30-31.
- Kuisma P. 2002. Efficiency of split nitrogen fertilization with adjusted irrigation on potato. Agricultural and food science in Finland. 11:59–74.
- Kuisma P. 2003. Perunan kastelutekniikat ja typpitalous. Teoksessa: Kuisma, P. & Riihiranta, E. (Toim). Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 2002. Perunantutkimuslaitoksen julkaisu 1/2003. Lammi: Perunantutkimuslaitos. s. 43–50.
- Kuisma P. 2004. Vesitalous, seuranta ja säättely. esitelmä Perunantutkimuksen talvipäivillä Ikaalisissa 29.–30.1.2004 Seminaarimoniste. Lammi: Perunantutkimuslaitos 34 s.
- Laurila J., Ahola V., Lehtinen A., Joutsjoki T., Hannukkala A., Rahkonen A. & Pirhonen M. 2008. Characterization of *Dickeya* strains isolated from potato and river water samples in Finland. European Journal of Plant Pathology 122:213–225.
- Maatalouslaskenta 2010, Kastelu avomaalla ja energia, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, 2012
- Myllys M., Virtanen E., Forsman K. & Jauhiainen L. 2009. Perunan kastelumenetelmien vertailu. Maa- ja elintarviketalous 139. Jokioinen: MTT. 58 s.
- Pirhonen M., Hannukkala A. & Degefu Y. 2012 Perunan tyvi- ja märkämätää aiheuttavat bakteerit – leviäminen, säilyminen ja hallintakeinot. Tuottava Peruna 39(3): 10–12.
- van der Wolf J., Speksnijder A., Velvis H., van der Haar J. & van Doorn J. 2007. Why is *Erwinia chrysanthemi* (*Dickeya* sp.) taking over? – The ecology of blackleg pathogen. Teoksessa: Hannukkala A & Segerstedt M (toim.) New and old pathogens of potato in changing climate. Agrifood Research Working papers 142. Proceedings of the EAPR Pathology Section seminar, 2.-6th of July 2007, Hattula, Finland. Jokioinen: MTT s.32.
- Wikman U., Torttila A., Virtanen A. & Kuisma P. 1996. Perunan vesitalous ja sadetus. Perunantutkimuslaitoksen julkaisuja 3/1996. Lammi: Perunantutkimuslaitos 31 s.

<http://www.walleniuswater.com> Viitattu 9.7.2012

The 2-digit decimal code

0 Sprouting			1 Leaf development			5 Inflorescence emergence			6 Flowering			7 Development of fruit			8 Ripening of fruit and seed			9 Senescence								
01	05	09	11	15	19	51	55	59	61	65	69	71	75	79	81	85	89	91	93	95	97					
						Tuber formation																				
						40			43			45			47			48			49			%		



MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI 85

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -verkkójulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

