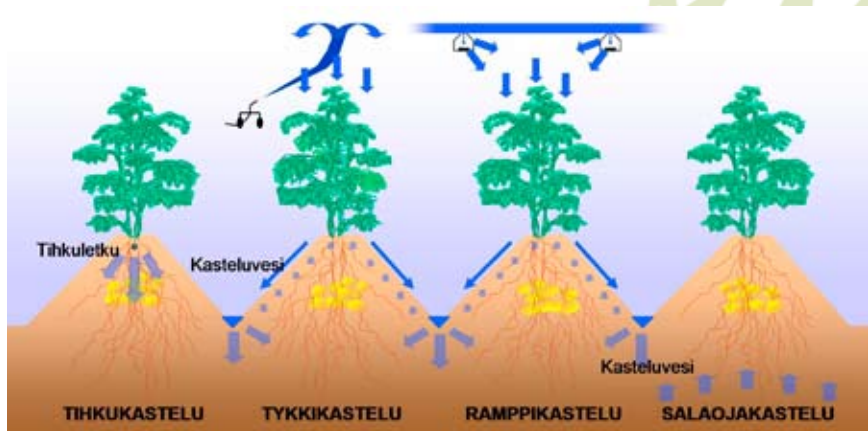


Perunan kastelumenetelmien vertailu

Merja Myllys, Elina Virtanen, Kristian Forsman ja Lauri Jauhiainen



Maa- ja elintarviketalous 139
58 s.

Perunan kastelumenetelmien vertailu

Merja Myllys, Elina Virtanen, Kristian Forsman ja
Lauri Jauhiainen

ISBN 978-952-487-219-5 (Painettu)
ISBN 978-952-487-220-1 (Verkkójulkaisu)
ISSN 1458-5073 (Painettu)
ISSN 1458-5081 (Verkkójulkaisu)
<http://www.mtt.fi/met/pdf/met139.pdf>

Copyright
MTT

Merja Mylly, Elina Virtanen, Kristian Forsman ja
Lauri Jauhiainen

Julkaisija ja kustantaja
MTT, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

MTT, Viestintä ja informaatiopalvelut, 31600 Jokioinen
Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339
sähköposti julkaisut@mtt.fi

Julkaisuvuosi
2009

Kannen kuva
Eemeli Linna
Painopaikka

Tampereen Yliopistopaino – Juvenes Print Oy

Perunan kastelumenetelmien vertailu

Merja Myllys¹⁾, Elina Virtanen²⁾, Kristian Forsman³⁾ ja Lauri Jauhiainen⁴⁾

¹⁾ MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

²⁾ MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Biotekniikka- ja elintarviketutkimus, Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki, etunimi.sukunimi@mtt.fi

³⁾ MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ruukki

⁴⁾ MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Palveluyksikkö, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

Tiivistelmä

Kastelu kuuluu olennaisena osana ammattimaiseen perunanviljelyyn. Perinteisten tykki- ja ramppikastelun vaihtoehtoiksi ovat viime vuosina tulleet tihku- ja salaojakastelu. Näiden neljän kastelumenetelmän vaikutusta maan vesi- ja ravinnetilaa sekä perunan satoon ja laatuun verrattiin käytännön viljelyssä olevilla tiloilla vuosina 2001–2003.

Perinteiset tykki- ja ramppikastelumenetelmät osoittautuivat tutkimuksessa edelleen hyväksi menetelmiksi. Ne kumpikin pitivät maan pintakerrokset kosteampina kuin muut menetelmät, mutta huuhtoivat veden mukana liikkuvia ravinteita enemmän, tykki hieman rankemmin kuin ramppi. Maan alhaisemman kaliumpitoisuuden takia myös mukuloiden kaliumpitoisuudet olivat tykkikastelussa hieman pienempiä kuin muissa menetelmissä.

Salaojakastelussa alapäin tuleva vesi ei kulkeutunut maan pintaan asti, mutta menetelmä takasi muita menetelmiä tasaisemman kosteuden mukulapesän ympärillä. Tämä vähensi huomattavasti rupisuutta muihin menetelmiin verrattuna ja lisäsi siten kauppakelpoisen sadon määrää. Salaojakastelussa maan kalsiumpitoisuus oli alhainen, mikä näkyi myös mukuloiden alhaisena kalsiumpitoisuutena.

Tihkukastelu ei pystynyt pitämään maata riittävän kosteana, ja penkin kosteusvaihtelut olivat rajuja; sade- tai kasteluvesi kostutti tihkukastellun penkin nopeammin kuin muissa menetelmissä, mutta penkki myös kuivui nopeammin. Tihkukastelun etuna on lannoitusmahdollisuus. Sen ansiosta peruna sai tärkeää kalsiumia enemmän kuin muissa menetelmissä.

Tässä tutkimuksessa tilojen käyttämät kastelumäärät olivat kaikilla kastelumenetelmillä liian pieniä (vain kymmeniä mm) verrattuina perunan todelliseen tarpeeseen (100–200 mm). Kastelu lisäsi satoa vain 8–10 % ja tärkkelyspitoisuutta 0,2–0,4 % kastelemattomaan verrattuna. Mallon värivirheitä kastelu kuitenkin vähensi selvästi. Pienten vesimäärien takia kaikki kastelun edut eivät tulleet esille, joten todennäköisesti myös kastelumenetelmien väli-

siä eroja jäi tulematta esille. Kastelumenetelmiä ei voitu asettaa paremmuusjärjestykseen satotason, tärkkelyspitoisuuden, mukulakokojakauman eikä keittolaadun suhteen.

Avainsanat: peruna, kastelumenetelmät, tykkikastelu, ramppikastelu, puomikastelu, tihkukastelu, salaojakastelu, altakastelu, pohjavesikastelu, padotuskastelu, laatu, sato

Comparison of the irrigation methods in the potato crop production

Merja Myllys¹⁾, Elina Virtanen²⁾, Kristian Forsman³⁾ and Lauri Jauhiainen⁴⁾

¹⁾ MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research, FI-31600 Jokioinen, Finland, firstname.lastname@mtt.fi

²⁾ MTT Agrifood Research Finland, Biotechnology and Food Research, Tutkimusasemantie 15, FI-92400 Ruukki, Finland, firstname.lastname@mtt.fi

³⁾ MTT Agrifood Research Finland, Ruukki, Finland

⁴⁾ MTT Agrifood Research Finland, Services Unit, FI-31600 Jokioinen, Finland, firstname.lastname@mtt.fi

Abstract

Irrigation is an elementary part of modern potato production. In addition to the traditional methods sprinkler and boom irrigation, new methods like drip irrigation and subirrigation have been introduced in recent years. The effect of these four methods on the water and nutrient status in the soil, as well as on the yield and quality of the potato crop were compared in on-farm field experiments in 2001–2003.

The traditional sprinkler and irrigation boom methods produced good results. They both kept the water content of the soil surface higher than the other methods. However, they both caused greater nutrient leaching than the other methods, sprinkler method more than the irrigation boom. This diminished the potassium content of the soil, which in turn diminished the potassium content of the tubers.

Concerning the subirrigation method, the irrigation water from the subsurface drains did not reach the soil surface. However, the method guaranteed steady moisture conditions around the tubers. This diminished the scab, and produced a higher marketable yield than the other methods. The calcium content of the soil was low, which resulted in lower calcium content in the tubers.

Drip irrigation did not keep the soil water content at the sufficient level, and the water content varied heavily. Rain or irrigation water moistened the soil faster than in the other methods, but the water also disappeared faster. The advantage of the subirrigation method is the possibility to use liquid fertilisers including e.g. calcium. Due to this, the potato crop got more calcium than in the other methods.

In this study, the amounts of irrigation water used by the farmers in every method (only tens of millimetres) did not meet the actual demand of the potato crop (100–200 mm). Irrigation increased the yield only by 8–10%, and the starch content by 0.2–0.4% compared to the non-irrigated plots. However,

irrigation clearly diminished the discolouring. Due to the insufficient amount of irrigation water, not all benefits of the irrigation could be discovered. Therefore also some differences between the methods may not have been discovered. The methods could not be ranked in the order of superiority concerning the yield, starch content, tuber size, and the cooking quality.

Key words: sprinkler irrigation, irrigation boom, subirrigation, drip irrigation, potato, quality, yield

Alkusanat

Perunan kastelumenetelmien vertailu –hankkeessa vuosina 2001–2003 tutkittiin tykki-, ramppi- (puomi-), tihku- ja salaojakastelun vaikutuksia perunan satoon ja laatuun. Kaikki neljä kastelumenetelmää olivat vertailussa samalla tilalla Pohjois-Pohjanmaalla Tyrnävällä. Lisäksi vertailua toteutettiin maatiloilla Anjalankoskella (ramppikastelu), Kalajoella (ramppikastelu), Pyhäjoella (salaoja- ja tihkukastelu), Himangalla (tykkikastelu) ja Liperissä (tihku- ja tykkikastelu). Kastelumenetelmiä verrattiin toisiinsa eri kasvukausien aikana kastelukentiltä tehdyillä havainnoilla, maa- ja kasvinäytteistä saaduilla analyysituloksilla sekä maan vesitalouden seurantamittauksilla.

Perunan kastelumenetelmien vertailu –hankkeen keskeisenä tavoitteena oli selvittää eri kastelumenetelmien vaikutukset perunantuotannossa. Kasvualustan tasaisen kosteuden ylläpitämiseen tarvitaan maan vesitalouden seuranta suhteutettuna luontaiseen sadantaan. Tämä on lähtökohta myös kastelun ajoittamiselle ja annettaville vesimäärille kastelumenetelmästä huolimatta. Peruna vaatii oikea-aikaisen kastelun. Kastelulla voidaan vaikuttaa mukulalukuun, sadon sisäiseen laatuun ja erityisesti mukulanmuodostukseen. Mukulan lisäkasvuvaiheen aikana riittävällä veden saannilla puolestaan on ratkaiseva merkitys sadon määrään. Oikealla kastelun ajoituksella pystytään siis säätämään mukuloiden määrää, kokoa ja laatua.

Perunan kastelumenetelmien vertailu –hanke toteutettiin TE-keskuksen rahoituksella (EMOTR), ja se oli osana Agropolis Oyj:n, ProAgria Oulun Maaseutokeskuksen ja MTT Ruukin tutkimusaseman 'Ruokaperunan käyttölaadun hallinta' -yhteishanketta. Hankkeessa oli mukana perunantuottajia sekä useita muita yhteistyötahoja mm. A-lab, R. Laaksonen Oy, Kemira GrowHow, Daily Drip ja Pohjoisen Kantaperuna Oy. Hankkeen kenttämittauksista ja havaintojen teosta vastasivat Eemeli Linna ja Juha Karvonen. Tapio Salo antoi arvokkaita kommentteja käsikirjoitukseen. Kiitos kaikille hankkeessa mukana olleille.

Joulukuussa 2008

Tekijät

Sisällysluettelo

1 Johdanto	10
1.1 Kastelun merkitys perunalle	10
1.2 Perunan kastelumenetelmät	12
1.2.1 Tykkikastelu	13
1.2.1.1 Menetelmä	13
1.2.1.2 Työnmenekki ja kustannukset	14
1.2.2 Ramppikastelu	14
1.2.2.1 Menetelmä	14
1.2.2.2 Työnmenekki ja kustannukset	15
1.2.3 Tihkukastelu	15
1.2.3.1 Menetelmä	15
1.2.3.2 Työnmenekki ja kustannukset	18
1.2.4 Salaojakastelu	18
1.2.4.1 Menetelmä	18
1.2.4.2 Työnmenekki ja kustannukset	21
1.3 Maan vesitalous eri kastelumenetelmissä	21
1.4 Kastelun toteutus	24
2 Aineisto ja menetelmät	27
2.1 Koekentät	27
2.2 Mittaukset ja analyysit	30
2.2.1 Maan vesitalous	30
2.2.1.1 Tensiometrimittaukset	30
2.2.1.2 Maaprofiilin kosteusmittaukset	30
2.2.1.3 Maan kosteuden jatkuva seuranta	31
2.2.2 Maan ravinteet	31
2.2.3 Perunan sato ja laatu	31
2.3 Tilastolliset menetelmät	32

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	33
3.1 Kastelumenetelmän vaikutus maan vesitalouteen	33
3.1.1 Tensiometrimittaukset.....	33
3.1.2 Maaprofiilin kosteusmittaukset	34
3.1.3 Maan kosteuden jatkuva seuranta	41
3.2 Kastelumenetelmän vaikutus maan ravinteisiin	42
3.3 Kastelumenetelmän vaikutus perunan satoon ja laatuun.....	45
3.3.1 Sadon määrä	46
3.3.2 Sadon laatu	47
4 Yhteenveto	52
5 Johtopäätökset.....	54
6 Kirjallisuus.....	56

1 Johdanto

1.1 Kastelun merkitys perunalle

Peruna tarvitsee vettä sadonmuodostukseen muita kasveja enemmän. Yhden satokilon tuottamiseen tarvitaan 100–200 litraa (Aura 1997), mikä tarkoittaa 350–500 mm kasvukauden aikana. Luontainen sadanta on noin 250 mm, joten sadannan vajuus eli kastelutarve on 100–200 mm. Kastelutarvetta lisää vielä se, että perunamaiden vapaasta maanpinnasta haihtuu vettä runsaasti kesä-elokuun aikana. Peruna on lisäksi huono vedenottaja, sillä sen suhteellisen hento juuristo ei tunkeudu syvälle (Porter ja Opena 1999). Lisäksi perunaa viljellään yleensä karkeilla kivennäismailla (Ht–KHt), joiden vedenpidätyskyky on huono (5–25 % tilavuudesta). Perunamaiden optimikosteus on 85 % hyötykapasiteetista. Kastelutarve on ilmeinen, kun hyötykapasiteetista on kulunut 50 %. Tämä tilanne perunamailla on joka kasvukausi. Jopa sateisina jaksoina maan kosteus saattaa vaatia tasapainottamista (Wikman ym. 1996).

Peruna on vaativa vesitalouden suhteen. Jo muutaman päivän kuivuus voi aiheuttaa merkittäviä sadonmenetyksiä, sillä peruna palautuu kuivuusstressistä normaaliin kasvurytmiin hitaasti (Haverkort ja MacKerron 2000). Myös voimakkaat kosteusvaihtelut saattavat häiritä yhteyttämistuotteiden kuljetusta varsista mukuloihin. Perunan eri käyttömuodot vaativat kastelulta omat jakottamisensa (Wikman ym. 1996). Oikea-aikaisen aloittamisen lisäksi myös vesimäärien annostelu on tärkeää. Hallitsemattomalla kastelulla saatetaan edesauttaa esimerkiksi bakteeritautien puhkeamista ja ravinteiden huuhtoutumista. Perunakasvuston vedenkulutus on vähäistä välittömästi istutuksen jälkeen, mutta tarve kasvaa ja on maksimissaan, kun kasvusto on umpeutumassa. Vedentarve jatkuu, kunnes kasvusto alkaa tuleentua.

Kastelu vaikuttaa perunasatoon ja sen laatuun kasvukauden aikaisen tasapainoisen ja häiriöttömän vesitalouden kautta (Meyer ja Marcum 1998). Tasapainoinen vedensaanti takaa perunalle parhaan mahdollisen kasvun; kasvusto tuleentuu ajoissa, mukuloihin muodostuu lajikkeelle ominainen kuiva-ainepitoisuus sekä hyvin korjuuta ja käsittelyä kestävä kuori. Tuleentuneiden mukuloiden kestävyys bakteeri- ja sienitauteja vastaan on myös parempi.

Kastelun avulla perunan sato lisääntyy siten, että mukulanmuodostumisvaiheessa annettu kastelu lisää mukuloiden lukumäärää. Myöhemmin kesällä annettu kastelu lisää mukulan kokoa. Ruotsalaisissa teollisuusperunakokeissa 1985–1989 kastelun antama sadonlisä oli keskimäärin 6 % (+ 2 t/ha) ja norjalaisissa 1982–1988 peräti 24 % (+8,5 t/ha) (Wikman ym. 1996). Suomessa Perunantutkimuslaitos suoritti laajoja kastelukoesarjoja useilla eri lajikkeilla 1989–1995. Näissä kokeissa perunan kokonaissato lisääntyi keskimäärin noin 10 % (Wikman ym. 1996, Kuisma 1998, Kuisma 2004b). Toisaalta Perunan-

tutkimuslaitoksen koesarjassa 2001–2003 ramppi- tai tihkukasteltujen perunoiden satotaso jopa jäi hieman kastelemattomasta verranteesta (Kuisma 2002, 2003, 2004a).

Ensimmäinen perunan tihkukastelua tutkinut koe tuotti 10 %:n sadonlisän (Forsman ym. 2000, Forsman ym. 2001). Perunan salaojakastelusta puolestaan on hyvin vähän tuloksia, ja niidenkin tulkintaa haittaa kunnollisten kontrollialueiden puute. Tyrnävällä saatiin salaojakastelulla noin kaksinkertaiset sadot, kun verranteena oli ojittamaton ja kastelematon lohko (Kleemola ja Teittinen 1996, Haataja 2000). Lapualla säätösalaajituksella saavutettiin tärkkelysperunalla 15 % sadonlisä vuonna 1995 (Kleemola ja Teittinen 1996).

Kastelun positiiviset vaikutukset sadon laatuun ovat kokeissa olleet suuremmat kuin vaikutukset sadon määrään. Perunan laatua mitataan sadon käyttömuodon mukaisen mukulakokojakauman, tärkkelys-/kuiva-ainepitoisuuden sekä ulkoisen ja sisäisen laadun perusteella. Kastelu vaikuttaa laatutekijöistä eniten perunarupeen, joka on määrällisesti ja taloudellisesti suurin ruokaperunan laatua heikentävä vioitustyyppejä. Kastelulla pystytään vähentämään myös mukuloiden epämuotoisuutta, maltovikoja kuten onttoutta, sisäistä ruskettumista tai ruskolaikkuisuutta, sekä kasvuhalkeamien muodostumista. Edellytyksenä laadun paranemiselle on, että kastelu aloitetaan ajoissa ja kosteutta ylläpidetään maassa tasaisesti.

Toisaalta kastelu lisää potentiaalista märkämädän esiintymistä, mukularuttoa, maltokaariviroosin aiheuttamia maltovikoja sekä mukuloiden vihertymistä (Wikman ym. 1996, Kuisma 2004b). Perunantutkimuslaitoksen kastelukokeissa 1989–1995 kauppakelpoinen sato oli keskimäärin 22 % verrannetta suurempi (Wikman ym. 1996, Kuisma 2004b). Yhtä suureen laatulisään päästiin myös tihkukastelukokeessa vuonna 2000 (Forsman ym. 2000, Forsman ym. 2001). Sen sijaan Perunantutkimuslaitoksen koesarjassa 2001–2003, jossa kastelu ei tuottanut sadonlisää, ei löytynyt vaikutusta sadon laatuunkaan (Kuisma 2002, 2003, 2004b).

Tärkkelyspitoisuuteen kastelulla on ollut vaihteleva vaikutus. Pääsääntönä on, että hyvien kosteusolojen ylläpitäminen maassa mukulanmuodostuksen ajan tehostaa yhteyttämistä ja siten edesauttaa kasvin tärkkelyssynteesiä, jolloin lajikkeelle ominainen tärkkelyspitoisuus pystytään saavuttamaan. Korkea loppukasvukauden kosteus kuitenkin saattaa vaikuttaa tärkkelyspitoisuutta alentavasti. Huolimatta eroista tärkkelyspitoisuudessa, käytännössä kastelu nostaa tärkkelyssatoa, koska kokonaissadon määrä nousee (Wikman ym. 1996, Kuisma 1998).

Suomessa perunan viljelyala on noin 28 000 ha, josta suurin osa on karkeita kivennäismaita ja yleensä poutivia. Kastelusta onkin tullut osa ammattimaista perunantuotannon viljelytekniikkaa.

1.2 Perunan kastelumenetelmät

Suomessa perunaviljelmiä on kasteltu perinteisesti kastelulaitteistoilla tai sadetuskoneeseen liitettyllä tykkisadettimella, joka on edelleen yleisimmin käytetty menetelmä. Tykkisadettimia on jonkin verran korvattu puomeilla (ramppinkastelu), tosin perunanviljelyssä vähemmän kuin avomaavihannesviljelyssä. Uusin kastelumenetelmä tihkukastelu on käyttöönottovaiheessa. Salajakastelua käytetään jo melko yleisesti. Maailmalla käytettyjä valutuskastelumenetelmiä ei Suomessa käytetä.

Vaikka on todettu, että usein pelkästään riittävä ja oikea-aikainen kastelu lisää sadon määrää ja laatua kastelumenetelmästä riippumatta, on kastelumenetelmissä eroja (Taulukko 1). Eroja on veden kulkeutumistavassa maahan, veden vaikutuksissa maahan ja kasviin, laitteistojen käyttötavoissa, työnmenekissä ja kustannuksissa. Seuraavissa kappaleissa esitellään näitä eroja. Kastelun yleisiä periaatteita, mitoituksia, veden hankintaa tai sadetuskaluston tai -koneiden käyttöä käytännössä ei käsitellä. Niistä saa tietoa muun muassa kirjallisuusluettelossa luetelluista muista julkaisuista (mm. Kara ja Pälikkö 1975, Wikman ym. 1996, Muuttomaa 2003, Peltonen ja Muuttomaa 2004, Suojala ym. 2004). Tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon sadetusta hallantorjunnan kannalta, sillä kaikki mukana olleet menetelmät eivät sovellu hallantorjuntaan.

Taulukko 1. Kastelumenetelmien plussat ja miinukset tekniikan kannalta.

Tykkikastelu	
+ perusmenetelmä + helppo siirtää + edullisempi kuin ramppi + intensiteetin säätö helppoa (vain yksi suutin)	- raju kastelu - kastelu ei täysin tasaista - herkkä tuulelle
Ramppinkastelu	
+ mahdollisuus suureen sadetustehoon + tasainen kastelu + hellävarainen kastelu + ei herkkä tuulelle	- työläämpi kuin tykki - kalliimpi kuin tykki - käyttöturvallisuusriskejä enemmän kuin tykillä
Tihkukastelu	
+ säästää vettä + mahdollisuus lannoitukseen kasvukauden aikana + asennuksen jälkeen käyttövalmis koko kesän	- suuret vuosittaiset kustannukset - suuri työnmenekki - muovijätteen määrä - hallinta ja säädöt vaativampia kuin muissa menetelmissä
Salajakastelu	
+ pitkäikäinen + pienet käyttökustannukset + vähentynyt ravinteiden huuhtoutuminen vesistöön	- soveltuu vain tasaisille ja vettä hyvin läpäiseville maille - muita suurempi vedentarve

1.2.1 Tykkikastelu

1.2.1.1 Menetelmä

Tykkikastelussa sadetuskoneen letkukelan päähän liitetään kelkalla kulkeva sadetintytkki. Siinä on yksi suutin, joka kastelee puoliympyrää tai vähän laajempaa (210 °) aluetta. Kastelun alussa letku vedetään traktorilla kelalta auki kasteltavan lohkon toiseen päähän. Kastelun aikana kasteluveden paine pyörittää kelaa, ja sadetin liikkuu lohkon poikki kohti letkukelaa. Sadetuskone pysähtyy automaattisesti, kun sadetin saavuttaa letkukelan. Kone pysähtyy automaattisesti myös paineen laskiessa esimerkiksi liitoksen auettua. Yhden kaistan kastelun jälkeen siirrytään seuraavalle.

Sadetustykin kasteleman kaistan leveys voi olla 30 metristä 100 metriin. Yleisin leveys on 70–80 metriä. Kaistan leveyteen vaikuttavat paine, putken halkaisija ja sadettimen säädöt. Tykkikastelu vaatii suuttimella noin 4,5–5,5 baarin paineen. Suuttimen koot ovat 18–30 mm, tyypillisesti 22–26 mm. Sadetustykeillä on taipumus heittää vettä runsaimmin ulkokehälle ja lähelle tykkiä, joten sadetus ei ole levityssektorilla täysin tasaista.

Kastelumäärä riippuu suuttimen koosta ja etenemisnopeudesta. Nopeassa vauhdissa kastelumäärä jää pieneksi. Suuttimen koon suureneminen puolestaan lisää kastelumäärää. Tavallinen tykkisadettimen etenemisnopeus on 15–30 m/h. Sadetuskoneen letkun pituus on tavallisesti 200–400 metriä ja halkaisija 40–90 mm. Koneiden koot kasvavat, ja uusimmissa mitat ovat yleisimmin 350 m ja 90 mm.

Tykkisadettimen pisarat ovat isoja ja raskaita, ja niiden liike-energia on suuri. Vettä tulee yhteen kohtaan paljon kerralla, mutta maa saa ”levätä” välillä ennen seuraavaa suihkua. Pisarat iskeytyvät maahan kovalla voimalla. Pisaran kokoa voidaan pienentää suutinta pienentämällä tai painetta nostamalla, mutta suutinta pienentämällä pienenee sadetusteho ja paineen nostamisesta voi seurata työturvallisuusriskejä.

Tykin vesisuihku on arka tuulelle ja haihtumiselle, sillä pisarat lentävät ilmassa pitkän matkan. Tuulen aiheuttamat häviöt ovat arviolta keskimäärin 2–3 mm 30 mm:n sadetuksessa. Haihtuminen kuitenkin jatkuu maastakin. On arvioitu, että kaikista päältäkastelumenetelmissä noin 5 mm haihtuu hyödyttömänä maan pinnalta ilmaan sadetusta seuraavina päivinä (Elonen 1979).

Kasteluveden lämpötilalla ei ole merkitystä tykkisadetuksessa, sillä pisaran lämpötila muuttuu ilmassa lentäessään samaksi kuin ilman lämpötila.

Tykkikastelu sopii suurille säännöllisenmuotoisille peltolohkoille. Se on vertailussa olevista kastelumenetelmistä selvästi yleisin.

1.2.1.2 Työnmenekki ja kustannukset

Tykkikasteluun käytettävien sadetuskoneiden hinnat vaihtelevat putken pituuden ja halkaisijan sekä lisävarusteiden mukaan. Pienimpien koneiden hinnat (alv. 0 %) ovat 7 000 euroa ja suurimpien hyvin varusteltujen 16 000 euroa. Nykyisin tavallisimmin myytävien koneiden hinta on hieman yli 10 000 euroa.

Pumpun ja veden siirtolinjan kustannukset riippuvat etäisyyksistä ja muista paikallisista oloista, joten niiden hintoja voi arvioida vain tapauskohtaisesti. Sama koskee siirtolinjan rakentamiseen tarvittavaa työ määrää.

Tykkikastelussa käyttökustannuksia aiheuttavat sadetuskoneen siirto talouskeskuksesta kasteltavalle lohkolle sekä koneen siirrot ja putken auki vetäminen aina uudelle kaistalle siirryttäessä. Sadetuskoneen säätö ei vaadi paljon työaikaa, koska on vain yksi säädettävä suutin.

1.2.2 Ramppikastelu

1.2.2.1 Menetelmä

Ramppikastelussa sadetuskoneen letkun päähän liitetään tykin sijaan puomi-sadetin. Siinä on useita suuttimia 1–2,5 metrin välein, joten sillä saadaan tasainen kastelu. Sadetin liikkuu samalla periaatteella kuin tykkisadetin.

Ramppikastelun etu on suuri kasteluteho, sillä vettä annetaan useista suuttimista. Aikayksikköä kohti annettu vesimäärä on tavallisesti kaksinkertainen tykkiin nähden, joten samaan kastelumäärään pyrittäessä ramppi voi liikkua kaksinkertaisella nopeudella. Rampin etenemisnopeus on tavallisesti 30–60 m/h. Kastelupaine on 1–2,5 baaria. Suuttimet ovat pienempiä kuin tykissä, joten vesi on syytä suodattaa siiviläsuodattimella tukkeutumisen välttämiseksi.

Tavalliset puomin leveydet ovat alle 20 metristä 50 metriin. Leveämpiäkin on olemassa, mutta leveyden kasvaessa hinnat nousevat mm. tukevampien rakenteiden takia. Leveillä puomeilla myös korjauskulut kasvavat. Puomi kastelee liikkuessaan 3–4 metrin syvyisen alan. Koska puomin työleveys on kapeampi kuin perinteisen tykin, sadettimen siirtoja kertyy pinta-alaa kohden enemmän kuin tykkikastelussa.

Ramppi voidaan asentaa sadetuskoneeseen tykkikelkan tilalle ilman erityistoimia. Puomi on kevyt harus- tai tukiristikkorakenteinen. Teitä pitkin kuljettaessa se taitetaan kokoon tai puretaan osiin mallista riippuen. Samalla lohkolle ramppit pystytään kuitenkin siirtämään uuteen vetoasentoon puomi leväl-

lään, kunhan puomin vaappuminen otetaan huomioon. Siirtonopeus pellolla on hieman hitaampi kuin tykin.

Ramppikasteluun sopivat samat siirtolinjat ja sadetuskoneet kuin tykkikasteluun. Mutta koska ramppi mahdollistaa suuremman kastelutehon kuin tykki, sille voi olla järkevää hankkia myös suurempi sadetuskone, tehokkaampi pumppu ja isompi siirtolinja.

Ramppikastelussa vesipisarat ovat pieniä ja niiden liike-energia on pieni, joten kastelu on hellävaraista ja tasaista. Haihtuminen on vähäistä, koska veden kulkumatka suutimesta maahan on lyhyt. Ramppikastelussa vesisuihku ei ole arka tuulelle. Tämä on tärkeää, sillä kapean työlevyden takia kastelua täytyy tehdä usein päivälläkin.

Ramppikastelussa annetaan aikayksikössä isoja vesimääriä pienelle pinta-alalle, joten pintavirtailun vaara on olemassa, jollei kastelua sopeuteta maala-jin mukaan.

Ramppikastelu sopii säännöllisenmuotoisille peltolohkoille, joilla ei ole sähkötolppia tai muita puomin kulkua haittaavia esteitä. Suomessa on ramppisa-dettimia arviolta muutamia kymmeniä kappaleita.

1.2.2 Työnmenekki ja kustannukset

Tykkikasteluun verrattuna ramppikastelussa tulee lisäinvestointeja puomista. Hinnat (alv. 0 %) alkavat alle 3 000 eurosta. 50 metriä leveän rampin hinta on noin 4 000 euroa.

Mikäli rampin käyttöön liittyy suurempi sadetuskone, tehokkaampi pumppu ja isompi siirtolinja, niistä aiheutuu lisäkustannuksia.

Ramppikastelussa työnmenekki on selvästi suurempi kuin tykkikastelussa puomin takia. Siitä aiheutuu siirtokustannuksia sekä huolto- ja korjauskus-tannuksia. Säädot ovat työläämpiä useiden suutinten takia.

1.2.3 Tihkukastelu

1.2.3.1 Menetelmä

Tihkukastelu on uusi nopeasti suosiota kasvattava kastelumenetelmä, joka ensimmäiseksi otettiin Suomessa käyttöön mansikan ja sitten avomaan puu-tarhatuotannossa. Perunanviljelyssä menetelmä on kokeiluvaiheessa (Linna 2001). Tihkukastelussa vesi johdetaan maahan asennettuja tihkuletkuja pitkin suoraan penkkiin pienellä paineella lyhyin väliajoin. Maa kastuu pistemäises-

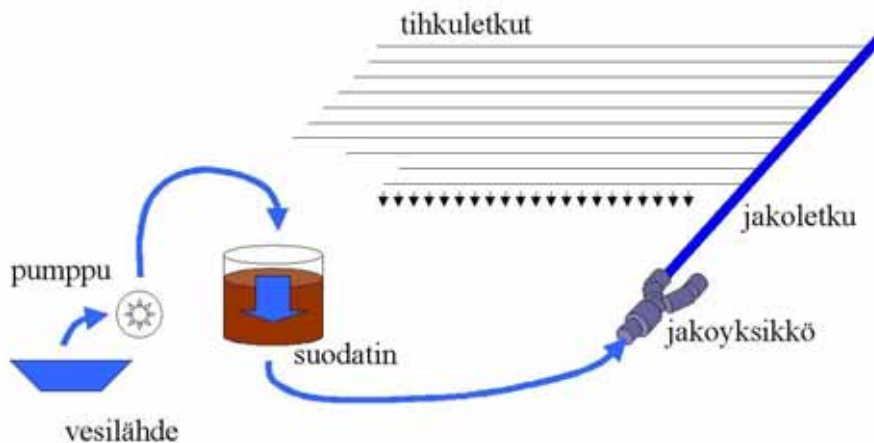
ti suuttimen ympäriltä, mutta tiheän suutinten välin ja pienen vedentuoton ansiosta saadaan tasainen kastelutulos.

Tihkukastelussa veden tarve on pieni, sillä vettä ei haihdu kastelun aikana ilmaan, ja vain tarpeellinen osa pellon pinta-alasta kastellaan (Kärkkäinen 2001). Ravinteita ei huuhtoudu vähäisen vesimäärän ansiosta. Maan pinta ei myöskään liety eikä kastelu häiritse viljelytoimia.

Vaikka kerrallaan annettava vesimäärä on pieni, on sen kuitenkin oltava niin suuri, että varmistetaan juuriston kasvu mahdollisimman laajalle. Maalaji vaikuttaa siihen, miten vesi liikkuu suuttimen ympäriltä. Karkeassa maassa vesi virtaa nopeasti alaspäin. Karkeilla mailla on käytettävä pieniä kertannoksia, jotta vesi ja mahdolliset ravinteet eivät kulkeudu turhan syvälle juuriston ulottumattomiin. Hiesu- ja savimailla vesi leviää sivusuunnassa laajemmalle (Muuttomaa 2003).

Tihkukastelun etuna on myös se, että kasteluveden mukana voidaan annostella nestemäisiä lannoitteita täsmällisesti ja nopeasti liittämällä kastelulaitteistoon lannoituslaitteisto. Liuenneet ravinteet ovat heti kasvien käytettävissä, eikä tarvitse odottaa sateita ja lannoiterakeiden sulamista. Maan ravinnepitoisuus voidaan pitää halutulla tasolla läpi kasvukauden – tosin lannoitustarpeen määrittäminen kasvukauden aikana on vaativaa.

Myös maan kosteuden seuranta kastelutarpeen määrittämiseksi on tihkukastelussa taitoa vaativaa, sillä kastelu ei näy maan pinnalla.



Kuva 1. Tihkukastelujärjestelmän periaatteet.

Tihkukastelussa kasteluvesi pumpataan vesilähteeltä tavallisilla kastelupumpuilla, joiden paine- ja tuottovaatimukset riippuvat kastelulohkon koosta. Vesi on suodatettava siiviläsuodattimen lisäksi esimerkiksi hiekkasuodattimella tihkukasteluletkujen suutinten tukkeutumisvaaran vuoksi. Hiekkasuodattimet poistavat humuksen, muun kiinteän aineksen ja osan mikrobeista, mutta ne eivät poista veteen liuenntaa rautaa tai kalkkia. Suodattimen hiekka on 0,8–1,2 mm:n kvartsihiekkää.

Suodattimen jälkeen vesi virtaa jakoyksikköön, jossa vesi suodatetaan uudelleen hienosuodattimella (lamelli- tai verkko-), paine alennetaan tihkuletkuille sopivaksi ja vesi ohjataan virtaamaan oikealle lohkolle jakoletkua pitkin. Myös kastelun ajastus on mahdollista liittää tähän yksikköön. Hienosuodatin on tarpeen erityisesti lannoiteannostelijaa käytettäessä, jolloin mm. sulamaton lannoite jää suodattimeen. Jakoletkuun asti kastelulaitteiston osat ovat monivuotisia (Kuva 1).

Jakoletkusta lähtevät tihkuletkut. Perunalle käytetään yleensä joka vuosi uusittavaa tihkuletkua, jonka seinämän paksuus on 0,1 mm ja jossa on suuttimia 20 cm:n välein. Säädot tehdään esimerkiksi niin, että yhdestä suuttimesta tulee vettä puoli litraa tunnissa 0,55 baarin paineella. Siten tunnin kastelulla penkkeihin tulee vettä kolmen millimetrin sadetta vastaava määrä. Laitteiston annetaan käydä muutaman kerran viikossa maalajista ja säästä riippuen tunnin tai kaksi kerrallaan.

Koska suuttimet ovat paineentasaavia, kastelu on tasaista paineen vaihdellessa, epätasaisissa maastoissa tai pitkissä kastelulinjoissa. Kastelu myös alkaa ja loppuu samaan aikaan koko kastelulinjassa. Tihkukastelujärjestelmä voi toimia manuaalisesti tai se voidaan täysin automatisoida.

Tihkuletkut asennetaan multauksen tai istutuksen yhteydessä koneellisesti. Letku ohjataan kelalta maahan ennen viimeisiä vantaita, jotka muotoilevat penkin. Asentamissyvyys on kolmesta viiteen senttimetriä.

Tihkuletkujen käsittely vaatii huolellista työtä. Niitä voidaan joutua korjamaan ajoittain, mikäli niihin ilmaantuu vuotoja tai tukkeutumia. Jo pelkästään rikkoutumisen riskin olemassaolo aiheuttaa lisätyötä, sillä menetelmä vaatii tarkkaa seurantaa. Tihkuletkujen suutinten tukkeutuminen on kuitenkin harvinaista veden suodatuksen ja letkun kertakäyttöisyyden takia.

Syksyllä kastelulaitteisto puretaan. Tihkuletkut kerätään hydraulipyöritteisellä kelalla joko varrenmurskauksen tai sadonkorjuun yhteydessä tai kokonaan erillisenä työvaiheena. Tihkuletkuista syntyy runsaasti muovijätettä.

Tihkukastelu voidaan rakentaa minkä tahansa muotoisille tai kokoisille lohkoille sen vaikuttamatta juurikaan käyttökustannuksiin toisin kuin sadetuskooneita tai -laitteistoja käytettäessä.

1.2.3.2 Työnmenekki ja kustannukset

Tihkukastelu on melko kallis kastelumenetelmä, ja tarvittava työ määrä on suuri (Forsman ym. 2000, Peltonen ja Muuttomaa 2004, Suojala ym. 2004). Toisaalta, kun laitteisto on keväällä levitetty, se on käyttövalmiina koko kesän eikä siirtotöitä tarvita.

Tihkukastelussa kiinteät kustannukset aiheutuvat pumpusta, veden siirtolinjasta, suodattimista ja jakolinjoista. Vuosittaisia kustannuksia ovat pumpun, siirtolinjan, suodattimien ja jakoletkujen toimintavalmiuteen liittyvät työt sekä tihkuletkujen hankinta ja niiden asentamiseen tarvittava työ: asennus ja liittäminen jakoletkuun keväällä ja poisto syksyllä.

Asennuksen työnmenekki on nelipenkkistä multainta käytettäessä kahdesta kolmeen tuntia hehtaarilta, ja työhön tarvitaan kaksi henkeä (Forsman ym. 2000). Loput asennuksen työvaiheet tehdään käsin, ja kokonaistyönmenekki on useita tunteja hehtaarille. Kastelumenetelmä on uusi ja käytössä on usein omatekoisia koneita, joten työtavoissa ja työnmenekissä voi olla isoja eroja tilojen välillä. Työtä aiheuttaa myös maan kosteuden ja tihkuletkujen kunnan seuraaminen sekä kastelujärjestelmän oikeiden säätöjen opettelu.

Muuttuvat kustannukset ovat kiinteiden kustannusten lisäksi arviolta reilut 1000 €/ha/vuosi. Kannattavuus riippuu siitä, paljonko sadon määrä kasvaa ja laatu paranee kastelun ja siihen mahdollisesti liitettävän lannoituksen ansiosta. Kustannuksia olisi mahdollista alentaa käyttämällä samaa tihkuletkua useamman vuoden. Monivuotiseen käyttöön sopiva letku on hinnaltaan noin kaksinkertaista, mutta se kestää usean vuoden. Käytännön kokemuksia monivuotisesta käytöstä ei kuitenkaan vielä juurikaan ole.

1.2.4 Salaojakastelu

1.2.4.1 Menetelmä

Salaojakastelusta käytetään myös nimityksiä pohjavesikastelu, altakastelu, padotuskastelu ja säätökastelu. Salaojakastelu lienee kuitenkin yksiselitteisin ja kuvaavin nimi toteutettaessa altakastelua salaojien kautta, joten tässä julkaisussa käytetään termiä salaojakastelu. Samoja periaatteita voidaan kuitenkin noudattaa myös avo-ojia käytettäessä.

Salaojakastelussa hyödynnetään salaojaputkistoa, joka normaalisti ja alkupe-
räisen tarkoituksensa mukaisesti johtaa ylimääräisen veden pois pellolta märkinä aikoina pohjaveden ollessa korkealla. Liiallinen maan kuivuminen kuivina kausina on kuitenkin luonut tarpeen vähentää pois virtaavan veden määrää patoamalla, jolloin pohjaveden pintaa ei päästetä niin alas kuin se ilman patoamista laskisi, vaan vettä jää maahan varastoon kuivia kausia varten.

Tällöin puhutaan säätösalaajituksesta. 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 (Kuva 2).

Säätösalaajitus- ja salaojakastelujärjestelmä toteutetaan rakentamalla salaojien kokoojajoihin säätökaivoja aina, kun kokoojan korkeus muuttuu 0,5 metriä (Evans ja Skaggs 1989). Kaivoon tehdään sulkuputki, jonka korkeutta voidaan säädellä. Kuivatustilanteessa salaojia pitkin virtaa vettä pois pellolta vasta kun pohjaveden pinta nousee sulkuputkea korkeammalle. Salaojakastelua käytettäessä kaivoon puolestaan pumpataan vettä, ja paine kaivossa työntää vettä salaojia pitkin pellolle.

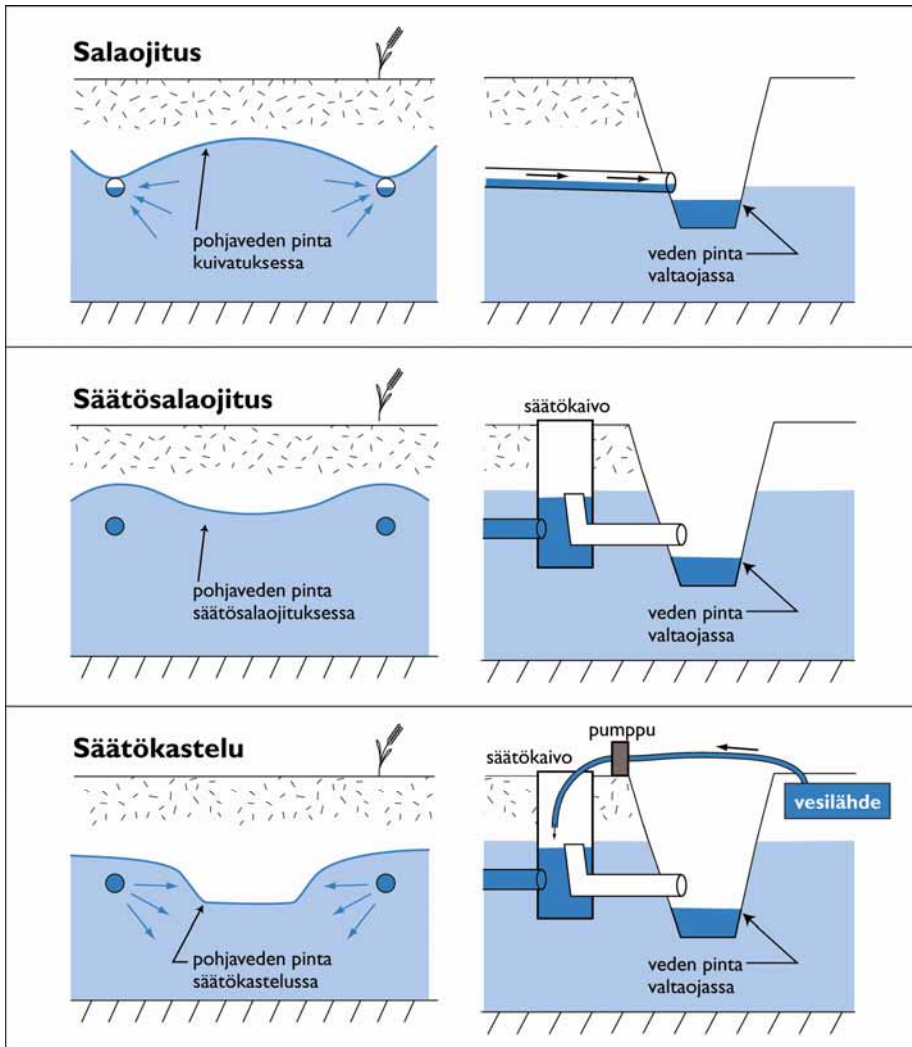
Teknisesti tällainen järjestelmä voidaan rakentaa kaltevillekin pelloille, mutta kustannukset nousevat kaivojen määrän lisääntyessä. Säätösalaajitus- ja salaojakastelu sopivat parhaiten pelloille, joiden kaltevuus on korkeintaan 1 % (Evans ja Skaggs 1989). Pelkästään säätösalaajitusta käytettäessä kaltevuus voi olla 1,5 %, mahdollisesti jopa 2 % (Pajula ja Triipponen 2003). Maalajin tulee olla vettä hyvin läpäisevää, joten vain urpasavet, hieno hieta ja sitä karkeammat maalajit soveltuvat hyvin säätösalaajitukseen ja salaojakasteluun. Maa ei saa olla kuitenkaan liian karkeaa, sillä veden on liikuttava kapillaarisesti. On mahdollista, että salaojajotus toimisi myös hyväkuntoisilla ja tasaisilla savimailla (Paasonen 2000).

Tasaisuuden ja läpäisevän maalajin lisäksi säätösalaajituksen kolmas vaatimus on, että pohjavesi on luonnostaan korkealla. Salaojakastelun lisävaatimus on puolestaan kasteluveden saatavuus. Salaojakastelun veden tarve on suurempi kuin päältäkastelumenetelmien.

Mikäli vesistöjä sijaitsee lähellä, kasteluveden saanti on helppoa. Kaukana vesistöistä voidaan joutua rakentamaan varastoaltaita, joihin varastoidaan märkinä aikoina pellolta virtaavat kuivatusvedet. Kuivina aikoina tätä vettä pumpataan takaisin ojaan.

Mikäli ojaisto suunnitellaan alun perin salaojakasteluun, ulkomaisten tutkimusten mukaan ojaväliä on syytä pienentää normaalista 30–40 % tasaisen kastelutuloksen takaamiseksi. Sopiva pohjaveden syvyys maan pinnasta on ulkomaisten tutkimusten mukaan noin 40–70 cm kasvilajista ja maalajista riippuen (Evans ja Skaggs 1989).

Pelkällä säätösalaajituksella on todettu saatavan noin 10 prosentin perunasadon lisäys silloin, kun sadannan vajuus on melko pieni. Vähäsateisina kesinä säädöllä ei juurikaan voida parantaa kasvien vesitaloutta, vaan silloin tarvitaan lisäveden pumppausta salaojien kautta maahan. Sadonlisät voivat tällöin olla useita kymmeniä prosentteja (Mattila ym. 1996).



Kuva 2. Salaojituksen, säätösalojituksen ja salaojakastelun periaatteet.
Kuva: Salaojayhdistys ry.

Säätösalojitusta ja salaojakastelua käyttäessä maan kosteutta ja pohjaveden korkeutta on seurattava ja toimittava kunkin kasvukauden olosuhteiden mukaan. Tämä voidaan toteuttaa joko manuaalisesti tai automatisoimalla kastelujärjestelmä (Kilpeläinen 1999).

Salaojaputki kulkee säätösalojituksessa ja salaojakastelussa vedenpinnan alla, joten samalla saadaan vedenalaisen salaojituksen edut. Näitä ovat rautasaostumien välttäminen hapettomuuden ansiosta ja salaojaputkiston helppo huuhteltavuus; sulut avaamalla saadaan veden virtaus putkissa nopeaksi, jolloin saostumat huuhtoutuvat. Korkeampi pohjaveden pinta vähentää myös happamia päästöjä sulfaattimailta.

Valumavesien säätelyllä on vesitalousvaikutusten lisäksi myös huomattavia myönteisiä ympäristövaikutuksia, sillä pellolta pois valuvan vesimäärän pienentyessä ja maan kosteusolojen muuttuessa vähenee myös liukoisten ravinteiden huuhtoutuminen vesistöihin. Varastoaltaita rakentamalla voidaan edelleen vähentää vesistöihin huuhtoutuvien ravinteiden määrää. Eri tutkimuksissa on todettu typen ja fosforin huuhtoumien vähenevän muutamasta prosentista jopa kymmeniä prosentteja tavanomaiseen salaojitukseen verrattuna (Ahonen 1991, Evans ym. 1989). Kun ravinteita poistuu pellolta vähemmän, voidaan lannoitusta vähentää. Tämän takia säätösalaajitus ja salaojakastelu kuuluvat EU:n maatalouden ympäristötukijärjestelmän erityistukisopimusten piiriin.

Säätösalaajitukseen (ja samalla salaojakasteluvalmiuteen) oli vuosina 1995 – 2002 haettu ympäristötukea 34 300 hehtaarin alalle (Pajula ja Triipponen 2003), joten menetelmä on saanut vankan jalansijan. On arvioitu, että Suomessa olisi säätösalaajitukseen kaltevuudeltaan ja maalajiltaan sopivaa peltoa noin 40 % peltopinta-alasta (Ahonen 1991). Puustisen ym:n (1994) tutkimuksen perusteella tehtyjen laskelmien mukaan aktiivitilojen peltoalasta noin 770 000 ha on ojitettavissa tai muutettavissa säätösalaajituksen piiriin.

1.2.4.2 Työnmenekki ja kustannukset

Tavanomaiseen sadetukseen verrattuna säätösalaajitus ja salaojakastelu on helppo hoitaa ja käyttää. Investointikustannukset ovat kuitenkin suuret. Tavallisten salaojituskustannusten lisäksi säätösalaajituksessa muodostuu investointeja säätökaivosta ja mahdollisesti tihennetystä salaojituksesta. Salaojakastelussa muodostuu edellisten lisäksi investointikustannuksia pumppaamosta ja mahdollisista lisäojista, kasteluveden putkituksista ja varastoaltaasta. Pumput voivat toisaalta olla huomattavasti vähätehoisempia kuin tavanomaisissa kastelumenetelmissä. Lisäksi on järjestettävä kasteluveden hankinta, kuten kastelemissä on aina tehtävä menetelmästä riippumatta. Käyttökustannuksia syntyy kaivojen hoito- ja säätötöistä ja pohjaveden seurannasta. Salaojakastelun lisäinvestointien on laskettu tulevan perunanviljelyssä muita kasveja helpommin katetuiksi perunan suuren hehtaarisadon takia; jo muutamien prosentin sadonlisä riittää kattamaan kustannukset (Mattila ym. 1996, Haataja 2000). Kannattavuutta lisäävät säätösalaajitukselle ja salaojakastelulle maksettavat tuet.

1.3 Maan vesitalous eri kastelumenetelmissä

Perunan vedentarve on keskimäärin 3–3,5 mm/vrk. Pilvisinä ja kosteina päivinä, jolloin haihdunta on vähäistä, vedentarve on vain 1,0–2,0 mm, mutta aurinkoisina ja tuulisina päivinä se voi olla 5,0–6,0 mm. Kasvi ottaa maasta vettä sieltä, mihin juuristo ulottuu. Perunan suhteellisen hento juuristo ulottuu

vain noin 40–50 cm:n syvyyteen, joten sillä on käytettävissään ohuemman maakerroksen vesimäärä kuin monilla muilla kasveilla.

Maan vedestä on kasveille käyttökelpoista vesi, joka on sitoutunut maahan, mutta ei niin lujasti, ettei kasvi pysty sitä ottamaan. Tällainen vesi sijaitsee maan keskikokoisissa huokosissa, joiden halkaisija on 0,2–30 μm . Näiden huokosten osuutta maan kokonaistilavuudesta kutsutaan hyötykapasiteetiksi. Sen suuruus kuvastaa maan poudankestävyyttä.

Halkaisijaltaan yli 30 μm :n huokosista vesi puolestaan valuu nopeasti pois. Tämä vesi olisi kasvien käytettävissä, jos ne sitä ehtisivät ottaa, mutta nopean poisvirtaamisen vuoksi sitä ei lasketa käyttökelpoiseksi vedeksi. Isoissa huokosissa oleva vesi on vapaata vettä, ja kun se on virrannut sateiden jälkeen pois, maan sanotaan olevan kenttäkapasiteetissa. Tällöin maan käyttökelpoisen veden määrä on suurimmillaan. Kenttäkapasiteetissa vesi on sitoutunut maahan 0,1 baarin voimalla. Vaikka isot huokokset eivät varastoi vettä, ne muodostavat veden ja ilman kulkureittejä maassa ja ovat siksi ratkaisevan tärkeitä maan rakenteen toimivuudelle. Perunaa viljellään yleensä karkeilla mailla, joiden rakennetta on totuttu pitämään helppohoitaisena. Yksipuolisessa perunanviljelyssä maahiukkasat saattava kuitenkin pakkautua hyvin tiiviisti jättämättä väleihin ilmatilaa, ja rakenneongelmat ovat yleisiä.

Alle 0,2 μm :n kokoisissa huokosissa oleva vesi on hyvin lähellä maahiukkasten pintoja, jolloin maa sitoo veden niin tiukasti itseensä, että kasvi ei pysty sitä ottamaan vaan lakastuu. Maan kosteuden sanotaan silloin olevan lakastumisrajalla. Vesi on silloin sitoutunut maahan 15 baarin voimalla.

Hyötykapasiteetti on erilainen eri maalajeilla, ja siihen vaikuttavat maan luontaisten ominaisuuksien lisäksi maan käsittelystä ja olosuhteista johtuvat rakenteen muutokset ja maan orgaanisen aineksen pitoisuus. Hyötykapasiteetille voidaan kuitenkin antaa summittaiset arviot maalajin perusteella (Heinonen 1954), ja niiden avulla voidaan arvioida, paljonko maa voi enimmillään varastoida vettä eri paksuisiin maakerroksiin (Taulukko 2).

Todellisuudessa perunan kasvu häiriytyy jo ennen kuin koko käyttökelpoinen vesimäärä on käytetty; kun kasvi ottaa maasta vettä, jäljelle jäävä vesi on aina tiukemmin ja tiukemmin sitoutunut maahan. Tutkimuksissa on todettu, että perunan kasvu alkaa häiriintyä, kun noin puolet käyttökelpoisesta vedestä on käytetty (Wikman ym. 1996).

Taulukko 2. Keskimääräinen hyötykapasiteetti muutamilla maalajeilla (Heinonen 1954). Maan rakenne aiheuttaa suurta vaihtelua hyötykapasiteettiin.

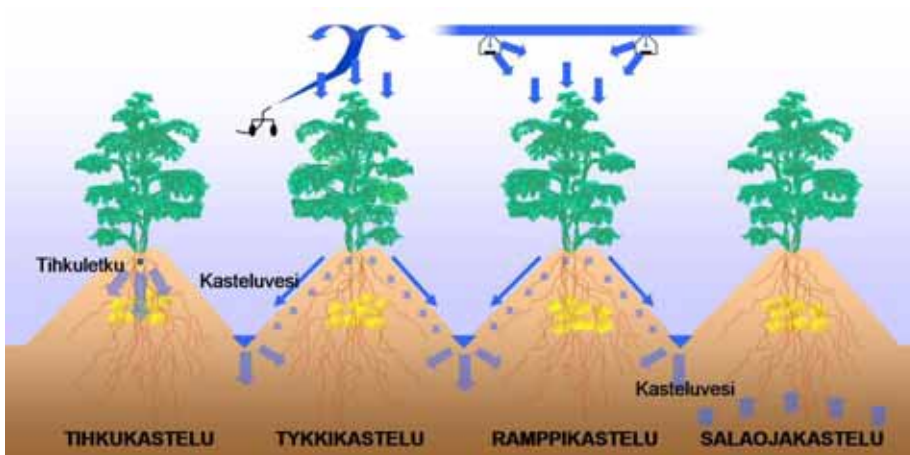
maalaji	hyöty- kapasiteetti %	käyttökelpoinen vesimäärä (mm), kun juuriston syvyys on		
		30 cm	40 cm	50 cm
HHk, KHt	15	45	60	75
HHt	20	59	78	98
Hs	22	67	90	112
HtS, HsS	18	54	72	90
AS	17	50	66	83
Mm	23	70	93	117

Muutaman millimetrin päivävauhdilla maan vesivarat kuluvat nopeasti loppuun, jollei lisää vettä saada sateina tai kasteluna tai jollei sitä nouse syvemmistä ja kosteammista kerroksista. Vettä nousee syvemmältä maan huokosten kapillaarisuuden ansiosta, mutta nousukorkeus ja nopeus riippuvat maan ominaisuuksista. Hiesussa kapillaarinen nousu on voimakkainta, mutta se heikenee karkeammista maissa. Hiekassa sitä ei ole enää juuri lainkaan. Vettä liikkuu myös vaakatasossa kosteammasta maasta kohti kuivempaa, esimerkiksi kohti juuristoa, jonka ympäriltä kasvi on kuivattanut maata.

Eri kastelumenetelmissä vesi kulkeutuu maahan eri tavoilla (Kuva 3). Sadetustykki kastelee rankasti sekä kasvuston että maan. Säädoilla voidaan vaikuttaa pisaroihin, mutta ne ovat isompia ja raskaampia kuin muissa menetelmissä ja iskeytyvät maahan kovalla voimalla. Ne voivat liettää maan pintaa ja vahingoittaa kasvustoa, mikäli säädöt eivät ole sopivat. Kasteluvesi virtaa pitkin kuivaa perunapenkin reunaan vaon pohjalle, josta se imeytyy maahan maan rakenteen ja kosteuden määrämällä nopeudella.

Ramppi kastelee myös sekä kasvuston että maan, mutta kevyemmin, pienemmin pisaroin ja tasaisemmin kuin tykki. Vesi käyttäytyy penkissä samaan tapaan kuin tykkisadetuksessa.

Tihkukastelussa kasteluvesi tulee perunapenkin yläosaan pieninä pisaroina pienellä paineella tihkuletkun raoista. Vesi imeytyy alaspäin kohti juuristoa ja mukulapesää. Toisin kuin muissa menetelmissä, vesi leviää tasaisesti myös penkin yläosaan. Kasvusto ei kastu. Luonnonsateet imeytyvät tihkukasteltuun ja kuivaan perunapenkkiin eri tavoilla; sopivan kostea tihkukastelupenkki ottaa sadeveden nopeasti vastaan. Kuiva penkki puolestaan hylkii vettä, jolloin sadevesi virtaa penkin reunaan pitkin vaon pohjalle, josta se vasta vähitellen imeytyy maahan. Tihkukastelussa siis sekä kastelu- että sadevesi imeytyvät penkkiin paremmin kuin muissa menetelmissä.



Kuva 3. Veden kulkeutuminen maahan eri kastelumenetelmissä.

Salaojakastelussa vesi tulee juuriston ulottuville alaspäin, mikä saattaa edistää syvemmän juuriston muodostumista ja parantaa kuivuudensietoa myöhemmin. Onnistuneessa salaojakastelussa pohjaveden pinta on juuristokerroksen alapuolella, mutta niin lähellä, että veden kapillaarinen nousu riittää tuomaan tarpeeksi vettä juuriston ulottuville. Kuten tihkukastelussakaan, kasvusto ei kastu salaojakastelussa.

1.4 Kastelun toteutus

Kastelun onnistumisen edellytyksenä on, että a) tiedetään milloin kastelu on aloitettava ja mikä on tarvittava kastelumäärä ja b) että toimitaan tämän tiedon mukaisesti.

Kastelu on aloitettava silloin, kun kasveille käyttökelpoisen veden määrä alkaa vähetä niin, että veden otto maasta vaikeutuu. Maan kosteutta on siis seurattava. Tämän hankkeen tarkoituksena ei ollut selvittää kosteuden seurantamenetelmien käyttöä kastelun oikea-aikaiseen ajoitukseen, mutta seuraavassa esitetään lyhyesti muutamia tilakäyttöön soveltuvia menetelmiä:

a) Maan veden sitoutumisvoimakkuuden mittaaminen tensiometreillä (Dirksen 1999). Tensiometri on yksinkertaisin keino mitata kastelutarvetta. Se kertoo suoraan maan vesitilan kasvin kannalta eli sen, millä voimakkuudella maassa oleva vesi on sitoutunut maahan ja minkä voiman kasvi tarvitsee vettä ottaakseen. Jos perunan sadontuotto halutaan maksimoida, kasteluun on syytä ryhtyä karkeilla mailla, kun tensiometrilukema on 0,25 baaria. Hienommilla mailla voidaan odottaa kauemmin, enimmillään 0,50 baariin (Aura 1997). Erilaiset raja-arvot johtuvat siitä, että hienommilla mailla on suuremmat vesivarastot kuin karkeilla, ja niissä kapillaarivesi myös liikkuu helpommin kohti juuristoa.

b) Maan kosteusmittaus punnitsemalla ja kuivaamalla. Tilavuudeltaan tunnetun maanäytteen avulla saadaan selville, paljonko maa sisältää vettä tilavuusprosentteina maan kokonaistilavuudesta. Menetelmän käyttö edellyttää, että tiedetään yhteys maan kosteuskokemusten ja veden sitoutumisvoimakkuuden välille tai että tiedetään kokemuksesta, missä kosteudessa kastelutarve alkaa.

c) Maan kosteusmittaus sähköisillä menetelmillä. Maan kosteutta voidaan määrittää useilla eri sähköisillä menetelmillä, ja tulokseksi saadaan maan kosteus joko prosentteina maan kokonaistilavuudesta tai prosentteina maan kokonaishuokostilavuudesta. On olemassa eri tekniikoihin perustuvia mitta-reita; neutronikosteusmittari, Time Domain Reflectometry (TDR), Frequency Domain Reflectometry (FDR) jne. (Dirksen 1999). Ne on yleensä kalibroita-va eri maalajeille, ennen kuin ne näyttävät luotettavia tuloksia. Sähköisiäkin menetelmiä käytettäessä täytyy osata tulkita, missä kosteudessa eri maalajeil-la on ryhdyttävä kastelemaan.

d) Sadannan vajauksen seuranta. Mittaamalla sademääriä ja arvioimalla kasvien vedenkäyttöä kasvuvaiheen ja sään perusteella saadaan melko hyvä arvio kastelutarpeen aloittamisajankohdasta. Kastelu aloitetaan karkeilla mailla, kun sadannan vajoaus on 15–20 mm ja hienojakoisemmillä mailla 30–35 mm. Kastelu siirtyy päivällä, jos kasvun alkuvaiheessa (10 cm korkeaan kasvustoon asti) saadaan 3 mm:n sade ja myöhemmin 2,5 mm:n sade. Päivittäinen haihduntahan on noin 2–5 mm (Wikman ym. 1996).

e) Tietokoneohjelmat. Avomaavihannesviljelijöitä varten on olemassa tietokoneohjelmia, joiden avulla kastelutarvetta voidaan arvioida vielä tarkemmin kuin sadannan vajousta seuraamalla. Ohjelma tarvitsee säättietoja ennusteen laatimista varten ja mitattuja tietoja toteutuneen haihdunnan arviointiin. Tämä menetelmä voi sopia tietokoneita hyvin hallitsevalle perunanviljelijälle.

f) Kouratesti. Kun juuristokerroksesta joko käsin tai kairalla otettu maa ei enää pysy pallona kourassa puristettaessa vaan hajoaa, niin silloin maa on liian kuivaa, ja kastelu on aloitettava (Wikman ym. 1996). Tämä on hyvin karkea menetelmä, mutta kokemus voi kouluttaa hyväksikin arvioijaksi ja oman maan tuntijaksi.

g) ”Musta tuntuu” –menetelmä. Tämä menetelmä on luonnollisesti huonoin keino arvioida kastelutarvetta. Siinä seurataan korkeintaan kasvuston ulkonäköä. Yhteyttäminen on kuitenkin hidastunut jo paljon ennen kuin vedenpuute näkyy kasvustossa, joten kasvustoa tarkkailemalla ollaan aina myöhässä.

Kerralla annettava kastelumäärä on sellainen, joka kastelee maan juuristovyöhykkeessä lähelle kenttäkapasiteettia. Kosteus ei saa nousta aivan kenttäkapasiteettiin asti, sillä maan täytyy kyetä ottamaan vastaan vielä mahdolliset sateetkin. Liian suuret vesimäärät valuvat pohjaveteen, ja lisäksi ne huuhtovat mennessään maan ravinteita. Maan kosteusmittareiden avulla on helppo

määrittää omalle pellolle sopiva kastelun lopettamispiste: selvitetään, mitä kosteusmittari näyttää sen jälkeen, kun vapaa vesi on valunut pois sateiden jälkeen. Näin saadaan selville lukema, jota märemmäksi maata ei kannata kastella.

Yli 30 mm:n kasteluita ei kannata antaa. Ja koska päältäkastelumenetelmissä vettä haihtuu maasta ilmaan hyödyttömänä noin 5 mm pian kastelun jälkeen, alle 5 mm:n kasteluita ei kannata antaa. Yleinen suositus on, että kukkanupujen ilmaantumiseen saakka kastellaan 10 mm/kerta ja sen jälkeen 20 mm/kerta (Kuisma 2004b).

Sen lisäksi, että kastelun oikea aloittamisajankohta ja tarvittava kastelumäärä on määritetty, kasteluun on myös ryhdyttävä silloin kun on tarve. Siksi on valittava sellainen kastelumenetelmä, jonka työmäärän ja investointikustannukset viljelijä kokee kohtuullisiksi kastelusta saatuun hyötyyn nähden. Tämä on osittain henkilökohtainen arvokysymys. Jotkut ovat valmiita näkemään paljon vaivaa hyvään kastelutulokseen pääsemiseksi. Toiset ovat puolestaan valmiit investoimaan enemmän päästäkseen joko helpommalla tai saadakseen paremman kastelun laadun.

Kastelun oikea-aikaiseen aloittamiseen voi tiloilla vaikuttaa kastelukapasiteetin riittävyys. Jos tilalla on laajoja kasteltavia alueita, voidaan kastelutarvetta joutua priorisoimaan.

Kustannuksia on mahdollista pienentää järjestämällä kastelu mahdollisimman isoille ja säännöllisen muotoisille lohkoille. Työkustannusten pitämiseksi mahdollisimman pieninä on järkevää kastella mahdollisimman paljon yhdellä kertaa. Ja koska kastelulaitteisto on pitkäikäinen investointi, sen hankinta on tehtävä harkiten, jotta virheinvestoinnit tai väärät mitoitukset eivät aiheuta turhia kuluja.

Kaikki kastelumenetelmät vaativat oikeita säätöjä toimiakseen oikealla tavalla. Säätöjen opetteluun ja tekemiseen on varattava aikaa varsinkin uutta menetelmää käyttöön otettaessa. Missään kastelumenetelmässä (valutuskastelua – jota ei tutkittu tässä hankkeessa – lukuun ottamatta) maahan aikayksikössä tuleva vesimäärä ei saa ylittää veden imeytymisnopeutta maahan, jotta maan pinta ei liettyisi eikä pintavirtailu alkaisi. Olipa kastelumenetelmä mikä tahansa, kastelu on aina sopeutettava olosuhteisiin ja maan ominaisuuksiin, ja säätöihin on kiinnitettävä riittävästi huomiota.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Koekentät

Kastelumenetelmiä verrattiin Tyrnävällä sijaitsevalla tilalla (tila A), joka oli tutkimuksen päätila ja jolla olivat käytössä kaikki tutkimuksessa mukana olleet kastelumenetelmät: tykkikastelu (a), ramppikastelu (b), tihkukastelu (c) ja salaojakastelu (d). Tilan A lisäksi mukana oli viisi tilaa eri puolella Suomea (B–F), joilta saatiin lisähavaintoja (Taulukko 3).

Koepaikoilla oli yksi kastelulohko per menetelmä. Jokaiselle lohkolle mitattiin neljä koeruutua, joista tehtiin rinnakkaisia havaintoja ja mittauksia ja otettiin näytteitä. Kasteltujen ruutujen lisäksi jokaisella tilalla oli kasteltujen alueiden ulkopuolella myös yksi kastelematon verranneruutu (e). Tiloilla B ja C, joilla oli kaksi kastelumenetelmää, oli joinakin vuosina kummallekin menetelmälle oma verranneruutunsa (e1 ja e2). Tilalla A kastelemattomia ruutuja oli neljä.

Tutkimus tehtiin käytännön viljelyssä olevilla tiloilla, ja viljelijät päättivät tilan tarpeen mukaan perunalajikkeet, viljelytoimet ja muut käytännön viljelyyn liittyvät asiat. Kastelun ajoittamisen avuksi heille annettiin maan kosteusmittausten antamia tuloksia. Käytännössä viljelijät tekivät kastelupäätöksensä itse. Koepaikkojen perunalajikkeet, kastelut ja lannoitukset esitetään taulukkomuodossa (Taulukot 4–6).

Taulukko 3. Koepaikat, kastelumenetelmät, koevuodet ja koepaikkojen maalaji. Tilalla C salaojakastelu (käytännössä säätösalaajitus) oli vain vuosina 2002 ja 2003.

tila	paikkakunta	kastelumenetelmät	vuodet	maalaji
A	Tyrnävä	tykki, ramppi, tihkukastelu, salaojakastelu	2001, 2002, 2003	KHt
B	Liperi	tykki, tihkukastelu	2001, 2002	hkKHt, KHt
C	Pyhäjoki	tihkukastelu, salaojakastelu	2001, 2002, 2003	hkKHt, KHt
D	Himanka	tykki	2001, 2002	KHt
E	Kalajoki	ramppi	2001, 2002	KHt
F	Anjalankoski	ramppi	2001, 2002, 2003	Mm

Taulukko 4. Koepaikkojen perunalajikkeet.

Perunalajikkeet		2001	2002	2003
A	a tykki	Felsina	Fambo	Fambo
A	b ramppi	Felsina	Fambo	Fambo
A	c tihkukastelu	Felsina	Fambo	Fambo
A	d salaojakastelu	Felsina	Fambo	Fambo
A	e kastelematon	Felsina	Fambo	Fambo
B	a tykki	Asterix	Victoria	
B	c tihkukastelu	Asterix	van Gogh	
B	e kastelematon	Asterix	van Gogh/Victoria	
C	c tihkukastelu	Victoria	Asterix	Asterix
C	d salaojakastelu	-	Seresta	Seresta
C	e kastelematon	Victoria	Asterix	Asterix
D	a tykki	Idole	Idole	
D	e kastelematon	Idole	Idole	
E	b ramppi	Nicola	Nicola	
E	e kastelematon	Nicola	Nicola	
F	b ramppi	Nicola	Rosamunda	Victoria
F	e kastelematon	Nicola	Rosamunda	Victoria

Taulukko 5. Luonnonsateet ja kastelut (mm) koepaikoilla. Sademäärät ovat lähimmän sääaseman kesä-elokuun sademäärät. Tilan A kastelutietoja ei ole kirjattu vuonna 2001. Tilan B tykkikasteluruutuja ei kasteltu vuonna 2002 ja tilan E kastelematon ruutu sai kasteluvettä vuonna 2002. Tilalla C salaojakastelujärjestelmään ei pumpattu vettä lainkaan, jolloin tilanne vastasi sää-tösalojitusta.

Sateet ja kastelut (mm)	2001			2002			2003		
	sade	kastelu	yht.	sade	kastelu	yht.	sade	kastelu	yht.
A a tykki					34	215		66	156
A b ramppi					51	232		44	134
A c tihkukastelu				181	16	197	90	43	133
A d salaojakastelu					40	221		69	159
A e kastelematon					0	181		0	90
B a tykki		25	216		0	215			
B c tihkukastelu	191	41	232	215	50	265			
B e kastelematon		0	191		0	215			
C c tihkukastelu		21	218		41	193		30	195
C d salaojakastelu	197	-	-	152	säättöj.		165	säättöj.	
C e kastelematon		0	197		0	152		0	165
D a tykki		197	22	219	152	20	172		
D e kastelematon		0	197		0	152			
E b ramppi		197	15	212	152	75	227		
E e kastelematon		0	197		40	192			
F b ramppi		171	60	231	239	85	324	190	135
F e kastelematon		0	171		0	239		0	190

Taulukko 6. Koepaikkojen lannoitukset (kg/ha).

Lannoitus 2001		kg/ha	N	P	K	Ca	Mg	S		
A	a,b,c,e	Perunan Y1 (8-15-19)	650	sijoitus	52	33	124	7	13	72
		Täydennyslannos 1 (0-0-0)	325	hajalevitys			39	24	59	
A	d	Kloorivapaa tilalannoite 1 (9-2-19)	620	sijoitus	56	12	118		15	77
		Superfosfaatti (0-9-0)	300	hajalevitys			60			33
B	a,c,e	Perunan Y1 (8-5-19)	800	sijoitus	64	40	152	8	16	88
		Kalsiumravinne (0-0-0)	200	hajalevitys			42			32
		Kalium-magnesiumravinne (0-0-20)	200	hajalevitys			40	3	16	40
C	c	Perunan Y1 (8-5-19)	601	sijoitus	48	30	114			
		Kastelukalkkisaipietari (15,5-0-0)	30	kasteluedessä	5			6		
C	e	Perunan Y1 (8-5-19)	600	sijoitus	48	30	114			
D	a,e	Kloorivapaa Y4 (13-4-15)	400	sijoitus	52	16	60		10	40
		Kaliumsulfaatti (0-0-40)	150	hajalevitys			60			26
E	b,e	Perunan Ca Y1 (6-3-15)	1050	sijoitus	61	35	158	84		147
F	b,e	Siemenperunan Ca Y (4-4-16)	875	sijoitus	35	35	149	70		123
		Superfosfaatti (0-9-0)	350	hajalevitys			32	7		38

Lannoitus 2002		kg/ha	N	P	K	Ca	Mg	S		
A	a,b,c,d,e	Puutarhan Y3 (10-4-17)	500	sijoitus	50	20	85	5	13	55
B	a,e2	Puutarhan Y3 (10-4-17)	600	sijoitus	60	24	102	6	15	66
		Kalium-magnesiumravinne (0-0-20)	200	hajalevitys			40	4	16	40
	c,e1	Perunan Y1 (8-15-19)	850	sijoitus	68	43	162	9	17	94
		Kalium-magnesiumravinne (0-0-20)	280	hajalevitys			56	6	22	56
C	c	Kaliumsulfaatti (0-0-40)	150	hajalevitys			60			26
		Superfosfaatti (0-9-0)	300	hajalevitys		27		60		33
		Perunan Y1 (8-15-19)	330	sijoitus	26	17	63	3	7	36
		Kastelukalkkisaipietari (15,5-0-0)	89	kasteluedessä	14			17		
C	d	Kaliumsulfaatti (0-0-40)	300	hajalevitys			120			52
		Superfosfaatti (0-9-0)	300	hajalevitys		27		60		33
		Perunan Y1 (8-15-19)	750	sijoitus	60	38	143	8	15	83
C	e	Kaliumsulfaatti (0-0-40)	150	hajalevitys			60			26
		Superfosfaatti (0-9-0)	300	hajalevitys		27		60		33
		Perunan Y1 (8-15-19)	330	sijoitus	26	17	63	3	7	36
D	a,e	Puutarhan Y1 (9-6-17)	600	sijoitus	54	36	102	6	12	60
		Kaliumsulfaatti (0-0-40)	100	hajalevitys			40			17
E	b,e	Superfosfaatti (0-9-0)	414	hajalevitys		37		83		46
		Perunan NK (8-0-22)	858	sijoitus	69		189		14	139
F	b,e	Puutarhan Y2 (6-6-19)	600	sijoitus	36	36	114	6	18	72
		Kaliumsulfaatti (0-0-40)	150	sijoitus			60			26

Lannoitus 2003		kg/ha	N	P	K	Ca	Mg	S		
A	a,b,c,d,e	Puutarhan Y1 (9-6-17)	550	sijoitus	50	33	94	6	11	55
		Kalsiumravinne (0-0-0)	600	hajalevitys			126			96
C	c,e1	Perunan Y1 (8-15-19)	400	sijoitus	32	20	76	4	8	44
		Superfosfaatti (0-9-0)	250	hajalevitys		23		50		28
		Kastelukalkkisaipietari (15,5-0-0)	50	kasteluedessä	8			10		
C	d,e2	Perunan Y1 (8-15-19)	240	sijoitus	19	12	46	2	5	26
F	b,e	Puutarhan Y2 (6-6-19)	600	hajalevitys	36	36	114	6	18	72
		Kaliumsulfaatti (0-0-40)	150	hajalevitys			60			26
		Superfosfaatti (0-9-0)	200	sijoitus		18		40		22

2.2 Mittaukset ja analyysit

Tutkimuksessa mitattiin tai analysoitiin 1) maan kosteus kolmella eri menetelmällä, 2) maan ravinteet keväisin ja syksyisin, 3) satomäärä ja perunasadon kokojakauma, 4) sadon tärkkelyspitoisuus, 5) sadon ulkoinen laatu, 6) sadon keittolaatu ja 7) mukuloiden ravinnepitoisuus.

2.2.1 Maan vesitalous

Tässä tutkimuksessa selvitettiin maan ja veden suhteita eri kastelumenetelmissä kolmella toisiaan täydentävällä menetelmällä. Maan kosteusmittausten lisäksi mitattiin sademäärät päivittäin muilta tiloilta paitsi tiloilta C ja D.

2.2.1.1 Tensiometrimittaukset

Maan kosteutta seurattiin tensiometreillä (Dirksen 1999) kesällä 2003 tilalla A Tyrnävällä, jossa olivat käytössä kaikki neljä kastelumenetelmää ja lisäksi kastelemattomia verranneruutuja. Tensiometrit asennettiin 25 cm:n syvyyteen penkin harjalta mitattuna, jolloin ne kertoivat penkin kosteustilan mukulape-sän lähetyvillä. Jokaiseen ruutuun asennettiin yksi tensiometri, yhteensä 20 kappaletta. Muutama tensiometri lakkasi toimimasta kesän aikana, eikä niitä otettu huomioon tuloksia laskettaessa. Mittauksia tehtiin 15 kertaa muutaman päivän välein 23.6.–11.8.2003. Tuloksista piirrettiin kuva, josta käyvät ilmi myös päivittäiset sade- ja kastelumäärät (Kuva 4).

2.2.1.2 Maaprofiilin kosteusmittaukset

Maaprofiilin kosteutta seurattiin kapasitanssiin perustuvalla maan kosteusmittarilla (Dirksen 1999), joka mittaa maan kosteuden tilavuusprosentteina 10 cm:n välein 80 cm:iin asti (Diviner 2000, Sentec). Mittauksia tehtiin vuosina 2002 ja 2003 Tyrnävän päätilalta (A), jossa olivat mukana kaikki neljä kastelumenetelmää sekä kastelematon verranne. Tarkastelun pääpaino on vuoden 2002 tuloksissa, jolloin mittauksia tehtiin 12 ajankohtana muutaman päivän välein. Vuoden 2003 mittausjakso jäi lyhytyensä vuoksi (kolme mitausajankohtaa) melko epäluotettavaksi. Päätilan mittausten lisäksi maan kosteusprofiileja mitattiin verrannetiloilta (B–F) kesällä 2002. Mittauksia tehtiin jokaisen kastelulohkon neljältä koeruudulta sekä kastelemattomilta verranneruuduilta.

Maaprofiilien kosteuksista piirrettiin kuvat, joissa kosteus esitetään pinnan tasa-arvokäyrinä siten, että käyrät on määritelty piirrettäväksi viidelle tasavälisesti valitulle kosteusluokalle. Kukin luokka on kuvattu eri värisävyllä. Ennen kuvan piirtoa liukuvan keskiarvon menetelmällä interpoloitiin kosteus-

tiedot kattamaan kaikki päivät ja syvyydet. Kuviin lisättiin tiedot sateiden ja kasteluiden määristä ja ajankohdista (Kuvat 5–10).

Tarkastelussa keskityttiin tekemään havaintoja nimenomaan kosteuden muutoksista eri menetelmissä ja vasta toissijaisesti kosteusmääristä. Näin siksi, että samallakin lohkollla maalaji ja pinnanmuodot saattoivat hieman vaihdella eri ruuduilla ja aiheuttaa eroja tilavuusprosentteina ilmoitettuihin kosteuksiin. Tilojen välillä jo pelkät maalajierot estivät absoluuttisten kosteuslukemien vertailut.

2.2.1.3 Maan kosteuden jatkuva seuranta

Perunapenkin kosteutta seurattiin lisäksi kapasitanssiin perustuvalla (Dirksen 1999) jatkuvatoimisella maan kosteutta mittaavalla laitteistolla (EnviroScan, Sentec) tilalla A vuonna 2002. Maankosteusanturit asennettiin penkkiin 15 ja 30 cm:n syvyyteen, ja kosteus luettiin automaattisesti 10 minuutin välein 14.6.–12.8.2002. Kosteuslukemista piirrettiin kuvaaja (Kuva 11). Lukemiin on suhtauduttava varauksella, sillä niitä ei ollut skaalattu maalajin mukaan. Lisäksi virheen mahdollisuus oli suuri, sillä jokaisessa kastelumenetelmässä (a–e) oli vain yksi anturipari. Antureita oli yhteensä kymmenen.

2.2.2 Maan ravinteet

Kastelumenetelmän vaikutusta maan ravinnepitoisuuksiin selvitettiin ottamalla maanäytteet kaikilta koeruuduilta jokaiselta tilalta jokaisena kolmena koevuonna keväällä ennen lannoituksia ja syksyllä sadonkorjuun jälkeen 0 – 20 cm:n syvyydeltä. Näytteistä analysoitiin happamuus (pH), johtoluku, kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kupari (Cu), mangaani (Mn), sinkki (Zn), rikki (S) ja fosfori (P). Mangaanin tulos ilmoitetaan pH-korjattuna. Analyysit teetettiin Suomen ympäristöpalvelu Oy:ssä.

Analyysituloksia tarkasteltiin vertaamalla, onko ravinnepitoisuuksissa tapahtunut muutoksia kevään ja syksyn välillä. Eri kastelumenetelmien ajateltiin huuhtoneen maan ravinteita eri tavalla. Aineistosta poistettiin sellaiset sivutilojen ruudut, joilla kastelu ei ollut toteutunut suunnitellulla tavalla. Kastelumenetelmille laskettiin kolmen vuoden keskiarvot erikseen keväälle ja syksyille. Keskiarvot laskettiin sekä kaikille tiloille (A–F) että pelkästään Tyrnävän tilalle (A).

2.2.3 Perunan sato ja laatu

Sadosta tehtäviä määrittäviä varten perunanäytteet otettiin käsinostoina juuri ennen konenostoa ruuduittain 3,2 m x 2 m. Satopunnitusten, kokolajittelun ja tärkkelysmäärittäysten jälkeen perunanäytteistä määritettiin ulkoinen laatu ja keittolaatu. Lisäksi lähetettiin mukulanäytteet ravinnemäärittäisiin. Kastelu-

hankkeen sato- ja laatumäärytykset tehtiin MTT:n virallisen lajikeohjeistuksen mukaan (<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/www/Palvelut/Viralliset%20lajikekoheet>). Tarkastelu kohdistuu vain niihin käsittelyihin, joissa kastelu pystyttiin toteuttamaan suunnitellusti.

2.3 Tilastolliset menetelmät

Kastelumenetelmien vaikutusta maan ravinteisiin ja perunasadon määrään ja laatuun analysoitiin tilastollisin menetelmin. Käsittelyt kohdistettiin pelto-lohkoihin eikä yksittäisiin ruutuihin, joten kaikissa valituissa tilastollisissa malleissa koeyksikkönä on käytetty peltolohkoa eikä yksittäistä ruutua. Näin ollen perusmalli oli seuraava: $y_{ijkl} = \mu + \text{vuosi}_i \times \text{paikka}_j + \text{menetelmä}_i + \text{lohko}_k(\text{vuosi}_i \times \text{paikka}_j) + \varepsilon_{ijkl}$, missä μ on vakio-termi, vuosi_i , paikka_j ja menetelmä_i ovat vuoden, paikan ja kastelumenetelmän kiinteät vaikutukset, $\text{lohko}_k(\text{vuosi}_i \times \text{paikka}_j)$ on lohkojen välinen vaihtelu ja ε_{ijkl} jäännösvirhe. Lohkojen välinen vaihtelu ja jäännösvirhe ovat mallissa toisistaan riippumattomia normaalisti jakautuneita satunnaistekijöitä. Maaperästä tehdyt mittaukset tehtiin sekä keväällä että syksyllä, jolloin analyysiin lisättiin vuodenaika sekä vuodenaajan yhdysvaikutus menetelmän, vuosi \times paikka-kombinaation ja peltolohkojen välisen vaihtelun kanssa. Lisäksi malliin lisättiin uusi jäännösvirhe. Koeaineisto analysoitiin myös käyttäen pelkästään tilan A havaintoja, jolloin mallista jäi pois koepaikan vaikutus, mutta muuten malli oli sama kuin edellä. Kaikki edellä mainitut varianssianalyysit tehtiin SAS/MIXED-ohjelmistolla, ja jäännösvirheiden normaalijakautumista tutkittiin graafisin menetelmin. Tämän tarkastelun perusteella päätettiin tehdä aineistoon log-muunnos (maan kalium, kalsium, magnesium, mangaani, sinkki, rikki, Ca:Mg-suhde sekä johtoluku ja mukulan kalsium) tai arkussinini-neliöjuuri-muunnos (perunan erilaiset kokolajittelut ja rupi). Edellisten muuttujien kaikki tässä raportissa esitettävät lukuarvot on kuitenkin muunnettu takaisin alkuperäiselle asteikolle vastamuunnoksen avulla, mutta keskiarvon keskivirhettä ei voida muuntaa, joten se on jätetty tällöin esittämättä.

Korrelaatioita tutkittiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla. Koska korrelaatiokerroin tulisi laskea vain toisistaan riippumattomista havainnoista ja koska mm. koepaikkojen väliset tasoerot sotkevat tarkastelua, korrelaatiot on laskettu varianssianalyysin tuloksena saaduista jäännöksistä (ε_{ijkl}), jotka ovat toisistaan riippumattomia ja joissa koepaikkojen erilaisuus on jo huomioitu. Korrelaatiot laskettiin SAS/CORR-ohjelmistolla.

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.1 Kastelumenetelmän vaikutus maan vesitalouteen

3.1.1 Tensiometrimittaukset

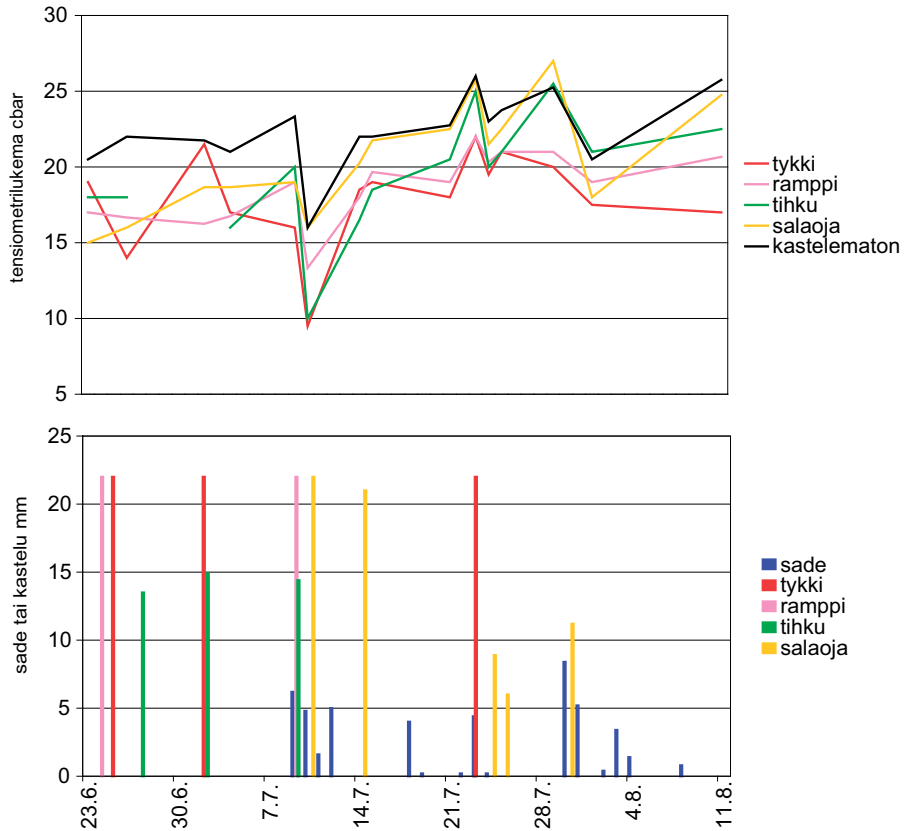
Kesän 2003 aikana tehdyt kaikki kolme tykkikastelua näkyivät tensiometreillä tehdyissä kosteusmittauksissa, jotka kertovat perunapenkin kosteuden mukulapesän lähetyvillä. Alkukesän kastelut näkyivät selvemmin kuin loppukesän (Kuva 4). Mutta kaikkein parhaiten penkin kasteli muutaman päivän jatkunut pieni tasainen sadekausi. Tämä tukee käsitystä, että tykkikastelussa vettä tulee nopeasti niin paljon, että se ei ehdi imeytyä kuivaan penkkiin, vaan virtaa vaon pohjalle ja vasta siitä maahan. Tykkikastellut ruodut säilyivät keskimäärin kaikkein kosteimpina koko kasvukauden.

Ramppikastelu tehtiin kahteen kertaan kesän aikana. Ensimmäinen kastelu jäi mittauskertojen väliin eikä ollut luettavissa tensiometrilukemista muuten kuin siten, että maa säilyi pitkään kosteana. Toinen kastelu sattui juuri muutaman päivän sadejakson alkuun. Kastelun vaikutuksista penkin kosteuteen voidaan todeta vain, että myös ramppikasteluruutujen penkki kastui parhaiten luonnonsateista ja että penkki kuivui melko nopeasti entiselleen. Perunapenkin kosteus säilyi koko kesän tasaisempana kuin tykkikasteluruuduissa.

Tihkukastelu tehtiin kolmesti kesän aikana. Sateet ja kastelut näkyivät mittaustuloksissa, mutta tihkukastelussa perunapenkki kuivui sateiden ja kasteluiden jälkeen nopeammin kuin muissa menetelmissä. Tämä havaittiin muita menetelmiä suurempina ja jyrkempinä kosteusvaihteluina. Vaikutelmaksi jäi, että tihkukastelussa ei ollut käytettävissä vesivarastoja, joista penkki saisi lisää kosteutta evapotranspiraatioon käytetyn veden tilalle.

Vettä pumpattiin salaajakastelulohkolle viiteen kertaan kesän aikana. Lohkon tensiometritulokset osoittivat, että sateet kastelivat perunapenkin, mutta salaajakasteluiden vaikutus ei ulottunut tensiometriin syvyydelle (25 cm) asti. Altapäin tuleva vesi ei siis tavoittanut maan pintaa.

Kastelemattomien ruutujen penkkien kosteus vaihteli sateiden mukaan. Kastelemattomien ruutujen penkit olivat koko mittauskauden kuivempia kuin muiden menetelmien. Salaajakasteluruutujen, ja loppukesästä myös tihkukasteluruutujen, penkit olivat tosin osan aikaa yhtä kuivia kuin kastelemattomat. Tensiometrilukemien mukaan maa säilyi kuitenkin kaikilla ruuduilla melko kosteana koko kesän.



Kuva 4. Tensiometrimittaukset ja mittausjakson sateet ja kastelut tilalla A kasvukaudella 2003. Tensiometrit sijaitsivat noin 25 cm:n syvyydellä penkin yläosasta. Pieni lukema tarkoittaa märkää maata.

3.1.2 Maaprofiilin kosteusmittaukset

Vuonna 2002 Tyrnävän päätilan (A) tuloksille oli yhteistä se, että sateet ja kastelut näkyivät selvästi maan kosteuksissa (Kuva 5). Aivan kesäkuun viimeisten päivien sateet ja varsinkin 5.7. tullut 38 mm:n ukkossade kastelivat kaikki ruudut hyvin märiksi, minkä jälkeen maa kuivui jatkuvasti mutta hitaasti syksyä kohti. Maassa riitti kosteutta heinäkuun alun jälkeen useiden viikkojen ajan eikä kastelutarvetta juuri ollut. Kastelumenetelmien vertailuun kesä 2002 ei siis ollut paras mahdollinen, mutta menetelmien välillä havaittiin silti eroja.

Heinäkuun alun sateiden jälkeen alkoivat tykki- ja ramppekasteluruudut sekä kastelemattomat ruudut kuivua noin 50 cm:n syvyydestä, mikä näkyi profiilikuvissa selvästi elokuun alkaessa. Myös tihkukasteluruudut kuivuivat siitä huolimatta, että ne kasteltiin 22.7. Sen sijaan salaojakasteluruuduissa ei tuolloin esiintynyt maan kuivumista 50 cm:n syvyydessä. Salaojiin pumpattiin

vettä 15. ja 18.7., mikä siis riitti pitämään maan kosteana juuristövyöhykkeessä silloin kuin maa kuivui muissa menetelmissä (Kuva 5). Vuonna 2003 heinäkuun loppupuolella myös salaojakasteluruuduissa näkyi kuivumista 60 cm:n syvyydessä muiden ruutujen tapaan (Kuva 6).

Perunan juuristo ulottuu heinäkuussa juuri 50 cm:n syvyyteen, joten tämän syvyyden tasainen ja riittävä kosteus on tärkeää perunan vedensaannille mukuloiden lisäkasvuvaiheen aikana.

Maan pintakerrosten kosteudessa oli eroja eri menetelmien välillä siten, että salaojakastelu ja tihkukastelu olivat kuivempia kuin muut menetelmät (Kuvat 5 ja 6). Salaojakastelussa vettä ei siis ainakaan karkealla hietamaalla nouse maan pintakerrokseen niin paljoa, että pinta pysyisi yhtä kosteana kuin tykkimä- tai ramppikastelussa. Annetut vesimäärät olivat likimain samat näillä kolmella menetelmällä. Toisaalta, pintakerrosten kosteudella ei ole paljoakaan merkitystä perunan kasvuun siinä vaiheessa, kun juuret ulottuvat syvälle ja ottavat veden sieltä. Kuivasta pinnasta on lisäksi se hyöty, että haihtuminen on vähäisempää kuin kosteasta.

Tihkukastelussa vesi annetaan maan pintakerrokseen, mutta silti tihkukasteltujen ruutujen pintakerrokset 30 cm:n syvyyteen asti olivat kuivia koko kesän lukuun ottamatta rankkojen sateiden jälkeistä aikaa (Kuvat 5 ja 6). Annetut vesimäärät eivät tuntuneet riittävän pitämään maata tarpeeksi kosteana. Perunapenkissä on runsaasti haihduttavaa maanpintaa, joten tihkukastelulla sinne annetut pienet vesimäärät ovat alttiimpia haihtumiselle kuin päältäkasteluissa vaon pohjalta syvemmälle maahan imeytyneet vedet.

Vuonna 2002 tihkukastelua käytettiin vain kahteen kertaan, joten sen vaikutukset eivät ehkä tulleet täysin oikeina esille (Kuva 5). Vuonna 2003 tihkukastelua käytettiin useammin, ja vesimäärät olivat lähes samaa suuruusluokkaa kuin muissakin menetelmissä. Kastelujen vaikutuksesta maan kosteuteen ei kuitenkaan voi tehdä päätelmiä, sillä kaikki kastelut ajoittuivat ennen lyhyeksi jäänyttä mittausjaksoa (Kuva 6).

Tykki- ja ramppikastelussa maan kosteuksissa oli eroja sekä syvissä että pintakerroksissa siten, että tykkikastelussa maa oli kuivempaa vuonna 2002 (Kuva 5). Kosteuden muutokset olivat kuitenkin melko samanlaisia kummasakin menetelmässä. Ramppikastelussa maan suurempi kosteus saattoi johtua maalajin mahdollisten erojen lisäksi siitä, että se sai enemmän kasteluvettä kesäkuun loppupuolella. Vuonna 2003 tilanne oli päinvastainen; tykkikastelu, joka sai enemmän kasteluvettä, oli nyt puolestaan märempi niin syvältä kuin pinnasta (Kuva 6). Myös vuonna 2003 kosteuden muutokset olivat keskenään melko samanlaisia eli maa alkoi loppukesästä kuivua juuristövyöhykkeessä, mikä näkyi eniten 60 cm:n syvyydessä.

Tässä tutkimuksessa ei saatu vastausta siihen, olisiko maan kuivuminen 50–60 cm:n syvyydeltä pystytty estämään, mikäli kastelumäärät olisivat olleet suuremmat.

Tyrnävän päätilalla (A) kastelemattomat ruudut olivat kosteampia kuin monet kastellut ruudut (Kuvat 5 ja 6). Tämä saattaa johtua maalajin vaihteluista, haihdunnan vaihteluista tai siitä, että viereisellä lohkolle tehty salaojakastelu saattoi vaikuttaa osaan kastelemattomista ruuduista. Silmävaraisesti arvioiden lohko, jolla tutkimus tehtiin, vaikutti kuitenkin erittäin tasalaatuiselta ja sopivalta kastelumenetelmien vertailuun.

Tutkimuksessa mukana olleet sivutilat (B–F) toivat seuraavaa lisätietoja tuloksiin vuoden 2002 mittauksen perusteella:

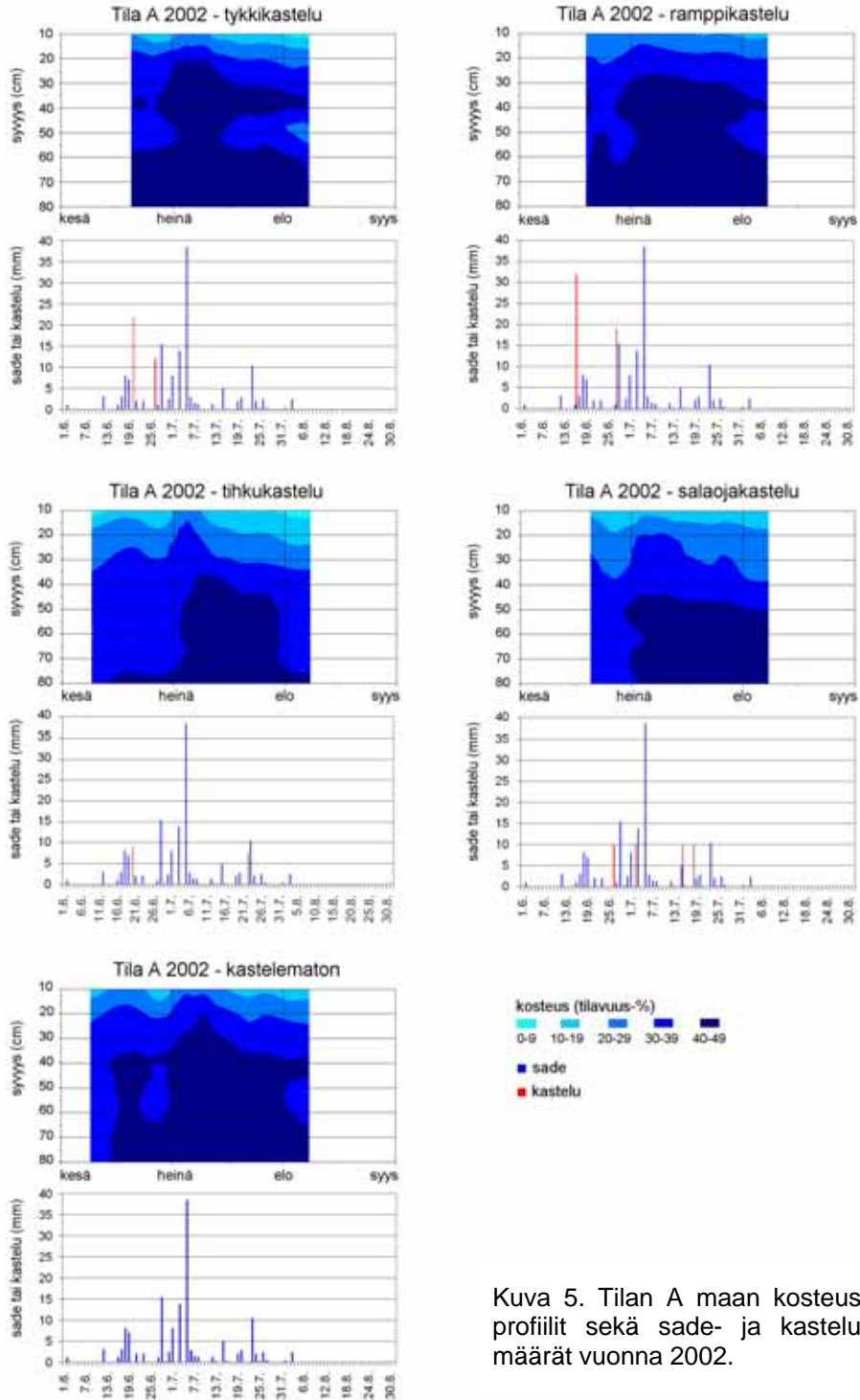
Tila B: Tykkikastelua ei tehty lainkaan, joten sen tuloksia ei käsitellä. Tihkukastelut kastelivat maata 20–30 cm:n syvyydeltä, mutta kastelun vaikutus loppui muutamassa päivässä. Kasteluvesi levisi maksimissaan vain 35 cm:n syvyydelle (Kuva 7). Tihkukasteluruuduissa maa oli jopa kuivempaa kuin kastelemattomissa ruuduissa, mutta pellolla tehtyjen havaintojen mukaan kastelematon ruutu sijaitsi paremmalla maalajilla kuin tihkukasteluruudut.

Tila C: Tilan C maaprofiili jakautui selvästi kahtia: 50 cm:iin asti maa oli karkeaa hietaa, ja sen alla oli karkeaa hiekkaa. Pinta- ja syvien kerrosten kosteuksia ei siis voi verrata toisiinsa. Salaojakastelussa salaojiin ei pumpattu vettä lainkaan, mutta sulkukaivon sulut olivat kiinni pitäen pohjaveden pintaa korkeammalla kuin se muuten olisi ollut. Tilanne vastasi säätösalojituksia. Säätäsjaojitus piti maan kosteuden 50 cm:n syvyyteen asti kosteampana ja tasaisempaa kuin tihkukastelu (Kuva 8), mikä tukee tilalta A tehtyjä havaintoja.

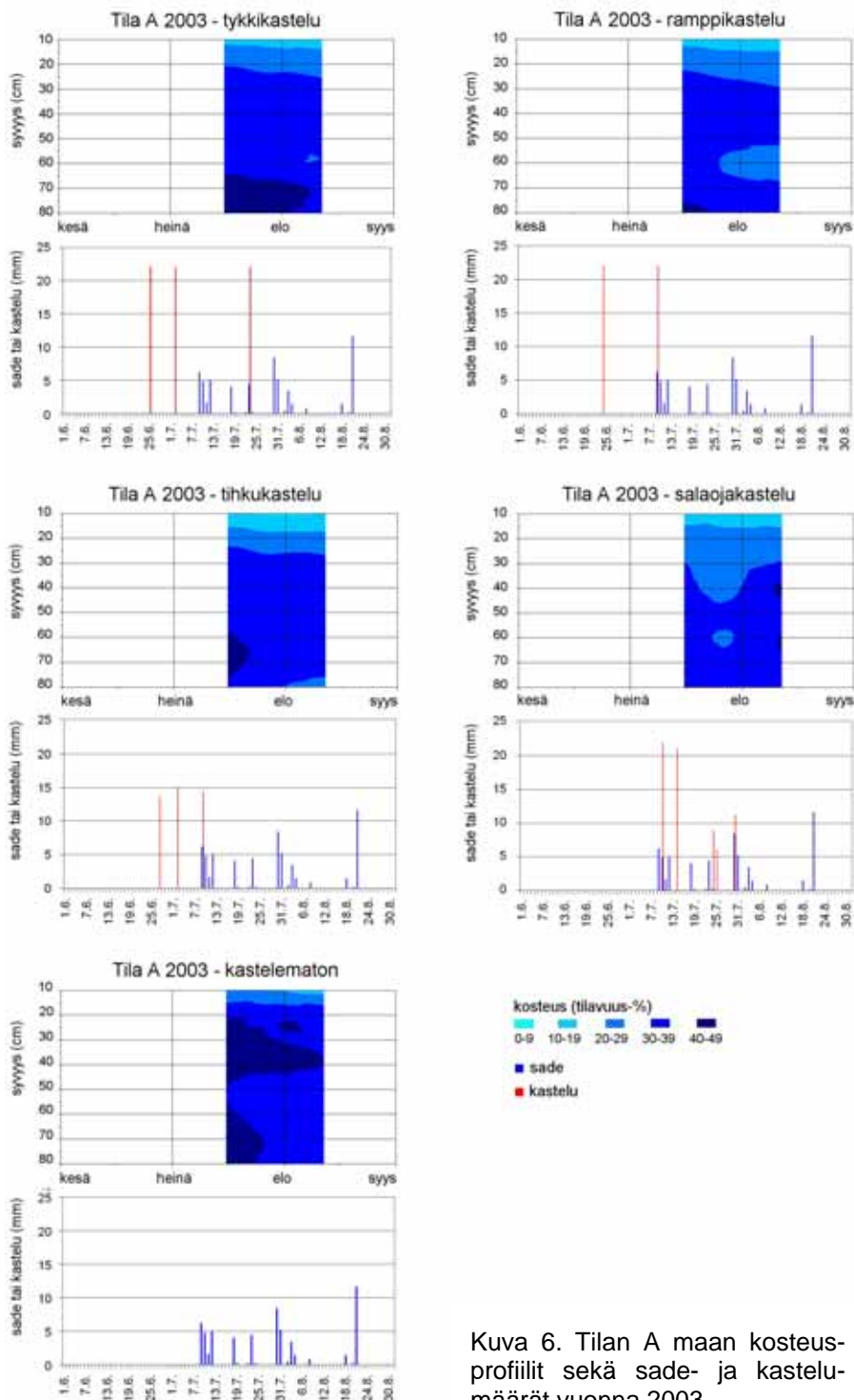
Tila D: Tykkikastelu tehtiin vain kerran kasvukauden alussa. Kastellut ja kastelemattomat ruudut eivät juurikaan eronneet toisistaan. Kuvia ei esitetä.

Tila E: Ramppikastellut ruudut olivat 40 cm:n syvyydessä koko kesän kosteampia kuin kastelematon, mutta pinnasta kastelematon oli kosteampi (Kuva 9). Tulosten tarkastelua haittaa, että myös kastelemattomat verranneruudut kasteltiin kahteen kertaan ja että muokkauskerroksen todettiin olevan epätasainen. Verranneruutuja kasteltiin, koska tilalla oli kyse suhteellisen suuresta tuotantoalasta eikä sadon määrää ja laatua haluttu kokeiluluonteisesti riskerata.

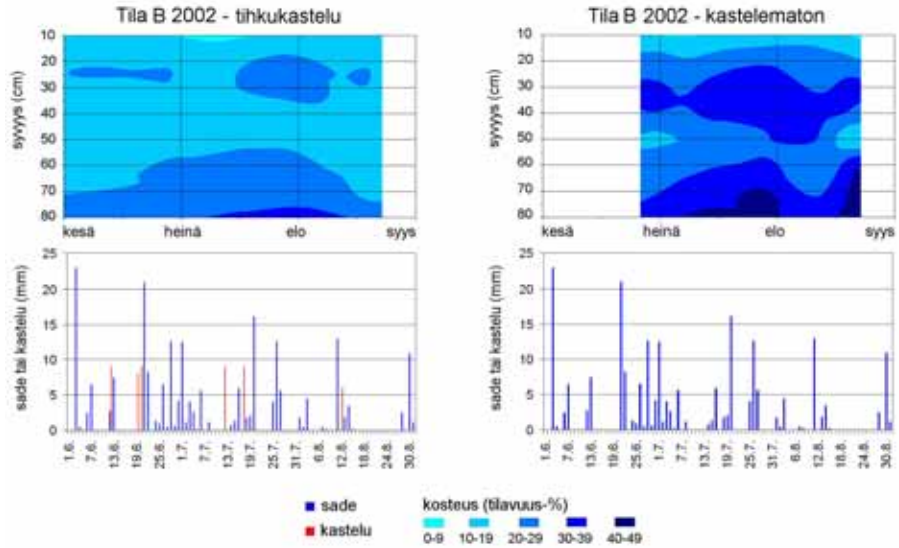
Tila F: Riittäväällä ramppikastelulla maa pystyttiin pitämään kosteampana kuin kastelematon koko kesän ajan (kuva 10).



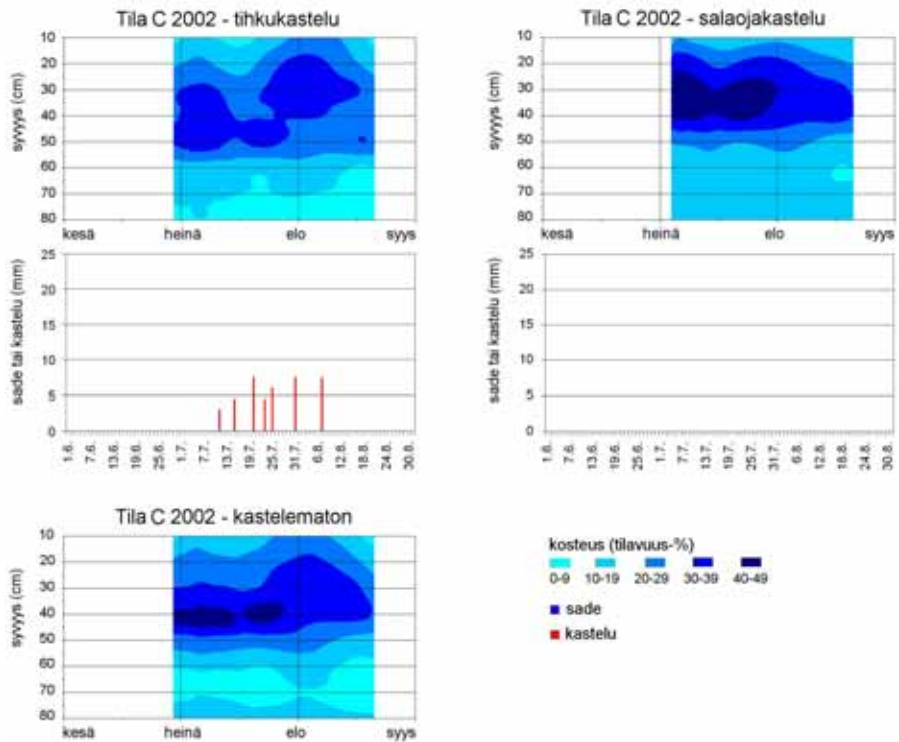
Kuva 5. Tilan A maan kosteusprofiilit sekä sade- ja kastelumäärät vuonna 2002.



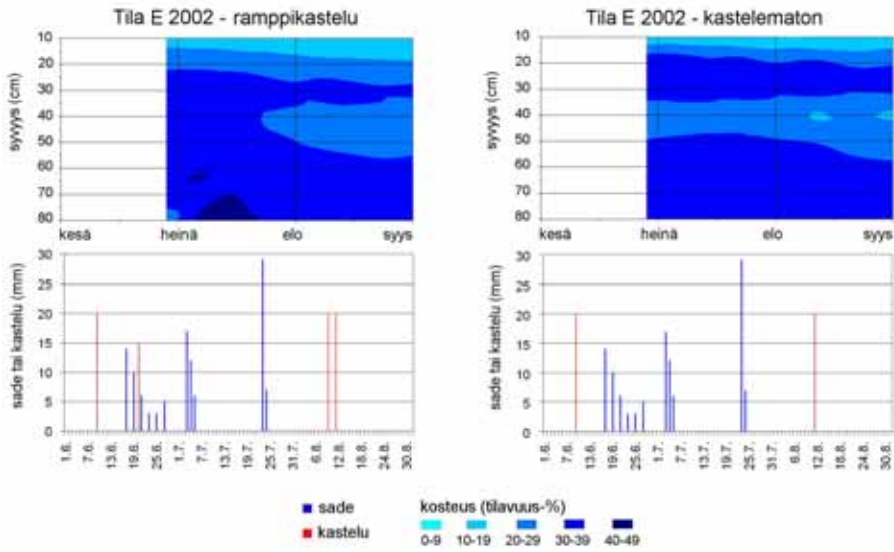
Kuva 6. Tilan A maan kosteusprofiilit sekä sade- ja kastelumäärät vuonna 2003.



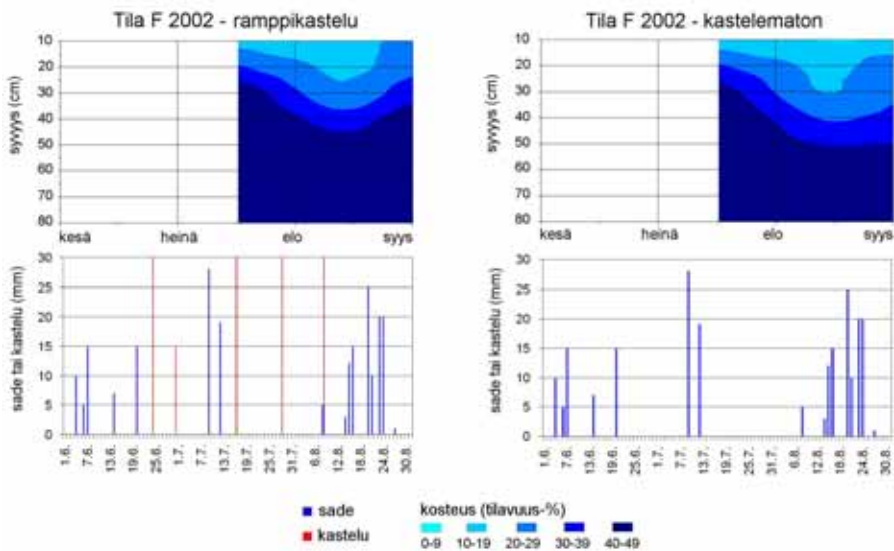
Kuva 7. Tilan B maan kosteusprofiilit sekä sade- ja kastelumäärät vuonna 2002.



Kuva 8. Tilan C maan kosteusprofiilit sekä kastelumäärät vuonna 2002. Päivittäiset sademäärät puuttuvat. Salaojakastelussa ei pumpattu lisävettä, joten tilanne vastasi säätösalojitusta.



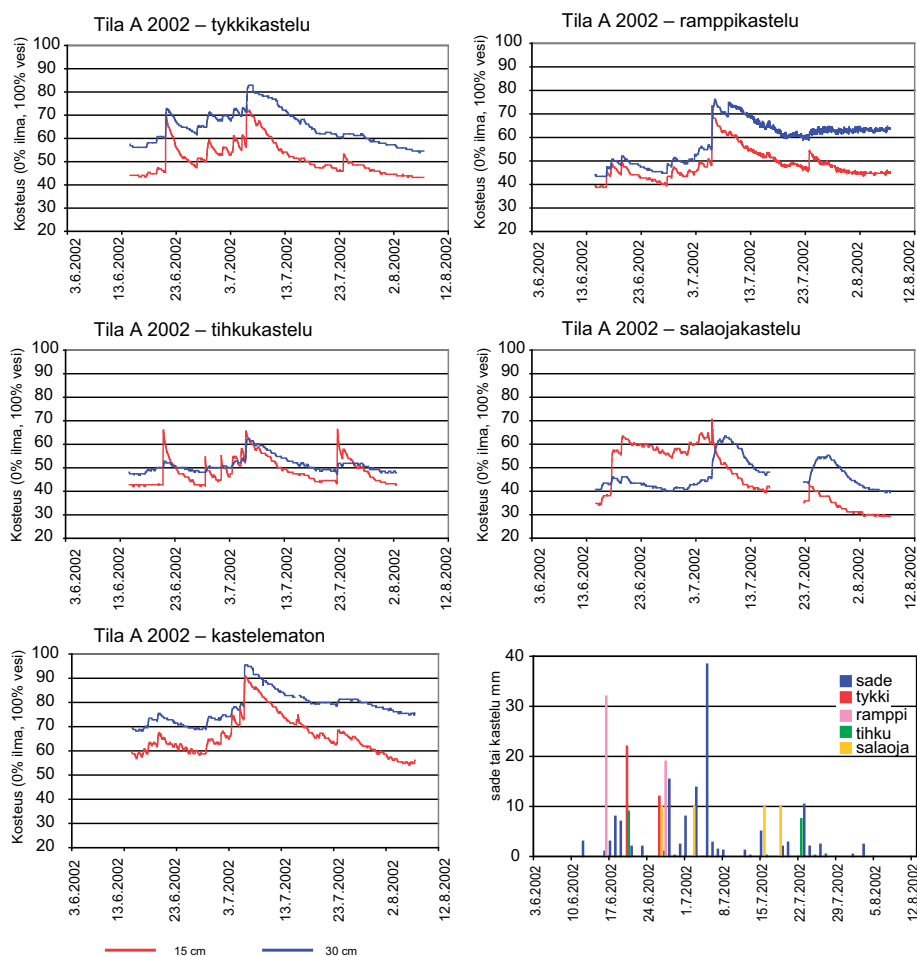
Kuva 9. Tilan E maan kosteusprofiilit sekä sade- ja kastelumäärät vuonna 2002. Myös kastelemattomia ruutuja jouduttiin kastelemaan kahteen kertaan.



Kuva 10. Tilan F maan kosteusprofiilit sekä sade- ja kastelumäärät vuonna 2002.

3.1.3 Maan kosteuden jatkuva seuranta

Maan kosteuden jatkuvan seurannan kuvista tilalla A vuonna 2002 (Kuva 11) käy ilmi, että kosteusanturit reagoivat hyvin sateisiin ja kasteluihin. Varsinkin 5.7. tullut 38 mm:n ukkoskuuro näkyi kosteuksissa selvästi. Kuvat osoittivat myös, että maa oli 15 cm:n syvyydeltä lähes jatkuvasti kuivempaa kuin 30 cm:n syvyydestä. Ainoastaan rankkojen sateiden tai kasteluiden jälkeen pinnan kosteus lähes saavutti syvemmän kerroksen kosteuden. Se, että pinnan lukemat jäivät sateenkin jälkeen hieman alhaisemmiksi, johtuu pinnan löyhemmästä rakenteesta. Salaojakastelulohkon pinnan kosteuskokemukset, jotka olivat syvempää kerrosta suuremmat, eivät vaikuttaneet uskottavilta eivätkä muut mittaukset tukeneet niitä.



Kuva 11. Maan kosteuden jatkuva seuranta ja seurantajakson sateet ja kastelut tilalla A kasvukaudella 2002. Kosteusanturit sijaitsivat 15 cm:n ja 30 cm:n syvyydellä. Kosteuskokemuksia ei ole kalibroitu, joten niitä on tarkasteltava suhteellisina.

Kuvista (Kuva 11) käy myös ilmi, että maan pinnassa kosteuden vaihtelut olivat sateiden tai päältäkasteluiden jälkeen suuremmat kuin syvemmältä. Kosteus oli siis tasaisempaa syvemmältä. Kuvista käy myös selvästi ilmi maan kuivuminen loppukesää kohti.

Kastelumenetelmien välillä havaittiin seuraavia eroja: Tykki- ja ramppikasteluruutujen maat käyttäytyivät likimain samalla tavalla kuin kastelematon maa. Maan kosteudet vaihtelivat sateiden ja kastelujen mukaan.

Tihkukastelu erosi muista siinä, että maan kosteus oli likimain sama kummassakin syvyydessä ja että maa oli melko kuivaa. Kosteuden vaihtelut olivat pintakerroksessa hyvin rajuja kahden annetun tihkukastelun yhteydessä; pintakerros kastui nopeasti mutta myös kuivui nopeasti, nopeammin kuin muut ruudut kastelun jälkeen. Rankkojen sateiden vaikutus ei näkynyt tihkukasteluruudussa yhtä selvästi kuin kastelujen vaikutus. Tämä tukee käsitystä, että sadevesi ei ehdi imeytyä kuivaan penkkiin, vaan se imeytyy maahan vasta vaon pohjalta. Tihkukasteluvesi tuntui häviävän penkistä nopeasti.

Salaojakastelulohkon tulosten tulkintaa haittaavat mittauksiin tullut katkos ja varsinkin pintakerroksessa olleen anturin epäuskottavat lukemat heinäkuun alkuun asti. Anturi ei reagoinut kunnolla silloin tulleeseen rankkasateeseenkaan. Pintakerroksen kosteusvaihtelut vaikuttivat kuitenkin samantyyppisiltä kuin kastelemattomassa ruudussa. Kummankin pintaan tuli vain sadevettä. Syvemmän kerroksen kosteuslukemat nousivat aina muutama päivä salaojakasteluiden jälkeen, kaikkein näkyvimmin heinäkuun alussa, jolloin salaojakastelun jälkeen tuli lisäksi rankka ukkoskuuro. Salaojakastelu lisäsi maan kosteutta 30 cm:n syvyydessä selvästi rauhallisemmin kuin päältäkastelut.

Jatkuvan kosteus seurannan tulokset tukivat ja täydensivät tensiometreillä ja Diviner-mittauksilla saatuja tuloksia.

3.2 Kastelumenetelmän vaikutus maan ravinteisiin

Kastelumenetelmillä ei ollut vaikutusta maan pH-tasoon. Ravinnepitoisuudet yleensä kasvoivat kevästä syksyyn johtuen kevään näytteenoton jälkeen annetusta lannoituksesta, jonka vaikutus ei ollut hävinnyt vielä syksyyn mennessä (Taulukko 7).

Kastelumenetelmät erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi kaikilla tiloilla ja lisäksi Tyrnävän tilan A erillistarkastelussa rikin ja johtoluvun suhteen (Taulukko 7, havainnollistus kuvassa 12). Muilla ravinteilla oli tilastollisesti merkitseviä eroja vain jommassakummassa ryhmässä.

Erot johtuvat siitä, että sulfaatti liikkuu helposti maassa veden mukana. Keväällä maan rikkipitoisuudet olivat alhaiset johtuen siitä, että sulfaattia oli

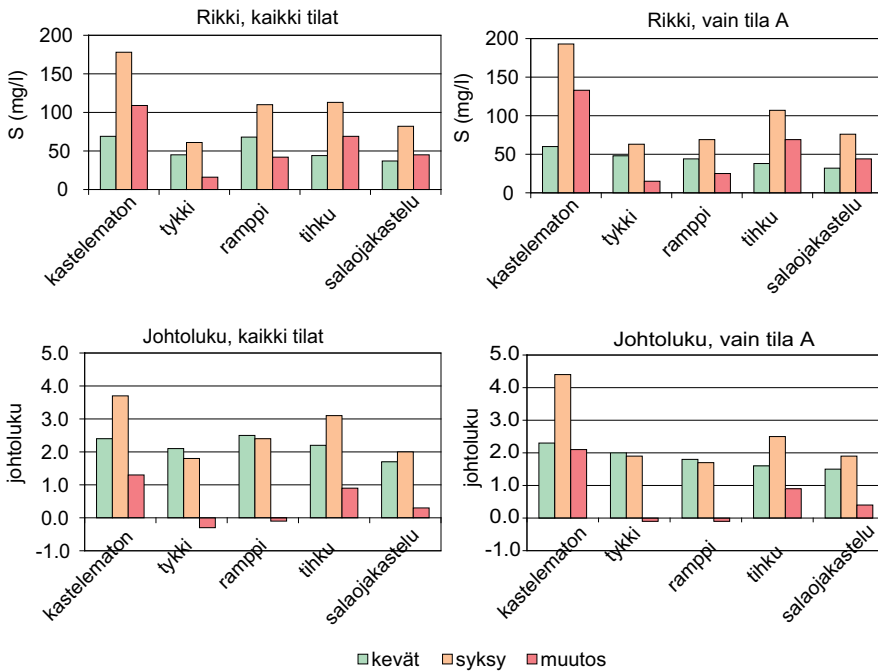
huuhtoutunut talven aikana. Rikin määrä kasvoi ruuduilla kevästä syksyyn, koska sitä annettiin lannoitteiden mukana. Kastelemattomissa ruuduissa rikkipitoisuuden nousu oli suurinta, joten sitä oli huuhtoutunut vähiten kesän aikana. Tykki- ja ramppikastelussa nousu oli pienintä, koska annettu rikki oli huuhtoutunut rankoissa kasteluissa. Tykkikastelussa huuhtoutuminen näytti olevan hieman runsaampaa kuin ramppikastelussa. Kastelumenetelmistä tihekukastelu oli huuhtonut rikkiä vähiten. Johtoluvun erot johtuivat samoista sivistä kuin rikin (Kuva 12).

Sama ilmiö näkyy myös kalsiumilla niin päätilalla kuin kaikilla tiloilla, jossakaan se ei ole tilastollisesti merkitsevä. Kaikki tilat käsittävässä aineistossa löytyi tilastollisesti merkitsevä ero myös kaliumin suhteen; tykki oli huuhtonut sitä eniten. Myös magnesium säästyivät parhaiten huuhtoutumiselta kastelemattomissa ruuduissa (Taulukko 7).

Taulukko 7. Maan ravinnepitoisuudet eri kastelumenetelmissä vuosien 2001–2003 kaikkien koepaikkojen ja tilan A keskiarvoina.

ravinne	Kaikki tilat						Vain tila A					
	tykki	ramppi	tihku	salaoja	maton	p-arvo	tykki	ramppi	tihku	salaoja	maton	p-arvo
pH, kevät	5,9	5,7	5,8	5,2	5,6		6,1	5,8	5,8	5,3	5,8	
pH, syksy	5,9	5,6	5,6	5,1	5,6		5,9	5,7	5,6	5,1	5,5	
pH, muutos	0	-0,1	-0,2	-0,1	0	0,90	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	0,53
K, kevät (mg/l)	103	104	101	125	118		58	50	60	69	60	
K, syksy (mg/l)	65	92	90	98	101		46	49	67	65	62	
K, muutos	-38	-12	-11	-27	-17	0,05	-12	-1	7	-4	2	0,18
Ca, kevät (mg/l)	1042	1041	1019	590	1123		912	764	743	452	767	
Ca, syksy (mg/l)	1053	1065	1028	631	1256		925	756	785	486	900	
Ca, muutos	11	24	9	41	133	0,21	13	-8	42	34	133	0,23
P, kevät (mg/l)	28,0	17,2	17,9	17,7	17,9		24,3	19,3	19,7	18,1	21,0	
P, syksy (mg/l)	28,0	17,2	19,3	20,1	19,1		23,9	19,1	21,2	20,8	22,4	
P, muutos	0,0	-0,1	1,4	2,4	1,2	0,45	-0,4	-0,2	2,5	2,6	1,5	0,22
Mg, kevät (mg/l)	87	101	86	55	114		88	68	67	44	80	
Mg, syksy (mg/l)	89	112	104	67	142		88	68	85	54	108	
Mg, muutos	2	11	18	12	28	0,10	0	0	18	10	28	0,02
Cu, kevät (mg/l)	4,6	4,5	3,5	5,4	4,2		4,7	4,2	3,0	5,1	3,2	
Cu, syksy (mg/l)	4,9	5,1	4,3	6,3	4,8		5,3	4,7	3,9	6,1	4,1	
Cu, muutos	0,2	0,7	0,7	0,8	0,6	0,68	0,5	0,5	0,9	0,9	0,9	0,50
Mn, kevät (mg/l)	32,2	29,8	25,9	26,7	32,6		33,9	30,2	24,5	26,2	28,7	
Mn, syksy (mg/l)	32,5	32,8	29,3	33,7	35,8		37,9	33,2	32,1	36,8	41,6	
Mn, muutos	0,3	3,0	3,4	7,0	3,2	0,78	4,0	3,0	7,6	10,6	12,9	0,03
Zn, kevät (mg/l)	3,1	3,1	2,5	3,2	3,2		1,6	1,5	1,7	1,8	1,6	
Zn, syksy (mg/l)	3,7	3,0	2,9	3,1	3,2		2,6	1,9	2,5	2,3	2,3	
Zn, muutos	0,6	-0,1	0,4	-0,1	0	0,38	1,0	0,4	0,8	0,5	0,7	0,57
S, kevät (mg/l)	45	68	44	37	69		48	44	38	32	60	
S, syksy (mg/l)	61	110	113	82	178		63	69	107	76	193	
S, muutos	16	42	69	45	109	0,02	15	25	69	44	133	0,05
Johtoluku, kevät	2,1	2,5	2,2	1,7	2,4		2,0	1,8	1,6	1,5	2,3	
Johtoluku, syksy	1,8	2,4	3,1	2,0	3,7		1,9	1,7	2,5	1,9	4,4	
Johtoluku, muutos	-0,3	-0,1	0,9	0,3	1,3	<0,005	-0,1	-0,1	0,9	0,4	2,1	0,02

* P-arvo on tilastomatemattinen termi, joka kuvaa riskiä sille johtopäätökselle, että tulokset eri kastelumenetelmien välillä eroavat toisistaan. Tilastollisesti merkitseväksi katsotaan ero, jossa riski on alle 5 % (P<0,05).



Kuva 12. Maan rikkipitoisuudet ja johtoluvut keväällä ja syksyllä ja niiden väliset muutokset kaikilla koepaikoilla ja tilalla A vuosina 2001–2003.

Aineistosta tehtiin lisähavaintoja: Maan ravinnepitoisuudet salaajakastelluilla ruuduilla vaikuttivat poikkeavan muista ruuduista (Taulukko 7). Salaajakasteluruudut otettiin erityistarkasteluun, ja niiden ravinnepitoisuuksia verrattiin muiden ruutujen ravinnepitoisuuksiin (Taulukko 8). Tarkastelu tehtiin vain tilalla A, jossa salaajakastelua käytettiin suunnitelmien mukaan. Tilalla C, jossa pohjavettä pidettiin korkealla vain säätösalaajituksen avulla, ei havaittu sellaisia ravinnepitoisuuksien muutoksia kuin tilalla A.

Tilan A tarkastelussa kävi ilmi, että maan pH oli alhaisempi, ja kalsium- ja magnesiumpitoisuudet olivat pienemmät salaajakastelulohkolla kuin muilla (Taulukko 8). Kalsiumpitoisuudet olivat pienemmät siitäkin huolimatta, että salaajakastelulohko oli saanut lannoitteena enemmän kalsiumia kuin muut vuonna 2001 (Taulukko 6). Myös rikkipitoisuus oli pienempi, mutta sitä ei voitu todistaa tilastollisella testillä. Kuparipitoisuus puolestaan oli suurempi.

Tämän tutkimuksen aineistosta ei voitu luotettavasti päätellä, mistä erot salaajakasteluruutujen ja muiden ruutujen välillä johtuivat. Saattoi olla, että esiin tulivat salaajakastelun pitkäaikaisvaikutukset, sillä salaajakastelulohko oli sijainnut useita vuosia samalla paikalla. Koska altopäin nouseva kasteluvesi kyllästää maan täysin, se saattaa huuhtoa veden mukana liikkuvia kationeja eri tavalla kuin isoissa huokosissa virtaava, päältäkastelumenetelmällä annettu vesi. Vaikka salaajakastelussa pohjavettä ei nosteta maan pintaan asti, vesi on

kuitenkin korkeammalla kuin muissa menetelmissä, ja rankat sateet saattavat kyllästä maan pintaan asti. Tämä voisi aiheuttaa huuhtoutumista maan pintakerroksessa, josta tämän tutkimuksen ravinneanalyysit tehtiin. Kationinvaihdossa kalsiumin ja magnesiumin tilalle olisi tässä tapauksessa tullut vetyioneja, koska pH aleni. Huuhtoutumisteoriaa vastaan puhuu kuitenkin se, että maan kaliumpitoisuus ei alentunut. Lisäksi ulkomaisissa tutkimuksissa salaojakastelun ja sääväläojituksen on todettu vähentävän ravinteiden huuhtoutumista eikä lisäävän (Evans ym. 1989).

Erot saattoivat johtua myös maalajista. Pienikin ero maan savespitoisuudessa näkyy kalsium- ja magnesiumlukuissa. Erot saattoivat johtua myös mahdollista viljelyhistoriaerosta salaojakastelulohkon ja vieressä sijainneiden muiden lohkojen välillä. Perunan kannalta maan kalsiumpitoisuuden pieneneminen on kuitenkin huolestuttavaa, koska kalsium on perunanviljelyssä tärkeä ravinne perunan laadulle. Asia vaatii lisätutkimusta.

Taulukko 8. Maan ravinteet salaojakastelluissa ruuduissa verrattuna muihin ruutuihin tilalla A vuosien 2001–2003 keskiarvona. Kevään ja syksyn analyysitulokset on yhdistetty.

	vain tila A			p-arvo
	salaojakastelu	muut		
pH	5,2	5,8		<0,001
K (mg/l)	67	57		0,18
Ca (mg/l)	469	819		<0,001
P (mg/l)	19,5	21,4		0,57
Mg (mg/l)	49	82		<0,001
Cu (mg/l)	5,6	4,1		<0,005
Mn (mg/l)	31,5	32,8		0,91
Zn (mg/l)	2,1	2,0		0,73
S (mg/l)	54	78		0,16
johtoluku	1,7	2,3		0,08

3.3 Kastelumenetelmän vaikutus perunan satoon ja laatuun

Kastelun edut osoittautuivat hankkeessa melko vaihteleviksi ja vähäisiksi. Vuosittain tarkasteltuna vain tilan A tykkikastelu vuonna 2001, tilan D tykkikastelu vuonna 2002 ja tilan F ramppikastelu vuonna 2003 näyttivät lisäävän sekä perunan satoa että sadon laatua, joita voi lähtökohtaisesti pitää tavoitteina, kun kasteluun ryhdytään. Kastelulla saatiin myös positiivisia vaikutuksia tilan A salaojakastelukentällä, jossa sadon laatu osoittautui keskimääräistä paremmaksi varsinkin vuonna 2001. Myös tilan C tihkukastelussa sadon määrän lisäytyi vuonna 2002. Toisaalta tilan A tihkukastelu vuonna 2001 ja tilan C tihkukastelu vuonna 2003 osoittivat heikennystä sekä sadon määrässä

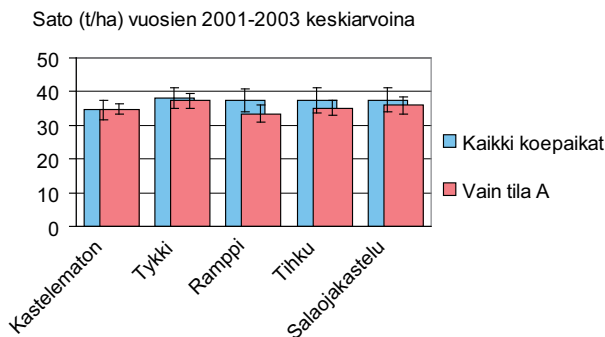
että laadussa. Tilan B tykkikastelu osoitti heikennystä sadon laadussa vuonna 2001 ja tihkukastelu sadon määrässä vuonna 2002. Muutoin erot olivat kasteltujen ja kastelemattomien välillä eri vuosina käytännössä pienet.

3.3.1 Sadon määrä

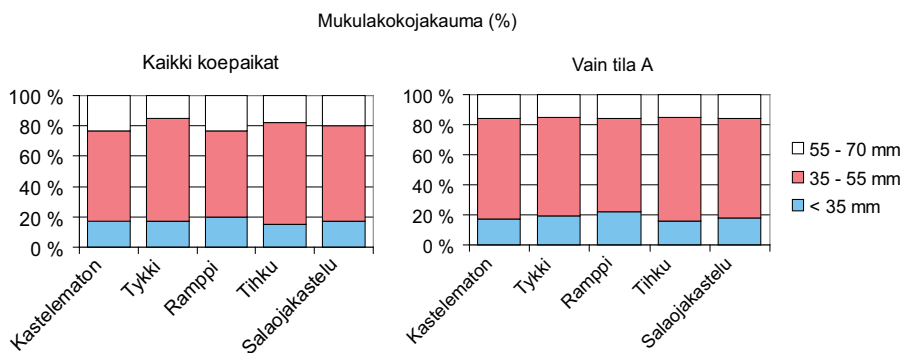
Kun kaikkien koevuosien kaikkien koepaikkojen keskiarvotiedot vedetään yhteen, oli kastelusta keskimäärin hyötyä (Taulukko 9). Kastelulla saatiin mukulasadon lisäystä keskimäärin 8–10 % eli noin 3–4 t/ha, mikä vastaa melko hyvin aiempia kotimaisia tutkimustuloksia (Wikman ym. 1996, Kuisma 1998, Forsman ym. 2001). Saadut sadonlisät ovat huomattavasti paremmat kuin samaan aikaan päijätämäläisissä oloissa tehdyissä kokeissa (Kuisma 2002, 2003, 2004a). Salaojakastelun sadonlisä oli riittävä menetelmästä koituvien kustannusten kattamiseksi, joten investointi oli ollut kannattava (Haataja 2000). Satoero kastelemattomaan verranteeseenkaan ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä ($p=0,45$), eikä eri kastelumenetelmiä pysty asettamaan satotason perusteella paremmuusjärjestykseen.

Satotulokset ovat jossain määrin vaihtelevampia tarkasteltaessa pelkästään Tyrnävän (tila A) kastelukentän tuloksia. Keskimäärin tykkikastelu osoittautui tässäkin tehokkaimmaksi keskimääräisen sadon noustua 7 % yli kastelemattoman verranteen sadon (Taulukko 9, Kuva 13). Muilla kastelumenetelmillä vaikutus oli -4 – $+3$ % kastelemattomaan verrattuna. Tyrnävälläkään erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä ($p=0,77$).

Kastelun jaksottamisella voidaan säädellä sadon käyttömuodonmukaista mukulakokojakaumaa, mutta tässä tutkimuksessa sitä ei tavoiteltu. Sadon mukulakokojakaumissa ei ollut kastelumenetelmien välillä eroja (Kuva 14).



Kuva 13. Eri kastelumenetelmillä saadut keskimääräiset sadot (t/ha) kaikilta koepaikoilta ja tilalta A vuosina 2001–2003.



Kuva 14. Eri kastelumenetelmillä tuotettujen satojen mukulakokojakaumat (%) kaikilta koepaikoilta ja tilalta A vuosien 2001–2003 keskiarvona.

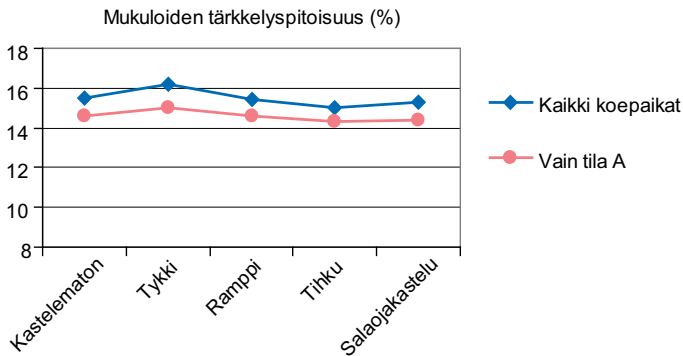
3.3.2 Sadon laatu

Tärkkelys- ja kuiva-ainepitoisuudet ovat yleensä vaihdelleet runsaasti eri kastelututkimuksissa. Tässä tutkimuksessa saatiin korkeimmat tärkkelyspitoisuudet tykkikastelulla niin kaikkien koepaikkojen keskiarvona kuin pelkästään Tyrnävän (tila A) koekentälläkin (Taulukko 9). Muilla kastelutavoilla ei onnistuttu nostamaan tärkkelyspitoisuutta yli kastelemattoman verranteen. Tulokset olisivat voineet olla erilaiset, jos kasteluvettä olisi annettu tarpeenmukainen määrä.

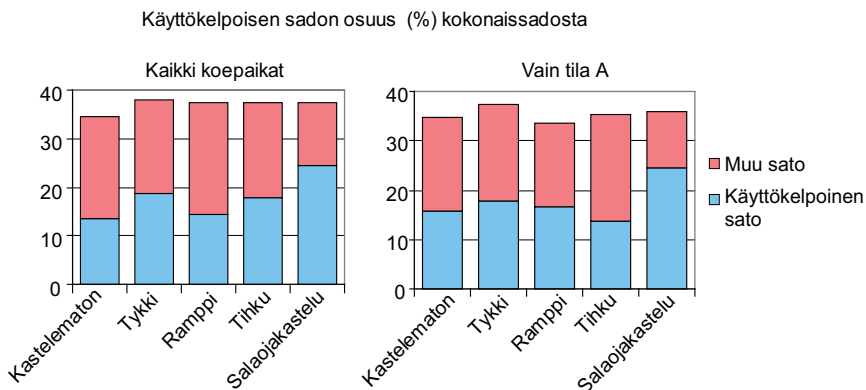
Koska tykkikastelussa saavutettiin keskimäärin myös korkeimmat kokonaissadot, oli tykkikasteltujen ruutujen keskimääräinen tärkkelyssato kaikilla koepaikoilla 15 % kastelemattonta korkeampi. Tyrnävälläkin (tila A) ero oli 10 % tykkikastelun hyväksi (Kuva 15). Erot tärkkelyspitoisuudessa tai sadossa eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä.

Terveen ja käyttökelpoisen sadon osuus kokonaissadosta (Kuva 16) oli riippuvainen sadon rupisuudesta (Taulukko 9). Salaojakastelluilla ruuduilla havaittiin keskimäärin melko selkeästi vähemmän rupea sadossa kuin muilla (Kuva 17), mutta suuren vaihtelun vuoksi tämäkin ero ei ole tilastollisesti merkitsevä ($p=0,21$ tilalla A). Lisäksi ruven vähäisyyteen ei todennäköisesti ole vaikuttanut pelkästään salaojakastelun avulla tuotu kosteus, vaan myös pH:lla on ollut vaikutusta. Salaojakastelukäsittelyt suoritettiin tilastollisesti merkitsevästi happamammalla maalla kuin muut käsittelyt ($p<0,001$). Kun pH muissa käsittelyissä vaihteli tilalla A 5,6–5,9, niin salaojakastelussa se oli 5,2 (Taulukko 7). Varsinkin syksyllä otettujen maanäytteiden pH-tuloksilla ja ruvella oli koesarjassa selvä negatiivinen yhteys ($r= -0,35$, $p<0,001$). pH:n kohoamisella oli myös lievä satoa alentava vaikutus ($r= -0,14$, $p=0,10$), ehkäpä juuri ruven lisääntymisen takia.

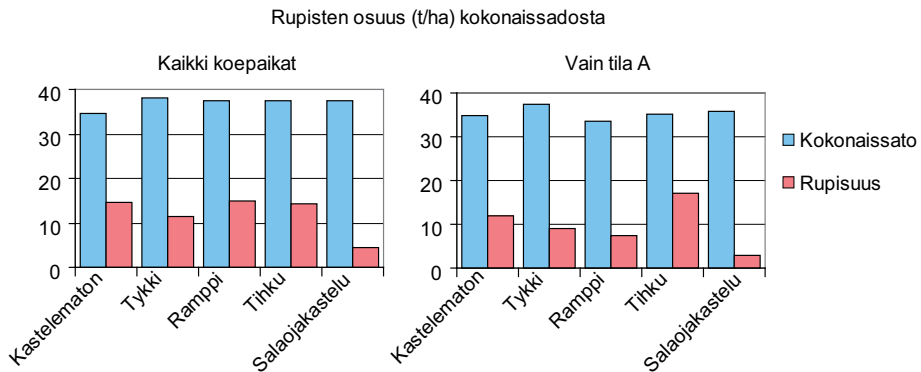
Muita ulkoista laatua heikentäviä tauteja tai vioituksia ei ole taulukoitu, koska niiden esiintymiset olivat satunnaisia. Eri vuosien tarkastelussa joillakin lajikkeilla oli kasvuhalkeamia, joiden tulkittiin aiheutuvan epätasaisista kosteusoloista eli kastelun väärästä rytmittämisestä mukuloiden lisäkasvuvaiheessa. Vuonna 2002 kastelu vähensi selvästi mallon värivirheiden esiintymistä tilalla D. Kastellussa sadossa oli tuolloin mallon värivirheitä vain 2 painoprosenttia kokonaissadosta, kun vastaava luku kastelemattomassa sadossa oli 93 %.



Kuva 15. Eri kastelumenetelmillä tuotettujen satojen tärkkelyspitoisuudet (%) kaikilta koepaikoilta ja tilalla A vuosina 2001–2003.



Kuva 16. Käyttökelpoisen sadon (35–70 mm) osuus kokonaissadosta vuosien 2001–2003 keskiarvoina kaikilla koepaikoilla ja tilalla A.



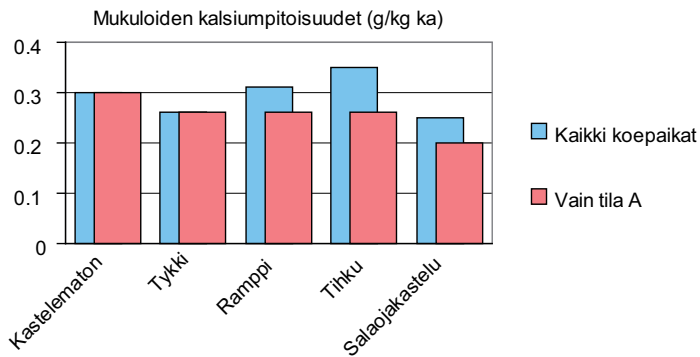
Kuva 17. Rupisten osuus (t/ha) sadosta verrattuna kokonaissatoon vuosien 2001–2003 keskiarvoina kaikilla koepaikoilla ja tilalla A

Sadon kemiallisessa koostumuksessa oli eroja eri käsittelyiden välillä. Näihin eroihin tosin myös maaperäominaisuudet näyttivät vaikuttavan merkittävästi. Mukulan kalsiumpitoisuus (Kuva 18) jäi mm. salaojakastelussa Tyrnävällä (tila A) selvästi muita kastelukäsittelyjä alhaisemmaksi (Taulukko 9), mutta myös maan kalsiumpitoisuus oli salaojakastelulohkolla alhaisempi (Taulukko 8). Syysmaanäytteiden Ca-tuloksilla ja sadon Ca-pitoisuudella oli yhtä selvä positiivinen yhteys kuin pH:lla ja sadon rupisuudella oli positiivinen yhteys ($r= 0,34$, $p<0,001$). Kevätmaanäytteillä ei yhteyttä ollut, mikä kertoo tilojen kasvukauden aikana suorittamasta kalsiumlannoituksesta (Taulukko 4). Poikkeuksena kuviosta oli tilan C tihkukastelu, jossa mukulan kalsiumpitoisuudet nousivat kastelun ansiosta poikkeuksellisen korkealle (0,19 vs. 0,44 g/kg ka). Tihkuletkujen kautta annettu suhteellisen myöhäinen vesiliukoinen kalsiumannos (kastelukalkkisalpietari) osoittautui siten tehokkaaksi mukulan Ca-pitoisuuden nostajaksi. Ca/Mg-suhteella ei ollut vaikutusta mukulan Ca-pitoisuuteen.

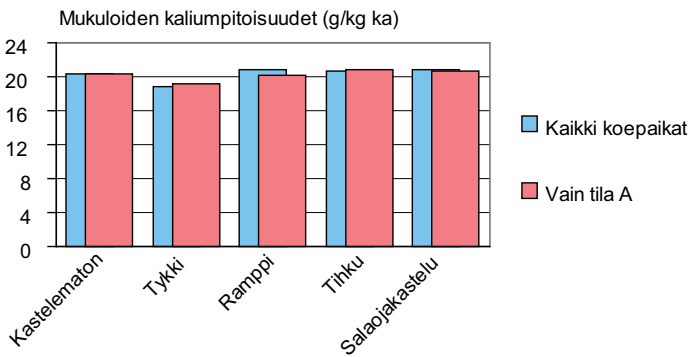
Mukulan kaliumpitoisuudet (Kuva 19) olivat tykkikastelussa selvästi muita käsittelyjä alhaisemmalla tasolla (Taulukko 9). Syy tähän löytyy mukulan kuiva-aineen ja mukulan kaliumpitoisuuden välisestä erittäin selkeästä negatiivisesta yhteydestä ($r= -0,58$, $p<0,001$). Tykkikastelun ansiosta ruutujen sadontuottokyky oli keskimääräistä parempi sekä sadon määränä, että kuiva-aineen määränä tai -pitoisuutena mitattuna, ja saattaa olla, että tykkikastelu on myös hieman nopeuttanut kasvuston kehitystä ja tuleentumista, jolloin mukulan kuiva-ainepitoisuus on päässyt nousemaan muita kastelumenetelmiä korkeammalla. Tuleentumisen edistyessä sadon tärkkelyspitoisuus tyypillisesti kohoaa ja kaliumpitoisuus kääntyy laskuun. Lisäksi tykkikastelun ravinteita huuhtova vaikutus on saattanut vaikuttaa alhaiseen kaliumpitoisuuteen. Tähän viittaa se, että nimenomaan maan syksyisellä kaliumpitoisuudella ja mukulan kaliumpitoisuudella oli lievähkö negatiivinen yhteys ($r= -0,21$, $p=0,01$), kun sitä keväisellä maanäytteellä ei ollut.

Sadon magnesiumipitoisuuden ei kastelumenetelmällä ollut käytännössä vaikutusta, vaan toteutunut pitoisuus sadossa noudatti peltojen viljavuutta.

Eri kastelumenetelmillä tuotettujen mukuloiden keittolaaduissa ei ollut eroja.



Kuva 18. Mukuloiden kalsiumpitoisuudet (g/kg ka) vuosien 2001–2003 keskiarvoina kaikilla koepaikoilla ja tilalla A.



Kuva 19. Mukuloiden kaliumpitoisuudet (g/kg ka) vuosien 2001–2003 keskiarvoina kaikilla koepaikoilla ja tilalla A.

Taulukko 9. Sato ja sadon laatu eri kastelumenetelmissä vuosien 2001–2003 kaikkien koepaikkojen ja tilan A keskiarvoina

Kaikki koepaikat	Tykki	Ramppi	Tihku	Salaojakast.	Kastelematon	p-arvo
Sato (t/ha)	38,1	37,5	37,5	37,5	34,6	0,45
Suhdeluku	110	108	108	108	100	
Tärkkelyspit. (%)	16,2	15,4	15	15,3	15,5	0,29
Tärkkelyssato (kg/ha)	6230	5840	5760	5870	5420	0,24
Suhdeluku	115	108	106	108	100	
Mukulakokojakauma (%)						
< 35 mm	17	20	15	17	17	0,24
35 - 55 mm	68	56	68	62	59	0,02
55 - 70 mm	15	23	18	20	23	0,52
Terve sato (%)	59	49	55	80	48	0,19
Rupivioitus (%) #	30	40	38	12	42	0,30
Mukulan ravinteet						
Kuiva-aine (%)	21,6	20,4	20,6	20,5	21,5	0,17
K (g/kg ka)	18,8	20,8	20,7	20,8	20,4	<0,01
Ca (g/kg ka)	0,26	0,31	0,35	0,25	0,3	0,27
Mg (g/kg ka)	1,01	1,12	1,07	1,05	1,08	0,06
Vain tila A	Tykki	Ramppi	Tihku	Salaojakast.	Kastelematon	p-arvo
Sato (t/ha)	37,4	33,5	35,2	35,9	34,8	0,77
Suhdeluku	107	96	101	103	100	
Tärkkelyspit. (%)	15	14,6	14,3	14,4	14,6	0,59
Tärkkelyssato (kg/ha)	5530	4830	5050	5190	5020	0,42
Suhdeluku	110	96	100	103	100	
Mukulakokojakauma (%)						
< 35 mm	19	22	16	18	17	0,51
35 - 55 mm	65	63	70	65	66	0,74
55 - 70 mm	15	16	15	16	16	0,99
Terve sato (%)	59	63	46	84	55	0,39
Rupivioitus (%) #	24	22	49	8	34	0,21
Mukulan ravinteet						
Kuiva-aine (%)	20,8	20,3	19,9	20	21	0,71
K (g/kg ka)	19,2	20,2	20,8	20,7	20,3	0,24
Ca (g/kg ka)	0,26	0,26	0,26	0,22	0,3	0,06
Mg (g/kg ka)	1,01	1,05	1,06	1,02	1,02	0,45

Sellaisen sadon osuus kokonaissadosta, jossa yli 10 % mukulan pinta-alasta on

4 Yhteenveto

Perinteisten kastelumenetelmien tykki- ja ramppikastelun rinnalle on viime vuosina tullut uudemmat tihkukastelu- ja salaojakastelumenetelmät. Tässä kokeessa selvitettiin eri kastelumenetelmien vaikutuksia maan vesi- ja ravinnetalouteen sekä perunan satoon ja laatuun.

Tässä tutkimuksessa saatiin seuraavat maan vesi- ja ravinnetilaan sekä perunan satoon ja laatuun liittyvät tulokset:

Maan vesitalous:

- Tykki- ja ramppikastelu pitivät maan pinnasta noin 40 cm:n syvyyteen asti kosteampana kuin muut menetelmät. Tykin ja rampin välillä ei ollut muita eroja kuin se, että enemmän vettä saanut oli hieman kosteampaa.
- Tihkukastelussa maa oli aina kuivempaa kuin muissa menetelmissä niin pinnasta kuin syvemältä. Tihkukastelussa vesi kulkeutui maksimissaan 35 cm:n syvyydelle.
- Tihkukastelussa maan kosteus oli melko sama perunapenkin ylä- ja alaosassa. Muissa menetelmissä yläosa oli sateiden jälkeistä aikaa lukuun ottamatta aina selvästi kuivempaa kuin syvemältä.
- Tihkukastelussa perunapenkin kosteuden vaihtelut olivat rajumpia kuin muissa menetelmissä. Maa kostui nopeasti sateista tai kastelusta, mutta kuivui nopeammin kuin muut. Tihkukastelussa maassa ei siis ollut vesivarastoja muiden menetelmien tapaan, jolloin haihtumiselle altis perunapenkki kuivui nopeasti.
- Salaojakastelu piti kuivina kausina maan syvät kerrokset (juuriston alaosan korkeudelta) kosteampina kuin muut menetelmät. Salaojakastelussa maassa oli hyvät vesivarastot.
- Muut kuin salaojakastelumenetelmä kastelivat maan pintakerrokset nopeasti, ja maa kuivui melko nopeasti. Salaojakastelussa kastelut kastelivat maan syvät kerrokset hitaasti, ja kosteus säilyi maassa kauan.
- Salaojakastelun vaikutus ei ulottunut maan pintakerrokseen asti.

Maan ravinnetalous:

- Tykki- ja ramppikastelu huuhtoivat veden mukana liikkuvia ravinteita enemmän kuin tihku- ja salaojakastelu. Kastelemattomassa maassa ravinteet huuhtoutuivat vähiten.
- Salaojakastelussa maan kalsium- ja magnesiumpitoisuudet olivat pienemmät ja pH alhaisempi kuin muissa menetelmissä.

Satotaso:

- Kastelu nosti satoa kaikilla tiloilla keskimäärin 8–10 % eli 3–4 t/ha kastelemattomaan verrattuna.
- Verrattaessa kaikkien koepaikkojen satotuloksia kastelumenetelmien välillä ei ollut eroja, Tyrnävän koekentällä tykkikastelu nosti kuitenkin satotasoa 7 % muihin kastelumenetelmiin verrattuna.
- Satotason suhteen kastelumenetelmiä ei voida asettaa paremmuusjärjestykseen.

Tärkkelyspitoisuus:

- Satojen tärkkelyspitoisuudet vaihtelivat eri vuosina ja eri kastelumenetelmissä. Kastelluissa sadoissa oli hieman korkeampi (0,2–0,4 %) tärkkelyspitoisuus kuin kastelemattomissa.
- Tyrnävän koekentän tykkikastelulla tuotetussa sadossa oli 0,6 prosenttiyksikköä korkeampi tärkkelyspitoisuus kuin muiden kastelumenetelmien tuottamissa sadoissa.

Mukulakokojakauma:

- Kastelumenetelmien välillä ei ollut mukulakokojakaumissa eroja. Keskimäärin kastelemattomissa oli mukulakooltaan hieman suurempaa satoa.

Sadon laatu:

- Terveen ja kaupakelpoisen sadon osuus kokonaissadosta oli kytköksissä sadon rupisuuteen.
- Salaojakastelluissa sadoissa havaittiin vähemmän rupea kuin muilla kastelumenetelmillä tuotetuissa sadoissa. Salaojakastelu turvasi veden saannin koko mukulanmuodostuksen ajan ja 4–5 viikkoa siitä

eteenpäin. Tällä kehitysjaksolla peruna on arimmillaan rupisaastunnalle.

- Muita ulkoista laatua heikentäviä tauteja tai vioituksia esiintyi satunnaisesti.
- Joillakin lajikkeilla oli eri vuosien tarkastelussa kasvuhalkeamia todennäköisesti kosteuskuivuusjaksojen vaikutuksesta.
- Vuonna 2002 onnistunut kastelu vähensi keskimääräisesti mallon värvirheid esiintymistä, kasteluissa sadoissa mallon värvirheitä oli vain 2 paino-% kokonaissadosta, kun vastaava luku kastelemattomassa sadossa oli 93 paino-%.
- Maaperäominaisuudet vaikuttivat mukuloiden kemialliseen laatuun, erityisesti kalsiumiin.
- Tilalla A salaojakastelluissa sadoissa mukuloiden kalsiumpitoisuudet jäivät muita kastelukäsittelyjä alhaisemmalle tasolle. Salaojakastellun alueen maan kalsiumpitoisuus oli 470 mg/l. Muiden kastelumenetelmien maan kalsiumpitoisuudet olivat keskimäärin 820 mg/l.
- Tilan C tihkukastelussa mukuloiden kalsiumpitoisuudet nousivat tihkukuletkujen kautta annetulla kalsiumilla muihin kastelumenetelmiin verrattuna poikkeuksellisen korkeaksi (0,4 g/kg ka).
- Mukuloiden kaliumpitoisuudet olivat tykkikastelussa muita kastelukäsittelyjä alhaisemmalla tasolla. Muiden ravinteiden tai kastelumenetelmien suhteen mukuloiden kemiallisissa analyyseissa ei ollut eroja.
- Eri kastelumenetelmillä ei ollut vaikutusta sadon keittolaatuominaisuuksiin.

5 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa yleisvaikutelmaksi jäi, että kastelumäärät olivat kaikilla kastelumenetelmillä liian pieniä verrattuna perunan todelliseen tarpeeseen, ja kastelusta saatiin vähemmän hyötyä kuin mitä siitä voisi saada. Ainoastaan tilalla F peruna sai vettä sateina tai kasteluina yli 300 mm touko-elokuun aikana. Muilla tiloilla määrät olivat 200 millimetrin luokkaa, josta kasteluvettä oli vain kymmeniä millimetrejä.

Kastelun niukkuudesta johtuen kaikki kastelun edut eivät tulleet esille, joten todennäköisesti myös kastelumenetelmien välisiä eroja jäi tulematta esille. Silti tuloksista voidaan vetää seuraavat johtopäätökset:

Kokonaistarkastelussa vuosien 2001–2003 vertailuolosuhteissa tykkikastelu oli hieman sadon määrän ja laadun kannalta muita menetelmiä parempi. Erot ramppikasteluun olivat kuitenkin hyvin pienet, ja maan vesi- ja ravinnetaloutta tarkasteltaessa näitä eroja ei havaittu.

Tihku- ja salaajakastelun erot tykkiin ja ramppiin verrattuina saattoivat johtua siitä, että kastelumenetelmien mahdollisuuksia ei täysin hyödynnetty vaan tyydyttiin liian pieniin kasteluvesimääriin.

Salaajakastelu takasi pienehköistä vesimääristä huolimatta maan tasaisen kosteuden mukulapesän ympärillä, mikä vaikutti perunan käyttölaatuun vähentämällä huomattavasti rupisuutta muihin menetelmiin verrattuna. Salaajakastelu oli yleisesti ottaen tasavertainen muiden kastelumenetelmien kanssa. Perunalle tärkeän ravinteen kalsiumin alhainen pitoisuus salaajakastellussa maassa vaatii lisätutkimusta.

Tihkukastelussa haihdunnalle alttiiseen perunapenkkiin annetut vesimäärät eivät riittäneet pitämään maata riittävän kosteana. Menetelmän etuna oli lannoitusmahdollisuus, jonka avulla perunoiden kalsiumpitoisuus nousi muita menetelmiä suuremmaksi. Käytäntöön yleistyminen vaikuttaa epätodennäköiseltä korkeiden kustannustenkin takia.

Vaikka kastelumenetelmien välillä on eroja, menetelmällä ei ole niin suurta merkitystä perunanviljelyn onnistumiselle kuin on kastelun oikea-aikaisella aloittamisella ja vedensaannin turvaamisella. Kastelun tavoitteena tulee olla kasvuston riittävä vedensaanti oikeassa kehitysvaiheessa ja sadon käyttötarkoituksen mukaisesti. Näin varmistetaan haluttu mukulakokojakauma sekä sadon määrä ja laatu, ja kastelu on kannattavaa kustannuksista huolimatta.

6 Kirjallisuus

- Ahonen, J. 1991. Pohjavesikastelun ja säättöjituksen käyttö ja soveltuvuus Suomessa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, maanmittaus- ja rakennustekniikan osasto, vesitalous. 63 s.
- Aura, E. 1997. Perunamaan vesitalous. Tuottava peruna 24, 2: 15–16.
- Dirksen, C. 1999. Soil physics measurements. Reiskirchen: Catena Verlag. 154 s.
- Elonen, P. 1979. Peltokasvien sadetus. Teoksessa: Sadetusopas. Maatalouskeskusten Liiton julkaisuja 619: Tieto tuottamaan 6: 21–44.
- Evans, R., Gilliam, J.W. & Skaggs, R.W. 1989. Effects of agricultural water table management on drainage water quality. Raleigh. Resources Research Institute of the University of North Carolina. Report N:o 237. 87 s.
- Evans, R. & Skaggs, R.W. 1989. Design guidelines for water table management systems on Coastal Plain soils. Transactions of the ASAE 5(4): 539–548.
- 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. Koetoiminta ja käytäntö 3: 10.
- Haataja, K. 2000. Säättösalaojituksen ja salaojakastelun kustannukset ja hyödyt. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos, selvityksiä 5/2000. Helsinki: Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. 33 s.
- Haverkort, A.J. & MacKerron, D.K.L. (toim.) 2000. Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen The Netherlands: Wageningen Pers. 353 s.
- Heinonen, R. 1954. Multakerroksen kosteussuhteista Suomen maalajeissa. Agrogeologisia julkaisuja 62. Helsinki: Maantalouskoelaitoksen maantutkimusosasto. 82 s.
- Kara, O. & Pälikkö, E.A. (toim.) 1975. Sadetusopas. Forssa: Timokarin kustannus. 129 s.
- Kilpeläinen, T. 1999. Pohjavesikastelujärjestelmän automatisointi Tyrnävän perunantuotantoon. Diplomityö. Oulun yliopisto. 104 s. + 14 liitettä.

- Kleemola, J. & Teittinen, M. 1996. Satotuloksia sääätosalaoituksen ja padotuskastelun koekentiltä 1994–95. Salaoituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote n:o 21. Helsinki: Salaoituksen tukisäätiö. s. 12–19.
- Kuisma, P. 1998. Sadetuskokeista esille saatua. Tuottava peruna 25(2): 30–31.
- Kuisma, P. 2002. Perunan kastelutekniikka ja typpitalous. Teoksessa: Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 2001. Perunantutkimuslaitoksen julkaisu 1/2002. Lammi: Perunantutkimuslaitos. s. 45–51.
- 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. 2004a. Perunan kastelutekniikat ja typpitalous. Teoksessa: Kuisma, P. & Riihiranta, E. (toim.). Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 2003. Perunantutkimuslaitoksen julkaisu 1/2004. Lammi: Perunantutkimuslaitos. s. 38–46.
- Kuisma, P. 2004b. Vesitalous, seuranta ja säätely. Esitelmä Perunantutkimuksen talvipäivillä Ikaalisissa 29.–30.1.2004. Seminaarimoniste. Lammi: Perunantutkimuslaitos. 34 s.
- Kärkkäinen, T. 2001. Tihkukastelu säästää vettä. Vesitalous 2/2001: 40–52.
- Linna, E. 2001. Tihkukastelu tuo uutta tekniikkaa perunanviljelyyn. Koetoiminta ja käytäntö 3: 9.
- Mattila, T., Paasonen-Kivekäs, M., Teittinen, J. & Kleemola, J. 1996. Säätoimituksen ja padotuskastelun taloudellinen kannattavuus. Teoksessa: Säätoimituksen, uusintaimituksen ja padotuskastelun tutkimustuloksia. Salaoituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote n:o 21. Helsinki: Salaoituksen tukisäätiö. s. 29–37.
- Meyer, R.D. & Mercum, D.B. 1998. Potato Yield, Petiole Nitrogen and Soil Nitrogen Response to Water and Nitrogen. *Agronomy Journal* 90: 420–429.
- Muuttomaa, E. 2003. Avomaan kastelumenetelmät. Työtehoseuran maataloustiedote 11/2003(562) . Helsinki: Työtehoseura. 6 s.
- Pajula, H. & Triipponen, J.-P. (toim.) 2003. Selvitys Suomen kastelutilanteesta. Esimerkkialueena Varsinais-Suomi. Suomen ympäristö 629. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 87 s.
- Peltonen, M. & Muuttomaa, E. 2004. Avomaan kastelumenetelmien työnkäyttö. Työtehoseuran maataloustiedote 2/2004 (565). Helsinki: Työtehoseura. 6 s.

- Paasonen, M. 2000. Vesitalouden säädön vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen. Teoksessa: Peltoviljelyn ravinnehuuhtoutumien vähentäminen pelton vesitaloutta säättämällä. Loppuraportti. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote n:o 25. Helsinki: Salaojituksen tukisäätiö. s. 8–40.
- Porter, G.A. & Opena, G.B. 1999. Soil Management and Supplemental Irrigation Effects on Potato: II. Root Growth. *Agronomy Journal* 91: 426–431.
- Puustinen, M., Merilä, E., Palko, J. & Seuna, P. 1994. Kuivatustila, viljelykäsytantö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Sarja A, 198. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. 323 s.
- Suojala, T., Hoppula, K., Kankaanhuhta, K., Karhula, T., Muuttomaa, E., Ohta, P., Peltonen, M., Pulkkinen, J., Tikanmäki, E. & Salo, T. 2004. Puutarhakasvien tihkukastelu ja kastelulannoitus avomaalla. *Maa- ja elintarviketalous* 46. Jokioinen: MTT. 134 s., 3 liitettä
- Wikman, U., Torttila, A., Virtanen, A. & Kuisma, P. 1996. Perunan vesitalous ja sadetus. Perunantutkimuslaitoksen julkaisuja 3/1996. Lammi: Perunantutkimuslaitos. 31 s.

