

Maaperän tiivistyminen ja vesitalouden hallinta perunantuotannossa

Loppuraportti Maatalouskoneiden tutkimussäätiölle 28.01.2009

Vastuuhenkilö: Timo Lötjönen, MTT Kasvinviljely ja teknologia, Ruukki

Tiivistelmä

Koska peruna on heikkojuurinen kasvi, maaperän tiivistyminen näkyy sen kasvussa selkeästi. Muokkauskerrosta kuohkeutetaan tavallisesti vuosittain kyntämällä, mutta muokkauskerroksen alapuolinen maa eli jankko voi olla hyvinkin kovaa. Kovaan maahan kasvien juuret eivät pysty tunkeutumaan, jolloin juurten vedensaanti on kuivina kausina heikkoa. Toisaalta sadekausina veden virtaus syvemmälle maahan ja salaojiin on hidasta, jolloin kärsitään märkyydestä.

Keväällä 2005 alkaneessa nelivuotisessa kokeessa tutkimme jankkuroinnin, lapiomuokkauksen ja monivuotisen nurmen vaikutuksia jankon kovuuteen ja perunasadon määrään sekä laatuun. Koe toteutettiin hienolla hietamaalla Pohjois-Pohjanmaalla, jonka jankon kovuus oli penetrometrin mukaan 6 – 8 MPa, eli hyvin kovaa.

Jankkurointi onnistui parhaiten, kun lohkolle kylvettiin keväällä nopeakasvuinen raiheinä ja jankkurointi tehtiin heinä-elokuun vaihteessa. Raiheinän juuret kasvoivat vielä syksyllä jankkurin tekemiin uriin. Jälkivaikutusvuosista ensimmäisenä saatiin noin 4 ton/ha sadonlisää kyntöön verrattuna. Sen sijaan syyskuussa jankkuroidun paljaan perunamaan jälkeen ei saatu mitään sadonlisää. Myöskään kevätkynnön ja syyskynnön välille ei syntynyt kokeessa satoeroja.

Lapiomuokkaimella saatiin käytännössä yhtä suuri ja laadukas perunasato, kuin kynnön ja jyrsinän yhdistelmälläkin. Ainoastaan tärkkelyspitoisuus pyrki jäämään lapiomuokatassa hieman alemmaksi. Kustannuksiltaan menetelmät ovat lähes samanveroiset, mutta yhden ajokerran menetelmänä lapiomuokkaus säästää työtä kyntö-jyrsinämenetelmään nähden. Monivuotisen nurmen jälkeen perunan sato oli lievästi parempi kuin muissa käsittelyissä, mutta mittauksen mukaan nurmen juuretkaan eivät olleet pystyneet tunkeutumaan kovaan jankkoon. Lisäksi nurmen kappaleet hankaloittivat perunan istutusta ja nostoa.

1. Johdanto

Perunan viljelymaat eli tyypillisesti karkeat kivennäismaat eivät yleensä tiivisty kovin helposti, mutta intensiivisessä perunanviljelyssä tiivistymiä ja niiden haittoja havaitaan lisääntyvästi. Perunaa viljellään paljon monokulttuurissa ja nosto tapahtuu raskailla koneilla monesti märissä oloissa, joten maa on vaarassa hienontua ja tiivistyä liikaa. Peltomaan huono rakenne johtaa siihen, että peruna kärsii kuivina ajankohtina vedenpuutteesta ja sadekautena liiasta märkyydestä. Osa ravinteista menee hukkaan aiheuttaen rehevöitymistä, kun kasvusto ei kykene niitä käyttämään.

Sadeveden liian hidas kulkeutuminen salaojiin aiheutti ongelmia erityisesti kasvukaudella 2004. Maan rakenteen toimimattomuus johti puolestaan suuriin sadonmenetyksiin kuivana kasvukautena 2006. Perunakasvustojen oirehtimista on voitu havaita jo aiemminkin perunantuotantoalueilla, ja vaikutukset ovat mitattavissa erityisesti sadon laadun heikkenemisenä. Perunasadon laadun säilyttäminen edellyttää, että viljelijöille voidaan antaa toimiva ohjeistus perunamaiden rakenteen ylläpitämiseen ja tarvittaessa korjaamiseen. Perunahehtaarin sadon arvo voi olla 5-10 kertainen viljasadon arvoon verrattuna, joten perunasadon määrään ja laatuun kannattaa panostaa.

Suomeen tuotiin vuoden 2004 aikana muutamia maan rakenteen korjaamiseen tarkoitettuja koneita, joiden soveltuvuudesta oloihimme karkeilla mailla ei ollut tutkittua tietoa. Kyseiset koneet ovat jankkuri (subsoiler) ja lapiomuokkain (spading machine). Lapiomuokkain ilmeisesti mahdollistaa perunan ja juurikasvien kyntämättä viljelyn, mikä saattaisi estää tiivistymien syntyä. Kirjallisuuden perusteella tiedetään, että jankkuroinnilla maata voidaan kuohkeuttaa, mutta ongelmana on ollut käsittelyn pysyvyys. Syksyn ja talven sateet ovat monesti pilanneet kuohkeutuksen vaikutuksen.

Hankkeen tavoitteena oli hankkia tietoa siitä, kuinka tiivistymät ovat muodostuneet ja mitä toimenpiteitä tiivistyneille peltomaille olisi tehtävä, jotta vesitalous ja maan rakenne saataisiin perunan sadontuoton kannalta optimaaliseksi. Tuloksia voidaan soveltaa myös muille kasveille.

2. Menetelmät

Tutkimuksen pohjaksi tehtiin kirjallisuuskatsaus ”Maaperän tiivistyminen perunantuotannossa” ja se on julkaistu nettijulkaisuna MTT:n selvityksiä sarjassa (katso <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts129.pdf>).

Koekäsittelyt

Tiivistymien korjaamiseen tarkoitettujen muokkausmenetelmät - kokeessa pyrittiin löytämään tehtävään sopivin ja kustannustehokkain menetelmä. Vuonna 2005 aloitettuun kokeeseen osallistuivat lapiomuokkain, jankkuri sekä kevät- ja syyskyntö (kuvat 1 ja 2). Vuoden 2006 koe oli viherkesannolla rahoituksen puuttuessa. Toisaalta tämä on hyvä maan rakenteen stabiloinnin kannalta. Muokkauskäsittelyjä (pl. jankkurointi) jatkettiin vuodet 2007-08, jotta saatiin selville käsittelyjen pitkäaikaisvaikutuksia ja pysyvyyttä. Koekasvina oli peruna. Koe on toteutettiin Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsevalla tiivistyneellä perunapellolla (HHt) satunnaistettujen lohkojen muotoisena. Kokeessa oli neljä kerrannetta.

Lapiomuokkainruutuja ei kynnetty, vaan ne muokattiin ko. koneella keväällä noin 35 cm:n syvyyteen, minkä jälkeen istutettiin peruna. Vuonna 2005 muokkaussyvyys oli 40 cm jankon rikkomiseksi. Lapiomuokkaukset kävi vuosittain tekemässä koneen maahantuojaa, loimaalainen Matti Laurila.



Kuva 1. Vasemmalla Imants 45-sarjan lapiomuokkain koeruutujen muokkauksessa. Oikealla ajosuuntaan pyörivä muokkainakseli ja työjäljen tasoittava kannatinkela, joka on myös vetävä. Tavoiteltu muokkaussyvyys oli noin 35 cm.



Kuva 2. Hekamp-jankkuri, jonka piikit oli säädetty 75 cm:n etäisyydelle toisistaan. Tavoitettu muokkaussyvyys oli noin 50 cm.

Kyntöruudut kynnettiin keväällä tai syksyllä noin 25 - 30 cm:n syvyyteen, istutusmuokkaus tehtiin jyrsimellä, minkä jälkeen istutettiin peruna. Osaan jankkurointiruutuja kylvettiin ensimmäisenä keväänä raiheinä viherkesannoksi (taulukko 1). Ruudut jankkuroitiin noin 50 cm:n syvyyteen kun maa oli kuivimmillaan eli heinä-elokuun vaihteessa. Raiheinän annettiin kasvaa loppuvuosi. Osalle ruuduista tehtiin jankkurointikäsitteily vasta syyskuussa perunannoston jälkeen. Jankkurointiruudut kynnettiin seuraavan vuoden keväällä, jolloin niissä alettiin viljellä perunaa samaan tapaan kuin muissakin käsittelyissä, eikä jankkurointia enää toistettu.

Ruuduissa ”Monivuotinen nurmi” viljeltiin puna-apilan ja timotein seosnurmea kevästä 2005 vuoden 2008 kevääseen, jolloin nurmi lopetettiin glyfosaatilla, kynnettiin ja siihen istutettiin peruna. Apilanurmea haluttiin kokeilla esikasvina, koska kirjallisuuden mukaan sillä on maata kuohkeuttava ja humusta lisäävä vaikutus.

Taulukko 1. Muokkauskokeen koejäsenet ja niille tehdyt perusmuokkaukset vuosina 2005-2008.

Koejäsenet:		Perusmuokkaukset:
1	Syyskyntö	Syyskyntö 2005, 2006 ja 2008 (kevätkyntö 2007)
2	Kevätkyntö	Kevätkyntö 2005, 2006, 2007 ja 2008
3	Lapiomuokkaus	Ei kyntöä, ei jyrshintää
4	Jankkurointi kesällä 2005 + raiheinä	Kevätkyntö 2005, 2006, 2007 ja 2008
5	Jankkurointi syksyllä 2005	Kevätkyntö 2005, 2006, 2007 ja 2008
6	Monivuotinen nurmi (timotei+puna-apila)	Kevätkyntö 2005, Kevätkyntö ja jyrshintä 2008

Perunalajike oli vuosittain VanGogh ja lannoitteena käytettiin Perunan Y1:stä 750 kg/ha sijoituslannoituksena. Peruna istutettiin Jukon puoliautomaattikoneella kesäkuun alussa. Ruttosuoja pidettiin kemiallisesti yllä syyskuun alkuun saakka, jonka jälkeen perunan varret hävitettiin kemiallisen ja mekaanisen käsittelyn yhdistelmällä. Peruna nostettiin vuosittain nostolaitekiinnitteisellä säkkiin nostavalla Underhaugilla ennen syyskuun puoliväliä.

Kasvukausien sääolosuhteet

Kasvukauden 2005 sää oli lämmin ja kuiva toukokuuta lukuunottamatta. Kesäkuu ja heinäkuun alkupuolisko olivat poikkeuksellisen vähäsateiset. Tämän jälkeen sadetta kertyi kuitenkin perunalle riittävästi. Tehoisaa lämpösummaa kertyi kasvukauden aikana peräti 1280 astetta, kun normaalin

kasvukauden aikana (vuodet 1971 – 2000 keskimäärin) kertymä on Ruukissa ollut keskimäärin 1044 astetta.

Vuoden 2007 toukokuu oli kostea. Kesäkuu oli vähäsateinen, mutta heinä-syyskuussa sadetta kertyi kuten alueella keskimäärin vuosina 2000 - 2006. Lämpöoloiltaan vuosi oli aikaisempia viileämpi, lämpösummaa kertyi Limingassa 1020 °C. Kasvukausi 2008 oli Limingassa viileä ja sateinen. Lämpösummaa kertyi vain noin 920 °C. Toukutyöt saatiin tehdä tavallista kuivemmissä oloissa, mutta kesäkuun loppu, heinä- ja elokuu olivat tavallista sateisempia, joten syyskuun alkuun mennessä oli satanut noin 100 mm normaalia enemmän. Muutama koeruuduista jopa hukkuu liikaan veteen, mutta koska kokeessa oli neljä toistoa, suhteellisen luotettavat keskiarvot saatiin laskettua.

Tehdyt havainnot ja analyysit

Koeruutujen maan kovuutta seurattiin penetrometrin avulla keväällä ja syksyllä. Ensimmäisen kevään penetrometrimittausten avulla koekenttä saatiin sijoitettua tasaisesti tiivistyneelle alueelle. Lisäksi juurten kasvusyvytyttä tutkittiin ensimmäisenä ja viimeisenä vuonna kaivetuilla havaintokuopilla. Mm. jankkurilla tehtävän kuohkeutuksen pysyvyyden kannalta olisi oleellista, että kasvien juuret saataisiin kasvamaan mahdollisimman syväälle. Tärkein mittari kuohkeutuksen onnistumiselle on kuitenkin perunasadon laatu ja määrä, jotka luonnollisesti mitattiin vuosittain. Tutkimuksen lopuksi laskettiin kyntö - jyrsinmenetelmän ja lapiomuokkauksen kustannukset.

Perunasato lajiteltiin seuraaviin kokojakeisiin: <30 mm, 30 – 40 mm, 40 – 50 mm, 50 – 60 mm ja >60mm, joista kauppakelpoisen jakeen katsottiin muodostuvan jakeista 30 – 60 mm. Perunoista määritettiin lisäksi tärkkelyspitoisuus ja kunkin käsittelyn antama tärkkelyssato (kg/ha). Myös tautisten mukuloiden määrä (rupi, rutto, muut sienitaudit, bakteerimädät, seittirupi), mekaanisten vaurioiden määrä (pintaviat, maltoviat) ja fysiologisten vikojen määrä (nestejännitys, korkkeutuneet, ontous, epämuotoisuus, mallon värivirheet, vihertyneet, paleltuneet) määritettiin sadosta ruuduittain.

Käsittelyjen välisiä sato- ja laatueroja testattiin tilastollisesti varianssianalyysillä SAS-tilasto-ohjelman GLM-proseduurilla. Varianssien yhtäsuuruutta testattiin Bartlettin testillä ja normaalisuutta UNIVARIATE-proseduurilla.

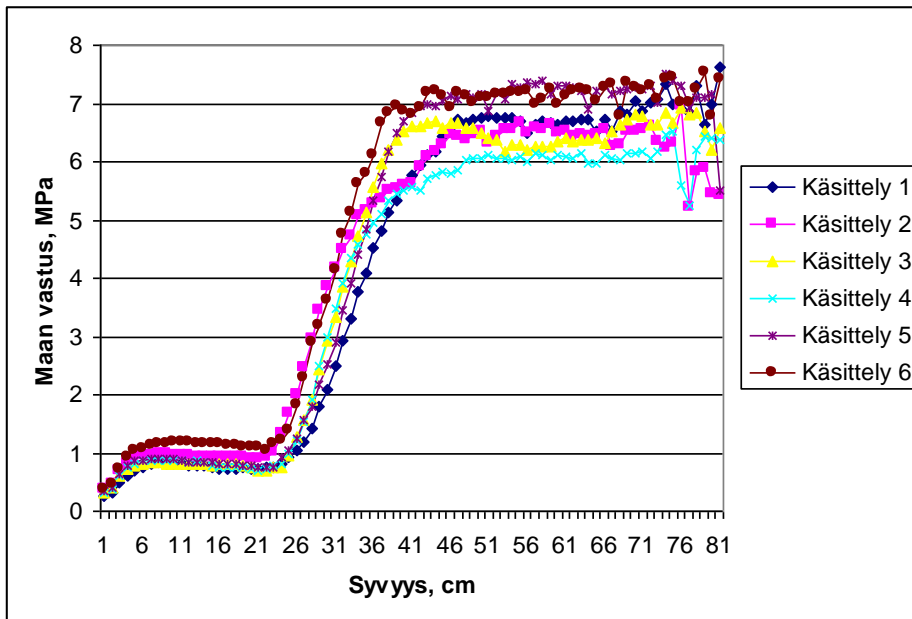
3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Maan kovuus penetrometrimittauksilla

Penetrometri on laite, joka mittaa maan kovuutta (mekaanista vastusta, MPa), kun sen mittapiikki työnnetään tasaisella nopeudella maahan. Käytössämme olleessa laitteessa oli sähköinen muisti, joka rekisteröi vastuksen 1 cm:n välein. Maksimimittaussyvyys on 80 cm. Kirjallisuuden mukaan maan mekaaninen vastus ei saisi olla > 2 MPa, jotta kasvien juuret voisivat siinä kasvaa ja edetä (Dexter 1987, Wells et al. 2005). Mittauksen aikaan maan kosteuden tulisi olla kenttäkapasiteetissa, jotta eri aikaan tehdyt mittaukset olisivat vertailukelpoisia. Nyt täytyy kuitenkin huomata, että maassa voi olla pieniä halkeamia tai vanhoja juurikanavia, joihin kasvin juuret voivat tunkeutua, vaikka niitä ei penetrometrillä voida havaitakaan.

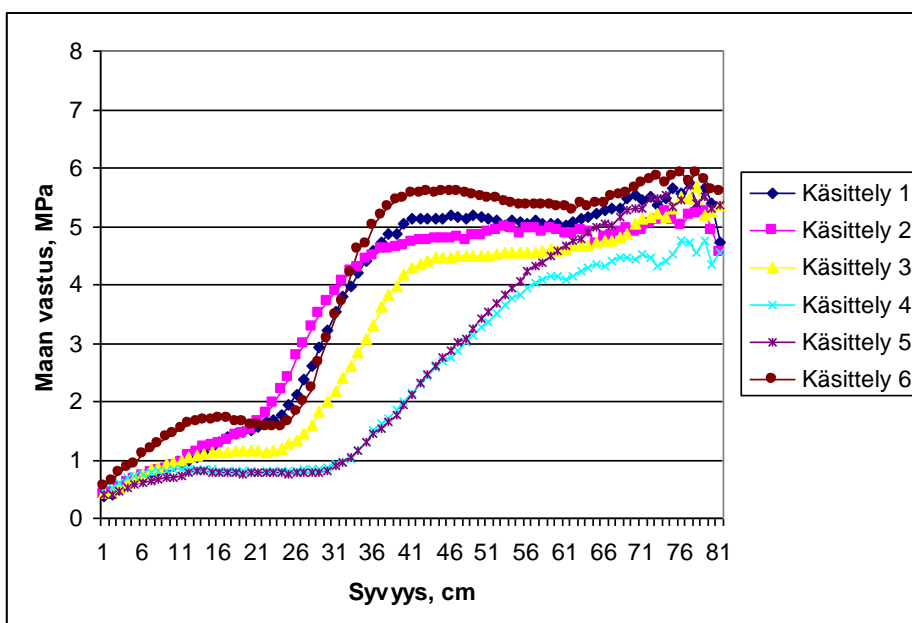
Teimme penetrometrimittaukset keväällä ennen muokkauksia ja syksyllä perunannoston jälkeen siten, että jokaisesta ruudusta tuli 10 pistoa, joista laskettiin keskiarvo. Samalla otettiin maasta kosteusnäytteet. Kuvan 3 mittaukset tehtiin 2005 juuri ennen ensimmäisiä muokkauksia ja se osoittaa, että koalue saatiin sijoitettua suhteellisen tasaisesti tiivistyneelle alueelle, eli maan vastus

oli melko samanlainen eri käsittelyillä. Kuvasta näkee myös, että jankko on hyvin kovaa heti kyntökerroksen alla, maan vastus 2 MPa ylittyy jo noin 30 cm:n syvyydessä.



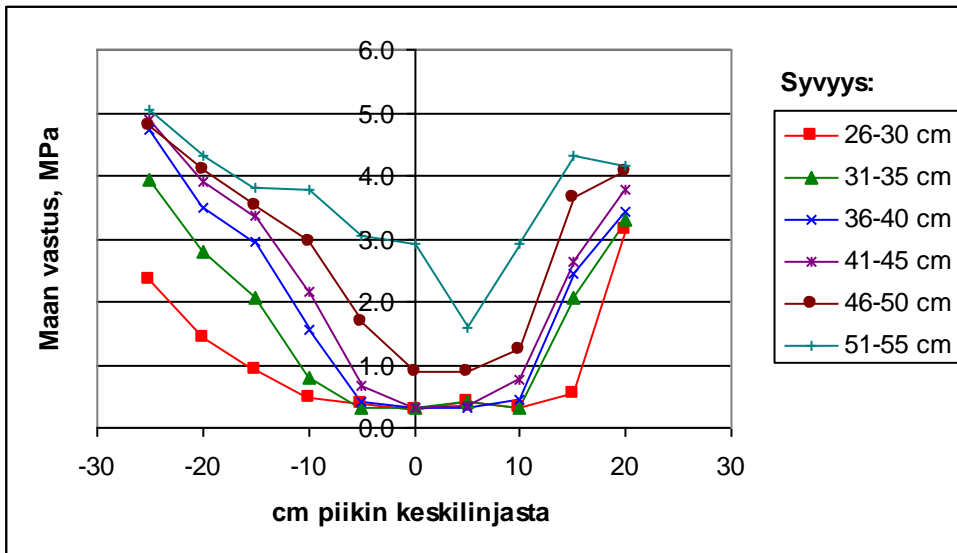
Kuva 3. Maan mekaaninen vastus penetrometrillä mitattuna toukokuun 2005 lopulla ennen muokkauskäsittelyjä. Maan kosteus oli 20,8 % (w.b.).

Syksyn 2005 mittauksista näkyy hyvin jankkuroinnin (käsittelyt 4 ja 5) jankkoa kuohkeuttava vaikutus, vaikkakin mitattuun maan vastusarvoon vaikutti suuresti se, sattuiko mittauspiikki jankkurin terän vetämään uraan vai sen viereen (kuva 4). Myös lapiomuokkain oli kuohkeuttanut jankkoa. Vuonna 2006 penetrometrimittauksia ei tehty, mutta vuoden 2007 kevään mittauksissa käsittely 4 oli vielä lievästi muita kuohkeampi. Tämän jälkeen (syksy -07, kevät ja syksy -08) penetrometrimittauksissa ei enää näkynyt selkeitä eroja käsittelyjen välillä. Erot olivat joko hävinneet tai sitten kyse on tuosta mittauspiikin satunnaisesta osumisesta jankkurointiin.



Kuva 4. Maan mekaaninen vastus penetrometrillä mitattuna syyskuun 2005 lopulla. Maan kosteus oli 20,4 % (w.b.).

Kuvassa 5 on mitattu maan vastus jankkuripiikin molemmilta puolilta 5 cm:n välein. Kuvasta nähdään, että maa on halkeillut selvästi jankkurin kärkilappua (leveys 10 cm) leveämmältä alueelta. Heti kyntökerroksen alapuolella (syvyys 31-35 cm) jankko oli pehmentynyt noin 30 cm:n leveydeltä alle 2 MPa:n lukemiin. Mitä syvemmällä ollaan, niin sitä kapeammalle piikin vaikutus on ulottunut. Voi olla viisasta, ettei jankkurilla yritetä kuohkeuttaa koko työleveyttä, jotta piikkien väleihin jää maakannakkeita kantamaan peltoliikenteen painon. Näin maan ei pitäisi tiivistyä heti uudestaan (Spoor et al. 2003). Tässä kokeessa piikkien väleiksi säädettiin 75 cm, mutta käytännön peltoviljelyssä esim. 150 cm:n piikkiväli voi olla järkevä.



Kuva 5. Penetrometrillä mitattu maan vastus jankkuripiikin ympärillä. Mittaus tehtiin heti jankkuroinnin jälkeen 21.9.2005 (käsittely 5).

Muutamaan koeruutuun kaivettiin syyskuun lopulla 2005 ja 2008 noin 70 cm:n syvyiset havaintokuopat, joista voitiin päätellä, mihin syvyyteen kasvien juuret ovat kasvaneet. Käsittelyyn 4 kylvettiin raiheinä keväällä ja jankkurointi tehtiin heinä-elokuun vaihteessa. Syyskuun lopulla kaivetusta kuopasta nähtiin, että jankkurin piikit olivat menneet noin 50 cm:n syvyyteen ja myös raiheinän juuret olivat ehtineet kasvaa uran pohjalle saakka (kuva 6).

Syyskuun 2008 havaintokuopat kaivettiin käsittelyihin 3, 4, 5 ja 6. Vanhoja juuria löytyi kyntökerrosta syvemmältä vielä molemmista jankkurointikäsittelyistä (4 ja 5), mutta ei kovin paljon. Maa ei enää ollut mustaa jankkuripiikin kohdalta. Koska kesät 2007 ja -08 olivat olleet melko märkiä, perunan juurilla ei ilmeisesti ollut tarvetta mennä normaalia kyntökerrosta syvemmälle. Lapiomuokatussa ruudussa maa oli muutaman sentin kevätkyntöä syvemmälle kuohkeaa, mutta tätä syvemmällä juuria ei näkynyt. Myöskään pitkäaikaisen nurmen juuret eivät olleet kyenneet/ ei ollut ollut tarvetta tunkeutua jankkoon. Kyntökerroksessa ollut maa oli muita käsittelyjä mustempaa, joten humusta siihen oli todennäköisesti kertynyt.



Kuva 6. Kesällä 2005 jankkuroitu koeruutu, johon oli jo keväällä kylvetty raiheinä (käsittely 4). Valokuva otettu 22.9.2005. Kuvassa näkyy alueen hietamaille tyypillinen rakenne: muokkauskerroksen alapuolella on hyvin tiivis harmaa jankko, jossa näkyy ruosteen ruskeaksi värjäymiä veden kulkureittejä.

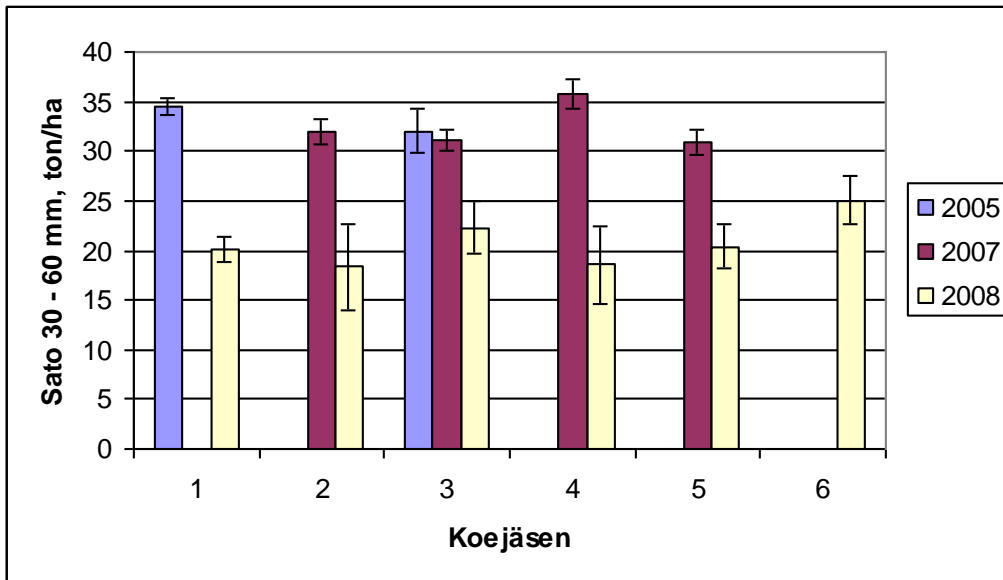
Perunasadon määrä ja laatu

Kahtena ensimmäisenä koevuonna kauppakelpoisen (30-60 mm) perunasadon määrä oli 30 – 35 ton/ha, kun viileä ja sateinen kesä 2008 jätti sadon 20 – 25 tonniin/ha (kuva 7). Märkyuden takia vuonna 2008 muutamia ruutuja jouduttiin jättämään pois keskiarvojen laskennasta ja märkyys saattoi tasoittaa mahdollisia koejäsenten välisiä eroja.

Vuonna 2005 satotulos on vain kahdesta käsittelystä, sillä muilla ruuduilla tehtiin jankkurointikäsittelyjä tai niissä kasvoi nurmi. Syyskynnön (1) ja lapiomuokkauksen (2) sato oli lähes yhtä suuri, eikä tilastollista eroa ollut varianssianalyysin mukaan. Lapiomuokatussa perunassa oli enemmän ylisuuria (>60 mm) kuin syyskynnetyissä ruuduissa (25,6 % vs. 14,3 %). Syyskynnetyin perunan tärkkelyspitoisuus (17,2 %) oli hieman korkeampi kuin lapiomuokatun perunan (16,4 %) (kuva 8). Tärkkelyssato hehtaaria kohti oli käytännössä sama eri käsittelyissä satoerojen tasoittavan vaikutuksen takia. Laadullisesti perunat olivat yhdenveroisia. Rupea esiintyi kuivan kesän jälkeen paljon molemmissa käsittelyissä, 34 – 37 % mukuloista. Pieni ero oli epämuotoisten mukuloiden määrässä (syyskynnety 3,1 %, lapiomuokattu 7,8 %).

Keväällä 2006 kaikki muut ruudut, paitsi 6) Monivuotinen nurmi, jyrssiin ja niille kylvettiin yksivuotinen raiheinä viherkesannoksi, koska kokeella ei ollut rahoitusta kyseiselle vuodelle.

Vuonna 2007 kauppakelpoisen perunasadon määrä oli kokeessa keskimäärin 32 tonnia/ha. Suurin sato (36 t/ha) saatiin koejäsenestä 4) Jankkurointi kesällä 2005. Ero oli lähes tilastollisesti merkitsevä ($p_{hav} = 0,058$). Muiden koejäsenten väliset satoerot olivat hyvin vähäisiä. Lapiomuokatassa tärkkelys-% ja tärkkelyssato jäivät hieman alemmiksi kuin muissa koejäsenissä. Kevätkynnytyssä tärkkelys-% oli 17,5 % ja lapiomuokatassa 16,2 % ($p_{hav} = 0,013$).

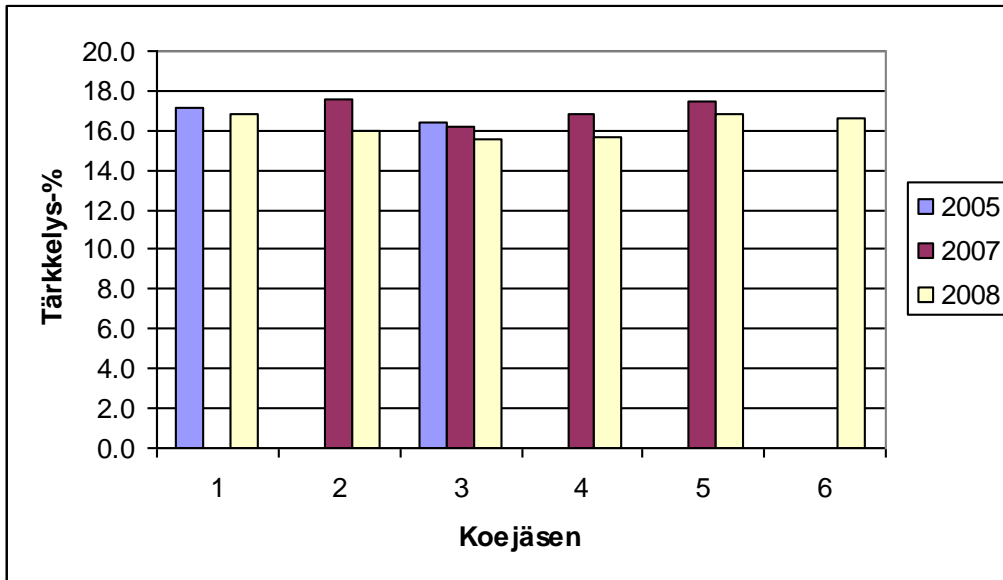


Kuva 7. Kauppakelpoisen (30 – 60 mm) perunasadon määrä eri koevuosina. Toistoja kokeessa oli neljä ja niiden välinen keskihajonta on merkitty janalla. Käsittelyt olivat seuraavat: 1) Syyskyntö, 2) Kevätkyntö, 3) Lapiomuokkaus, 4) Jankkurointi kesällä+raiheinä, 5) Jankkurointi syksyllä, 6) Monivuotinen nurmi (timotei+puna-apila).

Perunan laatu oli hyvää ja laadulliset erot olivat vähäisiä vuonna 2007. Esimerkiksi rupea ja mukularuttoa ei juurikaan ollut. Kosteaa loppukesä selittää ruven vähäisyyttä. Joissain koejäsenissä (2 ja 4) oli muita enemmän nostokoneen aiheuttamia mekaanisia vioituksia, mutta näitä on pidettävä lähinnä sattumasta johtuvina. Vuonna 2005 lapiomuokkaimen havaittiin tuottaneen hieman enemmän epämuodostuneita mukuloita kuin kynnön, nyt vastaavaa eroa ei ollut.

Sen sijaan nyt todettiin, ettei lapiomuokkain sovellu lyhytaikaiseen nurmen rikkomiseen perunamaaksi, sillä koneen jäljiltä jäi runsaasti viherkesannosta peräisin olleita turpeita, jotka haittasivat penkkien muodostumista ja nostokoneen toimintaa syksyllä. Nostokone käytännössä tukkeutui turpeisiin. Kynnön jälkeen näitä ongelmia ei ollut.

Vuonna 2008 kauppakelpoisen perunasadon määrä oli kokeessa keskimäärin 21 tonnia/ha, kun se edellisessä oli 32 tonnia/ha. Suurin sato saatiin koejäsenestä 6) monivuotinen nurmi (25 t/ha), kun muiden koejäsenten sato oli luokkaa 20 t/ha. Satoerot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä ($p_{hav} = 0,16$). Märkyuden takia muutamia ruutuja jouduttiin jättämään pois keskiarvojen laskennasta ja märkyys saattoi kohdella eri tavoin eri ruutuja riippuen pellon kaltevuudesta, salaojan paikasta ym. Siten on ymmärrettävää, ettei merkitseviä eroja havaittu. Esim. edellisessä menestyjä 4) Jankkurointi kesällä, oli sadon keskiarvolla mitattuna lähes heikoin, mutta hajontakin oli suurta (kuva 7). Yleisesti ottaen käsittelyjen sisällä hajonta oli viimeisenä vuonna paljon suurempaa kuin aikaisempina koevuosina. Kevät- ja syyskynnön välillä ei ollut satoeroja.



Kuva 8. Perunasadon tärkkelyspitoisuus eri koevuosina.

Nostovaiheessa koejäsenestä 6) nousi runsaasti edellisvuoden nurmenkappaleita, mikä lisäsi työtä nostokoneen käsivalintatasolla. Järeämmällä nostokoneella tämä ongelma olisi todennäköisesti pienempi, mutta nyt toisaalta ymmärtää senkin, miksi perunanviljelijät eivät halua ottaa nurmea viljelykiertoon. Lapiomuokkaimen 3) sato oli nyt jopa aavistuksen korkeampi kuin kynnetyn sato ja perunan laatu samanveroinen. Lapiomuokatun tärkkelys-% ei nyt eronnut kevätkynnetystä, vaikka olikin joukon alhaisempia (kuva 8). Rutto saatiin pidettyä ruiskutusten avulla hyvin kurissa ja perunan laatu oli jälleen hyvää kaikissa käsittelyissä pois lukien hukkuneet ruudut, eikä merkittäviä eroja laadun suhteen ollut.

Perunan muokkausvaihtoehtojen kustannukset

Taulukkoon 2 on laskettu lapiomuokkauksen ja perinteisen kyntö + jyräilymenetelmän kustannukset olettaen, että tilalle hankitaan vain jommankumman muokkaustavan kalusto. On oletettu, että molempien muokausketjujen käyttöön riittää 100 kW:n tehoinen traktori ja polttoaineenkulutus tuntia kohti on näissä töissä sama. Jos lisäksi oletetaan, että vuosittain muokattava ala on 50 ha ja kalusto kestää 15 vuotta (jäännösarvo 0 e), niin lapiomuokkainta käytettäessä hehtaarin muokkauksekustannukset ovat noin 10 e/ha perinteistä muokausketjua halvempia. Tilakohtaisesti laskettuna kustannussäästö ei ole valtava, mutta ajansäästöllä voi olla merkitystä kiireisenä istutusaikana. Lapiomuokkauksen työmenekki 50 ha:n tilalla on noin 43 h ja kyntö + jyräilymenetelmän noin 85 h (eivät sisällä huolto- ja apuaitia).

Jos oletamme, että lapiomuokkaukseen siirtyminen ei alenna perunan satoa ja laatua kuten tutkimuksemme antoi ymmärtää, se voi olla hyvinkin järkevä muokausvaihtoehto varsinkin työvoimapulasta kärsiville perunatiloille. Lisäksi tulee mahdollisuus rikkoa kyntöanturaa lapiomuokkaimella, eikä uuttakaan kyntöanturaa pitäisi enää muodostua, kun kyntöajo märän jankon päällä lopetetaan.

Tilanne ei käytännössä aina kuitenkaan ole näin yksinkertainen. Tilalla voi olla muita kasveja viljelyssä, jonka takia kyntöaurat halutaan säilyttää, jolloin myös niiden kustannukset säilyvät. Tai auroilla voidaan muokata selvästi suurempi ala vuosittain (esim. viljaa) kuin lapiomuokkaimella, jolloin auraketjun hehtaariohittaiset kustannukset laskevat esitetystä.

Taulukko 2. Perunan muokkauskustannukset kahdella eri muokkaustavalla, kun vuosittainen peruna-ala on 50 ha (alv. 0%, laskentakorko 5 %). Lähteet: Palva & Laaksonen 2007, Peltonen & Vanhala 1992, Savela & Enroth 2009.

	Lapiomuokkaus		Kyntö+jyrsintä			
	Lapiomuokkain 3,0 m		Paluuaurat 4x16		Vaakatasojyrsin 3,0 m	
Hankintahinta	36000	e	13500	e	8300	e
Käyttömäärä vuodessa	50	ha	50	ha	50	ha
Poisto-aika	15	v	15	v	15	v
Poisto+korkokustannus	3300	e/v	1238	e/v	761	e/v
Säilytys+kunnossapito	400	e/v	400	e/v	300	e/v
Koneen kustannukset	74	e/ha	33	e/ha	21	e/ha
Ajonopeus	4.5	km/h	8	km/h	5	km/h
Työmenekki	0.9	h/ha	0.9	h/ha	0.8	h/ha
Traktorityön hinta (100 kW)	36.7	e/h	36.7	e/h	36.7	e/h
Kustannukset yhteensä	106	e/ha			116	e/ha
Kustannussäästö 50 ha:n vuotuisella alalla:					516	e/v

Jankkurointi on kertaluontoinen toimenpide jankon rikkomiseksi, jonka vaikutuksen voisi olettaa pysyvän useita vuosia. Toisaalta nykypäivänä jankkurointityö ei ole enää kovin kallista, sillä ainakin hietamailla jankkurin vetämiseen sopiva 100 kW:n traktori löytyy useimmilta tiloilta tai on ostettavissa urakointipalveluna. Jos tuntikustannuksena käytetään 50 e/h ja työmenekki on käyttämällämme 75 cm:n piikkivälillä ja 50 cm:n työsyvyydellä 0,8 h/ha, niin hehtaarikustannukseksi tulee 40 e/ha (alv. 0 %). Jos käytetään 150 cm:n piikkiväliä, työmenekki on 0,4 h/ha ja kustannukset vastaavasti 20 e/ha.

Toinen asia on sitten se, miten jankkuroinnin vaikutukset saadaan pysymään edes seuraavaan kasvukauteen. Kirjallisuudessa (Alakukku & Elonen 1997, Munkholm et al. 2003) on esitetty, että jankkuroitava lohko tulisi kylvää viherkesannolle ja jankkurointi suorittaa, kun maa on jankkurointisyvyydeltä mahdollisimman kuivaa, eli heinä – elokuussa. Seuraavanakin vuonna viherkesannointia pitäisi jatkaa ja lohko rauhoittaa peltoliikenteeltä, jotta nurmikasvien juuret pystyisivät stabiloimaan maan rakenteen jankkuroiduissa kohdissa.

Näinhän juuri meneteltiin kokeemme käsittely 4:n osalta. Perunasato olikin ensimmäisenä jälkivaikutusvuonna muita parempi. Kustannuspuolelle tulee viljelykasvin sadonmenetyt niinä kahtena vuonna, jolloin lohko on viherkesannolla ja lisäksi jankkuroinnin kustannukset. Voi olla, että yksikin vuosi (jankkurointivuosi) viherkesannolla riittäisi maan rakenteen stabilointiin. Tämä jäi nyt osoittamatta koesuunnitelman muututtua. Kun jankkurointi tehtiin vasta syyskuussa ilman viherkesantokasvia (käsittely 5), perunasadon lisäystä ei havaittu.

Johtopäätökset

Pohjois-Pohjanmaalla hietamaiden rakenne on tyypillisesti sellainen, että muokkauskerroksen (25-30 cm) alapuolella on hyvin tiivis ja harmaa jankko, joka on niin kovaa, etteivät siellä kasvien juuret pysty kasvamaan. Jankossa on kuitenkin usein pystysuuntaisia vedenkulkureittejä, jotka ruoste on värjännyt ruskeiksi, noin 1 cm:n paksuisiksi putkiloiksi. Tämä rakenne on hyvin yleinen eri puolilla aluetta ja riippumatta siitä, onko maa peltoa tai jossain muussa käytössä. Tiivistymä on siis suurelta osin luontaista iskostumaa ja ehkä pienemmiltä osin koneiden aiheuttamaa tiivistymää. Hyvin harvoin jankko on näillä alueilla vain ohut kerros kyntökerroksen alapuolella, vaan se jatkuu tasaisen kovana ainakin 80 cm:n syvyyteen saakka.

Liian tiiviissä jankossa kasvien juuret eivät pääse kasvamaan alaspäin, jotta ne saisivat sieltä vettä kuivina aikoina. Märkinä aikoina veden virtaus salaojiin on hidasta tiiviin jankon läpi, jolloin juuret kärsivät hapenpuutteesta ja viljelytoimet myöhästyvät. Toisaalta kova jankko kantaa hyvin viljelykoneita, joten sitä ei kannattaisi kokonaan hävittääkään. Kun harkitaan jankon kuohkeutustoimenpiteitä, kannattaa ensin varmistua, että alueen ojitus toimii (piiri- ja salaojat) ja että pellon pinnanmuotoilu on kunnossa. Ojituksen puutteita ei pystytä jankkoa rikkomalla paikkaamaan.

Jankkurilla jankko saadaan kyllä rikottua, mutta ongelmana se, että jo seuraavan talven aikana kuohkeutetut kohdat tahtovat liettyä umpeen ja tiivistyvät uudelleen. Kokeemme mukaan jankkuroitavan lohkon kylväminen viherkesannolle nopeakasvuisella kasvulla, jankkurointi maan ollessa kuivimmillaan ja mahdollisesti viherkesannointi vielä seuraavanakin vuonna kuohkeuttivat ja stabiloivat maata kohtalaisen hyvin, mikä näkyi jopa perunasadon lisääntymisenä yhtenä vuonna. Selvää kuitenkin on, että pellon pitäminen 2 vuotta pois tuotannosta on niin kallista, että tiivistymäongelman pitää olla todella paha, ennen kuin tähän kannattaa taloudellisessa mielessä ryhtyä. Itse jankkurointi ei ole kovin kallista.

Peltokäytössä voi olla järkevää käyttää jankkuroinnissa 150 cm:n piikkiväliä kokeessa käytetyn 75 cm:n sijaan, ettei maan kantavuutta ja veden luontaisia virtausreittejä kokonaan menetetä. Mittausten mukaan maa murustuu jankkurin terää selvästi laajemmalla alueelta (kuva 5). Veden kulun parantamiseksi kannattaa ajaa mahdollisuuksien mukaan poikkisuuntaan imuojiin nähden. Jankkurilla voi myös harjoittaa täsmämuokkausta muokkaamalla vain tietyt kohdat, jos pystyy arvioimaan, missä kohdin tiivistymä aiheuttaa kuivuutta tai liikaa märkyttä. Maan pitäisi olla kuitenkin käsittelyhetkellä riittävän kuivaa, jotta se lohkeilee ja murustuu eikä ”liippaannu” terien vaikutuksesta. Perunan viljelijät ovat kokeilleet jankkurointia siten, että he jankkuroivat tulevan perunapellon aikaisen ohran puinnin jälkeen. Tällöin maa voi ollakin tarpeeksi kuivaa, mutta koska maata sitova kasvava juuristo puuttuu, hyöty voi jäädä vähäiseksi kuten kokeemme koejäsenelle 5 kävi. Menetelmää voi kuitenkin kokeilla, sillä kustannukset eivät ole kovin suuret. Yksi kokeilemisen arvoinen vaihtoehto olisi jankkurointi keväällä juuri ennen kyntöä ja perunamaan istutusta.

Lapiomuokkaimella saatiin käytännössä yhtä suuri ja laadukas perunasato, kuin kynnön ja jyrsinän yhdistelmälläkin. Ainoastaan tärkkelyspitoisuus pyrki jäämään lapiomuokatassa hieman alemmaksi. Kustannuksiltaan menetelmät ovat lähes yhtä suuret, mutta yhden ajokerran menetelmänä lapiomuokkaus säästää työtä kyntö-jyrsinämenetelmään nähden. Uutta tiivistymää ei pitäisi enää syntyä, kun kyntöajo suoraan jankon päällä loppuu. Lapiomuokkaimellakin muokattiin maa ensimmäisenä vuonna 40 cm:n syvyyteen, mutta tämä jankon kuohkeuttaminen ei näkynyt millään tapaa satotuloksissa. Kun muokataan kovin syvälle, riskinä on happaman pohjamaan nouseminen

pintaan ja maan luontaisten rakenteiden rikkoutuminen. Kokeessa myös todettiin, ettei lapiomuokkain sovi lyhytikäisenkään nurmen rikkomiseen, jos aikomuksena on istuttaa lohkolle peruna.

Ennako-oletuksena oli, että pitkäaikainen puna-apila-timotei-nurmi pystyisi kuohkeuttamaan jankkoa juuristollaan. Tässä kokeessa nurmi ehti kasvaa perustamisvuoden ja 2 satovuotta, ennen kuin se lopetettiin ja kynnettiin. Perunasato olikin lievästi parempi kuin muissa koejäsenissä, mutta todennäköisesti tämä johtui nurmen jäljiltä maahan jääneistä ravinteista, humuksesta ja muokkauskerroksen paremmasta ilmavuudesta. Lisäksi nurmen kappaleet hankaloittivat perunan istutusta ja nostoa. Penetrometrin mukaan jankkomaan vastus oli yhtä kovaa kuin muissakin käsittelyissä, eikä kasvien juuria näkynyt jankkoon kaivetussa kuopassa. Ilmeisesti jankkomaan vastus (6 – 8 MPa) on niin suuri, etteivät siihen pysty minkään kasvin juuret tunkeutumaan. Toisaalta koejaksolle sattuneet kesät olivat kosteahkoja (pl. 2006), joten juurilla ei ehkä ollut tarvettakaan kasvaa syvälle.

Kiitokset

Haluan kiittää Maatalouskoneiden tutkimussäätiötä ja MTT:tä rahoituksesta, joka mahdollisti tämän tutkimuksen tekemisen. Kiitokset Matti Laurilalle muokkauskokeeseen osallistumisesta. Koekentän perustamisesta, hoidosta, sadonkorjuusta ja sadon analysoinnista vastasi vuosittain MTT Ruukin SBI-ryhmä (mm. Tapio Uotila ja Anna Sipilä), josta heille erityiskiitos.

Kirjallisuus:

Alakukku, L. & Elonen, P. 1997. Tiiviin maan syväkuohkeutus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A. 30. Maatalouden tutkimuskeskus. Jokioinen: 1-22 s.

Dexter, A.R. 1987. Mechanics of root growth. *Plant and Soil* 98, 3: 303-312.

Lötjönen, T. 2006. Maaperän tiivistyminen perunantuotannossa - kirjallisuuskatsaus. MTT:n selvityksiä 129: 27 s. <http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts129.pdf>

Munkholm, L.J., Schjønning, P. & Sorensen, H. 2003. Soil packing and mechanical loosening in coarse-sand soil. Markbrug nr. 271. Danmarks JordbrugsForskning. Tjele, Denmark: 6 s.

Palva, R. & Laaksonen, K. 2007. Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat. TTS tutkimuksen tiedote 597. TTS tutkimus. Rajamäki: 12 s.

Peltonen, M. & Vanhala, A. 1992. Maatalouden työnormit. Kasvintuotannon yleiset työt. Työtehoseuran Maataloustiedote 421. Työtehoseura. Helsinki: 8 s.

Savela, P. & Enroth, A. 2009. Työkoneiden esimerkkikustannuksia. Maatalouskalenteri 2009. ProAgria. Vantaa.

Spoor, G., Tijink, F.G.J. & Weiskopf, P. 2003. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil and Tillage Research* 73(1/2): 175-182

Wells, L.G., Stombaugh, T.S. & Shearer, S.A. 2005. Crop yield response to precision deep tillage. *Transactions of the ASAE* 48, 3: 895-901.