

RUOKOHELVEN VARASTOINTI ENERGIÄKÄYTTÖÖN

Pro gradu – tutkielma

Heikki Yrjölä

Helsingin yliopisto
Agroteknologian laitos
Helsinki 2009

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Agroteknologian laitos	
Tekijä — Författare — Author			
Yrjölä Heikki			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Ruokohelven varastointi energiakäyttöön			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Maatalousteknologia			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	
Pro gradu - tutkielma		Helmikuu 2009	
		Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages	
		105	
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Ilmastonmuutos, fossiilisten polttoaineiden väheneminen sekä niiden hinnan nousu ovat aiheuttaneet sen, että kiinnostus uusiutuvia energiavaroja kohtaan on kasvanut huomattavasti viime vuosien aikana. Peltobioenergian käyttö on ollut vähäistä Suomessa mutta sen käyttö on yleistymässä. Bioenergiakasveista ruokohelven viljely on lisääntynyt Suomessa merkittävästi, koska se on satoisin energiakäyttöön tarkoitettuista heinäkasperseistä. Ruokohelven pääasiallinen käyttötarkoitus on polttaminen voimalaitoksissa silputtuna ja sekoitettuna pääpolttoaineeseen eli esimerkiksi turpeeseen tai hakkeeseen. Jotta ruokohelven lämpöarvo tai muut ominaisuudet eivät heikentyisi, niin varastointi tulisi suorittaa oikein.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää optimaalisin varastointimuoto ruokohelpipaaleille. Työ aloitettiin perustamalla erilaisia koevarastoja pyörö- ja suurkanttipaaleille. Koevarastoinnin tarkoituksena oli kokeilla erilaisten kate- pohjamateriaalien sekä niiden yhdistelmien vaikutusta paalien kosteuspiitoisuuksiin viiden kuukauden aikana sekä laskea varastointikustannukset eri varastotyypeille. Tutkimuksessa mukana olleet katemateriaalit olivat aumamuovi, kevytpeite, peitepaperi sekä peittämätön versio. Pohjamateriaaleina tutkimuksessa käytettiin aumamuovia, trukkilavoja sekä paljasta maata. Tavoitteena oli myös selvittää kolmen erilaisen kannettavan pikakosteusmittarin tarkkuus verrattuna uunikosteuteen. Vertailussa mukana olleet mittarit olivat: Wile 25 Digital, Haymatic Digital ja DICKEY-john.</p> <p>Katemateriaaleista parhaaksi ratkaisuksi osoittautui aumamuovi. Se ei päästänyt vettä lävitseen eikä myöskään kondensoitumista havaittu tutkimuksen aikana. Kustannuksia tarkasteltaessa aumamuovi oli ylivoimaisesti edullisin vaihtoehto vertailuista vaihtoehtoista. Pohjamateriaaleista trukkilavat olivat paras vaihtoehto ruokohelpipaalien varastointiin. Aumamuovi sekä paljas maa keräsivät vettä ja kastelivat paaleja alaosaan. Mittarivertailussa tarkimmaksi kannettavaksi pikakosteusmittariksi osoittautui Wile 25 Digital paalien kosteuden ollessa alle 20 %. Mittarin tarkkuus ei kuitenkaan ollut riittävä tarkkojen mittausten suorittamiseen.</p> <p>Kestoltaan alle viiden kuukauden varastointiaikoina lappeelleen varastoituvia pyöröpaalivarastoja ei ole taloudellisesti järkevää peittää eikä niiden alle tarvitse asettaa pohjamateriaalia. Sen sijaan suurkanttipaalivarastot tulisi peittää myös lyhytaikaisen varastoinnin aikana, koska suurkanttipaalit ovat huomattavasti herkempiä kastumaan kuin lappeelleen varastoidut pyöröpaalit. Varastointiajan ollessa yli viisi kuukautta molemmat varastotyypit tulisi peittää aumamuovilla sekä pohjustaa varastot trukkilavoilla tai muulla sellaisella materiaalilla joka pitää alimmat paalit pois märästä maasta.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
Ruokohelpi, varastointi			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Agroteknologian laitos, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Faculty of Agriculture and Forestry		Department of Agrotechnology	
Tekijä — Författare — Author			
Yrjölä Heikki			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Storage of Reed Canary Grass for Energy Purpose			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Agricultural Engineering			
Työn laji — Arbetets art — Level	Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages	
M.Sc. Thesis	February 2009	105	
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Climate change, decreasing of fossil fuels and rise of fossil fuel prices has during recent years caused an interest in renewable energy. The use of field biomass has been small-scale in Finland but now it is going to increase. Reed canary grass is an energy crop, growing of which has increased outstandingly in Finland because it is the most yielding energy grass. The main purpose of reed canary grass is to be burned chopped with peat or woodchips in a power plant. The storage of reed canary grass should be done right so that its energy content or other qualities don't decrease.</p> <p>The goal of this research was to find out an optimal way to storage reed canary grass bales. The first step was to create different types of test storages for round and square bales. The purpose of the test storages was to find out how different types of cover and base materials would change the moisture content of the bales during five months and calculate the costs of different types of storages. The cover materials were silage film, tarpaulin, covering wrap and one was uncovered. The base materials were silage film, pallets and bare ground. It was also a purpose to compare three different portable moisture meters with drying oven gravimetric method. Those three meters were Wile 25 Digital, Haymatic Digital and DICKEY-john.</p> <p>The best solution for cover material was silage film. It was waterproof and there was no condensation during the research. Silage film was also the cheapest choice for storing. Pallets were the best choice for base material. Silage film and bare ground got wet on the top and the bales also got wet. The best portable moisture meter was Wile 25 Digital when the moisture content of the bales was below 20 %. But it was not exact enough for calibration.</p> <p>When the storing time is shorter than five months, there's no need to cover round bales which are in the flat in the storage. And there is no need to put base material below the bales because it is not economic. Square bales should be covered when storing for a short time because square bales get wet more easily than round bales which are in the flat. When the storing time is longer than five months every storage should be covered with silage film and pallets or other similar material should be put below the storage.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
Reed canary grass, storage			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture and Forestry			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

ESIPUHE

Tämä tutkimus aloitettiin toukokuussa 2008 ja se kuului osana Vapo Oy:n peltoenergia-projektiin. Tutkimukseen saatu rahoitus mahdollisti täysipainoisen keskittymisen työhön.

Kiitän Vapo Oy:n puolella työni ohjaajana toiminutta MMM Olli Reinikaista kaikista neuvoista ja ohjauksesta sekä FM Jaakko Lehtovaaraa kaikista vinkeistä mittauksien suorittamisessa sekä tulosten käsittelyssä. Lisäksi kiitokset kuuluvat professori Jukka Ahokkaalle, joka toimi työni ohjaajana Agroteknologian laitoksen puolella.

Kiitän myös vanhempiani heidän antamastaan tuesta sekä erityisesti Tiinaa kannustamisesta koko työni ajan.

Helsingissä 14.1.2009

Heikki Yrjölä

SISÄLLYS

KÄSITTEET JA LYHENTEET	7
JOHDANTO	8
1 RUOKOHELVEN VILJELY POLTTOA VARTEN	10
1.1 Kasvupaikkavaatimukset	11
1.2 Viljelytekniikka.....	12
2 RUOKOHELPI POLTTOAINEENA	13
2.1 Ruokohelven poltto-ominaisuudet	13
2.2 Ruokohelven tuotantoketju	16
Paalaus	17
Irtokorjuu	18
Erialaisten tuotantoketjujen tarkastelu	18
3 VARASTOINTI	21
3.1 Ruokohelven varastointi	22
3.2 Oljen ja heinäkasvien varastointi ulkomailla.....	25
Pomi Wrap 5	26
4 KOSTEUDEN MITTAAMINEN	28
4.1 Gravimetriset menetelmät.....	28
4.2 Spektroskooppiset menetelmät	29
4.3 Muut menetelmät	30
5 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	32
6 AINEISTO JA MENETELMÄT	33
6.1 Koevarastot	33
6.1.1 Pyöröpaalikokeet	33
6.1.2 Suurkanttipaalikoe	36
6.2 Kosteuden mittalaitteet	39
6.2.1 Precision TE 6101-vaaka ja Termaks TS 8056-lämpökaappi.....	39
6.2.2 Precisa XM 60-pikakosteusmittari	39
6.2.3 Haymatic Digital-kannettava pikakosteusmittari	40
6.2.4 Wile 25 Digital-kannettava pikakosteusmittari.....	40
6.2.5 DICKEY-john FX-2000-kannettava pikakosteusmittari	40
6.3 Mittausjärjestelyt	41
6.3.1 Koevarastojen kosteusmittaukset ja mittauspisteet	41
6.3.2 Pikakosteusmittareiden vertailun mittaukset ja mittauspisteet	41
6.3.3 Kosteuspitoisuuden määrittäminen uunikuivausmenetelmällä.....	42

6.4 Sää tiedot	44
6.4.1 Pyöröpaalikoe.....	44
6.4.2 Suurkanttipaalikoe.....	45
7 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	47
7.1 Pyöröpaalien lappelleen varastointikokeen kosteusmittaukset	47
Mittauspiste 1	47
Mittauspiste 2.....	50
Mittauspiste 3.....	52
7.2 Pyöröpaalien pystyvarastointikokeen kosteusmittaukset	57
Mittauspiste 1	57
Mittauspiste 2.....	58
Mittauspiste 3.....	59
Mittauspiste 4.....	60
7.3 Suurkanttipaalikokeen kosteusmittaukset.....	62
Mittauspiste 1.....	62
Mittauspiste 2.....	64
Mittauspiste 3.....	67
7.4 Varastoinnin kustannukset ja työnmenekki	70
Kastumisen vaikutukset paaleista saatavaan energiamäärään	72
7.5 Kannettavien pikakosteusmittareiden vertailu	73
7.5.1 Koko mittausalue.....	74
7.5.2 Mittareiden toiminta, kun kosteus oli alle 20 %	78
7.5.3 Mittareiden toiminta, kun kosteus oli yli 20 %	81
7.5.4 Erot Suurkantti- ja pyöröpaalien välillä.....	85
7.5.5 Mittarivertailun yhteenvedo.....	89
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	91
LÄHTEET.....	94
LIITTEET.....	97

KÄSITTEET JA LYHENTEET

Wh = Wattitunti (energiantuotannon yksikkö)

J = Joule (energiämäärän perusyksikkö)

k = kilo, $10^3 = 1\ 000$

M = mega, $10^6 = 1\ 000\ 000$

G = giga, $10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$

T = tera, $10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$

P = peta, $10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$

1 Wh = 3600 J

m^3 = kuutiometri

JOHDANTO

Viime vuosien aikana kiinnostus uusiutuvia energiavaroja kohtaan on kasvanut merkittävästi niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa. Syynä tähän ovat muun muassa ilmastonmuutos, fossiilisten polttoaineiden väheneminen sekä niiden hinnan nousu. Näiden syiden seurauksena uusia ja edullisempia tapoja tuottaa energiaa ympäristöä säästävämmin etsitään jatkuvasti. Suomen vahvuutena on suuri uusiutuvan energian osuus primäärienergian tuotannossa. Viime vuosina se on ollut noin 25 % (Luoma ym. 2006). Tämän takia Suomi onkin yksi maailman johtavista uusiutuvia energialähteitä ja erityisesti bioenergiaa käyttävistä maista. Suurimman osuuden uusiutuvista energiamuodoista muodostavat bioenergia sekä vesi- ja tuulivoima. Vuonna 2005 bioenergian käyttö oli Suomessa noin 100 TWh. Bioenergiajärjestöt ovat sitä mieltä, että bioenergian vuosikäyttö on Suomessa mahdollista nostaa 150 TWh:iin (Finbio 2008). Uusiutuvan energian käytön lisäämiseen velvoittaa myös EU-komission direktiiviehdotus, jossa Suomi määrätään nostamaan uusiutuvan energian osuus kokonaiskulutuksesta 28,5 %:sta 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä (Finbio 2008). Bioenergian käytön lisääminen parantaisi huomattavasti Suomen energiaomavaraisuutta sekä vähentäisi CO₂-päästöjä nykyisestä, koska bioenergian lisäämisellä korvattaisiin pääasiassa kivihiihtä, öljyä ja tuontisähköä.

Maataloudesta peräisin olevan bioenergian käyttö on ollut melko vähäistä Suomessa, mutta se on yleistymässä. Tällä hetkellä Suomen kokonaispeltopinta-ala on noin 2,2 miljoonaa hehtaaria. Alasta olisi mahdollista siirtää bioenergian tuotantoon noin 0,5 miljoonaa hehtaaria. Jäljelle jäävällä noin 1,7 miljoonalla hehtaarilla pystyttäisiin säilyttämään ruokaomavaraisuus (Ginström ym. 2005). Suomessa peltobioenergian tuotantoon soveltuvia kasveja ovat muun muassa ruokohelpi, energiapaju, hamppu, vilja, olki ja muut peltobiomassat. Bioenergiakasveista erityisesti ruokohelven käyttö on lisääntynyt ja kasvaa vastedeskin runsaasti, koska ruokohelpi on satoisin energiakäyttöön tarkoitetuista heinäkasveista (Pahkala ym. 2005). Ympäristönäkökohtia tarkasteltaessa ruokohelven kasvihuonekaasupäästöt ovat pienemmät sekä viljelyn energiatase parempi, kuin useilla muilla viljelykasveilla. Ruokohelpikasvusto, joka kasvaa suolla sitoo juuristoon sekä maanpäällisiin osiin huomattavasti enemmän hiilidioksidia ilmakehästä, kuin mitä vapautuisi ilmakehään vastaavan kokoiselta suoalalta. Lisäksi ruokohelpeä viljeltäessä myös ravinnehuuhtoutumat ovat pienemmät, kuin esimerkiksi rehunurmella. Edellä esitettyjen edullisten ilmastovaikutusten lisäksi ruokohelven viljelyllä on mai-

semallisuutta ja monimuotoisuutta lisäävä vaikutus turvetuotannosta poistuneilla suoalueilla (Reinikainen ym. 2008).

Ruokohelpisato korjataan keväällä, jolloin sen kosteus on pienimmillään. Keväällä korjatun ruokohelven kosteus on 10 – 15 % (Luoma ym. 2006). Tällöin sen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on noin 15,5 MJ/kg (Reinikainen ym. 2008). Kosteusprosentin kasvaessa lämpöarvo heikkenee oleellisesti, joten on tärkeää että korjattu ruokohelpisato ei pääsisi kastumaan. Ruokohelpipaalit varastoidaan yleisimmin viljelijöiden mailla ja ulkotiloissa. Paalit voivat olla varastoissa hyvin pitkiäkin aikoja. Lisäksi yksittäisen viljelijän paalivarastot voivat olla pieniä ja useassa erillisessä paikassa, jolloin oikein rakennettujen paalivarastojen merkitys korostuu. Tästä syystä on tarpeen selvittää millainen varastoratkaisu suojaa parhaimmin ruokohelpipaaleja.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää millainen varastoratkaisu olisi optimaalisin ruokohelven varastointiin. Tutkimuksessa rakennettiin erilaisia koevarastoja niin pyöröpaaleille, kuin suurkanttipaaleille. Irtosilpun varastointi rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle. Tavoitteena oli löytää sellainen varastoratkaisu, joka säilyttäisi paalien kosteuden samalla tasolla, kuin se oli korjattaessa. Lisäksi kiinnitettiin huomiota varastointikustannuksiin sekä varastojen rakentamisen työnmenekkiin. Näiden seikkojen perusteella pyrittiin löytämään paras ratkaisu ruokohelven varastointiin. Tämän lisäksi suoritettiin kolmen erilaisen kannettavan pikakosteusmittarin vertailu, jonka tavoitteena oli löytää tarkin mittari kenttäolosuhteissa tapahtuvaan ruokohelpipaalien kosteuden mittaukseen.

1 RUOKOHELVEN VILJELY POLTTOA VARTEN

Ruokohelpi (*Phalaris arundinacea* L.), jota on alun perin viljelty karjan rehuksi Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa on monivuotinen heinäkasvi. Koska se on monivuotinen kasvi, sen viljely vaatii huomattavasti vähemmän työtä kuin esimerkiksi viljakasvien. Viljelmän perustamisvuoden jälkeen satovuosien työnmenekki muodostuu käytännössä ainoastaan lannoituksesta ja sadonkorjuusta (Reinikainen ym. 2008). Suomessa ruokohelpi kasvaa myös luonnonvaraisena aina Lappia myöten. Ruokohelpi kasvaa noin 2 metriä korkeaksi ja tiheäksi kasvustoksi viihtyen erinomaisesti myös märissä kasvuolosuhteissa ja kestäen jopa ajoittaisia tulva-aikoja (Reinikainen ym. 2008). Ruokohelven kukinnot eli röyhyt alkavat kehittyä kasvustoon vasta kylvöä seuraavana vuonna, jolloin kasvin juuristo on kehittynyt riittävästi. Energiakäytössä ruokohelven tärkein osa on korsi, koska siinä on enemmän selluloosaa ja vähemmän kivennäisaineita kuin lehdissä (Pahkala ym. 2005).

Viljeltäessä ruokohelpeä energiakäyttöön korjuu tapahtuu keväällä kuloheinänä, koska biomassan korsipitoisuus on tällöin suurimmillaan ja kasvusto on huomattavasti kuivempaa kuin syksyllä (Pahkala ym. 2005). Näiden tekijöiden lisäksi korsimassan poltto-ominaisuuksia parantaa se seikka, että ruokohelven tuleentumisvaiheessa ravinteet siirtyvät kasvin juurakkoon. Juurakossa ravinteet säilyvät tulevan kasvukauden tarpeita varten (Reinikainen ym. 2008). Ensimmäisen korjuun ajankohta on yleensä kahden vuoden kuluttua kylvöstä. Kuiva-ainesatoa ruokohelpi tuottaa noin 6 - 8 tonnia hehtaarilta, joskin ensimmäisen korjuun sato on hie- man pienempi (Pahkala ym. 2005). Hyvissä olosuhteissa kuiva-ainesato voi olla lähes 10 tonnia hehtaarilta (Reinikainen ym. 2008). Ruokohelpiviljelykset ovat hyvin pitkäikäisiä. Hyvin hoidettuna ne voivat tuottaa satoa 10 - 12 vuotta (Pahkala ym. 2005).

Ruokohelven soveltuvuutta energiakasviksi ryhdyttiin tutkimaan 1990-luvulla Suomessa. Tällöin huomattiin, että ruokohelpeä voidaan käyttää keväällä korjattuna kiinteäksi polttoai- neeksi. Vuodesta 1995 alkaen ruokohelpeä on viljelty soilla ja suopohjilla. 2000-luvun alusta lähtien sen viljelyala on kasvanut nopeasti. Vuonna 2001 viljelypinta-ala oli 500 hehtaaria ja vuoteen 2007 mennessä ala oli kasvanut jo 20 000 hehtaariin (Reinikainen ym. 2008).

1.1 Kasvupaikkavaatimukset

Ruokohelpeä voidaan viljellä menestyksekkäästi I - IV viljelyvyöhykkeillä sekä myös V vyöhykkeen eteläosissa (Pahkala ja Enroth 2007). (Liite 1. Aikasalo ym. 2008). Se soveltuu lähes kaikille maalajeille, mutta parhaimmin se menestyy multa- ja turvemailla. Näiden lisäksi ruokohelpeä soveltuu viljeltäväksi myös turvetuotannosta poistuneilla suoalueilla. Nämä suoalueet ovatkin tärkeä tekijä ruokohelven viljelypinta-alan lisäämisessä, koska vuosittain poistuu turvetuotannosta noin 1 000 - 2 000 hehtaaria suota (Flyktman ja Paappanen 2005). Entiset turvetuotantosuo soveltuvat hyvin ruokohelven viljelyyn, koska ne ovat hyvien kulkuyhteyksien varrella ja tasaisia ja laajoja alueita. Lisäksi ne ovat myös vesitaloudeltaan sopivia ruokohelvelle eikä niissä yleensä ole ongelmia rikkakasveista ja kasvitaudeista (Reinikainen ym. 2008). Koska suopohjat ovat hyvin happamia ja ravinneköyhiä kasvualustoja, on ruokohelpeä viljeltäessä tärkeää huolehtia riittävästä kalkituksesta ja lannoituksesta. Suopohjien kalkitustarve on noin 8 – 15 tonnia kalkkikivijauhetta hehtaarille (Lamminen ym. 2005). Ruokohelven viljelyssä kasvualustan pH-arvon alarajana pidetään 5,4, mutta kuten muutkin kasvit myös ruokohelpeä hyötyy korkeammasta pH-arvosta. Jos kasvualustan pH-arvo laskee alle alarajan, niin silloin ruokohelpeä ei pysty hyödyntämään täysipainoisesti ravinteita. Suopohjien kalkitukseen voidaan käyttää kalkkikivijauheiden lisäksi myös terästeollisuudessa syntyvää kuonaa tai biotiittiä. Biotiittiä käytettäessä maahan saadaan runsaasti hidasliukoista kaliumia. Ennen myös tuhkia voitiin käyttää suopohjien kalkitukseen mutta 1.7.2006 voimaan tullut uusi lannoitelaki käytännössä kieltää tuhkien käytön korkean kadmiumpitoisuuden vuoksi (Reinikainen ym. 2008). Lisäksi viljelyominaisuuksia voidaan parantaa jättämällä kivennäismaan päälle noin 20 cm:n kerros maatumutta jäännösturvetta (Reinikainen ym. 2008). Kalkituksen lisäksi on huolehdittava myös suopohjan kunnostuksesta. Jotta turvetuotannosta poistunut suopohja saataisiin viljelykuntoon, tulee siitä poistaa mahdolliset kivet ja kannot sekä muotoilla pinta tasaiseksi (Lamminen ym. 2005). Jos suopohjalla on hyvin runsaasti kiviä ja puuainesta, niin sitä ei tulisi ottaa viljelykäyttöön.

1.2 Viljelytekniikka

Ruokohelpi kylvetään keväällä äestettyyn ja riittävän kosteaan maahan. Heinän viljelyssä käytettyä suojaviljaa ei käytetä, koska se haittaa ruokohelven kehittymistä. Kylvösyvyytenä käytetään 1 - 1,5 cm:ä, ja kylväminen tulisi suorittaa kylvölannoittimen vantaiden kautta. Kylvömääränä käytetään vähintään 1 000 kpl:ta itävää siementä/m², jolloin siemenmääräksi muotoutuu 11 - 16 kg/ha itävyyden ja tuhannen siemenen painon mukaan. Jyräys on tarpeellinen kylvön jälkeen erityisesti turvemailloilla sekä kevyillä kivennäismailloilla. Liettyville maille jyräystä ei suositella, koska se lisää kuorettumisriskiä (Pahkala ja Enroth 2007). Suomessa viljellään nykyisin lajikkeita, jotka on kehitetty rehukäyttöön. Yleisimmät näistä lajikkeista ovat Palaton, Chiefton, Venture ja Lara (Reinikainen ym. 2008). Boreal Kasvinjalostus Oy kehittää parhaillaan paremmin energia- ja kuitukäyttöön soveltuvaa lajiketta, jonka oletetaan tulevan markkinoille vuoden 2010 aikana (Pahkala ym. 2005).

Ruokohelpiviljelmää perustettaessa tehdään viljavuustutkimus, jonka perusteella saadaan selville lannoitustarve. Lannoitustarve on erilainen perustamis- ja satovuonna. Perustamisvuonna typpeä annetaan 40 – 60 kg/ha riippuen maalajista. Turve- ja multamailloilla typpeä tarvitaan vähemmän kuin savi- ja kivennäismailloilla. Satovuosina typen tarve vaihtelee 60 – 90 kg/ha välillä maalajista riippuen (Pahkala ja Enroth 2007). Typen tarve kasvaa, koska satovuosina ruokohelpi kasvattaa suuren biomassan (Reinikainen ym. 2008). Fosforin tarve perustamisvuonna vaihtelee 10 – 50 kg/ha välillä ja satovuonna 5 – 30 kg/ha välillä viljavuusluokan mukaan. Kaliumin tarve on perustamisvuonna 20 – 90 kg/ha ja satovuonna 20 – 60 kg/ha viljavuusluokan mukaan (Pahkala ja Enroth 2007). Fosforin ja kaliumin tarve vähenee satovuosina, koska ruokohelpi kierrättää tehokkaasti ravinteita (Reinikainen ym. 2008). Lannoitteena voidaan käyttää väkilannoitteiden lisäksi myös eloperäisiä lannoitteita, kuten karjanlantaa ja kompostia. Eloperäisiä lannoitteita on helpointa käyttää viljelmän perustamisvuonna, koska tällöin ne voidaan mullata maahan (Pahkala ym. 2005). Lantaa ja kompostia käytettäessä fosfori kannattaa antaa varastolannoitteena (Reinikainen ym. 2008).

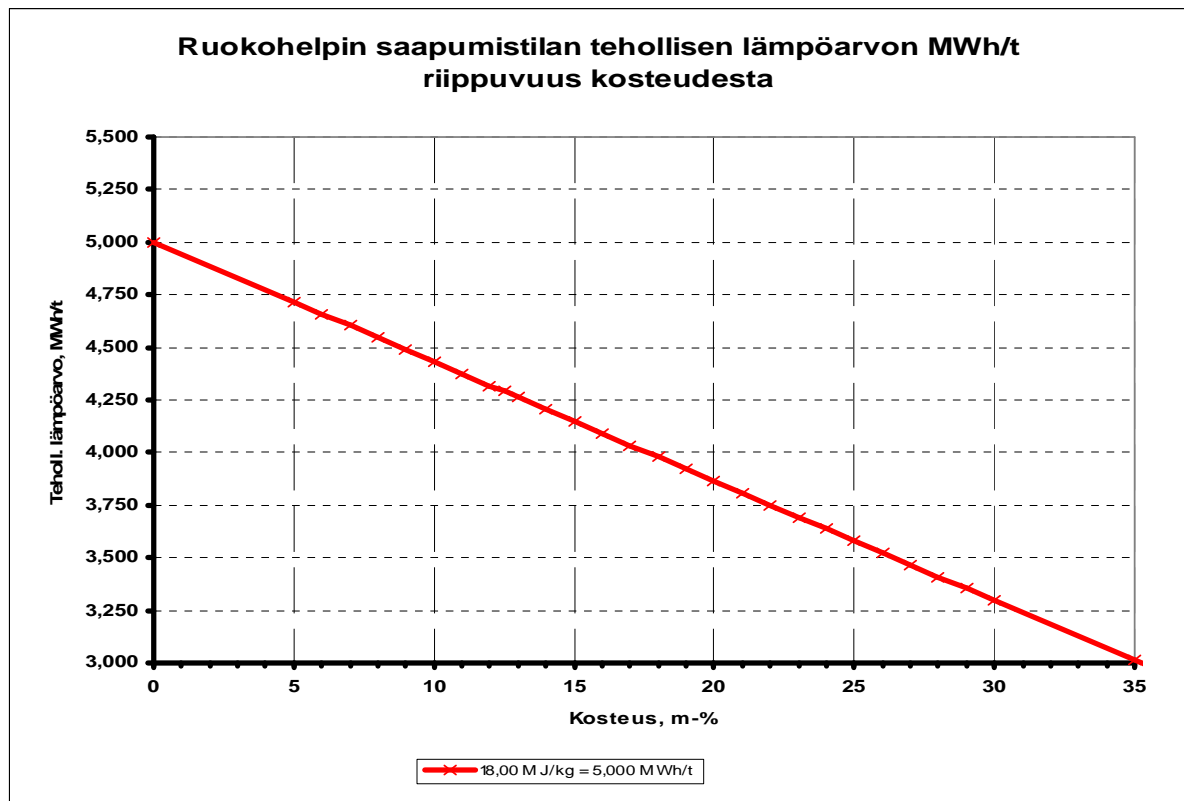
Ruokohelven kasvinsuojeluun kuuluu juolavehnän torjunta kemiallisesti kylvöä edeltävänä vuonna sekä rikkakasvien torjunta ruokohelven taimettumisen jälkeen. Kasvitauteja ruokohelven viljelyssä ei ole havaittu ja tuhohyönteiset ovat aiheuttaneet ongelmia vain siementuotannossa oleville viljelyksille (Pahkala ja Enroth 2007).

2 RUOKOHELPI POLTTOAINEENA

2.1 Ruokohelven poltto-ominaisuudet

Ruokohelven poltto-ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kasvupaikka, kasvualusta, kasvilajike, lannoitus ja korjuuajankohta (Alakangas 2000). Ruokohelpeä poltetaan sekoitettuna muihin pääpolttoaineisiin. Suomessa poltetaan ruokohelven kanssa turvetta, haketta sekä kuoren ja purun seosta (Luoma ym. 2006) Ruokohelpeä ei voida polttaa yksin voimalaitoksissa, koska se on huomattavasti kuivempaa kuin puu ja turve, kuten taulukosta 1 nähdään. Jos kattilassa poltettaisiin pelkkää ruokohelpeä, niin palamislämpötila nousisi liian korkeaksi (Flyktman ja Paappanen 2005). Myös ruokohelven tiheys on pienempi, kuin turpeen ja puun. Tämän vuoksi ruokohelpeä ei pystytä syöttämään polttokattilaan riittävästi (Flyktman ja Paappanen 2005). Nämä seikat aiheuttavat sen, että ruokohelpisilppu on sekoitettava hyvin pääpolttoaineen kanssa. Turve on yleisesti ruokohelven kanssa käytetty pääpolttoaine. Ruokohelven sekoitus turpeeseen voidaan tehdä joko voimalaitoksella tai välivarastossa. Turpeen ollessa pääpolttoaine välivarastoina toimivat usein turvesuot.

Ruokohelven energiasisältö on noin 5 MWh/t kuiva-ainetta. Kosteuden noustessa energiasisältö alenee, kuten kuvasta 1 havaitaan. Keväällä korjatun ruokohelven energiasisältö 14 %:n kosteudessa on 4,2 MWh/t. (Reinikainen ym. 2008). Ruokohelven kuiva-aineen lämpöarvo on hieman pienempi kuin puun ja palaturpeen. Mutta kun tarkastellaan lämpöarvoa saapumistilassa (taulukko 1), niin tällöin ruokohelven lämpöarvo voi olla huomattavasti isompi kuin puun ja turpeen. Tähän ominaisuuteen vaikuttaa hyvin paljon polttoaineen kosteus. Poltto-ominaisuuksiin voidaan myös vaikuttaa käyttämällä erilaisia seossuhteita, kuten taulukosta 2 nähdään. Seospoltossa ruokohelven energiaosuus ei käytännössä voi ylittää 10 % energiaosuudesta. Suuremmilla osuuksilla se aiheuttaa ongelmia laitosten käsittelylaitteissa (Flyktman 1998). Suurimmat ongelmat ruokohelpeä poltettaessa ovat erilaiset tukkeutumiset ja holvaantumiset kuljetuslaitteissa. Yksi ratkaisu näihin ongelmiin olisi rakentaa erillinen syöttölinja, joka olisi suunniteltu juuri ruokohelpeä varten. Tällöin voitaisiin syöttölinjalla käyttää pneumaattista syöttöä, joka vähentäisi tukkeutumisista aiheutuvia ongelmia (Paappanen ym. 2008).



Kuva 1. Ruokohelven kosteuden vaikutus lämpöarvoon (Reinikainen 2007).

Ruokohelven korjuuajankohdalla on suuri vaikutus poltto-ominaisuuksiin. Keväällä korjatun ruokohelven rikki- ja klooripitoisuus on pienempi kuin syksyllä korjatun ja myös typpipitoisuus on keväällä pienempi. Klooripitoisuus voi olla syksyllä huomattavasti suurempi kuin keväällä korjatussa sadossa (Alakangas 2000). Suuri klooripitoisuus voi aiheuttaa höyrykattiloissa poltettaessa ongelmia, koska tällöin voi kattilaan muodostua kloorikorroosiota (Flyktman ja Paap-panen 2005). Myös tuhkan sulamiskäyttäytymisessä on eroja keväällä korjatun ruokohelven eduksi. Edellä esitettyjen seikkojen vuoksi soveltuu keväällä korjattu ruokohelpi paremmin voimalaitosten polttoaineeksi.

Taulukko 1. Keväällä korjatun ruokohelven palamisominaisuudet verrattuna muihin biopolttoaineisiin (Alakangas 2000).

Palamisominaisuus	Ruokohelpi	Venrån ölle	Tuu	Palaturve
Tehollinen lämpöarvo kuiva-ainessa, MJ/kg, (MW/t/h)	17,6 (4,9)	17,4 (4,3)	19,2 (5,3)	21,5 (6)
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg, (MAh/t/h)	14,6 (4,1)	14,4 (4)	8,5 (2,4)	12 (3,3)
Kosteus, %	14	15	50	40
Tuhtapitoisuus	5,5	7	1,5	4
Hil, %	46	46	50	55
Typpi, %	0,9	0,5	0,3	1,5
Rikki, %	0,7	0,5	0,05	0,25
Kloori, %	0,09	0,5	0,02	0,05
Kalium, %	0,2	0,8	0,2	0,05
Kalsium, %	0,2	0,4	0,3	0,5
Magnesium, %	0,05	0,1	0,05	0,05
Natrium, %	0,07	0,1	0,01	0,01
Hil, %	1,8	1,8	0,4	0,8
Tuhkan sulamispiste, °C	1404	930	1150	1100
Arseeni, mg/kg KA	0,2	–	0,07	2
Elchopea, mg/kg KA	0,03	0,03	0,02	0,09
Kadmium, mg/kg KA	0,06	0,05	0,7	0,1
Lyijy, mg/kg KA	2	1	4	5

Taulukko 2. Polttoaineseosten ominaisuudet. Pääpolttoaineena jyrshinturve. (Flyktman 1998).

Näyte	Kuvaus	Kosteus %	Tuhka %	Haihtuvat %	Kalorimetrinen lämpöarvo MJ/kg *	Tehollinen lämpöarvo MJ/kg **
Näyte 1	Kevätkorjattu helpi 10%/90% jyrshinturve	11,7	3,08	73,7	21,18	20,12
Näyte 2	Kevätkorjattu helpi 30% / 70% jyrshinturve	13,5	4,85	74	20,72	19,46
Näyte 3	Kevätkorjattu helpi 50%/50% jyrshinturve	12,3	5,25	75,9	19,73	18,48
Näyte 4	Syyskorjattu helpi 10%/90% jyrshinturve	10,7	2,98	73,4	21,17	20,02
Näyte 5	Syyskorjattu helpi 30%/70% jyrshinturve	13,7	3,95	73,7	20,51	19,25
Näyte 6	Syyskorjattu ruokohelpi	6,2	6,66	74,9	18,31	17,06
Näyte 7	Kevätkorjattu ruokohelpi	11,7	7,74	77,2	18,72	17,48
Näyte 8	Jyrshinturve	20,3	2,49	72,7	21,64	20,50

*Kalorimetrinen lämpöarvo eli ylempi lämpöarvo on se lämpöenergian määrä, joka vapautuu yhden polttoainekilon palaessa täydellisesti ja jäähtyessä 25 °C:een.

**Tehollinen lämpöarvo eli alempi lämpöarvo on veden höyrystymislämmön verran kalorimetristä lämpöarvoa alempi.

2.2 Ruukohelven tuotantoketju

Ruukohelpi on kannattavinta korjata aikaisin keväällä kasvuston ollessa kuollutta kuloheinää, koska tällöin kasvusto on kuivaa ja tämän ansiosta erillistä kuivausta ei tarvita. Korjuu tulisi aloittaa heti, kun pelto kantaa korjuukoneita. Maan ollessa vielä liian märkää korjuuta ei tule aloittaa, koska tällöin koneet voivat aiheuttaa tiivistymisvaurioita maaperässä ja näin ollen heikentää sen kasvuominaisuuksia sekä hankaloittaa tulevien vuosien sadonkorjuuta. Tiivistymisvaurioiden ehkäisemiseksi korjuukoneissa tulisikin käyttää leveitä renkaita ja välttää turhaa ajoa pellolla. Soilla korjuu voidaan aloittaa maan ollessa vielä roudassa, kunhan kasvusto on kuivaa ja lumetonta. Keväällä korjatun ruukohelven kosteus on 10 - 15 % (Luoma ym. 2006). Korjuun myöhästyessä kosteus lisääntyy, koska kasvuston vihreiden versojen määrä kasvaa. Tällöin sadon kuivaus on tarpeen. Jos uuden kasvuston versojen pituus on yli 25 cm, niin sadonkorjuuta ei tulisi enää tehdä, koska tällöin polttoaineen laatu heikkenee liiallisesti kosteuden lisääntyessä. Lisäksi uuden kasvuston leikkaaminen hidastaa alkavan uuden sadon kehitystä (Reinikainen ym. 2008).

Ruukohelpikasvusto niitetään niittomurskaimella tai niittokoneella. Sormipalkkiniittokoneet ovat osoittautuneet hyviksi ruukohelven niitossa, koska ne eivät aiheuta lehtiaineksen murenemistä yhtä voimakkaasti kuin niittomurskaimet (Flyktman ja Paappanen 2005). Käytettäessä niittomurskainta tulisi korjuutappioiden välttämiseksi käyttää mahdollisimman pientä murskaustehoa. Niitto tulisi tehdä mahdollisimman matalaan sänkeen eli noin 5 cm:iin. Korkeuden nostaminen 5 cm:stä 10 cm:iin aiheuttaa jopa 25 % pienemmän sadon (Pahkala ym. 2005). Niittokorkeudella on erityisesti merkitystä saatavaan kuiva-ainesatoon, koska ruukohelven tyviosa painaa eniten ja korsiosa 50 cm:iin saakka sisältää lähes puolet kasvin kuiva-ainepainosta (Pahkala ja Mela 2000). Joten on tärkeää, että helpikasvusto saadaan niitettyä mahdollisimman matalaan sänkeen. Niitetylle kasvustolle ei ole syytä tehdä erillistä karhottamista, koska se voi aiheuttaa kuivan lehtiaineksen murenemistä ja näin lisätä korjuutappioiden määrää.

Paalaus

Niiton jälkeen helpikasvusto voidaan paalata joko pyöröpaalaimella tai suurkanttipaalaimella. Ruokohelven korjuuseen käytetään tällä hetkellä Suomessa pääasiassa pyöröpaalaimia, koska niitä on maassamme huomattavasti enemmän kuin suurkanttipaalaimia. Suurkanttipaalainten vähäisyys johtuu niiden suuresta painosta sekä korkeasta hankintahinnasta. Jotta suurkanttipaalaimen hankinta olisi taloudellisesti kannattavaa, tulisi sillä olla mahdollisimman paljon käyttöä. Käytännössä tämä tarkoittaa urakointikäyttöä Suomessa. Suurkanttipaalaimen etuihin kuuluu pyöröpaalainta tiiviimmät paalit. Suurkanttipaalit voivat painaa jopa hieman yli 200 kg/m^3 , kun taas pyöröpaalien paino vaihtelee $120 - 140 \text{ kg/m}^3$ välillä (Lötjönen ja Isolahti 2006). Suurkanttipaalien suosituskoko on $120 \text{ cm} \times 70 \text{ cm} \times 240 \text{ cm}$ ja pyöröpaalien suositeltava koko on halkaisijaltaan alle 130 cm ja leveydeltään 120 cm . (Lötjönen 2008). Suurkanttipaali soveltuu myös muodoltaan kuljetukseen ja varastointiin pyöröpaalia paremmin, koska paalien väliin ei jää ilmatilaa ja näin saadaan kuljetuksessa kuormatila hyödynnettyä täysipainoisesti. Tiiviiden kuormien merkitys korostuu erityisesti kuljetusmatkojen kasvaessa.

Paalausketjun tehokkuutta voidaan parantaa esimerkiksi käyttämällä traktorin etunostolaitteessa niittomurskainta ja perässä paalainta. Tällöin saadaan korjuu tehtyä yhdellä ajokerralla ja näin vähennetään polttoainekustannuksia ja myös maan haitallista tiivistymistä. Edelliseen yhdistelmään voidaan vielä lisätä paalaimen perään liitettävä kokoojavaunu, jolla paalit saadaan kerättyä keskitetysti esimerkiksi lohkon päisteeseen (Lötjönen ja Isolahti 2006). Tällöin niiden kerääminen on huomattavasti nopeampaa, kuin jos ne olisivat hajallaan koko lohkon alueella.

Irtokorjuu

Irtokorjuumenetelmää käytetään Suomessa ruokohelven korjuuseen huomattavasti vähemmän kuin paalausta. Suurin syy tähän on se, että ruokohelpisilpun tiheys on huomattavasti pienempi, kuin paalien tiheys. Irtosilpun tiheys on noin 80 kg/m^3 (Reinikainen 2007). Tämän vuoksi irtosilpun kuljettaminen pidempiä matkoja ei ole taloudellisesti kannattavaa. Jos vertaillaan tilavuudeltaan 140 m^3 :n autokuormaa joka on lastattu irtosilpulla, niin sen massa on noin 10 tonnia, kun taas suurkanttipaaleilla lastatun tilavuudeltaan saman kuorman massa on noin 26 tonnia (Reinikainen 2007). Vertailusta voidaan havaita miten suuri ero kuljetuskapasiteetissa saadaan jo yhden kuorman kohdalla irtosilpun ja paalien välillä.

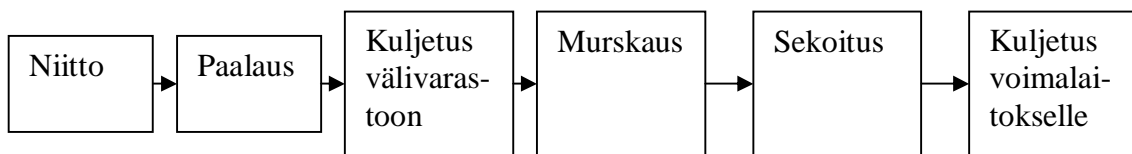
Korjuu irtosilppuna tapahtuu niitetystä karheesta joko tarkkuus- tai ajosilppurilla traktorin peräkärärylle. Korjuu voidaan myös tehdä suoraan kasvustosta silppurilla peräkärärylle, jolloin sato saadaan korjattua yhdellä ajokerralla. Korjattu irtosilppu ajetaan varastoamaan ja tiivistetään sekä peitetään huolellisesti. Tämän korjuumenetelmän etuna on se, että ruokohelpeä ei tarvitse enää erikseen murskata vaan se on valmista sekoitettavaksi pääpolttoaineeseen kuten esimerkiksi turpeeseen (Pahkala ym. 2005).

Erilaisten tuotantoketjujen tarkastelu

Seuraavaksi on tarkasteltu erilaisia yleisimpiä ruokohelven tuotantoketjuja pellolta voimalaitokselle. Tuotantoketjuista havaitaan, millaisia erilaisia vaihtoehtoja on ruokohelven ja turpeen sekoittamiseksi.

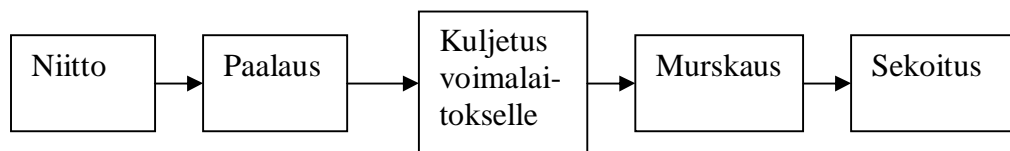
Ensimmäinen tarkasteltava tuotantoketju on havainnollistettu kuvassa 2. Tässä tuotantoketjussa niitto tapahtuu niittomurskaimella, minkä jälkeen helpikasvusto paalataan suurkanttipaalaimella tai pyöröpaalaimella. Paalit kuljetetaan välivarastoon, joka tässä tapauksessa on turvesuon laidalla. Välivarastossa paalit murskataan ja sekoitetaan turpeeseen, minkä jälkeen valmis polttoaineseos voidaan kuljettaa voimalaitokselle turverekalla. Murskaus voidaan suorittaa nopeakäyntisillä hakkureilla, kaukalomurskaimilla tai maatalouden paalisilppureilla. Murskaukseen on kehitetty myös uudenlainen kaivinkoneen puomille rakennettu laite, jonka etuina ovat äänettömyys, pölyttömyys ja hyvälaatuinen silppu (Paappanen ym. 2008). Sekoitus suoritetaan yleensä turpeen lastauksen yhteydessä pyöräkuormajalla. Se voidaan tehdä niin, että lastataan ruokohelpeä ja turvetta vuorotellen turverekan kyytiin, jolloin autoon muo-

dostuu kerroksia molemmista materiaaleista (Lindh ym. 2000). Toinen tapa on sekoittaa ainekset keskenään pyöräkuormaajan kauhalla turveaumassa, jolloin saadaan hieman tasaisempi seossuhde.



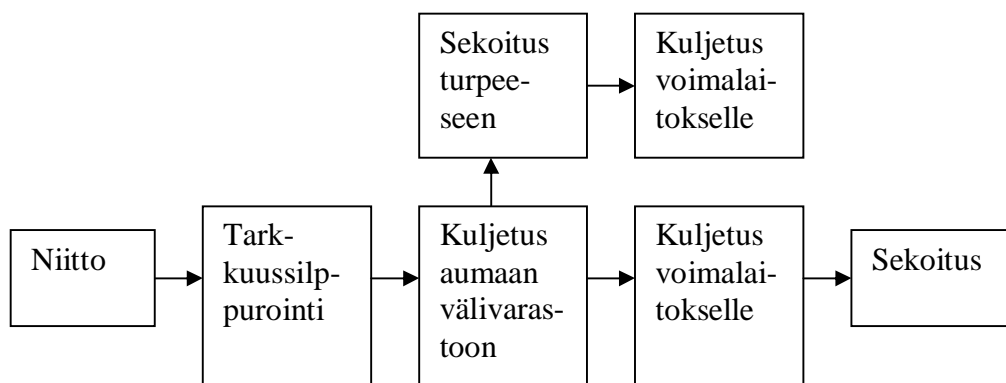
Kuva 2. Tuotantoketju 1.

Toisessa tuotantoketjussa (kuva 3) kasvusto niitetään niittomurskaimella ja paalaus tapahtuu suurkanttipaalaimella tai pyöröpaalaimella kuten ensimmäisessä tuotantoketjussa. Paalauksen jälkeen paalit kuljetetaan rekalla suoraan voimalaitokselle, jossa ne murskataan ja sekoitetaan turpeeseen syöttölinjalla. Paaleja voidaan myös varastoida väliaikaisesti varastoamaan pellon laidalle tai kuljettaa ne välivarastoon. Sekoitustarve vaihtelee hyvin paljon riippuen siitä millainen voimalaitos on kyseessä. Joissakin voimalaitoksissa on erillinen syöttölinja biopolttoaineille kun taas toisissa voimalaitoksissa on vain yksi syöttölinja, jolloin ruokohelpsilppu on sekoitettava pääpolttoaineeseen joko syöttölinjalla tai sitä ennen. Voimalaitoksilla helpipaaalien murskaukseen voidaan käyttää nopeakäyntisiä hakkureita, kaukalomurskaimia, hidaskäyntisiä kiinteitä murskaimia, hidaskäyntisiä kevyitä murskaimia sekä maatalouden paalisilppureita (Paappanen ym. 2008).



Kuva 3. Tuotantoketju 2.

Kolmannessa tarkastellussa tuotantoketjussa (kuva 4) niitto suoritetaan niittomurskaimella. Tämän jälkeen kasvusto ajetaan tarkkuussilppurilla traktorin perävaunuun, jolla se kuljetetaan varastoamaan pellon laidalle ja peitetään. Aumasta silppu lastataan esimerkiksi kurottajalla tai pyöräkuormaajalla turverekkaan, jolla se kuljetetaan voimalaitokselle. Vaihtoehtoisesti helpisilppu voidaan sekoittaa turpeeseen jo välivarastossa lastauksen yhteydessä ja kuljettaa valmis seos laitokselle turverekalla. Tällöin saadaan taloudellinen kannattavuus huomattavasti paremmaksi, kuin pelkkää helpisilppua kuljetettaessa.



Kuva 4. Tuotantoketju 3.

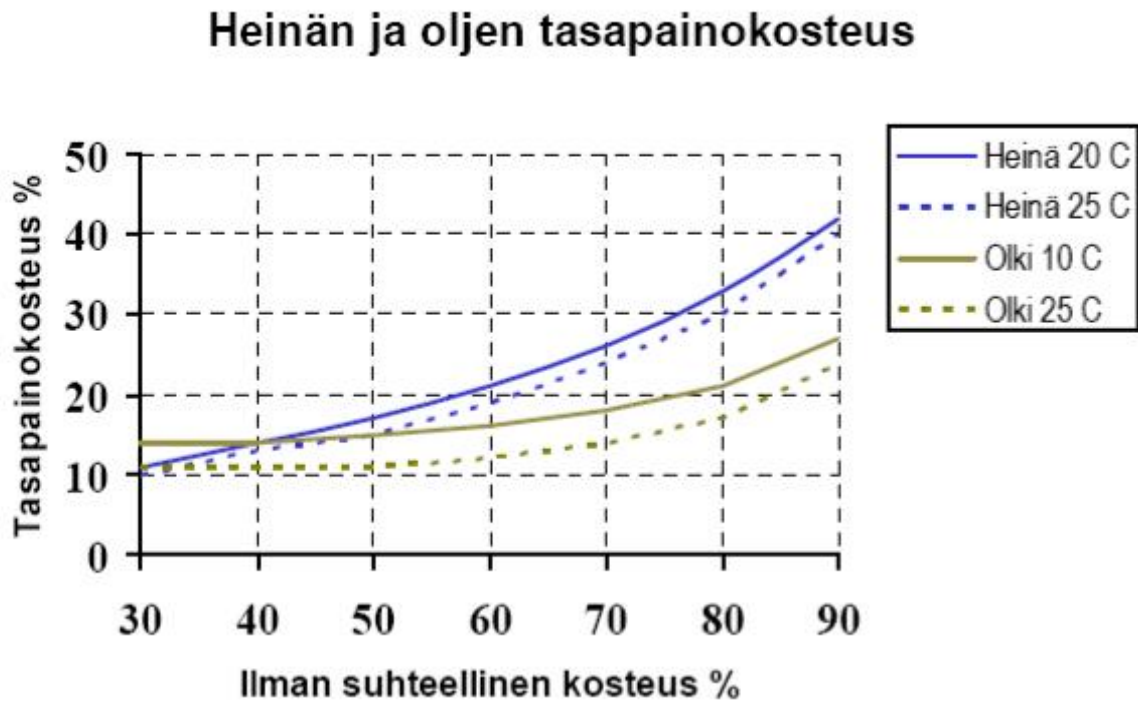
3 VARASTOINTI

Korsibiomassojen varastoinnin tarkoituksena on pyrkiä säilyttämään materiaalin laatu samalla tasolla, kuin se on korjuuvaiheessa. Energiakäyttöön ja erityisesti poltettaviksi tarkoitettujen biomassojen tärkein laadullinen seikka on kosteuspitoisuuden säilyttäminen alhaisena. Tämä on tärkeää, koska kosteuspitoisuuden noustessa materiaalin lämpöarvo heikkenee oleellisesti. Kosteuden noustessa myös laadulliset tekijät heikkenevät, riskit esimerkiksi erilaisten mikrobien eli bakteerien, homesienten ja virusten lisääntymiselle kasvavat kosteissa olosuhteissa. Mikrobit ovat haitallisia siksi, että ne aiheuttavat terveysriskejä biomassojen käsittelijöille (Hadders ja Hemming 1994). Lisäksi bakteerien toiminnan seurauksena tapahtuva mätäneminen alentaa materiaalin lämpöarvoa. Ulkovarastoissa paalit voivat kastua monen eri tekijän seurauksena. Kastumista voivat aiheuttaa: vesisade, lumisade, pintavesi, maasta nouseva kosteus sekä kondensoituminen katemateriaalin sisäpuolelle (Hadders ja Hemming 1994).

Mikrobien kehittymisen lisäksi pilaantuminen voi johtua myös biomassojen omasta entsyymitoiminnasta sekä biomassan hengityksestä. Biomassa käyttää varastoimaansa hiilihydraattia hengitykseen ja tuottaa hiilidioksidia, tämän seurauksena syntyy kosteutta ja lämpöä myös korjuun jälkeen (Ahokas 2008). Mikrobien kasvuun vaikuttavia tekijöitä ovat: kosteus, lämpötila, happipitoisuus, happamuus sekä materiaalin fysikaalinen kunto. Jos kosteuspitoisuus on tarpeeksi alhainen, niin muilla tekijöillä ei ole vaikutusta. Mikrobeista sienten kasvu on mahdollista ilman kosteuden ollessa yli 62 %, jos ilman kosteus nousee yli 90 % niin silloin myös bakteerit alkavat kasvaa. Mikrobien kasvuun voidaan vaikuttaa eri tavoilla. Mikrobien toiminta loppuu jos materiaali kuivataan riittävän kuivaksi, vesi jäädytetään tai materiaalin joukkoon sekoitetaan aineita, jotka estävät mikrobien veden saannin (Ahokas 2008). Myös happipitoisuudella on suuri merkitys mikrobien kasvulle. Homeet vaativat suuren happipitoisuuden kasvaakseen, kun taas bakteerit kasvavat hyvin lähes kaikissa happipitoisuuksissa (Ahokas 2008).

Kosteuden siirtymistä tapahtuu materiaalin ja sen ympärillä olevan ilman välillä. Tätä jatkuu siihen asti kun materiaali ei enää luovuta eikä ota vastaan kosteutta. Tällöin saavutetaan tila, jota kutsutaan tasapainokosteudeksi. Tasapainokosteuteen vaikuttavia tekijöitä ovat: lämpötila, ilman suhteellinen kosteus, materiaalin fyysinen kunto sekä materiaalin kosteus `historia` (Ahokas 2008). Tasapainokosteus vaihtelee eri materiaalien välillä. Tasapainokosteuksia voi-

daan määrittää kokeellisesti tai niitä voidaan myös laskea empiirisillä yhtälöillä (Ahokas 2008). Ruokohelpi on materiaalina samankaltainen kuin olki, joten oljen tasapainokosteutta voidaan käyttää myös ruokohelven kosteuskäyttäytymistä arvioitaessa. Kuvassa 5 on esitetty oljen ja heinän tasapainokosteuksia eri lämpötiloissa.



Kuva 5. Heinän ja oljen tasapainokosteus (Ahokas 2008).

3.1 Ruokohelven varastointi

Koska ruokohelpi on kevyttä, niin se vaatii paljon varastotilaa. Yhden MWh:n tuottamiseen vaaditaan noin 3,5 m³ silputtua ruokohelpeä tai paalattuna noin 1,3 - 1,5 m³ ruokohelpeä (Flyktman ja Paappanen 2005). Voimalaitoksien varastotilat ovat rajalliset, eivätkä ne siksi sovellu polttoaineiden pitkäaikaiseen varastointiin. Lisäksi ruokohelven varastotilojen pitäisi olla katettuja, jotta ruokohelven kosteus ei pääsisi tarpeettoman suureksi. Varastotilojen koot riippuvat hyvin tapauskohtaisesti voimalaitoksista. Yleensä uudemmissa voimalaitoksissa on varauduttu kevyen polttoaineen käyttöön rakentamalla enemmän varastotilaa kuin on vanhemmissa voimalaitoksissa (Flyktman ja Paappanen 2005). Voimalaitosten rajallisesta varastotilasta johtuen ruokohelpipaaleja joudutaan nykyisin varastoimaan välivarastoissa viljelijöi-

den mailla tai keskitetyissä varastoissa esimerkiksi turvesoilla. Paalit voivat olla välivarastoissa pitkiäkin aikoja, jolloin oikein tehtyjen varastojen merkitys korostuu erityisesti.

Tällä hetkellä ruokohelpisato korjataan pääasiassa paalaamalla. Yleisimmin käytetty paalausmenetelmä on paalaus pyöröpaaleihin (Pahkala ym. 2005). Paalauksen jälkeen paalit siirretään välivarastoon käyttämällä peräkärriä, johon paalit kuormataan kurottajalla tai etukuormaimella varustetulla traktorilla. Etukuormajassa tai kurottajassa voidaan käyttää paalipiikkiä, jolloin paalit saadaan lastattua tiiviimmin, kuin jos käytettäisiin paalipihtiä. Kuormaukseen voidaan myös käyttää puutavarakuormainta. (Lötjönen 2008). Välivarastot tulisi perustaa Vapo Oy:n varastointiohjeen mukaisesti kuivaan paikkaan sekä sellaisen kantavan tien varteen, joka kestää rekalla ajamisen myös syksyn ja talven märkien säiden aikana. Varastoa ei myöskään saisi perustaa sähkö- tai puhelinlinjojen läheisyyteen eikä jyrkän mäen alle tai muuhun alavaan maastoon. Rekalla on myös oltava kääntymispaikka varaston läheisyydessä. Kääntymispaikka voi olla muodoltaan silmukka- tai T-kääntöpaikkamalli. Varastoauaman ulkoreunan etäisyys tulee olla enintään 8 metriä tiestä ja aumat tulee tehdä pitkittäin tien suuntaan. Paalien alle tulisi laittaa trukkilavoja tai puutavaraa, jotta kosteus ei pääsisi nousemaan maasta alimpiin paaleihin (Vapo Oy 2008.)

Pyöröpaaleja varastoitaessa auma tulee muodostaa siten, että paaleista muodostuu pyramidin muotoinen varasto. Varaston korkeudeksi tulee 5 paalia, tällöin alimmassa kerroksessa on 5 paalia ja ylimmässä 1 paali. Kuvassa 6 on havainnollistettu oikeaoppisesti muodostettu pyöröpaalien varastoauama. Varasto tulee peittää aumanpeittomuovilla sekä kiinnittää muovi hyvin, jotta se ei irtoa tuulessa (Vapo Oy 2008). Suurkantipaaleista muodostetaan suorakaiteen muotoinen varasto ja se peitetään huolellisesti aumanpeittomuovilla, kuten kuvasta 7 nähdään (Vapo Oy 2008).



Kuva 6. Pyöröpaalivarasto peitettynä aumamuovilla.



Kuva 7. Suurkanttpaalivarasto peitettynä aumamuovilla.

3.2 Oljen ja heinäkasvien varastointi ulkomailla

Oljen energiakäyttö on huomattavasti yleisempää muualla Euroopassa, kuin Suomessa. Eri-tyisesti Tanskassa olkea on kerätty energiakäyttöön jo vuosikymmeniä. Tanskassa myös olki-sadot ovat huomattavasti suurempia, kuin Suomessa. Vuonna 2005 Tanskassa tuotettiin 5,5 miljoonaa tonnia olkea, pääasiassa vehnää ja ohraa. Tästä sadosta energiaksi käytettiin 1,3 miljoonaa tonnia (Danish Technological Institute 2007, a). Tanskassa voimalaitokset hyväk-syvät käytännössä vain suurkanttipaaleja, joiden koko on 120 cm x 130 cm x 240 cm. Yhte-näinen paalikoko helpottaa paalien käsittelyä kuormatessa sekä laitosten automaattilinjoilla. Näiden paalien paino on 500 ja 700 kg:n välillä riippuen paalaimen mallista. Uudemmissa paalaimilla saadaan usein tiukempia paaleja, kuin vanhemmilla (Danish Technological Insti-tute 2007, a). Olki pyritään paalaamaan nopeasti puinnin jälkeen, jolloin se on kuivaa ja pel-lot saadaan vapaaksi seuraavia viljelytoimia varten. Polton kannalta oljen tärkeimmät ominai-suudet ovat riittävä kuivuus (alle 16 %) ja se, että olki on tuleentunut kunnolla (Nikolaisen et al. 1998). Paalit varastoidaan joko ulko- tai sisätiloissa. Sisävarastoissa kosteuspitoisuus ei nouse eikä hometta esiinny paaleissa. Ulkovarastot ovat yleensä tarkoitettu lyhytaikaiseen varastointiin. Ne ovat yleensä hyvin suuria, niiden kapasiteetti on 1,5 – 2 tonnia/m². Varasto-aumat ovat korkeita, niissä on 5 – 6 paalia päällekkäin. Tällöin niiden perustamiseen ja pur-kamiseen tarvitaan yleensä kurottajaa. Varastot perustetaan kuivalle paikalle, yleensä suurelle hiekkakentälle. Varastot peitetään suojapeitteellä, joka voidaan painottaa nostamalla peitteen päälle muutamia paaleja painoksi. Varastoauomojen päälle keskiosaan voidaan nostaa yksittäi-nen paalijono, jolloin varastoihin saadaan harjamainen rakenne. Tämän päälle levitetään suo-japeite, jolloin vesi valuu varastojen päältä pois (Danish Technological Institute 2007, b).

Alankomaissa viljellään energiakäyttöön muun muassa ruokohelpeä, elefanttiheinää, lännen-hirssiä, pajua sekä hamppua (Huisman 2003). Näistä kasveista kaikkia muita kasveja paitsi pajua voidaan paalata pyörö- ja suurkanttipaalaimilla. Alankomaissa paalien varastointiin käytetään paljon muodoltaan kaarimaisia katettuja varastorakennuksia, joissa luontainen il-manvaihto säilyttää paalit kuivina. Tällaiset varastot ovat purettavissa ja rakennettavissa hel-posti uudestaan, joten niiden paikkaa voidaan vaihtaa tarvittaessa. Kyseinen varastoratkaisu on osoittautunut Yhdysvalloissa tehdyssä riisin oljen varastointitutkimuksessa edullisimmaksi ratkaisuksi korsibiomassojen varastointiin. Tutkimuksesta käy myös ilmi, että mitä suurempi

varasto on kapasiteetiltaan, niin sen edullisemmaksi varastointikustannukset tulevat (Huisman et al. 2002).

Pomi Wrap 5

Kuvassa 8 näkyvä Pomi Wrap 5-paalien varastointikone on tanskalaisen Pomi Industri ApS:n valmistama. Laitteen toimintaperiaate on se, että paalit nostetaan traktorin etukuormaajalla koneeseen päällekkäin pinoon. Kun pino on valmis, laite työntää itseään pyörien avulla eteenpäin ja samalla muovi rullautuu paalipinon ympärille. Tämän jälkeen voidaan kuormata seuraava pino laitteeseen. Laite siis muodostaa yhtenäisen jonon paaleista, joiden ympärille tulee saumaton muovi. Suurkanttipaaleja varastoitaessa paaleja voidaan nostaa kaksi rinnakkain kahteen kerrokseen ja kolmanteen kerrokseen yksi paali, kuten kuvasta 6 havaitaan. Tällöin yhdessä pinossa on 5 suurkanttipaalia ja pinon leveys on 5,8 metriä ja korkeus 3,9 metriä (Anon. 2008, b). Nämä mitat pätevät kun käytetään Euroopassa käytössä olevaa suurkanttipaalin kokoa 120 cm x 130 cm x 240 cm, joka on Suomessa käytettyä suurkanttipaalia hieman leveämpi ja korkeampi. Pyöröpaaleja varastoitaessa laitteeseen saadaan mahtumaan 5 – 9 paalia yhteen pinoon, riippuen pyöröpaalien koosta. Valmiiseen varastoamaan pinojen päälle muodostuu ilmastointikanavat, joiden ansiosta ilma vaihtuu varastossa ja kondensoitumisesta johtuva kostuminen vähenee. (Anon. 2008, b). Laitteen kapasiteetti on riippuvainen siitä, miten nopeasti paaleja saadaan kuormattua laitteeseen. Käytännössä koneen varastoinnin kapasiteetti on kuitenkin noin 60 paalia tunnissa (Anon. 2008, a). Tarkasteltaessa koneen kustannuksia, niin muovin osalta yhden paalin varastointikustannukseksi muodostui 0,75 euroa ja kokonaiskustannus yhden paalin osalta on 1,33 euroa. Kokonaiskustannukseksi muodostui 79,55 euroa tunnissa josta käärintämuovin osuus on 44,80 euroa. Kustannuslaskelmat on tehty olettaen vuosikäytön olevan 250 tuntia ja kapasiteetin olevan 60 paalia tunnissa (Anon. 2008, a).



Kuva 8. Pomi Wrap 5-paalien varastointikone (Anon. 2008).

4 KOSTEUDEN MITTAAMINEN

Useimmat luonnontuotteet sisältävät vettä. Tarkasteltaessa jonkin tuotteen sisältämän veden määrää puhutaan yleensä kosteuspitoisuudesta. Kosteuspitoisuudella tarkoitetaan kosteuden määrää ilmoitettuna prosentteina kuivaamattoman materiaalin massasta (Kymäläinen 2008). Kosteuspitoisuudella on vaikutusta muun muassa seuraaviin aineiden ominaisuuksiin: varastoitavuus, jauheiden paakkuuntuminen, viskositeetti juoksevilla aineilla, puhtauspitoisuus, ravintoarvo sekä mikrobiologinen muuttumattomuus. Fysikaalisista ominaisuuksista kosteuspitoisuus vaikuttaa muun muassa painoon, tiheyteen, viskositeettiin, sähkön johtamiseen sekä moniin muihin ominaisuuksiin (Mettler Toledo 2008).

Sopivan mittausmenetelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa: tarkkuusvaatimukset, tulosten vaihteluväli, veden sidosten tyyppi, tarvittava nopeus, näytteiden lukumäärä sekä käytettävissä oleva budjetti (Mettler Toledo 2008).

4.1 Gravimetriset menetelmät

Gravimetriset menetelmät eli punnitusmenetelmät perustuvat näytteen kuivaukseen ja painon muutoksen punnitsemiseen. Näyte kuivataan ja punnitaan painon muutos, tällöin painon muutoksesta saadaan selville haihtunut kosteus (Mettler Toledo 2008).

Uunikuivausmenetelmän periaatteena on punnita näyte saapumistilassa ja kuivata se uunissa. Kuivauksen jälkeen näyte punnitaan ja laskemalla saadaan selville kosteusprosentti. Menetelmä soveltuu 0,5 – 100 % kosteuksille ja sen tarkkuus on 0,1 – 0,5 %. Menetelmän huono puoli on hitaus ja hyvä puoli kerralla käsiteltävien näytteiden suuri määrä (Mettler Toledo 2008). Uunikuivausmenetelmästä on kerrottu tarkemmin luvussa 6.3.3.

Infrapunakuivauksessa näytettä lämmitetään suoralla infrapunasäteilyllä ja painoa mitataan jatkuvasti kuivauksen aikana. Näyte imee itseensä säteilyn ja imeytynyt säteilyn energia aiheuttaa näytteen lämpenemisen ja sen seurauksena veden höyrystymisen. Menetelmän hyviä puolia ovat lyhyt mittausaika (5 – 15 minuuttia), vähäinen työmäärä sekä laitteiston pieni tilavaatimus. Menetelmän huono puoli on mahdollisuus näytteen höyrystymiseen veden mukana. Mittaustarkkuus on 0,1 – 0,5 % ja mittausväli on 0,5 – 99 % (Mettler Toledo 2008).

Halogeenikuivaus on kehittyneempi muoto infrapunakuivauksesta. Näytettä lämmitetään halogeenilämmittimellä, jolloin saavutetaan oikea kuivauslämpötila huomattavasti nopeammin kuin infrapunakuivauksessa. Tämän seurauksena mittausaika on lyhyempi (2 -10 minuuttia), kuin infrapunakuivauksessa. Halogeenikuivauksen mittausväli on 0,5 – 99 % ja mittaustarkkuus on 0,1 – 0,5 %. Menetelmän etuna on lyhyt mittausaika ja haittana se, että näyte voi höyrystyä veden mukana (Mettler Toledo 2008).

Mikroaaltokuivauksen toimintaperiaate on lähettää mikroaaltosäteilyä näytteen vesimolekyyliin. Säteily synnyttää lämpöä, joka haihduttaa vettä näytteestä. Menetelmässä näyte punnitaan ennen ja jälkeen kuivauksen. Menetelmä soveltuu näytteiden määritykseen, joiden kosteusprosentti on 2 – 99 %. Se ei sovellu näytteille, joiden kosteusprosentti on alle 2 %. Koska alhaisen kosteuden omaavissa näytteissä ei ole ainetta, joka imisi mikroaaltoja itseensä. Menetelmän hyvä puoli on mittaamisen nopeus, määrittäminen kestää 2 – 5 minuuttia. Haittapuoli on huono soveltuvuus kosteudeltaan alhaisten näytteiden määritykseen. Menetelmän mittaustarkkuus on 0,1 – 0,5 % (Mettler Toledo 2008).

4.2 Spektroskooppiset menetelmät

Spektroskooppiset menetelmät ovat epäsuoria mittaamenetelmiä. Ne tarvitsevat kalibroinnin virallisen vertailumenetelmän avulla. Spektrometrillä mitattu arvo ei koskaan riipu pelkästään kosteusprosentista, vaan siihen vaikuttavat myös muut seikat, kuten tiheys, lämpötila ja materiaalin ominaisuudet. Jotta saataisiin yksiselitteinen suhde näytteen kosteuden ja fysikaalisten ominaisuuksien välille, niin kaikki muut muuttujat tulisi pitää muuttumattomina. Mittattavat materiaalit kuitenkin harvoin ovat täysin homogeenisia, siksi tulisikin käyttää lukumäärällisesti suuria näytteitä määritykseen (Mettler Toledo 2008).

Infrapunaspektroskopiaa käytetään yksinomaan materiaalien pinnan kosteuden määritykseen. Takaisin heijastuvan säteilyn voimakkuus riippuu näytteen kosteusprosentista. Menetelmässä käytetään yleensä aallonpituuksia väliltä 800 nm – 2500 nm. Näitä aallonpituuksia käytettäessä yksi osa säteistä imeytyy näytteeseen, toinen osa heijastuu näytteestä takaisin ja kolmas osa menee näytteen läpi. Heijastuneet säteet mitataan spektrillä, joka on verrannollinen vesipitoisuuteen näytteen pinnalla. Menetelmän etuna on sen mittaussopeus. Mittaukseen

kuluu aikaa vain muutamia sekunteja, eli reaaliaikainen mittaus on tällä menetelmällä mahdollista. Huono puoli menetelmässä on se, että kalibrointi pitää suorittaa jokaisen aineen kohdalla erikseen. Menetelmä soveltuu käytettäväksi 1 – 80 % kosteuksilla ja mittaustarkkuus on 0,3 – 1 % (Mettler Toledo 2008).

NMR (nuclear magnetic resonance) spektroskopian toimintaperiaatteena on määrittää näytteen vesihiukkasten lukumäärä. Määritettäessä näytteen kosteuspitoisuutta NMR spektroskopialla tehdään aina kaksi erilaista määrittystä. Ensimmäinen määrittys tehdään kohdistamalla näytteeseen korkeataajuuksinen vaihtuva magneettikenttä. Vesihiukkasten värähtelykäyttäytyminen mitataan ja sitä kautta saadaan selville näytteen kosteuspitoisuus. Toinen määrittys tehdään kohdistamalla näytteeseen magneettinen pulssi. Protonien pyöriminen aiheuttaa jännitteen vastaanottopuolaan, jolloin saadaan selville näytteen vetyatomien lukumäärä matemaattisen laskennan tuloksena. Menetelmässä täytyy ottaa huomioon se, että määrittys näyttää myös ne vetyatomit mitkä eivät ole sitoutuneet vesimolekyyleihin. Tästä johtuen NMR signaali pitää kalibroida jokaiselle eri materiaalille. Menetelmä soveltuu 0 – 15 % kosteuksien mittaamiseen ja mittaustarkkuus on 0,1 %. Menetelmän hyvä puoli on hyvä tarkkuus, huono puoli on menetelmän kalleus (Mettler Toledo 2008).

4.3 Muut menetelmät

Tässä osiossa kuvatut kosteuden määrittymenetelmät perustuvat sellaisien fysikaalisten ominaisuuksien mittaamiseen, jotka riippuvat näytteen vesipitoisuudesta. Nämä menetelmät tarvitsevat aina kalibroinnin (Mettler Toledo 2008).

Sähkönjohtokykyyn perustuva kosteuden määrittys eli konduktometrinen analyysi perustuu sähkönvastuksen mittaamiseen. Mitattavan materiaalin ollessa kuivaa sen sähkönvastus on suuri. Kun materiaali muuttuu kosteammaksi, niin sen varauksen kuljettajien lukumäärä kasvaa ja samalla sähkönvastus pienenee. Menetelmä soveltuu sellaisille materiaaleille, joiden sähkönjohtavuus on pieni kuivassa tilassa. Menetelmän hyviä puolia ovat sen nopeus ja mahdollisuus reaaliaikaiseen mittaamiseen sekä mittalaitteiden pieni koko, jolloin niitä voidaan kantaa mukana helposti kenttäolosuhteissa. Huono puoli menetelmässä on se, että se pitää kalibroida eri materiaaleja mitattaessa. Menetelmä soveltuu yli 3 % kosteuksille ja sen mittaustarkkuus on 0,5 – 1 % (Mettler Toledo 2008).

Refraktrometria on optinen mittausmenetelmä, joka perustuu mitattavassa näytteessä olevan veden sokeripitoisuuden määrittämiseen valontaitekertoimen avulla. Mitatun arvon perusteella saadaan kosteuspitoisuus selville. Menetelmän hyviä puolia ovat sen nopeus ja vähäinen työmäärä. Se soveltuu alle 50 % kosteuksille ja sen mittaustarkkuus on 0,5 – 1 % (Mettler Toledo 2008).

5 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteina oli löytää kustannustehokkain ratkaisu ruokohelpipaalien varastointiin. Irtosilpun varastoinnin tutkiminen rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle ja keskityttiin tutkimaan ainoastaan pyörö- ja suurkanttipaalien varastointia. Tutkimuksessa perustettiin erilaisia varastoja pyörö- ja suurkanttipaaleille. Näiden koevarastojen paalien kosteuden muutoksia seurattiin kesän aikana sekä laskettiin erilaisten varastoratkaisujen kustannukset niin materiaalin, kuin työn osalta. Näiden tekijöiden avulla oli tarkoitus saada selville optimaalisin varastoratkaisu ruokohelven varastointiin.

Viimeisenä tavoitteena oli vertailla kolmea erilaista kannettavaa pikakosteusmittaria. Vertailun tavoitteena oli selvittää mikä kannettavista mittareista olisi tarkin ruokohelpipaalien kosteuden mittauksessa. Seuraavassa luettelossa tavoitteet on numeroitu erikseen.

1. Ensimmäinen tavoite oli selvittää varastoratkaisu, joka säilyttää ruokohelpipaalien kosteuden mahdollisimman kuivana pitkäaikaisen varastoinnin aikana.
2. Toinen tavoite oli löytää kustannuksiltaan mahdollisimman edullinen varastoratkaisu ruokohelpipaaleille.
3. Kolmas tavoite oli löytää sellainen varastointiratkaisu, jossa kahden edellä mainitun kohdan tavoitteet muodostaisivat optimaalisimman varastointiratkaisun.
4. Neljäs tavoite oli selvittää kolmen erilaisen kannettavan pikakosteusmittarin tarkkuus verrattuna uunikosteusmäärittäysten tuloksiin.

6 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimus suoritettiin Vapo Oy:n toimeksiannosta Jyväskylässä ja se kuului osana peltoenergia-projektiin. Koevarastot perustettiin Laukaaseen ja Joensuuhun Vapo Oy:n omistamille turvetuotantosoille. Mittarivertailun uunikosteusmääritykset suoritettiin ympäristötekniikan koelaitoksella Jyväskylässä Mustankorkean jätteenkäsittelykeskuksessa. Koelaitos on Vapo Oy:n ja Jyväskylän yliopiston yhteisomistuksessa. Kosteusmittaukset tehtiin aikavälillä 19.5.2008 – 30.9.2008 ja mittaukset suoritettiin noin kahden viikon välein.

6.1 Koevarastot

Koevarastoja perustettiin kaksi, pyöröpaalikokeet toteutettiin Laukaassa Sirkkasuolla ja suurkanttipaalikokeet Joensuussa sijaitsevalla Linnansuolla. Pyöröpaalikoe rakennettiin 19.5.2008 ja suurkanttipaalikoe 21.5.2008.

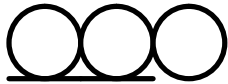
6.1.1 Pyöröpaalikokeet

Pyöröpaalikokeessa perustettiin kaksi erillistä koetta. Pyöröpaalien lappeelleen varastointikokeessa oli yhteensä 12 paalia, jotka asetettiin lappeelleen. Paalit jaettiin neljään osakokeeseen. Osakokeet muodostuivat kolmesta paalista, joiden alustana oli trukkilava, aumamuovi sekä paljas maa. Maalajina koepaikalla oli turvetuotannosta poistunut vanha turvesuon pohja. Kulakin osakokeella oli erilainen katemateriaali. Katemateriaaleina tässä kokeessa toimivat kevytpeite, aumamuovi, paperi sekä yksi osakoe jätettiin peittämättä. Katemateriaalit kiinnitettiin asettamalla puunrunkoja peitteiden päälle. Lappeelleen varastointikoe on havainnollistettu kuvissa 9 ja 10.

1. Osakoe

Pohjamateriaali: Aumamuovi, trukkilava, maa.

Katemateriaali: Peittämätön



2. Osakoe

Pohjamateriaali: Aumamuovi, trukkilava, maa.

Katemateriaali: Paperi



3. Osakoe

Pohjamateriaali: Aumamuovi, trukkilava, maa.

Katemateriaali: Aumamuovi



4. Osakoe

Pohjamateriaali: Aumamuovi, trukkilava, maa.

Katemateriaali: Kevytpeite

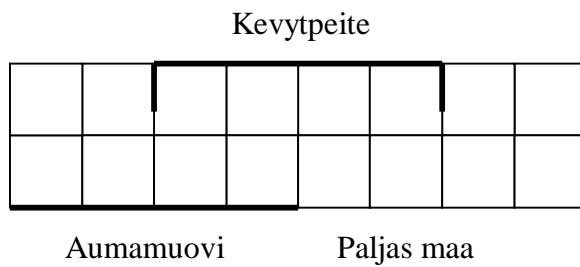


Kuva 9. Pyöröpaalien lappeelleen varastointikoe.



Kuva 10. Pyöröpaalien lappeelleen varastointikoe.

Pyöröpaalien pystyvarastointikoe rakennettiin pystyyn asetetuista paaleista. Paaleja oli kokeessa yhteensä 32 ja ne asetettiin jonoon, jonka korkeus oli 2, leveys 2 ja pituus 8 paalia. Kokeessa 8 paalia oli aumamuovin päällä ilman peitettä, 8 paalia oli aumamuovin päällä ja peitettynä kevytpeitteellä, 8 paalia oli paljaan maan päällä ja peitettynä kevytpeitteellä ja 8 paalia oli paljaan maan päällä ja ilman peitettä. Kevytpeite kiinnitettiin naruilla noin 50 cm:n pituisiin ja 10 mm:n paksuisiin harjateräksiin, jotka työnnettiin alemman ja ylemmän pyöröpaaliin väliin. Lisäksi kevytpeitteen molemmilla pitkillä sivuilla oli puunrungot kiinnitettyinä peitteeseen sekä pinon päällä oli muutama puunrunko painona kevytpeitteen päällä. Pyöröpaalien pystyvarastointikoe on havainnollistettu kuvissa 11 ja 12.



Kuva 11. Pyöröpaalien pystyvarastointikoe.



Kuva 12. Pyöröpaalien pystyvarastointikoe.

6.1.2 Suurkanttipaalikoe

Suurkanttipaalikokeessa periaate oli täysin sama, kuin ensimmäisessä pyöröpaalikokeessa. Kahdestatoista paalista muodostettiin neljä osakoetta. Jokaisessa osakokeessa oli kolme paalia, jotka olivat trukkilavan, aumamuovin ja paljaan maan päällä. Katemateriaaleina olivat paperi, aumamuovi, kevytpeite sekä yksi osakoe jätettiin peittämättä. Koe perustettiin turvesuon laidalle, joten kokeen maalajina oli turve. Katepiteet kiinnitettiin asettamalla kiviä peitteiden päälle maahan. Kokeet ovat havainnollistettu kuvissa 13, 14 ja 15.

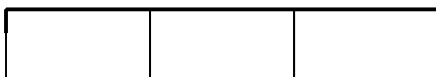
1. Osakoe

Pohjamateriaali: Trukkilava, muovi, maa.
Katemateriaali: Peittämätön



2. Osakoe

Pohjamateriaali: Trukkilava, muovi, maa.
Katemateriaali: Aumamuovi



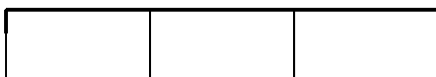
3. Osakoe

Pohjamateriaali: Trukkilava, muovi, maa.
Katemateriaali: Kevytpeite



4. Osakoe

Pohjamateriaali: Trukkilava, muovi, maa.
Katemateriaali: Paperi



Kuva 13. Suurkantipaalikoe



Kuva 14. Suurkanttipaalikokeen rakentaminen.



Kuva 15. Suurkanttipaalikoe.

6.2 Kosteuden mittalaitteet

6.2.1 Precision TE 6101-vaaka ja Termaks TS 8056-lämpökaappi

Näytteiden punnitsemiseen koelaitoksella käytettiin Precision TE 6101-vaakaa, jonka mitta-
usalue on 0 – 6100 grammaa. Vaa’an lukematarkkuus on 0,1 grammaa ja sitä suositellaan
käytettäväksi 5 – 40 °C:n lämpötiloissa sekä alle 85 % kosteudessa. Laitetta voidaan käyttää
joko verkkovirralla tai myös paristoilla. Paristokäyttöisenä laite vaatii toimiakseen 8 kappa-
letta AA-paristoja. Vaaka voidaan kytkeä tietokoneeseen sekä tulostimeen RS 232-kaapelilla
tai USB-kaapelilla mittaustulosten tallentamista tai tulostamista varten.

Uunikosteusnäytteiden kuivaukseen käytettiin koelaitoksella Termaks TS 8056-lämpökaap-
pia, jonka tilavuus on 56 litraa. Kaappi on kiertoilmapuhaltimella varustettu ja sen lämpötilaa
voidaan säätää yhden asteen korotuksella maksimissaan 250 Celsiusasteeseen. Lämpökaapin
ilmanvaihtonopeus on 50 kertaa tunnissa. Kaapin nimellisteho on 930 wattia ja se on varus-
tettu ajastimella. Tutkimuksen uunikosteuden määrittämisessä kaapin kuivauslämpötilana käy-
tettiin 105 °C.

6.2.2 Precisa XM 60-pikakosteusmittari

Uunikosteusmäärittysten yhteydessä koelaitoksella suoritettiin pikakosteusmittaukset Precisa
XM 60-pikakosteusmittarilla. Mittarin toimintaperiaate on samanlainen, kuin lämpökaapissa
tehtävässä uunikosteusmäärittämisessä. Pikakosteusmittarissa ainoastaan näyttemäärä on pie-
nempi ja lämmitys toteutetaan halogeenilampulla. Näistä seikoista johtuen mittaustapahtuma
on huomattavasti nopeampi, kuin uunikosteusmäärittämisessä. Mittarin toiminta perustuu näyt-
teen lämmittämiseen halogeenilampulla ja veden haihtumisen seurauksena tapahtuvan näyt-
teen painon muutoksen mittaamiseen. Painon muutoksen perusteella mittari laskee kosteus-
prosentin automaattisesti.

Mittarin lämpötilaa voidaan säätää yhden asteen korotuksella 30 – 250 °C:n välillä. Näytteen
minimipaino on 0,2 grammaa ja mittarilla voidaan mitata enintään 124 gramman painoisia
näytteitä. Laitteen lukematarkkuus on 0,01 grammaa. Mittariin voidaan ohjelmoida erilaisia
lämmitysohjelmia. Muutettavia tekijöitä ovat mm. lämpötila, lämmön nousunopeus sekä se

milloin mittaustapahtuma pysäytetään. Laite on mahdollista kytkeä RS 232-kaapelilla tietokoneeseen tai tulostimeen. Tutkimuksen pikakosteusmäärityksissä käytettiin laitteen standardi-asetuksia, jolloin lämpötila oli kuivauksen aikana 105 °C.

6.2.3 Haymatic Digital-kannettava pikakosteusmittari

Vertailun ensimmäinen kannettava kosteusmittari oli tanskalainen Haymatic Digital. Laite oli varustettu 50 cm:n pistinanturilla. Mittarissa ei ollut mahdollisuutta käyttäjän tekemään kalibrointiin, eikä laitteessa myöskään ollut paalien tiheyden kompensointimahdollisuutta. Mittarissa on muisti 250 mittaustulokselle sekä myös mahdollisuus keskiarvojen laskemiseen. Laitteen mittausalue on 10 – 80 %, joten sillä voidaan mitata myös hyvin kosteita materiaaleja. Toisaalta kosteuden noustessa yli 30 %:n kannettavien pikakosteusmittareiden luotettavuudesta ei ole takeita, koska mittaus perustuu sähkönjohtokyvyn ja kosteuspitoisuuden väliin suhteeseen ja sähkönjohtokyky kasvaa mitä kosteammaksi mitattava materiaali muuttuu. Joten tällöin mittaustuloksia tulisi käyttää vain osoituksena korkeasta kosteudesta.

6.2.4 Wile 25 Digital-kannettava pikakosteusmittari

Toisena kannettavana kosteusmittarina käytettiin suomalaista Wile 25 Digital mittaria, joka oli varustettu 50 cm:n pistinanturilla. Vertailussa olleista mittareista Wile oli ainoa, jossa oli mahdollistettu käyttäjän suorittama kalibrointi. Mittari kalibroitiin näyttämään 4,8 yksikköä alempia lukemia aikaisempien käyttäjien mittausten ja uunikuivatus määrityksien perusteella. Mittarin asetuksista käyttäjä voi valita paalin tiheyden väliltä 80 – 260 kg/m³ sekä käytettävän anturin ja mitattavan materiaalin perusteella neljä erilaista vaihtoehtoa. Yksi vaihtoehto materiaalin valinnassa oli ruokohelpipaali, jota käytettiin mittaauksissa. Tiheyden arvoksi asetettiin 140 kg/m³. Mittarin mittausalue on hyvin laaja (10 – 73 %), joten se soveltuu myös hyvin märkien materiaalien mittaukseen.

6.2.5 DICKEY-john FX-2000-kannettava pikakosteusmittari

Vertailun kolmas kannettava kosteusmittari oli amerikkalainen DICKEY-john FX-2000. Mittarissa oli 25 cm:n pistinanturi. Laitteen mittausalue on 6 – 40 %, joten se ei sovellu niin määrän materiaalin mittaamiseen, kuin vertailun muut mittarit Wile ja Haymatic Digital. Mittarin puutteiksi voidaan laskea se, että käyttäjä ei voi itse kalibroida mittaria sekä paalien tiheyden

kompensoinnin puuttuminen. Mittari on varustettu 100 mittaustuloksen muistilla sekä mahdollisuudella laskea keskiarvoja mittaustuloksista.

6.3 Mittausjärjestelyt

6.3.1 Koevarastojen kosteusmittaukset ja mittauspisteet

Pyöröpaalien lappeelleen varastointikokeessa mittauspisteet sijoitettiin paalin pätyyn tasaiselle sivulle 15 cm:n, 40 cm:n ja 80 cm:n korkeudelle paalin keskiosaan. Pyöröpaalien pystyvarastointikokeessa mittauspisteet olivat alemmassa paalissa 15 ja 70 cm:n korkeudella ja ylemmässä paalissa 30 ja 70 cm:n korkeudella. Mittauspisteet sijaitsivat paalin kaarevalla kyljellä. Suurkanttipaalikokeessa mittauspisteet sijoitettiin 15, 35 ja 55 cm:n korkeudelle paalin pitkälle sivulle. Kaikki mittauspisteet merkittiin punaisella spray-maalilla, jotta mittaukset voitiin tehdä jokaisella kerralla täsmälleen samasta paikasta.

Kaikki koevarastojen kosteusmittaukset tehtiin 25 cm:n syvyydestä ainoastaan Haymatic Digital-mittarilla. Pistinanturi työnnettiin kohtisuoraan paaliin ja mittaustulos kirjattiin ylös, kun mittaoslukema oli vakiintunut tiettyyn pisteeseen. Mittauspäivät pyrittiin aina järjestämään sellaisiksi päiviksi, jolloin ei sataisi koska sateisilla päivillä olisi ollut varmasti vaikutusta kosteusmittauksien tuloksiin.

6.3.2 Pikakosteusmittareiden vertailun mittaukset ja mittauspisteet

Kannettavien pikakosteusmittareiden vertailumittaukset tehtiin satunnaisista paikoista paaleista. Mittauspisteet valittiin siten, että jokaisella mittauskerralla pyrittiin saamaan näyte kosteudeltaan mahdollisimman erilaisista paikoista. Mittaukset tehtiin siten, että ensin mitattiin kosteus 25 cm:n syvyydestä jokaisella kannettavalla pikakosteusmittarilla samasta pisteestä. Tämän jälkeen otettiin näyte samasta pisteestä akkukäyttöisellä porakoneella johon oli kiinnitetty puuporanteri, jonka halkaisija oli 32 mm ja pituus 600 mm. Näytettä ei porattu koko terän mitalta, vaan se otettiin samalta syvyydeltä kuin pikakosteusmittareiden pistinanturit ottivat tuloksen. Poranterän tekemä silppu otettiin talteen ämpäriin, josta se siirrettiin välittömästi näytepussiin. Näytepussista poistettiin ilma ja se suljettiin ilmatiiviisti, jotta kosteushäviöitä tai haihtumista ei olisi päässyt tapahtumaan. Näytepussiin merkittiin paikka, näytteen

numero sekä päivämäärä. Lisäksi muistiinpanoihin merkittiin tarkka paikka, mistä näyte oli otettu. Poranterän tekemän silpun pituus vaihteli välillä 10 mm – 150 mm, riippuen paalin tiukkuudesta sekä kosteudesta. Kosteasta ja tiukasta paalista porattu näyte oli huomattavasti lyhyempää, kuin kuivasta ja löysemmästä paalista porattu näyte. Näytepusseja säilytettiin kylmähuoneessa, jotta niiden kosteus ei olisi muuttunut ennen koelaitoksella tehtävää uunikosteuden määrittämistä. Näytteistä pyrittiin määrittämään uunikosteus mahdollisimman nopeasti näytteenoton jälkeen. Enimmillään näytteet olivat kylmähuoneessa kolme vuorokautta.

6.3.3 Kosteuspitoisuuden määrittäminen uunikuivausmenetelmällä

Uunikuivausmenetelmän periaatteena on määrittää kokonaiskosteus kuivaamalla tunnettu määrä näytettä vakio painoon lämpökaapissa 105 ± 2 °C:ssa sekä punnitsemalla näyte kuivauksen jälkeen. Menetelmä on kiinteiden polttoaineiden laatuohjeiden ja standardien mukainen perustuen standardimenetelmiin DIN 51718 ja ISO 589 method C (ref Siltaloppi 2007). Uunikuivausmenetelmää voidaan käyttää erilaisten kiinteiden polttoaineiden, kuten esimerkiksi turpeen, hakkeen, purun, kuoren ja kierrätyspolttoaineiden sekä niiden erilaisten seosten ja liete- ja kompostinäytteiden sekä kaikkien edellä mainittujen materiaalien tuhkien kosteuden määrittämiseen (Siltaloppi 2007).

Määrittämisen tekemiseen tarvitaan alumiinifoliovuokia, kiertoilmapuhaltimella varustettu lämpökaappi joka voidaan lämmittää 105 ± 2 °C:een, vaaka jonka lukematarkkuus on vähintään 0,1 g sekä näytteiden murskaamiseen mylly, jos tarvetta murskaukseen on. Lisäksi tarvitaan eksikaattori pienten näytteiden jäähtymiseen.

Tilavuudeltaan pienten näytteiden (jyrsinpolttoturpe, palaturvemurske, puru ja tuhkat) määrittämisessä kuivataan koko näyte-erä. Määrittäminen aloitetaan punnitsemalla alumiinifoliovuokat tyhjänä sekä numeroimalla ne. Vuokien tulee olla tilavuudeltaan vähintään 0,5 litraa. Seuraavaksi vuokaan laitetaan tasainen noin 3 cm paksu kerros näytettä ja punnitaan se tarkkuudeltaan vähintään 0,01 g vaa'alla, jolloin näytemäärän massaksi tulee 30 – 100 g. Yhdestä näytteestä tehdään vähintään kaksi rinnakkaismäärittämistä. Näin jatketaan, kunnes kaikki näytteet ovat vuoissa. Tämän jälkeen näytteet laitetaan lämpökaappiin, jossa niitä kuivataan vähintään 16 tuntia. Näytteitä ei kuitenkaan saa kuivata yli 24 tuntia. Lämpökaapin lämpötila säädetään 105

± 2 °C:een. Kuivauksen jälkeen näytteet jäädytetään eksikaattorissa ja punnitaan (Siltaloppi 2007).

Tilavuudeltaan suuret ja murskausta vaativat näytteet, kuten esimerkiksi hake, palaturve, kiertäyspolttoaineet ja suuret jyrsinpolttoturvenäytteet punnitaan tilavuudeltaan 1 litran alumiinifoliovuokiin. Näyte-erät murskataan ja sekoitetaan tarvittaessa. Vuokiin laitetaan noin 3 cm paksu kerros näytettä ja se punnitaan vaa'alla, jonka lukematarkkuus on vähintään 0,1 g. Näytemääräksi tulee tällöin 200 – 400 g. Tämän jälkeen näytteet laitetaan lämpökaappiin ja kuivataan 16 – 24 tuntia 105 ± 2 °C:ssa. Näytteitä ei saa kuivata yli 24 tuntia. Kuivauksen jälkeen näytteet punnitaan välittömästi (Siltaloppi 2007).

Tulosten laskeminen tehdään kaavan 1 mukaisesti. Määrityksen tulos ilmoitetaan 0,1 yksikön tarkkuudella. Rinnakkaismääritysten tuloksista pienin ja suurin arvo saa poiketa enintään 2 % rinnakkaismääritysten keskiarvosta. Jotta kosteushäviötä ei pääsisi tapahtumaan, ovat murskaukset ja punnitukset tehtävä nopeasti ennen lämpökaappiin laittamista. Myös punnitus kuivauksen jälkeen on suoritettava nopeasti, jotta kosteus ei imeytyisi näytteisiin (Siltaloppi 2007).

$$\text{Kaava 1. } M_{ar} = \frac{(m_e - m_j)}{(m_e - a)} * 100$$

M_{ar} = märkäpainoa kohti laskettu kosteus saapumistilassa, m-%

m_e = märän näytteen + näyteastian massa, g

m_j = kuivatun näytteen + näyteastian massa, g

a = näyteastian massa, g

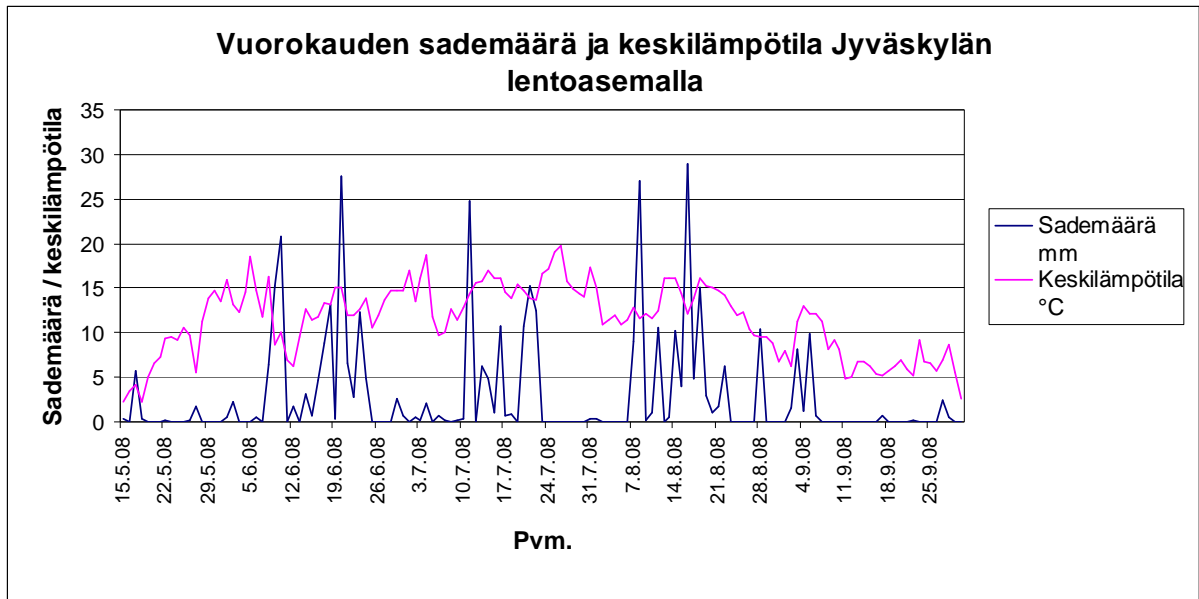
6.4 Sää tiedot

Tutkimuksen kannalta oleellisinta oli selvittää sademäärät alueilla, koska tutkimuksessa keskityttiin tarkastelemaan kosteuden muutoksia koevarastoissa. Mutta myös lämpötilatietoja, ilman suhteellista kosteutta sekä tuulen nopeuksia tarkasteltiin. Tämän kaltaisen tutkimuksen kannalta kesän 2008 säätyyppi oli erinomainen, koska sadetta saatiin keskimääräistä enemmän.

6.4.1 Pyöröpaalikoe

Pyöröpaalikokeen sää tiedot saatiin Ilmatieteen laitoksen havaintoasemalta Jyväskylän lentoasemalta. Lentoasemalta on matkaa Sirkkasuolle noin 30 kilometriä.

Tutkimuksen alussa toukokuussa sademäärät jäivät hyvin pieniksi. Toukokuun puolivälistä kuun loppuun satoi ainoastaan 8,5 mm. Myös kesäkuun ensimmäinen viikko oli vähäsateinen mutta siitä eteenpäin sademäärä kasvoi runsaasti. Koko kesäkuun sademääräksi kertyi lopulta 135,8 mm. Heinäkuu oli hieman kuivempi, sadetta kertyi tällöin 91,7 mm. Elokuussa satoi lähes yhtä paljon, kuin kesäkuussa. Elokuun sademäärä oli 134,4 mm. Syyskuu oli selvästi edellisiä kuukausia kuivempi. Koko kuun sademäärä oli 25,3 mm, josta suurin osa satoi syyskuun ensimmäisen viikon aikana. Yhteenvedona voidaan todeta, että kesä, heinä ja elokuu olivat sademäärältään runsaita kun taas touko ja elokuu olivat sademäärältään vähäisiä, kuten kuvasta 16 nähdään. Sään vaikutusta tutkimuksen tuloksiin käsitellään tulokset ja tulosten tarkastelu luvussa.

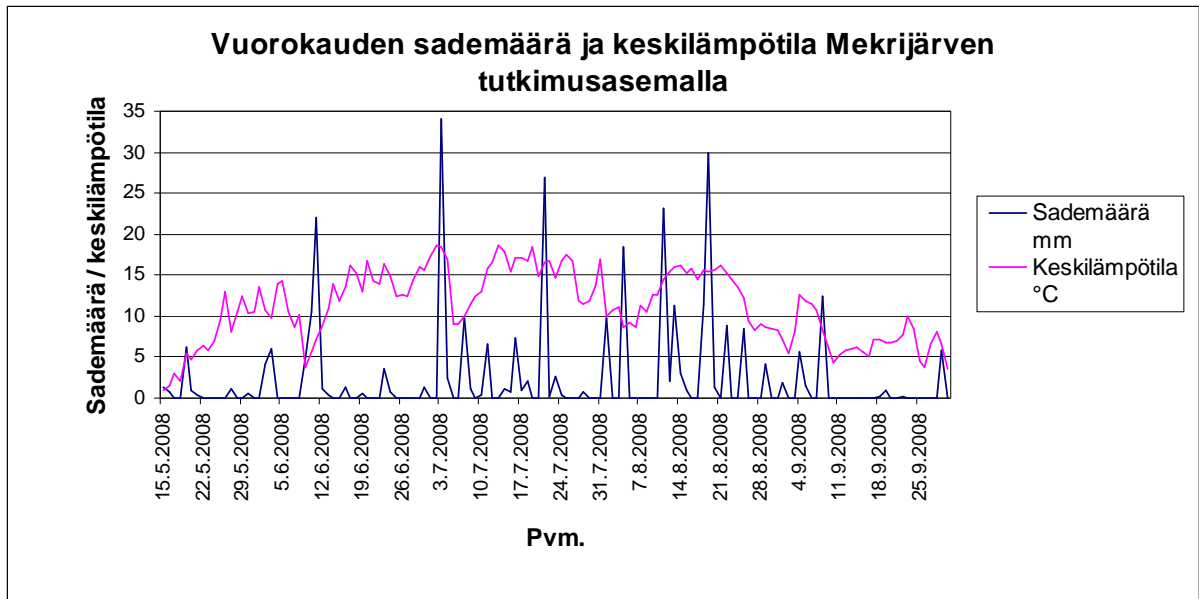


Kuva 16. Pyöröpaalikokeen sademäärä ja keskilämpötila vuorokausittain.

6.4.2 Suurkanttipaalikoe

Suurkanttipaalikokeen säätiedot saatiin Mekrijärven tutkimusasemalta Ilomantsista. Tutkimusasema on Joensuun yliopiston erillislaitos ja se sijaitsee noin 35 kilometrin päässä Linnansuolta.

Suurkanttipaalikokeen sademäärät olivat hyvin samankaltaisia, kuin pyöröpaalikokeenkin, kuten voidaan havaita kuvasta 17. Toukokuu ja syyskuu olivat sademäärältään vähäisiä ja kesä, heinä ja elokuu sademäärältään runsaampia. Toukokuun puolivälistä kuun loppuun satoi yhteensä 11,6 mm. Kesäkuun sademäärä oli 56,8 mm. Heinäkuussa satoi 97,1 mm ja elokuussa, joka oli Mekrijärvellä sademäärältään runsain 132,6 mm. Syyskuun sademäärä oli yhteensä 28,4 mm. Sään vaikutusta tutkimuksen tuloksiin on käsitelty tarkemmin tulokset ja tulosten tarkastelu luvussa.



Kuva 17. Suurkanttipaalikokeen sademäärä ja keskilämpötila vuorokausittain.

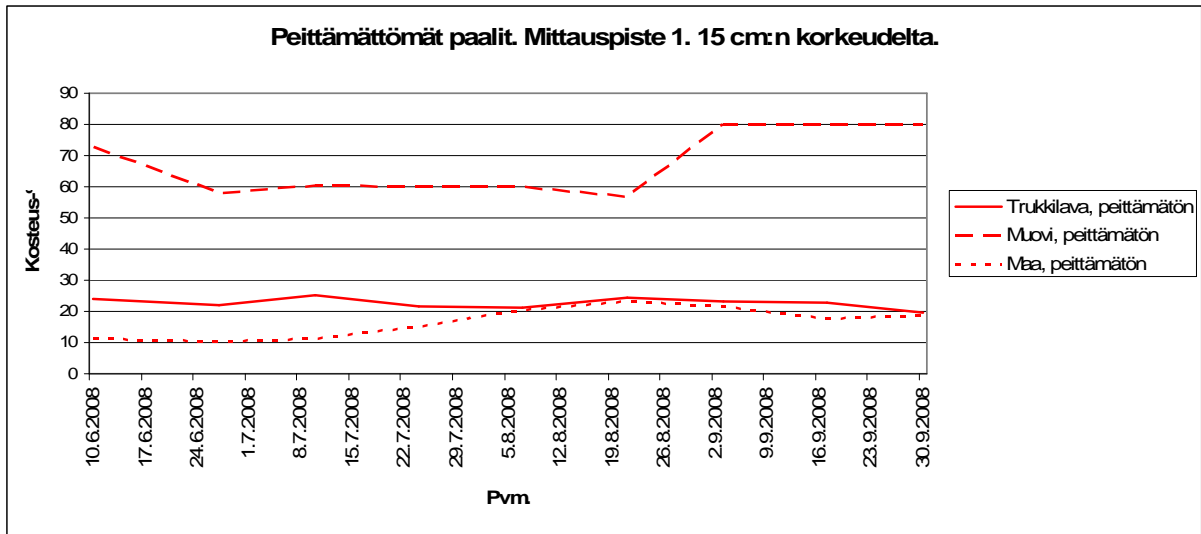
7 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

7.1 Pyöröpaalien lappeelleen varastointikokeen kosteusmittaukset

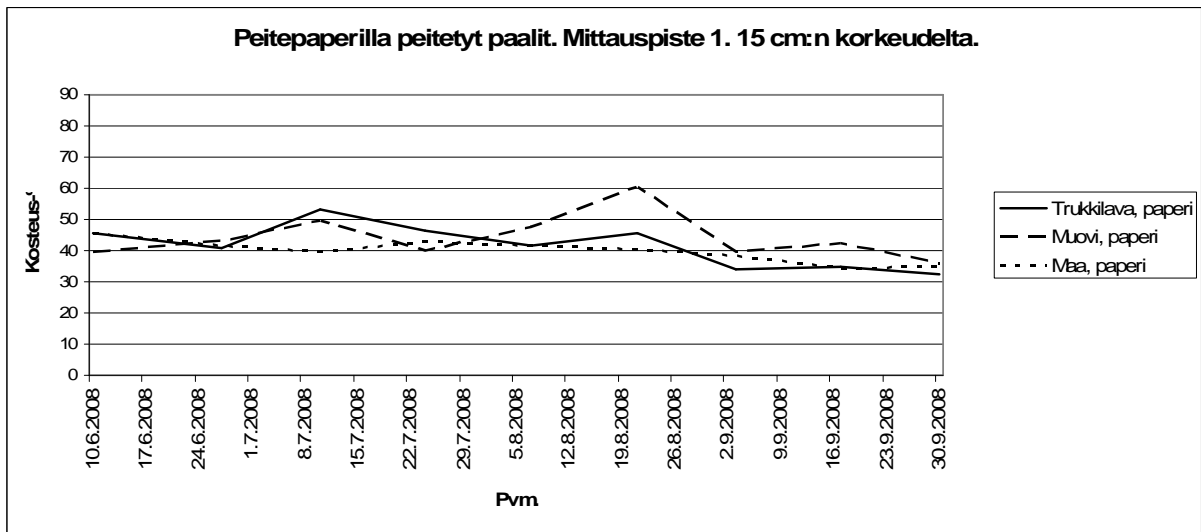
Pyöröpaalikokeiden lähtökohdat olivat huonommat, kuin suurkanttipaalikokeessa. Tämä johtui siitä, että pyöröpaalit olivat laadultaan epätasaisempia kuin suurkanttipaalit. Pyöröpaalien kosteudet vaihtelivat hyvin paljon yksittäisten paalien sisällä. Lisäksi paalien joukossa oli runsaasti pajua. Kokeeseen valittiin parhaat mahdolliset paalit käytettävissä olevista vaihtoehdoista. Kokeeseen valittujen paalien lähtökosteudet vaihtelivat 9 – 72 prosenttiyksikön välillä. Tämän varastointikokeen kaikki mittaustulokset löytyvät liitteistä 2 ja 3. Varastointikokeen kaikki kosteusmittaukset suoritettiin Haymatic Digital- kannettavalla pikakosteusmittarilla. Mittarin toiminta perustuu sähkönjohtokyvyn ja kosteuspitoisuuden väliseen suhteeseen ja sähkönjohtokyky kasvaa mitä kosteammaksi mitattava materiaali muuttuu, kuten luvussa 6.2.3 on mainittu. Tästä syystä kaikkiin tämän tutkimuksen mittaustuloksiin, joiden kosteus ylittää 30 % tai alittaa 10 %, tulee suhtautua varauksella, koska mittarin toiminta ei ole luotettavaa korkeissa ja matalissa kosteuspitoisuuksissa.

Mittauspiste 1.

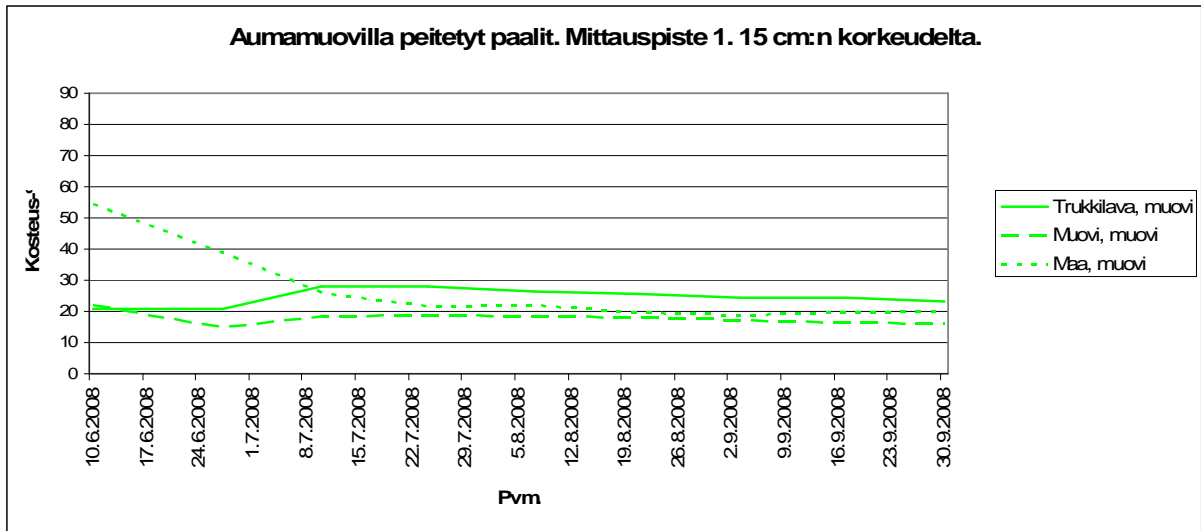
Alin mittauspiste oli 15 cm korkeudella maasta. Kosteuden muutoksen tulokset nähdään kuvista 18, 19, 20 ja 21. Suurimmat kosteuden kohoamiset tapahtuivat muovin päällä olleessa ja paperilla peitettyssä paalissa sekä paljaan maan päällä olleessa ja kevytpeitteellä peitettyssä paalissa. Näissä molemmissa paaleissa kosteudet kohosivat enimmillään 20 prosenttiyksikköä lähtöarvoja korkeammiksi. Tutkimuksen lopussa näiden paalien kosteudet laskivat lähtöarvojen tasolle ja jopa hieman niiden alle. Suurin kosteuden aleneminen tapahtui paljaan maan päällä olleessa ja aumamuovilla peitettyssä paalissa. Paalin kosteus laski heti tutkimuksen alussa nopeasti ja pysyi sen jälkeen koko tutkimuksen ajan 35 prosenttiyksikköä lähtöarvoa alempana. Osaltaan näin suuren laskun selittää se, että mittauspisteen lähtökosteus oli hyvin korkea (54,4 %). Tällöin mustan aumamuovin lämpösäteilyä keräävä pinta varmasti edesauttoi paalin kosteuspitoisuuden laskemista. Myös muovin päällä olleen ja peittämättömän paalin kosteus laski voimakkaasti heti tutkimuksen alussa. Elokuun alun runsaiden sateiden jälkeen kosteus kuitenkin kääntyi nousuun kunnes se tasaantui syyskuun alussa noin kahdeksan prosenttiyksikköä lähtöarvon yläpuolelle. Tässä kosteudessa se myös pysyi tutkimuksen loppuun asti kuivan syyskuun ansiosta.



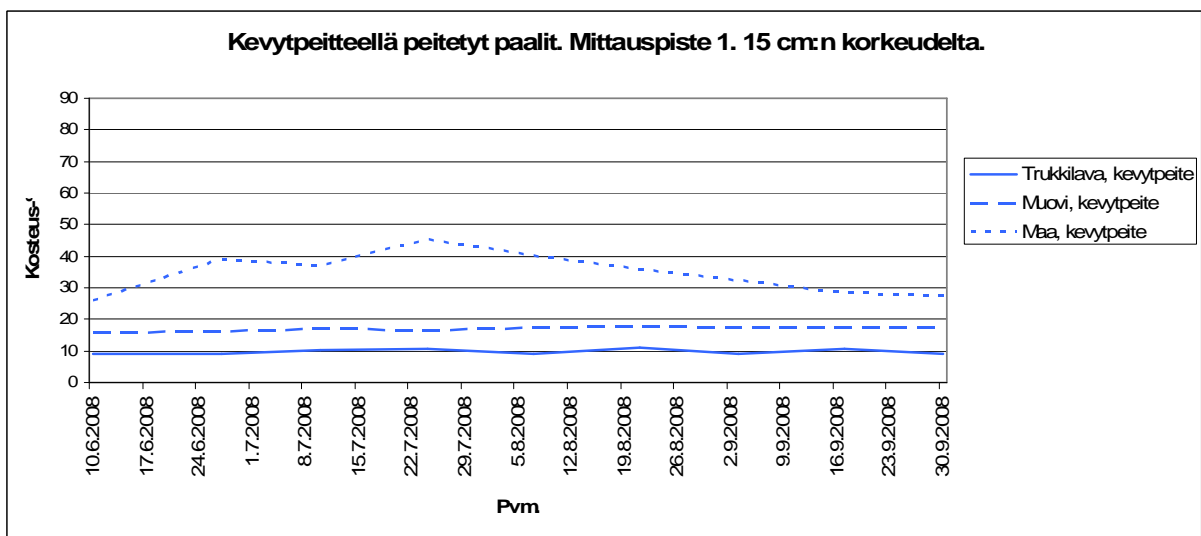
Kuva 18. Peittämättömien paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 1.



Kuva 19. Peitepaperilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 1.



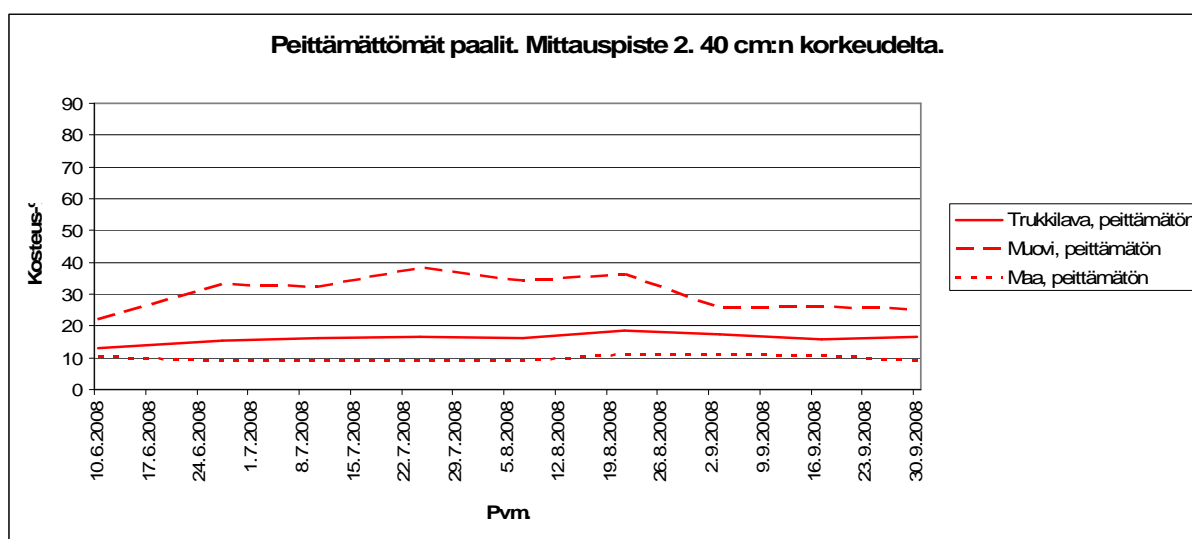
Kuva 20. Aumamuovilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 1.



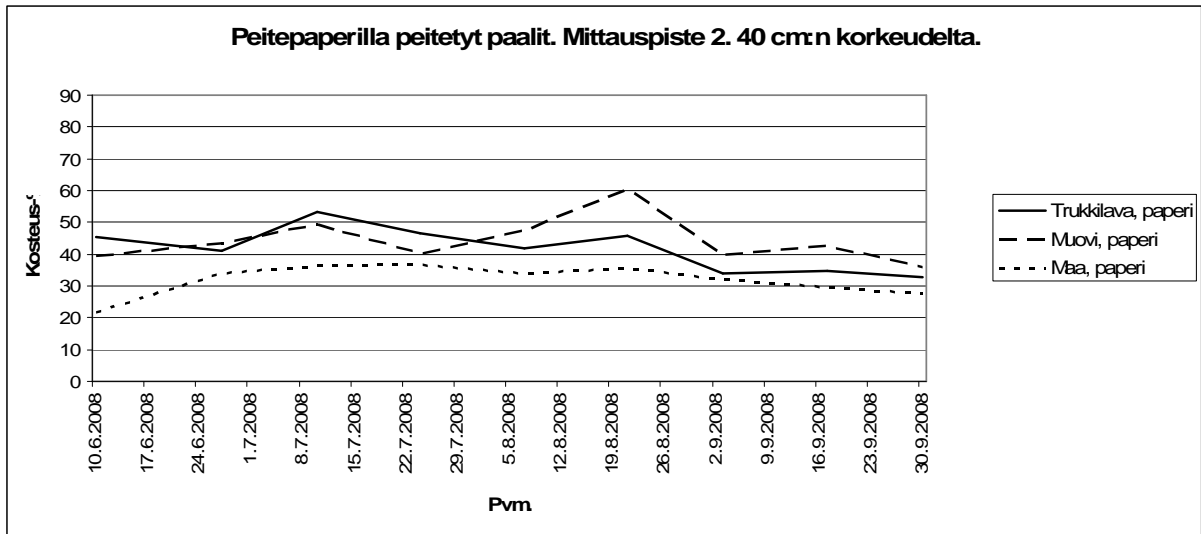
Kuva 21. Kevytpeitteellä peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 1.

Mittauspiste 2.

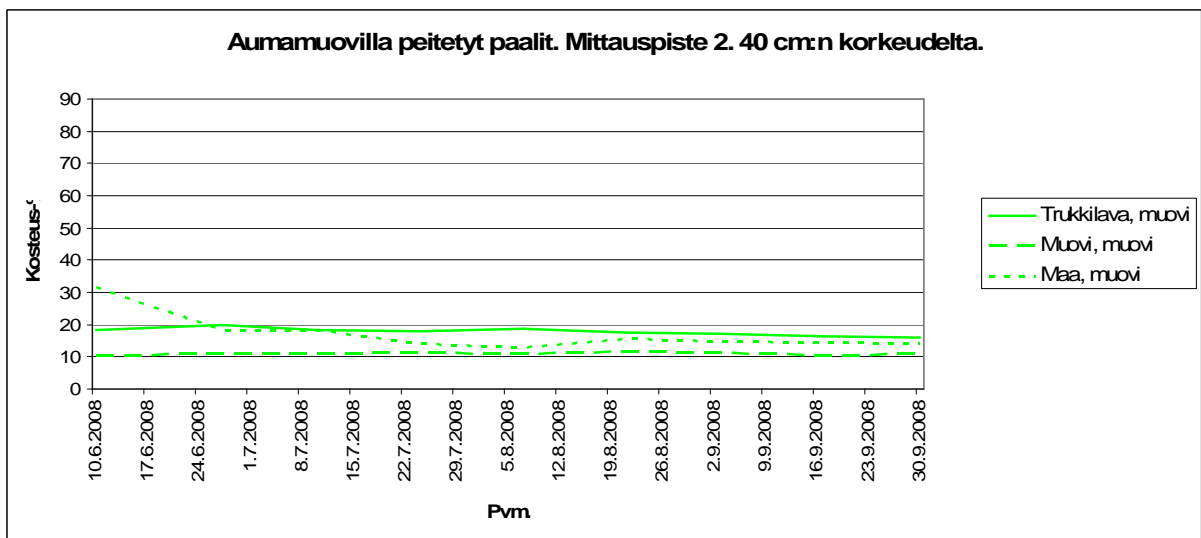
Keskimmäisen mittauspisteen tulokset on havainnollistettu kuvissa 22, 23, 24 ja 25. Näissä mittauspisteissä kosteudet lähtivät nousemaan heti tutkimuksen alussa kolmessa paalissa. Nämä paalit olivat peitepaperilla peitetyt paljaan maan ja muovin päällä olleet paalit sekä muovin päällä ollut ja peittämätön paali. Näissä paaleissa kosteudet kääntyivät laskuun vasta syyskuun alussa, jolloin sademäärät olivat vähäisempiä. Muovin päällä olleen ja paperilla peitetyn paalin kosteus kohosi enimmillään noin 20 prosenttiyksikköä lähtöarvoa korkeammaksi. Tämä kosteus saavutettiin elokuun puolivälissä, jolloin lyhyellä ajanjaksolla sademäärät olivat hyvin runsaita. Suurin kosteuden aleneminen tapahtui paljaan maan päällä olleessa ja aumamuovilla peitetystä paalissa. Kyseisen paalin kosteus lähti laskemaan heti tutkimuksen alusta, kosteus kuitenkin vakiintui noin 17 prosenttiyksikön verran lähtöarvoa alemmaksi. Tässä kosteudessa se myös pysyi tutkimuksen loppuun asti. Myös muovin päällä olleen ja kevytpeitteellä peitetyn paalin kosteus aleni. Tutkimuksen lopussa sen kosteus oli noin seitsemän prosenttiyksikköä lähtöarvoa pienempi.



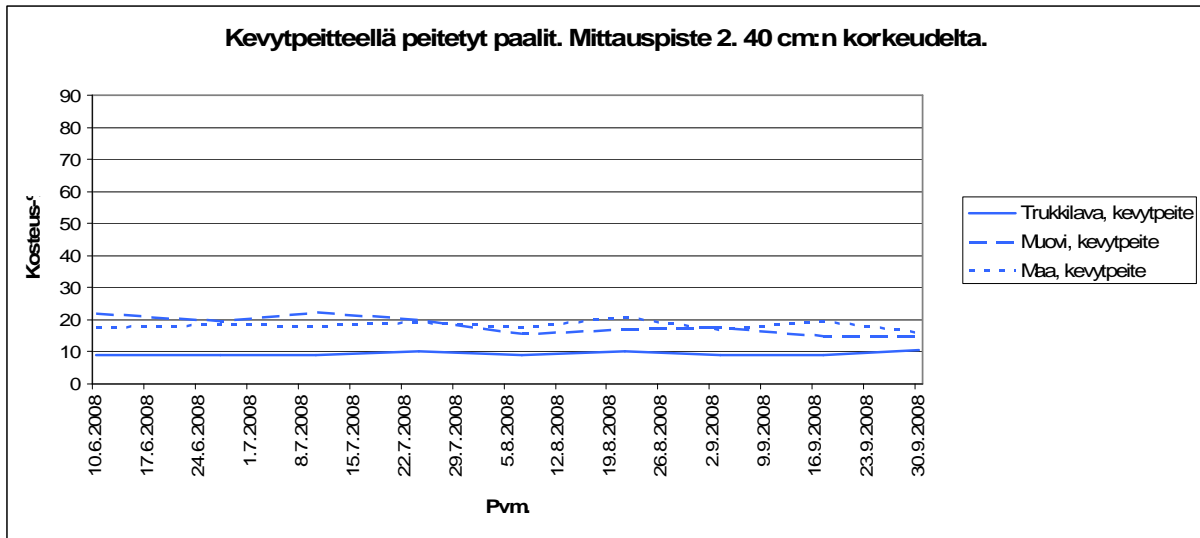
Kuva 22. Peittämättömien paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 2.



Kuva 23. Peitepaperilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 2.



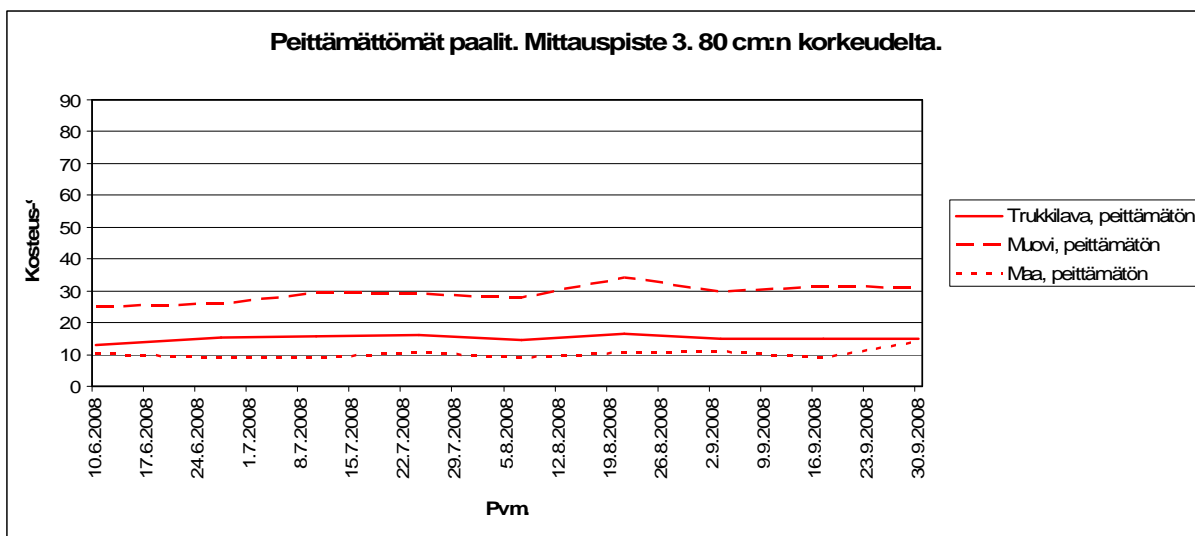
Kuva 24. Aumamuovilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 2.



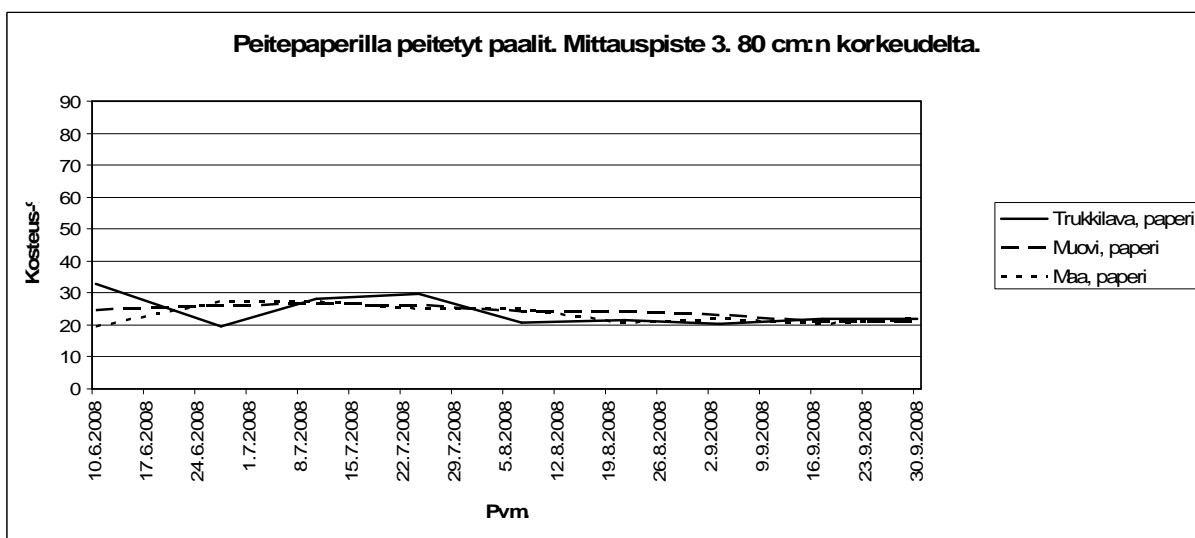
Kuva 25. Kevytpeitteellä peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 2.

Mittauspiste 3.

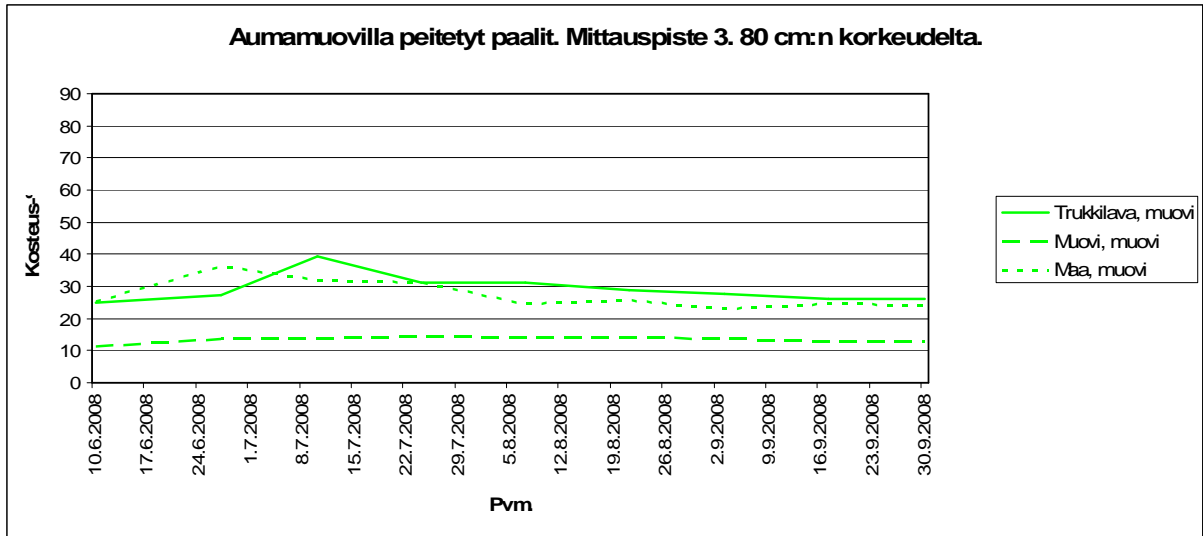
Ylimmän mittauspisteen tulokset on havainnollistettu kuvissa 26, 27, 28 ja 29. Tuloksista voidaan nähdä, että kosteuden muutokset ovat pienempiä kuin alemmissa mittauspisteissä. Suurimmat kosteuden nousumiset tapahtuivat trukkilavan päällä olleessa ja aumamuovilla peitettyssä paalissa sekä paljaan maan päällä olleissa ja aumamuovilla ja peitepaperilla peitettyissä paaleissa. Näissä paaleissa kosteus nousi 10 – 15 prosenttiyksikköä tutkimuksen aikana mutta tutkimuksen loppuun mennessä kyseisten paalien kosteudet olivat hyvin lähellä lähtöarvoja. Peittämättä muovin päällä olleen paalin yläosan kosteus nousi elokuun puolivälin runsaiden sateiden ansiosta noin 8 prosenttiyksikköä lähtötason yläpuolelle. Kosteus myös pysyi tutkimuksen loppuun asti tuolla tasolla. Suurimmat kosteuden alemiset tapahtuivat trukkilavan päällä olleessa ja peitepaperilla peitettyssä paalissa sekä paljaan maan päällä olleessa ja kevytpeitteellä peitettyssä paalissa. Näistä paaleista trukkilavan päällä olleen paalin kosteus oli lähes koko tutkimuksen ajan noin 12 prosenttiyksikköä pienempi, kuin lähtöarvo. Paljaan maan päällä olleen ja kevytpeitteellä peitetyn paalin kosteus laski noin viisi prosenttiyksikköä tutkimuksen aikana.



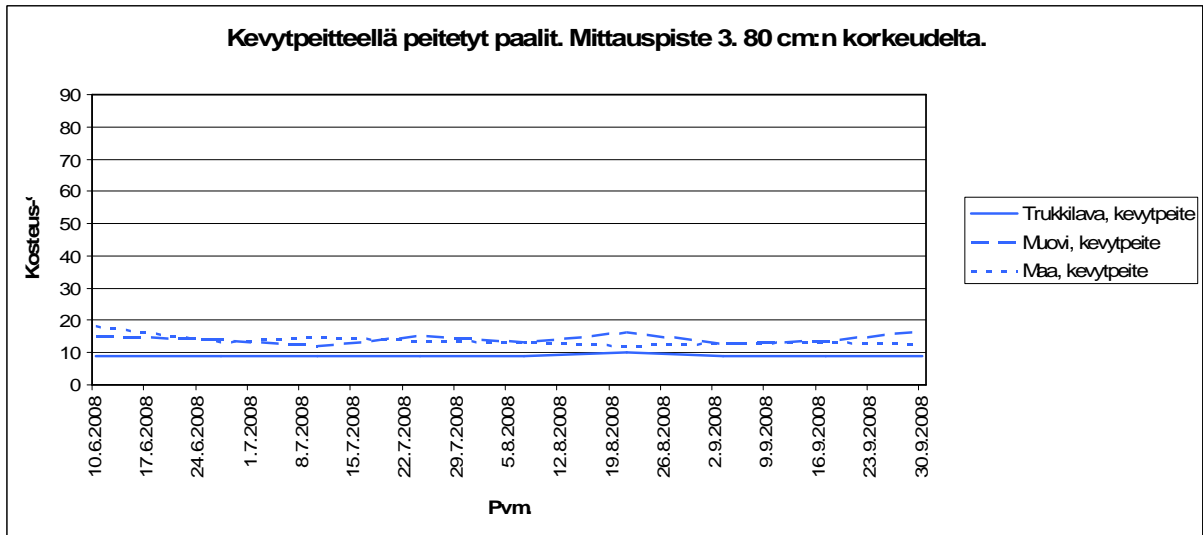
Kuva 26. Peittämättömien paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 3.



Kuva 27. Peitepaperilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 3.



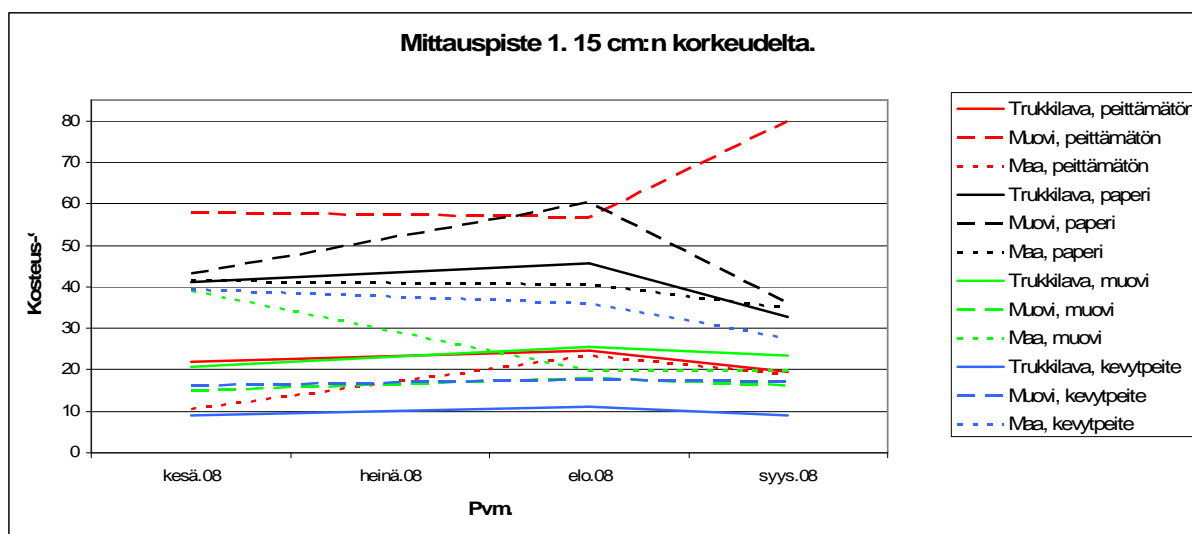
Kuva 28. Aumamuovilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 3.



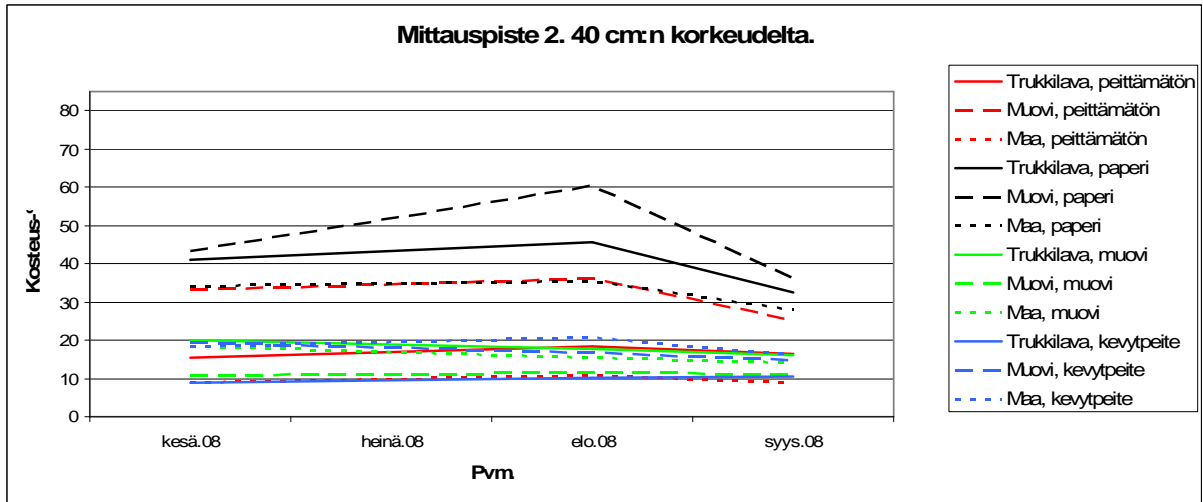
Kuva 29. Kevytpeitteellä peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 3.

Yhteenvedonä pyöröpaalien lappelteen varastointikokeen tuloksista voidaan todeta, että koe ei antanut yksiselitteisiä tuloksia. Tuloksiin vaikuttivat varmasti paalien epätasainen laatu. Kosteuden muutoksissa ei esiintynyt muille kokeille ominaisia kosteuksien jyrkkiä nousuja sademäärien vaikutuksesta. Tämän perusteella voidaankin todeta, että pyöröpaalit eivät ole niin herkkiä kastumaan kuin suurkanttipaalit. Peittämättömät suurkanttipaalit kastuivat tutkimuksen aikana huomattavasti enemmän kuin peittämättömät pyöröpaalit. Myöskään suuria kosteuden alenemisiä ei sademäärien vähenemisen yhteydessä havaittu. Joten voidaan sanoa, että kuivien kausien aikana ei pyöröpaaleissa esiinny havaittavaa kuivumista. Sateisten ja kui-

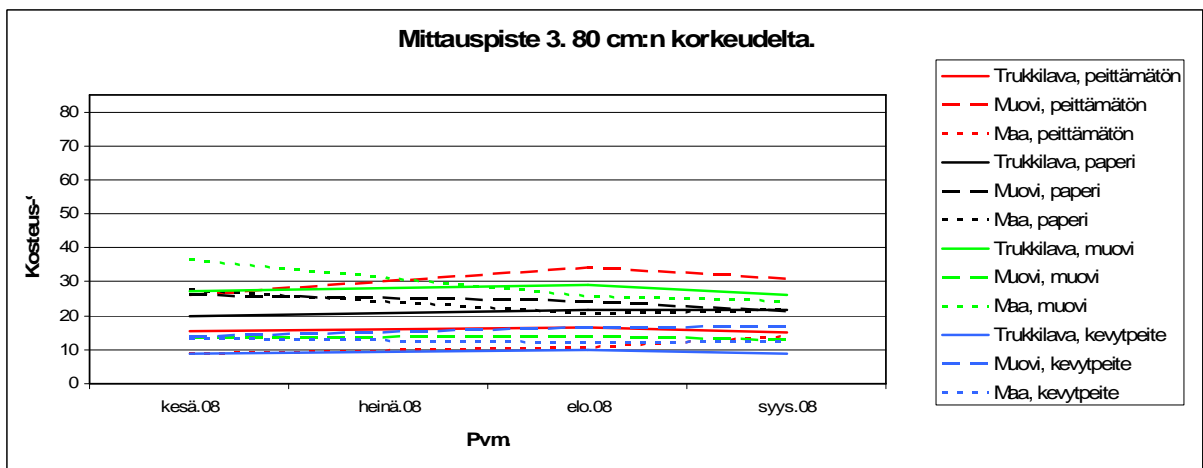
vien kausien vaikutukset paalien kosteuksiin on havainnollistettu kuvissa 30, 31 ja 32. Näissä kuvissa ensimmäiset mittauslukokset ovat kesäkuun lopulta, jolloin oli kuivempi kausi. Toiset mittaukset ovat elokuun lopulta, jolloin oli sademäärältään runsaampi ajanjakso. Viimeinen mittaus tulos on syyskuun lopulta vähäsateisen jakson jälkeen. Tasapainokosteutta tarkasteltaessa voidaan käyttää apuna kuvasta 5 löytyvää oljen tasapainokosteuskäyrää. Käyrän perusteella voidaan todeta, että paalien kosteuden ollessa 60 – 70 % kuivumista tapahtuu lähes aina, kuten kokeen perusteella myös muutamien paalien kohdalla havaittiin. Hyvin kosteat paalit, jotka eivät olleet kosketuksissa veteen kuivuivat kokeen aikana selvästi. Käyrästä voidaan myös havaita se, että paalien kosteuden ollessa noin 10 % kuivumista ei enää tapahdu, vaan paalien kosteuden pitäisi nousta, kuten tapahtuikin useissa paaleissa tutkimuksen aikana. Oleellisia eroja eri katemateriaalien välillä ei tullut esille tutkimuksessa. Pohjamateriaaleja tarkasteltaessa osa muovin ja paljaan maan päällä olleista paaleista kastui huomattavasti tutkimuksen aikana.



Kuva 30. Sateiden ja kuivien kausien vaikutus paalien kosteuteen kolmen mittauskerran tuloksina (kesä-, elo- ja syyskuun lopusta) alimmasta mittauspisteestä.



Kuva 31. Sateiden ja kuivien kausien vaikutus paalien kosteuteen kolmen mittauskerran tuloksina (kesä-, elo- ja syyskuun lopusta) keskimmäisestä mittauspisteestä.



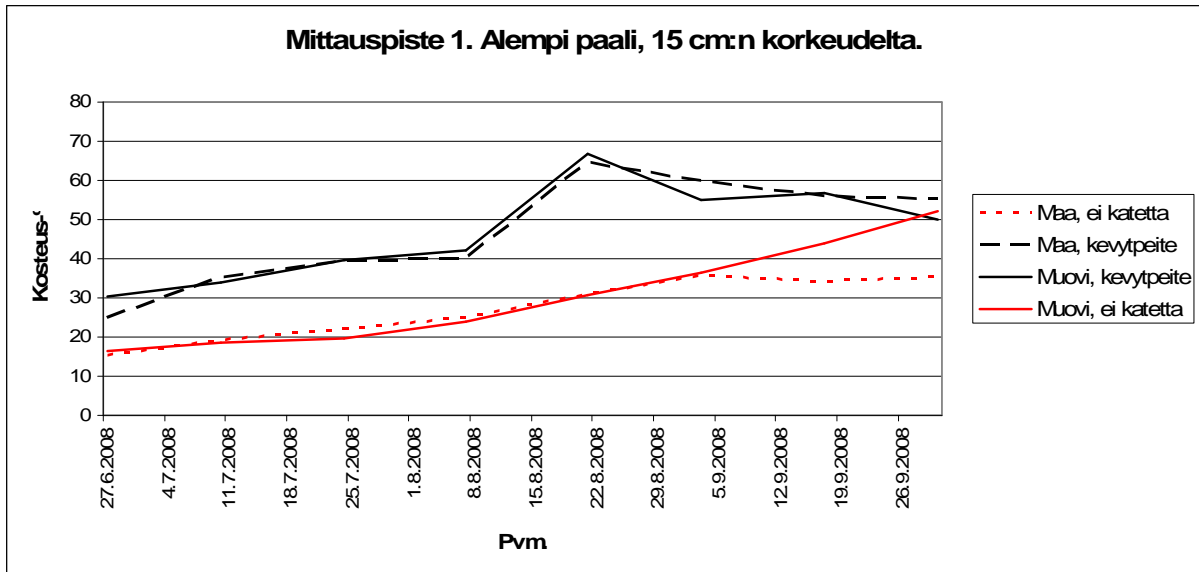
Kuva 32. Sateiden ja kuivien kausien vaikutus paalien kosteuteen kolmen mittauskerran tuloksina (kesä-, elo- ja syyskuun lopusta) ylimmästä mittauspisteestä.

7.2 Pyöröpaalien pystyvarastointikokeen kosteusmittaukset

Pyöröpaalien pystyvarastointikokeen mittausjakso jäi lyhyemmäksi, kuin muiden kokeiden. Syynä tähän oli se, että mittauspisteiden paikkaa jouduttiin vaihtamaan varaston toiselle puolelle kesäkuussa, koska alkuperäiset koepaalit vaurioituivat koevarastojen vieressä tapahtuneen turpeen noston yhteydessä. Tämän kokeen kaikkien mittausten tulokset löytyvät liitteistä 4 ja 5. Varastointikokeen kaikki kosteusmittaukset suoritettiin Haymatic Digital- kannettavalla pikakosteusmittarilla. Mittarin toiminta perustuu sähkönjohtokyvyn ja kosteuspitoisuuden väliseen suhteeseen ja sähkönjohtokyky kasvaa mitä kosteammaksi mitattava materiaali muuttuu, kuten luvussa 6.2.3 on mainittu. Tästä syystä kaikkiin tämän tutkimuksen mittaustuloksiin, joiden kosteus ylittää 30 % tai alittaa 10 %, tulee suhtautua varauksella, koska mittarin toiminta ei ole luotettavaa korkeissa ja matalissa kosteuspitoisuuksissa.

Mittauspiste 1.

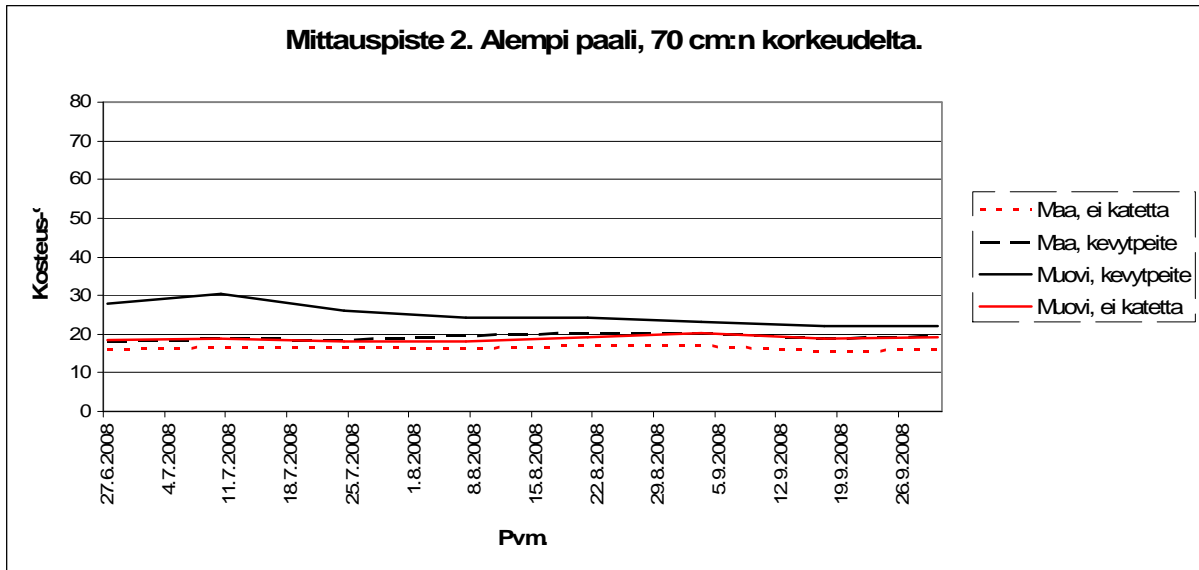
Tarkasteltaessa alinta mittauspistettä, huomataan että heti tutkimuksen alusta kaikkien paalien kosteudet nousivat melko tasaisesti. Elokuun alussa kevytpeitteellä peitetyt paalit alkoivat kastua huomattavasti peittämättömiä enemmän, kuten kuvasta 33 havaitaan. Näiden paalien kosteuden nousu kesti elokuun viimeisen viikon alkuun asti. Tämän jälkeen niiden kosteus alkoi laskea, koska sademäärät vähenivät. Muovin päällä peittämättä olleen paalin kosteus nousi tasaisesti koko tutkimuksen ajan. Sen kosteus ei alkanut laskemaan sademäärien vähenyessä, koska muovin päälle jäi vettä. Muovin päälle makaamaan jäänyt vesi kostutti paalia jatkuvasti. Paljaan maan päällä ja ilman katemateriaalia olleen paalin kosteus nousi tasaisesti elokuun loppuun asti, tämän jälkeen sen kosteus vakiintui 20 prosenttiyksikköä lähtöarvoa korkeammaksi tutkimuksen loppuun asti. Syynä kosteuden nousun pysähtymiseen on vähäsateinen syyskuu, sekä myös se, että elokuun lopun sateet imeytyivät nopesti maahan. Näiden kahden paalin alaosien kosteuden muutoksista voidaan havaita muovin ja paljaan maan ero pohjamateriaalina. Muovi kerää selkeästi vettä päällensä, josta vesi ei pääse poistumaan. Tällöin paalin alaosan kosteus jatkaa nousemista. Kun taas paljaan maan päällä ollut paali säilyy kuivempana, koska pienet sademäärät imeytyvät maahan nopeasti.



Kuva 33. Kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 1.

Mittauspiste 2.

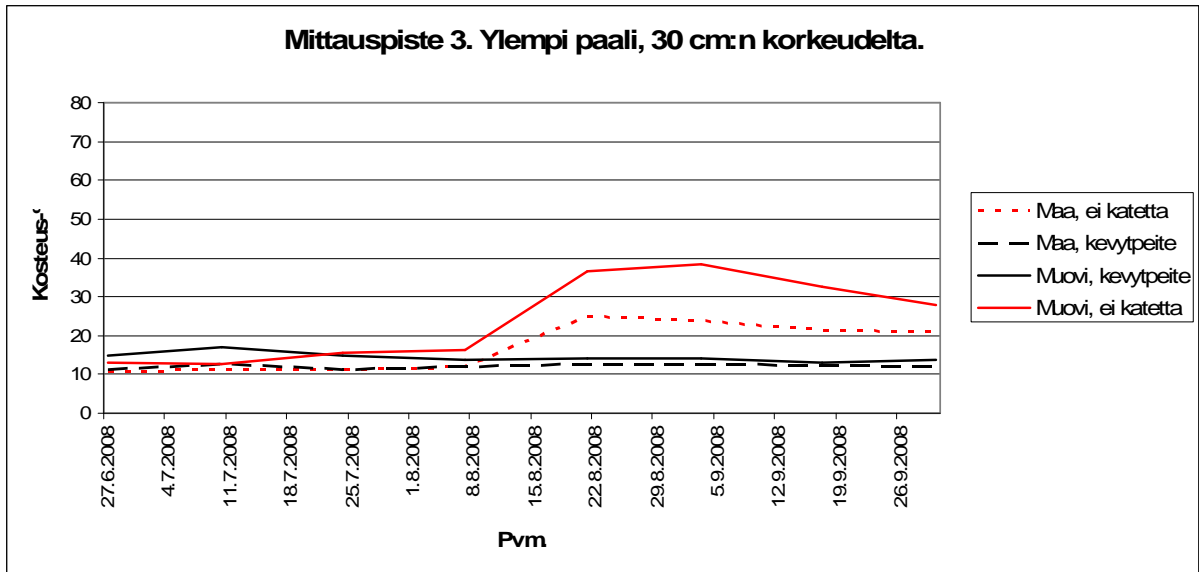
Alemmassa paalissa 70 cm:n korkeudella olleessa mittauspisteessä suurin muutos tapahtui muovin päällä olleessa ja kevytpeitteellä peitettyssä paalissa. Tutkimuksen aluksi kyseisen paalin kosteus nousi jonka jälkeen se alkoi kuivua tasaisesti. Lopuksi paalin kosteusprosentti oli kuusi prosenttiyksikköä pienempi, kuin tutkimuksen alussa, kuten kuvasta 34 nähdään. Muiden paalien kosteuksissa ei havaittu suuria muutoksia. Niiden kosteusprosentit muutokset vaihtelivat - 0,5 ja + 2,5 prosenttiyksikön välillä. Vaihtelu johtui lähinnä sateisten ja kuivempien kausien jaksottelusta.



Kuva 34. Kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 2.

Mittauspiste 3.

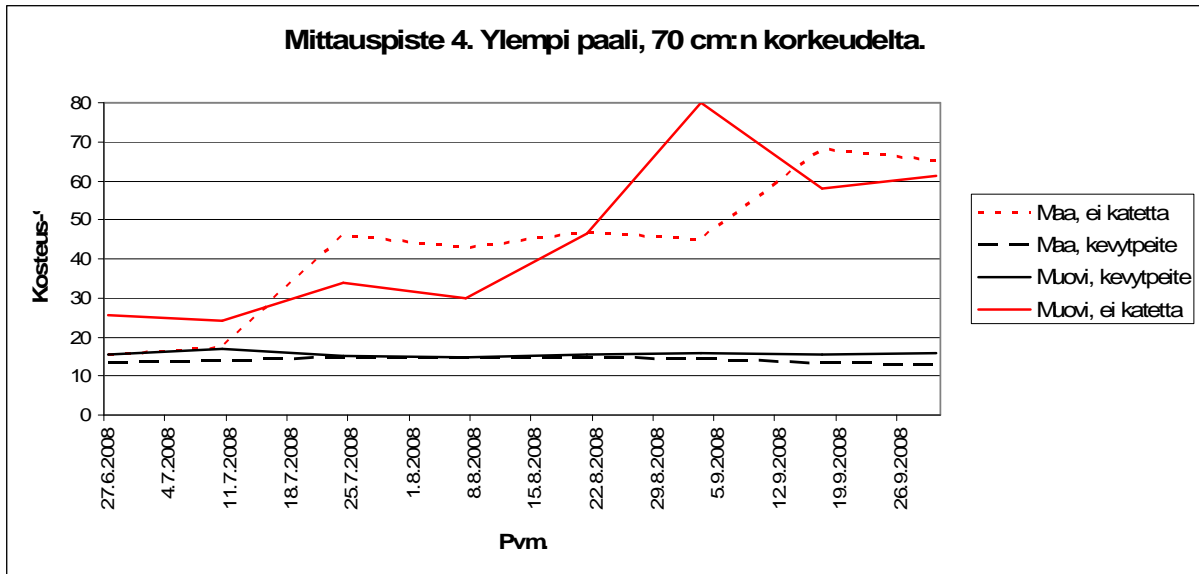
Ylemmän paalin 30 cm:n korkeudella olleessa mittauspisteessä tulokset ovat selkeästi tulkittavissa, kuten kuvasta 35 nähdään. Aluksi ilman katemateriaalia olleiden paalien kosteus nousi hitaasti, kunnes elokuun alussa kosteuden muutos oli rajumpaa. Tämä johtuu siitä, että kesä- ja heinäkuussa satanut vesi imeytyi syvemmälle paaleihin ja elokuun sateiden ansiosta kosteusprosentti kohosi lisää. Muovin päällä olleen peittämättömän paalin kosteusprosentti nousi enimmillään 25 prosenttiyksikköä ja maan päällä olleen peittämättömän paalin 14 prosenttiyksikköä. Vähäsateisen syyskuun ansiosta näiden paalien kosteus kääntyi laskuun tutkimuksen lopussa. Kevytpeitteellä peitetyt paalit säilyivät suhteellisen kuivina koko tutkimuksen ajan. Näistä muovin päällä olleessa paalissa tapahtui hieman kosteuden alenemista. Tutkimuksen lopussa kyseisen paalin kosteus oli yhden prosenttiyksikön verran alempi, kuin lähtöarvo.



Kuva 35. Kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 3.

Mittauspiste 4.

Ylimmän mittauspisteen kosteuden muutokset olivat samansuuntaisia kuin mittauspisteen 3 muutokset, kuten voidaan havaita kuvasta 36. Ainoat erot olivat siinä, että ylimmässä mittauspisteessä ilman katemateriaalia olleiden paalien kosteudet nousivat huomattavasti korkeammiksi, kuin mittauspisteessä 3 sekä se, että kosteuden muutokset näkyivät selvästi jo heinäkuun alussa. Kyseisissä paaleissa kosteuden muutos lähtöarvoon verrattuna oli noin 50 prosenttiyksikön verran. Kosteuden nopea nousu johtui siitä, että satanut vesi imeytyi hyvin nopeasti 50 cm:n syvyydessä olleeseen mittauspisteeseen.



Kuva 36. Kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 4.

Pyöröpaalien pystyvarastointikokeen tuloksista voidaan todeta, että peittämättä olleet ylempät paalit kastuivat huomattavasti kokeen aikana. Näistä paaleista paljaan maan päällä olleiden paalien ylempään paalin ylimmän mittauspisteen kosteuden nousu oli kokonaisuudessaan 49,5 prosenttiyksikköä ja vastaavan aumamuovin päällä olleen mittauspisteen kosteuden nousu oli kokonaisuudessaan 35,9 prosenttiyksikköä. Vastaavien peitettyjen paalien kosteuden muutokset olivat vain - 0,4 prosenttiyksikköä ja + 0,5 prosenttiyksikköä. Peittämättömät paalit myös kastuivat hyvin syvälle, kuten kolmannen mittauspisteen tuloksista havaitaan. Alempien paalien alaosat kastuivat jokaisen paalin kohdalla, mutta muovin päällä olleet hieman enemmän, kuin paljaan maan päällä olleet. Kokeen perusteella voidaan havaita, että pystyyn varastoidut pyöröpaalit ovat peittämättöminä huomattavasti herkempiä kastumaan jos verrataan niitä lappeelleen varastoituihin pyöröpaaleihin. Syynä tähän on paalin rakenne, joka on paalattessa rakentunut kerroksiin. Pystyssä ollessaan paali imee kosteutta kerroksien väliin huomattavasti herkemmin, kuin lappeella ollessaan. Lappeella ollessaan paalia suojaa lisäksi verkko päältä, jolloin paalin kastuminen on huomattavasti vähäisempää. Varastoitaessa pyöröpaaleja pystyyn, tulisi paalit asettaa täsmälleen pystyyn toistensa päällä. Jos ne eivät ole täysin toistensa päällä, niin alempi paali imee kosteutta paalien välistä. Paalien tarkka asettelu vaatii kuitenkin aikaa enemmän, kuin perinteiseen pyramidin muotoiseen varastoon lappeelleen kuormaaminen. Edellä esitettyjen seikkojen perusteella voidaan todeta, että pystyyn varastoiminen ei tuo mitään etuja lappeelleen varastoimiseen verrattuna.

Tarkasteltaessa homehtumisriskiä, niin ruokohelpeä voidaan verrata ominaisuuksiltaan heinäan, jonka homehtuminen alkaa noin 17 % kosteuspitoisuuden jälkeen. Tässä kokeessa tuon rajan alla koko tutkimuksen ajan pysyivät molemmat ylemmät kevytpeitteellä peitetyt paalit molempien mittauspisteiden osalta sekä myös paljaan maan päällä ensimmäisessä kerroksessa ja ilman katemateriaalia ollut paali yläosastaan. Kaikissa muissa mittauspisteissä kosteudet nousivat tutkimuksen aikana yli homehtumisrajan aiheuttaen suuren homehtumisriskin. Tasapainokosteutta tarkasteltaessa voidaan apuna käyttää kuvan 5 oljen tasapainokosteuskäyrää. Käyrän perusteella voidaan todeta, että paalien kosteuden ollessa 10 % luokkaa kuivumista ei tapahdu, vaan paalien kosteus pyrkii nousemaan hieman, kuten kävi myös tutkimuksen aikana useissa paaleissa. Tässä kokeessa paalien lähtökosteudet olivat alle 30 %, joten suurista kosteuden alenemisistä ei päässyt tapahtumaan.

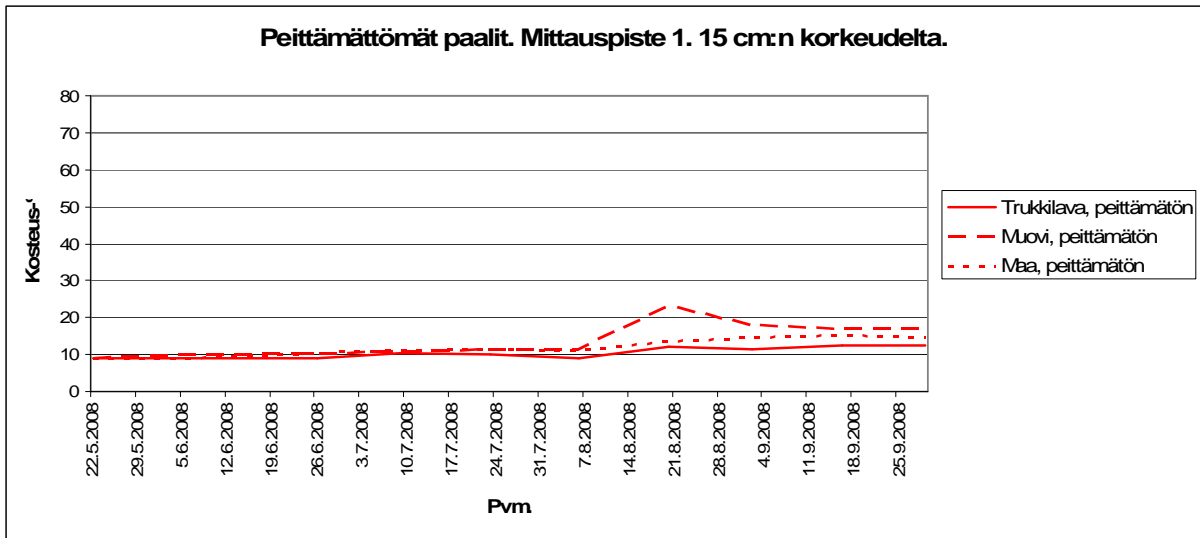
7.3 Suurkanttipaalikokeen kosteusmittaukset

Suurkanttipaalikokeen paalit olivat hyvin tasalaatuisia ja soveltuivat siksi tutkimukseen erinomaisesti. Paalit olivat hyvin kuivia, niiden kosteudet olivat 10 % tai jopa sen alle. Paalien hyvä laatu antoi hyvät lähtökohdat tutkimukselle. Suurkanttipaalikokeen kaikki mittaustulokset on esitetty liitteissä 6 ja 7. Varastointikokeen kaikki kosteusmittaukset suoritettiin Haymatic Digital- kannettavalla pikakosteusmittarilla. Mittarin toiminta perustuu sähkönjohtokyvyn ja kosteuspitoisuuden väliseen suhteeseen ja sähkönjohtokyky kasvaa mitä kosteammaksi mitattava materiaali muuttuu, kuten luvussa 6.2.3 on mainittu. Tästä syystä kaikkiin tämän tutkimuksen mittaustuloksiin, joiden kosteus ylittää 30 % tai alittaa 10 %, tulee suhtautua varauksella, koska mittarin toiminta ei ole luotettavaa korkeissa ja matalissa kosteuspitoisuuksissa.

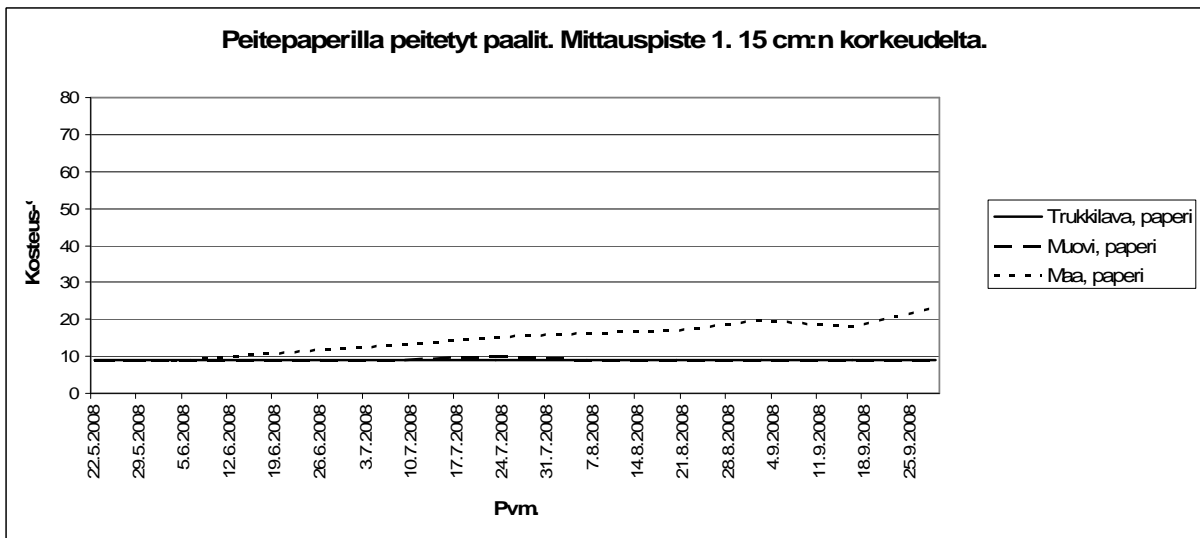
Mittauspiste 1.

Alimman mittauspisteen kosteusmittauksien tulokset on esitetty kuvissa 37, 38, 39 ja 40. Kyseisessä mittauspisteessä paljaan maan päällä ja peitepaperilla peitetyn paalin kosteus lähti nousemaan tasaisesti heti tutkimuksen alusta. Tutkimuksen lopussa kosteus oli noussut 14 prosenttiyksikköä lähtötilanteesta. Selitys näin suurelle kosteuden nousulle on se, että paalin kohdalla maan pinnassa oli pieni painauma, joka kesän aikana keräsi vettä. Toinen suuren kosteuden nousun tehnyt paali oli aumamuovin päällä ja peittämättä ollut paali. Tähän nousuun on syynä se, että aumamuovin päällä pääsi vapaasti satamaan vettä. Vesi myös jäi au-

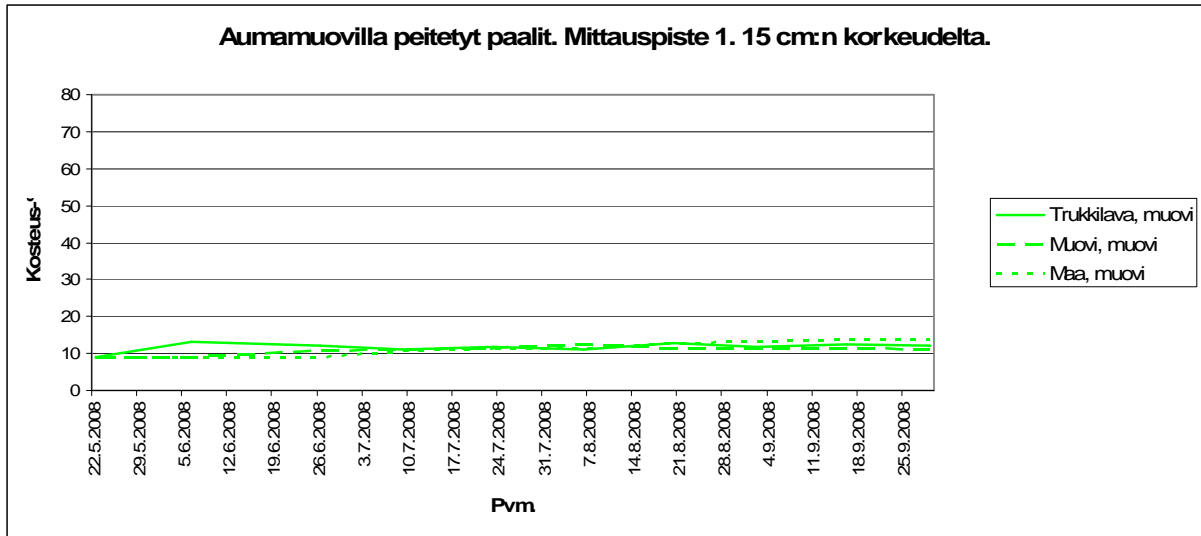
mamuovin päälle ja nosti paalin alaosan kosteutta. Myös paljaan maan päällä ja peittämättä ollut paali kostui alaosastaan. Sen kosteuden muutos oli noin kuusi prosenttiyksikköä. Ainut paali, minkä kosteus aleni alaosastaan tutkimuksen aikana oli trukkilavan päällä ollut ja aumamuovilla peitetty paali. Sen kosteus pysyi koko tutkimuksen ajan lähtötason alapuolella, kosteuden muutos oli enimmillään -2 prosenttiyksikköä.



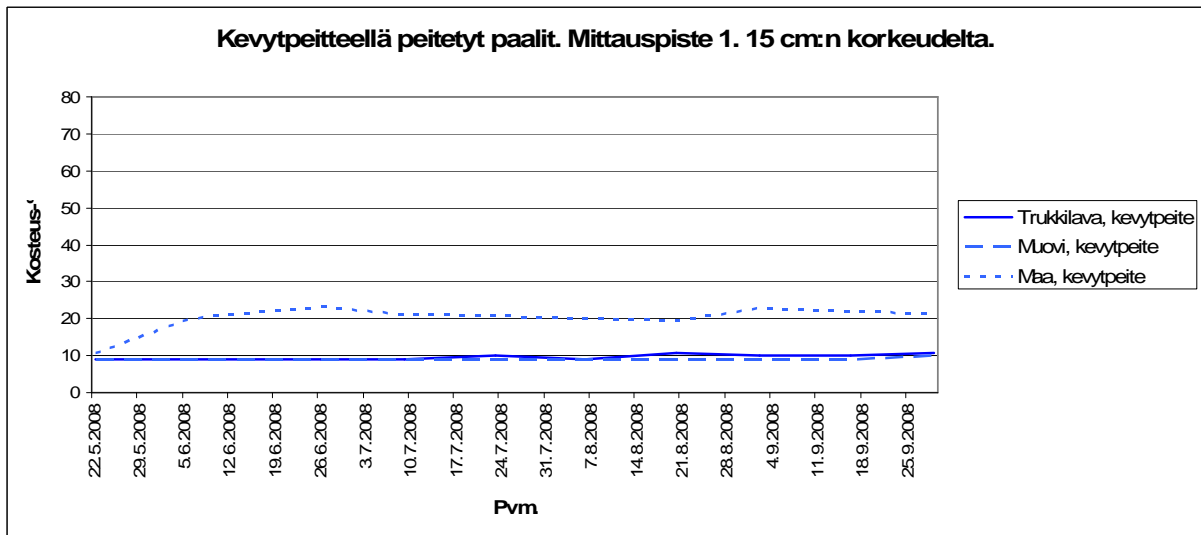
Kuva 37. Peittämättömien paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 1.



Kuva 38. Peitepaperilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 1.



Kuva 39. Aumamuovilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 1.

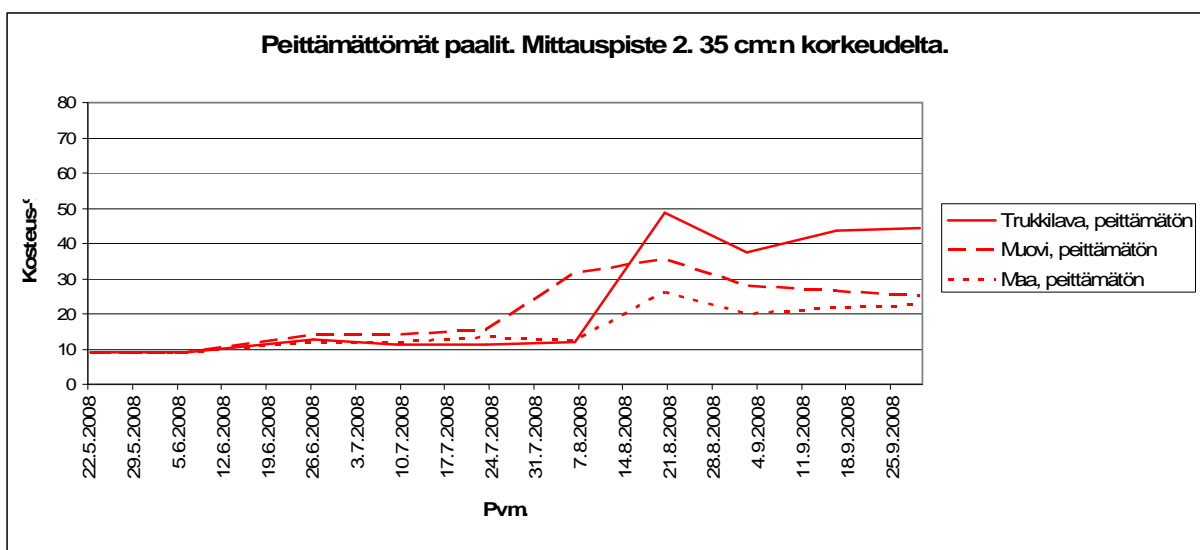


Kuva 40. Kevytpeitteellä peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 1.

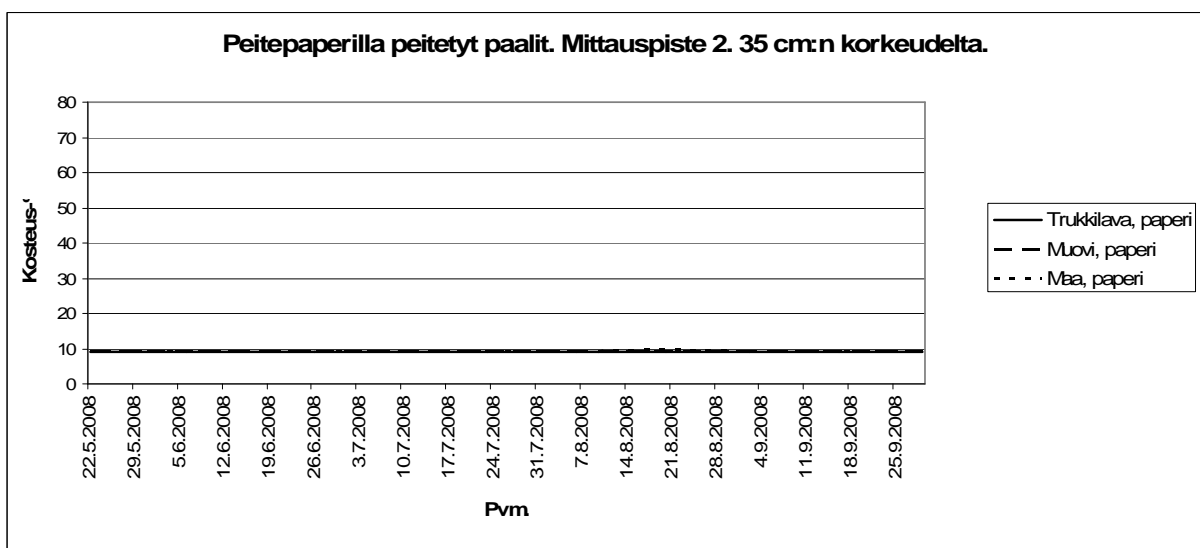
Mittauspiste 2.

Keskimmäisen mittauspisteen tulokset nähdään kuvista 41, 42, 43 ja 44. Tuloksista voidaan havaita, että kaikkien peittämättä olleiden paalien kosteus lähti lievään nousuun jo kesäkuun alussa. Kosteuden jyrkempi nousu tapahtui kuitenkin heinäkuun loppupuolella ja elokuun alussa, jolloin heinäkuun ja elokuun alun runsaat sateet alkoivat imeytyä syvemmälle paaliin. Näistä paaleista trukkilavan päällä olleen paalin kosteus nousi enimmillään 40 prosenttiyksiköä. Myös paljaan maan päällä olleen ja kevytpeitteellä peitetyn paalin keskiosan kosteus

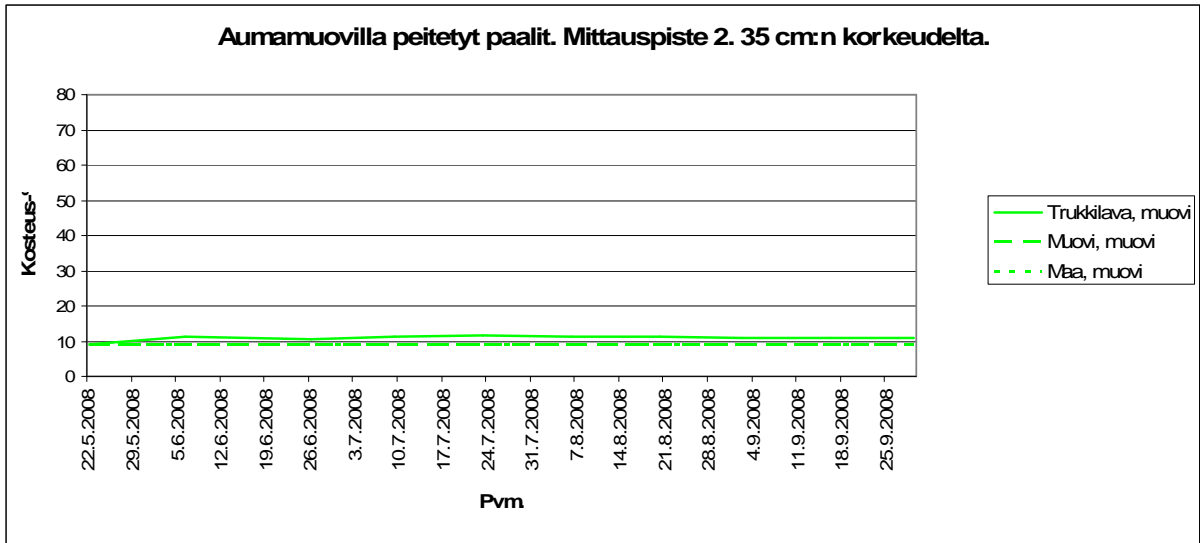
nousi heti tutkimuksen alussa ja pysyi kohonneena koko tutkimuksen ajan. Enimmillään kosteuden muutos oli noin viisi prosenttiyksikköä verrattuna lähtöarvoon. Paljaan maan päällä olleen ja peitepaperilla peitetyn paalin kosteus kohosi hieman elokuun alussa runsaiden sateiden seurauksena, koska maahan paalin kohdalle kerääntyi vettä. Tämän seurauksena paali kostui hetkellisesti myös keskimmäisestä mittauspisteestä. Syyskuun alussa kosteus palasi kuitenkin lähtöarvoonsa. Ainut paali, jonka kosteus aleni oli edelleen trukkilavan päällä ollut ja aumamuovilla peitetty paali. Kyseisen paalin kosteus pysyi koko tutkimuksen ajan noin 0,5 prosenttiyksikköä lähtöarvon alapuolella.



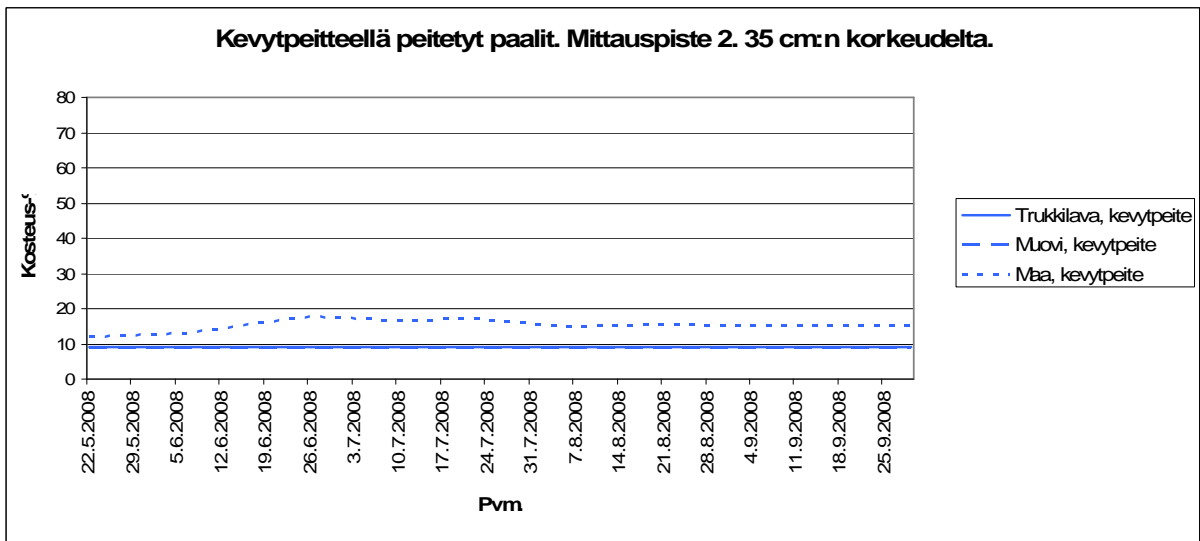
Kuva 41. Peittämättömien paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 2.



Kuva 42. Peitepaperilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 2.



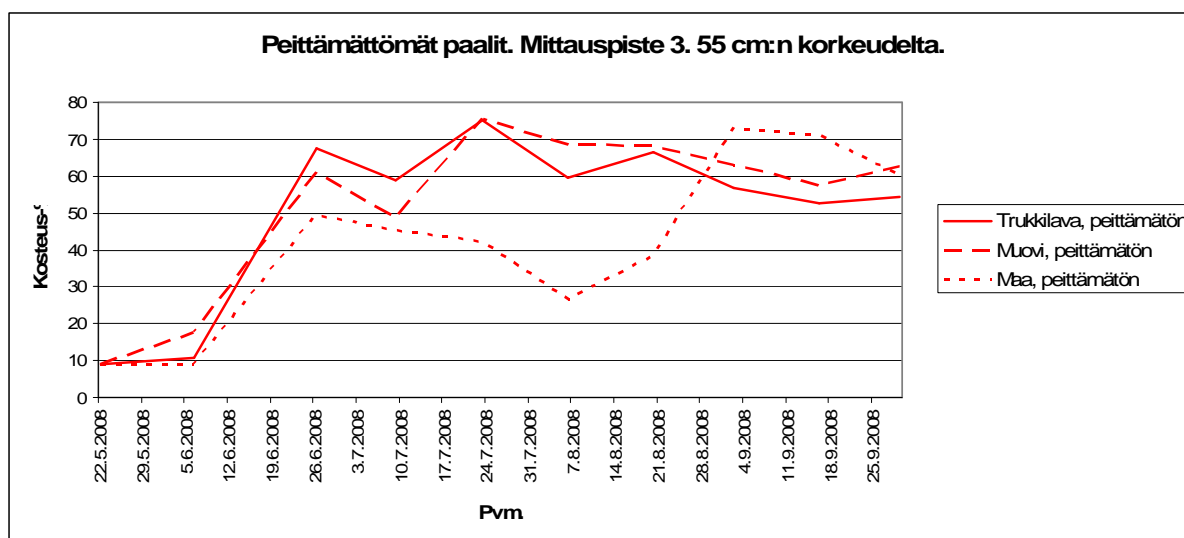
Kuva 43. Aumamuovilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 2.



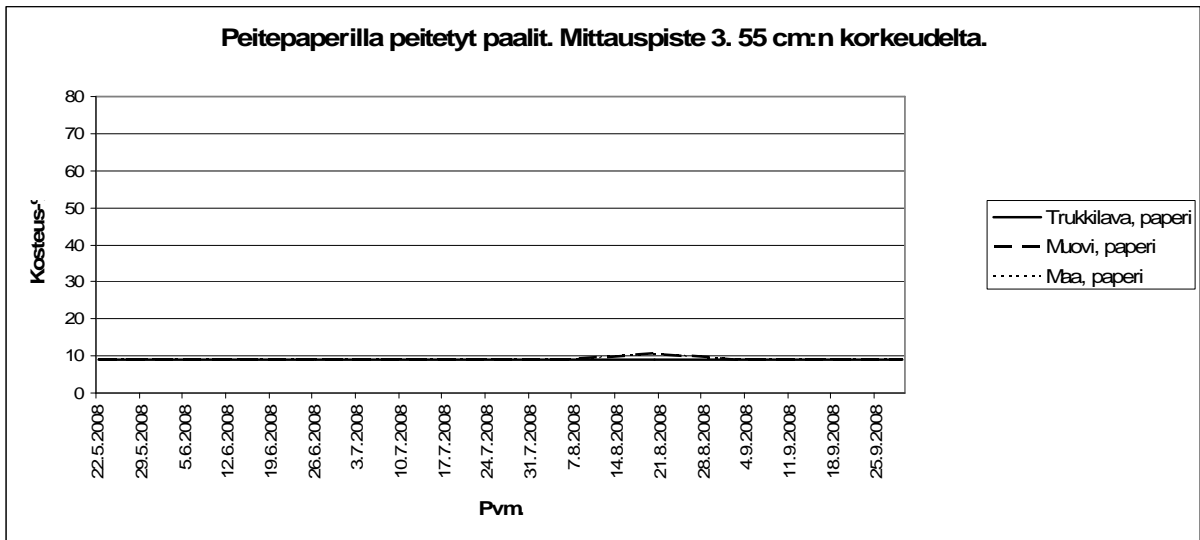
Kuva 44. Kevytpeitteellä peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 2.

Mittauspiste 3.

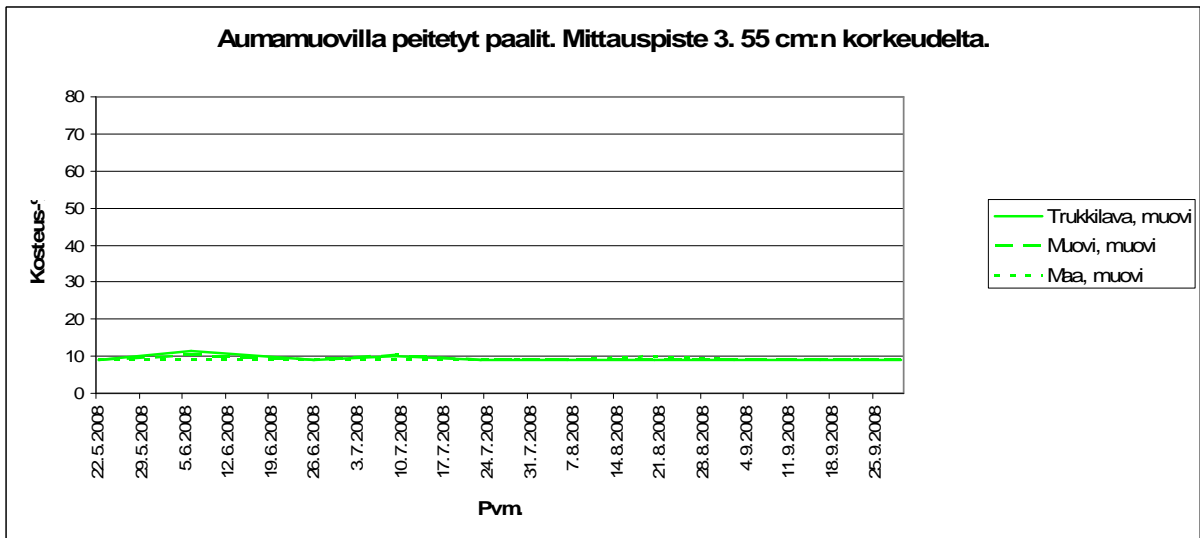
Ylimmän mittauspisteen tulokset on esitetty kuvissa 45, 46, 47 ja 48. Tuloksista voidaan havaita, että peittämättömien paalien kastuminen tuli entistä selkeämmin esille. Paalit kostuivat yläosastaan heti tutkimuksen alusta lähtien. Enimmillään kosteus nousi näissä paaleissa noin 65 prosenttiyksikköä. Kosteuden vaihteluista voidaan havaita, että sateettomien ja tuulisten jaksoiden aikana paalien yläosa kuivui. Kunnes taas satoi, jolloin kosteus jälleen nousi. Elokuun alun ja puolivälin aikana satoi runsaasti. Tällöin saatiin koko tutkimusjakson aikaiset suurimmat vuorokausikohtaiset sademäärät (18,4 mm, 23,1 mm ja 30 mm). Tämän seurauksena peitepaperilla peitetyt paalit kostuivat yläosastaan hieman. Kosteus nousi kahdessa paperilla peitettyssä paalissa noin kaksi prosenttiyksikköä. Kosteus kuitenkin palasi lähtötasoonsa syyskuun alussa kyseisissä paaleissa. Muissa peitemateriaaleissa kyseistä ilmiötä ei esiintynyt. Kosteuden alenemista havaittiin aumamuovilla peitettyissä ja trukkilavan sekä aumamuovin päällä olleissa paaleissa. Näissä paaleissa kosteus pysyi alle lähtöarvon koko tutkimuksen ajan. Trukkilavan päällä olleen paalin kosteus oli noin 2,5 prosenttiyksikköä alempi kuin lähtöarvo. Aumamuovin päällä olleen paalin kosteus pysyi noin yhden prosenttiyksikön verran alempana, kuin lähtöarvo oli.



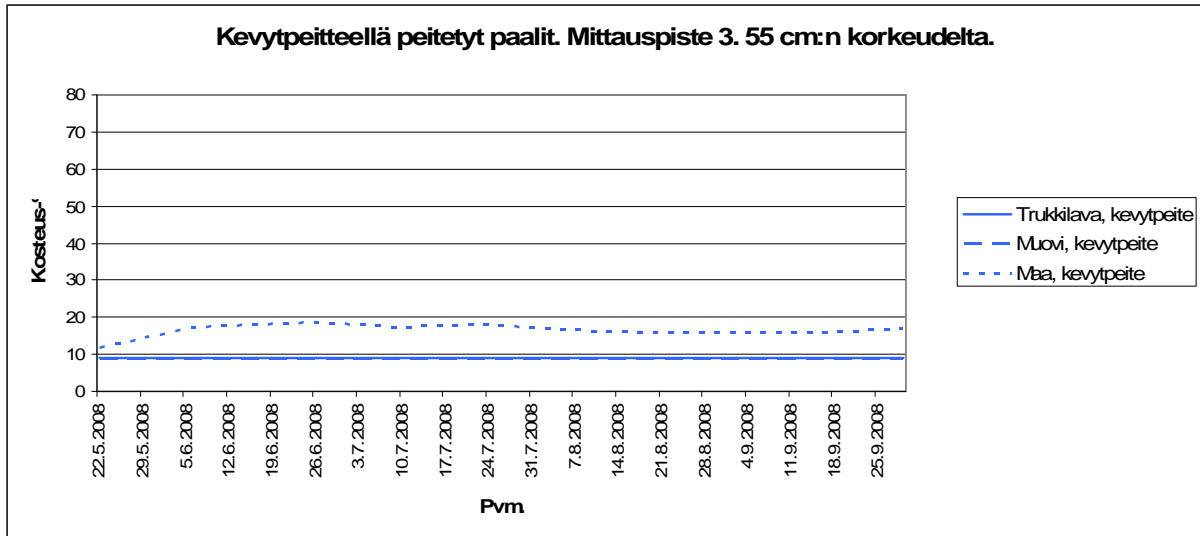
Kuva 45. Peittämättömien paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 3.



Kuva 46. Peitepaperilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 3.



Kuva 47. Aumamuovilla peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 3.



Kuva.48. Kevytpelteellä peitettyjen paalien kosteusprosentin muutokset mittauspisteessä 3.

Suurkanttipaalikokeen yhteenvetona voidaan todeta, että suurimmat muutokset tapahtuivat peittämättömien paalien kahdessa ylimmässä mittauspisteessä. Näissä mittauspisteissä kosteudet nousivat tutkimuksen aikana hyvin runsaasti. Erot peittämättömien paalien välillä johtuivat suurkanttipaalin rakenteesta. Paali on paalattu siivuihin, joiden välistä vesi voi päästä tunkeutumaan hyvin syväälle paaliin. Tämän vuoksi kolmen peittämättömän paalin kesken esiintyi suuria eroja kahdessa ylimmässä mittauspisteessä, koska vesi imeytyi yksilöllisesti jokaisen paalin kohdalla. Tutkimuksen perusteella voidaankin todeta, että suurkanttipaalit ovat peittämättöminä huomattavasti arempia kastumaan kuin peittämättömät pyöröpaalit lappeellaan. Kuivumista esiintyi kaikissa mittauskorkeuksissa vain yhden paalin kohdalla. Tämä paali oli trukkilavan päällä ollut ja aumamuovilla peitetty. Kuivumista aiheutti trukkilavan alla vapaasti liikkunut ilma sekä väriltään musta aumamuovi, joka aurinkoisella säällä keräsi lämpösäteilyä huomattavasti. Tasapainokosteutta tarkasteltaessa voidaan todeta, että paalien kosteuden ollessa 10 % luokkaa kuivumista ei voi enää tapahtua vaan kosteus pyrkii nousemaan hieman. Tämän kokeen lähtökosteudet olivat hyvin alhaisia, joten suuria kosteuden alenemisia ei kokeen aikana voinut tapahtua. Ainoastaan peittämättömät paalit, jotka kastuivat hyvin märäksi sateiden aikana pyrkivät kuivumaan sateettomien kausien aikana kohti tasapainokosteutta. Kondensoitumisesta aiheutunutta kastumista ei havaittu yhdenkään katemateriaalin kohdalla. Peitepaperi päästää runsaiden sateiden aikana lävitseen vettä hieman, kuten elokuun mittaustuloksista havaittiin. Näiden seikkojen perusteella voidaankin todeta, että paras vaihtoehto suurkanttipaalien varastointiin olisi varastoratkaisu jossa paali on sellaisella alus-

talla, ettei sen alle pääse kerääntymään vettä ja varasto olisi peitetty tummalla ja ei kondensoivalla peitteellä. Homehtumisriskin pienentämiseksi ilman olisi hyvä kiertää peitteen alla.

7.4 Varastoinnin kustannukset ja työnmenekki

Kustannuslaskelmissa laskettiin teoreettiset varastointikustannukset neljän hehtaarin alalta saatavalle ruokohelpisadolle. Laskelman tarkoituksena oli selvittää teoriassa erilaisten varastoratkaisujen kustannukset materiaalien sekä työn osalta. Katemateriaaleina toimivat aumamuovi, peitepaperi, kevytpeite sekä peittämätön varasto. Pohjamateriaaleina käytettiin trukkilavoja, aumamuvia, kuitupuuta sekä paljasta maata. Edellä mainituista kate- ja pohjamateriaaleista muodostettiin kaikki mahdolliset yhdistelmät niin pyörö- kuin suurkanttipaalienkin osalta ja laskettiin niiden varastointikustannukset. Satotasoksi oletettiin 6000 kg/ha kuiva-ainetta. Näin kokonaissadoksi muodostui neljän hehtaarin alalta 26 680 kg korjuukosteuden ollessa 10 %. Tällöin tältä alalta saatiin 120 kappaletta 1,2 m x 1,2 m kokoisia pyöröpaaleja. Kooltaan 1,2 m x 2,4 m x 0,7 m suurkanttipaaleja alalta saatiin 67 kappaletta.

Pyöröpaaleista muodostettiin varasto, jossa oli yhteensä kahdeksan pyramidin muotoista pinnaa. Kussakin pinossa oli 15 paalia asetettuna lappeelleen siten, että pohjakerroksessa oli viisi paalia ja ylimmässä kerroksessa yksi paali. Näin rakennetun varaston pohjan pinta-alaksi muodostui 57,2 neliometriä. Katemateriaalin pinta-ala laskettiin siten, että kate peittäisi paalit jokaiselta sivulta maahan asti. Katteeseen jätettiin lisäksi painotusvaraa 0,7 metriä jokaiselle sivulle, jotta tuuli ei irrottaisi sitä. Tarvittavan katemateriaalin pinta-alaksi tuli 280 neliometriä. Suurkanttipaaleista rakennettiin suorakaiteen muotoinen varasto, jossa oli 12 paalia kerroksittain. Varastossa oli kuusi kerrosta, ylimmän kerroksen ollessa vajaa. Varaston pohjan pinta-alaksi muodostui 34,6 neliometriä. Katemateriaalin tarve laskettiin samoin perustein, kuin pyöröpaalivarastoissakin. Katteen pinta-alaksi saatiin 248,2 neliometriä. Työkustannukset laskettiin siten, että varastot rakennettiin kahden henkilön voimin. Tarvittaessa rakentamisessa olisi apuna kolmas henkilö, joka toimi traktorinkuljettajana. Konetyötä käytettiin trukkilavojen kuljettamisessa sekä katemateriaalien painottamisessa.

Katemateriaaleista selvästi edullisin vaihtoehto molempien paalityyppien varastointiin oli aumamuovi, kun taas kallein vaihtoehto molempien paalien varastointiin oli peitepaperi. Poh-

jamateriaalien osalta kustannuslaskelmien tekeminen oli vaikeampaa, kuin peitemateriaalien osalta. Tämä johtuu siitä, että jokainen varastointipaikka on yksilöllinen edullisesti saatavien pohjamateriaalien suhteen. Esimerkiksi joillakin varastointipaikoilla trukkilavoja voidaan saada käyttöön ilmaiseksi, kun taas toisaalla trukkilavoista joudutaan maksamaan. Sama seikka pätee myös muiden pohjamateriaalien osalta. Eli pohjamateriaalien kustannukset ovat hyvin tapauskohtaisia. Tässä tarkastelussa kaikille pohjamateriaaleille määritettiin kuitenkin kiinteä hinta. Edullisin vaihtoehto pohjamateriaaliksi oli aumamuovi, kun taas selvästi kallein vaihtoehto oli kuitupuu.

Pääpaino laskelman tuloksien tulkinnassa oli tarkastella kustannuksia tuotettua megawattituntia kohden. Jos verrataan suurkantti- ja pyöröpaalivarastojen varastointikustannuksia keskenään niin huomataan, että suurkanttipaalien varastoiminen on halvempaa kuin pyöröpaalien. Suurkanttipaalivarastojen kustannukset olivat keskimäärin 0,19 euroa pienemmät megawattituntia kohden kuin pyöröpaalivarastojen kustannukset. Eri varastoratkaisuista edullisimmaksi muodostui aumamuovin päälle perustettu suurkanttipaalivarasto, joka oli peitetty aumamuovilla. Toiseksi edullisin oli pyöröpaalivarasto, joka oli myös perustettu aumamuovin päälle ja peitetty aumamuovilla. Nämä varastoratkaisut olivat edullisimmat niistä vaihtoehdoista, joissa oli sekä kate- että pohjamateriaali mukana. Jos jompikumpi näistä materiaaleista jätettäisiin pois, niin kustannukset laskisivat selvästi. Tämä kuitenkin lisäisi varastojen kastumisen riskiä. Myös trukkilavojen päälle perustetut sekä aumamuovilla peitetyt varastot olivat kilpailukyisiä kustannuksiltaan. Niiden kustannukset olivat hieman suuremmat, kuin aumamuovin päälle perustetut ja aumamuovilla peitetyt varastot. Selvästi kalleimmat varastointikustannukset molempien paalityyppien osalta tulisivat käytettäessä katemateriaalina peitepaperia ja pohjamateriaalina kuitupuuta.

Kastumisen vaikutukset paaleista saatavaan energiamäärään

Tämän laskelman tarkoituksena oli selvittää millaiset vaikutukset kastumisella olisi edellisen luvun kaltaisissa pyöröpaalien ja suurkantipaalien esimerkkivarastoissa. Varastointikokeen tuloksien perusteella muodostettiin malli, siitä miten paljon peittämättömät paalit kastuisivat, jos niitä ei peitettäisi eikä niiden alle laitettaisi mitään pohjamateriaalia. Näiden paalien energiasisältöä verrattiin paaleihin, jotka oli varastoitu trukkilavojen päälle ja peitetty aumamuovilla. Oletuksena pidettiin sitä, että peitettyjen paalien kosteus pysyisi vakiona, eli korjuukosteudessa varastoinnin aikana. Varastointiajan oletettiin olevan toukokuusta lokakuuhun eli viisi kuukautta.

Neljän hehtaarin alalta saatavan ruokohelpisadon energiasisältö 10 % korjuukosteudessa oli 118,2 MWh. Tällöin pyöröpaalien kokonaistilavuudeksi muodostui 162,9 m³, vastaavasti suurkantipaalien kokonaistilavuus oli 135,1 m³. Pyöröpaalivarastosta laskettiin kastuvan 25 % kosteuteen 22,1 m³ eli 13,6 % kokonaistilavuudesta. Suurkantipaalivarastosta 55,6 m³ eli 41,1 % kokonaistilavuudesta kastuu 15 – 58 % kosteuksiin. Laskun tuloksena pyöröpaalivaraston kastumisen seurauksena menetetään 0,5 MWh ja suurkantipaalivaraston kastumisen seurauksena 2,0 MWh. Laskun perusteella voidaan sanoa, että kestoaltaan alle viiden kuukauden kesäaikana tapahtuvassa varastoinnissa pyöröpaalivarastojen peittäminen ja pohjustaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa menetettyjen megawattituntien perusteella laskettuna. Suurkantipaalivarastoissa sen sijaan peittäminen on suositeltavaa myös lyhytaikaisen varastoinnin aikana. Varastointiajan ollessa yli viisi kuukautta molemmat varastotyypit tulisi peittää ja pohjalle asettaa pohjamateriaali. Varastointikustannusten ja kastumisen vaikutuksien yksityiskohtaiset laskelmat on esitetty ruokohelpipaalien varastointikustannukset 2008 monisteessa (Yrjölä 2008).

7.5 Kannettavien pikakosteusmittareiden vertailu

Vertailun tavoitteena oli vertailla kolmea erilaista kannettavaa pikakosteusmittaria sekä koe-laitoksella ollutta pikakosteusmittaria uunikosteusmäärityksen tuloksiin. Mittaukset suoritettiin sekä suurkanttipaaleista, että pyöröpaaleista. Kaikki mittaustulokset on esitetty liitteessä 8. Tulosten tarkastelu tehtiin jakamalla mittaustulokset kolmeen erilliseen ryhmään kosteuspi-toisuuksien mukaan. Ryhmät jaettiin uunikosteuden tuloksien mukaan siten, että ensimmäi- sessä ryhmässä olivat kaikki mittaustulokset. Toinen ryhmä koostui alle 20 % kosteuksista ja kolmas ryhmä käsitti yli 20 % kosteudet. Ryhmien jaottelu suoritettiin edellä mainitulla taval- la, koska ruokohelpipaalien kosteuden tulisi olla huomattavasti alle 20 %. Tämän vuoksi kiin- nostavinta oli selvittää se, miten pikakosteusmittarit toimisivat näissä kosteuksissa. Lisäksi tarkasteltiin miten mittareiden mittaustulokset erosivat toisistaan suurkantti- ja pyöröpaalien osalta.

Tulosten käsittely aloitettiin laskemalla aineiston kuvailevat tunnusluvut jokaisen mittarin ja uunikosteuden väliltä. Käsittelyä jatkettiin tekemällä niin sanottu vastaavuusvertailu jokaisen pikakosteusmittarin ja uunikosteuden välillä. Koska jokaisella mittauskerralla ei ollut mahdol- lisuutta käyttää kaikkia mittareita, niin otosten lukumäärä oli hieman erilainen jokaisen mittari- nin kohdalla. Vastaavuusvertailussa tulkittiin mittauspisteiden muodostaman trendiviivan kulmakerrointa sekä kuvaajiin piirretyn niin sanotun halkaisijan ja mittaustulosten trendiviiv- an leikkauspisteitä. Halkaisijan kulmakerroin oli 1, jolloin halkaisijan yhtälöksi muodostui $y = x$. Trendiviivan kulmakertoimen poikkeama luvusta yksi kertoi sen, miten paljon pikakos- teusmittareiden tulokset poikkesivat uunikosteudesta. Trendiviivan ja halkaisijan leikkauspis- teiden tarkastelu kertoi sen, mihin suuntaan mittareiden mittaustulokset poikkesivat uunikos- teudesta. Eli trendiviivan ollessa halkaisijan yläpuolella pikakosteusmittareiden tulokset olivat uunikosteuden tuloksia korkeampia ja trendiviivan ollessa halkaisijan alapuolella mittarit näyttivät alempia tuloksia, kuin uunikosteus. Leikkauspiste siis kertoi sen uunikosteuden, jos- sa uunikosteus ja mittarin näyttämä kosteus oli yhtä suuri. Tämän pisteen molemmilla puolilla mittarin virhe oli eri merkinen. Mentäessä kauemmaksi leikkauspisteestä mittarin virheen suuruus kasvoi trendiviivan mukaisesti.

7.5.1 Koko mittausalue

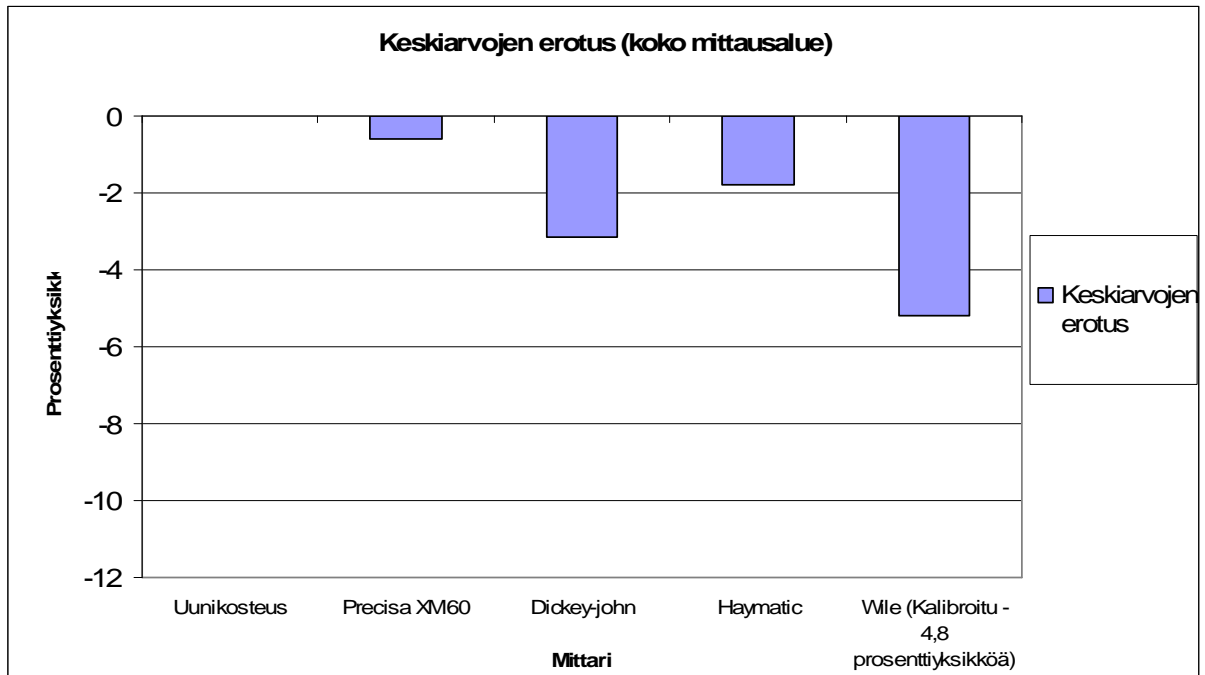
Tarkasteltaessa kaikkien mittausten keskiarvoja, niin huomataan että erot eri mittareiden välillä osoittautuivat melko merkittäviksi. Kuten voidaan nähdä kuvasta 49. Koelaitoksen Precisa pikakosteusmittarilla tehtiin yhteensä 60 mittausta, joiden keskiarvojen erotus uunikosteuteen verrattuna oli – 0,6 prosenttiyksikköä. Precisa mittarin vastaavuusvertailun tulokset nähdään kuvasta 50. Kuvasta voidaan havaita, että trendiviivan kulmakerroin oli 1,03 ja trendiviivan ja halkaisijan leikkauspiste oli 40,3. Eli alle 40,3 prosenttiyksikön uunikosteuksissa Precisa näyttää hieman alempia kosteuksia, kuin uunikosteuden tulokset. Uunikosteuden ollessa yli 40,3 prosenttiyksikköä Precisa näyttää hieman korkeampia tuloksia, kuin uunikosteus.

Kannettavista mittareista tarkimmaksi osoittautui keskiarvojen perusteella Haymatic Digital. Kyseisen mittarin mittausten lukumäärä oli 66 kappaletta. Keskiarvojen ero oli – 1,8 prosenttiyksikköä verrattuna uunikosteuden keskiarvoon. Vastaavuusvertailua tarkasteltaessa havaitaan, että Haymaticin trendiviivan kulmakerroin oli 0,84, kuten nähdään kuvasta 52. Trendiviivan ja halkaisijan leikkauspiste oli 10,1. Haymaticin mittausalue ei ulotu alle 10 prosenttiyksikön kosteuksiin, joten mittari näytti koko mittausalueellaan alempia tuloksia, kuin uunikosteus. Mittarin virheen suuruus siis kasvoi kosteuspitoisuuden kasvaessa suuremmaksi leikkauspisteestä.

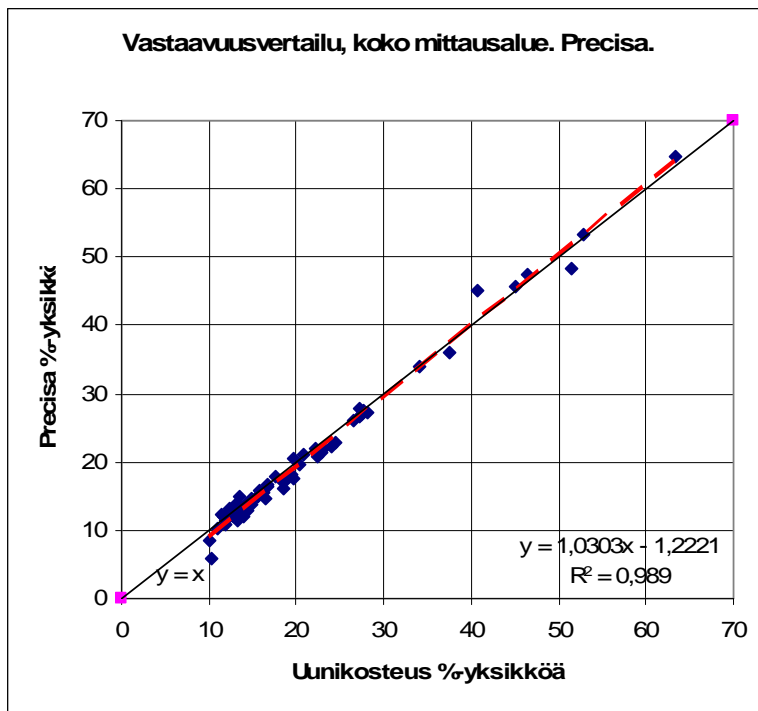
Toiseksi tarkin kannettavista mittareista oli Dickey-john. Tämän mittarin ja uunikosteuden keskiarvojen erotus oli – 3,2 prosenttiyksikköä mittausten lukumäärän ollessa 62 kappaletta. Vastaavuusvertailun trendiviiva nähdään kuvasta 51. Trendiviivan kulmakerroin oli 0,70 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspiste oli 11,2. Mittarin siis näytti lähes koko mittausalueellaan alempia tuloksia, kuin uunikosteus. Alle 11,2 prosenttiyksikön kosteuksissa mittarin tulokset olivat hieman suurempia, kuin uunikosteuden tulokset.

Epätarkin vertailun kannettavista mittareista oli Wile 25 Digital. Mittarilla otettiin 41 mittausta joiden keskiarvojen erotus verrattuna uunikosteuteen oli – 5,2 prosenttiyksikköä. Kuvan 53 vastaavuusvertailua tarkasteltaessa havaitaan, että trendiviivan kulmakerroin oli 0,40 ja trendiviivan ja halkaisijan leikkauspiste oli 14,2. Eli Wile näytti yli 14,2 prosenttiyksikön uunikosteuksissa alempia tuloksia, kuin uunikosteuden tulokset. Alle 14,2 prosenttiyksikön uunikosteuksissa Wilen tulokset olivat korkeampia, kuin uunikosteuden näyttämät tulokset. Wile

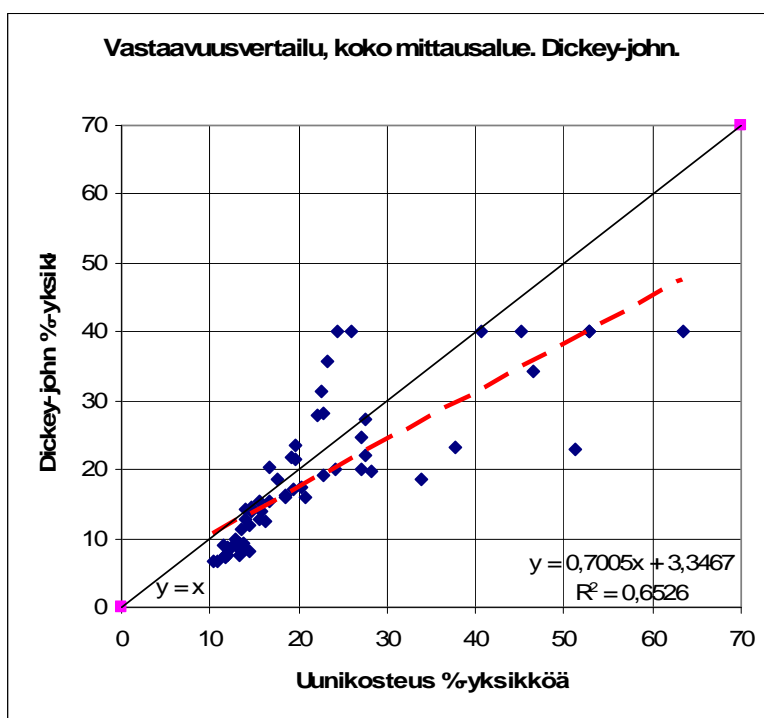
oli kannettavista mittareista ainoa, joka oli kalibroitu. Mittari kalibroitiin tutkimuksen alussa näyttämään - 4,8 prosenttiyksikköä alempia tuloksia edellisen käyttäjän mittausten perusteella.



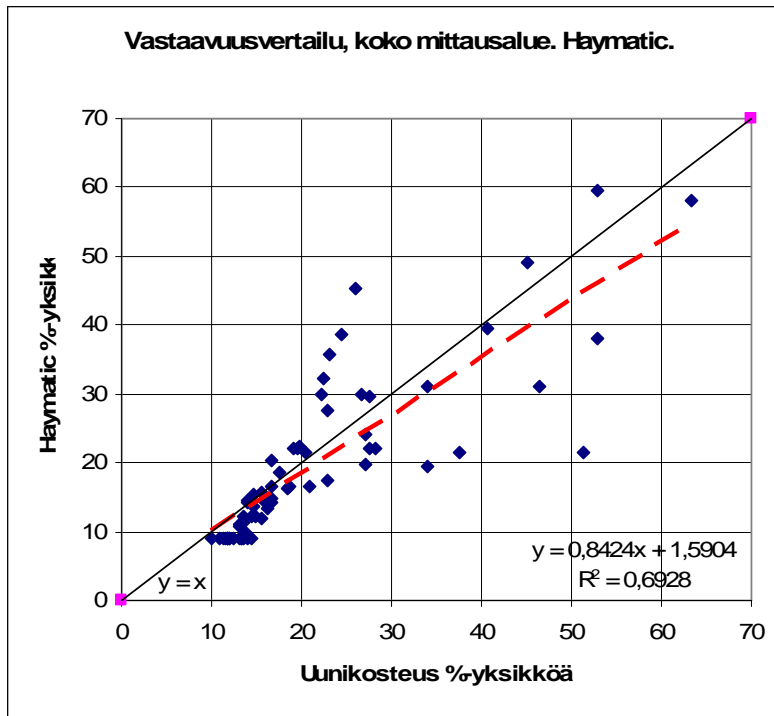
Kuva 49. Mittaustulosten keskiarvojen erotus prosenttiyksikköinä verrattuna nollassa olevaan uunikosteuteen.



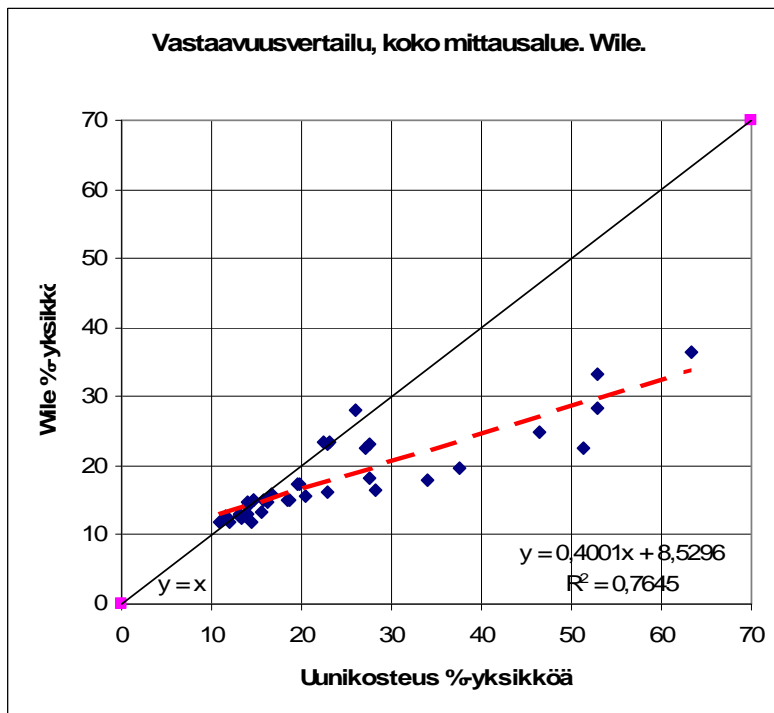
Kuva 50. Uunikosteuden ja Precisa pikakosteusmittarin mittaustuloksien vastaavuusvertailu koko mittausalueella.



Kuva 51. Uunikosteuden ja Dickey-john pikakosteusmittarin mittaustuloksien vastaavuusvertailu koko mittausalueella.



Kuva 52. Uunikosteuden ja Haymatic pikakosteusmittarin mittaustuloksien vastaavuusvertailu koko mittausalueella.



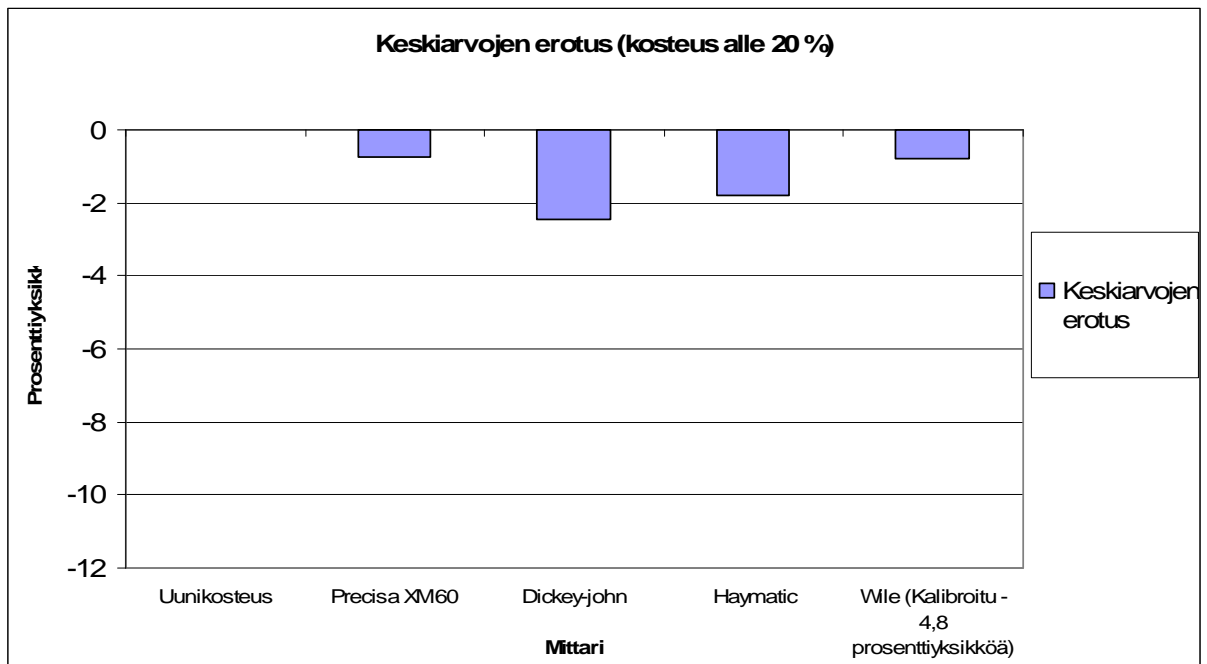
Kuva 53. Uunikosteuden ja Wile pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu koko mittausalueella.

7.5.2 Mittareiden toiminta, kun kosteus oli alle 20 %

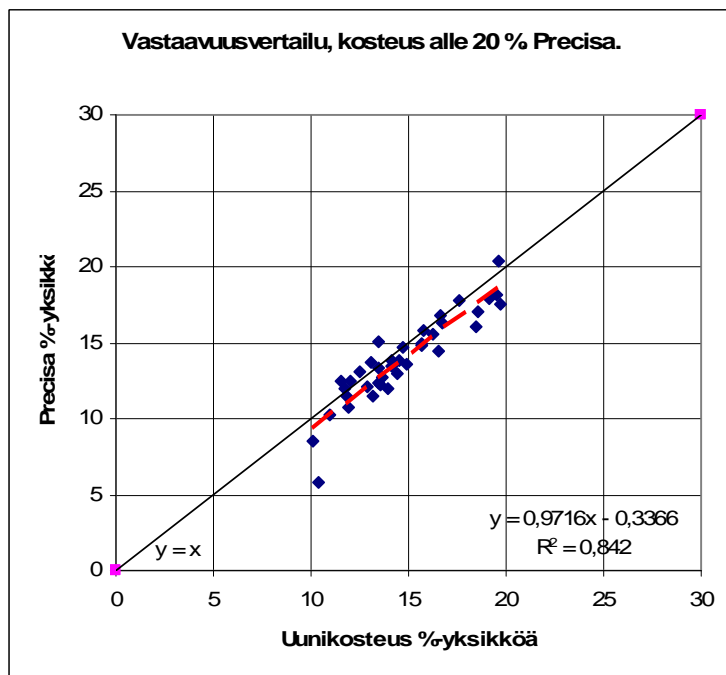
Rajattaessa mittausten tulokset alle 20 prosenttiyksikön uunikosteuksiin huomataan, että kannettavista mittareista Wile osoittautui tarkimmaksi. Mittauksia sillä suoritettiin 24 kappaletta tässä kosteusluokassa. Mittausten keskiarvojen erotus uunikosteuden ja Wilen välillä oli – 0,8 prosenttiyksikköä, kuten voidaan havaita kuvasta 54. Kuvasta 58 nähdään uunikosteuden ja Wilen mittaustuloksien vastaavuusvertailu. Trendiviivan kulmakerroin oli 0,57 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspiste oli 12,8. Mittarin tulokset olivat siis alle 12,8 prosenttiyksikön uunikosteuksissa korkeampia, kuin uunikosteuden tulokset. Yli 12,8 prosenttiyksikön uunikosteuksissa Wilen mittaustulokset olivat alempia, kuin uunikosteuden tulokset.

Toiseksi tarkin kannettava mittari oli Haymatic Digital, mittausten määrä sillä oli 41 kappaletta. Keskiarvojen erotukseksi uunikosteuden ja kyseisen mittarin välillä muodostui – 1,8 prosenttiyksikköä. Vastaavuusvertailua tarkasteltaessa huomataan, että trendiviivan kulmakerroin oli 1,49 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspiste 18,2, kuten nähdään kuvasta 57. Eli vastaavuusvertailulla tarkasteltuna Haymaticin mittaustulokset näyttivät alle 18,2 prosenttiyksikön uunikosteuksissa alempia arvoja, kuin uunikosteuden arvot. Yli 18,2 prosenttiyksikön kosteuksissa mittarin tulokset olivat korkeampia, kuin uunikosteus.

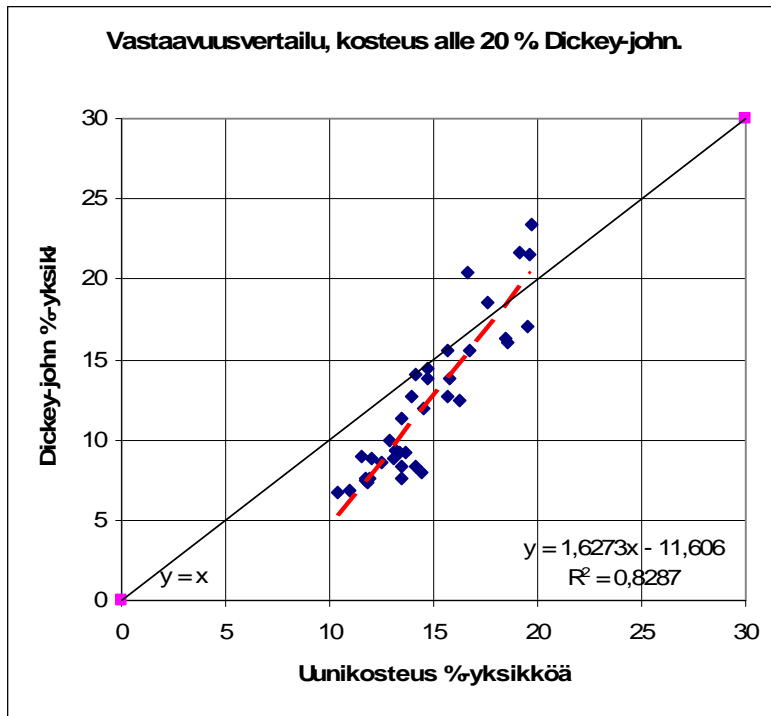
Kolmanneksi tarkin kannettava mittari oli Dickey-john ja sillä suoritettiin 38 mittausta. Mittausten keskiarvojen erotukseksi uunikosteuden ja mittarin välillä muodostui – 2,5 prosenttiyksikköä. Vastaavuusvertailun tulokset nähdään tämän mittarin osalta kuvasta 56. Trendiviivan kulmakertoimeksi muodostui 1,62 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspisteeksi muodostui 18,5. Dickey-john mittarin mittaustulokset olivat siis vastaavuusvertailulla tarkasteltaessa alle 18,5 prosenttiyksikön uunikosteuksissa alempia, kuin uunikosteuden tulokset tässä kosteusluokassa ja yli 18,5 prosenttiyksikön uunikosteuksissa korkeampia, kuin uunikosteuden tulokset. Koelaitoksen Precisa pikakosteusmittari oli myös tässä kosteusluokassa vertailun tarkin mittausten keskiarvoja sekä vastaavuusvertailua tarkasteltaessa. Sillä suoritettiin 38 mittausta ja niiden keskiarvojen erotukseksi uunikosteuteen verrattuna muodostui – 0,8 prosenttiyksikköä. Vastaavuusvertailun trendiviivan kulmakertoimeksi muodostui 0,97 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspisteeksi – 11,9, kuten havaitaan kuvasta 55. Tämän perusteella voidaan sanoa, että Precisa näytti hieman alempia tuloksia koko mittausalueella, kuin uunikosteus tässä kosteusluokassa.



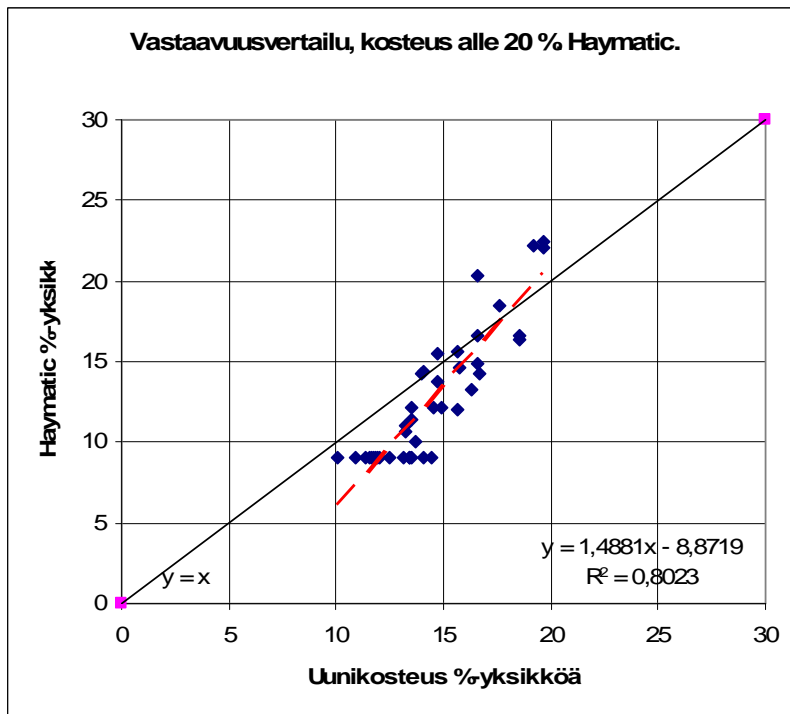
Kuva 54. Mittaustulosten keskiarvojen erotus prosenttiyksikköinä verrattuna nollatasoon olleeseen uunikosteuteen.



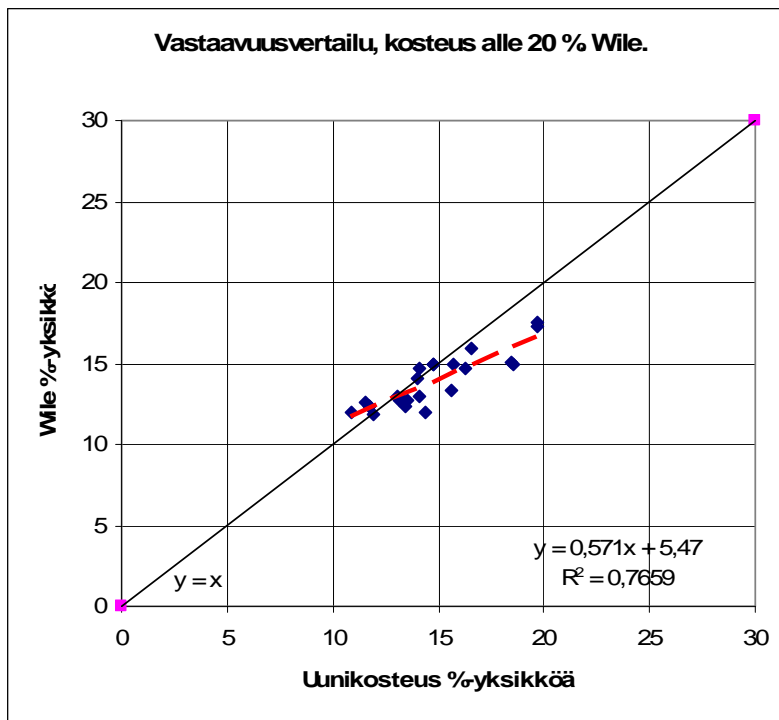
Kuva 55. Uunikosteuden ja Precisa pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu kosteuden ollessa alle 20 %.



Kuva 56. Uunikosteuden ja Dickey-john pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu kosteuden ollessa alle 20 %.



Kuva 57. Uunikosteuden ja Haymatic pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu kosteuden ollessa alle 20 %.



Kuva 58. Uunikosteuden ja Wile pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu kosteuden ollessa alle 20 %.

7.5.3 Mittareiden toiminta, kun kosteus oli yli 20 %

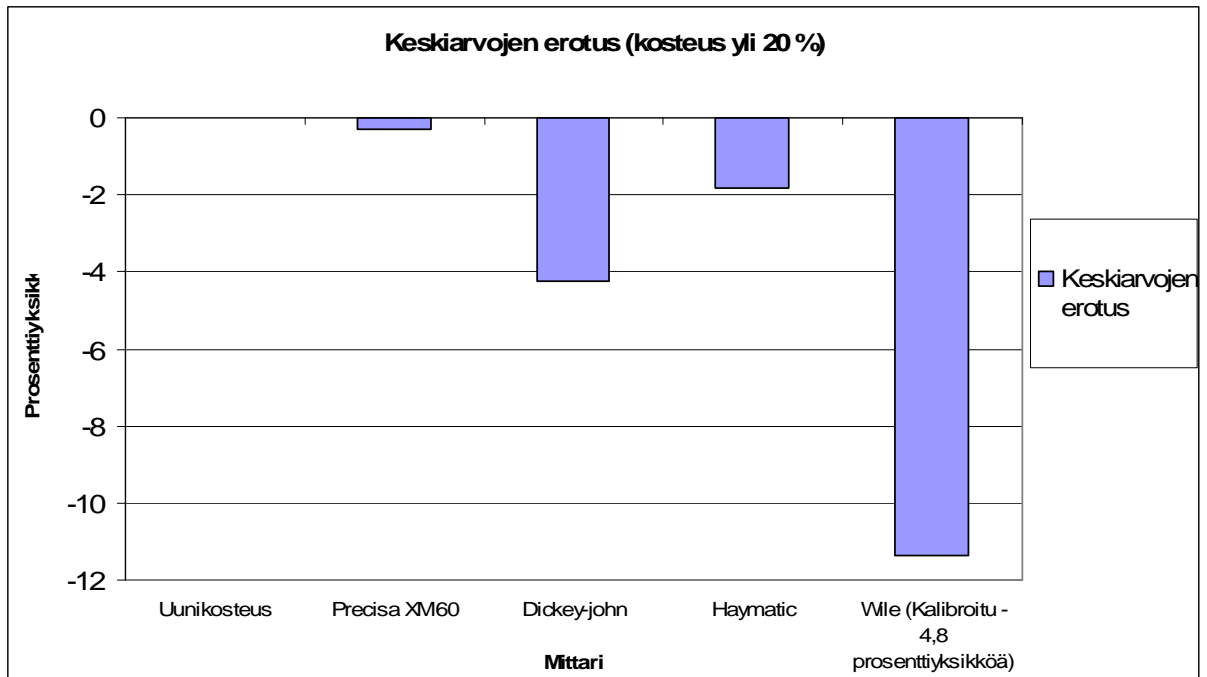
Yli 20 % kosteuksista otetut mittaukset on esitetty kuvassa 59. Tuloksista voidaan havaita, että Haymatic Digital oli tässä kosteusluokassa kannettavista pikakosteusmittareista tarkin. Mittauksia suoritettiin mittarilla 25 kappaletta. Näiden mittausten keskiarvojen erotus uunikosteuteen verrattuna oli tämän mittarin kohdalla – 1,8 prosenttiyksikköä. Vastavuusvertailu on esitetty Haymaticin ja uunikosteuden välillä kuvassa 62. Trendiviivan kulmakertoimeksi muodostui 0,57 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspisteeksi 28,9. Tästä voidaan päätellä, että Haymaticin mittaustulokset olivat alle 28,9 prosenttiyksikön uunikosteuksissa korkeampia, kuin uunikosteuden tulokset. Kosteuden noustessa yli 28,9 prosenttiyksikön mittarin tulokset olivat alempia, kuin uunikosteuden tulokset.

Toiseksi tarkin kannettava mittari oli Dickey-john. Sillä otettiin 24 mittausta, joiden keskiarvojen erotus uunikosteuteen verrattuna oli – 4,3 prosenttiyksikköä. Kuvan 61 vastaavuusvertailusta nähdään, että trendiviivan kulmakertoimeksi muodostui 0,36 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspisteeksi 26,3. Mittari näytti siis alle 26,3 prosenttiyksikön uunikosteuksissa

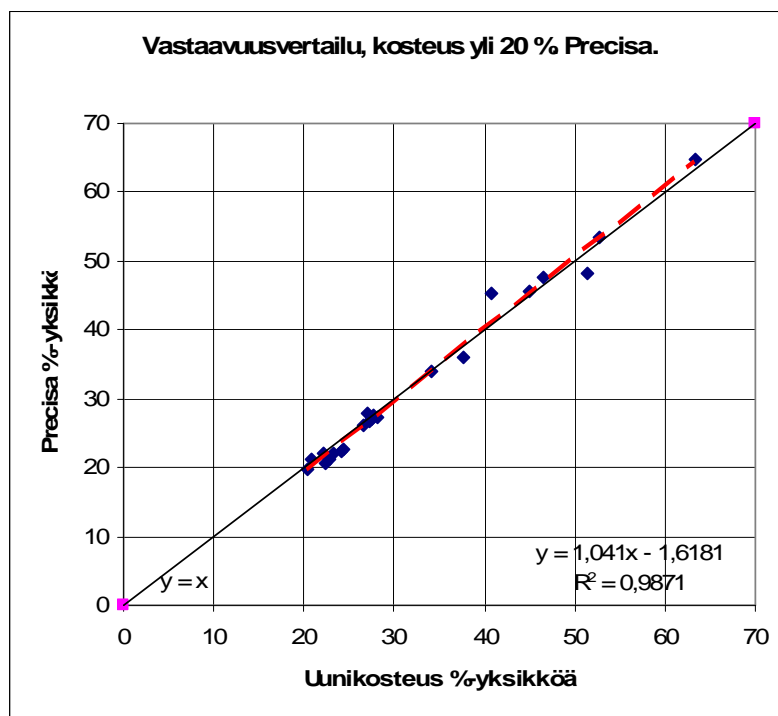
korkeampia tuloksia, kuin uunikosteus. Kosteuden noustessa yli 26,3 prosenttiyksikön uunikosteuksiin mittari näytti alempia tuloksia, kuin uunikosteus.

Selvästi epätarkimmat tulokset kannettavista mittareista antoi Wile. Kyseisen mittarin mittaustulosten keskiarvojen erotus uunikosteuteen verrattuna oli – 11,4 prosenttiyksikköä mittausten lukumäärän ollessa 17 kappaletta. Vastaavuusvertailun trendiviivan kulmakertoimeksi muodostui 0,30 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspisteeksi 18,2, kuten havaitaan kuvasta 63. Wile siis näytti tämän kosteusluokan, eli yli 20 prosenttiyksikön uunikosteuksissa selvästi alempia tuloksia, kuin uunikosteus. Mittarin näyttämän virheen suuruus kasvoi selkeästi suuremmaksi kosteuspitoisuuden noustessa, kuten voidaan havaita tarkasteltaessa trendiviivan kulmakertoimen poikkeamaa luvusta yksi tässä kosteusluokassa. Myös vertailun kaikkien muiden kannettavien pikakosteusmittareiden trendiviivan kulmakertoimen kohdalla havaittiin tässä kosteusluokassa suuri poikkeama luvusta yksi, eli mittareiden näyttämä virhe kasvoi nopeasti mentäessä leikkauspisteestä pois päin.

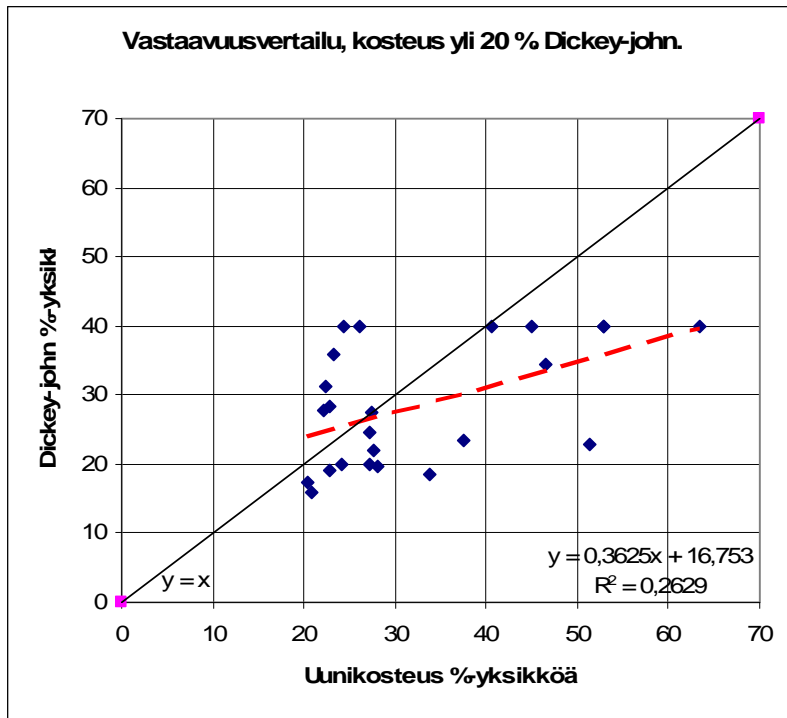
Koelaitoksen Precisa pikakosteusmittari oli edelleen vertailun kaikista pikakosteusmittareista tarkin keskiarvoja tarkasteltaessa sekä myös vastaavuusvertailua tarkasteltaessa. Sen tuloksien keskiarvon erotus verrattuna uunikosteuteen oli – 0,3 prosenttiyksikköä. Mittauksia kyseisellä mittarilla suoritettiin tässä kosteusluokassa 22 kappaletta. Vastaavuusvertailun trendiviivan kulmakertoimeksi saatiin 1,04 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspisteeksi 39,5, kuten kuvasta 60 voidaan havaita. Precisa siis näytti alle 39,5 prosenttiyksikön uunikosteuksissa hieman alempia tuloksia, kuin uunikosteus. Uunikosteuden noustessa yli 39,5 prosenttiyksikön Precisan mittaustulokset olivat hieman korkeampia, kuin uunikosteuden tulokset.



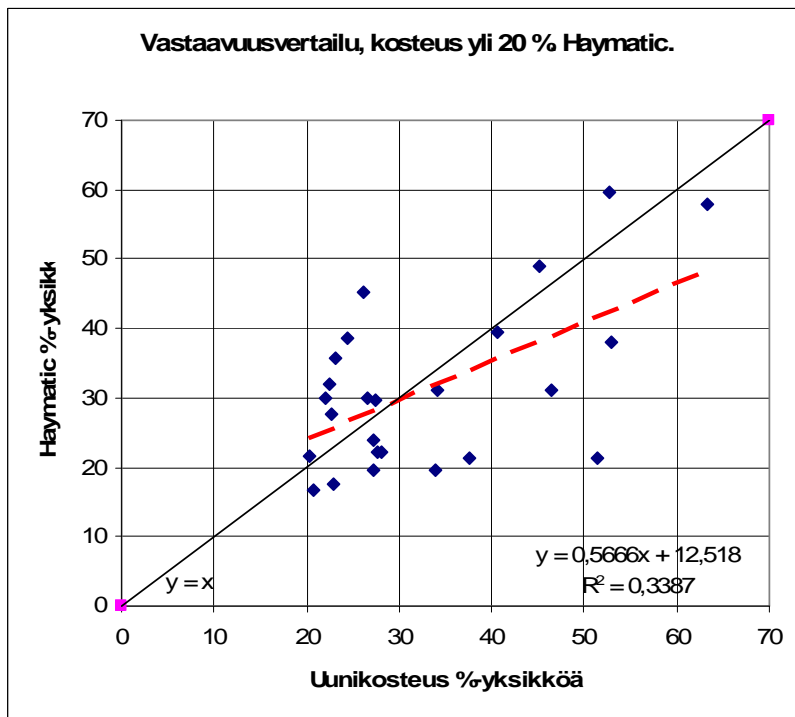
Kuva 59. Mittaustulosten keskiarvojen erotus prosenttiyksikkönä verrattuna nollatasona olleeseen unnikosteuteen.



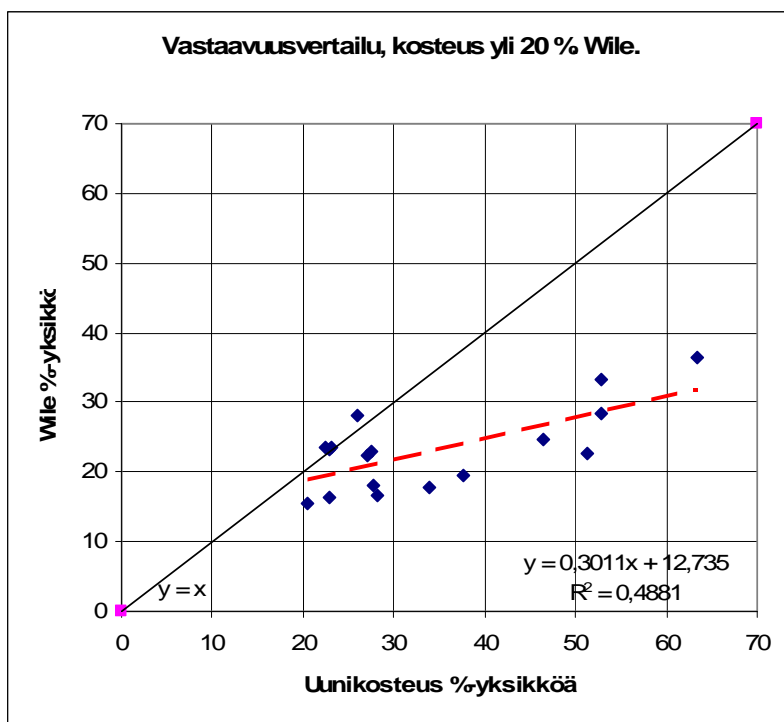
Kuva 60. Uunikosteuden ja Precisa pikosteusmittarin vastaavuusvertailu kosteuden ollessa yli 20 %.



Kuva 61. Uunikosteuden ja Dickey-john pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu kosteuden ollessa yli 20 %.



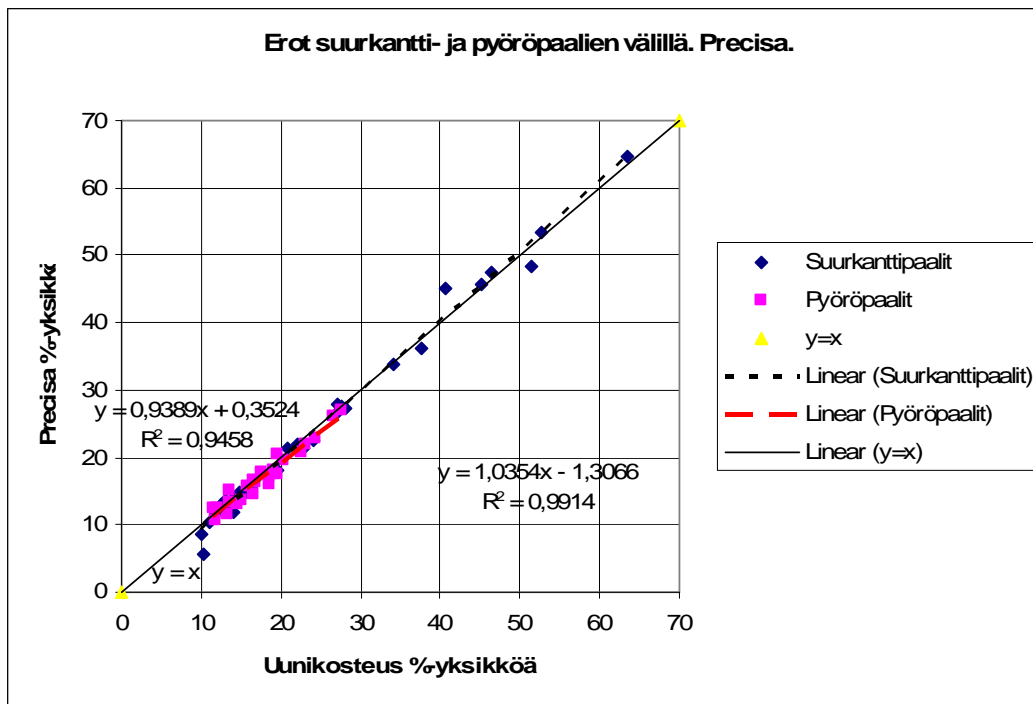
Kuva 62. Uunikosteuden ja Haymatic pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu kosteuden ollessa yli 20 %.



Kuva 63. Uunikosteuden ja Wile pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu kosteuden ollessa yli 20 %.

7.5.4 Erot Suurkantti- ja pyöröpaalien välillä

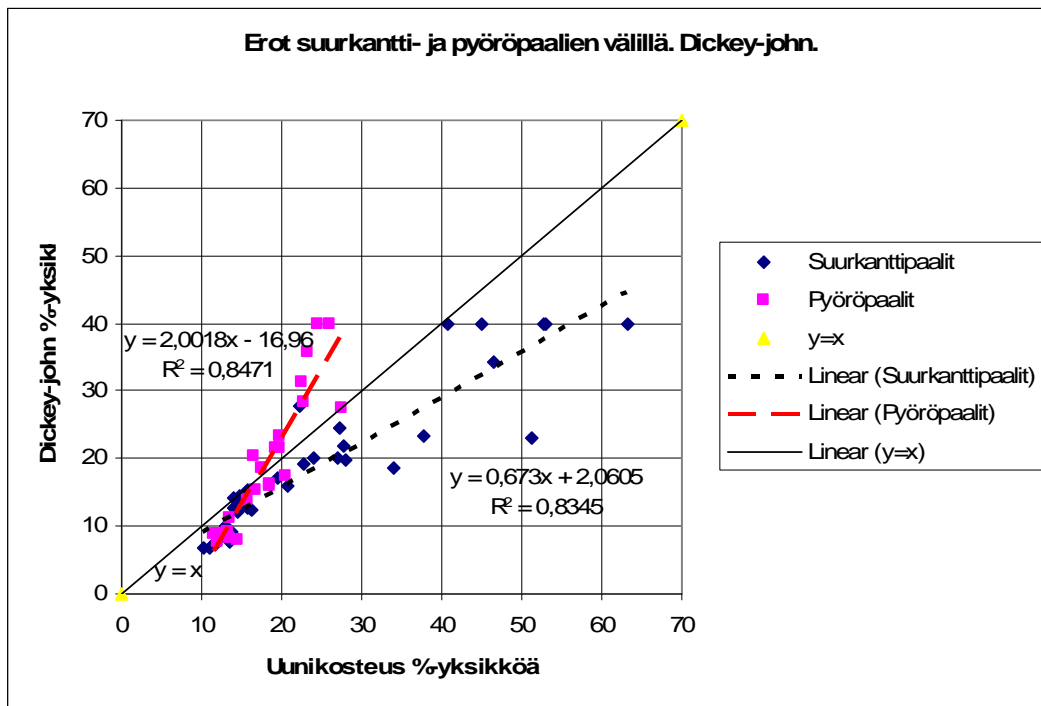
Suurkantti- ja pyöröpaalit eroavat toisistaan muun muassa tiheyden osalta merkittävästi. Suurkanttipaalit voivat painaa jopa hieman yli 200 kg/m^3 , kun taas pyöröpaalien paino vaihtelee $120 - 140 \text{ kg/m}^3$ välillä (Lötjönen ja Isolahti 2006). Paalien tiheys vaikuttaa oleellisesti kannettavien pikosteusmittareiden toimintaan, joten tästä syystä tarkasteltiin paalityyppien vaikutusta pikakosteusmittareiden antamiin mittaustuloksiin. Precisa mittarin vastaavuusvertailu suurkantti- ja pyöröpaalien osalta on esitetty kuvassa 64. Trendiviivan kulmakertoimen sekä halkaisijan ja trendiviivan leikkauspisteiden perusteella voidaan sanoa, että oleellista eroa paalityyppien välillä tämän mittarin kohdalla ei esiintynyt, kuten voitiin jo etukäteen ennustaa koska Precisa mittari mittaa kosteuden irtosilpusta, eivätkä sen mittaustulokset ole riippuvaisia paalien tiheydestä.



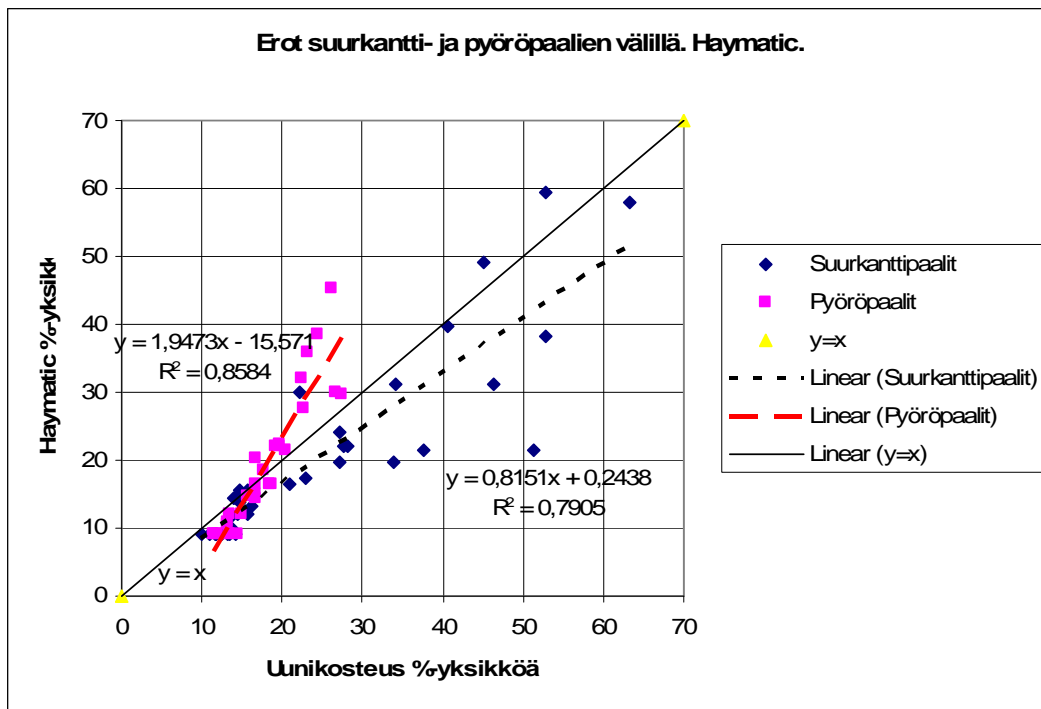
Kuva 64. Uunikosteuden ja Precisa pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu koko mittausalueella, erot suurkantti- ja pyöröpaalien välillä.

Dickey-john mittarin vastaavuusvertailu nähdään kuvasta 65. Trendiviivan kulmakertoimesta sekä halkaisijan ja trendiviivan leikkauspisteestä voidaan havaita hyvin selkeä ero suurkantti- ja pyöröpaalien välillä mittaustuloksissa. Kulmakerroin oli pyöröpaaleista suoritetuissa mittauksissa 2,00 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspiste 16,9. Suurkanttipaaleista suoritettujen mittausten trendiviivan kulmakerroin oli 0,67 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspiste oli 6,3. Tämän perusteella voidaan sanoa, että Dickey-john mittari toimii paremmin tiheämmissä paaleissa, eli siis suurkanttipaaleissa. Dickey-john mittarin mittaustulokset olivat suurkanttipaaleista suoritetuissa mittauksissa koko mittausalueella alempia, kuin uunikosteuden tulokset. Uunikosteuden kasvaessa 6,3 prosenttiyksiköstä ylöspäin mittarin virhe kasvoi suuremmaksi, kuten kuvasta 65 nähdään. Pyöröpaalien kohdalla Dickey-john mittarin trendiviivan kulmakerroin oli huomattavasti suurempi, kuin suurkanttipaalien kohdalla. Tämän perusteella voidaan sanoa, että pyöröpaaleista suoritetuissa mittauksissa Dickey-john mittarin virhe kasvaa nopeammin, kuin suurkanttipaalien kohdalla mitä kauemmaksi halkaisijan ja trendiviivan leikkauspisteestä mennään. Pyöröpaalien kohdalla Dickey-john mittarin mittaustulokset olivat alle 16,9 prosenttiyksikön uunikosteuksissa alempia, kuin uunikosteuden tulokset. Yli 16,9 prosenttiyksikön uunikosteuksissa mittarin tulokset näyttivät suurempia tuloksia, kuin uunikosteuden tulokset.

Haymatic mittarin kohdalla ero oli hyvin samaa luokkaa, kuin Dickey- john mittarin kohdalla. Kuvasta 66 nähdään, että trendiviivan kulmakerroin oli pyöröpaalien osalta 1,95 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspiste oli 16,4. Suurkanttipaaleista suoritetuissa mittauksissa trendiviivan kulmakerroin oli 0,82 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspiste oli 1,3. Haymatic näytti siis koko mittausalueella suurkanttipaaleista suoritetuissa mittauksissa alempia tuloksia, kuin uunikosteus. Mittarin virheen suuruus kasvoi mitä enemmän uunikosteus kasvoi leikkauspisteen arvosta. Pyöröpaalien kohdalla Haymatic mittarin mittaustulokset olivat yli 16,4 prosenttiyksikön uunikosteuksissa suurempia, kuin uunikosteuden antamat tulokset. Alle 16,4 prosenttiyksikön kosteuksissa Haymatic mittarin tulokset olivat alempia, kuin uunikosteuden tulokset.

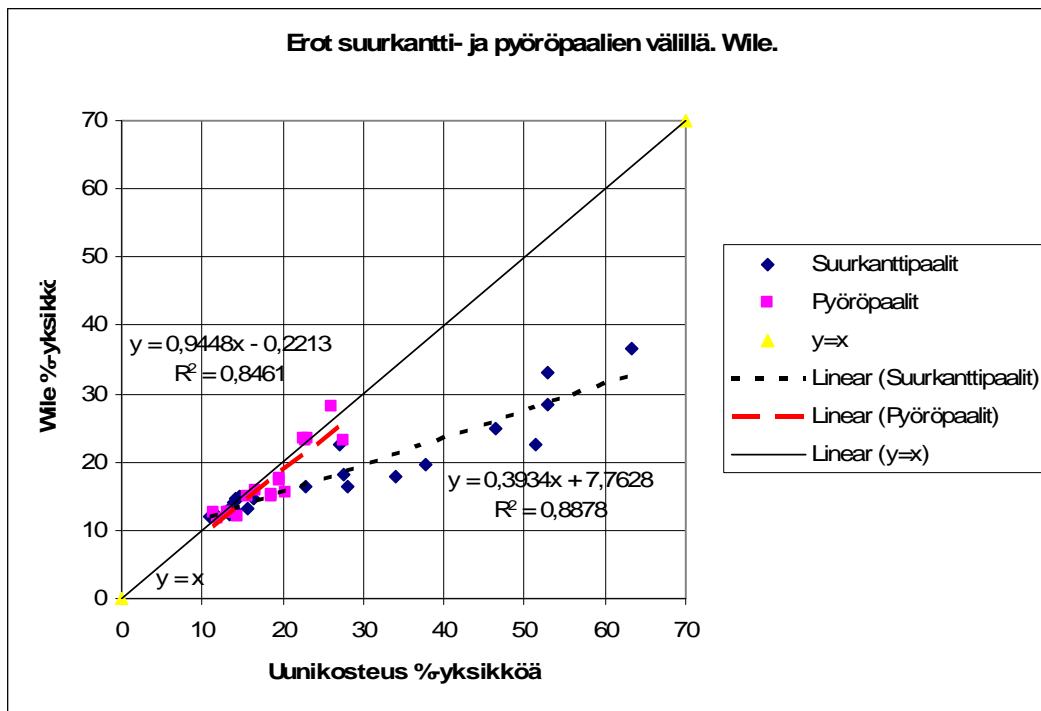


Kuva 65. Uunikosteuden ja Dickey-john pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu koko mittausalueella, erot suurkantti- ja pyöröpaalien välillä.



Kuva 66. Uunikosteuden ja Haymatic pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu koko mittausalueella, erot suurkantti- ja pyöröpaalien välillä.

Wile oli kannettavista pikakosteusmittareista ainoa, jossa oli mahdollisuus valita paalityyppi ja paalin tiheys. Kaikissa mittauksissa käytettiin tiheytenä arvoa 140 kg/m^3 ja paalityyppinä pyöröpaalia. Kuvan 67 vastaavuusvertailusta voidaan havaita, että pyöröpaaleilla trendiviivan kulmakerroin oli 0,94 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspiste oli 4,0. Suurkanttipaaleista suoritetuissa mittauksissa trendiviivan kulmakerroin oli 0,39 ja halkaisijan ja trendiviivan leikkauspiste oli 12,8. Tämän perusteella voidaan sanoa, että pyöröpaaleilla Wile näyttää koko mittausalueella alempia tuloksia, kuin uunikosteus. Suurkanttipaaleilla mittari näyttää yli 12,8 prosenttiyksikön uunikosteuksissa selkeästi alempia tuloksia kuin uunikosteus. Alle 12,8 prosenttiyksikön uunikosteuksissa Wilen mittaustulokset puolestaan ovat suurkanttipaalien osalta suurempia, kuin uunikosteuden antamat tulokset. Uunikosteuden kasvaessa leikkauspisteestä suuremmaksi Wilen virhe mittaustuloksissa kasvaa suurkanttipaalien kohdalla huomattavasti enemmän, kuten havaitaan kuvasta 67 selkeästi. Koska kaikki mittaukset suoritettiin mittarin asetuksilla, jotka vastasivat pyöröpaalin ominaisuuksia, niin oli ennustettavissa, että suurkanttipaalien mittaustulokset tulevat poikkeamaan huomattavasti pyöröpaalien mittaustuloksista.



Kuva 67. Unikosteuden ja Wile pikakosteusmittarin vastaavuusvertailu koko mittausalueella, erot suurkanti- ja pyöröpaalien välillä.

7.5.5 Mittarivertailun yhteenveto

Yhteenvetona voidaan tämän tutkimuksen mittarivertailusta todeta, että ruokohelpipaalien kosteusluokan ollessa alle 20 prosenttiyksikköä saatiin tarkimmat tulokset Wile 25 Digital mittarilla. Kuitenkaan sen antamat tulokset eivät olleet riittävän tarkkoja tarkkojen mittausten suorittamiseen, koska alle 12,8 prosenttiyksikön unikosteuksissa sen tulokset olivat liian suuria ja yli 12,8 prosenttiyksikön unikosteuksissa sen antamat tulokset olivat liian pieniä. Kosteuden noustessa Wile mittarin tarkkuus heikkeni huomattavasti. Kun tarkastellaan yli 20 prosenttiyksikön kosteusluokkaa, niin huomataan, että Wile näytti selvästi alempia tuloksia, kuin unikosteuden tulokset. Wilen näyttämän virheen suuruus kasvoi, mitä korkeammiksi mitattavien paalien kosteuspitoisuudet nousivat.

Toiseksi tarkin kannettava pikakosteusmittari alle 20 prosenttiyksikön kosteusluokassa oli Haymatic Digital. Kyseisen mittarin tulokset poikkesivat unikosteuden tuloksista hieman enemmän kuin Wilen tulokset. Haymatic näytti alle 20 prosenttiyksikön kosteusluokassa alle 18,2 prosenttiyksikön unikosteuksissa alempia tuloksia, kuin unikosteuden tulokset ja yli

18,2 prosenttiyksikön uunikosteuksissa korkeampia tuloksia, kuin uunikosteus. Rajattaessa mittaustulokset yli 20 prosenttiyksikön kosteusluokkaan huomataan, että Haymatic mittarin tulokset olivat alle 28,9 prosenttiyksikön uunikosteuksissa korkeampia, kuin uunikosteuden tulokset. Yli 28,9 prosenttiyksikön kosteuksissa Haymatic puolestaan näytti alempia tuloksia, kuin uunikosteuden tulokset mittarin virheen kasvaessa mentäessä korkeampiin kosteuspitoisuuksiin. Vertailun epätarkin mittari alle 20 prosenttiyksikön kosteusluokassa oli Dickey-john. Mittarin tulokset olivat hieman epätarkempia, kuin Haymatic mittarin. Dickey-john näytti tässä kosteusluokassa alle 18,5 prosenttiyksikön uunikosteuksissa alempia tuloksia, kuin uunikosteuden tulokset ja yli 18,5 prosenttiyksikön uunikosteuksissa korkeampia tuloksia, kuin uunikosteus. Rajattaessa mittaustulokset yli 20 prosenttiyksikön kosteusluokkaan huomataan, että Dickey-john näytti yli 26,3 prosenttiyksikön uunikosteuksissa alempia arvoja, kuin uunikosteus. Tutkimuksen kaikkia tuloksia tarkasteltaessa voidaan sanoa, että yhdenkään kannettavan pikakosteusmittarin tarkkuus ei ole riittävä tarkkoihin mittauksiin. Vertailun kaikkien kannettavien pikakosteusmittareiden toiminta perustuu sähkönjohtavuuteen, joten korkeissa kosteuspitoisuuksissa niiden tarkkuus heikkenee. Lisäksi mittareiden mittaustulokset poikkeavat toisistaan huomattavasti suurkantti- ja pyöröpaalien välillä. Tämä johtuu siitä, että suurkanttipaalit ovat merkittävästi tiheämpiä, kuin pyöröpaalit.

Mittarivertailun luotettavuutta tarkasteltaessa voidaan todeta, että mittausten menetelmien kautta tutkimukseen aiheutui hieman systemaattista virhettä. Kannettavat pikakosteusmittarit ottivat näytteen pistinanturilla 25 cm:n syvyydestä paalista, kun taas uunikosteusmääritykseen otettu näyte otettiin halkaisijaltaan 32 mm:n poranterällä koko 25 cm:n matkalta. Tällöin mittausalueesta muodostui huomattavasti suurempi, kuin pikakosteusmittareilla. Virheen kokonaisvaikutusta on vaikea arvioida mutta laadultaan epätasaisissa paaleissa sillä oli varmasti vaikutusta tuloksiin. Esimerkiksi märissä paaleissa paalin kosteaa pintaosaa pääsi lämpökaapissa määritettävään näytteeseen mukaan, jolloin näytteen kosteus nousi. Tämä kostea pintaosa ei kuitenkaan näkynyt kannettavien pikakosteusmittareiden mittaustuloksissa, koska niillä mitaus suoritettiin syvemmältä.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tarkasteltaessa koko varastointitutkimuksen tuloksia, voidaan esiin nostaa tärkeimmät tutkimuksessa tehdyt havainnot. Suurkanttipaalikokeessa trukkilavan päällä olleessa ja aumamuovilla peitetyssä paalissa esiintyi vähäistä kuivumista kaikissa kolmessa mittauspisteessä. Muiden katemateriaalien kohdalla ei vastaavaa ilmiötä havaittu. Pyöröpaalikokeessa suuria eroja ei eri katemateriaalien välillä tullut esille. Ainoastaan hyvin runsaiden sateiden jälkeen peitepaperilla peitetyissä paaleissa oli havaittavissa pientä kosteuden nousemista eli runsaiden sateiden aikana peitepaperi päästää lävitseen hieman vettä. Kevytpeite ja aumamuovi pitivät vettä hyvin koko tutkimuksen ajan. Kondensoitumista peitteiden sisäpinnoille ei havaittu yhdessäkään peitemateriaalissa tutkimuksen aikana. Varastoinnin kustannuksia tarkasteltaessa aumamuovi oli selkeästi edullisin vaihtoehto katemateriaaliksi. Edellä esitettyjen seikkojen perusteella voidaan todeta, että aumamuovi on tutkituista katemateriaaleista paras ratkaisu ruokohelpipaalien varastointiin.

Pohjamateriaalien osalta varastointitutkimuksessa parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui trukkilava. Trukkilavojen päälle varastoitujen paalien alaosien kosteuden nousemiset olivat hyvin vähäisiä, kun taas kosteuden alenemista esiintyi useissa trukkilavan päälle varastoitujen paalien alaosissa. Kustannuksia tarkasteltaessa edullisimmaksi pohjaratkaisuksi muodostui aumamuovi. Varastointitutkimuksen perusteella kuitenkin havaittiin, että aumamuovi kerää vettä päälleen ja samalla nostaa paalien alaosien kosteuspitoisuuksia. Tämän vuoksi aumamuovia ei voi suositella varastojen pohjamateriaaliksi. Toiseksi edullisin pohjaratkaisu oli trukkilavojen käyttö. Kustannuslaskelmassa trukkilavoille määritettiin kiinteä hinta. Kuitenkin trukkilavojen hinnoittelu on hyvin tapauskohtaista, riippuen hyvin paljon niiden saatavuudesta. Näiden seikkojen perusteella varastojen pohjaratkaisuksi voidaan suositella trukkilavoja tai vastaavia edullisesti saatavia materiaaleja, jotka kohottavat paalien pohjan selvästi maan pinnan yläpuolelle. Tämä on erityisen tärkeää siksi, että paalin pohja ei koskettaisi märkään maahan ja näin pääsisi kastumaan. Vertailluista pohjamateriaaleista muovi ja paljas maa keräävät kosteissa olosuhteissa vettä päälleen ja kastelevat paalin alaosaan.

Tämä varastointitutkimus oli kestoltaan viisi kuukautta toukokuusta lokakuuhun. Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta, että varastointiajan ollessa kesäkuukausina alle viisi

kuukautta pyramidin muotoisia lappeelleen varastoituja pyöröpaalivarastoja ei ole taloudellisesti kannattavaa välttämättä kattaa tai käyttää niiden alla pohjamateriaalia. Suurkanttipaalivarastot sen sijaan tulisi peittää koska ne ovat huomattavasti herkempiä kastumaan, kuin lappeelleen varastoidut pyöröpaalit. Tällöin niiden alle ei kuitenkaan ole välttämätöntä asettaa pohjamateriaalia. Varastointiajan ollessa yli viisi kuukautta ja etenkin varastoinnin kestäessä talven yli kaikki varastot tulisi peittää aumamuovilla ja asettaa niiden alle sellainen pohjamateriaali, että paali ei kosketa maahan. Kastuminen aiheuttaa kuitenkin myös muita ongelmia, kuin vain menetetyt megawattitunnit. Kosteus aiheuttaa homehtua ja pilaantua herkästi ja aiheuttaa kosteana ongelmia voimalaitosten syöttölaitteissa. Tämä taas aiheuttaa lisäkustannuksia, joiden vaikutusta ei tässä tutkimuksessa ole tarkasteltu. Lisäksi kostuminen lisää mikrobiologista toimintaa ja sen myötä terveysriskit kasvavat helpipolttoainetta käsittelevillä henkilöillä. Voimalaitosten polttoaineena ruokohelpeä käytetään vielä hyvin vähän verrattuna esimerkiksi turpeeseen. Pienetkin ongelmat ruokohelven käsittelyssä voimalaitoksissa voivat vaikuttaa negatiivisesti helven yleistymiseen voimalaitosten polttoaineena. On siis tärkeää kiinnittää erityistä huomioita myös ruokohelven laadullisiin tekijöihin. Tarkasteltaessa ruokohelpivarastojen peittämistarvetta on siis syytä miettiä myös muiden seikkojen kuin vain tämän tutkimuksen perusteella saatujen tuloksien vaikutusta kokonaisuuteen.

Kannettavien pikakosteusmittareiden vertailussa havaittiin Wile 25 Digital mittarin olevan kalibroitu tarkoin alle 20 % kosteuksissa. Jos vertaillaan koko mittausalueen tuloksia, niin silloin tarkimmaksi kannettavaksi pikakosteusmittariksi osoittautui Haymatic Digital. Kuitenkaan yhdenkään vertailussa olleen kannettavan pikakosteusmittarin toiminta ei ollut riittävän tarkkaa tarkkojen mittausten suorittamiseen. Seuraavassa luettelossa on esitetty johtopäätökset erikseen luvussa 5 esitettyihin tavoitteisiin.

1. Ruokohelpipaalien kosteuden mahdollisimman kuivana pitkäaikaisen varastoinnin aikana säilyttävä varastoratkaisu on sellainen jossa alimpien paalien alla on pohjamateriaali, joka estää paalien koskemisen märkään maahan. Katemateriaaleista paras ratkaisu on aumamuovin kaltainen peite, joka ei kondensoi vettä.

2. Edullisin varastoratkaisu tutkituista materiaaleista ruokohelpipaalien varastointiin on varasto, joka on perustettu aumamuovin päälle ja joka on peitetty aumamuovilla.
3. Optimaalisin varastoratkaisu ruokohelpipaalien varastointiin on trukkilavojen päälle perustettu varasto, joka on peitetty aumamuovilla.
4. Tarkin kannettava pikakosteusmittari ruokohelpipaalien kosteuden määrittämiseen vertailussa olleista mittareista on Wile 25 Digital paalien kosteuden ollessa 10 – 20 %. Mittarin toiminta ei kuitenkaan ole riittävän tarkkaa tarkkojen mittausten suorittamiseen.

LÄHTEET

Ahokas, J. 2008. Materiaalien ominaisuudet, säilyvyys ja kuivuminen. AGTEK410 luento-
moniste.

Aikasalo, R., Laurinen, J., Liespuu, J. 2008. Hyväksytyt mallasohralajikkeet 2008. [Viitattu
17.6.2008]. <http://www.agronet.fi/mallasohra/v3hyvaksytyt_mallasohralajikkeet.htm>

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Otamedia Oy, Es-
poo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 2045. 158 s.

Anon. 2008, a. Halmlagring. Pajse teknik utveckling. [Viitattu 14.8.2008].
<http://www.pajse.se/teknikutveckling/produkter_halmlagring.php>

Anon. 2008, b. POMI Industri ApS, Wrap 5. [Viitattu 14.8.2008].
<<http://www.pomi.dk/index.HTM>>

Danish Technological Institute. 2007, a. Production of big straw bales, transport and storing
for district heating plants up to 14 MW. Eubionet2. Fact sheet 11 – Denmark. [Viitattu
14.8.2008]. <<http://www.eubionet.net/ACFiles/Download.asp?recID=4862>>

Danish Technological Institute. 2007, b. Production of big straw bales, straw pellets, transport
and storing for power plants and CHP plants. Eubionet2. Fact sheet 12 – Denmark. [Viitattu
14.8.2008]. <<http://www.eubionet.net/ACFiles/Download.asp?recID=4863>>

Finbio. 2008. Bioenergiaa lisää 50 TWh - Nykyisestä 100 TWh:sta 150 TWh:iin vuoteen
2020. [Viitattu 4.2.2009]. <<http://www.finbio.fi/ACFiles/TiedostoDetails.asp?recID=5050>>

Flyktman, M. 1998. Ruokohelven seospolito turpeen ja puun kanssa. 36 s, 4 liitt.

Flyktman, M. & Paappanen, T. 2005. Ruokohelven käyttökapasiteettiselvitys. [Viitattu
5.6.2008]. <[http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2006/siirto/trm2006_1_ruokohelven%20k%C3%A4ytt%C3%B6kapasiteettiselvitys%20lopullinen%20\(2\).pdf](http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2006/siirto/trm2006_1_ruokohelven%20k%C3%A4ytt%C3%B6kapasiteettiselvitys%20lopullinen%20(2).pdf)>

Ginström, T., Haaranen, T., Luomanperä, S., Lähdetie, P., Oravuo, M., Pietola, K., Suojanen,
M., Virolainen, J., Knuutila, K., Ovaska, S. & Vainio-Mattila, B. Peltoviljelyn tulevaisuuden
linjaukset Suomessa. MMM. Työryhmämuistio 2005:15. 44 s, 1 liitt.

Hadders, G & Hemming, J-G. 1994. Utomhuslagring av halm och gräs i storbalar. Jordbruks-
tekniska institutet. Teknik för lantbruket.

Huisman, W., Jenkins, B.M. & Summers, M.D. 2002. Cost evaluation of bale storage systems
for rice straw. In Proceedings Bioenergy 2002, Omnipress Madison, Wisconsin, Tenth Bien-
nal Bioenergy conference.

Huisman, W. 2003. Optimising harvesting and storage systems for energy crops in the Neth-
erlands. Proceeding of the international conference on crop harvesting and processing, 9 -11
February 2003.

Kymäläinen, H-R. 2008. Kosteuden mittaaminen. YFYS1 Fysiikka 1 luentomoniste. [Viitattu 19.8.2008]. <http://www.mm.helsinki.fi/MMTEK/opiskelu/kurssit/yfys1/YFYS1_M6_Kosteus_111007.pdf>

Lamminen, P., Isolahti, M. & Huuskonen, A. 2005. Turvesoiden jatkokäyttö turvetuotannossa. [Viitattu 24.6.2008]. <<http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts101.pdf>>

Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E., Käyhkö, V., Kaipainen, H., Hokkanen, M. & Leinonen, A. 2000. Korsibiomassojen irtokorjuumenetelmän kehittäminen seospolttoaineiden tuotantoon. In: Salo, R. (ed.). Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Tutkimuksen loppuraportti, osa 2. Ruokohelven ja oljen korjuu, tuotantokustannukset ja polttotekniikka. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 85. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. [Viitattu 11.8.2008]. <<http://www.mtt.fi/asarja/pdf/asarja85.pdf>>

Luoma, H., Peltonen, S., Helin, J. & Teräväinen, H. 2006. Maatilayrityksen bioenergian tuotanto. ProAgria Maaseutukeskusten liiton julkaisuja 1027. 95 s.

Lötjönen, T & Isolahti, M. 2006. Ruokohelven korjuuhävikkiä mahdollista vähentää. Käytännön Maamies. 10, 34 - 36.

Lötjönen, T. 2008. Ohjeita ruokohelven korjuuseen. [Viitattu 13.8.2008]. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/www/Hankkeet/Ruokohelvest%E4%20energiaa/Viljelyoppaat%20ja%20raportit/korjuuohjeet_2_2008.pdf>

Mettler Toledo. 2008. Methods of moisture content determination.

Nikolaisen, L., Nielsen, C., Larsen, M., Nielsen, V., Zielke, U., Kristensen, J. & Holm-Christensen, B. 1998. Straw for energy production technology – environment – economy. [Viitattu 14.8.2008]. <<http://www.videncenter.dk/uk/index.htm>>

Paappanen, T., Lindh, T., Kärki, J., Impola, R. & Rinne, S. 2008. Ruokohelven tuotanto- ja toimitusketju ja käyttö polttoaineena voimalaitoksissa. [Viitattu 11.8.2008]. <http://www.smts.fi/mpol2008/index_tiedostot/Esitelmat/es040.pdf>

Pahkala, K. & Mela, T. 2000. Ruokohelven viljelymenetelmät. In: Salo, R. (ed.). Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Tutkimuksen loppuraportti, osa 1. Ruokohelven jalostus ja viljely. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 84. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. s. 15 – 31.

Pahkala, K. & Enroth, A. 2007. Ruokohelvi. In: Keskitalo, M., Hakala, K. & Harmoinen, T. Erikoiskasvien viljely. ProAgria Maaseutukeskusten liiton julkaisuja 1034. s. 68 - 73.

Pahkala, K., Isolahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman, T. 2005. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. [Viitattu 5.6.2008]. <<http://www.mtt.fi/met/pdf/met1b.pdf>>

Rahkonen, J. 2006. Ruokohelpin tie pellolta polttoon. [Viitattu 13.8.2008].
<http://www.turveliitto.fi/user_files/files/Motivan_Ruokohelpi2006esite.pdf>

Reinikainen, O. 2007. Ruokohelven käyttö polttoaineena. Kainuun bioenergiaseminaari. Paltamo 26.11.2007. [Viitattu 3.7.2008].
<http://www.kajaaninyliopistokeskus.oulu.fi/seminaarit/261107OReinikainen_Ruokohelven_kaytto_polttoaineena.pdf>

Reinikainen, O., Pahkala, K. & Suominen, M. 2008. Ruokohelven viljely. In: Sarkkola, S. (ed.). Suomi – Suoma.

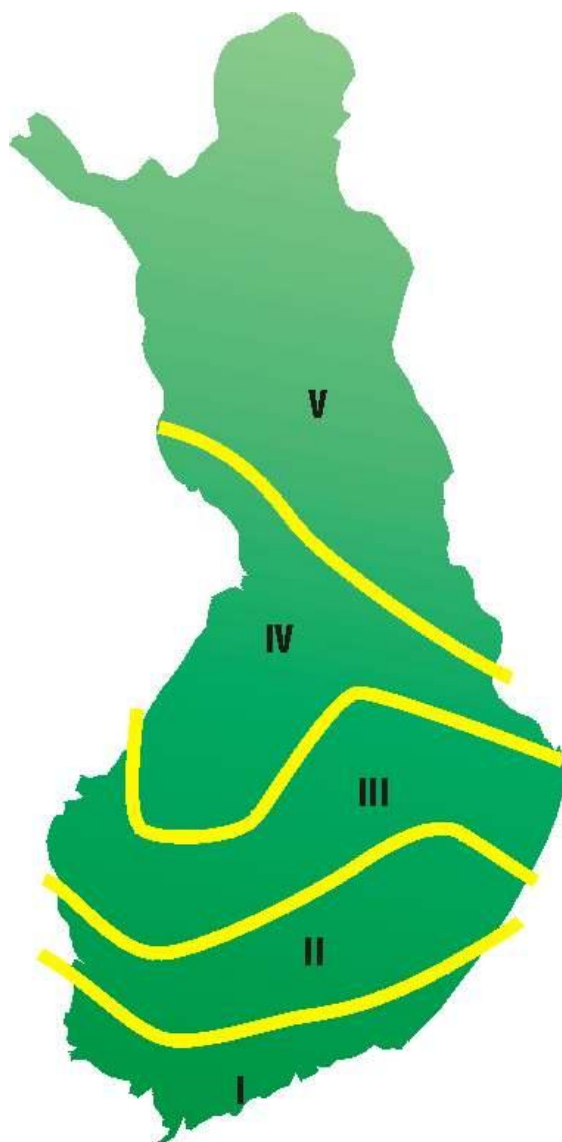
Siltaloppi, L. 2007. Polttoainenäytteen kokonaiskosteuden määrittäminen. Vapo Oy. Työohje.

Vapo Oy. 2008. Ruokohelven viljely-, korjuu ja varastointiohjeet. [Viitattu 12.8.2008].
<http://www.vapo.fi/filebank/3589-ruokohelpi_viljelyesite_www08.pdf>

Yrjölä, H. 2008. Ruokohelpipaalien varastointikustannukset 2008. Julkaisematon moniste.

LIITTEET

LIITE 1. Viljelyvyöhykkeet Suomessa (Aikasalo ym. 2008).



LIITE 2. Pyöröpaalien lappelleen varastointikokeen kosteusmittauksien tulokset.

Pyöröpaalikoe Sirkkasuo

9=<10
80=>80

5=Paljas

6=Paperi

A=Trukkilava

B=Aumamuovi

C=Paljas

A=Trukkilava

B=Aumamuovi

C=Paljas

Huom.	Pvm.	5A1	5A2	5A3	5B1	5B2	5B3	5C1	5C2	5C3	6A1	6A2	6A3	6B1	6B2	6B3	6C1	6C2	6C3
Kosteaa!	10.6.2008	24	13,2	12,8	72,8	22,2	25	11,1	10,4	10,1	45,5	23	32,8	39,6	22,2	24,7	45,7	21,9	19,6
	27.6.2008	22	15,5	15,4	57,9	33	26	10,6	9	9	41	29,8	19,7	43,4	23,4	26,2	41,5	34,1	27,5
	10.7.2008	25,3	16,1	15,8	60,4	32,5	29,4	11,2	9	9	53,1	31,6	28	49,5	24,7	26,5	39,5	36,5	27,4
	24.7.2008	21,6	16,5	16	60,1	38,1	29	15,1	9	10,8	46,6	33	29,9	40,2	26,1	26,4	42,9	36,9	25
	7.8.2008	21,2	16,3	14,5	60,2	34,4	28	20,4	9	9	41,7	26,5	20,7	47,5	24,1	24,1	41,7	34	25,1
	21.8.2008	24,5	18,5	16,5	56,7	36,2	34,1	23,3	10,9	10,8	45,7	26,8	21,6	60,5	24,5	24,3	40,6	35,5	20,7
Kosteaa!	3.9.2008	23,1	17,3	15,1	80	25,7	30	21,6	11,1	11	34,1	24,1	20,4	39,8	22	23	38,5	31,9	22,1
	17.9.2008	23	15,7	15	80	26	31,4	17,7	10,6	9	34,9	24,1	22	42,5	22,7	21,2	34,4	29,6	20,2
	30.9.2008	19,5	16,5	15,1	80	25,2	31	19	9	14,1	32,6	23,1	21,8	36,1	21,4	21,2	34,7	27,8	21,8

7=Aumamuovi

8=Kevytpeite

A=Trukkilava

B=Aumamuovi

C=Paljas

A=Trukkilava

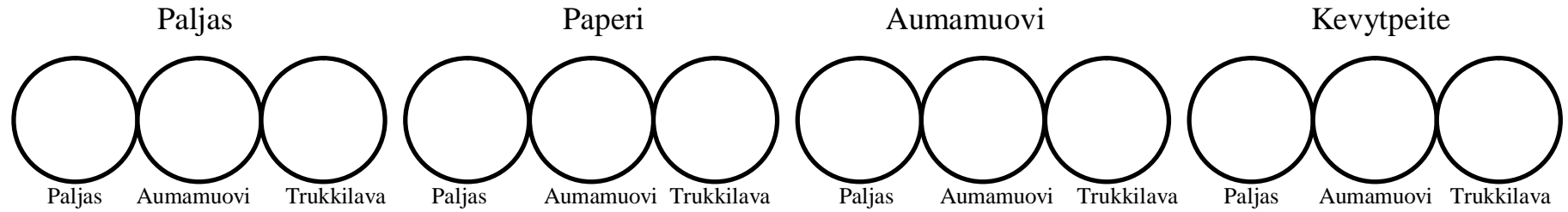
B=Aumamuovi

C=Paljas

Huom.	Pvm.	7A1	7A2	7A3	7B1	7B2	7B3	7C1	7C2	7C3	8A1	8A2	8A3	8B1	8B2	8B3	8C1	8C2	8C3
Kosteaa!	10.6.2008	20,7	18,2	25	22	10,5	11,2	54,4	31,4	25,5	9	9	9	15,6	22,1	15,1	26	17,5	18,1
	27.6.2008	20,8	19,9	27,3	14,9	10,8	13,6	39	18,5	36,3	9	9	9	16,1	19,4	14,1	39,2	18,5	13,2
	10.7.2008	28,1	18,4	39,3	18,6	11	13,8	26	18,3	32,1	10,3	9	9	17	22,4	12,2	37,2	18	14,8
	24.7.2008	27,9	18,1	31	19	11,3	14,6	21,7	14,2	31	10,8	10,2	9	16,7	19,8	15,1	45,3	19,1	13,4
	7.8.2008	26,5	18,7	31,2	18,3	11,1	14,2	22,1	13	24,4	9	9	9	17,5	15,5	13,1	40,3	17,5	13,3
	21.8.2008	25,6	17,6	28,9	18,1	11,6	13,9	19,8	15,5	25,9	11	10,3	10,1	17,6	16,7	16,4	35,9	20,7	12,1
Kosteaa!	3.9.2008	24,6	17,1	27,7	17,1	11,3	13,5	19	14,8	23	9	9	9	17,2	17,7	12,8	32,5	16,9	12,7
	17.9.2008	24,3	16,5	26,1	16,6	10,7	12,7	19,6	14,6	24,5	10,7	9	9	17,2	15	13,7	28,6	19,7	13,3
	30.9.2008	23,4	16	26	16,2	11	13	19,9	14,1	24,3	9	10,4	9	17,2	14,9	16,8	27,6	16	12,4

LIITE 3. Pyöröpaalien lappelteen varastointikokeen mittauspisteiden numerointikaavio.

Pyöröpaalikoe Sirkkasuo



5C3	5B3	5A3	6C3	6B3	6A3	7C3	7B3	7A3	8C3	8B3	8A3
5C2	5B2	5A2	6C2	6B2	6A2	7C2	7B2	7A2	8C2	8B2	8A2
5C1	5B1	5A1	6C1	6B1	6A1	7C1	7B1	7A1	8C1	8B1	8A1

LIITE 4. Pyöröpaalien pystyvarastointikokeen kosteusmittauksien tulokset.

Pyöröpaalikoe Sirkkasuo

9=<10

80=>80

A= Paljas maa, ei katetta

B= Paljas maa, katteena kevyt-
peite

C= Aumamuovi, katteena kevyt-
peite

D= Aumamuovi, ei katet-
ta

Huom.	Pvm.	9A1	9A2	9A3	9A4	9B1	9B2	9B3	9B4	9C1	9C2	9C3	9C4	9D1	9D2	9D3	9D4
	27.6.2008	15,4	16,1	10,9	15,6	25	18	11,2	13,5	30,5	28	14,7	15,5	16,6	18,4	13,2	25,5
	10.7.2008	19,2	16,6	11,1	17,3	35,5	18,7	12,5	14,1	34	30,5	17	17,1	18,5	18,8	12,6	24,3
	24.7.2008	22	16,6	11,4	46	39,6	18,5	11,4	14,9	39,7	26,1	14,7	15,2	19,7	18	15,4	33,8
	7.8.2008	24,9	16,4	12	42,9	40	19,5	11,8	14,6	42,3	24,3	13,9	14,6	23,9	18	16,3	29,9
	21.8.2008	31	17,1	24,9	47	64,5	20,2	12,7	14,8	66,8	24,2	14	15,4	30,7	19,2	36,7	46,4
Kosteaa sää!	3.9.2008	35,6	17	24	45	60	20,4	12,5	14,4	55	23,2	14,1	15,8	36,5	20,1	38,5	80
	17.9.2008	34,2	15,5	21,2	68,1	56,1	18,7	12,2	13,4	56,7	22,1	12,9	15,4	44	18,8	32,6	58
	30.9.2008	35,3	16	21,1	65,1	55,5	19,4	12	13,1	50	22	13,7	16	52	19,1	27,7	61,4

LIITE 5. Pyöröpaalien pystyvarastointikokeen mittauspisteiden numerointikaavio.

Pyöröpaalikoe Sirkkasuo

Paljas

Kevytpeite

Paljas

Paljas

Aumamuovi

9A4
9A3
9A2
9A1

9B4
9B3
9B2
9B1

9C4
9C3
9C2
9C1

9D4
9D3
9D2
9D1

LIITE 6. Suurkanttipaalikokeen kosteusmittauksien tulokset.

Suurkanttipaalikoe Linnansuo

9=<10

80=>80

1=Paljas

2=Aumamuovi

A=Trukkilava

B=Aumamuovi

C=Paljas

A=Trukkilava

B=Aumamuovi

C=Paljas

Pvm.	1A1	1A2	1A3	1B1	1B2	1B3	1C1	1C2	1C3	2A1	2A2	2A3	2B1	2B2	2B3	2C1	2C2	2C3
22.5.2008	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
6.6.2008	9	9	10,9	10,2	9	17,7	9	9	9	13	11,4	11,5	9	9	10,4	9	9	9
26.6.2008	9	12,6	67,7	10,4	14,2	60,8	10,5	12	49,4	12,1	10,6	9	10,7	9	9	9	9	9
9.7.2008	10,4	11,4	59	10,7	14,2	49	11,1	12	45,4	11,2	11,2	10,2	11,1	9	10,3	10,8	9	9
23.7.2008	10,2	11,3	75,2	11,6	15,8	75,5	11,4	13,4	42,2	11,7	11,5	9	11,4	9	9	11,3	9	9
6.8.2008	9	12	59,4	11,6	31,7	68,5	11	12,5	26,5	11,1	11,2	9	12,4	9	9	11,3	9	9
20.8.2008	12,1	48,7	66,5	23,1	35,8	68,3	13,4	26,1	38,4	12,9	11,3	9	11,5	9	9	12,7	9	10,2
2.9.2008	11,4	37,6	56,7	18	28	63,2	14,5	20	73,1	11,9	10,9	9	11,4	9	9	13	9	9
16.9.2008	12,6	43,5	52,5	17	26,5	57,5	15,3	21,7	71	12,4	11	9	11,3	9	9	13,8	9	9
29.9.2008	12,4	44,4	54,3	17	25,2	62,7	14,7	22,7	60,1	12,2	10,8	9	11	9	9	13,8	9	9

3=Kevytpeite

4=Paperi

A=Trukkilava

B=Aumamuovi

C=Paljas

A=Trukkilava

B=Aumamuovi

C=Paljas

Pvm.	3A1	3A2	3A3	3B1	3B2	3B3	3C1	3C2	3C3	4A1	4A2	4A3	4B1	4B2	4B3	4C1	4C2	4C3
22.5.2008	9	9	9	9	9	9	10,8	11,9	11,9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
6.6.2008	9	9	9	9	9	9	20	13	17,4	9	9	9	9	9	9	9	9	9
26.6.2008	9	9	9	9	9	9	23,1	17,8	18,7	9	9	9	9	9	9	11,8	9	9
9.7.2008	9	9	9	9	9	9	21	16,7	17,4	9	9	9	9	9	9	13,2	9	9
23.7.2008	10,1	9	9	9	9	9	20,8	17,2	17,9	9	9	9	10	9	9	15,2	9	9
6.8.2008	9	9	9	9	9	9	20	14,8	16,6	9	9	9	9	9	9	16,4	9	9
20.8.2008	10,8	9	9	9	9	9	19,3	15,5	15,8	9	9	9	9	9	10,8	16,8	10	10,4
2.9.2008	10,1	9	9	9	9	9	22,8	15,4	16	9	9	9	9	9	9	19,7	9	9
16.9.2008	10,2	9	9	9	9	9	21,7	15,1	16	9	9	9	9	9	9	18	9	9
29.9.2008	10,9	9	9	10,1	9	9	21,6	15,1	16,8	9	9	9	9	9	9	23,1	9	9

LIITE 7. Suurkanttipaalikokeen mittauspisteiden numerointikaavio.

Suurkanttipaalikoe Linnansuo

Paljas

--	--	--

Trukkilava Aumamuovi Paljas

Aumamuovi

--	--	--

Trukkilava Aumamuovi Paljas

Kevytpeite

--	--	--

Trukkilava Aumamuovi Paljas

Paperi

--	--	--

Trukkilava Aumamuovi Paljas

1A3	1B3	1C3
1A2	1B2	1C2
1A1	1B1	1C1

2A3	2B3	2C3
2A2	2B2	2C2
2A1	2B1	2C1

3A3	3B3	3C3
3A2	3B2	3C2
3A1	3B1	3C1

4A3	4B3	4C3
4A2	4B2	4C2
4A1	4B1	4C1

LIITE 8. Kannettavien pikakosteusmittareiden vertailun mittau tulokset.

Näyte	Precisa XM 60	Uunikosteus	Dickey-john	Haymatic	Wile (Kalibroitu -4,8)
1	8,55	10,06		9	
2	12,19	13,53		11,35	
3	33,84	34,1		31,2	
4	14,5	16,57		14,9	
5	13,64	14,95		12,1	
6	26,19	26,6		30	
7		11,39		9	
8		16,57		16,6	
9	22,4	24,07	20,06		
10	18,13	19,53	17		
11	12,07	12,92	10,01		
12	5,76	10,37	6,7		
13	10,3	10,93	6,8	9	12
14	12,01	13,98	12,7	14,3	14,1
15	36,12	37,63	23,3	21,4	19,6
16	53,45	52,79	40	59,5	33,2
17	22,08	23,18	35,8	35,8	23,5
18	10,72	11,90	7,6	9	11,8
19		11,69	7,5	9	12,3
20		14,75	13,8	13,7	15
21		52,90	40	38,1	28,4
22		33,89	18,5	19,6	17,8
23		13,37	9,2	9	12,7
24		22,79	28,3	27,7	23,1
25		26,04	40	45,3	28
26		13,19	9,3	11	12,7
27	12,02	11,76	7,6	9	12,3
28	13,85	14,11	14,1	14,4	14,7
29	47,57	46,43	34,3	31,1	24,8
30	21,32	22,84	19,1	17,5	16,3
31	12,43	11,52	9	9	12,6
32	16,75	16,60	20,4	20,3	15,9
33	20,72	22,48	31,3	32,1	23,5
34	16,02	18,50	16,3	16,4	15,1
35	13,07	12,46	8,6	9	
36	13,85	14,51	12	12,2	
37	21,21	20,83	16	16,6	
38	45,66	45,05	40	49,1	
39	17,75	17,62	18,6	18,5	
40	12,45	12,04	8,8	9	
41	15,05	13,48	11,3	12,1	
42	22,76	24,45	40	38,6	
43	12,76	13,69	9,2	10	
44	11,46	11,81	7,4	9	
45	14,99	15,65	15,5	15,6	
46	27,95	27,11	20,1	19,7	

47	45,23	40,69	40	39,6	
48	22,08	22,13	27,9	30	
49	11,46	13,21	9,3	10,7	
50	17,96	19,18	21,7	22,2	
51	16,27	16,71	15,5	14,3	
52	12,36	13,43	7,6	9	12,3
53	14,82	15,65	12,7	12	13,3
54	48,24	51,37	22,9	21,4	22,6
55	64,64	63,36	40	58	36,5
56	17,58	19,69	23,4	22,4	17,5
57	13,7	13,10	8,8	9	13
58	14,73	14,76	14,4	15,5	14,9
59	27,18	28,12	19,7	22,1	16,5
60	13,38	13,50	8,3	9	12,7
61	15,79	15,73	13,8	14,6	15
62	20,37	19,66	21,5	22,1	17,3
63	27,09	27,50	27,4	29,7	23
64	13,46	14,09	8,3	9	13
65	15,61	16,29	12,4	13,3	14,7
66	27,54	27,64	22	22,2	18,2
67	26,7	27,15	24,6	24	22,5
68	17,09	18,57	16	16,6	14,9
69	19,72	20,41	17,5	21,5	15,6
70	13	14,43	8	9	12