

**TUNNELIKASVATUKSEN VAIKUTUS KESÄVADELMAN
SATOON JA MARJAN LAATUUN**

Anni Pinomaa
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Kasvintuotantotieteet
Huhtikuu 2016

HELSINGIN YLIOPISTO ¼ HELSINGFORS UNIVERSITET ¼ UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto ¼ Fakultet/Sektion ¼ Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos ¼ Institution ¼ Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä ¼ Författare ¼ Author Anni Pinomaa			
Työn nimi ¼ Arbetets titel ¼ Title Tunnelikasvatuksen vaikutus kesävadelman satoon ja marjan laatuun			
Oppiaine ¼ Läroämne ¼ Subject Kasvintuotantotieteet			
Työn laji ¼ Arbetets art ¼ Level Maisterintutkielma		Aika ¼ Datum ¼ Month and year Huhtikuu 2016	Sivumäärä ¼ Sidoantal ¼ Number of pages 58 s.
Tiivistelmä ¼ Referat ¼ Abstract <p>Vadelman (<i>Rubus idaeus</i> L.) saatavuus tuoremarjana on ollut Suomessa epävarmaa ja rajoittunut muutamaan heinä-elokuun viikkoon. Viileä sää ja tuuli heikentävät vadelman kasvua, ja rankkasateet lisäävät harmaahomeen esiintymistä marjoissa. Marja kestää säilytystä ja kuljetusta erittäin huonosti hauraan rakenteensa vuoksi. Satotaimia käyttämällä tuoreen vadelman tarjontaa voidaan laajentaa sesongin ulkopuolelle. Siksi Suomessakin on otettu käyttöön muualla Euroopassa suosittu käytäntö viljellä vadelmaa säältä suojaavan katteen alla, eli kausihuoneessa tai tunnelissa. Tunneliviljelyn onkin jo todettu lisäävän vadelman satoa, vähentävän harmaahomeesta aiheutuvia satotappioita ja mahdollistavan satokauden ajoittamisen viljelijälle edulliseen ajankohtaan.</p> <p>Tässä tutkimuksessa verrattiin kolmen tunnelissa ja avomaalla viljellyn kesävadelmalajikkeen satoa, marjan aistittavaan ja ravitsemukselliseen laatuun vaikuttavia tekijöitä sekä marjan varastointikestävyyttä. Kokeessa käytettiin kesävadelmalajikkeita 'Glen Ample', 'Glen Dee' ja 'Maurin Makea'. Marjan aistittavaa laatua arvioitiin marjan sokeri- ja happopitoisuuden kautta. Marjan bioaktiivisten yhdisteiden määrää tutkittiin mittaamalla marjan sisältämien fenoliyhdisteiden kokonaispitoisuus Fast Blue BB -menetelmällä ja marjan antioksidanttiaktiivisuus FRAP-menetelmällä. Varastointikestävyys mitattiin +5 °C:ssa ja huoneenlämmössä suoritettulla varastointikokeella.</p> <p>Tunnelissa vadelman kokonaissato versoa kohti oli 99 % suurempi kuin avomaalla. Marjapaino ei riippunut kasvatusolosuhteista vaan oli lajikekohtainen ominaisuus. Avomaalla kasvaneiden marjojen sokeri- ja happopitoisuudet olivat suuremmat kuin tunnelissa. Marjojen kokonaisfenolipitoisuudessa oli suuria lajikekohtaisia eroja, mutta antioksidanttiaktiivisuudessa ei ollut eroja lajikkeiden eikä kasvatusolosuhteiden välillä.</p> <p>Varastointikokeessa +5 °C:ssa havaittiin, että avomaalta poimitut marjat säilyivät kiinteinä pitempään, mutta niihin ilmaantui harmaahometta jo ensimmäisen viikon aikana. Paras varastointikestävyys oli 'Glen Ample' -lajikkeen marjoilla.</p> <p>Tulosten perusteella tunnelikasvatus suurentaa vadelman satoa heikentämättä marjan ravitsemuksellista laatua. Tunnelissa kasvaneiden vadelman marjojen pienemmät sokeri- ja happopitoisuudet voivat vaikuttaa marjojen makuun.</p>			
Avainsanat ¼ Nyckelord ¼ Keywords Vadelma, tunneli, kasvutunneli, fenoli, antioksidantti, happopitoisuus, Brix, laatu			
Säilytyspaikka ¼ Förvaringsställe ¼ Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja ¼ Övriga uppgifter ¼ Further information Työtä ohjasi yliopistonlehtori Pauliina Palonen			

HELSINGIN YLIOPISTO ¼ HELSINGFORS UNIVERSITET ¼ UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto ¼ Fakultet/Sektion ¼ Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos ¼ Institution ¼ Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä ¼ Författare ¼ Author Anni Pinomaa			
Työn nimi ¼ Arbetets titel ¼ Title Yield and quality of floricane fruiting raspberry in protected cultivation			
Oppiaine ¼ Läroämne ¼ Subject Plant Production Sciences			
Työn laji ¼ Arbetets art ¼ Level Master's thesis		Aika ¼ Datum ¼ Month and year April 2016	Sivumäärä ¼ Sidoantal ¼ Number of pages 58 p.
Tiivistelmä ¼ Referat ¼ Abstract <p>Protected cultivation of raspberries (<i>Rubus idaeus</i> L.) has increased its popularity in Finland. One reason is that the fruit is extremely sensitive to rainy weather during its development. The raspberry plant itself is sensitive to wind and low temperatures, which can reduce growth. In Europe most of the raspberry is grown in protected cultivation, and this technology is now becoming popular in Finland. A high tunnel is a cost-efficient way to protect the plants against rainy weather and extend the harvest season. The protected cultivation has been shown to increase the yield and cropping potential of raspberry and reduce the gray mold in the berries.</p> <p>In human diet, berries are among the richest sources of antioxidants. In raspberry, the most important antioxidants are vitamin C (20 %) and phenolic compounds (80 %). Among phenolic compounds, ellagitannins and anthocyanins give the greatest contribution to antioxidant activity.</p> <p>The aim of this thesis was to study the yield, sensory quality, nutritional quality and shelf life of three floricane fruiting raspberry cultivars grown in high tunnel and open field. Cultivars 'Glen Ample', 'Glen Dee' and 'Maurin Makea' were used in the study. Sugar and acid content of raspberry were examined to get an overview of sensory quality. The nutritional quality was studied with an antioxidant activity assay (using FRAP method) and total phenolics assay (using Fast Blue BB method). The shelf life was tested both in +5 °C and in room temperature.</p> <p>The average total yield per cane was 99 % greater in tunnel than in the open field, whereas both sugar and acid content of the berry were greater in open field. Berry weight and total phenolics content were strongly cultivar dependent characteristics. The results of the antioxidant activity assay did not show significant differences between either growing conditions or the cultivars. The shelf life in room temperature was equally weak for all samples, but in +5 °C storage the open field raspberries developed symptoms of gray mold earlier than those picked from the tunnel.</p> <p>The conclusion is that contents of health beneficial compounds in berries were not affected in tunnel cultivation, but berry taste may be affected, as differences in sugar and acid contents were observed.</p>			
Avainsanat ¼ Nyckelord ¼ Keywords raspberry, high tunnel, polytunnel, phenolics, antioxidant, acidity, sugar, yield, quality			
Säilytyspaikka ¼ Förvaringsställe ¼ Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja ¼ Övriga uppgifter ¼ Further information Supervisor: University lecturer Pauliina Palonen			

SISÄLLYS

Lyhenteet.....	6
1 Johdanto	7
2 Kirjallisuuskatsaus	8
2.1 Vadelman tunneliviljely.....	8
2.2 Vadelman marjan kypsyminen ja varastointikestävyys	10
2.3 Vadelman marjan sisäinen laatu	11
2.3.1 Aistittava laatu	12
2.3.2 Ravitsemuksellinen laatu.....	13
2.4 Marjojen laatumääritykset.....	16
2.4.1 Marjojen sokeripitoisuuden ja happopitoisuuden mittaaminen.....	16
2.4.2 Marjojen antioksidanttiaktiivisuuden mittaaminen	16
2.4.3 Marjojen kokonaisfenolipitoisuuden mittaaminen	17
3 Tutkimuksen tavoitteet	19
4 Aineistot ja menetelmät	19
4.1 Kasvimateriaali ja koejärjestelyt.....	19
4.1.1 Lajikkeet.....	19
4.1.2 Kasvatusolosuhteet.....	20
4.2 Sadonkorjuu ja marjanäytteiden otto.....	22
4.3 Kemialliset analyysit.....	23
4.3.1 Vadelmasta puristetun mehun sokeri- ja happopitoisuus	23
4.3.2 Vadelman antioksidanttiaktiivisuus	24
4.3.3 Vadelman kokonaisfenolipitoisuus	25
4.4 Varastointikoe	25

4.5	Tulosten tilastollinen tarkastelu	26
5	Tulokset	26
5.1	Sato	26
5.2	Sokeri- ja happopitoisuus.....	31
5.3	Antioksidanttiaktiivisuus.....	33
5.4	Kokonaisfenolipitoisuus	33
5.5	Varastointikestävyys.....	36
5.6	Yleisiä huomioita	37
6	Tulosten tarkastelu.....	38
6.1	Sato	38
6.2	Aistittava laatu.....	40
6.3	Ravitsemuksellinen laatu	41
6.4	Kemiallisten analyysitulosten virhelähteet	43
6.5	Säilyvyys	45
6.6	Johtopäätökset	46
7	Lähteet.....	47
	Liite 1: Koealueen kartta	58

Lyhenteet

FBBB	Fast Blue BB
FRAP	Ferric ion reducing antioxidant power
FRAP	Ferric reducing ability of plasma
GAE	Gallic acid equivalent, gallushappoekvivalentti
HPLC	Korkean erotuskyvyn nestekromatografia
ns	Ei tilastollisesti merkitsevä
ORAC	Oxygen radical antioxidant capacity
PGIP	Polygalacturonase-inhibiting protein, polygalakturonaasientsyymiä estävä proteiini
TEAC	Trolox equivalent antioxidant capacity
TPTZ	2,4,6-tri-(2-pyridyyli)-s-triatsiini
TRAP	Total radical-trapping antioxidant parameter

1 Johdanto

Vadelma (*Rubus idaeus* L.) kuuluu ruusukasvien heimoon (*Rosaceae*). Vadelma on kaupallisesti tärkeä marja, ja siksi ympäristön vaikutusta kasvin kehitykseen on tutkittu paljon. Vadelman juuristo on monivuotinen ja versot joko yksivuotisia tai kaksivuotisia. Suomessa viljellään lähinnä kaksivuotisia kesävadelmalajikkeita, jotka tuottavat sadon edellisen vuoden versoilla. Vadelman viljelyala kasvoi Suomessa voimakkaasti vuoteen 2005 saakka ja on sen jälkeen ollut hienoisessa laskussa. Vadelman kokonaissato kasvaa kuitenkin jatkuvasti, ja vuonna 2014 vadelmaa viljeltiin 408 hehtaarilla ja sato oli 775 tonnia (Luonnonvarakeskus 2015).

Tuoreen vadelman kysyntä on Suomessa hyvä, mutta sen saatavuus vaihtelee. Vadelman satokausi on lyhyt ja marjan säilyvyys heikko. Vadelman marjan laatu ja varastointikestävyys ovat hyvin riippuvaisia sääoloista, sillä vadelman kukinnan aikainen sade ja tuuli lisäävät harmaahomeen leviämistä merkittävästi (Fitt ym. 1989, Harshman ym. 2014). Vadelman ja mansikan tunneliviljely onkin yleistynyt voimakkaasti Euroopassa (Hancock ja Simpson 1995) ja Yhdysvalloissa (Demchak 2009), ja tämä viljelykäytäntö on leviämässä Suomeenkin.

Vadelman jalostus on Suomessa ollut melko vähäistä, eikä ulkomaisten lajikkeiden talvenkestävyys ole riittänyt täkäläisiin olosuhteisiin (Hoppula ym. 2012). Ulkomaiset jalostusprojektit tuottavat kuitenkin jatkuvasti uusia lajikkeita kokeiltaviksi. Käyttöön otettavilta lajikkeilta vaaditaan hyvää satotasoa, suurta marjakokoa, marjan hyvää laatua, taudinkestävyyttä ja talvenkestävyyttä ainakin Etelä-Suomessa. Lajikkeen tulisi olla myös tunneliviljelyyn soveltuva.

Rubus-sukuisten marjakasvien terveysvaikutukset herättävät suurta kiinnostusta, sillä marjat sisältävät paljon antioksidantteja ja muita bioaktiivisia yhdisteitä. Vadelman marjan tärkeimmät antioksidantit ovat erilaiset fenoliset yhdisteet ja C-vitamiini (Beekwilder ym. 2005a). Fenoliyhdisteistä runsaimpana vadelmassa esiintyy ellagitanniini (Mazur ym. 2014a). Korkeimmat fenolipitoisuudet on yleensä mitattu luonnonvadelmasta (Määttä-Riihinen ym. 2004). Vadelman jalostuksessa sen sijaan marjan ravitsemuksellinen laatu ei ole ollut keskeinen tavoite (Folta ja Kole 2011).

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Vadelman tunneliviljely

Viime vuosina vadelman viljely varsinaisen satokauden ulkopuolella on yleistynyt Euroopassa (Carew ym. 2000b). Kuluttajien mielenkiinto tuoretta vadelmaa kohtaan on lisääntynyt, mutta marja ei kestä pitkää säilytystä hauraan rakenteensa vuoksi. Vähittäiskauppa asettaa kuitenkin myytävien marjojen laadulle ja kauppakestävyydelle suuret vaatimukset. Suomessa vadelman sadontuotto ja sadon laatu vaihtelevat avomaan viljelyssä suuresti (Hoppula ym. 2012). Katetussa viljelyssä eli joko kausihuoneessa tai tunnelissa voidaan kuitenkin saada aikaan suotuisat kasvuolosuhteet ja pitempi kasvu-kausi kuin avomaalla (Demchak 2009).

Tunneli eli kasvutunneli koostuu teräskaarirungosta ja muovikatteesta. Tunnelin päissä on yleensä oviaukot ja muovikatetta voi tilapäisesti kohottaa sivustoilta. Tunnelit voivat sijaita joko yksittäin tai sarjana. Tunneli on kasvihuonetta kevytrakenteisempi ja halvempi ratkaisu, kun kasveja halutaan kasvattaa osittain kontrolloiduissa olosuhteissa ilman kasvihuoneen suurta energiankulutusta. Tunnelia ei yleensä lämmitetä eikä siinä käytetä automaattista tuuletusta, vaan se on tarkoitettu suojaamaan kasveja tuulelta, vesisateelta ja raekuuroilta. Keinokastelu on tunneliviljelyssä kuitenkin välttämätöntä (Lamont 2009).

Tunneliviljelyn vaikutusta vadelman kasvuun, sadontuottoon ja marjan laatuun on tutkittu melko paljon, mutta tutkimuksissa käytetyt tunnelityypit, vadelmalajikkeet, viljelymenetelmät ja koealueen maantieteellinen sijainti vaihtelevat. Hanson ym. (2011) osoittivat tunneliviljelyn parantavan kesä- ja syysvadelman sadon laatua, määrää ja varastointikestävyyttä käyttäen yhdistettyjä tunneleita, joiden sivut oli avattu kesän ajaksi. Tunneliviljely vaikutti vadelmien ravitsemukselliseen laatuun, mutta vaikutus oli erisuuntainen eri lajikkeilla. Fernandez ja Perkins-Veazie (2013) tutkivat kesävadelmaa, syysvadelmaa ja karhunvatukkaa käyttäen samantyyppistä tunnelijärjestelmää kuin Hanson ym. (2011), ja huomasivat erityisesti vadelman kauppakelpoisen sadon olevan tunnelikasvatuksessa suurempi kuin avomaalla. Privé ja Allain (2000) tutkivat tuulen vaikutusta vadelman kasvuun, ja tuulisuuden todettiin sekä pienentävän vadelman

maanpäällistä biomassaa ja lehtien pinta-alaa että heikentävän satoa. Tutkimus toteutettiin käyttäen tuulelta suojaavia aitoja, mutta tulokset voidaan yleistää myös tunneliviljelyyn. Palonen ym. (2015) havaitsivat tunnelikasvatuksen parantavan vadelman satotaimien satopotentiaalia 28–40 %. Myös mansikan viljelyssä tunnelin käyttö on parantanut satoa ja laatua sekä vähentänyt kasvinsuojeluaineiden käyttöä (Xiao ym. 2001, Kadir ym. 2006). Paterson ym. (2013) havaitsivat tunnelikasvatuksen aiheuttavan muutoksia vadelmassa esiintyvien haihtuvien aromiyhdisteiden määriin. Bradish ym. (2015) vertailivat avomaalla ja tunnelissa kasvavan syysvadelman ravitsemuksellista laatua. Tulosten mukaan vadelman antosyaanipitoisuus, ellagitanniinipitoisuus, fenolihdisteiden kokonaispitoisuus ja antioksidanttiaktiivisuus eivät eronneet toisistaan tunnelissa ja avomaalla. Sen sijaan lajikekohtaiset erot ja kasvupaikan maantieteellinen sijainti vaikuttivat vadelman ravitsemukselliseen laatuun oleellisesti.

Tunnelissa vuorokauden keskilämpötila on yleensä korkeampi kuin ulkona. Maksimilämpötila voi aurinkoisella säällä nousta vadelmalle liian korkeaksi, jos riittävästä tuuleuksesta ei huolehdita. Rembergin ym. (2010) mukaan optimaalinen lämpötila vadelman marjan kehittymiselle on 12–18 °C, ja tätä lämpimämmässä marjanpaino alkaa pienentyä. Fernandez ja Pritts (1994) tutkivat fotosynteesin tehokkuutta vadelman lehdessä lämpötila-alueella 15–40 °C ja havaitsivat, että lämpötilan noustessa fotosynteesin tehokkuus pienenee ja 40 °C:n lämmössä fotosynteesi on kokonaan estynyt. Stafnen ym. (2001) tutkimustulosten mukaan vadelman lehden kyky sitoa hiiltä aleni lineaarisesti lämpötilan noustessa 20 °C:sta 35 °C:een. Korkean lämpötilan (yli 25 °C) vaikutusta marjan kemialliseen koostumukseen ei kuitenkaan ole tutkittu. Darnell (2006) totesi voimakkaan auringonvalon aiheuttavan punaisen värin puuttumista marjan auringon puoleiselta sivulta. Tämän on osoitettu johtuvan korkean lämpötilan ja ultraviolettisäteilyn yhteisvaikutuksesta (Renquist ym. 1989). Vaikka useimmat tunnelin katteena käytettävät polyeteenimuovit eivät toimi fotoselektiivisesti, muovi pienentää kuitenkin läpäisemänsä valon intensiteettiä, eli kasveihin kohdistuu vähemmän säteilyä kuin avomaalla (Palonen ym. 2011). Toisaalta valkoinen maanpinnan kate käytettynä yhdessä sateelta suojaavan katteen kanssa voi lisätä kauppakelpoisen sadon määrää, koska valkoinen pinta heijastaa valoa takaisin kasvustoon (Comeau ym. 2012, Xu ym. 2014).

Suomen ilmastossa kasvutunnelin avulla voidaan pidentää mansikan ja vadelman satokautta jopa lokakuuhun asti. Kasvukauden piteneminen on erityisen tärkeää kasvatettaessa saman vuoden versoilla kukkivia syysvadelmalajikkeita, jotka muodostavat uusia kukintoaiheita jatkuvasti kasvukauden aikana (Carew ym. 2000a). Tunneliviljelyyn on osoitettu aikaistavan syysvadelman satokauden alkua noin 20 päivää (Fernandez ja Perkins-Veazie 2013). Kesävadelman satokausi ei pitene tunnelikasvatuksessa paljokaan, sillä sen satopotentiaali on määräytynyt jo edellisenä syksynä kukka-aiheiden muodostuessa (Carew ym. 2000a). Satokauden voi kuitenkin ajoittaa optimaaliseksi käyttämällä kylmävarastoituja satotaimia, joiden ensimmäiset marjat kypsyvät noin 10 viikon kuluttua istutuksesta (Pitsioudis ym. 2001).

2.2 Vadelman marjan kypsyminen ja varastointikestävyys

Vadelman hedelmä on kerrottu luumarja, joka koostuu kukkapohjuksen ympärille ryhmittyneistä kymmenistä osahedelmistä. Kukin osahedelmä on yhteydessä kukkapohjukseen johtosolukon välityksellä, ja yhdistävä solukko hajoaa marjan kypsyessä (Reeve 1954). Tässä vaiheessa kukkapohjuksessa on havaittu kohonneita etyleenitasoja, mutta itse marjan kypsymistä ei kuitenkaan luokitella klimakteeriseksi. Marjan irtoamisen kukkapohjuksesta saa aikaan lisääntynyt sellulaasientsyymien tuotanto ja soluseinien paikallinen hajoaminen (Iannetta ym. 2000). Kypsä marja alkaa pehmetä nopeasti, sillä marjan soluseinien pektiiniä hajottavien entsyymien (polygalakturonaasi ja pektiini-nimetyyliesteri) tuotanto lisääntyy kypsymisen edetessä (Iannetta ym. 1999).

Vadelman marja on siis erittäin hauras tuote, ja sen poiminta pitäisi ajoittaa täsmälleen siihen hetkeen, kun marja jo irtoaa kukkapohjuksesta mutta on vielä riittävän kiinteä kestääkseen kuljetusta ja varastointia. Monissa lajikkeissa versot ovat piikkiset ja marjat voivat vahingoittua poimittaessa. Marja säilyy parhaiten varastossa, jossa lämpötila on nollan tuntumassa ja ilman suhteellinen kosteus on 90–95 % (Wills ym. 2007).

Botrytis cinerea -sienen aiheuttama harmaahome on yleisin vadelman marjoja ja kasvullisia osia tuhoava kasvitauti ja suurin satotappioiden aiheuttaja sekä tunnelissa että avomaalla (Williamson ym. 1987). Taudinaiheuttaja leviää vadelman marjoihin kukintavaiheessa tapahtuneen infektiön seurauksena. Infektio siirtyy kehittyvään marjaan

emin kautta ja esiintyy marjan kypsymiseen asti piilevänä (Williamson ym. 1987). Vadelman marja on raakana vastustuskykyinen monille patogeeneille sen solujen tuottaman polygalakturonaasientsyymin toimintaa estävän PGIP-proteiinin takia. Marjan kypsyessä PGIP-proteiinin tuotanto heikkenee ja harmaahomeen rihmasto jatkaa kasvuaan (Johnston ym. 1993). Näkyvät merkit harmaahomeesta ilmenevät marjassa usein vasta sadonkorjuun jälkeen, sillä harmaahomeen kehitys on tässä vaiheessa hyvin nopeaa (Williamson ym. 1987).

Harmaahome lisääntyy ensisijaisesti kuolleissa kasvinosissa. Ilmankosteuden vaihteluilla on tärkeä rooli itiöiden leviämisessä, sillä itiöpesäkkeet aukeavat aamuisin kun ilma muuttuu lämpimämmäksi ja kuivemmaksi (Williamson ym. 2007). Homeitiöt eivät vaadi suurta ilmankosteutta itääkseen, sillä ne itävät emin kostealla pinnalla (Williamson ym. 1987). Harmaahome voi siis infektoida marjoja myös tunneliolosuhteissa, jos tunnelin siisteydestä ei huolehdita. Tunnelissa itiöt eivät kuitenkaan leviä yhtä laajalle kuin avomaalla, sillä tuuli ja roiskuva vesi ovat tärkeimmät tekijät itiöiden leviämisessä (Fitt ym. 1989). Hansonin ym. tutkimuksessa (2011) tunnelissa kasvaneiden kesävadelmien ja syysvadelmien marjoista vain 1 % homehtui 2–4 päivän varastoinnin aikana, kun taas avomaalla viljellyistä marjoista homehtui 13 %.

Kypsyminen vaikuttaa huomattavasti hedelmien kemialliseen koostumukseen. Vadelmalla tästä näkyvin merkki on marjan punaisen värin tummuminen kypsymisen edistyessä, mikä johtuu lisääntyneestä antosyaanien tuotannosta. Tanniinien määrä sen sijaan vähenee marjan kypsyessä (Beekwilder ym. 2005b). Marjan sokeripitoisuuden on havaittu kasvavan ja happopitoisuuden vähenevän kypsymisen edetessä (Perkins-Veazie ja Nonnecke 1992).

2.3 Vadelman marjan sisäinen laatu

Elintarvikkeiden laatu on monitahoinen käsite. Laatu koostuu aina useista tekijöistä, joita painotetaan esimerkiksi sen mukaan, puhutaanko tuotantovaiheesta, markkinoinnista, varastoinnista tai vähittäismyynnistä. Tärkeimpinä vadelman marjan laatutekijöinä pidetään seuraavia ominaisuuksia: marjan kiinteys, makeus, koko, varastointikestävyys, intensiivinen väri ja maku, suuri happopitoisuus, riittävän matala pH (korkein-

taan pH 3,5) ja marjojen yhdenmukainen muoto (Folta ja Kole 2011). Tässä tutkimuksessa keskitytään tuoreen marjan sisäiseen laatuun eli aistittavaan ja ravitseukselliseen laatuun loppukäyttäjän näkökulmasta.

2.3.1 Aistittava laatu

Vadelman marjan aistittava laatu koostuu marjan mausta, tuoksusta, rakenteesta ja väristä. Aistittavaan laatuun liittyviä kemiallisia ominaisuuksia tutkitaan paljon, vaikka lajikkeelle tyypillisiä ihannearvoja on vaikea määritellä. Sen sijaan tuoreen vadelman laatututkimukset aistinvaraisin arviointimenetelmin ovat harvinaisia (Aprea ym. 2015).

Vadelman maku on hienostunut yhdistelmä makeutta ja happamuutta, ja makua täydentävät haihtuvat aromiaineet ja tanniiniset fenolihdisteet. Raa'assa marjassa tanniininen maku on voimakkaampi sen suuremman proantosyanidiinipitoisuuden takia (Beekwilder ym. 2005b). Marjan makeus tulee sokereista, joista noin 40–50 % on fruktoosia, 30–40 % glukoosia ja 10–20 % sakkaroosia (Wang ym. 2009). Happamuus johtuu marjan suuresta orgaanisten happojen määrästä, ja sitruunahappo on niistä tärkein (Wang ym. 2009). Vadelman marjasta on tunnistettu kymmeniä haihtuvia aromiaineita (Robertson ym. 1995, Vrhovsek ym. 2014), ja monet niistä vaikuttavat olennaisesti marjan tuoksuun ja maun miellyttävyyteen (Tieman ym. 2012). Marjan rakenteeseen vaikuttaa osahedelmien kiinnittyminen toisiinsa ja marjan pehmenemistaipumus kypsymisen aikana (Reeve 1954). Marjan väri riippuu sen sisältämien antosyaanien määrästä ja marjan pH:sta (Mazur ym. 2014a).

Vadelman aistittavan laadun havaittu riippuvan esimerkiksi lajikkeesta ja varastointiolosuhteista (Harrison ym. 1998) sekä poimintakypsyydestä (Stavang ym. 2015). Myös kasvukauden aikaiset ympäristötekijät vaikuttavat vadelman aistittavaan laatuun. Esimerkiksi päivänpituuden on osoitettu vaikuttavan marjan sokeripitoisuuteen siten, että lyhyessä päivässä kasvaneet marjat ovat sokeripitoisempia (Mazur ym. 2014b). Marjan koostumus riippuu myös sekä lämpötilasta että satokauden vaiheesta siten, että lämpimässä kehittyneiden tai satokauden loppupuolella korjattujen marjojen sokeri- ja happopitoisuus oli suurempi kuin viileässä kehittyneiden tai alkukaudesta korjattujen marjojen (Remberg ym. 2010).

2.3.2 Ravitsemuksellinen laatu

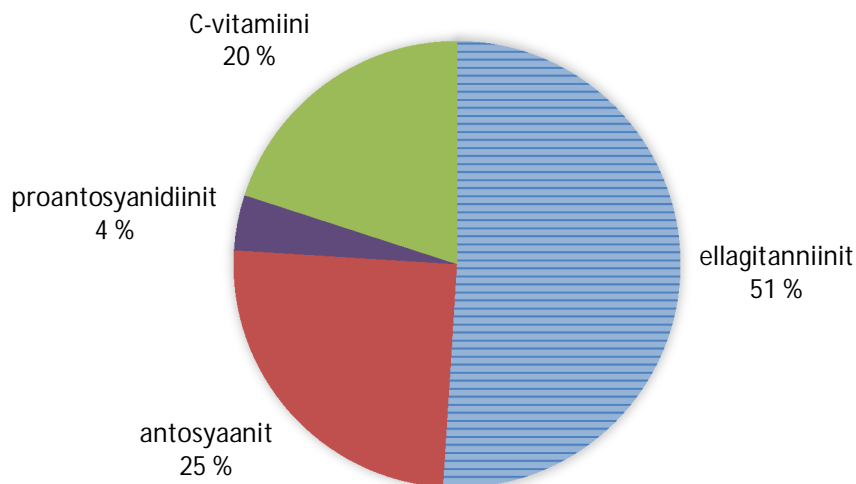
Vadelman marja sisältää vain vähän energiaa, mutta se on hyvä ravintokuidun, vitamiinien ja kivennäisaineiden lähde. Marjan pehmeät osat sisältävät runsaasti C-vitamiinia, folaattia, mangaania ja ravintokuitua. Siemenissä on lisäksi rasvaliukoisia vitamiineja. Marjan kaikissa osissa on monia eri fenoliyhdisteitä, joiden terveystaakatuksia tutkitaan paljon. Siemenet eivät hajoa ihmisen ruuansulatuskanavassa, mutta niistä voidaan valmistaa terveystaakatuksellisia tuotteita (Bushman ym. 2004).

Elintarvikkeen ravitsemuksellista laatua voidaan lähestyä monesta näkökulmasta. Marjoja tutkittaessa kiinnostusta herättävät useimmiten marjan sisältäminen antioksidanttien ja fenoliyhdisteiden määrä. Nämä kaksi käsitettä menevät osittain päällekkäin, mutta niiden merkitys ja mittausmenetelmät poikkeavat toisistaan.

Antioksidantit

Antioksidantti on molekyyli, joka hapettuu helposti ja suojaa näin solun tärkeitä rakenteita oksidatiivisen stressin aiheuttamalta hapettumiselta. Molekyyli siis luokitellaan antioksidantiksi sen toiminnallisuuden eikä kemiallisen rakenteen perusteella. Koska kasvit ovat erityisen alttiita ympäristön aiheuttamalle stressille, ne sisältävät paljon antioksidanttisia yhdisteitä. Tyypillisiä vadelmassa esiintyviä antioksidantteja ovat fenoliset yhdisteet ja C-vitamiini eli askorbiinihappo (Beekwilder ym. 2005a).

Vadelman tärkeimmät fenoliset antioksidantit ovat ellagitanniinit, jotka voivat tuottaa 30–60 % vadelman antioksidanttiaktiivisuudesta (kuva 1). Beekwilderin ym. (2005b) tutkimustulosten perusteella antosyaanien osuus antioksidanttiaktiivisuudesta on toiseksi suurin, kun taas proantosyanidiinien osuus on pieni. Mullen ym. (2002) tutkivat 'Glen Ample' -lajikkeen marjojen antioksidanttiaktiivisuutta ja havaitsivat, että antosyaanien osuus antioksidanteista oli 40 %, ellagitanniinien 33 % ja C-vitamiinin 17 %. Vadelmasta FRAP-menetelmällä mitatulla antioksidanttiaktiivisuudella on todettu olevan voimakas korrelaatio marjan kokonaisfenolipitoisuuden kanssa (Deighton ym. 2000, Connor ym. 2005).



Kuva 1. Eri yhdisteiden osuus vadelman marjan antioksidanttiaktiivisuudesta (Beekwilder ym. 2005b). Kyseessä on keskiarvo neljäntoista eri lajikkeen ominaisuuksista.

Fenoliyhdisteet

Fenoliset yhdisteet ovat laaja joukko yhdisteitä, joissa on tunnusomaisena piirteenä yksi tai useampi aromaattinen hiilirengas ja siihen liittynyt hydroksyyli ryhmä. Kasveissa esiintyviä fenoliyhdisteitä tunnetaan jo yli 8000 eri tyyppiä (Dai ja Mumper 2010). Fenoliyhdisteet voidaan luokitella monin eri tavoin, mutta ne voidaan jakaa molekyylirakenteensa perusteella esimerkiksi kolmeen luokkaan: flavonoidit, kondensoidut tanniinit (proantosyanidiinit) ja hydrolysoituvat tanniinit (Dobson ym. 2012). Flavonoidit ovat pienimolekyylisiä yhdisteitä, kun taas tanniinit esiintyvät polymeereinä. Lisäksi kasveissa esiintyy monomeerisia tai dimeerisia fenolisia happoja, joista tunnetuimpia esimerkkejä ovat gallushappo ja ellagihappo. Ne luokitellaan usein suurempien molekyylien rakenneosiksi (Quideau ja Feldman 1996). Flavonoidien tehtävä kasvilla on suojata ultravioletti säteilyn vahingoittavalta vaikutukselta ja antaa kukille ja hedelmille houkuttelevaa väriä (Dai ja Mumper 2010). Tanniinit ovat myrkyllisiä monille tuhohyönteisille ja mahdollisesti myös taudinaiheuttajille (Barbehenn ja Constabel 2011).

Vadelman marjassa tärkempiä polyfenoleita ovat ellagitanniinit, joista yleisin on sanguiniini H-6 ja lambertiaani C (Mullen ym. 2002). Ellagitanniinit kuuluvat hydrolysoitaviin

tanniinien luokkaan, koska ne koostuvat ellagihappo-, gallushappo- ja sokeriosista, joiden väliset sidokset voidaan rikkoa hydrolyysillä. Vadelmassa on myös paljon erilaisia flavonoideihin kuuluvia antosyaaneja, jotka antavat marjalle sen punaisen värin. Antosyaanit muodostuvat flavonoidiosasta (antosyanidiini) ja sokeriosasta. Antosyaaneista yleisin vadelman marjassa on syanidiini-3-soforosidi (Mullen ym. 2002). Antosyaanien kokonaismäärä voi vaihdella jopa satakertaisesti eri vadelmalajikkeiden välillä, jos huomioon otetaan myös keltaiset ja mustat lajikkeet (Bobinaité ym. 2012). Mazur ym. (2014a) vertailivat kymmentä kesävadelman genotyyppiä, ja havaitsivat noin kolminkertaisia eroja antosyaanipitoisuuksissa. Keskimäärin 42 % fenolihdisteiden kokonaismäärästä oli antosyaaneja, kun taas ellagitanniinien vastaava osuus oli keskimäärin 57 % (Mazur ym. 2014a). Ellagitanniinien määrää voi arvioida myös niiden hajoamisessa vapautuvan ellagihapon määrästä. Häkkisen ym. (1999) tutkimuksessa 88 % vadelman polyfenoleista oli ellagihappoa, kun antosyaaneja ei otettu huomioon. Vadelmassa on lisäksi myös pieni määrä proantosyanidiineja, jotka koostuvat yhteen liittyneistä flavonoidiosista (Dai ja Mumper 2010), sekä pieniä määriä kversetiiniyhdisteitä ja muita flavonoleja (Mazur ym. 2014a). Proantosyanidiinien määrä raaka-ainassa marjassa on korkea, mutta laskee kypsymisen edetessä (Beekwilder ym. 2005b).

Fenolihdisteet ovat yleensä vesiliukoisia ja varastoidaan kasvisolussa vakuoleihin (Antolovich ym. 2000). Määttä-Riihinen ym. (2004) havaitsivat vadelmassa olevan tämän lisäksi myös metanoliin liukenemattomia polyfenoleita, joista osa on sitoutunut solu-seiniin. Vadelman siemenissä ellagitanniinipitoisuus on hyvin korkea (Bushman ym. 2004), ja tutkimustulokset vadelman fenolipitoisuudesta vaihtelevat sen mukaisesti, onko siemenet jauhettu ennen fenolien uuttoa vai ei (Lee ym. 2012).

Monilla fenolihdisteillä on voimakas antioksidanttinen vaikutus (Beekwilder ym. 2005a). Vadelman sisältämät fenolihdisteet toimivat usein bioaktiivisesti ja niillä epäillään olevan olevan monia suoria vaikutuksia ihmisen terveyteen. Tästä esimerkkinä on todettu ellagitanniinien verisuonia laajentava vaikutus (Mullen ym. 2002) tai antosyaanien ja ellagihapon antikarsinogeeninen vaikutus (Maas ym. 1991). Tutkimuksista on saatu ristiriitaisia tuloksia muun muassa sen vuoksi, että antosyaanit ja ellagitanniinit hajoavat vasta ruuansulatuskanavana loppuosassa ja niiden vaikutusmekanismit ovat monimutkaisia (Ludwig ym. 2015).

2.4 Marjojen laatumääritykset

2.4.1 Marjojen sokeripitoisuuden ja happopitoisuuden mittaaminen

Marjojen sokeripitoisuus voidaan arvioida mittaamalla liukoisen kuiva-aineen pitoisuus marjoista puristetusta mehusta. Suurin osa vadelman marjojen liukoisesta kuiva-aineesta on sokereita (Pritts 2006). Mittaus tehdään refraktometrillä, joka ilmaisee liukoisen kuiva-aineen pitoisuuden nesteen taitekertoimen perusteella. Asteikkona käytetään Brix-asteikkoa, joka vastaa näytteen sakkaroosipitoisuutta painoprosentteina.

Marjan happamuutta voidaan tutkia joko pH-mittauksella tai selvittämällä happojen todellinen määrä titraamalla. Vadelman marjan happamuus johtuu suurimmaksi osaksi sen sisältämästä sitruunahaposta, jonka osuus marjan orgaanisista hapoista on yli 90 % (de Ancos ym. 1999). Sitruunahappo on kolmenarvoinen heikko happo, joka pystyy puskuroimaan muista lähteistä peräisin olevia pH:n muutoksia liuoksessa. Marjamehun happopitoisuus voidaan määrittää titraamalla mehua (tai sen laimennosta) natriumhydroksidilla. Sitruunahapon titrauskäyrä on S-kirjaimen muotoinen, ja mehun pH-arvo nousee aluksi hitaasti natriumhydroksidia lisättäessä. Kun pH lähestyy sitruunahapon kolmatta ekvivalenttikohtaa, pieni natriumhydroksidin lisäys saa aikaan suuren pH-arvon hyppäyksen. Ensimmäinen ja toinen ekvivalenttikohta eivät vaikuta näy titrauskäyrän muotoon sitruunahapon puskuriominaisuuksien takia (ChemBuddy 2009).

2.4.2 Marjojen antioksidanttiaktiivisuuden mittaaminen

Elintarvikkeiden antioksidanttista vaikutusta voidaan tutkia käyttämällä hapetusreaktiota, joissa hapettava reagenssi pelkistyy ja tutkittavan seoksen antioksidanttiset molekyylit hapettuvat. Tarkoitukseen on kehitetty monia erilaisia tutkimusmenetelmiä, joissa käytettävät reagenssit, olosuhteet ja mittayksiköt vaihtelevat (Beekwilder ym. 2005b). Vadelman antioksidanttinen kapasiteetti on kuitenkin todettu erittäin suureksi vertailtaessa eri hedelmiä ja marjoja FRAP-, TRAP-, TEAC- ja ORAC-menetelmillä (Proteggente ym. 2002, Pellegrini ym. 2003). Lisäksi Beekwilder ym. (2005b) vertailivat eri vadelmalajikkeita käyttäen HPLC-analyysia ja ABTS-reagenssia, ja saivat tuloksena täs-

mällistä tietoa vadelman eri polyfenolien osuudesta vadelman antioksidanttiaktiivisuudessa. Tärkein antioksidantti tutkimuksen mukaan oli sanguiniini H-6 (40 % kokonaisaktiivisuudesta).

Tässä tutkimuksessa tuoreesta vadelmasta eristetyin uutteen antioksidanttiaktiivisuus määritetään Benzien ja Strainin (1996) kehittämällä FRAP-menetelmällä. Määrittäessä käytettävä FRAP-reagenssiliuos sisältää 2,4,6-tri(2-pyridiyyli)-s-triatsiinia (TPTZ), joka muodostaa kolmenarvoisen rauta-atomin kanssa kompleksin Fe(III)-TPTZ. Kun liuos reagoi voimakkaasti hapettuvan yhdisteen kanssa, Fe(III)-TPTZ -kompleksi pelkistyy muotoon Fe(II)-TPTZ. Reaktiotuote on väriltään sininen ja se absorboi valoa aallonpituudella 593 nm. Tutkittavan liuoksen antioksidanttiaktiivisuutta kuvaa reaktion aikana tapahtunut absorbanssin (A_{593}) muutos (Benzie ja Strain 1996). Mittausmenetelmä on alun perin kehitetty käytettäväksi +37 °C:n lämpötilassa, mutta sitä on sovellettu menestyksellisesti vadelman tutkimiseen myös +20 °C:n lämpötilassa (Deighton ym. 2000). FRAP-menetelmän sopivuutta ihmisravinnon tutkimiseen on kritisoitu, koska reaktio tapahtuu happamassa ympäristössä (pH 3,6) ja ihmisen fysiologinen pH on lähellä neutraalia. Menetelmä kuitenkin nopea ja helposti toteutettavissa ja asettaa tutkittavat materiaalit samaan paremmuusjärjestykseen kuin muutkin menetelmät (Beekwilder ym. 2005a). Lisäksi FRAP-menetelmä on periaatteeltaan muita mittausmenetelmiä yksinkertaisempi, koska se mittaa oletetun antioksidantin pelkistyspotentiaalia. Useimmat muut menetelmät tuottavat liuokseen vapaita radikaaleja ja mittaavat antioksidantin kykyä neutraloida niitä (Halvorsen ym. 2002).

2.4.3 Marjojen kokonaisfenolipitoisuuden mittaaminen

Vadelman marjassa esiintyviä fenolisia yhdisteitä ovat flavonoidit, tanniinit ja fenoliset hapot. Näistä runsaimpina vadelmassa esiintyviä fenoleita ovat antosyaanit ja ellagittanniinit (Mullen ym. 2002).

Yksinkertaisin tapa tutkia marjojen fenolisia yhdisteitä on määrittää niiden kokonaispitoisuus. Silloin eri yhdisteitä ei tarvitse erottaa toisistaan, mikä taas on välttämätöntä fenolikoostumuksen tarkemmassa analyysissä (Beekwilder ym. 2005b). Marjojen kokonaisfenolipitoisuuden tutkimiseen tai erityyppisten fenolien määrittämiseen on ole-

massa lukemattomia erilaisia menetelmiä, jotka useinkaan eivät ole keskenään verrannollisia (Lee ym. 2012). Näytteiden esivalmisteluun ei ole olemassa yhtenäisiä menetelmiä, ja marjauute voidaan tehdä joko tuoreista marjoista tai pakastekuivatusta marjanäytteestä. Medina (2011a) määrittäi kokonaisfenolipitoisuuden marjoista erotetusta mehusta ja Mazur ym. (2014a) vadelmahillosta. Määttä-Riihinen ym. (2004) käyttivät kaksivaiheista uutomenetelmää, jossa marjoista uutettiin ensin helppoliukoiset fenolit. Tämän jälkeen liukenemattomat polyfenolit hydrolysoitiin ja uutettiin erikseen. Myös uutossa käytettävän liuottimen koostumus vaihtelee (Lee ym. 2012).

Kokonaisfenolipitoisuus määritetään marjoista yleensä kolorimetrisesti. Määrittämisessä marjauutteen annetaan reagoida tietyn reagenssin kanssa ja mitataan reaktiotuotteen absorbanssi. Absorbanssista saadaan kokonaisfenolipitoisuus vertaamalla tulosta standardiliuoksen vastaavan reaktiotuotteen absorbanssiin. Standardiliuoksena voidaan käyttää esimerkiksi gallushapon vesiliuosta. Gallushappo eli 3,4,5-trihydroksibentsoehappo on fenolinen happo, joka toimii rakenneosana ellagitanniineissa (Quideau ja Feldman 1996) ja monissa muissa suurimolekyylisissä fenoliyhdisteissä.

Yleisimmin marjatuotteiden kokonaisfenolipitoisuutta on mitattu epäsuorasti Folin-Ciocalteu -menetelmällä, joka mittaa tutkittavien yhdisteiden pelkistyspotentiaalia (Folin ja Ciocalteu 1927, Singleton ja Rossi 1965). Folin-Ciocalteu -menetelmän on todettu olevan altis muiden antioksidanttien kuin fenoleiden tuottamille häiriöille. Esimerkiksi askorbiinihapon on todettu reagoivan Folin-Ciocalteu -reagenssin kanssa ja lisäävän testissä mitattavaa absorbanssia (Everette ym. 2010, Lester ym. 2012).

Medina (2011a) kehitti kokonaisfenolipitoisuuden määrittämiseen uuden Fast Blue BB -reagenssia käyttävän menetelmän. Fast Blue BB -reagenssi on atsoväri, joka sitoutuu suoraan fenolisen yhdisteen bentseenirenkaaseen (Medina 2011a). Syntyvän reaktiotuotteen absorbanssi (aallonpituudella 420 nm) vastaa lineaarisesti näytteen gallushappopitoisuutta välillä 40–400 µg/ml (Medina 2011b). Fast Blue BB -menetelmä on todettu Folin-Ciocalteu -menetelmää tarkemmaksi mansikkanäytteiden osalta (Lester ym. 2012).

3 Tutkimuksen tavoitteet

Tämä tutkimus on osa hanketta "Monipuolistuvat marjatilat", joka tähtää marjatuotannon tehostamiseen ja marjaelinkeidon kilpailukyvyn parantamiseen Suomessa. Tunneli- ja avomaaviljelyn vaikutusta vadelman marjan laatuun ja satoon ei ole vertailtu Suomen olosuhteissa. Tavoitteena oli selvittää, miten kasvatusolosuhteet vaikuttavat vadelman marjan sokeri- ja happopitoisuuteen, antioksidanttiaktiivisuuteen, kokonaisfenolipitoisuuteen, varastointikestävyyteen ja satoon kolmella eri kesävadelmalajikkeella.

4 Aineistot ja menetelmät

4.1 Kasvimateriaali ja koejärjestelyt

Koe suoritettiin Helsingin yliopiston Viikin koekentällä (60°13'41 N; 25°1'17 E) kasvukaudella 2015. Kokeessa käytettiin kesävadelmalajikkeiden 'Glen Ample', 'Glen Dee' ja 'Maurin Makea' vuoden ikäisiä taimia, joissa oli 1–3 satoversoa. Vadelman taimet oli istutettu vuonna 2014 muovitunneliin ja sen vieressä sijaitsevalle avomaalle (liite 1).

Sekä tunnelissa että avomaalla vadelmat kasvoivat kolmessa rivissä (lohkossa). Kukaan riviin oli istutettu jokaista kolmea lajiketta siten, että viisi vierekkäistä samassa rivissä kasvavaa saman lajikkeen edustajaa muodosti yhden havaintoyksikön (koeruidun) tunnelissa ja kuusi vierekkäistä kasvia vastaavasti avomaalla (liite 1). Tunnelissa riviväli oli 2,40 m ja taimiväli 40 cm, ja avomaalla riviväli oli 2,60 m ja taimiväli 60 cm. Koe oli osa suurempaa lajikekoetta, jossa oli mukana kuusi eri lajiketta (liite 1). Rivien päissä oli lisäksi kaksi suojakasvia ja alueen toisessa päässä syysvadelmia tai mustaherukoita. Lajikkeiden paikat riveissä oli satunnaistettu arpomalla.

4.1.1 Lajikkeet

Sekä Suomessa jo viljelyyn otettu vadelmalajike 'Glen Ample' että uusi lajike 'Glen Dee' on jalostettu Skotlannissa James Hutton -instituutissa. Lajike 'Glen Ample' kehitettiin 1990-luvulla, ja lajikkeessa pystyttiin yhdistämään monta hyvää ominaisuutta: suuri marjakoko, miellyttävä maku ja versojen piikittömyys. 'Glen Ample' on eräs Skotlannin

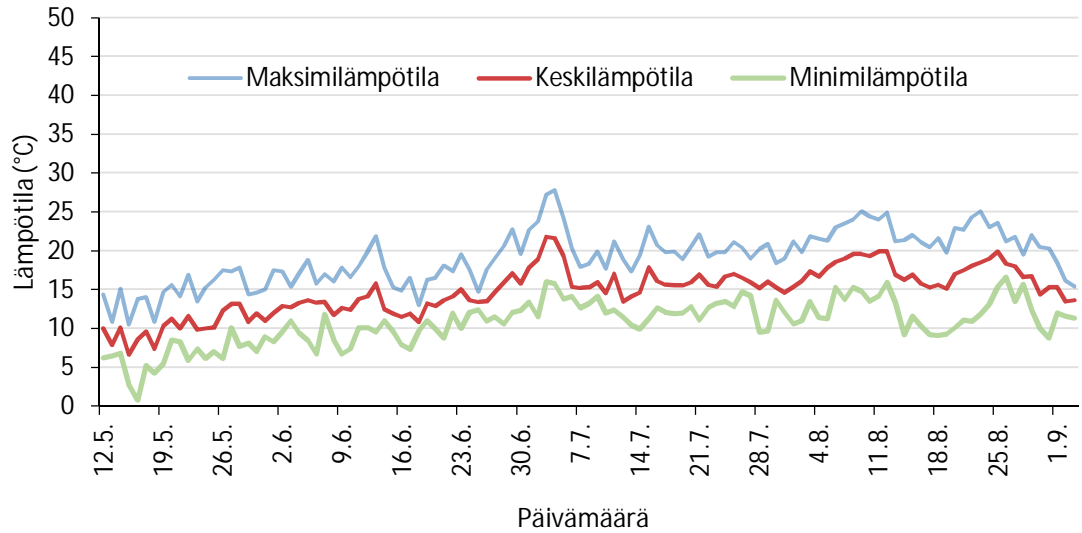
marjatuotannon valtalajikkeista ja merkittävä koko Euroopassa sekä avomaan tuotannossa että tunneliviljelyssä (Folta ja Kole 2011). Lajike 'Glen Dee' tuli markkinoille vuonna 2015 ja sen jalostuksessa on käytetty geenimerkkien avulla tapahtuvaa valintaa taudinkestävyyden ja laadun parantamiseksi (James Hutton Institute 2014, Graham ym. 2014). Skotlantilaisten lajikkeiden jalostuksessa päätavoitteina ovat nykyisin marjan houkutteleva ulkonäkö ja hyvä maku sekä kasvin vastustuskyky vadelman juurilaha aiheuttavaa *Phytophthora fragariae* var. *rubi* -sientä kohtaan. Kaikki uudet lajikkeet on testattu tunneliviljelyssä (Jennings ym. 2008).

'Maurin Makea' on Suomessa spontaanisti syntynyt puutarha- ja luonnonvadelman risteymä. 'Maurin Makea' on todettu melko talvenkestäväksi ja sen versot ovat piikikkäät (Luonnonvarakeskus 2011).

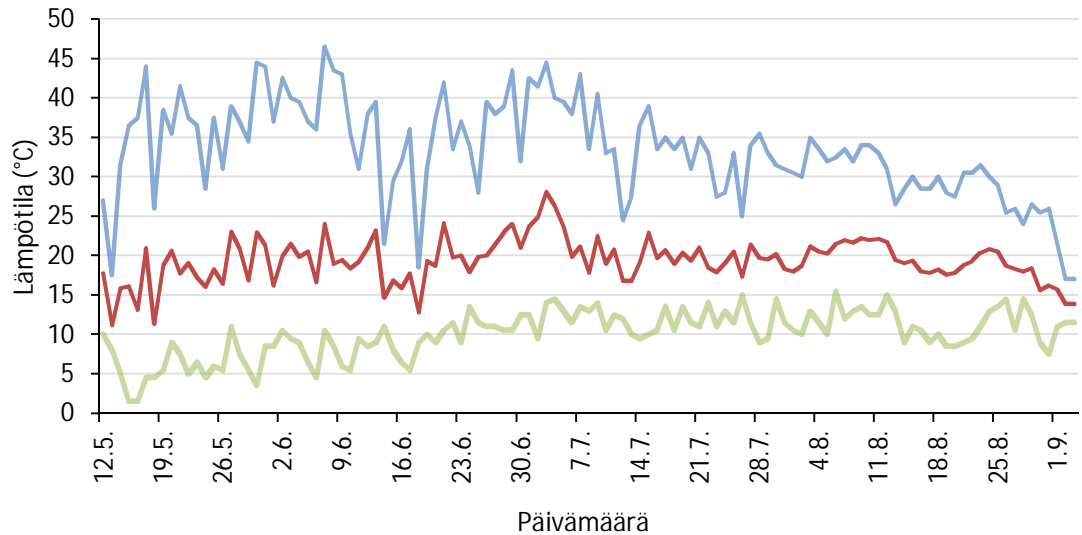
4.1.2 Kasvatusolosuhteet

Koealue sijaitsi loivasti etelään viettävässä rinteessä. Avomaalla maalaji oli hiekkamaa, ja taimet oli istutettu mustalla Mypex-kankaalla katettuihin harjuihin. Avomaalla oli käytössä tihkukastelu. Kirkkaalla polyeteenimuovilla katettu tunneli oli 8 m x 35 m kokoinen ja rakennettu pohjois–etelä -suuntaisesti. Tunnelissa kasvavat taimet oli istutettu kymmenen litran astioihin, joissa oli kasvualustana vaaleaa kasvuturvetta (OPM 630 W, Kekkilä Oy, Vantaa). Tunnelin lattia oli katettu valkoisella katekankaalla. Tunnelin muovikate purettiin pois talveksi 30.10.2014 ja asennettiin taas paikalleen 27.4.2015. Tunnelin päiden korkeusero lisäsi tunnelin läpi kulkevan ilman virtausta, ja siksi tuuletus tapahtui vain tunnelin päätyovista. Tunnelin kasvit saivat automaattisen tippukastelun kolme kertaa päivässä. Kastelulannoitteena käytettiin ajanjaksolla 16.5.–5.6. Taimi-Superex -lannoitetta 0,01 % liuoksena (NPK 19–4,4–20,2 ja mikroravinteet) ja ajanjaksolla 6.6.–19.8. Taimi-Superex -lannoitteen ja Turve-Superex -lannoitteen (NPK 12–4,7–27,1 ja mikroravinteet) seosta 0,08 % liuoksena (Kekkilä Oy, Vantaa). Avomaata kasteltiin samalla kastelulannoitteella kuusi kertaa kasvukauden aikana. Tunnelissa oli kimalaispesä (Minipol, Koppert Biological Systems, Romulus, MI, USA) pölytyksen varmistamiseksi. Viljelyssä ei käytetty kemiallisia kasvinsuojeluaineita. Tuhoeläin-

ten biologinen torjunta suoritettiin tunnelissa levittämällä kasveihin ripsiäispetopunkkeja, ansaripetopunkkeja ja kirvavainokaisia. Vadelman kasvuversonen kasvamista ei rajoitettu.

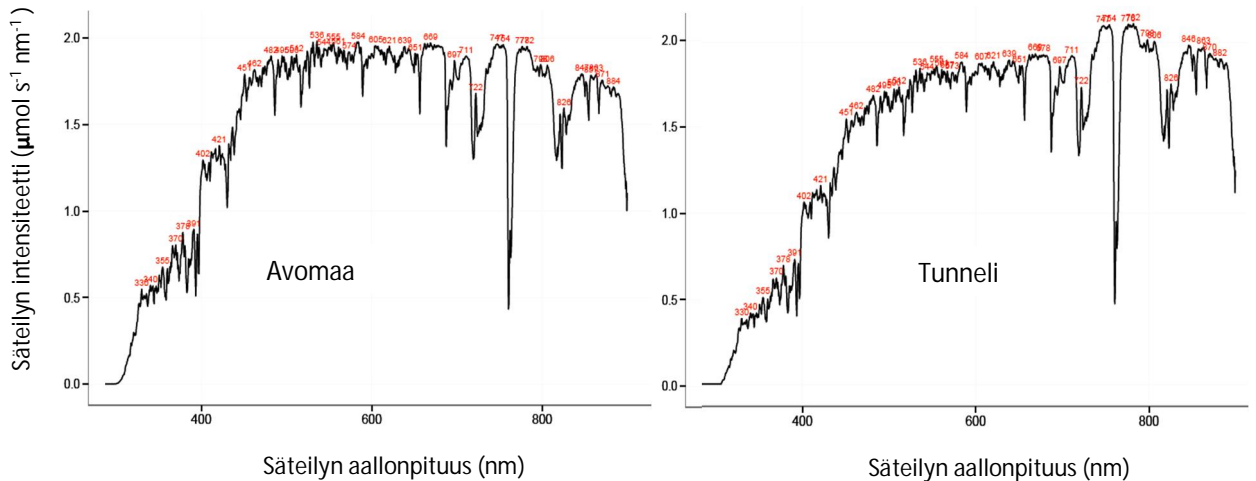


Kuva 2. Vuorokauden keskilämpötilat sekä minimi- ja maksimilämpötilat Kumpulan sääasemalla kesällä 2015 (Ilmatieteen laitos 2015).



Kuva 3. Vuorokauden keskilämpötilat sekä minimi- ja maksimilämpötilat tunnelissa kesällä 2015.

Avomaan lämpötilan seurannassa käytettiin Ilmatieteen laitoksen tuottamaa dataa (kuva 2). Tunnelissa lämpötilaa (kuva 3) ja ilmankosteutta seurattiin jatkuvasti ja mitaustulokset rekisteröitiin puolen tunnin välein. Säteilyn spektri mitattiin 15.9.2015 sekä tunnelissa että avomaalla (kuva 4).



Kuva 4. Säteilyn spektri avomaalla ja tunnelissa 15.9.2015.

4.2 Sadonkorjuu ja marjanäytteiden otto

Sato korjattiin kolme kertaa viikossa (maanantaina, keskiviikkona ja perjantaina) koko satokauden ajan keräämällä kauppakelpoiset marjat jokaisesta koeruudusta muovirasioihin. Tunnelissa kasvavan 'Glen Dee' -lajikkeen kohdalla hyväksyttiin myös pehmenneet marjat ja avomaalla hyväksyttiin hyönteisten vioittamat 'Maurin Makea' -lajikkeen marjat. Ennen sadonkorjuuta varisseet marjat hylättiin. Kaikki hyväksytyt marjat punnittiin ja niiden lukumäärät laskettiin. Tulokset jaettiin koeruudussa kasvavien sato-versojen lukumäärällä.

Kemiallisiin analyyseihin poimittiin erikseen satunnainen joukko terveitä ja hyväkuntoisia marjoja taulukon 1 osoittamina päivinä. Marjanäytteen koko oli 150–200 grammaa, ja marjanäytteet pakastettiin välittömästi -20 °C:n lämpötilassa.

Taulukko 1. Näytteenottopäivämäärät sokeri- ja happopitoisuuden, antioksidanttiaktiivisuuden ja kokonaisfenolipitoisuuden määrittämistä varten.

	Tunneli	Avomaa
Sokeri- ja happopitoisuus	19.7.2015	3.8.2015
	24.7.2015	7.8.2015
	31.7.2015	14.8.2015
	14.8.2015	21.8.2015
Antioksidanttiaktiivisuus ja kokonaisfenolit	10.7.2015 (Glen Ample, Maurin Makea)	3.8.2015
	17.7.2015 (Glen Dee)	7.8.2015
	24.7.2015	21.8.2015
	3.8.2015	

4.3 Kemiaalliset analyysit

Kaikki mittaukset suoritettiin pakastetuista vadelmista. Marjat otettiin sulamaan huoneenlämpöön mittauspäivän aamuna noin neljä tuntia ennen käsittelyä. Osa suurista marjoista puolitettiin, koska jauhettavaan tai puristettavaan erään mahtuvien marjojen lukumäärä olisi muuten jäänyt pieneksi.

4.3.1 Vadelmasta puristetun mehun sokeri- ja happopitoisuus

Sokeripitoisuuden ja titraamalla määritettävän happopitoisuuden mittausta varten marjoista kerättiin näytteet neljänä eri päivänä sekä tunnelissa että avomaalla (taulukko 1). Vadelmamehu valmistettiin puristamalla 100–120 g sulatettuja pakastemarjoja perunapuristimella suodatinpaperin läpi. Mehun annettiin tasaantua 100 ml dekanterilaseissa, kunnes samea osuus oli noussut pintaan ja mehu oli lämmennyt huoneenlämpöiseksi. Samea osuus hylättiin. Mehusta otettiin kolme rinnakkaisnäytettä ja niistä mitattiin liukoisen kuiva-aineen määrä (°Brix) analogisella refraktometrillä (Master, Atago, Japani). Rinnakkaisnäytteiden tuloksista laskettiin keskiarvot.

Titrausta varten 50 ml dekanterilasiin mitattiin 5,0 g mehua ja 25 ml vettä. Seoksen pH mitattiin pH-mittarilla (Metrohm 744 pH Meter; Metrohm AG; Herisau, Sveitsi).

Seosta titrattiin 0,1 M natriumhydroksidilla, kunnes pH nousi yli arvon 8,1. Natriumhydroksidin kulutuksesta laskettiin sitruunahapon pitoisuus mehussa painoprosentteina. Sokeri-happosuhde laskettiin liukoisen kuiva-aineen määrän ja happopitoisuuden osamääränä.

Laskutoimituksessa otettiin huomioon, että yhden sitruunahappomoolin neutralointiin kuluu kolme moolia natriumhydroksidia ja kolmannessa ekvivalenttikohdassa kaikki sitruunahappo on neutraloitunut. Muiden happojen suhteellinen määrä on vadelmassa niin pieni, että ne voidaan jättää tässä laskutoimituksessa huomiotta.

4.3.2 Vadelman antioksidanttiaktiivisuus

Vadelman antioksidanttiaktiivisuus ja kokonaisfenolipitoisuus mitattiin vadelmauutteesta. Marjoista kerättiin näytteet kolmena eri päivänä (taulukko 1) sekä tunnellissa että avomaalla. Vadelmauutteen valmistamista varten 100–120 g sulatettuja pakastemarjoja jauhettiin sosemyllyllä (Waring Blendor Deluxe) tasaiseksi soseeksi, jossa siemenet jäivät osittain kokonaisiksi. Uuttoliuksena käytettiin 70 % etanolia, koska antioksidanttisten yhdisteiden saanto on etanoliuutossa todettu riittävän hyväksi FRAP-testiä ajatellen ja kohtalaiseksi myös kokonaisfenolipitoisuuden osalta (Addai ym. 2013). Viisi grammaa vadelmasosetta sekoitettiin 15 ml:aan etanolia 50 ml sentrifugiputkessa ja putkea pidettiin jääkaapissa 17 tuntia. Sakka sentrifugoitiin pohjalle (4600 rpm, 10 minuuttia) ja kirkas uute otettiin talteen. Koko ajan työhuoneen valaistus oli hämärä ja koeputket päällystetty alumiinifoliolla fenoliyhdisteiden säilyvyyden takaamiseksi. Uute säilytettiin pakastimessa ja sen jatkokäsittely tapahtui hämärässä.

Antioksidanttiaktiivisuuden määrittämisessä käytettiin Benzien ja Strainin (1996) kehittämää FRAP-menetelmää ja Fe(II)SO_4 -standardiliuoksia (0,1 mM, 0,2 mM, 0,4 mM, 0,6 mM, 0,8 mM ja 1,0 mM). FRAP-reagenssi valmistettiin ohjeen mukaan erikseen kutakin mittauspäivää varten (Benzie ja Strain 1996, Deighton ym. 2000). Standardiliuokset valmistettiin etukäteen pakastimeen. Marjauute laimennettiin puhdistetulla vedellä suhteessa 1:10. Oikea laimennossuhde oli ensin selvitetty kokeilemalla. Koe suoritettiin pipetoimalla 30 μl standardiliuosta tai näytettä ja 1 ml FRAP-reagenssia mittauskyvettiin huoneenlämmössä. Neljän minuutin inkubaation jälkeen (Deighton ym. 2000) mitattiin

reaktiotuotteen absorbanssi aallonpituudella 593 nm spektrofotometrillä (UV 1601, Shimadzu, Japan).

Koe oli jaettu kahdelle päivälle siten, että kumpanakin päivänä muodostettiin ensin standardisuora ja sen jälkeen mitattiin 18 näytettä (1. päivä) tai 36 näytettä (2. päivä) ja niiden rinnakkaisnäytteet. Näytteen antioksidanttiaktiivisuutta ilmaiseva FRAP-arvo laskettiin standardisuoran avulla ja ilmoitettiin muodossa $\mu\text{mol Fe(II)-TPTZ} / \text{g tuoretta vadelmaa}$.

4.3.3 Vadelman kokonaisfenolipitoisuus

Vadelman kokonaisfenolipitoisuus tutkittiin Fast Blue BB (FBBB) -menetelmällä (Medina 2011a). Reaktiossa käytettiin 1 ml marjauutetta, joka oli laimennettu puhdistetulla vedellä suhteessa 1:10. Laimennossuhde oli selvitetty kokeilla, joissa tähdättiin standardiliuoksena käytetyn gallushapon konsentraatiota 100–200 $\mu\text{g/ml}$ vastaavaan fenolipitoisuuteen. Optimaalinen laimennossuhde vastaa gallushapon konsentraatiota 50–400 $\mu\text{g/ml}$ (Medina 2011b). Gallushappostandardien konsentraatiot olivat 10, 25, 50, 100, 125, 250 ja 500 $\mu\text{g/ml}$.

Yhteen millilitraan standardiliuosta tai näytettä lisättiin 100 μl 0,1 % FBBB-reagenssia ja 100 μl 5 % natriumhydroksidia ja seosta inkuboitiin 90 minuutin ajan huoneenlämmössä. Koeputken sisältö kaadettiin mittauskyvetiin ja absorbanssi mitattiin spektrofotometrillä aallonpituudella 420 nm (Medina 2011a).

Koe oli jaettu kahdelle päivälle siten, että kumpanakin päivänä muodostettiin ensin standardisuora ja sen jälkeen mitattiin 27 näytettä ja niiden rinnakkaisnäytteet kolmessa erässä. Näytteen kokonaisfenolipitoisuus laskettiin standardisuoran avulla gallushappopitoisuudeksi (GAE) muunnettuna ja ilmoitettiin muodossa mg GAE/g tuoretta vadelmaa.

4.4 Varastointikoe

Varastointikoetta varten jokaisesta koeruudusta poimittiin 12 marjaa 4.8.2015 ja ne jaettiin kahteen muovirasiaan asetellen niin väljästi, että marjat eivät koskettaneet toi-

siinsa. Toinen rasia varastoitii huoneenlämmössä (noin +24 °C) ja toinen +5 °C:n lämpötilassa. Rasiat jaettiin lämpötilan mukaisesti kahdelle muovitarjottimelle. Toinen erä vietiin kylmiöön ja toinen jätettiin hyllylle huoneenlämpöön.

Marjojen kunto tarkastettiin 11.8.2015, 21.8.2015 ja 31.8.2015 ja homeiset tai täysin kuivuneet marjat heitettiin pois. Hylkäämisen syy merkittiin muistiin.

4.5 Tulosten tilastollinen tarkastelu

Koejärjestely oli täydellisesti satunnaistettu lohkokoe, jossa lohkot olivat pesiityneet käsittelyihin. Jos laatututkimusten näytteenottopäiviä oli useita, samaa koeruutua koskevista tuloksista laskettiin keskiarvo. Tulokset analysoitiin kaksisuuntaisella varianssi-analyysillä (ANOVA), jossa selittävinä muuttujina olivat kasvupaikka ja lajike. Tulosten analyysiin käytettiin varianssianalyysissä sekamallia (mixed model) niin, että kasvupaikka ja lajike olivat kiinteitä muuttujia (fixed factor) ja lohko pesiityneenä kasvupaikkaan satunnainen muuttuja (random factor) (Littell ym. 2006). Kiinteiden muuttujien osalta rakennemallina käytettiin yhdysvaikutusmallia. Sekamallin analyysiin käytettiin SAS-ohjelman Mixed-proseduuria (SAS 9.4, SAS Institute Inc.) Avomaalta ja tunnelista saadut tulokset analysoitiin lisäksi erikseen yksisuuntaisella varianssianalyysillä, jossa selittävänä muuttujana oli lajike. Varianssianalyysin oletusten täyttyminen testattiin Shapiro-Wilkin testillä aineiston normaalijakautuneisuuden osalta ja Levenen testillä varianssien yhtäsuuruuden osalta. Varianssianalyysin sijasta käytettiin tarvittaessa epäparametrinen Kruskal-Wallis testiä. Lajikkeiden välinen parittainen vertailu suoritettiin käyttämällä Tukeyn testiä. Sekamallia lukuun ottamatta analyysi suoritettiin IBM SPSS Statistics -ohjelmiston versiolla 23.

5 Tulokset

5.1 Sato

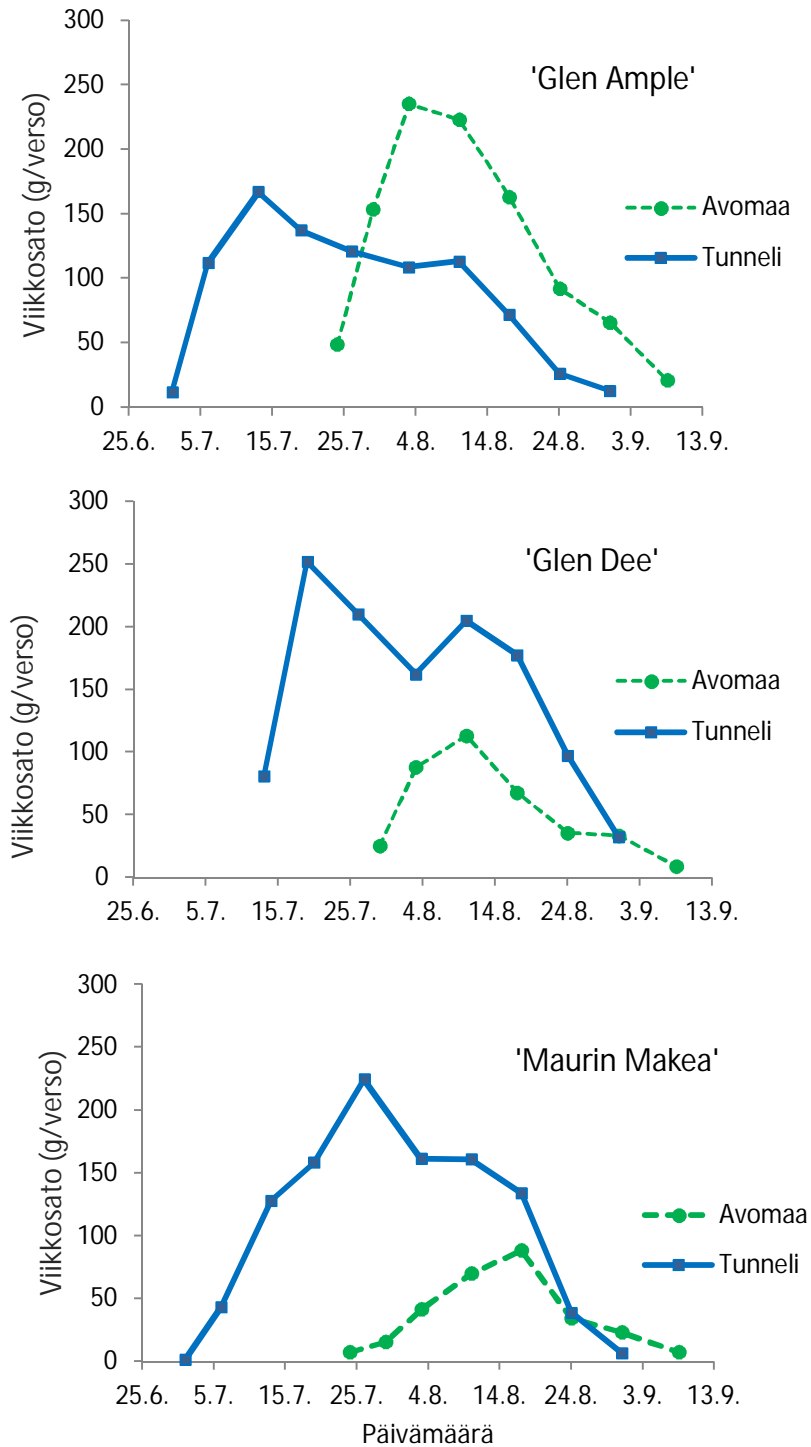
Satokausi alkoi lajikkeilla 'Glen Ample' ja 'Maurin Makea' tunnelissa 1.7.2015 ja avomaalla 24.7.2015. Lajikkeen 'Glen Dee' ensimmäiset marjat kypsyivät tunnelissa 13.7.2015 ja avomaalla 29.7.2015. Satokausi päättyi tunnelissa 2.9.2015 marjojen loppumiseen ja avomaalla 8.9.2015 laadun heikkenemiseen sateiden takia. Satokauden pituus oli tunnelissa kaikkiaan 62 päivää ja avomaalla 47 päivää (kuva 5).

Vadelman kokonaissato satoversoa kohden oli tunnelissa keskimäärin 99 % suurempi kuin avomaalla (taulukko 2). Myös marjojen keskimääräinen kokonaismäärä satoversoa kohden oli tunnelissa yli kaksinkertainen avomaahan verrattuna. Keskimääräinen marjapaino oli jokseenkin sama molemmissa kasvupaikoissa. Marjapainoon vaikutikin eniten vadelman lajike siten, että 'Glen Dee' -lajikkeen marjapaino oli suurin (taulukko 2). Lajikkeen vaikutus kokonaissatoon ja marjojen lukumäärään sekä lajikkeen ja kasvupaikan yhdysvaikutus kokonaissatoon olivat huomattavat (taulukko 2).

Taulukko 2. Vadelman keskimääräinen kokonaissato ja marjojen kokonaismäärä yhtä satoversoa kohti sekä keskimääräinen marjapaino satokauden 2015 aikana. Tulokset ovat kolmen lohkon keskiarvoja (\pm keskiarvon keskivirhe).

	Kokonaissato (g/verso)	Marjojen lkm/verso	Marjapaino (g)
Kasvupaikka			
Avomaa	547 \pm 118 b	100 \pm 18 b	5,1 \pm 0,4
Tunneli	1086 \pm 67 a	218 \pm 13 a	5,2 \pm 0,4
Lajike			
'Glen Ample'	954 \pm 63 a	198 \pm 22 a	5,1 \pm 0,5 b
'Glen Dee'	819 \pm 205 ab	131 \pm 32 b	6,2 \pm 0,2 a
'Maurin Makea'	677 \pm 184 b	149 \pm 36 ab	4,1 \pm 0,2 b
Kaikkiaan	817 \pm 93	159 \pm 18	5,2 \pm 0,3
p-arvot			
Kasvupaikka	<0,001	<0,001	ns
Lajike	0,009	0,010	0,007
Yhdysvaikutus	<0,001	0,032	ns

Eri kirjaimella merkityt keskiarvot eroavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$).



Kuva 5. Eri vadelmalajikkeiden keskimääräinen viikkosato versoa kohden avomaalla ja tunnelissa satokaudella 2015.

Tarkasteltaessa kasvupaikkoja erikseen havaittiin, että sadossa oli avomaalla suuria lajikekohtaisia eroja mutta tunnelissa ei (taulukko 3). 'Glen Ample' -lajike tuotti avomaalla yhtä suuren kokonaissadon versoa kohden kuin tunnelissa. Sato jakautui myös tasaisesti useammalle viikolle (kuva 5). Sen sijaan lajikkeiden 'Maurin Makea' ja 'Glen

Dee' kokonaissato jäi avomaalla selvästi pienemmäksi kuin tunnelissa ($p < 0,001$). Avomaalla sekä 'Maurin Makea' -lajikkeen marjojen lukumäärä ($p = 0,001$) että marjapaino ($p < 0,001$) olivat pienemmät kuin tunnelissa. Lisäksi 'Maurin Makea' kokonaissato vaihteli avomaalla suuresti lohkojen välillä, ja marjoissa oli hyönteisten aiheuttamia vioituksia. 'Glen Dee' -lajike tuotti satoa tasaisesti kaikilla lohkoilla ja sen marjapaino oli koko satokauden ajan suurempi kuin muilla lajikkeilla (kuva 6).

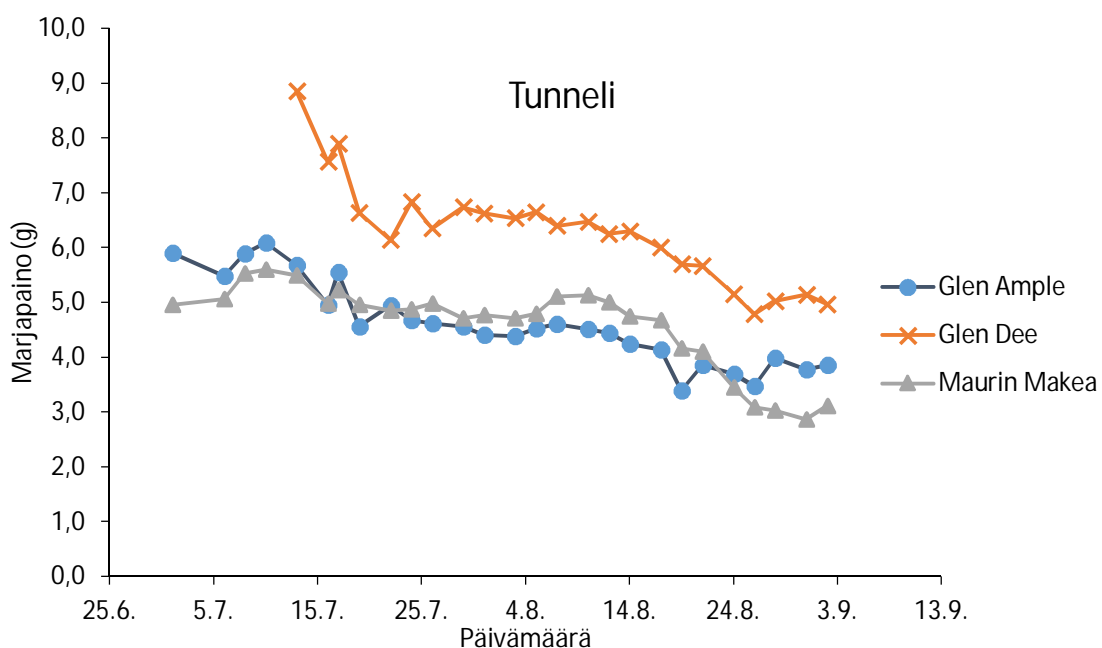
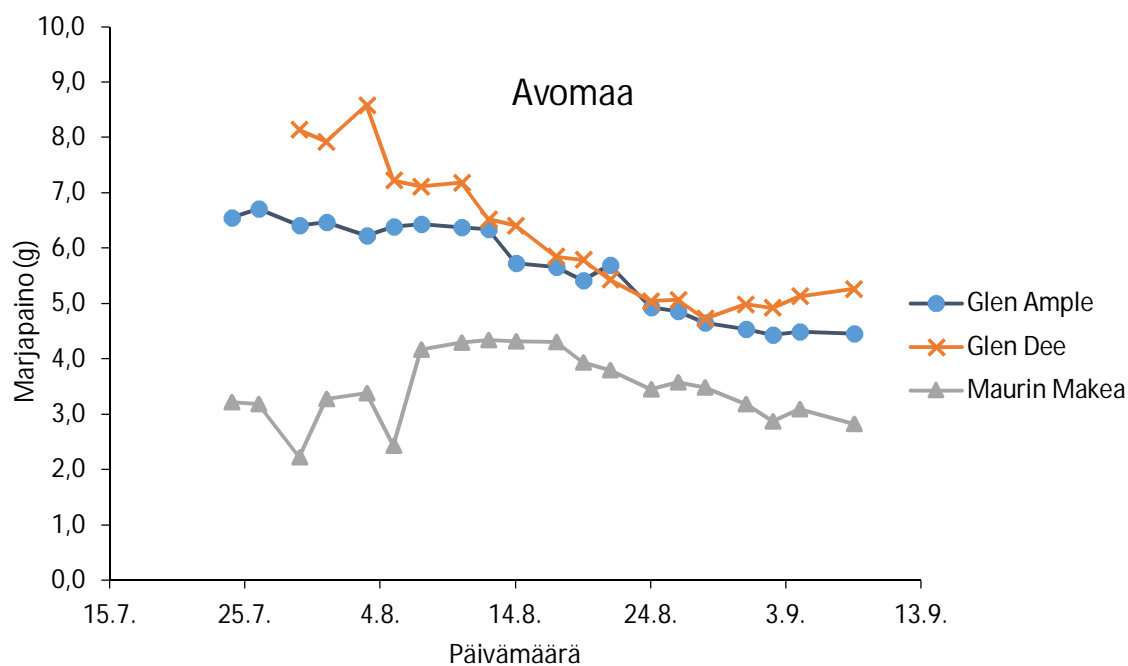
Tunnelissa 'Glen Ample' -lajikkeen marjapainon hajonta oli niin niin suuri, että varianssianalyysia lajikkeen vaikutuksesta marjapainoon ei voitu suorittaa. Kruskal-Wallis testin perusteella lajikkeiden marjapainot eivät tunnelissa eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

Taulukko 3. Lajikkeen vaikutus vadelman kokonaissatoon ja marjojen kokonaismäärään yhtä satoversoa kohti sekä keskimääräiseen marjapainoon avomaalla ja tunnelissa. Tulokset ovat kolmen lohkon keskiarvoja (\pm keskiarvon keskivirhe).

	Kokonaissato (g/verso)	Marjojen lkm/verso	Marjapaino (g)
Avomaa			
'Glen Ample'	1003 \pm 86 a	171 \pm 4 a	5,6 \pm 0,4 a
'Glen Dee'	367 \pm 15 b	59 \pm 1 b	6,2 \pm 0,3 a
'Maurin Makea'	272 \pm 20 b	71 \pm 5 ab	3,6 \pm 0,1 b
p-arvo	<0,001	<0,001	0,001
Tunneli			
'Glen Ample'	905 \pm 102 b	224 \pm 41 b	4,6 \pm 0,8
'Glen Dee'	1272 \pm 68 a	203 \pm 5 b	6,3 \pm 0,2
'Maurin Makea'	1082 \pm 72 ab	227 \pm 17 a	4,6 \pm 0,1
p-arvo	0,052	ns	ns

Eri kirjaimella merkityt keskiarvot eroavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) avomaalla tai tunnelissa.

Sato kasvia kohden vaihteli samansuuntaisesti kuin edellä mainittu versokohtainen sato. Erona näillä laskutavoilla oli se, että tunnelissa lähes kaikki 'Maurin Makea' -lajikkeen taimet olivat kaksiversoisia, ja sato kasvia kohden oli siksi yli 60 % suurempi kuin muilla lajikkeilla. Avomaalla 'Maurin Makea' -lajikkeen kasvikohtainen sato vaihteli suuresti lohkojen välillä. Kokonaissato kasvia kohden oli tunnelissa 84 % suurempi kuin avomaalla.



Kuva 6. Lajikkeiden keskimääräinen marjapaino poimintakertaa kohden avomaalla ja tunnelissa ajan funktiona satokauden 2015 aikana.

5.2 Sokeri- ja happopitoisuus

Kasvatusolosuhteilla havaittiin olevan suuri vaikutus marjan sokeri- ja happopitoisuuteen. Sekä vadelman marjasta puristetun mehun sokeripitoisuus että titraamalla määritetty happopitoisuus olivat avomaalla suuremmat kuin tunnelissa, ja ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä (taulukko 4). Avomaan vadelmista puristetun mehun pH oli myös merkitsevästi alhaisempi kuin tunnelin vadelmista puristetun mehun pH (taulukko 4). Keskimääräinen sokeri-happosuhte ei riippunut kasvupaikasta.

Myös lajikkeella oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus marjan sokeripitoisuuteen ja pH-arvoon. 'Glen Dee' -lajikkeen sokeripitoisuus oli pienempi ja 'Glen Ample' -lajikkeen pH alhaisempi kuin muilla lajikkeilla. Sen sijaan lajikkeiden väliset erot marjan happopitoisuudessa ja sokeri-happosuhteessa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (taulukko 4).

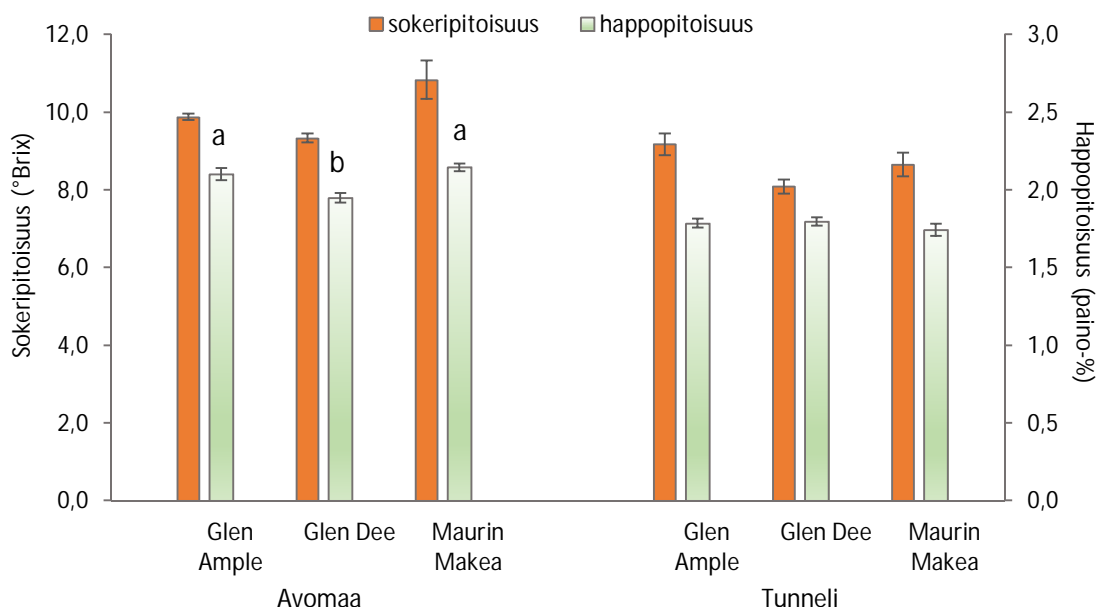
Taulukko 4. Vadelman marjan sokeripitoisuus, happopitoisuus, sokeri-happosuhte ja pH neljän poimintakerran ja kolmen lohkon keskiarvoina \pm keskiarvon keskivirhe.

	Sokeripitoisuus (°Brix)	Happopitoisuus (g/100 g)	Sokeri-happosuhte	Happamuus (pH)
Kasvupaikka				
Avomaa	10,0 \pm 0,3 a	2,06 \pm 0,03 a	4,86 \pm 0,11	3,04 \pm 0,01 a
Tunneli	8,6 \pm 0,2 b	1,77 \pm 0,02 b	4,88 \pm 0,12	3,26 \pm 0,01 b
Lajike				
'Glen Ample'	9,5 \pm 0,2 a	1,94 \pm 0,07	4,93 \pm 0,15	3,12 \pm 0,05 a
'Glen Dee'	8,7 \pm 0,3 b	1,87 \pm 0,04	4,66 \pm 0,09	3,17 \pm 0,04 b
'Maurin Makea'	9,7 \pm 0,6 a	1,94 \pm 0,09	5,02 \pm 0,14	3,17 \pm 0,05 b
Keskiarvo	9,3 \pm 0,2	1,92 \pm 0,04	4,87 \pm 0,08	3,15 \pm 0,03
p-arvot				
Kasvupaikka	<0,001	<0,001	ns	<0,001
Lajike	0,008	ns	ns	0,001
Yhdysvaikutus	ns	0,006	ns	ns

Eri kirjaimella merkityt keskiarvot eroavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$).

Tarkasteltaessa tunnelia ja avomaata erikseen huomattiin, että avomaalla sekä marjan happopitoisuus ($p = 0,012$) että pH ($p = 0,002$) vaihtelivat lajikkeiden välillä. Avomaalla pH-arvo oli 'Glen Ample' -lajikkeella 3,00, 'Glen Dee' -lajikkeella 3,07 ja 'Maurin Makea' -lajikkeella 3,05. Avomaalla 'Glen Ample' -lajikkeen pH oli alhaisin, mutta sen happopitoisuus ei kuitenkaan ollut suurempi kuin muilla lajikkeilla (kuva 7). 'Glen Dee' -lajikkeen marjat olivat vähähappoisimmat kummankin mittaustavan perusteella. Avomaalla 'Maurin Makea' -lajikkeen sokeripitoisuuden keskiarvo oli suurin ja 'Glen Dee' -lajikkeen pienin (kuva 7), mutta Kruskal-Wallis testin tuloksen perusteella ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0,051$). Myöskään sokeri-happosuhteessa ei ollut eroja lajikkeiden välillä.

Tunnelissa lajikkeiden väliset erot sokeri- ja happopitoisuudessa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (kuva 7). Tunnelissa lajikkeella ei ollut vaikutusta pH-arvoon. 'Glen Dee' -lajikkeen sokeri-happosuhte ei noudattanut normaalijakaumaa, ja Kruskal-Wallis testissä havaittiin, että sokeri-happosuhte ei tunnelissa vaihdellut lajikkeiden välillä ($p = 0,061$).



Kuva 7. Eri vadelmalajikkeiden sokeri- ja happopitoisuudet avomaalla ja tunnelissa. Tulokset ovat neljän poimintakerran ja kolmen lohkon keskiarvoja. Pylvään päällä oleva viiva kuvaa keskiarvon keskivirhettä. Eri kirjaimella merkityt arvot eroavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) avomaalla tai tunnelissa.

5.3 Antioksidanttiaktiivisuus

Antioksidanttiaktiivisuuden mittaaminen ei tuonut näkyviin tilastollisesti merkitseviä kasvupaikkojen tai lajikkeiden välisiä eroja (taulukko 5). Ainoastaan avomaan osalta lajikkeiden väliset tulokset erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p = 0,042$) siten, että 'Glen Ample' -lajikkeen marjoissa oli suurempi antioksidanttiaktiivisuus kuin 'Glen Dee' -lajikkeen marjoissa (kuva 8).

Tunnelissa lajikekohtaisten tulosten hajonnat olivat erisuuria eikä varianssianalyysia voitu suorittaa, mutta Kruskal-Wallis testin perusteella lajikkeiden keskimääräisessä antioksidanttiaktiivisuudessa ei ollut eroa lajikkeiden välillä (kuva 8).

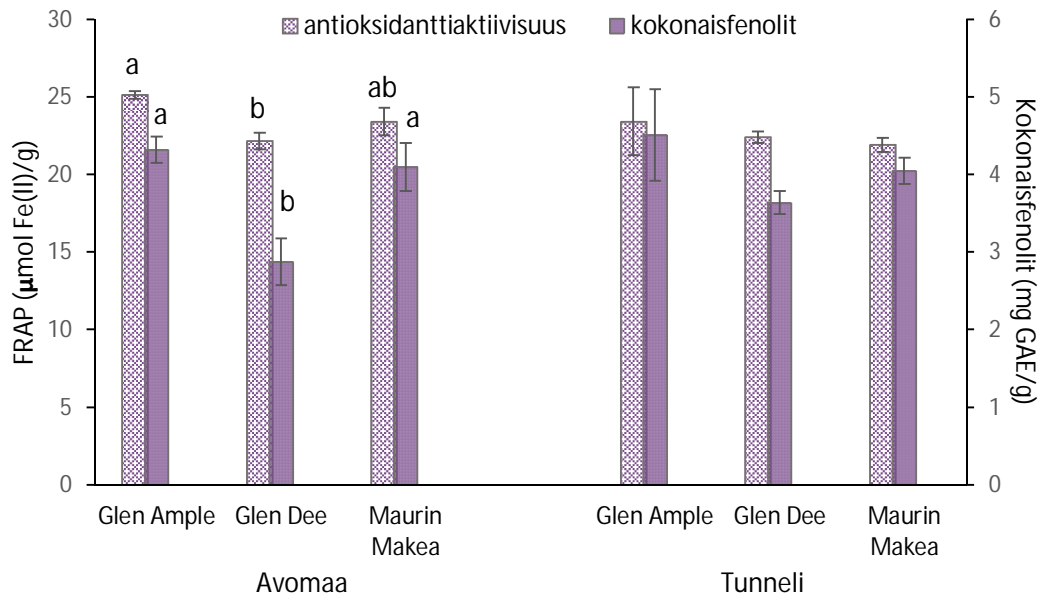
5.4 Kokonaisfenolipitoisuus

Vadelman kokonaisfenolipitoisuus vaihteli voimakkaasti lajikkeiden välillä, mutta kasvupaikalla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta (taulukko 5). Kokonaissadon osalta 'Glen Ample' -lajikkeella marjojen kokonaisfenolipitoisuus oli suurempi kuin 'Glen Dee' -lajikkeella. Tunnelissa lajikekohtaisten tulosten hajonnat olivat erisuuria (kuva 8) eikä varianssianalyysia voitu suorittaa. Kruskal-Wallis testin perusteella tunnelissa kasvavien lajikkeiden kokonaisfenolipitoisuudessa ei ollut eroa. Avomaalla lajikkeiden väliset erot sen sijaan olivat tilastollisesti merkitseviä ($p = 0,018$), ja 'Glen Dee' -lajikkeen marjojen kokonaisfenolipitoisuus oli pienempi kuin muilla lajikkeilla (kuva 8).

Taulukko 5. Vadelman marjan antioksidanttiaktiivisuus (FRAP) ja kokonaisfenolipitoisuus kolmen poimintakerran ja kolmen lohkon keskiarvoina \pm keskiarvon keskivirhe.

	FRAP ($\mu\text{mol Fe(II)/g}$)	Kokonaisfenolit (mg GAE/g)
Kasvupaikka		
Avomaa	23,6 \pm 0,5	3,8 \pm 0,3
Tunneli	22,6 \pm 0,7	4,1 \pm 0,2
Lajike		
'Glen Ample'	24,3 \pm 1,1	4,4 \pm 0,3 a
'Glen Dee'	22,3 \pm 0,3	3,3 \pm 0,2 b
'Maurin Makea'	22,7 \pm 0,6	4,1 \pm 0,2 ab
Keskiarvo	23,1 \pm 0,4	3,9 \pm 0,2
p-arvot		
Kasvupaikka	ns	ns
Lajike	ns	0,011
Yhdysvaikutus	ns	ns

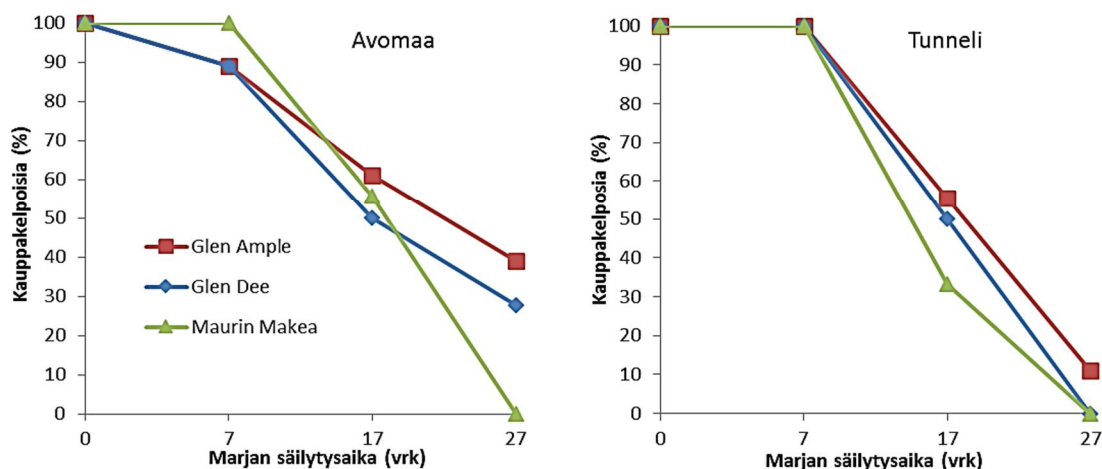
Eri kirjaimella merkityt keskiarvot eroavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$).



Kuva 8. Vadelman marjan keskimääräinen antioksidanttiaktiivisuus (FRAP-arvo) ja keskimääräinen kokonaisfenolipitoisuus eri lajikkeilla avomaalla ja tunnelissa. Tulokset ovat kolmen poimintakerran ja kolmen lohkon keskiarvoja. Pylvään päällä oleva viiva kuvaa keskiarvon keskivirhettä. Eri kirjaimella merkityt arvot eroavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) avomaalla tai tunnelissa.

5.5 Varastointikestävyys

Varastointikokeen tuloksia ei käsitelty tilastollisesti. Varastointikokeessa +5 °C:n lämpötilassa 'Glen Ample' -lajikkeen marjat säilyivät keskimäärin parhaiten. Tunnelista poimitut marjat kestivät paremmin lyhyttä säilytystä, mutta avomaalta poimitut marjat pysyivät laadukkaampina säilytyksen jatkuessa (kuva 9). Osaan avomaalta poimituista marjoista tuli näkyvää harmaahomekasvustoa jo ensimmäisen viikon aikana ja ne hylättiin, mutta jäljelle jääneet marjat säilyivät hyvin. Kaikki tunnelista poimitut marjat olivat homeettomia ja raikkaan värisiä vielä seitsemän vuorokautta sadonkorjuun jälkeen, mutta 17 päivän säilytyksen jälkeen yli puolet oli pilaantunut. Jäljelle jääneistä marjoista avomaalla kasvaneiden marjojen yleiskunto oli selvästi tunnelimarjoja parempi. Kokeen loppuessa tunnelista poimitut marjat olivat lähes mustia ja kuivuneita, kun taas avomaan marjat olivat väriltään tummanpunaisia ja lähes alkuperäisen kokoisia.



Kuva 9. Avomaalla ja tunnelissa kasvaneiden marjojen keskimääräinen säilyvyys +5 °C:n lämpötilassa.

Huoneenlämmössä suoritetussa varastointikokeessa kaikki marjat olivat pilaantuneet kuuden päivän kuluessa ja koe lopetettiin. Suurimmassa osassa marjoja esiintyi homekasvustoa, ja osa oli kuivunut (taulukko 6).

Taulukko 6. Huoneenlämmössä ja +5 °C:ssa varastoitujen marjojen pilaantumisen syy.

	huoneenlämpö (6 vrk)		+5 °C (27 vrk)		
	kuivuminen (%)	home (%)	kuivuminen (%)	home (%)	kuivuminen ja home (%)
Avomaa					
'Glen Ample'	50	50	39	61	0
'Glen Dee'	17	83	28	72	0
'Maurin Makea'	17	83	0	100	0
Keskiarvo	28	72	22,3	77,7	0
Tunneli					
'Glen Ample'	33	67	11	44,5	44,5
'Glen Dee'	33	67	0	50	50
'Maurin Makea'	0	100	0	67	33
Keskiarvo	22	78	3,7	53,8	42,5

5.6 Yleisiä huomioita

Vadelman marjojen ulkoinen ja aistittava laatu vaihtelivat huomattavasti kasvuolosuhdeiden mukaan. Tätä osa-aluetta ei tutkittu mittauksin, vaan havainnot perustuvat subjektiiviseen arviointiin. Avomaalta poimitut 'Glen Ample' ja 'Glen Dee' -lajikkeiden marjat olivat kiinteitä ja helppoja käsitellä. 'Maurin Makean' marjat jäivät avomaalla tiivisrakenteisiksi ja kuivan tuntuisiksi. Tunnelissa kasvaneet marjat olivat erittäin pehmeäpintaisia ja vaurioituivat helposti poiminnan yhteydessä. Tunnelissa marjoista arviolta keskimäärin 10 % varisi ennen sadonkorjuuta.

Tunnelissa marjojen laatu oli epätasainen. 'Glen Dee' -lajikkeen marjat pehmenivät jo ennen sadonkorjuuta ja niiden väri muuttui harmahtavaksi. 'Glen Ample' -lajikkeen

marjoissa oli yksittäisiä valkoisia osahedelmiä tai vaaleita alueita, jotka johtuvat ilmeisesti ultraviolettisäteilyn aiheuttamista vaurioista. 'Maurin Makea' -lajikkeen marjojen ulkonäkö oli houkutteleva, mutta maku vaihteli.

'Glen Ample' -lajikkeen marjat kärsivät tunnelissa kehityshäiriöistä, jotka aiheuttivat suurta vaihtelua marjojen kokoon, muotoon että laatuun. Tunnelin lohossa III vadelmat olivat suuria (marjapaino keskimäärin 6,1 g) ja ihanteellisen muotoisia. Lohossa II vadelmat olivat kapeita ja pitkänomaisia ja kuivan näköisiä. Lohossa I esiintyi sekä suuria että pieniä vadelmia eri sivuversoissa.

6 Tulosten tarkastelu

Lukuisat ympäristötekijät vaikuttivat tässä tutkimusprojektissa vadelman satoon ja sadon laatuun. Kasvualusta, kastelu ja lannoitus olivat tunnelissa erilaiset kuin avomaalla. Ilmankosteus vaihtelee tunnelissa ja avomaalla eri tavoin. Tunnelissa keskilämpötila oli korkeampi ja lämpötilan vuorokautiset vaihtelut suurempia (kuva 3) kuin avomaalla (kuva 2). Valon määrä on tunnelissa oletettavasti hieman vähäisempi kuin avomaalla, mutta säteilyn spektrissä (kuva 4) ei kuitenkaan havaittu suuria eroja. Avomaalla tuuli ja sade vaikuttivat kasvien menestymiseen.

Kasvit kasvoivat edellisen kesän 2014 samoilla kasvupaikoillaan avomaalla ja tunnelissa, ja vegetatiivisen kasvun voimakkuus määräsi satoversojen pituuden ja biomassan määrän. Syksyllä 2014 kukintoaiheet muodostuivat silmämääräisesti arvioiden onnistuneesti. Suuria talvivaurioita ei havaittu avomaalla eikä tunnelissa. Vadelman marjan laatu ja marjapaino määräytyivät kasvukauden 2015 olosuhteiden mukaisesti.

6.1 Sato

Tutkimuksen päätuloksena sadon osalta voidaan pitää sitä, että vadelman versokohtainen kokonaissato oli marjojen suuren lukumäärän johdosta tunnelissa huomattavasti suurempi kuin avomaalla. Lajikekohtaisesti tämä näkyy siinä, että 'Glen Dee' -lajikkeen sato oli tunnelissa 1,9 -kertainen ja 'Maurin Makea' -lajikkeen sato oli nelinkertainen avomaahan verrattuna. 'Glen Ample' -lajikkeen sato oli hyvä kasvuolosuhteista riippumatta (taulukko 3).

Aikaisempien tulosten perusteella (Palonen ym. 2015) voidaan olettaa, että vadelman sato määräytyy ennen kaikkea sen perusteella, miten uusien versojen kasvu on onnistunut edellisellä kesänä ja miten satoversot ovat talvehtineet. Tämä määrää vadelman kukkien lukumäärän eli satopotentiaalin. Avomaalla varsinkin 'Maurin Makea' -lajikkeen versojen kasvu oli vuonna 2014 ollut heikkoa, mikä pienensi kasvien satopotentiaalia. Tunnelissa talvehtiminen onnistui hyvin, koska ruukut oli kaadettu kyljelleen ja vadelman versot olivat lumen peitossa. Tunnelissa kasvien biomassa oli kaikkiaan suurempi suotuisien kasvuolosuhteiden takia. Satoversojen lukumäärä kasveissa vaihteli, ja siksi kokonaissato ja marjojen lukumäärä laskettiin keskiarvona satoversoa kohti.

Marjojen lukumäärään vaikutti myös hylättyjen ja varisseiden marjojen osuus. Satokauden alussa marjoista hylättiin tunnelissa arviolta 4 % homeutumisen tai lintujen aiheuttamien tuhojen takia. Avomaalla varisseiden marjojen määrän arviointi oli vaikeaa riviväleissä kasvavan nurmikon takia. Avomaalta poimittavissa marjoissa ei esiintynyt paljon harmaahometta lukuun ottamatta satokauden viimeisiä päiviä. 'Glen Dee' -lajikkeen marjat pehmenivät tunnelissa usein jo ennen poimintaa, mutta nämä marjat hyväksyttiin kuitenkin kokonaissatoon. Tunnelissa marjojen kypsyminen oli heinäkuun lopulla niin kiivasta (kuva 5), että kolme kertaa viikossa tapahtuva sadonkorjuu ei ollut riittävän tiheää. Tällöin 'Maurin Makea' -lajikkeen marjoista noin 20 % varisi tunnelin lattialle ja rikkoutui, ja marjat jouduttiin hylkäämään.

Kasvuolosuhteiden vaikutus keskimääräiseen marjapainoon ei ollut tilastollisesti merkitsevä siitä huolimatta, että kasvupaikka vaikutti marjapainoon yhdellä lajikkeella kolmesta. 'Maurin Makean' marjat olivat avomaalla huomattavasti pienempiä kuin tunnelissa, ja hyönteisten aiheuttamat vioitukset olivat tähän suurin syy. 'Glen Ample' -lajikkeen marjat taas olivat tunnelin kahdessa lohossa keskimäärin pienempiä kuin avomaalla. Tämä johtuu marjojen kehityshäiriöistä, joita esiintyi osassa 'Glen Ample' -lajikkeen satoversoista. Häiriöt olivat todennäköisesti syntyneet jo edellisellä kasvukaudella syntyneisiin kukintoaiheisiin, sillä marjojen muoto oli yhdenmukainen kussakin sivuversossa (kaksiosaiset marjat) tai koko satoversossa (pienikokoiset marjat). Suomessa ja muuallakin Euroopassa on viime vuosina havaittu vaihtelua 'Glen Ample' -la-

jikkeen laadussa (Graham ym. 2015). Samassa tunnelissa kasvava saman lajikkeen toinen hankintaerä sen sijaan tuotti tasalaatuista satoa. Avomaalla 'Glen Ample' -lajikkeen marjat kehittyivät normaalisti.

Vegetatiivisia versoja kasvoi tunnelissa runsaasti ja osa niistä poistettiin satokauden aikana, mutta käsittely ei ollut systemaattista. Fernandezin ja Prittsin (1996) käsityksen mukaan uusien kasvuversojen lukumäärällä ei ole kuitenkaan vaikutusta satoversojen sadontuottoon.

6.2 Aistittava laatu

Kasvatusolosuhteiden vaikutus vadelman sokeri- ja happopitoisuuteen oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Sekä liukoisen kuiva-aineen määrä (sokeripitoisuus) että happopitoisuus olivat suuremmat avomaalla kuin tunnelissa kasvaneissa marjoissa (taulukko 4). Avomaalla myös lajikkeiden väliset erot korostuivat enemmän kuin tunnelissa. Kasvatusolosuhteet vaikuttivat myös jokaiseen lajikkeeseen erikseen siten, että kahden lajikkeen sokeripitoisuus ja kaikkien lajikkeiden happopitoisuus olivat avomaalla suuremmat kuin tunnelissa.

Marjan sokeri- ja happopitoisuus vaihtelivat näytteissä niin samansuuntaisesti, että erot sokeri-happosuhteessa pysyivät normaalin tilastollisen vaihtelun rajoissa. Sokeri-happosuhte kertookin enemmän marjan kypsyysasteesta kuin laadusta (Malowicki ym. 2008). Muutenkin sokeri- ja happopitoisuus selittävät mausta vain osan. Vadelmassa esiintyvistä haihtuvista aromiyhdisteistä 15–20 vaikuttaa marjan aromiin merkitsevästi (Larsen ja Poll 1990), ja aromiyhdisteiden pitoisuus on riippuvainen lajikkeesta (Vrhovsek ym. 2014). Vadelman aistittavan makeuden ja aistittavan happamuuden on kuitenkin havaittu olevan korrelaatioosuhteessa marjan sakkaroosipitoisuuden ja sokeri-happosuhteen kanssa (Stavang ym. 2015). Avomaalla kasvavan 'Glen Ample' -lajikkeen happopitoisuus oli sama mutta sokeripitoisuus suurempi kuin aikaisemmissa Norjassa avomaalla toteutetussa tutkimuksissa, joissa sokeripitoisuus oli vain 8,8 °Brix (Mazur ym. 2014a). Tunnelissa taas 'Glen Ample' -lajikkeen marjojen sokeri- ja happopitoisuudet olivat alemmat kuin eräissä kasvihuonetutkimuksissa saadut tulokset (esimerkiksi sokeripitoisuus 9,9 °Brix ja happopitoisuus 2,2 % (Remberg ym. 2010)). Mittaustulokset

eivät kuitenkaan ole välttämättä keskenään vertailukelpoisia vaihtelevien mittausmenetelmien vuoksi.

Tunnelissa esiintyi koko alkukesän ajan yli 35 °C:n maksimilämpötiloja (kuva 3). Liian korkeiden lämpötilojen (yli 25 °C) on todettu aiheuttavan vadelmalle kuumuusstressiä ja fotosynteesin heikkenemistä (Stafne ym. 2001). Onkin mahdollista, että kuumuus vähentää fotosynteesituotteiden kuljetusta marjaan. Tunnelissa vallitseva korkea lämpötila ja vähäisempi valon määrä voivat vaikuttaa myös marjan tuottamien haihtuvien aromiyhdisteiden biosynteesiin (Paterson ym. 2013). Nyt havaittiinkin, että kaikkien lajikkeiden maku ei kehittynyt tunnelissa ihanteelliseksi. Korkean lämpötilan, ilmankosteuden, valon tai muiden ympäristötekijöiden suoraa vaikutusta vadelman marjan aistittavaan laatuun ei ole kuitenkaan tutkittu riittävästi, vaikka tutkimustarpeesta on raportoitu jo 1990-luvulla (Cameron ym. 1993).

6.3 Ravitsemuksellinen laatu

Vadelman terveysvaikutteisten ominaisuuksien tutkiminen ei tuonut esille suuria kasvuolosuhteisiin liittyviä eroavaisuuksia (taulukko 5). Antioksidanttiaktiivisuuden tutkiminen FRAP-menetelmällä ja fenoliyhdisteiden kokonaispitoisuuden tutkiminen Fast Blue BB -menetelmällä antoivat keskenään hieman erisuuntaiset tulokset. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei kuitenkaan löytynyt edes verrattaessa yksittäisen lajikkeen antioksidanttiaktiivisuutta tai fenolipitoisuutta kasvupaikkojen välillä.

Lajikkeiden välinen järjestys kokonaisfenolipitoisuuden osalta tuli tutkimuksessa hyvin esiin. Selvästikin 'Glen Ample' -lajikkeen marjat sisälsivät eniten fenoliyhdisteitä ja 'Glen Dee' -lajikkeen marjat vähiten (taulukko 5). Järjestys säilyi samana riippumatta siitä, vertailtiinko ominaisuuksia avomaalla (kuva 8) vai koko populaatiossa. Avomaalla 'Glen Ample' -lajikkeen kokonaisfenolipitoisuus oli peräti 48 % suurempi kuin 'Glen Dee' -lajikkeen. Tunnelissa erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Antioksidanttiaktiivisuus vaihteli vastaavasti lajikkeiden välillä, mutta erot olivat pienempiä eivätkä tilastollisesti merkitseviä. Samoja ominaisuuksia on ennenkin vertailtu eri vadelmalajikkeiden välillä, mutta kyse on ollut eri lajikkeista tai risteytyksistä.

Kokonaisfenolipitoisuuden määrittäminen tuotti näytteiden välillä suurempia eroja kuin antioksidanttiaktiivisuuden määrittäminen. Näytteen antioksidanttiaktiivisuuden ja kokonaisfenolipitoisuuden välillä havaittiin kuitenkin lievä korrelaatio ($r=0,590$, $p < 0,001$). Mahdollisesti osa FRAP-testissä mitatusta absorbanssista olikin peräisin jostain systemaattisesta virheestä eikä pelkästään fenoliyhdisteiden antioksidanttiaktiivisuudesta. Marjan C-vitamiinipitoisuutta ei mitattu, eli sen osuutta antioksidanttiaktiivisuudesta ei voi arvioida. Toisaalta antioksidanttiaktiivisuuden ja kokonaisfenolipitoisuuden välillä aikaisemmin havaittu voimakas korrelaatio (Deighton ym. 2000, Connor ym. 2005) voi johtua siitä, että kokonaisfenolipitoisuus oli mitattu Folin-Ciocalteu -menetelmällä. Folin-Ciocalteu -menetelmä ei mittaa fenolipitoisuutta suoraan, vaan mitaus tapahtuu antioksidanttiaktiivisuuden kautta (Everette ym. 2010).

Marjoista keskimäärin mitattu kokonaisfenolipitoisuus (taulukko 5) vastasi hyvin odotuksia. Aikaisemmin 'Glen Ample' -lajikkeesta on mitattu pitoisuus 1,9 mg GAE (Mazur ym. 2014a) ja 'Glen Lyon' -lajikkeesta pitoisuus 2,1 mg GAE (Deighton ym. 2000) grammassa tuoretta vadelmaa. Nämä määritykset oli tehty Folin-Ciocalteu -menetelmällä, johon verrattuna nyt käytetty Fast Blue BB-menetelmän on havaittu antavan tuloksena noin 2,6 -kertaisen kokonaisfenolipitoisuuden (Lester ym. 2012). 'Maurin Makea' -lajikkeen kokonaisfenolipitoisuutta ei ole tutkittu, mutta sen ellagitanniinipitoisuudeksi on mitattu noin 1 mg GAE/g (Määttä-Riihinen ym. 2004). 'Glen Ample' -lajikkeesta aikaisemmin mitattu antioksidanttiaktiivisuus oli noin 30–40 $\mu\text{mol Fe(II)-TPTZ}$ grammassa tuoretta vadelmaa (Remberg ym. 2010). Tämä tulos on hieman suurempi kuin nyt määritetty keskimääräinen antioksidanttiaktiivisuus (taulukko 5).

Monet ympäristötekijät voivat vaikuttaa fenolisten yhdisteiden biosynteesiin kasveissa, mutta vadelman kohdalla esimerkiksi antosyaanien biosynteesin säätelyä ei vielä tunneta tarpeeksi (McCallum ym. 2010). Korkeiden lämpötilojen on havaittu estävän antosyaanien tuotantoa omenassa, jolloin hedelmä ei värity punaiseksi (Lin-Wang ym. 2011). Toisaalta korkea lämpötila voi lisätä fenoliyhdisteiden määrää mansikassa (Wang ja Zheng 2001). Nytkin voidaan olettaa, että tunneliolosuhteissa vallinnut korkea lämpötila on voinut muuttaa hedelmän kemiallista koostumusta ja eri fenoliyhdisteiden keskinäisiä suhteita. Lämpötilan ja ultravioletisäteilyn yhteisvaikutus (Renquist

ym. 1989) näkyi tunnelissa kasvaneissa vadelmissa siten, että joidenkin marjojen yksittäiset osahedelmät olivat muuttuneet värittömiksi.

Tutkittaessa marjojen terveystaikutuksia tulee vastaan monia ristiriitaisia näkökulmia. Ensinnäkin marjoja tulisi käyttää säännöllisesti huomattavia määriä saadakseen niistä terveydellistä hyötyä. Myös marjojen säilöntätavat ja prosessointi vaikuttavat tuotteen lopulliseen ravintosisältöön. Esimerkiksi pakastuksen on havaittu pienentävän vadelman ellagihappo- ja C-vitamiinipitoisuutta tietyillä lajikkeilla, kun taas polyfenolien kokonaismäärä yleensä pysyy ennallaan (de Ancos ym. 2000). Toinen ongelma on se, että marjan sisältämien yhdisteiden biokemialliset ominaisuudet mitataan yleensä koeputkessa, mutta niiden biologinen vaikutus ihmiskehossa on kiistanalainen (Rao ja Snyder 2010).

Lisäksi herää kysymys, kuinka paljon eri viljelymenetelmien vaikutusta vadelman fenolipitoisuuteen kannattaa tutkia. Vadelmat tunnetaan joka tapauksessa korkeasta kokonaisfenolipitoisuudestaan. Ellagitanniinien pitoisuus on kaikissa lajikkeissa korkea, ja kaikki *Rubus*-suvun marjat sisältävät sitä enemmän antosyaaneja, mitä tummempi marjan väri on (Määttä-Riihinen ym. 2004, Koponen ym. 2007). Lajikkeen lisäksi fenolipitoisuuteen voivat vaikuttaa lukuisat ympäristötekijät ja niiden yhteisvaikutukset. Esimerkiksi Mazurin ym. (2014b) havaintojen mukaan päivänpituus vaikuttaa 'Glen Ample' -vadelman marjan ellagihappopitoisuuteen, vaikka kokonaisfenolipitoisuus ei muutu päivänpituuden mukana.

6.4 Kemiallisten analyysitulosten virhelähteet

Kemiallisen analyysin suoritusmenetelmien suunnitteluun olisi voinut käyttää enemmän aikaa, koska varsinkin laimennossuhteet riippuvat suuresti tutkittavien marjojen rakenteesta ja laadusta. Työmenetelmiä pyrittiin kuitenkin testaamaan etukäteen pakastevadelmia käyttämällä. Käytettyjen eteläeurooppalaisten pakastevadelmien rakenne oli mehukas ja väri tumma, kun taas tutkittavat vadelmat olivat hyvin kiinteitä ja väriltään vaaleita. Tämän takia tutkimuksen valmisteluvaihe jatkui vielä sadonkorjuuainakana, eikä kaikkia vaihtoehtoisia työmenetelmiä ehditty kokeilla.

Aikatauluongelmien vuoksi myös kokeiden toistojen määrä jäi suunniteltua pienemmäksi. Syynä oli odotettua suurempi sato, jonka takia sadonkorjuu ja marjojen laskeminen veivät valtaosan ajasta. Pakastettujen marjojen sulattaminen mehun ja uutteen valmistusta varten oli hidasta ja marjat piti käsitellä välittömästi sulatuksen jälkeen. Mehun puristaminen sokeripitoisuuden ja happamuuden mittausta oli myös aikaa vievää, sillä mehupuristinta ei ollut suunniteltu vadelmien käsittelyyn ja vadelmalajikkeiden 'Glen Ample' ja 'Glen Dee' marjat olivat hyvin kiinteitä. Lisäksi mehun kirkastamista piti odottaa luotettavien tulosten saamiseksi. Sameaa mehua käytettäessä refraktorin näyttö jäi epäselväksi ja pH:n tasaantuminen titrauksen yhteydessä kesti kauan.

Kirjallisuuden perusteella työmenetelmiin voisi ehdottaa parannuksia. Koska vadelma-mehu on viskoosia ja sisältää paljon pektiiniä (Nindo ym. 2005), vadelmiin lisätään usein pektinaasientsyymiä mehun erottumisen helpottamiseksi (Deighton ym. 2000). Lisäksi puristemehun kuumennus pysäyttäisi siinä tapahtuvan entsyymiaktiivisuuden (Malowicki ym. 2008) ja titrauksen voisi näin ollen siirtää sopivampaan ajankohtaan.

Marjanäytteiden keruupäivät oli suunniteltu etukäteen, mutta puutteellisen tiedon perusteella. Satokauden pituutta oli vaikea arvioida etukäteen, ja avomaalla näytteiden keräys piti siirtää toiseen päivään sateen sattuessa. 'Maurin Makean' sato oli avomaalla niin huono, että vaihtoehtoisia sadonkorjuupäiviä oli vähän ja näyte-erät jäivät pieniksi.

Kokonaisfenolipitoisuutta mitattaessa FBBB-reagenssi toimi näissä olosuhteissa vaihtelevasti. Ensimmäisenä mittauspäivänä spektrofotometrin vertailukyvetissä olevan liuoksen (reagenssinollan) absorbanssi pysyi lähes samana koko mittaussarjan ajan, ja mittaussarja onnistui hyvin. Toisena mittauspäivänä reagenssinollan absorbanssi alkoi kohota mittauksen aikana, ja siksi mitattavien näytteiden absorbanssit näyttivät olevan todellista pienempiä. Luotettavien tulosten saamiseksi olisi pitänyt mitata lyhyitä sarjoja ja kokeet olisi pitänyt toistaa useita kertoja. Koska standardiliuoksena käytetty galushappoliuos säilyy vain kolme vuorokautta (Sochor ym. 2010), sitä olisi pitänyt valmistaa useita eriä, mikä olisi sekin vähentänyt mittauksen luotettavuutta.

Antioksidanttiaktiivisuuden ja kokonaisfenolipitoisuuden mittauksessa on mukana muitakin virhelähteitä, sillä FBBB-reagenssi ja jääkylmä marjauute olivat hyvin viskooseja ja liuokset tarttuivat 200 µl pipetinkärjen ulkopintaan, mikä voi huonontaa mittaustarkkuutta. Työhuoneen valaistus piti myös sammuttaa fenolisten yhdisteiden suojelemiseksi. Kokonaisfenolipitoisuuden mittausta toistettiin kuitenkin harjoitusmielessä monta kertaa ja mittaustulosten keskinäinen järjestys pysyi aina samana.

6.5 Säilyvyys

Varastointikoe +5 °C:n lämpötilassa osoitti, että avomaan marjoihin kasvoi harmaahomekasvustoa nopeammin kuin tunnelissa kasvaneisiin marjoihin (kuva 9). Tulos on yhtäpitävä Hansonin ym. (2011) havaintojen kanssa. Toisaalta marjojen rakenne muodostui avomaalla kiinteämmäksi ja siksi paremmin varastoitumiseen sopivaksi. Aiheesta ei ole saatavilla tutkimustietoa, mutta marjojen kuiva-ainepitoisuuden voi olettaa olevan avomaalla suurempi kuin tunnelissa. Tunnelista poimitut marjat säilyivät ensimmäiset 1–2 viikkoa hyvin, mutta alkoivat tämän jälkeen tummua ja kuivua samaan aikaan harmaahomeen ilmestymisen kanssa.

Vertailua vaikeuttaa se, että marjojen kypsyminen oli tunnelissa hyvin nopeaa ja poimitujen marjojen kypsyysaste ei välttämättä ollut sama kuin avomaalla. Kokeen toistaminen ja täsmällisempien laatukriteerien määrittely olisivatkin lisänneet tulosten luotettavuutta. Aikaisemmat tutkimustulokset eivät anna tietoa pitkäaikaisen säilytyksen onnistumisesta, sillä marjojen säilymistä on yleensä seurattu vain yhden viikon ajan (Hanson ym. 2011).

Testiolosuhteissa marjat varastoitiin yksitellen eivätkä ne koskettaneet toisiinsa, kun taas todellisessa varastointitilanteessa yhdestäkin marjasta leviävä homekasvusto saastuttaa nopeasti koko pakkauksen. Silloin oleellisinta ei ole tartunnan saaneiden marjojen prosentuaalinen osuus vaan se, kuinka pian home aktivoituu ensimmäisissä marjoissa.

Tulokset olivat osittain ristiriitaisia. Vaikka harmaahomeitiöiden on todettu leviävän avomaalla laajemmalle kuin säältä suojaavan katoksen alla, kokeessa käytetty tunneli

suosi myös harmaahomeen kasvua. Syynä olivat tunnelin lattialle ajoittain jääneet kasvinjätteet ja tunnelissa esiintyvä suuri ilmankosteus. Koska tunnelissa kasvavat vadelmat olivat hyvin korkeita ja niiden lehtiala oli suuri, edes tunnelin sijainti rinteessä ei riittänyt takaamaan tehokasta ilmanvaihtoa. Tunneliin voisikin lisätä tuuletusautomaatiikkaa tai käyttää tunnelia, jonka jalvoja voi säätää pitemmiksi vadelmien kasvaessa korkeutta.

6.6 Johtopäätökset

Tunnelia ja tunneliviljelyyn sopivia lajikkeita käyttämällä viljelijä todennäköisesti välttyy säiden aiheuttamilta suurilta satotappioilta, ja satotaimia käyttämällä satokauden voi ajoittaa halutusti. Lisäksi sadon tuotto on tunnelissa avomaata tasaisempaa ja satokausi pitempi, mikä helpottaa tuotteiden markkinointia.

Tämän tutkimuksen perusteella tunnelikasvatus ei heikennä vadelman ravitsemuksellista laatua, mutta pienentyneiden sokeri- ja happopitoisuuksien takia maku voi jäädä vähemmän intensiiviseksi kuin avomaalla. Tärkeimmät lajikekohtaiset havainnot olivat, että 'Glen Ample' -lajike säilytti hyvät ominaisuutensa kasvuolosuhteista riippumatta ja 'Maurin Makea' -lajike osoittautui tunnelissa erittäin tuottoisaksi. 'Glen Dee' -lajikkeen marjat olivat suurimmat, mutta laatuominaisuudet muita heikommat.

Vaikka vadelman sadossa ja marjojen kemiallisessa koostumuksessa löytyi kasvuolosuhteista johtuvia eroja, tuloksia ei voi yleistää kaikkeen tunneliviljelyyn. Tämä johtuu siitä, että viljelykäytännöt olivat täysin erilaiset tunnelissa ja avomaalla. Satotutkimuksen tuloksia ei myöskään voi yleistää vuosittain uusittavien satotaimien kasvatukseen, sillä kesän 2014 ja sitä seuraavan talven olosuhteet tunnelissa ja avomaalla vaikuttivat kesän 2015 satoon.

7 Lähteet

- Addai, Z. R., Abdullah, A. & Mutalib, S. A. 2013. Effect of extraction solvents on the phenolic content and antioxidant properties of two papaya cultivars. *Journal of Medicinal Plants Research* 7: 3354-3359.
- Antolovich, M., Prenzler, P., Robards, K. & Ryan, D. 2000. Sample preparation in the determination of phenolic compounds in fruits. *Analyst* 125: 989-1009.
- Aprea, E., Biasioli, F. & Gasperi, F. 2015. Volatile compounds of raspberry fruit: from analytical methods to biological role and sensory impact. *Molecules* 20: 2445-2474.
- Barbehenn, R. V. & Constabel, C. P. 2011. Tannins in plant–herbivore interactions. *Phytochemistry* 72: 1551-1565.
- Beekwilder, J., Hall, R. D. & Ric de Vos, C. H. 2005a. Identification and dietary relevance of antioxidants from raspberry. *Biofactors* 23: 197-205.
- Beekwilder, J., Jonker, H., Meesters, P., Hall, R. D., van der Meer, I. M. & Ric de Vos, C. H. 2005b. Antioxidants in raspberry: on-line analysis links antioxidant activity to a diversity of individual metabolites. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 3313-3320.
- Benzie, I. F. & Strain, J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239: 70-76.
- Bobinaitė, R., Viškelis, P. & Venskutonis, P. R. 2012. Variation of total phenolics, anthocyanins, ellagic acid and radical scavenging capacity in various raspberry (*Rubus* spp.) cultivars. *Food Chemistry* 132: 1495-1501.
- Bradish, C. M., Yousef, G. G., Ma, G., Perkins-Veazie, P. & Fernandez, G. E. 2015. Anthocyanin, carotenoid, tocopherol, and ellagitannin content of red raspberry cultivars

grown under field or high tunnel cultivation in the southeastern United States. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 140: 163-171.

Bushman, B. S., Phillips, B., Isbell, T., Ou, B., Crane, J. M. & Knapp, S. J. 2004. Chemical composition of caneberry (*Rubus* spp.) seeds and oils and their antioxidant potential. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 7982-7987.

Cameron, J., Klauer, S. & Chen, C. 1993. Developmental and environmental influences on the photosynthetic biology of red raspberry (*Rubus idaeus* L.). *Acta Horticulturae* 352: 113-122.

Carew, J. G., Gillespie, T., White, J., Wainwright, H., Brennan, R. & Battey, N. H. 2000a. The control of the annual growth cycle in raspberry. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 75: 495-503.

Carew, J. G., Gillespie, T., White, J., Wainwright, H., Brennan, R. & Battey, N. H. 2000b. Techniques for manipulation of the annual growth cycle in raspberry. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 75: 504-509.

ChemBuddy 2009. Titration of polyprotic substances and mixtures. <http://www.titrations.info/acid-base-titration-polyprotics-and-mixtures>. Viitattu 15.10.2015.

Comeau, C., Privé, J. & Moreau, G. 2012. Beneficial impacts of the combined use of rain shelters and reflective groundcovers in an organic raspberry cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 155: 117-123.

Connor, A. M., Stephens, M. J., Hall, H. K. & Alspach, P. A. 2005. Variation and heritabilities of antioxidant activity and total phenolic content estimated from a red raspberry factorial experiment. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130: 403-411.

Dai, J. & Mumper, R. J. 2010. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules* 15: 7313-7352.

- Darnell, R. L., Alvarado, H. E., Williamson, J. G., Brunner, B., Plaza, M. & Negrón, E. 2006. Annual, off-season raspberry production in warm season climates. *HortTechnology* 16: 92-97.
- de Ancos, B., González, E. M. & Cano, M. P. 2000. Ellagic acid, vitamin C, and total phenolic contents and radical scavenging capacity affected by freezing and frozen storage in raspberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 4565-4570.
- de Ancos, B., Gonzalez, E. & Cano, M. P. 1999. Differentiation of raspberry varieties according to anthocyanin composition. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Lebensmittelforschung* 208: 33-38.
- Deighton, N., Brennan, R., Finn, C. & Davies, H. V. 2000. Antioxidant properties of domesticated and wild *Rubus* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 1307-1313.
- Demchak, K. 2009. Small fruit production in high tunnels. *HortTechnology* 19: 44-49.
- Dobson, P., Graham, J., Stewart, D., Brennan, R., Hackett, C. A. & McDougall, G. J. 2012. Over-seasons analysis of quantitative trait loci affecting phenolic content and antioxidant capacity in raspberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60: 5360-5366.
- Everette, J. D., Bryant, Q. M., Green, A. M., Abbey, Y. A., Wangila, G. W. & Walker, R. B. 2010. Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin–Ciocalteu reagent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 8139-8144.
- Fernandez, G. & Pritts, M. 1994. Growth, carbon acquisition, and source-sink relationships in 'Titan' red raspberry. *HortScience* 29: 248-248.
- Fernandez, G. & Perkins-Veazie, P. 2013. Yield and postharvest attributes of caneberries grown under high tunnels and in the open field in North Carolina. *Acta Horticulturae* 987: 89-98.

- Fernandez, G. E. & Pritts, M. P. 1996. Carbon supply reduction has a minimal influence on current year's red raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruit production. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121: 473-477.
- Fitt, B. D., McCartney, H. & Walklate, P. 1989. The role of rain in dispersal of pathogen inoculum. *Annual Review of Phytopathology* 27: 241-270.
- Folin, O. & Ciocalteu, V. 1927. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. *Journal of Biological Chemistry* 73: 627-650.
- Folta, K. M. & Kole, C. 2011. *Genetics, genomics and breeding of berries*. CRC Press.
- Graham, J., Hackett, C., Smith, K., Karley, A., Mitchell, C., Roberts, H. & O'Neill, T. 2014. Genetic and environmental regulation of plant architectural traits and opportunities for pest control in raspberry. *Annals of Applied Biology* 165: 318-328.
- Graham, J., Smith, K., McCallum, S., Hedley, P. E., Cullen, D. W., Dolan, A., Milne, L., McNicol, J. W. & Hackett, C. A. 2015. Towards an understanding of the control of 'crumbly' fruit in red raspberry. *SpringerPlus* 4: 223.
- Häkkinen, S., Heinonen, M., Kärenlampi, S., Mykkänen, H., Ruuskanen, J. & Törrönen, R. 1999. Screening of selected flavonoids and phenolic acids in 19 berries. *Food Research International* 32: 345-353.
- Halvorsen, B. L., Holte, K., Myhrstad, M. C., Barikmo, I., Hvattum, E., Remberg, S. F., Wold, A. B., Haffner, K., Baugerod, H., Andersen, L. F., Moskaug, O., Jacobs, D. R., Jr & Blomhoff, R. 2002. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *The Journal of Nutrition* 132: 461-471.
- Hancock, J. & Simpson, D. 1995. Methods of extending the strawberry season in Europe. *HortTechnology* 5: 286-290.
- Hanson, E., Von Weihe, M., Schilder, A. C., Chanon, A. M. & Scheerens, J. C. 2011. High tunnel and open field production of florican- and primocane-fruiting raspberry cultivars. *HortTechnology* 21: 412-418.

- Harrison, R., Brennan, R., Hunter, E., Morel, S. & Muir, D. 1998. Genotypic, environmental and processing effects on the sensory character of *Rubus* and *Ribes*. *Acta Horticulturae* 505: 25-32.
- Harshman, J. M., Jurick, W. M., Lewers, K. S., Wang, S. Y. & Walsh, C. S. 2014. Resistance to *Botrytis cinerea* and quality characteristics during storage of raspberry genotypes. *HortScience* 49: 311-319.
- Hoppula, K., Hoppula, K., Järvelin, V., Ylijoki, J., Luoma, S. & Kekkonen, H. 2012. Vadelman lajikekokeet MTT Sotkamo, Ruukki ja Rovaniemi 2008–2012. Luonnonvarakeskus.
- Iannetta, P. P., Van Den Berg, J., Wheatley, R. E., McNicol, R. J. & Davies, H. V. 1999. The role of ethylene and cell wall modifying enzymes in raspberry (*Rubus idaeus*) fruit ripening. *Physiologia Plantarum* 105: 337-346.
- Iannetta, P., Wyman, M., Neelam, A., Jones, C., Taylor, M., Davies, H. & Sexton, R. 2000. A causal role for ethylene and endo- β -1, 4-glucanase in the abscission of red-raspberry (*Rubus idaeus*) drupelets. *Physiologia Plantarum* 110: 535-543.
- Ilmatieteen laitos 2015. Ilmatieteen laitos, tietoaineistot. <https://ilmatieteenlaitos.fi/avoim-data>. Ilmatieteen laitos. Viitattu 17.11.2015.
- James Hutton Institute 2014. Berry promising future for new raspberry variety. <http://www.hutton.ac.uk/news/berry-promising-future-new-raspberry-variety>. Viitattu 8.2.2016.
- Jennings, S., Ferguson, L. & Brennan, R. 2008. New prospects from the Scottish raspberry breeding programme. *Acta Horticulturae* 777: 203.
- Johnston, D., Ramanathan, V. & Williamson, B. 1993. A protein from immature raspberry fruits which inhibits endopolygalacturonases from *Botrytis cinerea* and other micro-organisms. *Journal of Experimental Botany* 44: 971-976.

- Kadir, S., Carey, E. & Ennahli, S. 2006. Influence of high tunnel and field conditions on strawberry growth and development. *HortScience* 41: 329-335.
- Koponen, J. M., Happonen, A. M., Mattila, P. H. & Törrönen, A. R. 2007. Contents of anthocyanins and ellagitannins in selected foods consumed in Finland. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 1612-1619.
- Lamont, W. J. 2009. Overview of the use of high tunnels worldwide. *HortTechnology* 19: 25-29.
- Larsen, M. & Poll, L. 1990. Odour thresholds of some important aroma compounds in raspberries. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* 191: 129-131.
- Lee, J., Dossett, M. & Finn, C. E. 2012. *Rubus* fruit phenolic research: the good, the bad, and the confusing. *Food Chemistry* 130: 785-796.
- Lester, G. E., Lewers, K. S., Medina, M. B. & Saftner, R. A. 2012. Comparative analysis of strawberry total phenolics via Fast Blue BB vs. Folin–Ciocalteu: Assay interference by ascorbic acid. *Journal of Food Composition and Analysis* 27: 102-107.
- Lin-Wang, K., Micheletti, D., Palmer, J., Volz, R., Lozano, L., Espley, R., Hellens, R. P., Chagne, D., Rowan, D. D. & Troggio, M. 2011. High temperature reduces apple fruit colour via modulation of the anthocyanin regulatory complex. *Plant, Cell & Environment* 34: 1176-1190.
- Littell, R. C., Stroup, W. W., Milliken, G. A., Wolfinger, R. D. & Schabenberger, O. 2006. SAS for Mixed Models. 2. painos. SAS Institute Inc. 814 s.
- Ludwig, I. A., Mena, P., Calani, L., Borges, G., Pereira-Caro, G., Bresciani, L., Del Rio, D., Lean, M. E. & Crozier, A. 2015. New insights into the bioavailability of red raspberry anthocyanins and ellagitannins. *Free Radical Biology and Medicine* 89: 758-769.

- Luonnonvarakeskus 2011. Kasper. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/kasper/puutarha/marjat>. Viitattu 22.3.2016.
- Luonnonvarakeskus 2015. Puutarhatilastot 2014. <http://stat.luke.fi/puutarhatilastot>. Viitattu 9.2.2016.
- Maas, J. L., Galletta, G. J. & Stoner, G. D. 1991. Ellagic acid, an anticarcinogen in fruits, especially in strawberries: a review. *HortScience* 26: 10-14.
- Määttä-Riihinen, K. R., Kamal-Eldin, A. & Törrönen, A. R. 2004. Identification and quantification of phenolic compounds in berries of *Fragaria* and *Rubus* species (family *Rosaceae*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 6178-6187.
- Malowicki, S. M., Martin, R. & Qian, M. C. 2008. Comparison of sugar, acids, and volatile composition in raspberry bushy dwarf virus-resistant transgenic raspberries and the wild type 'Meeker' (*Rubus Idaeus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 6648-6655.
- Mazur, S. P., Nes, A., Wold, A., Remberg, S. F. & Aaby, K. 2014a. Quality and chemical composition of ten red raspberry (*Rubus idaeus* L.) genotypes during three harvest seasons. *Food Chemistry* 160: 233-240.
- Mazur, S., Sønsteby, A., Wold, A., Foito, A., Freitag, S., Verrall, S., Conner, S., Stewart, D. & Heide, O. 2014b. Post-flowering photoperiod has marked effects on fruit chemical composition in red raspberry (*Rubus idaeus*). *Annals of Applied Biology* 165: 1-12.
- McCallum, S., Woodhead, M., Hackett, C. A., Kassim, A., Paterson, A. & Graham, J. 2010. Genetic and environmental effects influencing fruit colour and QTL analysis in raspberry. *Theoretical and Applied Genetics* 121: 611-627.
- Medina, M. B. 2011a. Determination of the total phenolics in juices and superfruits by a novel chemical method. *Journal of Functional Foods* 3: 79-87.

- Medina, M. B. 2011b. Simple and rapid method for the analysis of phenolic compounds in beverages and grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 1565-1571.
- Mullen, W., McGinn, J., Lean, M. E., MacLean, M. R., Gardner, P., Duthie, G. G., Yokota, T. & Crozier, A. 2002. Ellagitannins, flavonoids, and other phenolics in red raspberries and their contribution to antioxidant capacity and vasorelaxation properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 5191-5196.
- Nindo, C., Tang, J., Powers, J. & Singh, P. 2005. Viscosity of blueberry and raspberry juices for processing applications. *Journal of Food Engineering* 69: 343-350.
- Palonen, P., Pohjola, M. & Karhu, S. 2015. Cropping potential of raspberry long-cane plants is affected by their growing conditions and duration of cold storage. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 90: 738-746.
- Palonen, P., Karhu, S., Savelainen, H., Rantanen, M. & Junttila, O. 2011. Growth and cropping of primocane and biennial raspberry cultivars grown under a film absorbing far-red light. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 86: 113-119.
- Paterson, A., Kassim, A., McCallum, S., Woodhead, M., Smith, K., Zait, D. & Graham, J. 2013. Environmental and seasonal influences on red raspberry flavour volatiles and identification of quantitative trait loci (QTL) and candidate genes. *Theoretical and Applied Genetics* 126: 33-48.
- Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B., Del Rio, D., Salvatore, S., Bianchi, M. & Brighenti, F. 2003. Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *The Journal of Nutrition* 133: 2812-2819.
- Perkins-Veazie, P. & Nonnecke, G. 1992. Physiological changes during ripening of raspberry fruit. *HortScience* 27: 331-333.
- Pitsioudis, A., Latet, G. & Meesters, P. 2001. Out of season production of raspberries. *Acta Horticulturae* 585: 555-560.

- Pritts, M. 2006. Raspberries and related fruit. <http://www.fruit.cornell.edu/berry/production/brambleproduction.html>. Viitattu 1.4.2016.
- Privé, J. & Allain, N. 2000. Wind reduces growth and yield but not net leaf photosynthesis of primocane-fruiting red raspberries (*Rubus idaeus* L.) in the establishment years. Canadian Journal of Plant Science 80: 841-847.
- Proteggente, A. R., Pannala, A. S., Paganga, G., van Buren, L., Wagner, E., Wiseman, S., van de Put, F., Dacombe, C. & Rice-Evans, C. A. 2002. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. Free Radical Research 36: 217-233.
- Quideau, S. & Feldman, K. S. 1996. Ellagitannin chemistry. Chemical Reviews 96: 475-504.
- Rao, A. V. & Snyder, D. M. 2010. Raspberries and human health: A review. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58: 3871-3883.
- Reeve, R. 1954. Fruit histogenesis in *Rubus strigosus*. I. Outer epidermis, parenchyma, and receptacle. American Journal of Botany : 152-160.
- Remberg, S. F., Sønsteby, A., Aaby, K. & Heide, O. M. 2010. Influence of postflowering temperature on fruit size and chemical composition of Glen Ample raspberry (*Rubus idaeus* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry 58: 9120-9128.
- Renquist, A., Hughes, H. & Rogoyski, M. 1989. Combined high temperature and ultraviolet radiation injury of red raspberry fruit. HortScience 24: 597-599.
- Robertson, G., Griffiths, D., Woodford, J. & Birch, A. 1995. Changes in the chemical composition of volatiles released by the flowers and fruits of the red raspberry (*Rubus idaeus*) cultivar Glen Prosen. Phytochemistry 38: 1175-1179.
- Singleton, V. & Rossi, J. A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture 16: 144-158.

- Sochor, J., Ryvolova, M., Krystofova, O., Salas, P., Hubalek, J., Adam, V., Trnkova, L., Havel, L., Beklova, M. & Zehnalek, J. 2010. Fully automated spectrometric protocols for determination of antioxidant activity: advantages and disadvantages. *Molecules* 15: 8618-8640.
- Stafne, E. T., Clark, J. R. & Rom, C. R. 2001. Leaf gas exchange response of 'Arapaho' blackberry and six red raspberry cultivars to moderate and high temperatures. *HortScience* 36: 880-883.
- Stavang, J. A., Freitag, S., Foito, A., Verrall, S., Heide, O. M., Stewart, D. & Sønsteby, A. 2015. Raspberry fruit quality changes during ripening and storage as assessed by colour, sensory evaluation and chemical analyses. *Scientia Horticulturae* 195: 216-225.
- Tieman, D., Bliss, P., McIntyre, L. M., Bandon-Ubeda, A., Bies, D., Odabasi, A. Z., Rodríguez, G. R., van der Knaap, E., Taylor, M. G. & Goulet, C. 2012. The chemical interactions underlying tomato flavor preferences. *Current Biology* 22: 1035-1039.
- Vrhovsek, U., Lotti, C., Masuero, D., Carlin, S., Weingart, G. & Mattivi, F. 2014. Quantitative metabolic profiling of grape, apple and raspberry volatile compounds (VOCs) using a GC/MS/MS method. *Journal of Chromatography B* 966: 132-139.
- Wang, S. Y., Chen, C. & Wang, C. Y. 2009. The influence of light and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberries. *Food Chemistry* 112: 676-684.
- Wang, S. Y. & Zheng, W. 2001. Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 4977-4982.
- Williamson, B., McNicol, R. J. & Dolan, A. 1987. The effect of inoculating flowers and developing fruits with *Botrytis cinerea* on post-harvest grey mould of red raspberry. *Annals of Applied Biology* 111: 285-294.
- Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P. & van Kan, J. A. 2007. *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology* 8: 561-580.

- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D. & Joyce, D. 2007. Postharvest - An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. University of New South Wales Press Ltd. 227 s.
- Xiao, C., Chandler, C., Price, J., Duval, J., Mertely, J. & Legard, D. 2001. Comparison of epidemics of *Botrytis* fruit rot and powdery mildew of strawberry in large plastic tunnel and field production systems. Plant Disease 85: 901-909.
- Xu, Q., Gosselin, A., Desjardins, Y., Medina, Y. & Gauthier, L. 2014. Red raspberries production under high tunnel, umbrella-like structure and open field under northern Canadian climate. Acta Horticulturae 1037: 771-776.

Liite 1: Koealueen kartta

Liite 1. Kartta taimien sijoittelusta vadelman lajikekokeessa kesällä 2015. Koeruudut merkitty vihreällä pohjavärillä.

Avomaa pohjoinen			Tunneli pohjoinen		
Lohko I	Lohko II	Lohko III	Lohko I	Lohko II	Lohko III
suoja	suoja	suoja	suoja	suoja	suoja
suoja	suoja	suoja	suoja	suoja	suoja
Juno	Glen Ample	Fyne long	suoja	E-2	Fyne long
Juno	Glen Ample	Fyne long	suoja	E-2	Fyne long
Juno	Glen Ample	Fyne long	suoja	E-2	Fyne long
Juno	Glen Ample	Fyne long	suoja	E-2	Fyne long
Juno	Glen Ample	Fyne long	suoja	E-2	Fyne long
Juno	Glen Ample	Fyne long	Fyne long	Glen Ample	Maurin Makea
Fyne long	D-3	Maurin Makea	Fyne long	Glen Ample	Maurin Makea
Fyne long	D-3	Maurin Makea	Fyne long	Glen Ample	Maurin Makea
Fyne long	D-3	Maurin Makea	Fyne long	Glen Ample	Maurin Makea
Fyne long	D-3	Maurin Makea	Fyne long	Glen Ample	Maurin Makea
Fyne long	D-3	Maurin Makea	Ample long	D-3	E-2
Fyne long	D-3	Maurin Makea	Ample long	D-3	E-2
Ample long	Maurin Makea	Juno	Ample long	D-3	E-2
Ample long	Maurin Makea	Juno	Ample long	D-3	E-2
Ample long	Maurin Makea	Juno	Ample long	D-3	E-2
Ample long	Maurin Makea	Juno	D-3	Maurin Makea	suoja
Ample long	Maurin Makea	Juno	D-3	Maurin Makea	suoja
Ample long	Maurin Makea	Juno	D-3	Maurin Makea	suoja
D-3	Ample long	Glen Dee	D-3	Maurin Makea	suoja
D-3	Ample long	Glen Dee	K-1	Ample long	Glen Dee
D-3	Ample long	Glen Dee	K-1	Ample long	Glen Dee
D-3	Ample long	Glen Dee	K-1	Ample long	Glen Dee
D-3	Ample long	Glen Dee	K-1	Ample long	Glen Dee
K-1	Fyne long	D-3	K-1	Ample long	Glen Dee
K-1	Fyne long	D-3	Glen Dee	Fyne long	D-3
K-1	Fyne long	D-3	Glen Dee	Fyne long	D-3
K-1	Fyne long	D-3	Glen Dee	Fyne long	D-3
K-1	Fyne long	D-3	Glen Dee	Fyne long	D-3
Glen Dee	K-1	Ample long	Glen Dee	Fyne long	D-3
Glen Dee	K-1	Ample long	Glen Ample	K-1	Ample long
Glen Dee	K-1	Ample long	Glen Ample	K-1	Ample long
Glen Dee	K-1	Ample long	Glen Ample	K-1	Ample long
Glen Dee	K-1	Ample long	Glen Ample	K-1	Ample long
Glen Dee	K-1	Ample long	Glen Ample	K-1	Ample long
Glen Ample	Glen Dee	Glen Ample	Glen Ample	K-1	Ample long
Glen Ample	Glen Dee	Glen Ample	Maurin Makea	Glen Dee	Glen Ample
Glen Ample	Glen Dee	Glen Ample	Maurin Makea	Glen Dee	Glen Ample
Glen Ample	Glen Dee	Glen Ample	Maurin Makea	Glen Dee	Glen Ample
Glen Ample	Glen Dee	Glen Ample	Maurin Makea	Glen Dee	Glen Ample
Glen Ample	Glen Dee	Glen Ample	Maurin Makea	Glen Dee	Glen Ample
Maurin Makea	Juno	K-1	E-2	suoja	K-1
Maurin Makea	Juno	K-1	E-2	Juno	K-1
Maurin Makea	Juno	K-1	E-2	Juno	K-1
Maurin Makea	Juno	K-1	E-2	Juno	K-1
Maurin Makea	Juno	K-1	suoja	Juno	suoja
Maurin Makea	Juno	K-1	Juno	Juno	Juno
Maurin Makea	Juno	K-1	Juno	Juno	Juno
Maurin Makea	Juno	K-1	Juno	Juno	Juno
suoja	suoja	suoja	Juno	Juno	Juno
suoja	suoja	suoja	Juno	Juno	Juno
			Juno	Juno	Juno
mustaherukka	mustaherukka	mustaherukka	syysvadelma	syysvadelma	syysvadelma
...