



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Catharina Haga

Kahvin paahtoprofiilin optimointi akryyliamidipitoisuuden vähentämiseksi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

24.5.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Catharina Haga Kahvin paahtoprofiilin optimointi akryyliamidipitoisuuden vähentämiseksi 36 sivua + 5 liitettä 24.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat	tuotekehittäjä Heli Sirén lehtori Eija Koriseva lehtori Pia-Tuulia Laine
<p>Insinööriyössä tutkittiin paahtoparametrien vaikutusta vaaleapaahtoisesta kahvin akryyliamidipitoisuuteen ja se tehtiin Oy Gustav Paulig Ab:n toimeksiantona. Tavoitteena oli luoda yrityksen valmiille kaupalliselle tuotteelle uusi paahtoprofiili, jossa paahton jälkeinen akryyliamidipitoisuus kahvissa olisi nykyistä matalampi. Uudella paahtoprofiililla paahtetun kahvin tuli soveltua kahvisekoitukselle määritettyyn makuprofiiliin ja täyttää fysikaalisilta ominaisuuksiltaan laatukriteerit.</p> <p>Paahtoparametrien, kuten paahton keston ja lämpötilan, vaikutusta akryyliamidipitoisuuteen ja flavoriin tutkittiin esikokeissa. Ensimmäisessä esikokeessa paahtettiin kolmella eri paahtoprofiililla (1, 2, 3) kaikilla viisi paahtoerää ja toisessa esikokeessa kaksi paahtoerää jokaisella paahtoprofiililla (1, 3, 4). Tulosten perusteella paahtokokeeseen valittiin profiilit 1, 3 ja 4. Paahtokokeessa jokaista paahtoprofiilia paahtettiin kolme paahtoerää kuhunkin väritavoitteeseen (22,0; 21,3 ja 20,5 L*). Jokaisella profiililla paahtettiin noin 5 000 kg. Työn kaikki paahtot suoritettiin teollisuuskokoluokan paahtimella. Kaikista paahtoeristä mitattiin paahtoväri, tilavuus ja kosteus. Akryyliamidin määrittystä varten näytteet lähetettiin ulkopuoliseen laboratorioon. Paahtokokeen tuloksille, paahtoajalle ja akryyliamidipitoisuudelle, tehtiin Excelin kaksisuuntainen varianssianalyysi. Tuloksien perusteella tuotantomittakaavankoeajoon referenssipaahtoprofiilin 1 kanssa valittiin paahtoprofiili 3. Kahvijauhetta pakattiin koeajossa noin 12 000 kg per profiili. Koeajon tarkoituksena oli validoida uusi paahtoprofiili. Pakatusta kahvijauheesta mitattiin väri, kosteus ja akryyliamidipitoisuus, ja yrityksen sisäinen ammattilaisraati (N=8) arvioi kahvien välisiä aistinvaraisia ominaisuuksia kolmitestissä.</p> <p>Kahvin akryyliamidipitoisuus ja paahtoaika riippuivat tilastollisesti merkitsevästi ($p=0,000$) paahtoprofiilista ja tavoiteväristä. Profiilin 3 paahtoaika oli noin 7 % pidempi profiiliin 1 verrattuna ja akryyliamidipitoisuus noin 50–100 µg/kg matalampi. Tummissa tavoitevärisissä (20,5 L*) akryyliamidipitoisuudet olivat matalimmat kaikissa profiileissa. Tuotannon koeajossa pakatun kahvin akryyliamidipitoisuudet olivat keskimäärin kummassakin profiilissa noin 370 µg/kg. Kolmitestissä paahtoprofiilien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa kahvin flavoriin riskitason ollessa 5 %. Tutkimuksia tulee jatkaa, jotta voidaan ymmärtää kahvin tuotantoprosessin aikana muodostuvan akryyliamidin määrään vaikuttavia tekijöitä paremmin.</p>	
Avainsanat	akryyliamidi, kahvi, paahtoprofiili, Paulig, vaaleapaahto

Author Title Number of Pages Date	Catharina Haga Optimizing Roast Profile to Lower Acrylamide Concentration in Coffee 36 pages + 5 appendices 24 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Biotechnology and Food Engineering
Instructors	Heli Sirén, Product Developer Eija Koriseva, Senior Lecturer Pia-Tuulia Laine, Senior Lecturer
<p>It was examined how roasting parameters affect the acrylamide concentration in light roasted coffee. The thesis was made in cooperation with Oy Gustav Paulig Ab. The aim of this thesis was to create a roast profile, where coffee's acrylamide concentration is lower than currently. The new roast profile was created for one of the company's commercial product. The coffee roasted with the new profile had to match to the existing taste profile and fulfill the physical quality criteria.</p> <p>Roast profile's features such as duration and temperature were tested in two tentative experiments before the actual roasting experiment. Roast profiles 1, 2 and 3 were tested in first tentative experiment, where five batches of each profile were roasted and profiles 1, 3 and 4 in the second experiment, where two batches of each were roasted. Three different roast profiles (1, 3, 4) were roasted in three different target colours (22,0; 21,3; 20,5 L*) in the roasting experiment. All the roasts were executed with an industrial size roasting machine. Roasting color, volume and moisture content were measured from every batch and acrylamide concentrations were analyzed by an independent laboratory. The roasting time and acrylamide concentrations were analyzed statistically with Two-Way Analysis of Variance (Anova) in Excel. The best roast profile based on these results was selected in production scale trial together with reference profile (profile 1). About 12,000 kg of coffee powder were packed in both profiles during the trial. The aim of the trial was to validate the new profile. Color, moisture content and acrylamide concentrations were measured on the packed coffee powder. Differences in organoleptic properties of coffees roasted with profiles 1 and 3 were evaluated by the company's professional panel (N=8) in triangle test.</p> <p>On the basis of the results, acrylamide concentration and roasting time depended statistically significantly ($p < 0,05$) on the roasting profile and target color. Roasting time was 7 % longer in profile 3 compared to profile 1 and acrylamide concentration approximately 50–100 µg/kg lower. Acrylamide concentration also decreased in the darker roasting color in all of the profiles. Acrylamide concentrations were approximately 370 µg/kg in both profiles in the production trial. There was no statistically significant difference ($p < 0,05$) between the coffee's sensory properties in both profiles. It is important to continue the studies to understand the factors effecting the acrylamide concentration during the coffee production process.</p>	
Keywords	acrylamide, coffee, light roasted, Paulig, roasting profile

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kahvisekoitus ja kahvin paahtoprosessi	2
2.1	Kahvisekoitus	2
2.2	Paahtoprosessi	3
2.3	Paahtokone	4
2.4	Paahtoprofiili	6
2.5	Paahtossa muodostuva flavori	7
3	Akryyliamidi	9
3.1	Kahviin muodostuva akryyliamidi	9
3.2	Muodostumiseen vaikuttavat tekijät	11
3.3	EU:n elintarvikesäädökset	12
3.4	Varastoinnin vaikutus pitoisuuteen	13
4	Materiaalit ja menetelmät	14
4.1	Kahvisekoitus	14
4.2	Esikokeet	14
4.3	Paahtokoe	15
4.4	Tuotantomittakaavan koeajo	16
4.5	Varastointikokeet	17
4.6	Mittausmenetelmät	18
4.7	Aistinvarainen arviointi	19
5	Tulokset	20
5.1	Esikokeet	20
5.2	Paahtokoe	21
5.2.1	Kahvin tilavuus ja kosteus	22
5.2.2	Kahvin paahtoväri	23
5.2.3	Kahvin paahto aika	24
5.2.4	Kahvin akryyliamidipitoisuus	25
5.3	Tuotantomittakaavan koeajo	29

6	Yhteenveto	30
	Lähteet	33
	Liitteet	
	Liite 1. Varastointikoesuunnitelma	
	Liite 2. Eye Question -vastauslomake	
	Liite 3. Paahtokoetulokset	
	Liite 4. Kaksisuuntainen varianssianalyysi, vasteena paahto aika	
	Liite 5. Kaksisuuntainen varianssianalyysi, vasteena akryyliamidipitoisuus	

1 Johdanto

Elintarvikkeiden sisältämää akryyliamidia on tutkittu vuodesta 2002 alkaen, jolloin sitä havaittiin ensimmäistä kertaa niissä. Akryyliamidia syntyy elintarvikkeen kuumennusprosessin aikana ja sen on havaittu olevan riippuvainen tietyistä raaka-aineista. Suurimpia pitoisuuksia on havaittu paistetuissa perunatuotteissa, leipomotuotteissa ja kahvissa. [1.] Merkittävimmät akryyliamidilähteet suomalaisten aikuisten ravitsemuksessa muodostavat kahvi, tärkkelyspitoiset laatikkoruoat ja ruisleipä [2]. Pohjoismaissa suosittu vaaleapahtoinen kahvi sisältää tutkitusti enemmän akryyliamidia tummapahtoiseen verrattuna. Tämä johtuu pääasiassa vaaleapahtoisen kahvin lyhyemmästä paahtoajasta [3, s. 54].

Eläinkokeissa akryyliamidi on todettu neurotoksiseksi ja karsinogeeniseksi yhdisteeksi, minkä takia EFSA (European Food Safety Authority) on määrittänyt sen mahdollisesti syöpään sairastumisen riskiä lisääväksi. Euroopan komission asetuksen 2017/2158 mukaan elintarviketoimijoiden tulee pyrkiä mukauttamaan valmistusprosessia akryyliamidipitoisuuden ollessa yli vertailuarvon. Paahtetun kahvin vertailuarvoksi on määritetty 400 µg/kg. [1; 4.] Akryyliamidin määrälle saatetaan jatkossa asettaa lakisääteinen yläraja. Mikäli raja asetetaan, toimijoiden on kyettävä noudattamaan sitä poikkeuksetta. Kahvin akryyliamidipitoisuuden vähentäminen on todettu haastavaksi johtuen kahvin tuotantoprosessista.

Tämä insinööri työ suoritettiin yhteistyössä Oy Gustav Paulig Ab:n kanssa. Vuonna 1876 perustettu perheomisteinen yritys Paulig on Suomen suurin kahvitalo. Suomen lisäksi Paulig toimii Baltiassa, Ruotsissa sekä Venäjällä ja sen naapurimaissa. Pauligin kolme paahtimoa sijaitsevat Helsingissä, Porvoossa ja Venäjällä Tverissä. [5.] Työn tavoitteena oli muokata vaaleapahtoisen valmiin kahvisekoituksen paahtoparametrejä niin, että lopputuotteeseen eli paketoituun kahvijauheeseen muodostui mahdollisimman vähän akryyliamidia. Kahvin aistittavien ominaisuuksien tuli lisäksi soveltua kahvisekoitukselle määritettyyn makuprofiiliin. Lisäksi eri paahtovärien vaikutusta kahvin akryyliamidin määrään tutkittiin. Osana tätä työtä suunniteltiin myös varastointikokeet. Työn kokeellinen osuus suoritettiin Helsingissä, Vuosaaren paahtimolla.

Työ toimi jatkona yritykseen aiemmin tehdyille pro gradu -tutkielmalle ja insinööriyölle [6; 7]. Kyseisten tutkimusten jälkeen paahtokoneiden katalysaattorit on uusittu, millä saattaa olla vaikutusta lopputuotteeseen muodostuvaan akryyliamidin määrään. Tutkimuksissa ei myöskään tutkittu valmista kahvisekoitusta. Tämän takia kyseiset tutkimustulokset eivät ole täysin verrannollisia tämän tutkimuksen tuloksiin. Molemmat tutkimukset osoittivat kahvin paahtoprofiilin pidentämisen vaikuttamatta väriin laskevan akryyliamidin määrää. Myös paahton loppulämpötilaa nostamalla ja samalla paahtoväriä tummentamalla todettiin akryyliamidipitoisuuksia laskeva vaikutus.

2 Kahvisekoitus ja kahvin paahtoprosessi

2.1 Kahvisekoitus

Eri maiden raakakahveja sekoittamalla luodaan kahvisekoituksia eli kahviblendejä, joilla jokaisella on oma makuprofiilinsa. Tyypillisesti kaupassa myytävät kahvit ovat kahvisekoituksia. Ne saattavat sisältää jopa 15:ta eri raakakahvilaatua. Kuluttajille päätyvän kahvin tasalaatuisuus varmistetaan raakakahvilaatujen sekoitussuhdetta muuttamalla makuvivahteiltaan erilaisten kahvierien mukaan. Kahvisekoitukset voidaan valmistaa yhteispaahtona tai erillispaahtona. Yhteispaahtossa raakakahvien sekoitus tapahtuu ennen paahtoa ja erillispaahtossa raakakahvierät sekoitetaan vasta paahton jälkeen. [8.]

Kymmenistä tunnetuista kahvilajeista ja -lajikkeista kaupallisesti merkittävimmät kahvilajit ovat *Coffea arabica* eli arabica ja *Coffea canephora* eli robusta. Maailman kahvituotannosta yli 60 prosenttia on arabicaa ja noin 40 prosenttia robustaa. Suomessa etenkin vaaleapaahtoisissa kahveissa suositaan laadukkaita arabica-papuja. [9.] Arabica-pavuista voidaan löytää monimuotoisia makuvivahteita ja ne ovat muita lajeja happamampia [10].

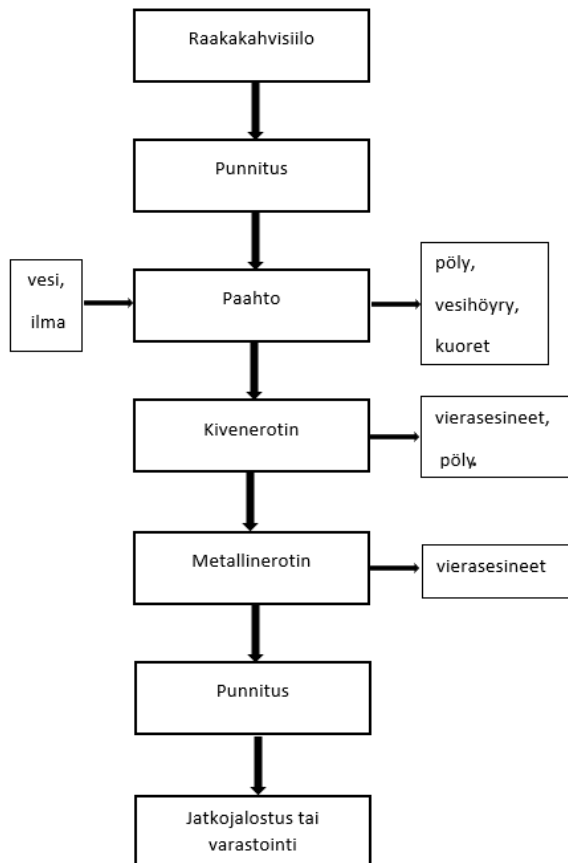
Raakakahvipapujen prosessointimenetelmät voivat vaihdella samassa kahvisekoituksessa [8]. Kahvipavun prosessoinnilla tarkoitetaan marjan hedelmälihan erottamista pavuista. Prosessointitavat voidaan jakaa kuiva- ja märkämenetelmiin sekä niiden yhdistelmään, puolipesuun. [11.] Raakakahvin prosessointimenetelmä vaikuttaa merkittävästi kahvin makuun ja suutuntumaan. Kuivakäsitelty kahvi on maultaan marjaisa ja siinä on

painava suutuntuma. Märkäkäsitelty kahvi on maultaan raikkaan hapokas, ja puolipesty näiden yhdistelmä. [10.] Käytetyn raakakahvin valintaan vaikuttaa sen hinta ja saataavuus. Kuivakäsitelty raakakahvi on yleensä hinnaltaan märkäkäsiteltyä edullisempaa. Tiettyjen raakakahvilaatujen saanti on myös varmempaa kuin toisten.

2.2 Paahtoprosessi

Paahtaminen on merkittävä vaihe kahvin tuotantoprosessissa. Paahton aikana useiden kemiallisten reaktioiden kautta syntyneiden komponenttien, kuten happojen ja aromien avulla kehittyä kahviin sen maku, jälkimaku, runko ja hapokkuus. [12.] Myös kahvipapujen fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat. Paahtosyklin ensimmäisessä vaiheessa kahvipavun kosteus vähenee 9–13 %:sta 1–5 %:iin lämpötilan noustessa. Kosteuspitoisuuden pienentyessä myös kokonaismassa vähenee 15–20 %. Tästä aiheutuva paineen nousu saa pavun halkeilemaan (*first cracking*) ja sen tilavuuden kasvamaan. Kahvipapujen tilavuus kasvaa jopa 60 % paineen vaikutuksesta. Toisessa vaiheessa tapahtuu kemiallisia reaktioita, jotka aiheuttavat pavun ruskistumisen. Paahtosyklin viimeisessä vaiheessa syntyvät halutut aromiyhdisteet. [13, s. 324.]

Raakakahvia paahdetaan yleensä paahtoasteen mukaan 5–15 minuuttia, kunnes pavun lämpötila on 180–240 °C [12]. Kuvassa 1 on esitetty Oy Gustav Paulig Ab:n Vuosaaren paahtimon paahtoprosessia kuvaava vuokaavio. Paahtoprosessin jälkeen paahtetut kahvipavut voidaan jatkojalostaa erilaisiksi kahvijauheiksi, kuten pannu- tai suodatinjauheiksi, tai pakata sellaisenaan papuina. Pakkauksen jälkeen tuotteet varastoidaan sisäisessä tai ulkoistetussa varastossa.

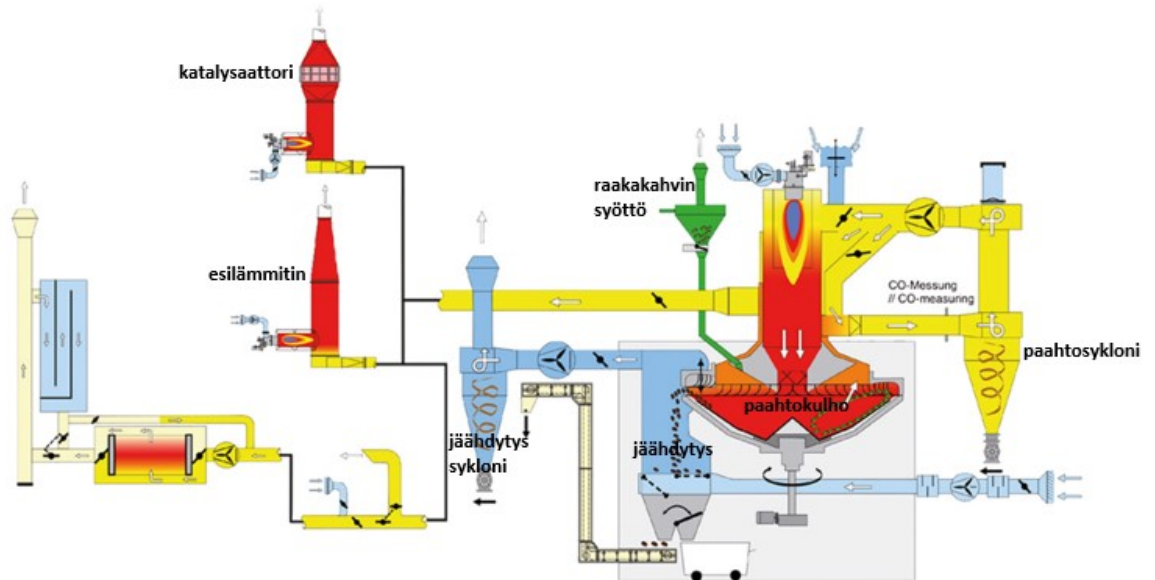


Kuva 1. Oy Gustav Paulig Ab:n paahtovaiheen vuokaavio [muokaten 7, s. 5].

2.3 Paahtokone

Tyypillisiä teollisen mittakaavan paahtokoneita ovat leijupeti- ja rumpupaahtimet sekä tangentiaaliset ja sentrifugaaliset paahtimet. Leijupetipaahtimessa papujen paahtuminen perustuu kammioon tasaisesti jakaantuneeseen kuumaan ilmaan, joka liikuttelee papuja niiden samalla paahtuessa. Paahtaminen leijupetipaahtimella on rumpupaahtinta nopeampaa. Rumpupaahtimessa paahtorummun sisällä olevat laipat sekoittavat kahvipapuja rummun pyöriessä vaakatasossa paahtoprosessin ajan. Rummun alla olevan polttimeen tuottama lämpöenergia ohjataan sekä paahtorumpuun että sen ympäri. [14.] Tangentiaalisessa paahtimissa kiinteän paahtokammion sisällä pyörivät leveät laipat sekoittavat papuja paahtoprosessin ajan. Paahtava lämpö siirtyy papuihin konvektion kautta. Sekoituksen ansiosta lämpö siirtyy myös papujen ytimiin. [15.]

Oy Gustav Paulig Ab:lla paahtimena käytetään sentrifugaalista paahtinta. Kyseinen teolliseen käyttöön tarkoitettu paahtin toimii maakaasulla. Sentrifugaalisen paahtimen toiminta perustuu paahtokulhon pyörimiseen pystysuoran akselin ympäri, jolloin kahvi sekoittuu paahtoprosessin ajan hellävaraisesti. [16.] Kuvassa 2 on esimerkki Probat-merkisestä sentrifugaalisesta paahtimesta.

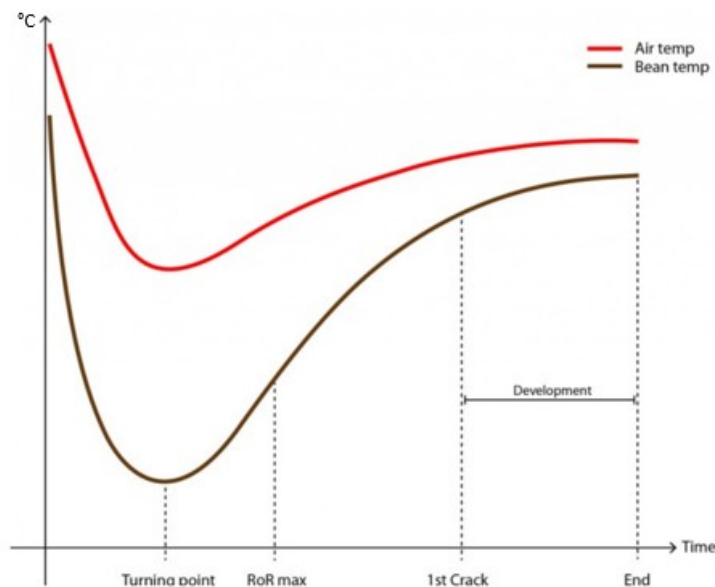


Kuva 2. Kaaviokuva sentrifugaalisesta paahtimesta. [16.]

Sentrifugaalisessa paahtimessa raakakahvin syötön jälkeen raakakahvi kulkee paineilman avulla esilämmitykseen, jossa sekoitin sekoittaa raakakahvia ja lämpö jakaantuu tasaisesti. Esilämmityksessä kahvipavuista erotetaan pavunkuoret ja pöly. Esilämmityksen tehtävänä on nopeuttaa paahtoprosessia. Kun paahtokulhossa saavutetaan haluttu lämpötila, esilämmitetty raakakahvierä valuu painovoiman vaikutuksesta paahtokulhoon. Paahtoilma (450–530 °C) johdetaan paahtokulhoon sen keskikohdasta. Ilman välityksellä lämpöenergia siirtyy papuihin. Paahtimen lämpötilaa vähennetään asteittain pienentämällä paahtokulhoon tulevaa ilmavirtaa paahton edetessä. Paahto päättyy, kun haluttu lämpötilapiste saavutetaan. Paahto aika määräytyy loppulämpötilan mukaan. Paahtoprosessin päätyttyä pavut esijähdytetään kaksivaiheisesti. Varsinainen jähdytys tapahtuu erillisessä jähdyttimessä, jossa kahvin joukkoon sekoitetaan ilmaa. [17.]

2.4 Paahtoprofiili

Oy Gustav Paulig Ab:lla jokaiselle kahvisekoitukselle on määritetty oma paahtoprofiili eli resepti, miten kyseistä kahvisekoitusta paahdetaan. Paahtoprofiilien avulla määritetään paahtoaste, syntyvät aromiyhdisteet ja näin kahvin lopullinen maku. Paahtoprofiilit on tallennettu paahtokoneille ja niistä nähdään paahtosyklin aikainen lämpötilan kehitys ajan funktiona sekä pystytään erottamaan paahtosyklin eri vaiheita. [18.] Kuvassa 3 on esimerkki paahtoprofiilista ja paahtokäyrän muotoon vaikuttavista tekijöistä.



Kuva 3. Paahtoprofiilin kuvaaja, jossa pavun ja ilman lämpötilan kehitys ajan funktiona. Paahtokäyrän alussa lämpötila laskee voimakkaasti, kun raakakahvi syötetään paahtokoneeseen. Käännepisteen (*turning point*) jälkeen papujen lämpötila lähtee nousuun. Maksimi kasvunopeus (*RoR max eli Rate of Rise max*) kuvaa paahton vaihetta, jossa lämpötilan kasvu on voimakkainta. Se määritetään laskemalla, kuinka monta astetta minuutissa lämpötila nousee. [19.]

Kahvisekoitusten yksilölliset paahtoprofiilit rakentuvat paahton aikana säädettävien tekijöiden vaikutuksesta. Näitä tekijöitä ovat paahtoaika, raakakahvin esilämmityksen kesto ja lämpötila, paahton aikana käytettävän kuumailman määrä ja lämpötila, papujen loppulämpötila sekä paahtetun kahvin jäähtymykseen käytettävä veden määrä.

2.5 Paahdossa muodostuva flavori

Paahdon aikana kahviin muodostetaan sille ominainen flavori. Flavorilla tarkoitetaan suussa tuntuvaa maun, retronasaalin hajun ja kemotunnon yhteisvaikutelmaa [20, s.38]. Flavorin muodostumiseen paahdossa vaikuttavat ensisijaisesti Maillard-reaktio ja Strecker-hajoaminen [21, s.25].

Maillardin reaktio on ei-entsyymaattista ruskistumista, jossa ruskea väri syntyy pelkistävien sokereiden reagoiessa aminohappojen ja proteiinien kanssa [22, s. 321]. Maillard-reaktio käynnistyy paahtolämpötilan ollessa noin 160 °C [21, s.25]. Raakakahvin veden aktiivisuus (a_w) vaikuttaa mahdollisesti Maillardin reaktion nopeuteen ja kahvipapuun muodostuvaan väriin. Suurempi a_w -arvo ($>0,6$) lisää reaktionopeutta ja kahvipapuun muodostuvaa tummempaa väriä Maillardin reaktiossa paahdon aikana. Raakakahvipavut, joiden a_w -arvo on korkeampi, reagoivat ehkä myös nopeammin lämpöön. Raakakahvin vedenaktiivisuus on normaalisti $<0,6$. [23.] Kiinihappo muodostaa Maillard-reaktiossa väriyhdisteitä, tuottaa antioksidantteja ja luo kahviin sen kitkeryyden. Strecker-hajoamisessa aminohapot reagoivat karbonyyliyhdisteiden kanssa muodostaen ketoneita ja aldehydejä. Karvaana alkaloidina trigonelliini vaikuttaa merkittävästi kahvin flavoriin. [24, s. 40–43.]

Arabica-raakakahvipapujen kuivapainosta noin 44 % on polysakkarideja ja robustan noin 47 %. Polysakkaridit luovat kahviin sen rungon. Kahvin pääpolysakkarideja ovat galaktomannaani, arabinogalaktaani ja selluloosa. Arabican raakakahvipapujen kuivapainosta noin 9 % on sakkaroosia, mikä on noin puolet enemmän verrattuna robustaan. Arabican korkeampi sakkaroosipitoisuus vaikuttaa merkittävästi sen flavoriin. Lisäksi raakakahvipavut sisältävät pienempiä määriä pelkistäviä sokereita, kuten fruktoosia ja glukoosia sekä oligosakkarideja. [21, s. 33] Tutkimuksessa Bertuzzi ym. (2020) havaittiin Arabica-raakakahvin sisältävän enemmän fruktoosia (936 ± 78 mg/kg) ja glukoosia (424 ± 69 mg/kg) verrattuna robusta-raakahvin fruktoosi (338 ± 41 mg/kg) ja glukoosi (138 ± 19 mg/kg) määriin. [25, s. 4]

Paahtamisen aikana syntyy jopa 1000 aromiyhdistettä lukuisten kemiallisten reaktioiden kautta [21, s. 38]. Spektrianalyysin mukaan kahvin aromi muodostuu yli 50-prosenttisesti aldehydeistä ja noin 21-prosenttisesti ketoneista [24, s. 40–43.]. Haihtuvien orgaanisten

aromiyhdisteiden täytyy olla kuitenkin kooltaan tarpeeksi pieniä, jotta ne voidaan aistia. Haihtuvista yhdisteistä varsinkin rikkipitoisia yhdisteitä pidetään kahvin aromiin merkittävästi vaikuttavina. Niistä etenkin 2-furanyyli kuvataan itsessään paahdetun kahvin tuoksuksi. Kahvin sisältämät aldehydrit puolestaan lisäävät kahviin sen hedelmäistä aromia, furaanit karamellimaisia vivahteita ja pyrasiinit maanläheistä aromia. [26.]

Kahvin paahtoaste on yksi merkittävimmistä kahvin flavoria kuvaavista tekijöistä. Paahtoastetta parhaiten kuvaa kahvin väri. Paahtoaste riippuu paahtoajasta ja -lämpötilasta. Paahtoasteet vaihtelevat eri kahvitaloissa, mutta yleensä kahvit voidaan jakaa vaalea-, keski- ja tummapaahtoisiin. Oy Gustav Paulig Ab:lla on käytössä viisi eri paahtoastetta (kuva 4), joista ensimmäinen tarkoittaa vaaleapaahtoista kahvia ja viides erittäin tummapaahtoista. Esimerkki vaaleapaahtoimesta kahvista on Juhla Mokka ja erittäin tummapaahtoimesta Paulig Café Parisien. Tummapaahtoiset kahvit ovat vahvempia, täyteläisempiä ja karvaampia. [27.] Paahtoajan pidentyessä rikkipitoiset yhdisteet lisääntyvät, mikä luo tummapaahtoistelle kahville tyypillisiä makuvivahteita [28]. Vaaleapaahtoiset kahvit ovat puolestaan monipuolisen vivahteikkaita ja hapokkaita [27]. Niiden hedelmäinen aromi aiheutuu etenkin orgaanisesta yhdisteestä hydroksimetyylifurfuraalista, joka hajoaa paahtoajan pidentyessä pienemmiksi, aromiltaan vähemmän hedelmäisiksi yhdisteiksi [28]. Sekä vaalea- että tummapaahtoisen kahvin pH on noin 5. Se vaihtelee kuitenkin hieman eri raakakahvien välillä. [29.]



Kuva 4. Kahvipapujen paahtoasteita kuvattuna vaaleapaahtoimesta erittäin tummapaahtoiseen mentäessä vasemmalta oikealle. [30.]

Kahvin fysikaaliset tekijät, kuten kosteuspitoisuus, väri ja tilavuus ovat merkittävässä roolissa kahvin säilyvyydessä ja näin halutun flavorin ylläpitämisessä. Ne ovat siksi myös tärkeä osa kahvin laadunvarmistusta. Suljetun tyhjiöpakatun kahvin säilyvyysaika on 12 tai 18 kuukautta ja avatun noin kaksi viikkoa avaamisesta. Kahvi pilaantuu nopeasti ollessaan kosketuksissa hapen kanssa. Paketin tulee suojata kahvia hapen lisäksi valolta ja kosteudelta. Kahvin kosteuspitoisuutta mitataan tuotantoprosessin eri vaiheissa.

Kahvin värin mittauksella varmistetaan oikea paahtoaste ja saadaan viitteitä mausta. Ti-lavuudella on puolestaan suuri vaikutus pakkauksen lopulliseen ulkonäköön ja pakattavuuteen.

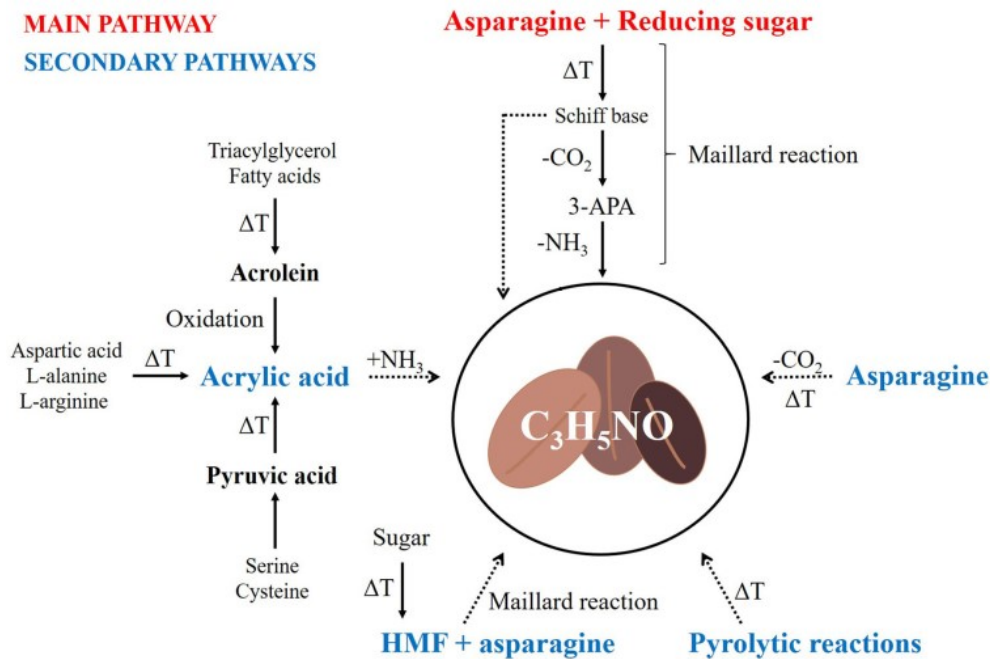
3 Akryyliamidi

3.1 Kahviin muodostuva akryyliamidi

Akryyliamidi eli 2-propeeniamidi on vesiliukoinen orgaaninen yhdiste, jota muodostuu etenkin Maillard-reaktiossa korkeissa lämpötiloissa, kun pelkistävät sokerit, kuten glukoosi tai fruktoosi reagoivat aminohappojen, kuten asparagiinin tai glutamiinin kanssa [31]. Akryyliamidin hajoamispiste on 175–300 °C [32]. Akryyliamidia voi muodostua sekä teollisissa prosesseissa että kotitalouksien ruoanvalmistuksessa tärkkelyspitoisiin elintarvikkeisiin niiden kuumennusprosessin yhteydessä, mikäli ne friteerataan, paistetaan tai paahdetaan yli 120 °C:ssa. Akryyliamidi siis sekä muodostuu että hajoaa korkeissa lämpötiloissa. Suurimpia akryyliamidipitoisuuksia on havaittu peruna- ja viljatuotteissa sekä kahvissa. [2.] Kahvinkulutuksen suosion takia etenkin pohjoismaissa kahvista saatavan akryyliamidin määrä muodostaa merkittävän osan päivittäisestä saannista. Kahvista saatava akryyliamidin määrä voi olla jopa 20–30 % päivittäisestä kokonaissaannosta [33, s.1].

Akryyliamidia voi muodostua kahvin paahtoprosessissa useiden eri lähtöaineiden kautta (kuva 5). Merkittävimpana muodostumiseen johtavana reaktiona pidetään Maillardin reaktiota. Se käynnistyy aminohappo asparagiinin ja pelkistävien sokereiden, kuten fruktoosin ja glukoosin, tai reaktiivisten karbonyyliryhmien välisellä kondensaatioreaktiolla. 3-aminopropioniamidia (3-APA) pidetään merkittävänä välituotteena asparagiinin muodostumisessa akryyliamidiksi. Asparagiini on yksi merkittävimmistä akryyliamidin esias- teista ja toimii rajoittavana tekijänä akryyliamidin muodostumisessa. [34, s. 218.] Raaka- kahvi sisältää asparagiinia yleensä noin 20–100 mg/100 g [3, s. 52]. Kahvin korkeiden paahtolämpötilojen takia akryyliamidin muodostuminen myös muiden lähtöaineiden vaikutuksesta on mahdollista. Akroleiinilla on akryyliamidia muistuttava rakenne ja siitä voi muodostua akryyliamidia useiden kemiallisten reaktioiden, kuten rasvojen hajoamisen, kautta. Myös proteiineista ja aminohapoista voi useiden reaktioiden jälkeen muodostua

akryyliamidia. [34, s.218.] Hydroksimetyylifurfuraali (HMF) voi Maillardin reaktiossa reagoida asparagiinin kanssa muodostaen akryyliamidia. Hydroksimetyylifurfuraalia saattaa syntyä paahdon aikana sokerien hajoamisen yhteydessä. Paahdon aikana myös pyrolyysin kautta voi muodostua akryyliamidia. [35, s. 6–7.]



Kuva 5. Kahvin sisältämän akryyliamidin syntyyn johtavia reaktioita. Punaisella on kuvattu todennäköisin reaktio ja sinisellä muita mahdollisia reaktioita. [35, s. 6.]

Bertuzzi ym. (2020) tutkivat akryyliamidin, asparagiinin ja joidenkin sokerien pitoisuuksia teollisen kahvin paahtoprosessin aikana keskipaahteisessa arabicassa ja robustassa. Paahdot suoritettiin teollisuuskokoluokan paahtimella, jossa erä koko oli 120 kg raakakahvia. Kuuden minuutin paahdon jälkeen, lämpötilan ollessa n. 137 °C, akryyliamidin määrä kasvoi voimakkaasti saavuttaen maksimipitoisuutensa 10 minuutin kohdalla lämpötilan ollessa n. 176 °C. Tämän jälkeen akryyliamidipitoisuus väheni voimakkaasti. Asparagiinin pitoisuus oli 10 minuutin kohdalla lähellä nollaa ja sakkaroosin pitoisuus voimakkaassa laskussa. Glukoosin ja fruktoosin pitoisuudet lähtivät nousuun noin 8 minuutin kohdalla saavuttaen huippunsa noin 12 minuutin kohdalla. Paahdon loppulämpötila oli noin 213 °C ja kokonaiskesto 16,2 minuuttia (960 s). Akryyliamidipitoisuus keskipaahteisessa arabica-kahvissa oli paahdon lopuksi noin 300 µg/kg. Tutkimuksessa havaittiin sama kuin aiemmin pienemmän mittakaavan kokeissa: akryyliamidia muodostuu

paahtoprosessin ensimmäisen 10 minuutin ajan, minkä jälkeen määrä vähenee asteittain. Tutkimuksessa todettiin myös yhteys muodostuvan akryyliamidin sekä pelkistävien sokereiden ja asparagiinin välillä. [25, s.3–5.]

3.2 Muodostumiseen vaikuttavat tekijät

Kahviin muodostuvan akryyliamidin määrä on riippuvainen etenkin kahvilajista sekä paahtoajasta ja -lämpötilasta. Paahdetun robustan on havaittu sisältävän arabicaa enemmän akryyliamidia. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että robusta sisältää enemmän asparagiinia. Akryyliamidipitoisuudet kuitenkin vaihtelevat arabican ja robustan alalajien välillä. [25, s. 2.] Vaaleapaahtoisissa kahveissa, joissa paahto aika on lyhyempi, akryyliamidipitoisuus on havaittu korkeammaksi. Tämä johtuu siitä, että akryyliamiditaso saavuttaa huippunsa paahdon ensimmäisen kolmanneksen aikana, jonka jälkeen se vähenee 70–80 % paahdon loppuun mennessä. Hyvän liukenevuutensa vuoksi muodostunut akryyliamidi siirtyy täydellisesti jauhetusta kahvista valmiiseen kahviuomaan. [4, s. 53–54].

Akryyliamidin muodostumiseen vaikuttaa mahdollisesti myös raakakahvin laatu ja prosessointimenetelmä. Viallisten papujen, kuten epäkypsien, on havaittu sisältävän kypsiä enemmän asparagiinia. Dias ym. (2012) havaitsivat matalampia asparagiinin määriä märkäkäsitteltyissä epäkypsissä pavuissa verrattuna kuivakäsiteltyihin. Märkäkäsittelyn vaikutuksesta myös muun muassa glukoosin ja fruktoosin määrä raakakahvissa on havaittu matalammaksi. Märkäkäsitelty raakakahvi sisältää jopa 80 % vähemmän glukosia ja fruktoosia. [35, s. 8.]

Endeshaw ym. (2020) tutkivat paahto-olosuhteiden vaikutusta akryyliamidipitoisuuksiin. He havaitsivat teollisissa paahtimoissa valmistettujen kahvien akryyliamidipitoisuuksien olevan selvästi korkeampia kuin pienpaahtimoiden, johtuen todennäköisesti erilaisista paahtoprosesseista. [36, s. 5.] Myös Lachenmeier ym. (2019) tutkivat paahto-olosuhteiden vaikutusta akryyliamidimääriin. He totesivat paahtoajan ja lämpötilan vaikutuksen syntyvään akryyliamidipitoisuuteen: vaaleapaahtoisen skandinaavisen kahvin akryyliamidipitoisuus oli 470 µg/kg ja tummapaahtoisen espresson 130 µg/kg. Paahdot suoritettiin laboratoriomittakaavan paahtimella. [35, s. 10.]

3.3 EU:n elintarvikesäädökset

Tutkimuksissa akryyliamidi ja sen metaboliitti glysidiamidi on todettu eläimille neurotoksisiksi ja karsinogeenisiksi yhdisteiksi. Glysidiamidi voi akryyliamidin tavoin muodostaa DNA-addukteja, jotka johtavat mutaatioihin. Akryyliamidi imeytyy elimistöön nopeasti suun kautta ja iholta. [1.] Akryyliamidi on määritelty elintarvikeketjussa kemiallista vaaraa aiheuttavaksi vierasaineeksi [4].

Akryyliamidin vaikutuksista ihmisiin ei ole saatu selvää yksiselitteistä näyttöä ja EFSA (European Food Safety Authority) on määritellyt yhdisteen kaikissa ikäluokissa mahdollisesti syöpää aiheuttavaksi aineeksi [31]. Määrittelyn takia Euroopan komissio on antanut asetuksen 2017/2158 akryyliamidin vähentämisestä tietyissä elintarvikkeissa, kuten kahvissa [4]. Asetuksen määräämien vähentämistoimenpiteiden takia tuottajien tulee mukauttaa valmistusprosessia tai reseptiä niin, että akryyliamidipitoisuus lopputuotteessa on vertailuarvojen alapuolella [31]. Paahdetun kahvin vertailuarvoksi on määritetty 400 µg/kg [4].

Paahto-olosuhteet tulee määrittää niin, että akryyliamidia muodostuu mahdollisimman vähän halutussa makuprofiilissa. Jos pitoisuuksia ei saada vähennettyä, elintarvikeyrityksen on pystyttävä todistamaan, että kaikki mahdolliset vähentämistoimenpiteet on asianmukaisesti tehty. Elintarviketoimijoiden tulee lisäksi suorittaa säännöllistä näytteenottoa tuotteille, joissa akryyliamidia tiedetään muodostuvan. Näytteenotto suoritetaan vähintään kerran vuodessa tuotteille, joiden akryyliamidipitoisuus on tunnettu ja tarkasti valvottu. Vertailuarvon mahdollisesti ylittävillä tuotteilla näytteenotto suoritetaan useammin. [4.]

Elintarviketoimijoiden on myös harkittava raakakahvin asparaginaasikäsittelyä akryyliamidipitoisuuden laskemiseksi, mikäli se on mahdollista [4]. Asparaginaasi katalysoi asparagiinin hydrolyysia asparagiinihapoksi ja ammoniakiksi. [35, s. 8.] Koska asparagiini toimii rajoittavana tekijänä kahvin akryyliamidin muodostumisessa Maillardin reaktiossa, raakakahvin asparagiinia vähentämällä voitaisiin akryyliamidipitoisuuksia mahdollisesti laskea. Porto ym. (2019) tutkivat raakakahvin asparaginaasikäsittelyn vaikutuksia kahvin asparagiini pitoisuuksiin. 30 minuutin asparaginaasikäsittelyn vaikutuksesta asparagiini väheni arabica-pavuissa noin 60 %. Paahdon jälkeistä akryyliamidipitoisuutta

ei mitattu. [37, s. 3, 6] Myös Euroopan kahviteollisuus on yhdessä entsyymitoimittajien kanssa tutkinut raakakahvin asparaginaasikäsittelyn vaikutusta akryyliamidin muodostumiseen. Käsittelyllä on havaittu merkittävä vaikutus flavoriin. Entsyymien vaikutuksia flavoriin voitaisiin mahdollisesti vähentää käsittelemällä vain osa raakakahvista asparaginaasilla. Kahvin tuotantoprosessi vaatisi kuitenkin merkittäviä muutoksia. [3, s. 53.]

3.4 Varastoinnin vaikutus pitoisuuteen

Tutkitusti akryyliamidipitoisuus ei pysy stabiilina kaupallisesti valmistetuissa kahveissa varastoinnin aikana. Useat tutkimukset ovat osoittaneet akryyliamidin vähenemisen olevan riippuvainen säilytysajasta ja ympäröivästä lämpötilasta. Lisäksi primääripakkauksella on vaikutusta. Sen tulee suojata tuotetta valolta, hapelta ja kosteudelta. [35, s.11–12.]

Tutkimuksessa (Lantz ym. 2006) havaittiin akryyliamidin vähentyneen 14–88 % 12 kuukauden varastoinnin aikana. Vakuumpakatun kahvin akryyliamidin vähenemistä mitattiin neljässä eri lämpötilassa (–18, +4, huoneenlämpö ja +37 °C). Akryyliamidin väheneminen korreloi lämpötilan kanssa: 37 °C:ssa akryyliamidipitoisuus laski 88 % ja -18 °C:ssa 14 %. Huoneenlämpötilassa akryyliamidipitoisuus väheni 80 % ja 4 °C:ssa 25 %. Tutkimuksessa (Hoenicke and Gatermann, 2005) sekä kahvijauheen että kahvipapujen akryyliamidipitoisuus laski noin 30 %, kun niitä varastoitiin suljetussa, alkuperäisessä pakkauksessa 3 kk 10–12 °C asteessa [35, s.11–12].

Hoenicke ja Gatermann (2005) tutkivat kahvin lisäksi myös muiden elintarvikkeiden akryyliamidipitoisuuksien muutoksia samoissa varastointiolosuhteissa. Akryyliamidin määrän väheneminen kahvissa oli merkittävin, mikä todennäköisesti johtui akryyliamidin reaktioista kahvin sisältämien muiden, etenkin SH-ryhmiä sisältävien, komponenttien kanssa. Myös Baum ym. (2008) tutkivat akryyliamidin pilkkoutumista varastoinnin aikana jauhetussa kahvissa. He havaitsivat, että akryyliamidi pystyi sitoutumaan kovalenttisesti kahvin liukenemattomiin ainesosiin. Taymans ym. (2005) puolestaan tutkivat varastoinnin aikaisen akryyliamidipitoisuuden vähenemisen eroja, kun paahdettuja kahvipapuja säilytettiin joko avatussa tai suljetussa astiassa. Kahvipapuja varastoitiin 60 °C asteessa 34 tunnin ajan. Akryyliamidipitoisuus laski 30 % pavuissa, joita säilytettiin suljetussa

astiassa. Avatussa astiassa säilytettyjen kahvipapujen akryyliamidipitoisuus ei muuttunut. [35, s.11–12.]

Kahvin säilyvyysajan ollessa 12 kuukautta, ei 12 kuukauden varastointiaika ole mahdollinen. Myös kolmen kuukauden varastointiaika on mahdoton, koska kaupan keskusliikkeiden vaatimuksesta teollisille tavarantoimittajille tuotteen voimassaoloaikaa tulee olla jäljellä vähintään 80 %. Varastointiajat ovat yleensä muutamia päiviä, minkä jälkeen tuotteet lähtevät kauppojen keskusvarastoihin. Keskusvarastoissa kahvin säilytysaika vaihtelee kauppakohtaisesti. Varastointiajan pidentäminen lisää myös varastointikustannuksia. Lisäksi pääoma sitoutuu pidemmäksi aikaa, kun kahvia ei myydä yhtä nopeasti eteenpäin. Tämän lisäksi varastointiajan pidentäminen luo haasteita kahvin maun säilyvyyteen.

4 Materiaalit ja menetelmät

4.1 Kahvisekoitus

Tässä työssä käytettiin yhtä yrityksen valmista kaupallista kahvisekoitusta. Kyseinen kahvisekoitus koostui eri arabica-lajikkeista. Käytetty kahvisekoitus sisälsi sekä märkättä kuivakäsiteltyä raakakahvia. Tutkittu kahvisekoitus oli vaaleapaahtoinen, eli yrityksen viisiasteisella paahtoasteikolla paahtoastetta 1.

4.2 Esikokeet

Esikokeiden tarkoituksena oli tutkia paahtoparametrien vaikutusta lopputuotteen akryyliamidipitoisuuteen ja makuun. Tavoitteena oli löytää paahtoprofiili, jolla paahdettu kahvi sopi tavoiteltuun makuprofiiliin ja jossa kahviin paahton aikana muodostunut akryyliamidipitoisuus oli nykyistä pitoisuutta matalampi. Jokaiselle yrityksen tuotteelle on kehitetty oma makuprofiilinsa ja tässä tutkimuksessa arvioitiin aistittavilta ominaisuuksilta profiilien sopivuutta siihen. Kaikki esikokeiden paahtot suoritettiin samalla paahtokoneella. Paahtoprofiilit olivat valmiiksi tallennettuina paahtokoneelle. Taulukossa 1 on esitetty esikokeiden koesuunnitelma.

Taulukko 1. Esikokeiden koesuunnitelma. Paahtoprofiili 1 toimi molemmissa esikokeissa (1 ja 2) referenssinä. Paahtoprofiili 2 oli paahtokonevalmistajan ehdotus ja paahtoprofiili 3 yrityksen aikaisemmin tekemä profiili. Paahtoprofiili 4 oli referenssin kaltainen, mutta paahtoajaltaan pidempi.

Esikoe	Profiili	Paahtoerä
1	1	1–5
	2	1–5
	3	1–5
2	1	1–2
	3	1–2
	4	1–2

Ensimmäisessä esikokeessa samaa kahvisekoitusta paahtettiin kolmella eri paahtoprofiililla, joissa muuttuvina tekijöinä olivat paahto aika ja -lämpötila. Ensimmäinen paahtoprofiili (profiili 1) toimi referenssinä. Profiililla 1 paahtetun kahvin makua ja paahtoväriä tavoiteltiin. Toinen uusista paahtoprofiileista (profiili 2) oli paahtokonevalmistajan ehdotus ja toinen (profiili 3) yrityksen aikaisemmin kokeilema paahtoprofiili. Profiili 3 otettiin mukaan myös seuraavaan esikokeeseen, mutta sen paahto aikaa hieman pidennettiin. Tämän lisäksi tehtiin uusi profiili (profiili 4). Profiili 2 jätettiin pois, koska sillä paahtetun kahvin ominaisuudet eivät sopineet tavoiteltuun makuprofiiliin.

Toisessa esikokeessa oli kolme eri paahtoprofiilia. Paahtoprofiili 1 toimi referenssinä. Toinen paahtoprofiili (profiili 4) oli samantapainen kuin referenssi, mutta paahto aikaa pidennettiin. Kolmannessa paahtoprofiilissa (profiili 3) paahto aika oli pisin ja siinä paahto aloitettiin korkeimmalla lämpötilalla, jolloin kaikki lämpöenergia siirrettiin papuihin heti paahton alussa. Nämä kolme profiilia otettiin mukaan myös varsinaiseen paahtokokeeseen.

4.3 Paahtokoe

Tuotantomittakaavan kokeeseen paras paahtoprofiili määritettiin varsinaisen paahtokokeen avulla. Taulukossa 2 on esitetty paahtokokeen koesuunnitelma. Paahtokokeessa oli mukana kolme profiilia (profiili 1, profiili 3 ja profiili 4). Jokaista profiilia paahtettiin yhteensä yhdeksän paahtoerää; kolme paahtoerää aina yhtä väritavoitetta kohden. Väritavoitteet olivat CIE-väriasteikolla vaaleimmasta väristä tummimpaan 22,0; 21,3 ja 20,5

L*. Kaikki paahtot suoritettiin samalla paahtokoneella. Jokaisella paahtoprofiililla paahtettiin noin 5000 kg.

Taulukko 2. Paahtokokeen koesuunnitelma. Jokaista paahtoprofiilia paahtettiin noin 5000 kg.

	Paahtoerien lukumäärä	Väritavoite (L*)
Profiili 1	3	21,3
	3	20,5
	3	22,0
Profiili 3	3	21,3
	3	20,5
	3	22,0
Profiili 4	3	21,3
	3	20,5
	3	22,0

Paahtokokeessa jokaisesta paahtonäytteestä mitattiin paahtoväri, tilavuus ja kosteus. Lisäksi jokainen näyte maistettiin. Paahtonäytteet lähetettiin ulkopuoliseen laboratorioon akryyliamidin määrittämiseen.

Paahtokokeen tuloksille tehtiin tilastollinen analyysi Excelin kaksisuuntaisella varianssi-analyysillä (two-way analysis of variance). Faktoreina olivat paahtoprofiili ja paahton väritavoite. Molemmat faktorit olivat kiinteitä. Vastemuuttujia olivat paahto aika ja akryyliamidipitoisuus.

4.4 Tuotantomittakaavan koeajo

Paahtokokeen tulosten perusteella valittiin sopivin paahtoprofiili tuotantomittakaavan koeajoon. Tuotannon koeajon tarkoituksena oli validoida haluttu profiili eli vahvistaa profiilin toimivuus tuotantomittakaavassa. Koeajossa tuotettiin referenssipaahtoprofiililla 1 ja paahtoprofiililla 3 paahtettu kahvi lopputuotteeksi eli paketoituksi kahvijauheeksi asti. Molempia profiileja paahtettiin noin 12 000 kg ja tavoitevähäri paahtossa oli 21,6 L*. Kahvisekoitusta paahtettiin samalla paahtokoneella kuin esikokeissa ja paahtokokeessa, mutta paahtoerien määrä oli huomattavasti suurempi. Molemmat tuotantotilaukset paahtettiin ja pakattiin saman päivän aikana.

Paahdon aikana mitattiin paahtoväriä, kosteutta ja tilavuutta yrityksen normaaleiden laadunvarmistusohjeiden mukaisesti. Lisäksi molemmista profiileista lähetettiin yhdet paahtonäytteet akryyliamidimittaukseseen. Profiililla 3 paahtettujen paahtonäytteiden maku vastasi tavoiteltua makuprofiilia. Myös pakkauksen aikana noudatettiin yrityksen normaaleja laadunvarmistuskäytäntöjä. Väri, kosteus ja akryyliamidipitoisuus mitattiin tuotannosta otetuista paketeista. Paketit otettiin molemmista tilauksista noin 3 000, 6 000, 9 000 ja 12 000 pakatun kg:n kohdalla. Akryyliamidin mittaukseen lähetettiin avaamattomat paketit. Tuotantomittakaavan koeajossa pakatulle kahville tehtiin aistinvaraisen arvioinnin kolmitesti.

4.5 Varastointikokeet

Varastointiolosuhteiden vaikutusta akryyliamidin pilkkoutuvuuteen haluttiin tutkia, joten osana tätä työtä laadittiin varastointikoesuunnitelma (liite 1). Mittaukset ja tuloksien käsittely jäivät yrityksen vastuulle.

Varastointikokeessa paahtoprofiililla 3 paahtetun kahvin akryyliamidipitoisuuksia verrataan referenssipaahtoprofiililla 1 paahtetun kahvin akryyliamidipitoisuuksiin. Lämpötilariippuvuuden selvittämiseksi kahvipaketteja säilytetään kolmessa eri lämpötilassa (4, 20 ja 40 °C) kahden kuukauden ajan. Näytteenotto tapahtuu analyysisuunnitelman mukaan 0, 14, 28 ja 56 vuorokauden jälkeen pakkaamisesta. Akryyliamidin pilkkoutuvuutta huoneenlämpötilassa haluttiin tutkia pidemmällä aikavälillä. Näytteitä analysoidaan kuuden kuukauden ajan analyysisuunnitelman mukaisesti.

Analyysisuunnitelmassa on paahtoprofiilin, säilytysajan ja -lämpötilan lisäksi otettu huomioon valmistus- ja näytteenottopäivämäärä sekä akryyliamidipitoisuus. Koska kahvit maistetaan näytteenoton yhteydessä, myös maun kommentointiin on jätetty oma sarake. Kaksi viikkoa pakkaamisen jälkeen (18.3.2021) testatuista näytteistä haluttiin tutkia huoneenlämpötilassa paketit kaikilta aikapisteiltä, joten taulukon muut-sarakkeeseen on erikseen lisätty mainintana kyseiset aikapisteet. Muuten analysoitavat näytteet on otettu tuotantomittakaavan koeajossa 6 000 pakatun kg:n kohdalla eli aikapisteessä 16.35 (profiili 1) ja 20.57 (profiili 3). Kahvit on pakattu 500 gramman vakuumpakkauksiin ja ne säilytetään avaamattomina akryyliamidianalyysiin asti.

4.6 Mittausmenetelmät

Jokaisesta esikokeiden ja paahtokokeen paahtoerästä mitattiin väri, kosteus, tilavuus ja akryyliamidipitoisuus. Mittauksia varten paahtonäytteet jauhettiin käsikäyttöisellä myllyllä (Mahlkönig VTA6S) heti paahton jälkeen suodatinjauhatuksiksi. Sama henkilö suoritti aina värin, kosteuden ja tilavuuden mittauksen mittausvirhemarginaalin minimoimiseksi. Etenkin värin mittauksessa on havaittu eroja tuloksissa mittaajien välillä. Tuotantomitta-kaavan koeajossa paahton ja pakkauksen aikana väriä, kosteutta ja tilavuutta mitattiin normaalin laadunvarmistuksen mukaisesti. Lisäksi koeajon paahtonäytteistä ja loppu-tuotteista mitattiin akryyliamidipitoisuudet.

Kahvin värin mittaaminen tapahtui Hunterlab Aeros spektrofotometrillä. Laite ilmoittaa näytteen värin CIE $L^*a^*b^*$ -väriskaalalla [38, s. 14.]. Paahtoväriä mitattaessa otettiin huomioon skaalan L^* antama väriarvo. L^* kuvaa väriasteikossa valoisuutta ja se voi saada arvoja skaalassa 0–100, jossa 0 on täysin musta ja 100 valkoinen [7, s. 40]. Värin mit-tausta varten jauhettua kahvia kaadettiin metalliselle mittausalustalle ja pinta tasoitettiin metallisella viivaimella. Tämän jälkeen alusta asetettiin Hunterlab-laitteeseen mittaustu-loksen saamiseksi. Jokaisesta kahvinäytteestä mitattiin väri kerran.

Kosteuspitoisuuden mittaaminen kahvinäytteistä suoritettiin FOSS NIRS DS2500 -lait-teella. Laitteen toiminta perustuu infrapunaspektroskopiaan ja se antaa tarkkoja tuloksia aallonpituusalueella 850–2500 nanometriä. [39.] Kosteuden mittaamiseksi jauhettua kahvia asetettiin näytekuppiin noin lusikallinen. Luotettavan tuloksen saamiseksi kupin pohjan tuli olla täysin peittyneenä, näytettä ei saanut tasoittaa ja näytekupin tuli olla puhdas. Tämän jälkeen astia asetettiin laitteeseen ja laitteen kansi suljettiin. Laite toimi tietoko-neen yhteydessä. Tietokoneelta valittiin haluttu ohjelma, tässä tapauksessa lopputuote tai paahtonäyte, ja tietokone näytti saadun kosteustuloksen.

Tilavuuden mittaaminen paahtonäytteistä tapahtui Jel Stav 2003 -volyymimittarilla. Lait-teen toiminta perustuu tärähtelyyn, jonka avulla näyte saadaan tampattua ja tiheys mää-ritettyä [40]. Tilavuuden mittaamiseksi kahvinäytettä punnittiin 70 grammaa mittalasiin. Kahvijauheen pinnan tuli olla mahdollisimman tasainen. Tämän jälkeen mittalasi asetet-tiin laitteeseen. Tulos saatiin tärytyksen loputtua mittalasin kyljestä millilitrojen tarkkuu-della.

Kahvin sisältämän akryyliamidin mittauksen sekä paahtonäytteistä että lopputuotteesta suoritti ulkopuolinen yritys, Eurofins Scientific Finland Oy. Yritys hyödyntää akryyliamidimäärityksessä nestekromatografian LC-MS/MS-tekniikkaa [31]. Määritystä varten jokaista esikokeiden ja paahtokokeen aikana paahtettua paahtonäytettä pakattiin noin 250 grammaa erillisiin Minigrip-pusseihin. Tuotantomittakaavan kokeesta toimitettiin yhteensä kaksi paahtonäytettä ja kahdeksan avaamatonta pakettia akryyliamidimääritykseen. Laajennettu mittausepävarmuus analyyseissä oli 12 %.

4.7 Aistinvarainen arviointi

Aistinvarainen arviointi esikokeiden, paahtokokeen ja tuotantomittakaavankoeajon paahtonäytteistä suoritettiin laboratoriossa cupping- eli kuppimenetelmällä ja siihen osallistui kahvilaboratoriossa työskenteleviä asiantuntijoita (n = 3–5). Aistinvaraisen arvioinnin avulla verrattiin vastaavatko eri paahtoprofiileilla paahtetut kahvit aistittavilta ominaisuuksiltaan referenssipaahtoprofiiliin makuprofiilia. Makuprofiilissa arvioidaan kahvin hapokkuutta, runkoa ja flavoria. Ensimmäisessä esikokeessa kolmella eri paahtoprofiililla paahtetuista kahvinäytteistä maistettiin jokaisesta profiilista yksi satunnainen paahtonäyte. Toisen esikokeen kolmen eri paahtoprofiilin kaikki kuusi näytettä maistettiin. Paahtokokeessa maistettiin kaikki paahtonäytteet eli 27 näytettä. Paahtonäytteet maistettiin aina heti paahton loputtua. Paahtokokeen saman väritavoitteen eri paahtoprofiileilla paahtettuja kahveja verrattiin saman väritavoitteen referenssiprofiiliin näytteeseen. Tuotantomittakaavankoeajossa otettiin paahtonäytteitä normaalien laadunvarmistusohjeiden mukaan. Kaikki nämä paahtonäytteet maistettiin.

Cuppingilla tarkoitetaan kahvin maistelua ja arviointia [41]. Kuppimenetelmässä kahvinäytteet asetettiin pöydälle värijärjestyksessä vaaleasta tummimpaan paahtoon. Jauhetua kahvia mitattiin siihen tarkoitettun metallisen mittakupin verran eli noin 15–19 grammaa ja pinta tasoitettiin muovisella lastalla. Mitattu kahvijauhe kaadettiin 280 ml:n kahvikuppiin, joka täytettiin kiehuvalle vedelle. Tämän jälkeen kahvin annettiin uuttua neljän minuutin ajan, minkä jälkeen näytteet sekoitettiin lusikalla pinnasta, ja pintaan jäävä vaahto kuorittiin lusikalla pois. Näytteiden annettiin jäähtyä noin 15 minuutin ajan, minkä jälkeen ne maistettiin järjestyksessä.

Tuotantomittakaavan kokeessa pakatuille kahveille tehtiin kolmitestit. Kolmitestin tarkoituksena oli määrittää, muuttuvatko tuotteen aistittavat ominaisuudet liikaa paahtoprofiilin muutoksen myötä. Kolmitestiä käytetään yleisesti elintarviketeollisuudessa, kun halutaan selvittää, aiheuttaako valmistusmenetelmän, raaka-aineiden, säilytystavan tai pakkaamisen muutos muutoksia lopputuotteen aistittavissa ominaisuuksissa. Kolmitestissä arvioija saa samanaikaisesti kolme näytettä, joista kaksi on samanlaista ja yksi poikkeava. Arvioijan tehtävänä on kertoa, mikä näytteistä on poikkeava. Arvioijan valinta voi myös perustua arvaukseen. Kolmitestissä raatina toimii tuotteeseen tai tuoteryhmään perehtyneet asiantuntijat. [20, s. 78–79; 107.]

Kolmitestin suoritti talon sisäinen asiantuntijaraati ($n = 8$) noin kaksi viikkoa pakkaamisen jälkeen. Kolmitestin näytteet valmistettiin keittämällä kahvi Moccamaster-kahvinkeitinillä. Kahvinkeittimeen punnittiin 60 g pakattua kahvijauhetta ja 1003 g vettä. Molemmilla profiileilla paahdettua kahvia keitettiin kaksi pannullista, jotka keittämisen jälkeen makuerojen tasoittamiseksi sekoitettiin keskenään ennen tarjoilua. Näytteiden annettiin jäähtyä noin 10 minuuttia ennen arviointia. Jokaiselle näytteelle annettiin arviointia varten kolminumeroinen luku, josta näyte voitiin tunnistaa. Näytteiden arvioitijärjestys satunnaistettiin. Kolmitesti suoritettiin arviointikopeissa ja sen tulokset kerättiin EyeQuestion-ohjelmalla (EyeQuestion Software, Hollanti), jonka vastauslomake on esitetty liitteessä 2. Testien riskitaso oli 5 % ($\alpha = 0,05$).

5 Tulokset

5.1 Esikokeet

Esikokeiden tulokset on esitetty taulukossa 3. Ensimmäisessä esikokeessa paahtoprofiilin 2 paahto-aika oli pisin, mutta kahvi ei aistittavilta ominaisuuksiltaan vastannut tavoiteltua makuprofiilia. Profiililla 3 paahdettu kahvi sopi aistittavilta ominaisuuksiltaan tavoiteltuun makuprofiiliin. Toiseen esikokeeseen otettiin referenssiprofiilin 1 lisäksi paahtoprofiili 3, mutta sen paahto-aikaa pidennettiin. Näiden profiilien lisäksi tehtiin uusi paahtoprofiili 4. Sekä paahtoprofiilin 3 että 4 maku vastasi tavoiteltua makuprofiilia. Toisen esikokeen tulosten perusteella samat paahtoprofiilit (1, 3 ja 4) otettiin mukaan myös varsinaiseen paahtokokeeseen.

Taulukko 3. Esikokeiden tulokset esitettyinä paahtoerien keskiarvoina. Akryyliamidipitoisuuksissa otettu huomioon analyysin 12 %:n laajennettu mittausepävarmuus.

Esikoe	Profiili	Paahdon loppulämpötila (°C)	Paahtoaika (s)	Kosteus (%)	Tilavuus (ml)	Paahtoväri (L*)	Akryyliamidipitoisuus (µg/kg)
1	1	211	391	3,9	164	21,5	370 ± 44
	2	209	425	4,1	161	21,7	388 ± 47
	3	209	392	4,0	160	21,8	374 ± 45
2	1	212	390	4,1	162	21,3	375 ± 45
	3	211	422	4,0	162	21,1	345 ± 41
	4	211	407	3,9	162	21,2	355 ± 43

Pisin paahtoaika toisessa esikokeessa oli paahtoprofiililla 3. Yleensä paahtoajan pidentämisen on havaittu madaltavan kahvin aromikkuutta. Nyt kummassakaan profiilissa 3 tai 4 tätä ei havaittu. Paahtoprofiililla 3 paahdetun kahvin akryyliamidipitoisuudet olivat keskimäärin matalammat toisessa esikokeessa, mikä saattoi johtua hieman tummemmasta paahtoväristä yhdessä pidemmän paahtoajan kanssa. Molemmissa esikokeissa kosteus, tilavuus ja paahtoväri olivat yrityksen spesifikaatioiden mukaisia.

5.2 Paahtokoe

Paahtokokeen yksityiskohtaiset tulokset paahtoerittäin on esitetty liitteessä 3. Paahtokokeen profiilien 1, 3 ja 4 paahtoerien keskiarvot kutakin väritavoitetta kohden on esitetty taulukossa 4.

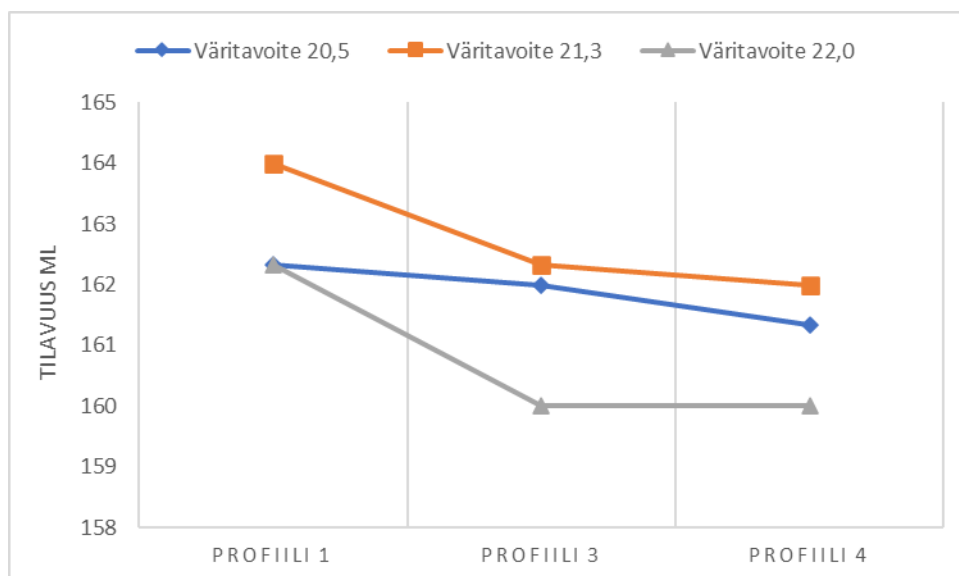
Taulukko 4. Paahtokokeen paahtoprofiilien (1, 3, 4) paahtoerien tuloksien keskiarvot väritavoitteittain. Akryyliamidipitoisuuksissa otettu huomioon analyysin 12 %:n laajennettu mittausepävarmuus.

Profiili	Paah-toerä	Paahdon loppulämpötila (°C)	Paahtoaika (s)	Kosteus (%)	Tilavuus (ml)	Paahtoväri (L*)	Väritavoite (L*)	Akryyliamidipitoisuus (µg/kg)
1	1-3	211	400	4,2	162	21,4	21,3	390 ± 47
	4-6	213	415	4,2	164	20,7	20,5	340 ± 41
	7-9	210	389	4,4	162	22,3	22,0	453 ± 54
3	1-3	210	439	4,3	162	21,2	21,3	343 ± 41
	4-6	211	443	4,2	162	20,7	20,5	303 ± 36
	7-9	208	410	4,3	160	21,9	22,0	357 ± 43
4	1-3	211	406	4,1	161	21,6	21,3	353 ± 42
	4-6	212	420	4,0	162	20,7	20,5	320 ± 38
	7-9	209	397	4,3	160	22,0	22,0	403 ± 48

Kaikki paahtokokeen paahtonäytteet arvioitiin aistinvaraisesti cupping-menetelmällä ja ne sopivat tavoiteltuun makuprofiiliin. Paahtokokeen tulosten perusteella tuotantomittakaavan koeajoon valittiin referenssipaahtoprofiiliin (profiili 1) lisäksi paahtoprofiili 3. Paahtoprofiilissa 3 akryyliamidipitoisuudet olivat matalimmat ja paahtettu kahvi sopi tavoiteltuun makuprofiiliin.

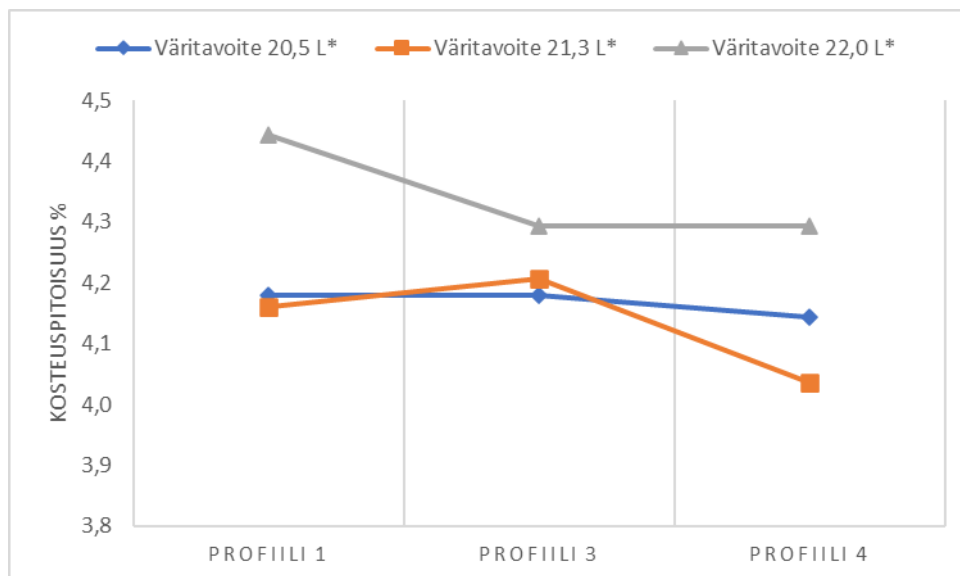
5.2.1 Kahvin tilavuus ja kosteus

Tilavuus pysyi tuotantomittakaavaa ajatellen lähes muuttumattomana koko paahtokokeen ajan. Tämän takia tilavuudelle ei tehty tilastollista analyysiä. Kuvassa 6 on esitetty tilavuuksien keskiarvot eri paahtoprofiileissa ja väritavoitteissa. Referenssiprofiiliin (profiili 1) tilavuudet olivat 162–164 ml. Keskiarvoksi saatiin 163 ml. Profiilin 3 ja 4 tilavuudet vaihtelivat 160–163 ml. Keskiarvoksi saatiin molemmissa 161 ml. Kyseiset tilavuudet olivat yrityksen spesifikaatioiden mukaan hyväksytyjä ja paahtoprofiileita voitiin käyttää. Kahvin tilavuus vaikuttaa kahvin pakattavuuteen ja tavoitealueen ulkopuolella oleva tilavuus saattaa aiheuttaa ongelmia lopputuotteen lavauksessa. Tilavuutta pystytään kuitenkin säätämään vielä melko hyvin jauhatuksen aikana. Kyseinen tuotettu kahvi pystyttiin pakkaamaan ongelmitta.



Kuva 6. Paahtetun kahvin paahtoerien tilavuuksien keskiarvot paahtoprofiileittain (1,3 ja 4) eri väritavoitteissa. Kaikki tilavuudet olivat yrityksen spesifikaatioiden mukaisia.

Paahdetun kahvin kosteuspitoisuuksia ei myöskään tutkittu tilastollisesti, koska pitoisuuksien vaihtelu oli tuotantomittakaavassa hyvin pientä. Kaikki mitatut kosteuspitoisuudet olivat yrityksen spesifikaatioiden mukaisia. Profiilissa 1 kahvin kosteuspitoisuudet vaihtelivat 4,1–4,5 %. Kahvin kosteuspitoisuudet olivat 4,1–4,3 % profiilissa 3 ja 4,0–4,4 % profiilissa 4. Paahdetun kahvin kosteuspitoisuuksien keskiarvot on esitetty kuvassa 7. Vaaleimmassa väritavoitteessa (22,0 L*) kosteuspitoisuudet olivat keskimääräisesti korkeimmat.



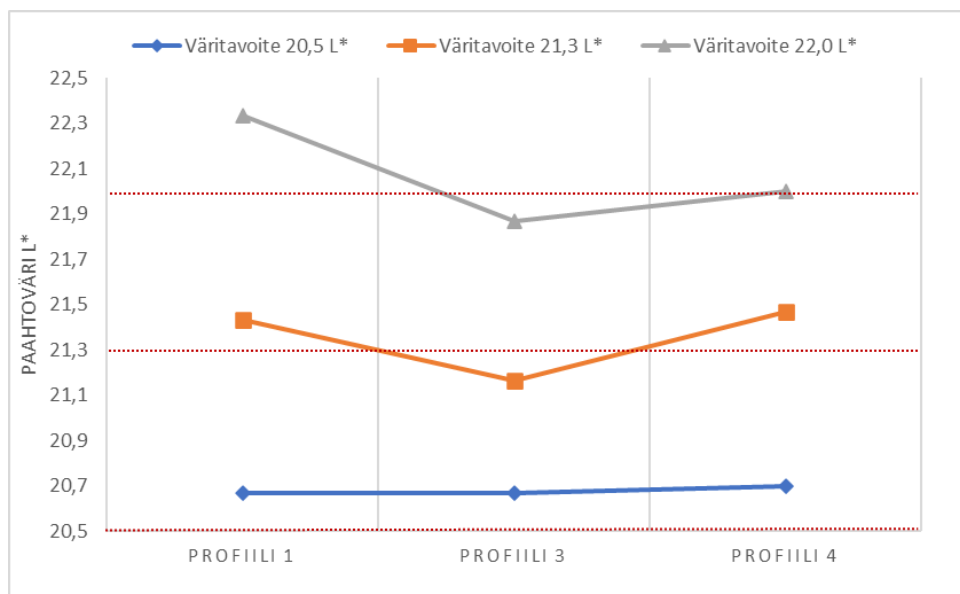
Kuva 7. Paahdetun kahvin paahtoerien kosteuspitoisuuksien keskiarvot paahtoprofiileittain (1,3 ja 4) eri väritavoitteissa. Kaikki kosteuspitoisuudet olivat yrityksen laatukriteerien mukaan hyväksytyjä.

5.2.2 Kahvin paahtoväri

Kahvin paahtovärin tutkimisen tarkoituksena oli selvittää, kuinka lähelle paahtokokeessa tavoiteltua paahtoväriä päästään. Tavoiteltuja paahtovärejä olivat CIE-väriasteikolla vaaleimmasta tummimpaan 22,0; 21,3 ja 20,5 L*.

Paahtovärit osuivat melko hyvin väritavoitteisiin (kuva 8). Profiilissa 3 paahtovärit olivat hieman profiileiden 1 ja 4 paahtovärejä tummemmat väritavoitteissa 22,0 ja 21,3. Paahtovärit olivat kuitenkin keskimäärin enintään 0,4 astetta tummemmat kuin kyseisen väritavoitteen vaaleimmassa mitatussa arvossa. Paahtovärit vaihtelevat hieman paahtoprosessin aikana, eikä näin pienellä lukuarvolla ole yrityksen asettamien laatukriteerien

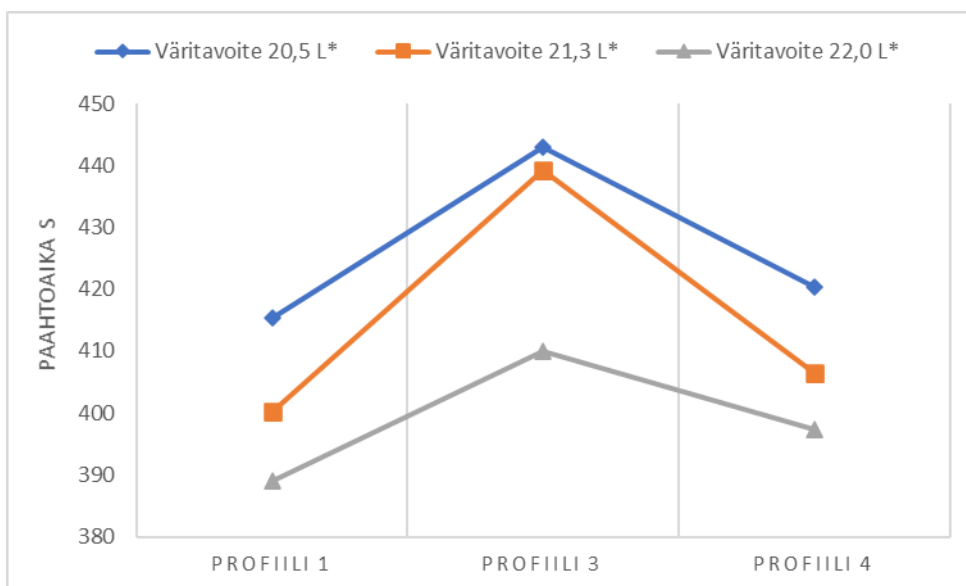
mukaan merkittävää eroa. Väriin mittaamisen mittausepävarmuus on melko suuri ja mittaamiseen vaikuttaa merkittävästi, miten kahvi asettuu mittausalustalle. Myös mittaajien välillä mittaustuloksissa voidaan havaita vaihteluita.



Kuva 8. Paahtossa toteutuneet paahtovärit paahtoprofiileittain (1, 3 ja 4) eri väritavoitteissa. Tulokset on esitetty paahtoerien keskiarvoina. Tavoitellut paahtovärit (22,0; 21,3; 20,5 L*) on merkitty kuvaan punaisilla katkoviivoilla. Toteutuneet paahtovärit osuivat melko hyvin paahton väritavoitteisiin.

5.2.3 Kahvin paahto aika

Paahtoajat olivat pisimmät profiilissa 3 ja lyhyimmät referenssiprofiilissa 1. Kuvassa 9 on esitetty paahtoajojen keskiarvot paahtoprofiileittain eri väritavoitteissa. Profiilissa 3 paahtoajat olivat 409–450 sekuntia ja profiilissa 4 385–426 sekuntia riippuen paahton tavoiteväristä. Referenssiprofiilissa 1 paahtoajat olivat puolestaan 375–416 sekuntia. Paahtoprofiilin 3 paahto aika oli keskimääräisesti noin 7 % pidempi kuin profiilin 1 ja profiilin 4 keskimääräisesti noin 2 % pidempi kuin referenssiprofiilin 1.

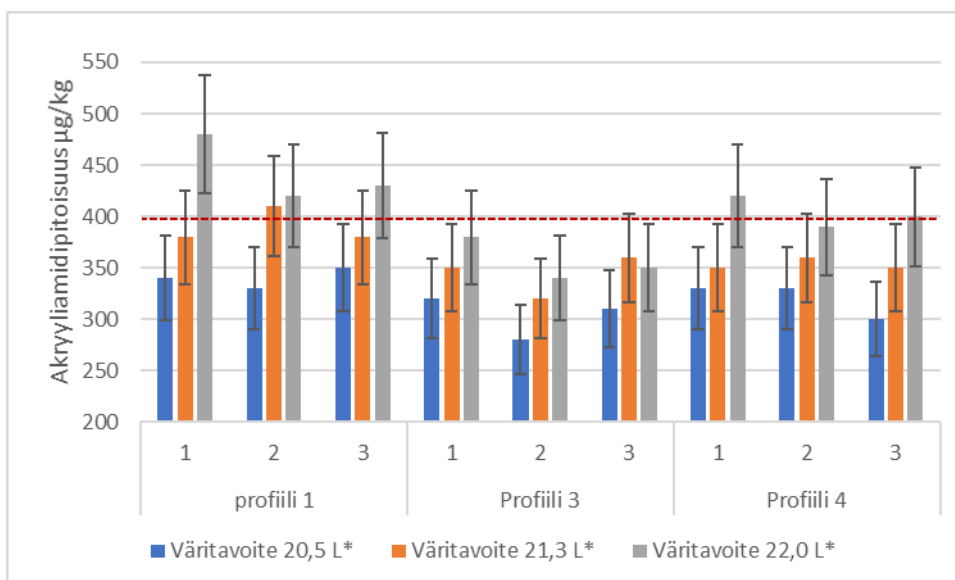


Kuva 9. Kahvin paahtoajat paahtoprofiileittain (1,3 ja 4) eri väritavoitteissa. Paahtoajat on esitetty paahtoerien keskiarvoina.

Kahvin paahtoajan riippuvuutta suunnittelumuuttujista tutkittiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä, jossa sallittiin toistot. Tulokset on esitetty liitteessä 4. Paahtoprofiili ja väritavoite asetettiin faktoreiksi ja paahtoaika vastemuuttujaksi. Sekä paahtoprofiilin että väritavoitteen vaikutus paahtoaikaan oli tilastollisesti merkitsevä p -arvojen ollessa 0,000. Muuttujien yhteisvaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,189$).

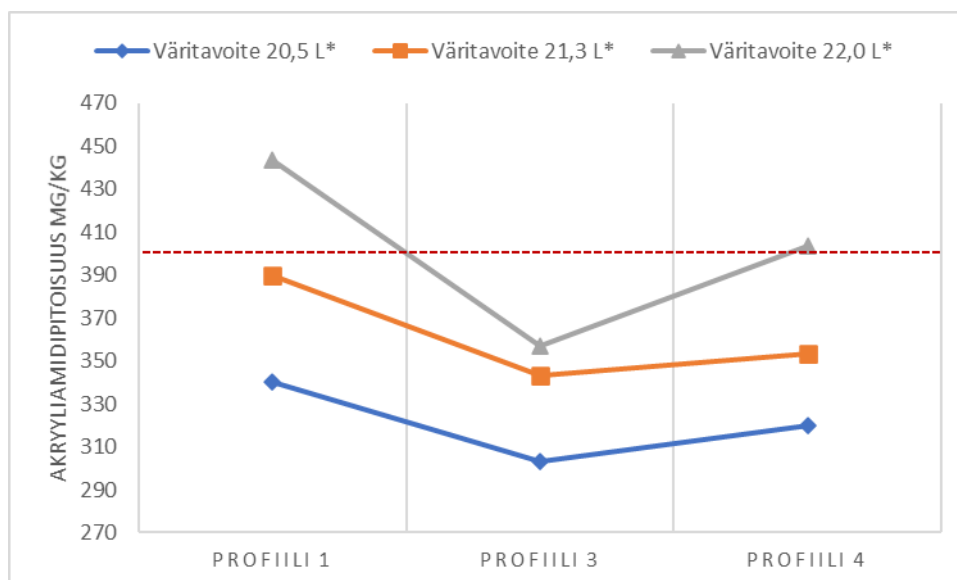
5.2.4 Kahvin akryyliamidipitoisuus

Matalimmat akryyliamidipitoisuudet olivat paahtoprofiilin 3 paahtonäytteissä, jossa ne vaihtelivat väritavoitteesta riippuen 280–380 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Paahtonäytteiden korkeimmat akryyliamidipitoisuudet olivat paahtoprofiilissa 1, jossa ne olivat 330–480 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Paahtoprofiililla 4 paahtettujen paahtonäytteiden akryyliamidipitoisuudet olivat näiden kahden profiilin välillä. Ne olivat 300–420 $\mu\text{g}/\text{kg}$ väritavoitteesta riippuen. Kuvan 10 pylväsdiagrammissa on esitetty akryyliamidipitoisuudet kahvien paahtoprofiileiden paahtoerittäin eri väritavoitteissa.



Kuva 10. Paahtetun kahvin akryyliamidipitoisuudet paahtoprofiilien (1,3 ja 4) paahtoerittäin (1–3) eri väritavoiteissa. Virhepalkit kuvaavat 12 % analyysin laajennettua mittausepävarmuutta. Punainen katkoviiva kuvaa EU:n akryyliamidin vertailuarvoa, joka on 400 µg/kg.

Akryyliamidipitoisuudet olivat kaikissa profiileissa matalimmat tummimmassa väritavoitteessa 20,5 L* ja korkeimmat vaaleimmassa väritavoitteessa 22,0 L*. Kahvin akryyliamidipitoisuuksien keskiarvot eri paahtoprofiileissa kolmessa eri väritavoitteessa on esitetty kuvassa 11. Profiilissa 3 akryyliamidipitoisuudet olivat keskimäärin 303, 343 ja 357 µg/kg mentäessä tummimmasta väritavoitteesta vaaleimpaan. Korkeimmat akryyliamidipitoisuudet olivat profiilissa 1, jossa tummimmasta vaaleimpaan väritavoitteeseen mentäessä keskipitoisuudet olivat 340, 390 ja 443 µg/kg. Sekä profiiliin 1 että 4 akryyliamidipitoisuudet ylittävät vaaleimmassa väritavoitteessa EU:n akryyliamidipitoisuuden vertailuarvon, joka on 400 µg/kg. Paahtoprofiililla 3 ja 1 paahtettujen kahvien akryyliamidipitoisuudet eroavat keskimäärin noin 15 %. Suurin ero on kaikkein vaaleimmassa väritavoitteessa, jossa se on keskimäärin noin 20 % ja pienin tummimmassa väritavoitteessa, jossa se on keskimäärin noin 11 %.



Kuva 11. Paahtetun kahvin akryyliamidipitoisuuksien keskiarvot paahtoprofiileittain (1,3 ja 4) eri väritavoitteissa. Kuvaan on merkitty punaisella katkoviivalla EU:n akryyliamidipitoisuuden vertailuarvo 400 µg/kg.

Kahvin akryyliamidipitoisuutta tutkittiin samoin kuin paahtoaikaa kaksisuuntaisella varianssianalyysillä, jossa toistot sallittiin. Tulokset on esitetty liitteessä 5. Paahtoprofiili ja väritavoite asetettiin faktoreiksi ja akryyliamidipitoisuus vastemuuttujaksi. Paahtoprofiilin ja väritavoitteen vaikutus akryyliamidipitoisuuteen oli tilastollisesti merkitsevä p -arvojen ollessa 0,000. Muuttujien yhteisvaikutuksella ei ollut tilastollista merkitsevyyttä ($p=0,210$).

Yrityksen aikaisemmissa tutkimuksissa todettiin pidemmän paahtoaajan laskevan akryyliamidin määrää [6; 7]. Sama voidaan todeta tämän tutkimuksen tulosten perusteella. Paahtoprofiilissa 3 oli pisin paahtoaika (409–450 sekuntia) ja samalla matalin akryyliamidipitoisuus kaikissa väritavoitteissa, kun taas paahtoprofiilissa 1 oli lyhyin paahtoaika (389–415 sekuntia) ja samalla korkein akryyliamidipitoisuus. Paahtoprofiilissa 3 paahto aloitettiin myös korkeimmalla lämpötilalla, jolloin enemmän lämpöenergiaa sitoutui papuihin heti paahton alussa. Paahtoprofiilin 4 paahtoaika (397–420 sekuntia) ja akryyliamidipitoisuus asettuivat näiden kahden profiilin välille. Pidemmän paahtoaajan ansiosta muodostunut akryyliamidi ehti mahdollisesti hajota kemiallisten reaktioiden kautta ja lopputuotteen akryyliamidipitoisuus jäi matalammaksi. Lachenmeier ym. (2019) havaitsivat myös korkeamman paahtoenergian eli pidemmän paahtoaajan yhdessä korkeamman lämpötilan kanssa laskevan akryyliamidipitoisuuksia. Paahtot suoritettiin kyseisessä

työssä laboratoriomittakaavan paahtimella, kun taas tässä työssä kahvipavut paahtettiin teollisuusmittakaavan paahtimella. [35, s.10.]

Bertuzzi ym. (2020) totesivat kahvin (arabica) akryyliamidipitoisuuden saavuttavan maksimipitoisuutensa 175 °C asteessa kokonaispaahtoajan ollessa keskipaahtoaisella kahvilla noin 970 sekuntia. Akryyliamidipitoisuus nousi tasaisesti paahtossa aikavälillä 300–600 sekuntia, jonka jälkeen se väheni asteittain. Pidemmän paahtoajan vaikutuksesta saavutettiin näin matalampia akryyliamidipitoisuuksia. Paahtot suoritettiin teollisuusko-
koluokan paahtimella. [25, s. 5.] Tässä tutkimuksessa saadut paahtoajat asettuisivat näin Bertuzzi ym. tutkimuksessa määritettyyn akryyliamidipitoisuuden nousuvaiheeseen paahtoaikojen ollessa 400 sekunnin molemmin puolin. Kuitenkin paahtoajaltaan pisimmässä paahtoprofiilissa (profiili 3) akryyliamidipitoisuus oli tulosten mukaan matalin. Paahton kokonaiskesto Bertuzzi ym. tutkimuksessa oli huomattavasti tämän tutkimuksen vaaleapaahtoisen kahvin paahtoaikaa pidempi. Paahton loppulämpötila Bertuzzi ym. tutkimuksessa oli noin 213 °C eli melko sama kuin tässä tutkimuksessa. Tässä tutkimuksessa saadut loppulämpötilat olivat noin 208–213 °C väritavoitteesta ja paahtoprofiilista riippuen.

Yrityksen aikaisemmissa tutkimuksissa [6; 7] todettiin paahtoväriin tummentamisen paahton loppulämpötilaa nostamalla laskevan akryyliamidipitoisuutta. Tämänkin tutkimuksen tulokset osoittavat matalimmat akryyliamidipitoisuudet tummimmassa väritavoitteessa kaikissa paahtoprofiileissa. Paahtoväriä tummennettiin paahtoprosessissa nostamalla paahton loppulämpötilaa. Myös Lachenmeier ym. (2019) totesivat yhteyden tumman paahtoväriin ja matalan akryyliamidipitoisuuden välillä [35, s.10].

Endeshaw ym. (2020) tutkivat kahvin (arabica) paahto-olosuhteiden vaikutusta akryyliamidipitoisuuksiin. He havaitsivat poikkeuksellisesti matalampia akryyliamidipitoisuuksia vaaleapaahtoosessa (loppulämpötila 176 °C ja paahto aika 330 sekuntia) kahvissa verrattuna keski-tummapaahtoiseen (loppulämpötila 190 °C ja 420 sekuntia). [36, s.14.] Tulokset tukevat Bertuzzi ym. (2020) tutkimustuloksia. Saattaa olla mahdollista, ettei akryyliamidia ehtinyt muodostua kuin vähän vaaleapaahtoisen kahvin lyhyen paahtoprosessin aikana. Keski-tummapaahtoisen kahvin akryyliamidipitoisuus oli korkein. Mahdollisesti akryyliamidia ehti muodostua maksimipitoisuuteen asti, mutta sitä ei ehtinyt hajota. Myös tummapaahtoisen kahvin akryyliamidipitoisuus oli keskitummaa matalampi.

Muodostunut akryyliamidi ehti mahdollisesti osittain hajota pidemmän paahton aikana. Tutkimuksen (Endeshaw ym.) keski-tummapaahtoisen kahvin paahto aika oli lähellä tämän tutkimuksen paahtoaikoja. Tarkempia väriarvoja ei tutkimuksissa kerrottu eli käsitteet vaalea- ja tummapaahtoinen ovat vain suuntaa antavia ja saattavat luoda ristiriitoja tuloksien tarkasteluun. Sama paahtoaste voidaan määrittää eri värikategoriaan kuuluvaksi [36, s. 7].

5.3 Tuotantomittakaavan koeajo

Tuotantomittakaavan kokeessa saadut akryyliamidipitoisuudet (taulukko 5) poikkesivat selvästi paahtokokeen tuloksista (taulukko 4). Paahtokokeessa profiililla 3 saatiin selvästi profiilia 1 matalammat akryyliamidipitoisuudet. Tuotantomittakaavan kokeessa sekä paahtoprofiililla 1 että paahtoprofiililla 3 paahtetun kahvin lopputuotteesta mitattu akryyliamidipitoisuus oli keskimäärin noin 370 µg/kg. Paahtoprofiilin 1 paahtonäytteestä mitattu akryyliamidipitoisuus oli paahtoprofiilin 3 paahtonäytteen akryyliamidipitoisuutta korkeampi.

Taulukko 5. Tuotantomittakaavan koeajon tulokset. Sekä mitatut värit että kosteuspitoisuudet olivat yrityksen laatukriteerien mukaisia. Akryyliamidipitoisuudet olivat keskimäärin 373 ± 45 µg/kg kummassakin profiilissa. Akryyliamidipitoisuuksissa otettu huomiioon analyysin 12 %:n laajennettu mittausepävarmuus.

Paahtoprofiili	Aikapiste (klo)	Väri (L*)	Kosteus (%)	Akryyliamidipitoisuus (µg/kg)
Profiili 1	paahtonäyte	21,5	4,6	390 ± 47
	15.32	20,0	3,6	350 ± 42
	16.35	20,1	3,7	380 ± 46
	17.40	19,6	3,8	360 ± 43
	18.35	20,1	3,7	400 ± 48
Profiili 3	paahtonäyte	21,7	4,1	360 ± 43
	19.54	20,0	3,8	370 ± 44
	20.57	20,0	4,0	350 ± 42
	21.48	19,8	3,9	350 ± 42
	23.13	20,1	3,9	420 ± 50

Tuotantotilausten lopussa otetuissa lopputuotenäytteissä (aikapisteet 18.35 ja 23.13) oli selvästi korkeammat akryyliamidipitoisuudet. Paahton aikana ei ollut tapahtunut mitään, mikä voisi pitoisuudet selittää. Myös muiden aikapisteiden lähes saman värisissä näytteissä oli selvästi matalammat akryyliamidipitoisuudet. Viimeisten aikapisteiden

korkeammat akryyliamidipitoisuudet voivat mahdollisesti johtua suuremmasta epäkyp-sien papujen määrästä. Epäkypsät pavut nousevat mahdollisesti jauhatuksen aikana jauhatussiiolossa ylöspäin ja tulevat näin tuotantotilauksen lopussa pakattaviksi.

Lopputuotteiden värit pysyivät melko tasaisina läpi koeajon. Sekä profiiliin 1 että 3 väri-tulosten keskiarvo oli 20,0 L*. Kosteuspitoisuudet olivat keskimäärin hieman korkeam-mat testiprofiilissa 3, jossa ne olivat 3,9 %. Profiiliin 1 kosteuspitoisuuksien keskiarvo oli 3,7 %. Kaikki mitatut värit ja kosteuspitoisuudet olivat yrityksen laatukriteerien mukaan hyväksytyjä.

Tuotantomittakaavan koeajossa pakatun kahvijauheen kolmitestin tulokset on esitetty taulukossa 6. Arviointien määrä kolmitestissä oli pieni (N=8), minkä takia testin tulosta ei voida pitää tilastollisesti luotettavana. Arvioijat olivat kuitenkin harjaantuneita kahvin-maistajia, joten tuloksia voidaan pitää erittäin suuntaa antavina.

Taulukko 6. Pakatun kahvijauheen kolmitestin tulokset. Paahtoprofiileilla 1 ja 3 paahtetut kah-vit eivät eronneet flavoreiltaan tilastollisesti merkittävästi ($p = 0,088$).

Referenssi	Vertailtava näyte	N	Oikeita vastauksia	p-arvo	d'	Flavorin ero merkitsevä
Profiili 1	Profiili 3	8	5	0,088	2,1	Ei

Profiililla 1 ja profiililla 3 paahtetut kahvit eivät eronneet flavoreiltaan tilastollisesti mer-kitsevästi p arvon ollessa 0,088 ($p > 0,05$). Viisi kahdeksasta arvioijasta löysi eron profii-lien välillä. Osa arvioijista kuvaili paahtoprofiililla 3 paahtettua kahvia muun muassa vä-hemmän hapokkaaksi ja maultaan tummemmaksi. Tulosten d' -arvon perusteella ($d' > 2$) näytteiden välinen ero saattaa kuitenkin olla niin suuri, että kuluttajat huomaavat eron maussa. D' -arvo on laskennallinen ja perustuu arvioijien lukumäärään.

6 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä pyrittiin muokkaamaan valmiin vaaleapaahtoisen kahvisekoituk-sen paahtoparametrejä akryyliamidipitoisuuden minimoimiseksi. Tavoitteena oli luoda paahtoprofiili, jonka paahtoprosessin jälkeen kahvin akryyliamidipitoisuus olisi mata-lampi verrattuna tämänhetkisen paahtoprofiilin paahtoprosessissa syntyvään

akryyliamidin määrään. Akryyliamidipitoisuuksien tavoiteltiin pysyvän EU:n asettaman vertailuarvon (400 µg/kg) alapuolella. Lisäksi paahtoprofiililla paahtetun kahvin aistittavien ominaisuuksien tuli sopia kahvisekoituksen makuprofiiliin. Aiemmat yrityksen tutkimukset [6; 7] ovat osoittaneet paahtoajan pidentämisen laskevan akryyliamidipitoisuuksia. Paahtoajasta pyrittiin saamaan mahdollisimman pitkä ottaen huomioon kahvisekoituksen väritavoitteen ja makuprofiilin.

Osana tätä insinööryötä paahtoväriin vaikutusta akryyliamidipitoisuuteen tutkittiin paahtokokeessa paahtamalla valittuja paahtoprofiileita kolmeen eri tavoiteväriin (20,5; 21,3 ja 22,0 L*). Akryyliamidipitoisuudet olivat matalimmat kaikissa profiileissa tummimmassa väritavoitteessa (20,5 L*) ja korkeimmat vaaleimmassa väritavoitteessa (22,0 L*). Tutkimukset ovat myös osoittaneet akryyliamidin pilkkoutuvan kahvin varastoinnin aikana, joten osana tätä työtä laadittiin varastointikoesuunnitelma. Varastointikokeiden tulosten avulla yritys pystyy selvittämään akryyliamidin pilkkoutumisnopeuden varastoinnin aikana eri lämpötiloissa. Tämän perusteella mahdollisesti jatkossa varastointiooloja voidaan muuttaa akryyliamidin pilkkoutumisen nopeuttamiseksi varastoinnin aikana.

Kahvisekoitukselle onnistuttiin luomaan kaksi ajallisesti vertailuprofiilia pidempää paahtoprofiilia. Paahtokokeen aikana molempien uusien paahtoprofiilien paahtonäytteisiin muodostui kaikissa väritavoitteissa vertailuprofiilia vähemmän akryyliamidia. Profiili 3, johon muodostui uusista profiileista vähemmän akryyliamidia paahtokokeen aikana, ja joka aistittavilta ominaisuuksiltaan soveltui referenssiprofiilin makuprofiiliin paremmin, otettiin mukaan tuotantomittakaavan koeajoon. Tuotantomittakaavan koeajossa paahtoprofiiliin 3 paahtonäytteestä mitattu akryyliamidipitoisuus oli noin 30 µg/kg paahtoprofiilin 1 paahtonäytteen akryyliamidipitoisuutta matalampi. Yllätykseksi kuitenkin tuotantokokeessa sekä paahtoprofiiliin 3 että referenssipaahtoprofiiliin 1 pakatuista kahvijauheista mitatut akryyliamidipitoisuudet olivat samat, keskimäärin noin 370 µg/kg. Molempien profiilien pitoisuudet olivat kuitenkin keskimäärin EU:n vertailuarvon (400 µg/kg) alapuolella. Paahtokokeen ja tuotantomittakaavan koeajon akryyliamidin pitoisuseroihin voivat vaikuttaa tuotantomäärät. Paahtokokeessa yhtä profiilia paahtettiin noin 5 000 kg ja tuotantomittakaavan kokeessa noin 12 000 kg. Myös akryyliamidianalyysin mittauserävarmuus on suuri (12 %), mikä vaikuttaa tulosten tarkkuuteen.

Talon sisäinen ammattilaisraati ei havainnut tilastollisesti merkitsevää ($p = 0,088$) eroa uudella paahtoprofiililla (profiili 3) paahtetun kahvin ja referenssipaahtoprofiililla (profiili

1) paahdetun kahvin aistittavissa ominaisuuksissa. Tulosta voidaan raadin koon pienuuden vuoksi pitää suuntaa antavana, mutta ei tilastollisesti luotettavana. Viisi kahdeksasta arvioijasta löysi eron paahtoprofiileiden välillä. Kolmitesti tulisikin toistaa vähintään kerran tai järjestää suuremmalle arvioijamäärälle varmistaakseen, ettei ero profiilien välillä ole liian suuri.

Jatkossa tutkimusta on tärkeä jatkaa esimerkiksi selvittämällä, mitkä tekijät vaikuttivat paahtokokeen ja tuotantomittakaavankoeajon paahtoprofiililla 3 paahdetun kahvin akryyliamidin pitoisuuseroihin. Työn kaikki paahtot suoritettiin yhdellä paahtokoneella, joten paahtoprofiilin toimivuus tulisi todentaa myös yrityksen kahdella muulla saman toiminta-periaatteen omaavalla paahtokoneella. Paahtoprofiilia 3 mahdollisesti vielä hienosäädetään, jotta se sopii tavoiteltuun makuprofiiliin ja akryyliamidipitoisuutta saadaan matalammaksi. Jatkossa myös kahvisekoituksen tavoiteväriä saatetaan muuttaa tummemmaksi akryyliamidipitoisuuden laskemiseksi.

Lähteet

- 1 Tuomisto, Jouko. 2003. Elintarvikkeiden akryyliamidin riskit näyttävät pieniltä. Verkkoaineisto. Duodecim. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo93593>>. Luettu 2.11.2020.
- 2 Akryyliamidi. Verkkoaineisto. Ruokavirasto. <<https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/yhteiset-koostumusvaatimukset/kontaminantit/akryyliamidi/>>. Luettu 2.11.2020.
- 3 Acrylamide Toolbox. 2019. Verkkoaineisto. FoodDrink Europe, Inc. <https://www.fooddrinkeurope.eu/uploads/publications_documents/FoodDrinkEurope_Acrylamide_Toolbox_2019.pdf>. Luettu 9.11.2020.
- 4 Komission asetus toimenpiteistä elintarvikkeiden akryyliamidipitoisuuden vähentämiseksi ja vertailuarvojen vahvistamiseksi. 2017. 2017/2158.
- 5 Paulig-Laadukkaan kahvin koti. Verkkoaineisto. Oy Gustav Paulig Ab. <<https://www.paulig.fi/yritys>>. Luettu 2.11.2020.
- 6 Vironen, Ida. 2018. Paahtoasteen, paahtoprofiilin ja raakakahvin rooli kahvin akryyliamidin muodostumisessa. Pro gradu -tutkielma. Helsingin Yliopisto. E-Thesis-tietokanta.
- 7 Saarinen, Pirjo. 2018. Paahtoprofiilin ja kahvilaadun vaikutus kahvin akryyliamidipitoisuuteen. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 8 Laadunvarmistus ja blendaus. Verkkoaineisto. Oy Gustav Paulig Ab. <<https://www.paulig.fi/kaikki-kahvista/laadunvarmistus-ja-blendaus>>. Luettu 4.11.2020.
- 9 Kahvilajikkeet. Verkkoaineisto. Oy Gustav Paulig Ab. <<https://www.paulig.fi/kaikki-kahvista/kahvilajikkeet>>. Luettu 3.11.2020.
- 10 Mäkelä, Karoliina. 2018. Flavor of Coffee is a Matter of Flavor. Verkkoaineisto. Paulig Barista Institute. <<https://www.baristainstitute.com/blog/karoliina-makela/april-2018/flavor-coffee-matter-flavor>>. 9.4.2018. Luettu 28.12.2020
- 11 Raakakahvi. Verkkoaineisto. Oy Gustav Paulig Ab. <<https://www.paulig.fi/kaikki-kahvista/raakakahvi>>. Luettu 3.11.2020.
- 12 Paahtaminen. Verkkoaineisto. Oy Gustav Paulig ab. <<https://www.paulig.fi/kaikki-kahvista/paahtaminen>>. Luettu 9.11.2020.

- 13 Thurston Robert W., Morris Jonathan & Steiman Shawn. 2013. Coffee, A Comprehensive Guide to the Bean the Beverage, and the Industry. Maryland: Rowman and Littlefield.
- 14 Drum vs Fluid Bed Roasters. 2015. Verkkoaineisto. Coffee Chemistry, Inc. <<https://www.coffeechemistry.com/quality/roasting/drum-vs-fluid-bed-roasters/>>. Päivitetty 5.9.2018. Luettu 30.11.2020
- 15 Jupiter Tangential Roaster. Verkkoaineisto. PROBAT. <<https://www.probat.com/en/products/industry/products/roasters/jupiter/>>. Luettu. 1.12.2020.
- 16 Saturn Centrifugal Roaster. Verkkoaineisto. PROBAT. <<https://www.probat.com/en/products/industry/products/roasters/saturn/>>. Luettu 1.12.2020
- 17 Käyttöohje Sentrifugaalinen paahdin. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. PROBAT.
- 18 Roast Profiles and Why they Matter. 2019. Verkkoaineisto. Kofihana, Inc. <<https://medium.com/@kofihana/roast-profiles-and-why-they-matter-3cf74b4a6e00>>. 22.9.2019. Luettu 28.12.2020.
- 19 Münchow, Morten. Roast profile analysis. Verkkoaineisto. CoffeeMind. <<https://coffee-mind.com/profile/#>>. Luettu 5.4.2021.
- 20 Parkkinen, Kirsti; Tolonen, Katri & Tuorila, Hely. 2008. Aistit ammattikäyttöön. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- 21 Chu, Yi-Fang. 2012. Coffee Emerging Health Effects and Disease Prevention. E-kirja. John Wiley & Sons, Incorporated.
- 22 Korkeala, Hannu (toim.). 2007. Elintarvikehygienia: ympäristöhygienia, elintarvikkeja ympäristötoksikologia. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- 23 Kornman, Chris. 2017. The Relationship Between Water Activity and the Maillard Reaction in Roasting. Verkkoaineisto. Daily Coffee News by Roast Magazine. <<https://dailycoffeenews.com/2017/11/22/the-relationship-between-water-activity-and-the-maillard-reaction-in-roasting/>>. 22.11.2017. Luettu 4.3.2021.
- 24 Kingston, Lani; Leivo, Miki (suom.) 2015. Näin syntyy kahvi: tiedettä pavusta. Helsinki: Like Kustannus Oy.
- 25 Bertuzzi, Terenzio; Martinelli, Erika; Mulazzi, Annalisa & Rastelli, Silvia. 2019. Acrylamide determination during an industrial roasting process of coffee and the influence of asparagine and low molecular weight sugars. Food Chemistry 303:125372.


- 26 The Chemical Compounds Behind the Aroma of Coffee. 2015. Verkkoaineisto. Compound Interest. <<http://www.compoundchem.com/2015/02/17/coffee-aroma/>>. 17.2.2015. Luettu. 21.12.2020.
- 27 Paahtoaste. Verkkoaineisto. Oy Gustav Paulig Ab. <<https://www.paulig.fi/kahvipe-dia/paahtoaste>>. Luettu 23.11.2020.
- 28 Latvakangas, Sampo. 2017. Coffee Roasting Basics: Developing Flavor by Roasting. Verkkoaineisto. Paulig Barista Institute. <<https://www.baristainstitute.com/blog/sampo-latvakangas/may-2017/coffee-roasting-basics-developing-flavour-roasting>>. 30.5.2017. Luettu 21.12.2020.
- 29 Kalebjian, Hrag. 2018. What's better for your stomach? Verkkoaineisto. Henry's House of Coffee. <<https://henryshouseofcoffee.com/2018/03/03/whats-better-for-your-stomach/>>. 3.3.2018. Luettu 5.3.2021.
- 30 Roast Levels. Verkkoaineisto. Coffee by Design. <<https://www.coffeebydesign.com/craft/>>. Luettu 21.12.2020.
- 31 Akryyliamidi. Verkkoaineisto. Eurofins Scientific. <<https://www.eurofins.fi/elintarvikkeet-ja-rehut/elintarvikeanalyysit/orgaaniset-vierasaineet/akryyliamidi/>>. Luettu 11.11.2020
- 32 Compound Summary Acrylamide, Boiling Point. Verkkoaineisto. National Library of Medicine. <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acrylamide#section=Boiling-Point>>. Luettu 11.11.2020.
- 33 Lachenmeier, Dirk W.; Schwarz, Steffen; Teipel, Jan; Hegmanns, Maren; Kuball, Thomas; Walch, Stephen G. & Breitling-Utzmann, Carmen M. 2018. Potential Antagonistic Effects of Acrylamide Mitigation during Coffee Roasting on Furfuryl Alcohol, Furan and 5-Hydroxymethylfurfural. *Toxics* Vol. 7 (1):1–18.
- 34 Soares, Christina M.D.; Alves, Rita C. & Oliveira, M. Beatriz P.P. Factors Affecting Acrylamide Levels in Coffee Beverages. 2015. Teoksessa Preedy, Victor R. (ed.). *Coffee in Health and Disease Prevention 2015*, kappale 24. Academic Press, Elsevier.
- 35 Schouten, Maria Alessia; Tappi, Silvia & Romani, Santina. 2020. Acrylamide in coffee: formation and possible mitigation strategies – a review. *Critical Reviews in Food Sciences and Nutrition* Vol. 60 (22): 3807–3821.
- 36 Endeshaw, Huluager & Belay, Abera. 2020. Optimization of the roasting conditions to lower acrylamide content and improve the nutrient composition and antioxidant properties of *Coffea arabica*. *PLoS One* Vol. 15 (8): e0237265.

- 37 Porto, Ana Carolina Vieira; Freitas-Silva, Otniel; de Souza, Erika Fraga & Gottschalk, Leda Maria Fortes. 2019. Effect of Asparaginase Enzyme in the Reduction of Asparagine in Green Coffee. Beverages Vol. 5 (2): 32.
- 38 Hunterlab. 2008. Insight in color. Application note. Vol 8, No. 7.
- 39 NIRS™ SD2500 F. Verkkoaineisto. FOSS. <<https://www.fossanalytics.com/en/products/nirs-ds2500-f>>. Luettu 15.2.2020.
- 40 Jolting volumeter JEL STAV 2. Verkkoaineisto. J. Engelsmann Ag. <<https://www.engelsmann.de/products/additional-products/laboratory-technology/jolting-volumeter>>. Luettu 15.2.2021.
- 41 Cupping eli kahvin maistelu. 2015. Verkkoaineisto. Uuttaja <<http://uuttaja.fi/cupping/>>. 31.10.2015. Luettu 15.2.2021.

Varastointikoesuunnitelma

Profiili	Valmistus-päivämäärä	Säilytysaika (vrk)	Säilytyslämpötila (°C)	Akryyliamidi (µg/kg)	Näytteenotto-päivämäärä	Maku	Lisätiedot
Profiili 1	4.3.2021	0	4		4.3.2021		
	4.3.2021	0	20		4.3.2021		
	4.3.2021	0	40		4.3.2021		
	4.3.2021	14	4		18.3.2021		
	4.3.2021	14	20		18.3.2021		15.32
	4.3.2021	14	20		18.3.2021		16.35
	4.3.2021	14	20		18.3.2021		17.40
	4.3.2021	14	20		18.3.2021		18.35
	4.3.2021	14	40		18.3.2021		
	4.3.2021	28	4		1.4.2021		
	4.3.2021	28	20		1.4.2021		
	4.3.2021	28	40		1.4.2021		
	4.3.2021	56	4		29.4.2021		
	4.3.2021	56	20		29.4.2021		
	4.3.2021	56	40		29.4.2021		
	4.3.2021	60	20		3.5.2021		
	4.3.2021	90	20		2.6.2021		
	4.3.2021	120	20		2.7.2021		
	4.3.2021	150	20		2.8.2021		
	4.3.2021	180	20		1.9.2021		
Profiili 3	4.3.2021	0	4		4.3.2021		
	4.3.2021	0	20		4.3.2021		
	4.3.2021	0	40		4.3.2021		
	4.3.2021	14	4		18.3.2021		
	4.3.2021	14	20		18.3.2021		19.54
	4.3.2021	14	20		18.3.2021		20.57
	4.3.2021	14	20		18.3.2021		21.48
	4.3.2021	14	20		18.3.2021		23.13
	4.3.2021	14	40		18.3.2021		
	4.3.2021	28	4		1.4.2021		
	4.3.2021	28	20		1.4.2021		
	4.3.2021	28	40		1.4.2021		
	4.3.2021	56	4		29.4.2021		
	4.3.2021	56	20		29.4.2021		
	4.3.2021	56	40		29.4.2021		
	4.3.2021	60	20		3.5.2021		
	4.3.2021	90	20		2.6.2021		
	4.3.2021	120	20		2.7.2021		
	4.3.2021	150	20		2.8.2021		
	4.3.2021	180	20		1.9.2021		

Eye Question -vastauslomake

 EyeQuestion®
Innovate Smarter and Faster

🏠 📄 🗨️ ⌵ Skip question ⚙️ Preview Session ▾

Ohjeet Ikkuna 2/4


- Tarjottimella on kolme näytettä
- Maista näytteet vasemmalta oikealle
- Voit joko nielelaista tai sylkeä näytteet
- Kaksi näytettä ovat keskenään samanlaisia ja yksi on poikkeava
- Tunnista poikkeava näyte
- Jos et tunnista eroa, arvaa mikä näyte on poikkeava

Valitse **POIKKEAVA / ERILAINEN** näyte.

568	725	493
-----	-----	-----

[Seuraava](#)

© Logic8 BV 2001-2019 [License](#), [Privacy](#)

 EyeQuestion®
Innovate Smarter and Faster

🏠 📄 🗨️ ⌵ Skip question ⚙️ Preview Session ▾

Halutessasi voit kommentoida valintojasi tai näytteiden ominaisuuksia. Kirjoita kenttään myös näytteen numero, johon kommenttisi viittaa. Ikkuna 3/4

[Seuraava](#)

© Logic8 BV 2001-2019 [License](#), [Privacy](#)

Paahtokoetulokset

	Paahtoerä	Paahton loppu- lämpötila (°C)	Paahto- aika (s)	Kosteus (%)	Tilavuus (ml)	Toteutunut paahtoväri (L*)	Väritä- voite (L*)	Akryyliami- dipitoisuus (µg/kg)
Profili 1	1	211,1	400,7	4,2	163	21,3	21,3	380 ± 46
	2	211,1	399,1	4,2	162	21,5	21,3	410 ± 49
	3	211,1	400,7	4,1	162	21,5	21,3	380 ± 46
	4	212,6	413,7	4,1	164	20,6	20,5	340 ± 41
	5	212,6	415,9	4,1	164	20,7	20,5	330 ± 40
	6	212,6	416,4	4,3	164	20,7	20,5	350 ± 42
	7	209,6	374,9	4,4	162	22,4	22,0	480 ± 58
	8	209,6	393,4	4,4	163	22,5	22,0	420 ± 50
	9	209,6	398,7	4,5	162	22,1	22,0	430 ± 52
Profili 3	1	210,0	450,1	4,2	162	21,0	21,3	350 ± 42
	2	210,0	438,3	4,2	162	21,0	21,3	320 ± 38
	3	210,0	429,0	4,1	162	21,5	21,3	360 ± 43
	4	211,3	434,6	4,2	163	20,7	20,5	320 ± 38
	5	211,3	445,8	4,2	162	20,7	20,5	280 ± 34
	6	211,3	448,5	4,2	162	20,6	20,5	310 ± 37
	7	208,3	408,5	4,3	160	21,9	22,0	380 ± 46
	8	208,3	409,6	4,3	160	21,9	22,0	340 ± 41
	9	208,3	411,6	4,3	160	21,8	22,0	350 ± 42
Profili 4	1	210,5	408,0	4,1	162	21,5	21,3	350 ± 42
	2	210,5	404,1	4,1	161	21,4	21,3	360 ± 43
	3	210,5	407,3	4,2	161	21,5	21,3	350 ± 42
	4	212,0	426,1	4,1	162	20,7	20,5	330 ± 40
	5	212,0	419,2	4,0	161	20,8	20,5	330 ± 40
	6	212,0	415,9	4,0	163	20,6	20,5	300 ± 36
	7	209,0	385,0	4,4	160	22,0	22,0	420 ± 50
	8	209,0	399,6	4,4	160	21,9	22,0	390 ± 47
	9	209,0	407,5	4,1	160	22,1	22,0	400 ± 48

Kaksisuuntainen varianssianalyysi, vasteena paahtoaika

Anova: kaksisuuntainen,
toistot sallittuja

YHTEENVETO	Väritavoite 20,5 (L*)	Väritavoite 21,3 (L*)	Väritavoite 22,0 (L*)	Yhteensä			
Profiili 1							
Lukumäärä	3	3	3	9			
Summa	1246	1200,5	1167	3613,5			
Keskiarvo	415	400	389	402			
Varianssi	2	1	156	171			
Profiili 3							
Lukumäärä	3	3	3	9			
Summa	1328,9	1317,4	1229,7	3876			
Keskiarvo	443	439	410	431			
Varianssi	54	112	2	287			
Profiili 4							
Lukumäärä	3	3	3	9			
Summa	1261	1219	1192	3673			
Keskiarvo	420	406	397	408			
Varianssi	27	4	130	141			
Yhteensä							
Lukumäärä	9	9	9				
Summa	3836	3737	3589				
Keskiarvo	426	415	399				
Varianssi	183	357	155				
ANOVA							
Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen	
Otos	4212,66	2	2106,33	38,74	3,0E-07	3,55	
Sarakkeet	3443,37	2	1721,68	31,66	1,3E-06	3,55	
Vuorovaikutus	374,97	4	93,74	1,72	1,9E-01	2,93	
Sisällä	978,76	18	54,38				
Yhteensä	9009,75	26					

Kaksisuuntainen varianssianalyysi, vasteena akryyliamidipitoisuus

Anova: kaksisuuntainen,
toistot sallittuja

YHTEENVETO	Väritavoite 20,5 (L*)	Väritavoite 21,3 (L*)	Väritavoite 22,0 (L*)	Yhteensä
Profili 1				
Lukumäärä	3	3	3	9
Summa	1020	1170	1330	3520
Keskiarvo	340	390	443	391
Varianssi	100	300	1033	2361
Profili 3				
Lukumäärä	3	3	3	9
Summa	910	1030	1070	3010
Keskiarvo	303,3333	343,3333	357	334
Varianssi	433	433	433	903
Profili 4				
Lukumäärä	3	3	3	9
Summa	960	1060	1210	3230
Keskiarvo	320	353,3333	403	359
Varianssi	300	33	233	1461
Yhteensä				
Lukumäärä	9	9	9	
Summa	2890	3260	3610	
Keskiarvo	321	362	401	
Varianssi	461	644	1836	

ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Otos	14540,74	2	7270,37	19,83	2,8E-05	3,55
Sarakkeet	28807,41	2	14403,70	39,28	2,7E-07	3,55
Vuorovaikutus	2392,59	4	598,15	1,63	2,1E-01	2,93
Sisällä	6600,00	18	366,67			
Yhteensä	52340,74	26				