



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiina Salenius

Paahtoprofiilin luonti ja prosessilaitteen validointi

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka

Tekijä: Tiina Salenius

Työn nimi alaotsikoineen: Paahtoprofiilin luonti ja prosessilaitteen validointi

Ohjaaja: Ilmari Äijö

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 47

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on luoda paahtoprofiili vaaleapaahtoiselle suodatinkahville ja validoida uusi teollisuusluokan kahvinpaahtin tuotantokäyttöön Meira Oy:n kahvipaahtimolle. Toimeksiantajan päämääränä on kehittää tuotantokapasiteettiaan ja vastata kuluttajamarkkinoiden kysyntään. Opinnäytetyö on osa paahtokoneen käyttöönottoprojektia, jossa tutkimusalueena oli vaaleapaahtoisien kahvin paahtoprofiilit.

Kahvin paahtoprofiilin keskeisiä parametrejä ovat rummun pyörimisnopeus, ilmankierto, esijäähdytysveden määrä ja paahto-aika. Näiden parametrien säädöillä voidaan vaikuttaa kahvin makuun, aromiin ja paahtoprosessin aikaiseen hävikkiin. Paahtoprofiilien kehittämisessä käytettiin paahtokäyrämenetelmää. Työssä testattiin useita erilaisia paahtoprofiileja. Työn tuloksia tarkkailtiin mittaamalla kahvijauheen fysikaalisia ominaisuuksia sekä arvioimalla valmista kahvijuurua aistinvaraisesti. Paahtoprosessissa käytettiin Brambati BR6000 -paahtinta.

Testausten tulokset osoittivat, että Brambati BR6000 -paahtin pystyy tuottamaan korkealaatuista vaaleapaahtoista kahvia tasaisesti ja tehokkaasti. Paahtimen tekniset ominaisuudet, kuten lämpötilan hallinta ja automaattiset säädöt, todettiin käyttökelpoisiksi tuotantoympäristössä. Validoitaessa paahtinta tuotantokäyttöön suoritettiin laaja-alainen testaus, johon kuului tuotantoprosessin vakiointi, laadunvarmistus ja tuotantokapasiteetin arviointi. Paahtoprofiilia optimoidessa ensimmäiset profiilit eivät tuottaneet toivottuja tuloksia, mutta testien ja jatkuvan kehitystyön myötä luotiin profiili, jolla saavutettiin paras kompromissi maun ja tuotantotehokkuuden välillä. Vaikka tuotantotehokkuus jäi osittain tavoitteista, kehitetty paahtoprofiili takasi erinomaisen makuprofiilin, jonka pohjalta voidaan kehittää edelleen optimoituja paahtoprosesseja.

Opinnäytetyön tuloksena Meira Oy otti uuden Brambati BR6000 paahtokoneen käyttöönsä, ja se on nyt osa yrityksen tuotantoprosessia. Työn tulokset tarjoavat käytännönläheisiä ratkaisuja ja käytäntöjä vaaleapaahtoisien kahvin paahtamiseksi, ja ne toimivat tärkeinä resurssina tulevaisuuden kehitystyössä ja tuotantoprosessien optimoinnissa.

¹ Asiasanat: vaaleapaahto, paahtoprofiili, paahtokäyrä, kahvin paahtaminen, kahvin maku.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Engineer (AMK), Food Processing and Biotechnology

Author: Tiina Salenius

Title of thesis: Creating a roasting profile and validating the process device

Supervisor: Ilmari Äijö

Year: 2025

Number of pages: 47

Number of appendices: 0

The aim of this thesis was to create a roasting profile for light-roasted filter coffee and to validate a new industrial-grade coffee roaster for production use at Meira Oy's coffee roaster. The client's goal is to develop its production capacity and meet the demand of the consumer market. The thesis was part of the roaster implementation project, where the research area was the roasting profiles of light roast coffee.

The key parameters of the roasting profile are drum rotation speed, air circulation, amount of pre-cooling water and roasting time. By adjusting these parameters, the coffee's taste, aroma, and the loss during the roasting process can be affected. The roasting curve method was used to develop the roasting profiles. Several different roast profiles were tested. The results of the work were monitored by measuring the physical properties of the coffee powder and by evaluating the finished coffee beverage sensory-wise. The roasting process used a Brambati BR6000 roaster.

Test results indicated that the Brambati BR6000 roaster is capable of consistently and efficiently producing high-quality light roast coffee. Technical features of the roaster, such as temperature control and automatic adjustments, were found suitable for a production environment. During the validation of the roaster for production use, extensive testing was conducted, including process standardization, quality assurance, and production capacity assessment. In optimizing the roasting profile, the initial profiles did not yield the desired results. However, through continuous testing and development, a profile was created that achieved the best compromise between flavor and production efficiency.

Although production efficiency did not fully meet the targets, the developed roasting profile ensured an excellent flavor profile, serving as a foundation for further optimized roasting processes. As a result of the thesis, Meira Oy adopted a new Brambati BR6000 roaster, and it is now part of the company's production process. The results of the work offer practical solutions and practices for roasting light roast coffee, and they serve as an important resource for future development and optimization of production processes.

¹ Keywords: light roast, roasting profile, roast curve, coffee roasting, flavor of the coffee

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	11
1.1 Tausta	11
1.2 Tavoitteet	11
2 KAHVIN PAAHTOPROSESSI	13
2.1 Paahto prosessina.....	13
2.2 Paahtoprosessin vaiheet	13
2.3 Paahtokäyrämenetelmä	14
2.4 Kemialliset reaktiot	17
2.5 Energia.....	18
2.6 Karsinogeenit	19
3 MATERIAALIT JA MENETELMÄT	20
3.1 Raaka-aineet.....	20
3.2 Mittausmenetelmät.....	20
4 KAHVINPAAHDIN	23
4.1 Kahvinpaahdin Brambati Roaster BR6000	23
4.2 Paahtoprofiili.....	24
4.3 Lämpöenergia	26
4.4 Paahtoprosessin toteutus.....	26
4.5 Jäähdytys	27
4.6 Siirto	28
5 KÄYTTÖÖNOTTO JA TUOTANNOLLISET KOEAJOT	29

5.1	Validointisuunnitelman mukaiset tavoiteltavat raja-arvot	29
5.2	Laiteajot, testaukset ja ympäristön hallinta	30
5.3	Dokumentointi, jäljitettävyys ja käyttäjien koulutus	30
6	PAAHTOPROFIILIN OPTIMOINTI	31
6.1	Profiilien luonnin aikajana.....	31
6.2	Optimoinnin aikainen laadunvarmistus.....	31
6.3	Profiili 152	32
6.4	Profiilit 1152 ja 2152.....	34
6.5	Profiilit 3152, 4152 ja 5152.....	35
6.6	Profiilit 6152, 7152 ja 8152.....	37
6.7	Profiili 9152	38
6.8	Tulosten analysointi.....	41
6.9	Takuuarvojen toteutuminen.....	43
7	TULOKSET	45
8	POHDINTA.....	46
	LÄHTEET	48

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1 Brambati Roaster BR6000	24
Kuva 2 Paahtokäyrä	24
Kuvio 1 Paahtokäyrämenetelmä	31
Kuvio 2 Profiilivariaatioiden luomisjärjestys	31
Taulukko 1. Profiili 152 perusparametrit	33
Taulukko 2. Profiili 152 paahtoparametrit.....	33
Taulukko 3. Profiili 1152 perusparametrit.....	35
Taulukko 4. Profiili 1152 paahtoparametrit.....	35
Taulukko 5. Profiili 4152 perusparametrit.....	36
Taulukko 6. Profiili 4152 paahtoparametrit.....	36
Taulukko 7. Paahtonäytteiden fysikaalisten ja kemiallisten analyysien tulokset	37
Taulukko 8. Profiili 9152 perusparametrit.....	39
Taulukko 9. Profiili 9152 paahtoparametrit.....	39
Taulukko 10. Profiili 12152 perusparametrit.....	40
Taulukko 11. Profiili 12152 paahtoparametrit.....	40
Taulukko 12 Akryyliamidianalyysin tulokset profiilista 12152	41

Taulukko 13. Tuloksissa vertailtujen paahtoprofiilien perusparametrit.....	42
Taulukko 14 Takuarvoanalyysin tulokset	44

Käytetyt termit ja lyhenteet

Esijäähdytys	Veden sumutus paahtorummun sisällä. Aloittaa tuotteen lämpötilan alentamisen. Veden määrä annostellaan paahtoprofiilin mukaisesti.
Jäähdytyksen loppulämpötila T5	Lämpöparametri, joka saavutettaessa päättää jäähdytysvaiheen.
Jäähdytys	Tuotteen varsinainen jäähdytys tapahtuu jäähdytyssäiliössä ulkoilmalla. Ulkoilman lämpötila vaikuttaa merkittävästi tuotteen jäähtymisnopeuteen. Jäähdytys päättyy, jos tuote saavuttaa loppulämpötilan T5 tai jos jäähdytyksen kesto ylittää enimmäisjäähdytysajan parametrin.
Jäähdytyssäiliö	Reikälevypohjainen säiliö, johon paahtorummussa oleva tuote tyhjenetään paahtoprosessin päätyttyä. Jäähdyttää kahvipavut nopeasti noin 205/220 °C lämpötilasta 30/50°C:n lämpötilaan 100 sekunnissa ilmankierron avulla.
Jäähdytysvesi	Nk. karkaisuvesi, joka suihkutetaan esijäähdetyksen yhteydessä tuotteen päälle heti, kun se poistetaan rummusta.
Kahvin enimmäisjäähdytysaika säiliössä	Aikaparametri, jonka kuluttua jäähdytys päättyy.
Kahvin haudutus	Kahvijauhe on kosketuksissa kuuman veden kanssa tietyn ajan ilman jatkuvaa veden virtausta.
Kahvin liikkumisaika säiliössä	Aika, joka alkaa rummun tyhjennyksestä ja jonka ajan M5-moottori on jatkuvasti toiminnassa. Ajan päätyttyä kahvin sekoittaminen lakkaa ja jäähdytys jatkuu vain puhaltimien avulla.

Kahvin uuttaminen	Prosessi, jossa vesi kulkee kahvijauheen läpi ja virtaus auttaa uuttamaan makuaineet ja muut yhdisteet kahvista.
Kalvosykloni	Sykloni, joka kerää paahdon aikana kuumuuden ja mekaanisen rasituksen myötä irtoavan kahvipavun kalvoaineeksi.
Katalysaattori	Laite, joka muuntaa palokaasujen sisältämät aineet vähemmän häiritsevän hajuiseksi.
M2-puhallin	Pääpuhallin, joka muodostaa paahdossa tarvittavan kuumailma-kierron
M6-puhallin	Puhallin, joka imee ilmaa jäähdytysväliön pohjasta.
Raakakahvin syöttösäiliö	Kartiomainen säiliö, johon varastoidaan punnittu ja sekoitettu paahtorumpuun ladattava raakakahvierä.
Paahtohävikki	Paahdon aikana kahvipavusta irtoavien kalvojen ja poistuneen kosteuden aiheuttama muutos erän painossa
Paahtokäyrä	Graafinen esitys, jossa kuvataan kahvipapujen lämpötilan muutoksia ajan kuluessa. Keskeinen työkalu, jonka avulla voidaan seurata, ohjata ja toistaa paahtoprosessi tarkasti.
Paahtonäyte	Pieni, etäkäytöllä otettava näyte paahtoprosessin jälkeen. Näytteestä määritetään väri ja kosteus, joiden perusteella arvioidaan prosessin onnistuminen.
Paahtorumpu	Järjestelmän keskeinen osa, jossa kahvin paahtoprosessi tapahtuu. Eristetty säiliö, joka pyörii sekoittaen kahvia paahdon ajan.
Polttokammio	kammio, jossa toimii pääpoltin
Polttokammion kiertventtiili EV12	Säätöventtiili, joka mahdollistaa ilmavirran täydellisen hallinnan

Puhdistin	Laite, jossa painovoiman avulla erotetaan paahtetuista kahvinpavuista mahdollinen raakakahvin sisältämä orgaaninen vierasmateriaali.
Pääpoltin	Moduloiva poltin, joka tuottaa kaiken paahtoprosessissa tarvittavan lämpöenergian
Pölysykloni	Sykloni, jossa M6-puhaltimen ilmavirran kuljettama pöly poistetaan.
Raakakahvin latauskartio	kartiomainen säiliö, johon raakakahvi ohjataan syötösäiliöstä
Savukaasupoltin	Laite, joka poistaa huomattavan osan paahtoprosessin aikana syntyvistä savuista. Sijaitsee savukaasujen poistokanavassa ennen pääpiippua.
Suutuntuma	Kahvin aistinvaraisessa arvioinnissa käytettävä termi, jolla viitataan siihen, miltä kahvi fyysisesti tuntuu suussa. Kuvaa kahvin täyteläisyyttä, viskositeettia ja painavuutta kielen päällä. Eng. body.
Taitepiste	Paahtoprosessin ajankohta, jossa paahtorumpuun ladattu raakakahvipapu alkaa lämpenemään. Engl. turning point.

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Teollisuusluokan kahvinpaahtininvestointi on merkittävä päätös kahvialan yritykselle, sillä se vaikuttaa suoraan tuotannon tehokkuuteen, tuotteiden laatuun ja yrityksen kilpailukykyyn. Tämä opinnäytetyö käsittelee uuden teollisuusluokan kahvinpaahtimen paahtoprofiilin kehittämistä ja laitteen validointia. Toimeksiantajana toimii Meira Oy, suomalainen kahvitalo, jonka tunnetuimpia tuotemerkkejä ovat Kulta Katriina, Saludo ja Segafredo. Meira Oy:n kahvipaahtimo sijaitsee Helsingin Vallilassa. Sen ohessa toimii Meira Oy:n maustetehdas. Meira Oy on osa yhtä Euroopan suurinta kahvialan yritystä, italialaista Massimo Zanetti Beverage -konsernia.

Teollisuusluokan kahvinpaahtimen ostoprosessi on monivaiheinen ja vaatii huolellista suunnittelua, jotta voidaan varmistaa, että hankinta vastaa yrityksen tarpeita ja tavoitteita. Paahtimen valmistaja on italialainen Brambati S.p.A, joka on erikoistunut elintarviketeollisuuden tuotantolaitosten suunnitteluun, rakentamiseen ja asennukseen. Tämä toimeksiantajalle tärkeä, neljän miljoonan euron koneinvestointi, eteni käyttöönottovaiheeseen joulukuussa 2023. Koneinvestoinnin avulla mahdollistetaan laajemmat paahtoprofiilit ja vastataan monipuolistuneeseen kysyntään parantamalla mm. paputuotannon kapasiteettia.

1.2 Tavoitteet

Tavoitteena on luoda ja optimoida vaaleapaahtoisen kahvin paahtoprofiili sekä validoida Brambati S.p.A:n valmistama kahvinpaahtin tuotantokäyttöön Meira Oy:n tehtaalla. Tämä tutkimus kattaa paahtimen tekniset ominaisuudet, paahtoprosessin optimoinnin sekä laadunvarmistuksen. Tutkimuksessa keskitytään erityisesti prosessin toistettavuuteen ja lopputuotteen sensorisiin ominaisuuksiin.

Tutkimuksen tavoitteena on varmistaa, että uusi paahtin täyttää Meira Oy:n laadulliset ja tuotannolliset vaatimukset jatkuvassa käytössä ja, että paahtin pystyy ylläpitämään vaadittua suorituskykyä normaalissa tuotantoympäristössä, kun se toimii täydellä kapasiteetilla. Toiminnallisuuden lisäksi työn tavoitteena on luoda vaaleapaahtoiselle kahville paahtoparametrit niin, että sopimuksessa määritellyt kahvin laadulliset fysikaaliset ominaisuudet ja tuotannolliset tekniset ominaisuudet eli takuarvot saavutetaan. Tämä prosessi sisältää paahtimen teknisen analyysin, paahtoprofiilien testaamisen ja tuotannon aikaisen sekä valmistuotteen laadunvarmistuksen.

Tämän opinnäytetyön näkökulma on käytännönläheinen ja yrityksen tarpeisiin keskittyvä. Työ pyrkii tarjoamaan konkreettisia ratkaisuja Meira Oy:n paahtimolle uuden paahtimen käyttöönotossa ja paahtoprofiilien luomisessa. Tämä näkökulma on valittu, koska se yhdistää teoreettisen tiedon ja käytännön soveltamisen, mikä on tärkeää yrityksen kannalta tuotantoprosessien kehittämisessä ja tehokkuuden parantamisessa unohtamatta tuoteturvallisuutta ja laatulupauksia.

2 KAHVIN PAAHTOPROSESSI

Kahvin paahtaminen teollisessa mittakaavassa on monivaiheinen prosessi, joka vaatii tarkkaa hallintaa, jotta saavutetaan tasainen laatu ja makuprofiili. Prosessi alkaa raakojen kahvipapujen hankinnalla, jatkuu paahtamisella sekä jauhamisella ja päättyy pakkaamiseen (Galanakis, 2017). Tässä työssä keskitytään kahvin paahtoprosessiin ja seuraavassa on kuvattu päävaiheet ja keskeiset näkökohdat teollisessa kahvin paahtoprosessissa.

2.1 Paahto prosessina

Paahtaminen on kahvin valmistusprosessin keskeisin osa, jossa kahvipapuihin kohdistetaan lämpöenergiaa (Nieminen & Puustinen, 2014, s. 169). Lämpöaltistuksen seurauksena kahvipavuissa tapahtuu useita kemiallisia reaktioita, jotka vaikuttavat pavuista valmistettavan kahviuoman makuun. Paahtoprosessin aikana kahvipavun ominaisuudet muuttuvat. Niiden tilavuus kasvaa, väri ruskistuu ja niistä poistuu kosteutta. Yli puolet kahvipapuun kohdistetusta energiasta kuluu pavun kuivien aineiden lämpötilan nostoon, vajaa puolet veden höyrystymiseen ja loput veden lämmön nostamiseen.

2.2 Paahtoprosessin vaiheet

Specialty coffee association of American (SCAA, i.a.) luokittelustandardin mukaisesti raakakahvipavun vesipitoisuus on 9–13 %. Paahtosyklin ensimmäisessä vaiheessa, jota kutsutaan kuivausvaiheeksi (Hoffman, 2018, s. 222), paahtorumpuun ladattu raakakahvipapu lämpenee ja alkaa haihduttamaan vettä. Kuivumisprosessi kuluttaa paljon lämpöä ja energiaa. Kahvin ulkonäkö ei juuri muutu. Paahtoprosessin edetessä ruskistumisvaiheeseen (Rao, 2014, s. 61) ja kosteuden haihtuessa, ensimmäiset ruskistumisreaktiot tapahtuvat ja pavun väri muuttuu kellertäväksi. Pavun rakenne turpoaa ja sen pintaa suojaava, paperimaisen ohut kalvo irtoaa. Nämä kaksi ensimmäistä vaihetta ovat paahtamisen onnistumisen kannalta kriittisiä, sillä jos papu ei kuivu kunnolla, se ei paahtu tasaisesti paahtoprosessin edetessä, vaan kuoren paahtuttua sen sisusta jää alipaahtuneeksi. Epätasaisesti paahtuneen kahvin maku on epämiellyttävä yhdistelmä kypsän ulkokuoren kitkerää ja

alipaahduneen sisustan hapanta ja ruohomaista makua (Hoffman, 2018, s. 56). Tästä syystä paahtoprosessin alkulämpötilan lämpötilalla on suuri vaikutus paahton onnistumiseen.

Paahton ruskistumisvaiheessa pavun värin muuttuminen kiihtyy ja papu saavuttaa ruskean väri. Papu muodostaa kaasua, pääosin hiilidioksidia ja haihduttaa vettä (Rao, 2014, s. 62). Kun kaasujen ja haihtuvan veden muodostama paine kasvaa suureksi papu halkahtaa ja avautuu. Pavun avautuminen päästää popcornimaisen, poksahdavan äänen, jota kutsutaan englanninkielisellä termillä ” first crack”. Tästä vaiheesta eteenpäin kahvin aromit alkavat kehittymään ja paahtoprosessi voidaan päättää haluttuna hetkenä. Tämä vaihe määrittää pavun loppuväriä ja paahton asteen. Tässä prosessin vaiheessa voidaan vaikuttaa kahvin maun hapokkuuden ja kitkeryyden tasapainoon, sillä paahton edetessä pavun hapokkuus laskee ja kitkeruus kasvaa. Suomalaisen vaaleapaahdoisen kahvin paahtoprosessi päätetään kehitysvaiheen alkujaksolla.

Paahton jälkeen kahvi jäädytetään nopeasti papujen jälkipaahtumisen estämiseksi (Kahvi- ja paahtimoyhdistys, i.a.). Nopea jäädytys pysäyttää paahtoprosessin välittömästi, mikä auttaa säilyttämään halutun makuprofiilin ja estää papujen ylikuumentumisen, joka voisi johtaa ei-toivottuihin makuihin. Jäädytysprosessilla voidaan vaikuttaa kahvin maun lisäksi myös paahton aikaiseen hävikkiin, sillä tehokas jäädytys vähentää papujen painonmenetystä ja säilyttää niiden laadun.

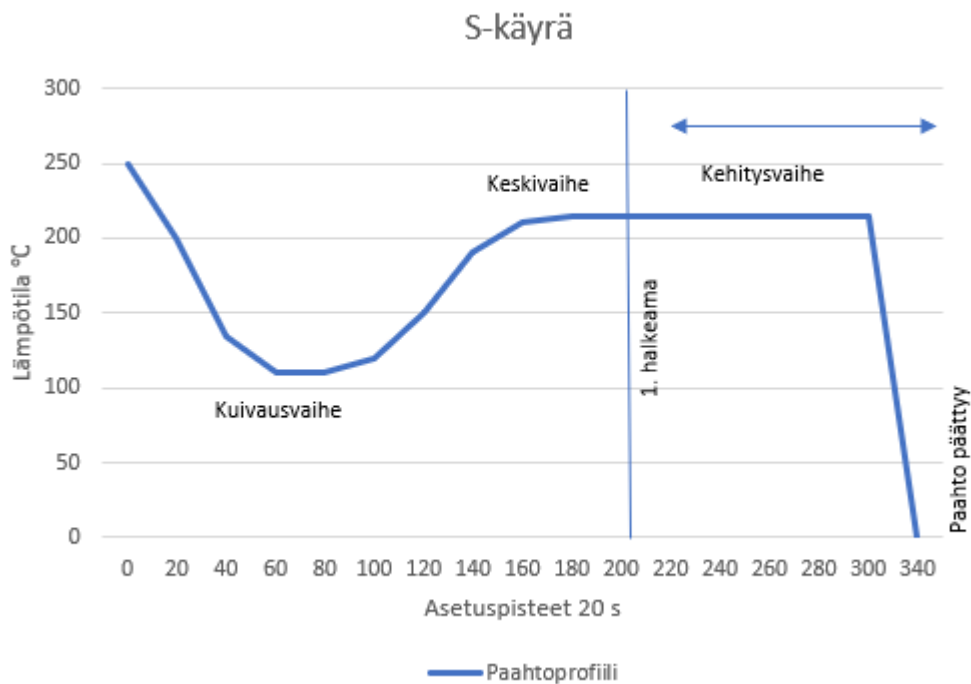
2.3 Paahtokäyrämenetelmä

Paahtokäyrämenetelmä on yksi keskeisistä työkaluista, joita käytetään paahtoprosessin hallinnassa ja optimoinnissa. Paahtokäyrä kuvaa lämpötilan muutoksia ajan kuluessa paahtamisen aikana, ja sen avulla voidaan seurata ja hallita paahtoprosessia tarkasti. Käyrä muistuttaa S-kirjainta, koska prosessin alussa papujen lämpötila laskee jyrkästi 70–90 sekunnin ajan, laskee pohjalle ja nousee sitten nopeasti (Rao, 2014, s. 50). Todellisuudessa papujen lämpötila ei laske: pavut tulevat paahtimeen huoneenlämpöisinä ja

lämpenevät välittömästi. Näennäinen alkulämpötilan väheneminen on paahtimessa tapahtuva ilman artefakti, johon vaikuttaa pavun lämpötila sekä lämpömittarin anturin viive.

Kuvio 1 kuvaa paahtokäyrämenetelmän kolmea päävaihetta, jotka kahvipavut käyvät läpi paahtoprosessin aikana:

1. **Kuivausvaihe:** Eng. drying phase (Hoffman, 2018, s. 222). Prosessin alkuvaiheessa pavut kuivuvat ja lämpötila nousee tasaisesti. Tämä vaihe valmistaa pavut kemiallisille muutoksille.
2. **Keskivaihe:** Eng. nameless phase (Rao, 2014, s. 52). Keskivaiheessa pavut alkavat kehittämään makua Maillard-reaktion ja karamellisaation avulla. Lämpötilan nousu hidastuu.
3. **Kehitysvaihe:** Eng. development time (Rao, 2014, s. 56). Viimeisessä vaiheessa paahto viedään haluttuun tasoon. Lämpötilan hallinta on tässä vaiheessa erityisen tärkeää, sillä se vaikuttaa suoraan kahvin makuun.



Kuvio 1. S-käyrä kuvaa paahtoprosessin aikaisia vaiheita

Paahtokäyrämenetelmä tarjoaa kahvin paahtamisessa merkittäviä etuja, joista Rao (2014, s.34) mainitsee erityisesti menetelmän johdonmukaisuuden. S-käyrämenetelmän avulla voidaan hallita lämpötilan muutoksia paahtoprosessin kriittisissä kohdissa ja tuottaa tasaisia paahtotuloksia kerrasta toiseen, joka on tärkeää massatuotannossa. Etuja ovat myös menetelmän kyky kehittää haluttuja makuja ja aromeja säätämällä eri vaiheiden lämpötiloja erityisesti Maillard-reaktion ja karamellisointin aikana, paahtoprosessin eri vaiheiden optimaalinen hallinta ylipaahtumisen ja epätasaisen paahton estämiseksi (Specialty coffee association, 2023) sekä prosessin dokumentointi ja analysointi. S-käyrää analysoimalla voidaan tunnistaa ja toistaa onnistuneimmat paahtoprofiilit.

2.4 Kemialliset reaktiot

Paahtamisen aikana tapahtuu useita kemiallisia reaktioita (Nieminen & Puustinen, 2014, s. 169). Nämä kemialliset yhdisteet ovat oleellisia kahvin maun kannalta ja niiden määrä vaihtelee prosessin eri vaiheissa. Toiset yhdisteet lisääntyvät paahton edetessä ja toiset vähenevät. Osa yhdisteistä esiintyy suurimmillaan tietyllä hetkellä. Paahton aikana lämpö ja kemialliset reaktiot saavat aikaan endotermisiä ja eksotermisiä reaktioita.

Paahtossa kahvipapuun kohdistetaan lämpöenergiaa (Nieminen & Puustinen, 2014, s.169). Lämpeneminen käynnistää reaktion, jossa kahvipavun sisältämät polysakkaridit pilkkoutuvat yksinkertaisemmiksi hiilihydraateiksi ja sokereiksi, myös useat klorogeenihapot ja karboksyylihapot hajoavat vaikka paahton aikana syntyy lisää karboksyylihapoja (Nieminen & Puustinen, 2014, s. 169). Maun muodostumisen kannalta tärkeäksi kemialliseksi reaktioksi nousee pyrolyysi, jonka aikana pavun sisältämät aineet hajoavat hapestomasti pienemmiksi yhdisteiksi, esimerkiksi klorogeenihappo muuttuu fenoleiksi ja pyriideiksi. Nieminen ja Puustinen (2014, s. 174) toteavat, että fenoleiden ansiosta kahvin muodostuu happamuutta ja hapokkuutta, jotka ovat olennainen osa kahvijuoman makua ja niiden kokonaismäärä vaikuttaa kahvin makuun. Paahtoprosessin aikana pavussa tapahtuvien muutosten myötä happojen kokonaismäärä lisääntyy voimakkaasti ja on korkeimmillaan 170 °C asteen lämpötilassa. Tämä ilmiö saa aikaan vaaleapaahtoisen kahvin hapokkaat ominaisuudet (Nieminen & Puustinen, 2014, s. 174).

Maillard-reaktiossa muodostuu ruskeita väriaineita ja makuun vaikuttavia yhdisteitä, kun pavun sisältämät luonnolliset sokerit ja aminohapot reagoivat keskenään kemiallisesti. Maillard-reaktion muodostamista yhdisteistä on löydetty yhteyksiä kahvin kitkeriin makuihin. Maillardin reaktio kiihtyy 120 °C ja 150 °C asteen välillä (Yoong, 2021). Kahvin kitkerät ominaisuudet kasvavat 170 celsiusasteen jälkeen, jolloin hiilen osuus aromaattisista yhdisteistä kasvaa. Kahviin syntyy savuinen, palanut maku (Nieminen & Puustinen, 2014, s. 174). Papujen saavuttaessa noin 196 °C asteen lämpötilan (Yoong, 2021), papujen rakenne laajenee spontaanisti ja niiden ytimistä vapautuu energiaa, vettä ja hiilidioksidia (CO₂). Kosteuden poistuminen laskee papujen pintalämpötilaa hetkeksi aiheuttaen ilmiön, jota kutsutaan ”endotermiseksi välähdykseksi” (Yoong, 2021), jolloin kahvipavut alkavat

äkillisesti imemään ympäristöstään enemmän lämpöenergiaa. Tämä ilmiö vaikuttaa pavun kehitykseen ja paahtoprosessin hallintaan. Ensimmäisestä halkeamasta alkaa kahvin paahtamisen eksotermisen vaihe, jolloin lämpötilan hallinta on kriittistä, koska pavut voivat ylikuumentua tai palaa (Hoos, 2015, s. 78).

Lyhyen eksotermisen vaiheen jälkeen kahvin paahto voidaan lopettaa (vaalea paahto) tai jatkaa kehittymisaikaa (keskipaahto). Kahvin väri jatkaa tummumista ja se kerryttää painetta ja kaasua rakenteisiinsa (Hoos, 2015, s. 80). Pavun selluloosarakenne jatkaa hajoamistaan ja avaa tietä toiselle halkeamalle (eng. second crack). Toinen halkeama tapahtuu tyypillisesti noin 224 °C. Kahvipavuissa olevat öljyt alkavat kulkeutua pintaan, paahtosavu tummenee ja muuttuu pistäväksi. Tämä on ominaista tummille paahtoprofiileille.

2.5 Energia

Paahdon aikana pavun sisältämä kosteus vaikuttaa oleellisesti paahdon aikana tapahtuvan höyrystymiseen tarvittavan energian määrään. Nieminen ja Puustinen toteavat (2014, s. 169), että papu luovuttaa lämpöä prosessin eksotermisessä vaiheessa ja tällöin lämmittämisen myötä alkaneet kemialliset reaktiot alkavat itse tuottamaan lämpöä, joka johtaa siihen, että noin viidesosa annetusta lämpöenergiasta on teoriassa mahdollista saada takaisin paahtimen paahtotilaan.

Pavun kuivuminen kuluttaa suurimman osan paahtoenergiasta. Paahdon aikana höyrystyvä vesi haihtuu ja pavun sisältämä kosteus vähenee (Nieminen & Puustinen, 2014, s. 170). Pavun rakenne muuttuu hauraaksi höyrystymisen luoman paineen vuoksi. Pavun muoto ja tiiveys voi vaikeuttaa lämmön tasaista etenemistä ja täten vaikuttaa oleellisesti pavun käyttäytymiseen paahdon aikana, joka on huomioitava paahtoprofiilia luotaessa. Nieminen ja Puustinen (2014, s. 170) toteavat, että pavun puolipallomainen muoto ja lajikkeesta riippuvainen tiheys- ja tiiveysero vaikuttavat siihen, miten papu vastustaa annettua lämpöä ennen kuin se alkaa paahdon myötä muuttumaan.

2.6 Karsinogeenit

Ruoka-aineiden kuumennuksen yhteydessä muodostuva karsinogeeni, akryyliamidi, on paahtoprosessia luotaessa yksi kahvin tuotantokelpoisuutta määrittävistä parametreista. Akryyliamidi on orgaaninen yhdiste, joka muodostuu pääasiassa Maillard-reaktiossa, jossa sokerit ja aminohapot reagoivat korkeissa lämpötiloissa. Kahvin paahtaminen, erityisesti vaaleapaahtoisten paahtojen yhteydessä, voi johtaa merkittäviin akryyliamidipitoisuuksiin. Akryyliamidi muodostuu, kun aminohappo, asparagiini, reagoi sokereiden kanssa korkeassa lämpötilassa. Tämä prosessi tapahtuu erityisesti 120–200 °C lämpötiloissa, jotka ovat tyypillisiä kahvin paahtamisessa (Friedman, 2003).

Akryyliamidi on luokiteltu ihmisille mahdollisesti karsinogeeniseksi (ryhmä 2A) Kansainvälisen syöväntutkimuslaitoksen, IARC:in toimesta (IARC, 1994). Vaikka kahvin juominen on yleensä yhdistetty terveysvaikutuksiin, akryyliamidin karsinogeenisuus on huolenaihe erityisesti suurten pitoisuuksien kohdalla. Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen (EFSA) on todennut, että akryyliamidin saannin vähentäminen ruoasta on suositeltavaa, sillä se saattaa lisätä syöpäriskiä pitkäaikaisessa altistuksessa (Ruokavirasto, 2023). Lisäksi akryyliamidin pitoisuuksiin kahvissa vaikuttavat paahtoaste ja valmistusmenetelmät, mikä korostaa prosessinhallinnan merkitystä elintarviketurvallisuuden kannalta.

Paahtomenetelmä ja lämpötila ovat ratkaisevia tekijöitä akryyliamidin muodostumisessa (Bagdonaite ym., 2008). Vaikka kahvin lajikkeet ja alkuperämaat asettavat tietyt lähtökohdat, paahtotapa ja erityisesti paahtolämpötila määräävät suurelta osin, kuinka paljon akryyliamidia muodostuu. Alemmat paahtolämpötilat ja lyhyempi paahto aika voivat tuottaa vähemmän akryyliamidia, mutta ne vaikuttavat makuprofiiliin ei-toivotusti.

Tutkimukset ovat osoittaneet, että akryyliamidin pitoisuudet vaihtelevat eri kahvilajikkeiden ja alkuperämaiden välillä. Esimerkiksi Özdemir, D., & Devres, Y. (2000) tutkivat eri kahvilajikkeiden vaikutusta paahtoprosessissa ja havaitsivat, että tiettyjen alkuperämaiden pavut tuottivat vähemmän akryyliamidia johtuen niiden kemiallisista ominaisuuksista.

3 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

3.1 Raaka-aineet

Kahvi saapuu paahtimolle puolivalmiina raaka-aineena (Nieminen & Puustinen, 2014, s. 165). Raaka-aineet seostetaan reseptien mukaisesti. Raaka-aineita seostamalla pystytään korvaamaan kahvit tarpeen mukaan raaka-aineiden hinnan, saatavuuden ja maun perusteella. Tämä mahdollistaa tuotekohtaisen, yhtenäisen makuprofiilin (Rao, 2014, s. 103). Vaaleapaahtoisen kahvin seoksessa käytetään raaka-aineita, joissa esiintyy luontaisesti runsaasti hapokkuutta (Nieminen & Puustinen, 2016, s. 178). Tämän tutkimustyön koe-paahdoissa käytettiin vaaleapaahtoisen kahvin reseptin mukaisia raaka-aineseosta, joka sisältää raakakahvia Etelä- ja Väli-Amerikasta sekä Itä-Afrikasta. Toimeksiantajan paahtimolla raaka-aineet punnitaan ja seostetaan ennen paahtoprosessia.

3.2 Mittausmenetelmät

Toimeksiantaja on määritellyt, että kahvin paahtoprosessin etenemistä seurataan ja arvioidaan erilaisten menetelmien avulla. Arviointimenetelmien avulla varmistamaan paahtoprosessin johdonmukaisuus ja lopputuotteen laatu. Käytettävät arviointimenetelmät keskittyvät mitattavien arvojen lisäksi eri tekijöihin, kuten makuun, ulkonäköön ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Mitattaviksi arvoiksi toimeksiantaja määritteli kahvin värin, kosteuden ja ominaispainon.

Paahdetun kahvin väri kertoo paahtoprosessin onnistumisesta. Värianalyysi tehdään väri-analyysaattorilla, joka mittaa kahvijauheen värin tarkasti ja kvantitatiivisesti. Menetelmän avulla arvioidaan, onko haluttu paahtotaso saavutettu. Mittausmenetelmä on objektiivinen ja soveltuu standardointiin (Illy & Viani, 2005, s. 273). Värianalyysin perusteella tehdään tarvittavat säätötoimenpiteet paahtimen toiminnanohjauksessa.

Paahtoprosessin aikana kahvipavun kosteus laskee merkittävästi. Lopullinen kosteustaso vaikuttaa kahvin säilyvyyteen ja makuun. Illyn ja Vianin (2005, s. 186) mukaan kahvin

alhainen kosteuspitoisuus (2–5 %) vähentää sen alttiutta mikrobikasvustolle ja kemiallisille reaktioille, kuten hapettumiselle. Kosteuspitoisuus vaikuttaa kahvin makuun paahtoprosessin aikana, sillä liian kuivat pavut voivat paahtua epätasaisesti aiheuttaen liian karvaan ja lattean maun. Toimeksiantajan ohjeistuksen mukaisesti kahvin jäännöskosteutta mitataan paahton aikana otetusta näytteestä ja valmiista tuotteesta. Poikkeama odotetusta jälkikosteudesta voi viitata jäähdytysprosessin ongelmiin, kuten jäähdytysveden määrän vaihteluihin.

Kahvin paahtoprosessin arvioinnissa käytetään menetelmää, jossa mitataan paahtetun kahvin ominaispainoa (bulk density) (Illy & Viani, 2005, s. 184). Ominaispaino eli tiheys kertoo kahvijauheen massan ja tilavuuden suhteen. Mittauksen avulla arvioidaan paahton vaikutusta kahvipapujen koostumukseen

Ominaispaino ρ määritellään kaavalla (Illy & Viani, 2005, s. 182)

$$\rho = m/V \quad (1)$$

missä

m on kahvijauheen massa grammoina

V on tilavuus millilitroina

Ominaispaino toimii indikaattorina siitä, kuinka voimakas paahto on ollut. Korkea ominaispaino on ominaista vaalealle paahtolle, kun taas matala ominaispaino viittaa tummempaan paahtoon. Poikkeamat odotetusta ominaispainosta voi viitata prosessinhallinnan ongelmiin, kuten liian pitkään tai lyhyeen paahtoaikaan tai epätasaisuuteen paahtokoneen toiminnassa (Illy & Viani, 2005, s. 193).

Kahvin paahtoprosessin onnistumisen arvioinnin yleisin menetelmä on aistinvarainen arviointi eli cupping (Lingle, 2011, s. 34). Kahvi jauhetaan ja valmistetaan juomaksi joko hauduttamalla tai uuttamalla. Valmistusta arvioidaan systemaattisesti eri aistinvaraisten ominaisuuksien perusteella, kuten maku, aromi, hapokkuus, suutuntuma ja jälkimaku.

Prosessin aikaisten mittausten ja menetelmien lisäksi toimeksiantaja on määritellyt kemialliset elintarvikeanalyysit, jotka suoritetaan pakatusta lopputuotteesta. Analyysit teetätetään ulkopuolisessa, laboratorioanalyyseja tarjoava yrityksessä. Kahvin sisältämän akryylipitoisuus analysoidaan nestekromatografian LC-MS/MS- tekniikalla (Eurofins Scientific, i.a.).

4 KAHVINPAAHDIN

4.1 Kahvinpaahtin Brambati Roaster BR6000

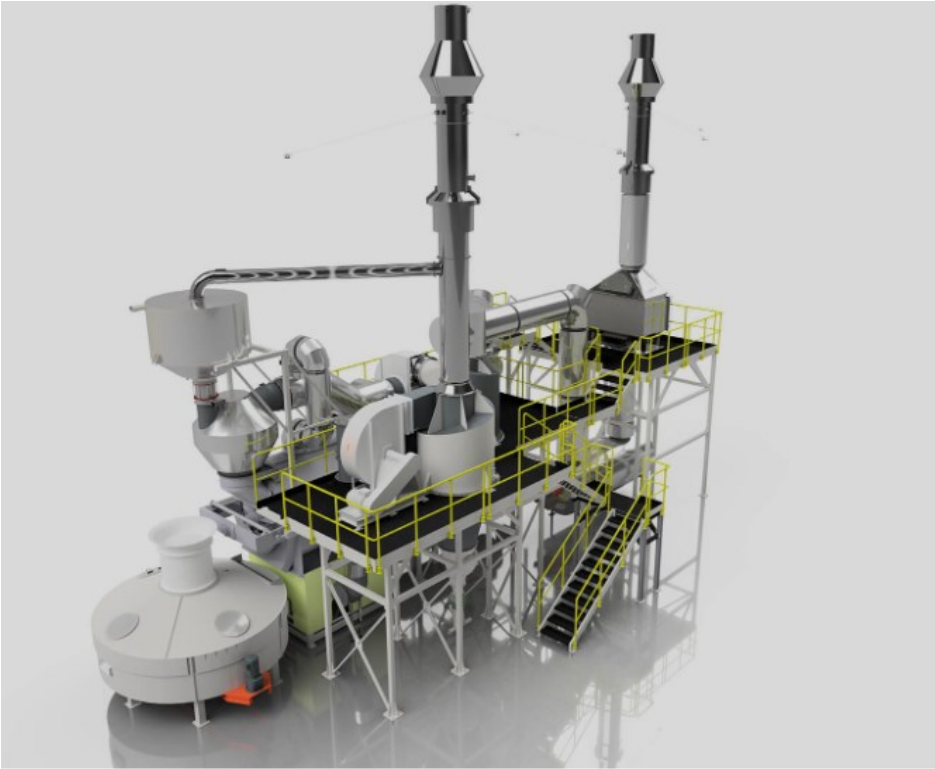
Koneinvestoinnin kohde on italialaisvalmisteinen Brambati Roaster BR6000 -kahvinpaahtin, jonka eräkohtainen kapasiteetti on 200–720 kg raakakahvia (J. Hirki, henkilökohtainen tiedonanto, 18.1.2024). Paahtin pystyy prosessoimaan paahtoprofiilin mukaan 3000–3600 kg raakakahvia tunnissa.

Paahtimen järjestelmän tarkoituksena on syöttää ennalta määritelty, raakakahvin latauskartiossa oleva määrä raakakahvia paahtorumpuun, jossa pääpolttimen tuottama lämpöenergia paahtaa pavut paahtoprofiilissa määriteltyjen parametrien mukaisesti (Meira, 2023, s. 18). Paahtovaiheen päätyttyä paahtetut kahvipavut siirretään jäähdytys säiliöön, jossa pavut jäähtyvät nopeasti yli 200 °C:n lämpötilasta alle 50 °C:n lämpötilaan. Jäähdytys säiliön pohjan reikälevyt pitävät kahvipavut jäähdyttäjän sisällä, mutta mahdollistaa puhaltimilla ohjatun pakotetun ilmankierron (Meira, 2023, s. 7). Jäähdytetty tuote siirretään puhdistussäiliöön, jossa tuote puhdistetaan painovoiman vaikutuksella. Puhdistettu kahvipapu siirtyy säilöttäväksi paahtetun pavun säiliöön.

Brambati Roaster BR6000 -paahtimen automaatio hallitsee kahvin tuotantoprosessia ja valvoo suoritettujen toimintojen oikeellisuutta, laitteiden toimintaa, prosessin säännönmukaisuutta ja turvallisuutta. Järjestelmä varoittaa käyttäjää kaikenlaisista poikkeamista ja ryhtyy automaattisesti toimenpiteisiin turvallisuuden varmistamiseksi. Kaikki järjestelmän suorittamia toimintoja hallitaan erityisellä ohjauspäätteellä (Meira, 2023, s. 4). Pääte sijaitsee ja sitä operoidaan paahtimon valvomossa. Järjestelmä ilmoittaa kaikista poikkeamista hälytysviesteillä, jotka näkyvät järjestelmän ohjauspäätteellä. Hälytyksiin liittyy myös ääni- ja valosignaali, joka on havaittavissa tuotantotiloissa.

Paahtoprosessin toteuttaminen perustuu paahtoprofiiliin, joka koostuu joukosta parametreja, joiden avulla paahtoprosessin kaikki vaiheet voidaan määritellä yksityiskohtaisesti (Meira, 2023, s. 18). Jokaiselle tuoteryhmälle on mahdollista luoda erityyppinen, kullekin

tuotteelle soveltuva profiili. Järjestelmän automaatio-ohjelmisto tallentaa prosessitiedot, kuten lämpötilan kehityssuunnat ja prosessihälytykset ohjauspäätteelle (Meira, 2023, s. 4).



Kuva 1. Brambati Roaster BR6000

4.2 Paahtoprofiili

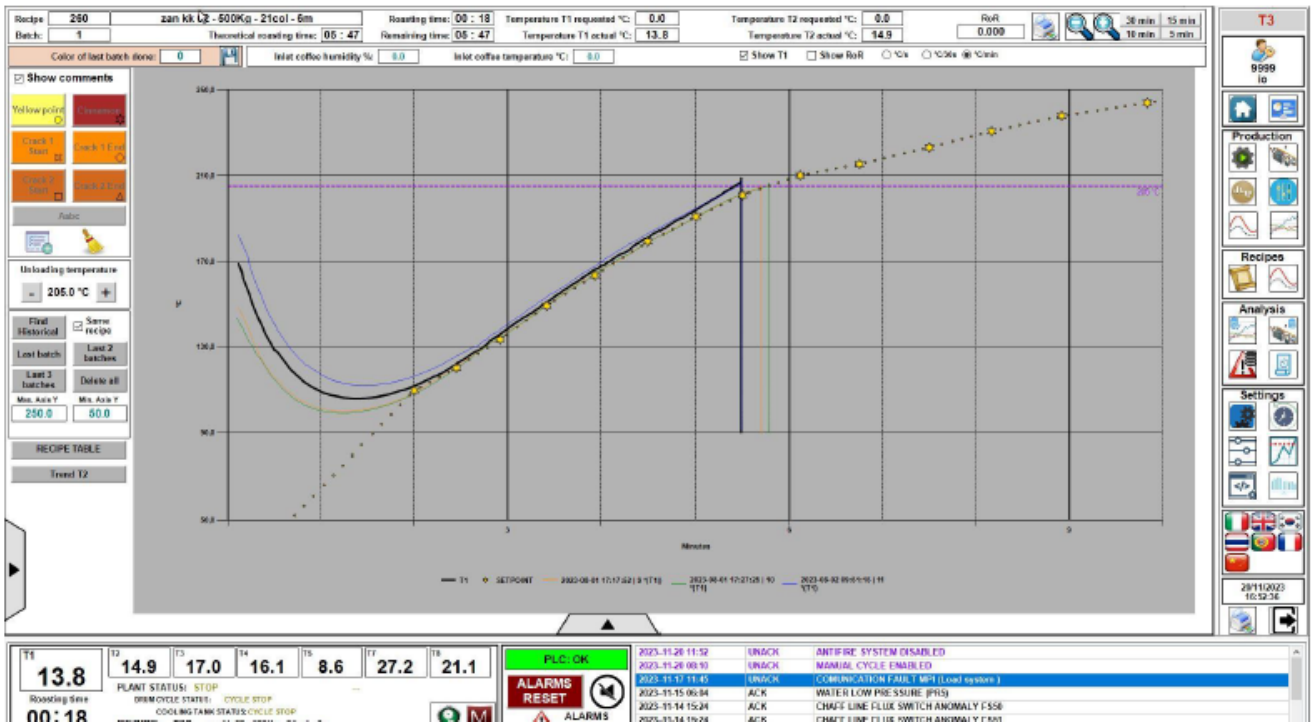
Paahton toteuttamistapa määritellään paahtoprofiilissa (Meira, 2023, s. 4). Paahtoprofiili sisältää tarvittavat tiedot, joilla paahtoprosessin kaikki vaiheet määritellään täydellisesti, alkaen raakakahvin syöttämisestä rumpuun ja päättyen kahvin siirtämiseen puhdistimeen. Vapaasti ohjelmoitavat paahtoprofiilit tallennetaan sopivaan SQL-tietokantaan. Profiili määrittää ilmavirran lämpötilan T2, M1 -rummun käyttömootorin ja M2-puhaltimen nopeuden sekä kierrätyksen prosenttiosuuden (Meira, 2023 s. 18).

Paahtoprofiilit on määritelty tuotekohtaisesti. Paahtoprofiilia suunnitellessa on otettava huomioon papulajikkeiden merkitys. Eri kahvipapulajikkeet tarvitsevat erilaiset paahtoajat

ja -lämpötilat, koska ne tuottavat aromaattisia aineita paahtoprosessin eri vaiheissa (Kingston, 2015, s. 63).

Paahtoprofiilin rakenne koostuu jaksoista. Konevalmistaja Brambati (Meira, 2023, s. 29) on määritellyt jaksojen oleelliset parametrit. Rumpujakson parametrien, lämpötilojen T1 ja T2, perusteella järjestelmä esilämmittää rummun paahtolämpötilojen saavuttamiseksi ennen raakakahvin syöttämistä paahtorumpuun. Lämpötilan T1 saavuttaessa asetetun purkulämpötilan paahton purku käynnistyy automaattisesti. Jäähdytysjakson parametrit ovat kahvin liikkumisaika säiliössä, kahvin enimmäisjäähdytysaika säiliössä, jäähdytyksen loppulämpötila T5, esijäähdytysveden määrä ja M6-puhaltimen nopeus. Tyhjennysjakson parametrejä ovat enimmäisaika kahvin siirtämiselle säiliöstä puhdistimeen, M6-puhaltimen nopeus puhdistimeen siirtämiselle sekä haluttu kosteusprosentti valmiissa tuotteessa.

Jos paahtoprofiilissa käytetään paahtokäyrämenetelmää, on paahtokäyrä määriteltävä profiilissa. Käyrä ilmaistaan taulukkomuodossa ilmoittamalla sen muodostavien segmenttien ääriarvot (Meira, 2023, s. 29). Paahtokäyrän hallinnan kannalta oleellisin parametri on ilmavirran lämpötila T2, jolla vaikutetaan paahtokäyrän taitepisteeseen (J. Petjoi, Henkilökohtainen tiedonanto 25.10.2024). Kuvassa 2 havainnollistetaan graafisessa muodossa esimerkki reseptissä määritetty T1-käyrän pistekäyrä, T1-käyrän jatkuva kuvaaja ja T1 kaltevuus (nousunopeus).



Kuva 2. Paahtokäyrä (Meira, 2023, s. 48).

4.3 Lämpöenergia

Paahtoprosessissa tarvittava lämpöenergia tuotetaan paahtimen pääpolttimella ja sen siirtäminen tapahtuu korkean lämpötilan ilmakiertopiirin avulla (Meira, 2023, s. 9). Piiri koostuu säädettävä puhaltimesta, polttokammioista, rummista, kalvosyklonista, kolmesta säätöventtiilistä, savukaasupolttimesta, katalysaattorista ja eristetyistä liityntäkanavista. Puhallin ja säätöventtiilit mahdollistavat ilmavirran täyden hallinnan. Puhallin ohjaa ilmavirran nopeutta ja venttiilit määrittelevät suunnan.

4.4 Paahtoprosessin toteutus

Paahtoprosessi Brambati Roaster BR6000 paahtimella aloitetaan punnitsemalla raakakahvierä, joka ladataan raakakahvin latauskartioon (Meira, 2023, s. 18). Paahtaminen tapahtuu paahtorummussa, joka on järjestelmän olennaisin elementti. Paahtorummun järjestelmällä suoritetaan paahtonaikaiset tärkeimmät säädöt. Paahtoprosessi toteutetaan

määritellyn paahtoprofiilin mukaisesti. Kun paahtorumpu on aktivoitu, venttiili avautuu ja raakakahvin syöttö rumpuun tapahtuu. Polttokammion tuleva, puhaltimen tukema korkealämpöinen ilmavirta kulkee rummun läpi ja siirtää profiilin mukaisen lämmön rummussa olevaan kahviin ja kuljettaa kahvista prosessin aikana irtoavat kalvot kalvosykloniin. Rumpu pyörii jatkuvasti ja varmistaa siten prosessin tasalaatuisuuden ja kalvojen irtoamisen kahvipavuista. Järjestelmä sisältää energiaa säästävän kierron, jolloin osa kalvosykloniin lähteneestä ilmavirrasta johdetaan takaisin polttokammioon. Kierrätyksen ansiosta on mahdollista ottaa talteen suuri osa polttimen tuottamasta lämmöstä, joka muutoin poistuisi savukaasuna. Kierrätyksen avulla säästetään energiaa ja rajoitetaan tiettyjen paahtamisen aikana syntyvien aromien leviämistä lähiympäristöön. Paahtamisen aikana savupiipusta poistuvat savukaasut käsitellään määräysten mukaisesti savukaasupolttimella ja katalyysaattorilla. Paahtaminen päättyy automaattisesti, kun kahvin lämpötila saavuttaa asetun raja-arvon.

4.5 Jäähdytys

Jäähdytysprosessi käynnistyy välittömästi paahton jälkeen siirtämällä kahvipavut jäähdytyssäiliöön, jossa on pakotettu ilmankierto (Meira, 2023, s. 19). Ilmankiertoa ohjaa M6-puhallin, joka imee ilmaa säiliön pohjasta ja siitä poistuva ilma ohjataan pölysykloniin ja poistetaan toissijaisen piipun kautta. Jäähdytyssäiliössä tuote jaetaan tasaisesti lastaparin avulla. Papujen päälle sumutetaan vettä paahtoprofiilin asetusten mukaisesti. Jäähdytysprosessin tarkoituksena on pysäyttää paahtoprosessi mahdollisimman nopeasti. Ilman jäähdytystä pavun paahtuminen jatkuisi kahvin korkean lämpötilan vuoksi vielä muutaman minuutin ajan. Jäähdytyksen tehtävänä on myös saattaa kahvi sopivaan lämpötilaan varastosiiloihin lastaamista varten.

Lopetusveden lisäämisen jälkeen paahtorummun sisältö tyhjennetään avaamalla rummun tyhjennysluukku, että pavut siirtyvät jäähdytysaltaaseen (Meira, 2023, s. 19). Jäähdytysallas koostuu sylinteristä, jossa on rei'itetty litteä pohja. Altaassa kahvipapuja sekoitetaan ensimmäisten minuuttien ajan ja tuote jaetaan tasaisesti koko pinnalle. Puhaltimien imemä jäähdytysilma lisää lämmön haihtumista. Jäähdytysilma otetaan ympäristöstä ja säiliöstä

poistuva ilma johdetaan pölynpoistosykloniin, jossa ilma ja irronneet partikkelit erotellaan toisistaan painovoiman avulla. Vaaleapaahtoisen kahvin jäähtymisen kesto vaihtelee paahtoprofiilin mukaisesti ollen yleensä noin 100 sekuntia. Jäähtymisprosessi päättyy, kun kahvipapujen lämpötila saavuttaa noin 30–50 °C asteen lämpötilan.

4.6 Siirto

Jäähtymisen päättyttyä paahtetut kahvipavut siirretään jäähtymisalasta elevaattorilla puhdistimeen (Meira, 2023, s. 19). Jäähtymisalasta tyhjennysluukku avataan ja tuote siirretään elevaattorin tuloaukolle. Tyhjennysvaiheessa käytetään eräkohtaisille kapasiteeteille määriteltyjä enimmäispurkuaikoja. Enimmäispurkuaika 200 kg:n eräkoolla on 160 s ja 500 kg:n eräkoolla 300 s (J. Petjoi, henkilökohtainen tiedonanto 25.10.2024). Jälkitarkastusvaaka mittaa tuotteen painoa siirtoprosessin ajan. Paahtoprofiiliin määritellyn enimmäispurkuajan täytyessä jälkitarkastusvaaka saa tyhjennyskäskyn ja kirjaa automaattisesti tuotteen massan järjestelmään. Siirron aikana vain kahvipavut siirtyvät puhdistussäiliöön. Kevyemmät jäämät, kuten kahvipavun kuoriaines, imetään kohti jauhesyklonia ja kahvipavun ominaispainoa raskaampi aines, kuten kivet, putoavat erilliseen keräysastiaan. Puhdistetut kahvipavut ovat nyt valmiita siirtymään säilytysvaiheeseen.

5 KÄYTTÖÖNOTTO JA TUOTANNOLLISET KOEAJOT

Elintarvikkeiden tuotantolaitteen käyttöönotto on keskeinen osa validointiprosessia, jonka tarkoituksena on varmistaa, että laite toimii tehokkaasti, turvallisesti ja tuotantostandardien mukaisesti (PSC Biotech, 2024). Toimeksiantajan kahvipaahtimolle rakennettu paahtokone on suunniteltu vastaamaan tuotantoprosessin ja tuotteiston tarpeita. Suunnittelussa on huomioitu kapasiteetti, hygieniavaatimukset, materiaalien yhteensopivuus ja energiatehokkuus.

Laiteinvestointiprojektissa on varmistettu, että laite täyttää Eu elintarvikelainsäädännön elintarvikekontaktimateriaaleja koskevat asetukset (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1935/2004), CE-merkintä ja konedirektiivin (Euroopan parlamentin direktiivi 2006/42), FSSC 22000-, ISO 9001- ja ISO 14001 -hallintajärjestelmien standardin, sekä hyvien valmistuskäytäntöjen (GMP) asettamat vaatimukset. Ennen laitteen käyttöönottoa suoritettiin prosessimuutokseen liittyvä HACCP-riskienarviointi, jossa määriteltiin paahtokoneen toiminnallisen koeajon yhteydessä tehtävien linjastojen huuhtelutarpeet ja tehtiin toimintasuunnitelma puhdistusten toteuttamiseksi. Validointisuunnitelmassa määriteltiin mitä testejä tehdään, miten ja millä kriteereillä laitteen suorituskyky hyväksytään.

5.1 Validointisuunnitelman mukaiset tavoiteltavat raja-arvot

Validointisuunnitelman pohjana toimivat kauppasopimuksessa määritellyt takuuarvot, jotka koneen valmistaja Brambati S.p.A. on sitoutunut toteuttamaan. Konevalmistaja takaa sopimuksessa määritellyn raakakahvikapasiteetin (kg/h) tietyn kokoisilla paahtoerillä ja ilman vaaleapaahtoisen kahviseoksen paahtoaikarajoituksia. Takuuarvojen mukaisesti vaaleapaahtoisen kahviseoksen akryyliamidipitoisuuden on alitettava Euroopan komission asetuksessa 2017/2158 määritelty vertailuarvo. Konevalmistaja takaa, että paahtin pystyy paahtamaan vaaleapaahtoista kahvia siten, että kahvin värianalyysien mittaustulokset ovat paahtonäytteestä ja pakkauksesta mitattuna tuotekohtaisesti määritellyissä raja-arvoissa. Myös paahton jälkeiselle kahvin jäännöskosteudelle ja paahtoprosessin aikaiselle hävikille on määritelty takuuarvot.

5.2 Laitteajot, testaukset ja ympäristön hallinta

Konevalmistaja Brambati S.p.A:n edustajat suorittivat asennuksen varmistuksen. Varmistuksen yhteydessä tarkastettiin laitteiston kokoamisen päätyttyä, että laite on asennettu oikein, kaikki osat ovat oikeassa paikassa, ja tekniset- että turvallisuusvaatimukset täyttyivät. Käyttöönotonvarmennuksessa laitteen toimivuutta testattiin kaikkien tuotannon aikana odotettavien olosuhteiden mukaisesti. Näitä olivat lämpötilat, painetasot ja tuotantonopeus. Suorituskyvyn varmennus aloitettiin toimeksiantajan toimesta 7.12.2023. Laitteen käyttöönotossa huomioitiin sen ympäristöolosuhteet, kuten ilmanvaihto, lämpötila ja kosteustasot, jotka voivat vaikuttaa laitteen toimintaan ja elintarvikkeiden laatuun. Laitteen suunnittelussa ja käyttöönotossa on huomioitu myös syntyvien jätteiden käsittely.

5.3 Dokumentointi, jäljitettävyys ja käyttäjien koulutus

Kaikki validointiprosessin vaiheet on dokumentoitu kattavasti. Dokumentointi sisältää asennus-, käyttö- ja suorituskykytestien tulokset ja mahdolliset korjaavat toimenpiteet. Kaikki laitekomponentit ja prosessit ovat jäljitettävissä, jotta mahdolliset ongelmat voidaan tunnistaa ja korjata nopeasti. Tuotantolaitteen käyttäjille tarjottiin konevalmistaja Brambati S.p.A:n edustajan toimesta kattava koulutus laitteen turvallisesta ja tehokkaasta käytöstä sekä tarvittavista huoltotoimenpiteistä.

6 PAAHTOPROFIILIN OPTIMOINTI

Paahtoprofiilin optimointi aloitettiin kopiaimalla toisella tuotantolaitteella jo käytössä oleva vaalean kahvin paahtoprofiilin numero 152, jonka pohjalta on tarkoitus kartoittaa tarvittavat arvojen muutokset. Brambati Roaster BR6000 -paahtimella oli jo valmistajan toimesta luotu valmistuksen aikaisten koepaahtojen perusteella profiili, mutta sitä ei pidetty täysin soveltuvana haluttuun lopputulokseen.

6.1 Profiilien luonnin aikajana

Paahtoprofiilin optimointi osoittautui monivaiheiseksi tehtäväksi. Profiilivariaatioita syntyi yhteensä 12 kpl. Paahtoprofiilit numeroitiin juoksevasti. Tunnisteessa säilytettiin alkuperäinen profiilitunniste 152, että paahtoprofiili on helposti tunnistettavissa. Kuviossa 2 on kuvattu profiilivariaatioiden aikajana.



Kuvio 2. Profiilivariaatioiden luomisjärjestys

6.2 Optimoinnin aikainen laadunvarmistus

Profiilivariaatioiden onnistumista arvioitiin laadunvarmistuksen avulla. Arvioinnin päämääräksi asetettiin kahvin paahtoväri, jäännöskosteus, ominaispaino ja maku. Paahtovärin mittauksessa käytettiin HunterLab Colorflex EZ -värianalysointilaitetta, joka ilmoittaa kahvinäytteen väriarvon $L^*a^*b^*$ -väriskaalalla (Hunterlab, 2023). Analyysissä tulos ilmoitetaan L -asteikolla vaalea vs. tumma, jossa pienin luku 0 tarkoittaa täysin mustaa ja luku 100 valkoista (Hunterlab, 2023). Kahvin jäännöskosteuden määrittämisessä käytettiin halogeenikos-teusanalysointilaitetta, joka määrittää tuotteen kosteuspitoisuuden kuivaushäviömenetelmällä (Mettler Toledo, i.a.).

Ominaispainon, eli tiheyden mittaaminen suoritetaan Stampfvolumeter tärinätilavuusmittarilla. Karkeaksi jauhettua kahvinäytettä punnittiin 70 g, joka asetettiin tärinätilavuusmittarin mitalasiin. Kone tärisytti näytettä 200 kertaa, jonka jälkeen voitiin lukea kahvijauheen tilavuus millilitroina. Mittausmenetelmä perustuu tärinäprosessiin, jonka aikana jauheen hiukkaset asettuvat tiiviimmin vähentäen jauheen sisältämää tyhjää tilaa (Clarke & Macrae, 1988, s. 253). Jokaisesta laadullisesti hyväksytyistä tuotantomittakaavan kokeista lähetettiin akryyliamidimääritykseen 3 kpl peräjälkeen valmistunutta lopputuotepakkausta. Kemialliset elintarvikeanalyysin suoritti ulkopuolinen laboratorioanalyysija tarjoava yritys.

Kahvijuoman makua arvioitiin aistinvaraisesti. Jokaisesta näytteestä valmistettiin kahvijuurmaa, jota arvioi ammattimaistajien raati. Juoma valmistettiin punnitsemalla 60 grammaa kahvijauhetta ja uuttamalla se 1 litraan vettä.

6.3 Profiili 152

Ensimmäisiksi tavoitteiksi paahtoprofiilille asetettiin paahtoväri, kosteus ja tuotantonopeus 4000 kg/h. Taulukossa 1 on kuvattu paahtoprofiili nro 152:n perusparametrit, jolla on saavutettu toisella jo käytössä olevalla paahtimella 4000 kg/h tuotantonopeus. Perusparametreihin lukeutuvat paahtimen rummun lämpötila, joka kuvaa paahtorummun lämpötilaa vaiheessa, jolloin raaka-aine ladataan rumpuun. Tuotteen loppulämpötila kuvaa tavoiteltua lämpötilaa, jolloin kahvipapu on paahtunut haluttuun paahtoasteeseen. Esijäähdytysveden määrä kuvaa vesimäärää, jolla paahtettu kahvipapu jäähdytetään jäähdyttäjässä. Jäähdyttäjän tyhjennyslämpötila kuvaa lämpötilaa, jonka kahvipapu jäähtyessään saavuttaa ennen kuin pavut siirtyvät prosessissa eteenpäin. Paahto aika kuvaa tavoiteltua aikaa, joka kokonaisuudessaan käytetään paahtoprosessissa.

Taulukko 1. Profiili 152:n perusparametrit (J. Petjoi, Henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2024).

Profiili	Rummun la- tauslämpötila, °C	Tuotteen loppu- lämpötila, °C	Esijähdytys- vesi, l	Jäähdyttäjän tyhjennys- lämpötila, °C	Paahto- aika, s
152	160	203	56	36	310

Taulukossa 2 on kuvattu profiiliin 152:n toteutuneet paahtoparametrit. T2 lämpötila kuvaa paahtossa käytettävän tuloilman lämpötilaa, rummun nopeus % kuvaa paahtorummun pyörimisnopeutta ja ilmankierron % paahtoilman kiertoa ja M2 puhaltimen % kuvaa pääpuhaltimen tehoa.

Taulukko 2. Profiili 152:n paahtoparametrit (J. Petjoi, Henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2024).

Ase- tus- piste	T2 lämpötila °C	Rummun nopeus %	Ilmankierto %	M2 puhallin %
1	535	72	100	77
2	580	72	100	77
3	585	72	100	77
4	590	70	100	76
5	590	70	100	76
6	590	70	90	76
7	585	69	85	75
8	580	69	70	75
9	570	68	60	75
10	510	68	20	73
11	500	67	0	70
12	480	66	0	70
13	470	66	0	70
14	450	65	0	69
15	440	65	0	69

Koepaahton aikana paahtettiin n. 8000 kg kahvia. Paahton aikana analysoitiin paahtoväriä ja -kosteutta sekä paahtetun kahvin ominaispainoa. Näiden lisäksi seurattiin teoreettista ja todellista paahtoaikaa, loppulämpötilaa, esijähdytysveden määrää, ja paahtohävikkiä. Aistinvaraista analyysia varten valmistuserästä eriytettiin yksi paahtoerä, joka

jauhettiin ja pakattiin pakkauskoneella vakuumpakkauksiin. Pakatusta näytteestä tehtyjen analyysien perusteella voitiin todeta, että profiililla 152 saavutettiin tavoiteltu 4000 kg/h tuotantokapasiteetti, mutta profiililla 152 tuotettu kahvi ei vastannut makuprofiililtaan tavoitetta. Lisäksi tuotteen ominaispaino oli korkea ja paahtohävikki yli takuuarvojen. Paahtokäyrä oli muodoltaan hyvin suora.

6.4 Profiilit 1152 ja 2152

Profiilia 152 muokattiin jonkin verran profiileiksi 1152 ja 2152, joissa säädettiin tuloilman T2 lämpötilaa, lisättiin rummun pyörimisnopeutta, ilmankiertoa ja M2-puhallinmoottorin nopeutta. Taulukoissa 3 ja 4 on kuvattu muutokset profiilin parametreissa. Nousevat arvot on kuvattu vihreällä värillä ja laskevat arvot punaisella värillä. Profiilissa 1152 perusparametreissa tuotteen loppulämpötilaa nostettiin alkuperäisestä lähtöarvosta 11 °C astetta ja esijäähdytysveden määrää korotettiin 13 litraa. Paahtoaikaa lisättiin 1 sekunnilla. Paahtoparametreissa tuloilman lämpötilaa T2 laskettiin paahton aloituksessa (asetuspiste 1) 5 °C astetta. Paahton edetessä ensimmäisen kolmanneksen aikana lämpötila asetettiin nousemaan (asetuspiste 3) 5 °C astetta korkeammalle kuin profiilissa 152. Paahton toisella kolmanneksella lämpötila muuttuu (asetuspiste 7) nousemalla 5 °C astetta ja (asetuspiste 9) laskee 10 °C astetta. Kohdassa (asetuspiste 10) lämpötila nousee 20 °C astetta. Rummun pyörimisnopeutta nostettiin 3–5 %. Ilman kiertoa nostettiin paahton asetuspisteissä (6–9) 10–20 %. M2-puhaltimen nopeutta lisättiin paahton asetuspisteissä (4–5, 7–8).

Taulukko 3. Profiili 1152:n perusparametrit (J. Petjoi, Henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2024).

Profiili	Rummun la- tauslämpötila, °C	Tuotteen loppu- lämpötila, °C	Esijäähdytys- vesi, l	Jäähdyttäjän tyhjennys- lämpötila, °C	Paahto- aika, s
1152	160	214	69	36	309

Taulukko 4. Profiili 1152:n paahtoparametrit (J. Petjoi, Henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2024).

Ase- tus- piste	T2 lämpötila °C	Rummun nopeus %	Ilman kierto %	M2 puhallin %
1	530	74	100	77
2	580	74	100	77
3	590	74	100	77
4	590	74	100	77
5	590	74	100	77
6	590	74	100	76
7	590	74	100	76
8	580	73	90	76
9	560	72	60	75
10	530	72	20	73
11	500	70	0	70
12	480	66	0	70
13	470	66	0	70
14	450	65	0	69
15	440	65	0	69

Profiilin parametrien muutoksilla ei tavoitettu haluttuja vaikutuksia valmiiseen tuotteeseen. Ainoastaan paahton aikainen hävikki laski alle tavoitteen 12 % ollen keskimääräisesti 11,5 %.

6.5 Profiilit 3152, 4152 ja 5152

Konevalmistaja Brambati S.p.A:n edustaja, teknikko Giuseppe Licciardo loi tuotteelle kolme profiilia muuttaen perusparametrejä, kuten tuloilmaa T2 ja rummun pyörimisnopeutta. Licciardon tavoitteena oli saavuttaa 4000 kg/h tuotantonopeuden lisäksi hyväksytty

makuprofiili ja saada laskettua kahvin ominaispainoa ja paahton aikaista hävikkiä lähemmäs takuuarvoja. Taulukoissa 5 ja 6 on kuvattu muutokset profiilin parametreissä.

Taulukko 5. Profiili 4152:n perusparametrit (J. Petjoi, Henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2024).

Profiili	Rummun la- tauslämpötila, °C	Tuotteen loppu- lämpötila, °C	Esijähdytys- vesi, l	Jäähdyttäjän tyhjennys- lämpötila, °C	Paahto- aika, s
4152	160	203,5	56	36	338

Taulukko 6. Profiili 4152:n paahtoparametrit (J. Petjoi, Henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2024).

Ase- tus- piste	T2 lämpötila °C	Rummun nopeus %	Ilmankierto %	M2 puhallin %
1	510	74	100	78
2	590	74	100	78
3	600	74	100	78
4	600	72	100	77
5	600	72	100	77
6	590	72	100	77
7	590	70	90	75
8	585	70	90	75
9	580	70	80	75
10	560	69	50	73
11	550	69	0	70
12	540	66	0	70
13	470	66	0	70
14	450	65	0	69
15	440	65	0	69

Perusparametreissä tuotteen loppulämpötilaa laskettiin profiilin 1152 lämpötilasta 10,5 °C astetta, esijähdytys veden määrää vähennettiin 13 litraa ja paahtoaikaa pidennettiin 29 sekuntia. Paahtoparametrien muutoksia olivat tuloilman T2 aloituslämpötilan laskeminen (asetuspiste 1) 20 °C asteella ja nostaminen 10 °C asteella (asetuspisteet 2–5), 5 °C asteella (asetuspiste 8), 20 °C asteella (asetuspiste 9), 30–60 °C asteella (asetuspisteet 10–

12). Rummun pyörimisnopeutta hidastettiin 2–4 % (asetuspisteet 4–11). Ilman kiertoa hidastettiin 10 % (asetuspiste 7) ja nostettiin 20–30 % (asetuspisteet 9–10). M2 puhaltimen nopeutta lisättiin paahdon ensimmäisellä kolmanneksella 1 % ja laskettiin (asetuspisteet 7–8) 1 %.

Jokaisesta profiilista eriytettiin paahtoerät laadullisia analyyseja varten. Näytteet pakattiin vakuumpakkauksiin. Akryyliamidimäärytyksiin lähetettiin 5 perättäistä pakkausta. Kaikkien näytteiden akryyliamidipitoisuudet olivat liian korkeita. Taulukko 7 osoittaa, että profiili 4152:lla valmistetun tuotteen akryyliamidipitoisuudet olivat matalimmat. Tulosten perusteella tehtiin päätös, että profiilin kehittämistä jatketaan profiili 4152 pohjalta.

Taulukko 7. Paahtonäytteiden fysikaalisten ja kemiallisten analyysien tulokset

Profiilin tunniste	Tuotteen väri pkt L*	Tuotteen jäänös-kosteus, %	Akryyliamidipitoisuus näyte 1, µg/kg	Akryyliamidipitoisuus näyte 2, µg/kg	Akryyliamidipitoisuus näyte 3, µg/kg	Akryyliamidipitoisuus näyte 4, µg/kg	Akryyliamidipitoisuus näyte 5, µg/kg
3152	19,9	3,4	590	530	520	500	520
4152	20,7	3,3	490	530	570	490	510
5152	20,4	3,3	550	540	560	550	560

6.6 Profiilit 6152, 7152 ja 8152

Profiilien 6152, 7152 ja 8152 muokkausten tavoitteena oli vähentää tuotteen akryyliamidipitoisuutta ja saada kahvin makuprofiili vastaamaan jo olemassa olevaa tuotetta. Profiili

6152:a muokattiin profiiliin 4152:n pohjalta. Muokkauksen avulla ei saavutettu merkittävää edistymistä. Profiili 6152 oli hankala operoida, koska paahdon aikaiset lämpötilat heittelivät ja paahto oli epätasaista. Profiilin tarkastelu osoitti, että sille luodut lämpöasetukset eivät olleet tarkoitukseen sopivia ja paahtimen oli vaikea saavuttaa paahtokäyrän arvoja. Profiili 6152 päädyttiin poistamaan ja luomaan uudelleen.

Uuden profiili 6152:n parametrien avulla paahdon paahtokäyrää taitettiin 185 °C asteen kohdalta loivemmaksi, jolloin paahtoprosessin ensimmäinen kolmannes paahdetaan korkeammalla lämpötilalla ja nopeammalla rummun kiertonopeudella. Profiilin perusparametrejä muutettiin korottamalla tuotteen loppulämpötilaa ja esijähdytysveden määrää, pidentämällä paahtoaikaa ja madaltamalla jäähdyttäjän tyhjennyslämpötilaa. Paahdon parametrejä muutettiin madaltamalla tuloilman lämpötilaa T2 10–60 celsiusastetta, lisäämällä paahtorummun kiertonopeutta 2–6 %, vähentämällä ilman kiertoa 10–55 % ja M2-puhaltimen nopeutta 3–4 %. Profiili 7152 luotiin lisäämällä profiiliin 6152:n kiertoilman puhallinmoottorin nopeutta ja tuloilma T2 lämpötila nostettiin 600 celsiusasteeseen. Muokkausten tuloksena akryyliamidipitoisuudet olivat edelleen tavoitearvoa korkeammat, 440–470 µg/kg. Aistivaraeisessa arvioinnissa voitiin todeta, että makuprofiili ei ollut hyväksyttävä. Kahvijuuron makua kuvattiin ohueksi, hapottomaksi ja latteaksi.

Profiili 8152 luominen aloitettiin usealla lämpötilakokeella, joissa tuloilman T2 lämpötilaa korotettiin 490–545 °C välillä. Lisäksi paahtokäyrän taitekohtaa loivennettiin, jotta lämpötilan taitto on sujuvampi ja laitteisto pystyy suorittamaan paahdon hidastumisen halutulla tehokkuudella. Lämpötilakokeiden perusteella päädyttiin n. 520 celsiusasteen lämpötilaan. Profiili 8152:n paahto aika oli pitkä, 455 sekuntia. Aistivaraeisessa arvioinnissa voitiin todeta kahvin hapokkuuden lisääntyneen.

6.7 Profiili 9152

Profiilia 9152 luodessa päätettiin muuttaa paahtimen toimintaan vaikuttavaan parametriä, joka ei ole profiilikohmainen parametri, vaan sen muutos vaikuttaa kaikkiin koneeseen

luotuihin paahtoprofiileihin. Muutos kohdentui polttokammion kiertoventtiiliin EV12, joka sijaitsee ilmankiertojärjestelmän putkistossa (J. Petjoi, henkilökohtainen tiedonanto, 25.10.2024). Taulukot 8 ja 9 kuvaavat, miten profiili 9152:n parametrit poikkeavat profiilin 8152:n parametreistä. Eroavaisuuksia ovat muun muassa perusparametrien osalta tuotteen loppulämpötilassa, jota on madallettu 7 °C ja paahtoaikaa vähennetty 38 sekuntia. Paahtoparametreissa muutos näkyy tuloilman T2 lämpötilassa (asetuspisteet 7–15), joissa lämpötilaa on nostettu 10–75 °C astetta. Ilmankiertoa hidastettiin paahton toisella kolmanneksella 10–50 %, kun taas M2-puhaltimen nopeutta lisättiin paahton viimeisellä kolmanneksella. Rummun kiertonopeuteen ei tehty muutoksia.

Taulukko 8. Profiili 9152:n perusparametrit (J. Petjoi, henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2024).

Profiili	Rummun la- tauslämpötila, °C	Tuotteen loppu- lämpötila, °C	Esijäähdytys- vesi, l	Jäähdyttäjän tyhjennys- lämpötila, °C	Paahto- aika, s
9152	160	202	56	30	417

Taulukko 9. Profiili 9152:n paahtoparametrit (J. Petjoi, henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2024).

Asetus- piste	T2 lämpötila °C	Rummun nopeus %	Ilmankierto %	M2 puhallin %
1	455	74	100	78
2	490	74	100	78
3	520	74	100	78
4	520	73	100	77
5	520	73	100	77
6	510	73	100	77
7	500	72	90	76
8	490	72	90	76
9	480	72	65	75
10	465	72	50	74
11	450	72	0	74
12	440	71	0	73
13	410	70	0	72
14	400	70	0	72
15	390	70	0	69

Profiilia 12152 edeltävät profiilit 10152 ja 11152 eivät tuottaneet merkittäviä muutoksia profiili 9152:n lopputulokseen. Profiili 12152 muokattiin profiili 9152:n pohjalta, koska sen parametrien avulla päästiin lähimmäs tavoiteltua lopputulosta. Paahtimen parametria, EV12-venttiiliä, avattiin enemmän. Profiili 12152:n luomisessa mallinnettiin profiili 11152:n parametrejä, joissa oli tehty muutoksia nostamalla paahtorummun latauslämpötilaa. Taulukot 10 ja 11 kuvaavat muutoksia, joissa profiili 12152:n latauslämpötila nostettiin 190 °C asteeseen.

Taulukko 10. Profiili 12152:n perusparametrit (J. Petjoi, Henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2024).

Profiili	Rummun latauslämpötila, °C	Tuotteen loppulämpötila, °C	Esijäähdytysvesi, l	Jäähdyttäjän tyhjennyslämpötila, °C	Paahtoaika, s
12152	190	205,5	55	30	426

Taulukko 11. Profiili 12152:n paahtoparametrit (J. Petjoi, Henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2024).

Asetuspiste	T2 lämpötila °C	Rummun nopeus %	Ilmankierto %	M2 puhallin %
1	510	74	100	78
2	510	74	100	78
3	520	74	100	78
4	520	73	100	77
5	510	73	100	77
6	510	73	100	77
7	500	72	90	76
8	490	72	90	76
9	480	72	65	75
10	465	72	50	74
11	465	72	0	74
12	460	71	0	73
13	420	70	0	72
14	400	70	0	72
15	390	70	0	69

Aiemmissa profiileissa, pois lukien 11152, täyttölämpötila oli ollut 160 °C astetta. Latauslämpötilan muutoksella pyrittiin vaikuttamaan paahtokäyrän taitepisteeseen nostamalla se 101,5–104 °C asteen lämpötilaan, kun sen lämpötila on aiemmissa profiileissa jäänyt alle 100 °C asteen. Täyttölämpötilan muutos vaikuttaa myös pienentävästi rummun nopeuden muutoksiin paahtoprosessin loppua kohden. Profiilissa on nähtävissä myös muutos tuloilman T2 lämpötilassa verrattuna profiilin 9152 tuloilman lämpötilaan. Profiili 12152:n tuloilman T2 lämpötila on paahton ensimmäisen kolmanneksen alkaessa 55 °C astetta korkeampi, kuin profiili 9152:n.

Valmistustilauksesta eriytettiin yksi paahtoerä laadullisia analyyseja varten. Kahvijauhe pakattiin vakuumpakkauksiin. Erästä lähetettiin 3 näytettä ulkopuoliseen laboratorioon akryyliamidianalyysiin. Taulukko 12 kuvaa, että akryyliamidianalyysin tulokset ovat vielä liian korkeat. Akryyliamidipitoisuuden vaikutti myös kahvin resepti, joka ei ollut koeajon tapahtuessa raaka-ainepuutteen vuoksi täysin tarkoituksen mukainen. Aistinvaraisessa arvioinnissa kahvin makua kuvattiin hyväksi. Siinä oli vaalean kahvin ominainen hapokas, kevyen kukkainen maku. Kahviuomassa oli myös hyvä suutuntuma, joka toi esiin kahvin pehmeän, mutta vahvan maun. Profiili 12152 hyväksyttiin tuotantoon.

Taulukko 12 Akryyliamidianalyysin tulokset profiilista 12152

Profiilin tunnistus	Tuotteen väri pkt	Tuotteen jäännöskosteus, %	Akryyliamidipitoisuus näyte 1, µg/kg	Akryyliamidipitoisuus näyte 2, µg/kg	Akryyliamidipitoisuus näyte 3, µg/kg
12152	20,5	2,99	400	390	360

Profiili 12152:n tuotantokapasiteetti on 3100 kg/h, joka on vähemmän kuin tavoitearvo. Tästä profiilista kuitenkin on alustavasti kehitetty nopeampia versioita, mutta niiden koe-paahtot odottavat vielä puuttuvaa raaka-ainetta viimeisiin testeihin.

6.8 Tulosten analysointi

Kahvin paahton onnistumiseen vaikuttavat useat tekijät, jotka voidaan analysoida annettujen tietojen perusteella. Alla oleva taulukko 13 osoittaa, että lämpötila on olennainen

paahtoprosessissa, sillä se vaikuttaa suoraan kahvin makuprofiiliin, paahton tasaisuuteen ja lopputuotteen akryyliamidipitoisuuksiin. Esimerkiksi profiilissa 152 tuotteen loppulämpötila oli 203°C, mutta myöhemmin sitä nostettiin kokeilu mielessä profiilissa 1152 jopa 214°C asteeseen huonoin tuloksin. Myöhemmissä testeissä havaittiin, että matalammalla tuotteen loppulämpötilalla ja korkeammalla tuloilman lämpötila T2:lla pystyttiin vaikuttamaan paahtokäyrän muotoon. Esimerkiksi profiilissa 12152 lämpötilaa nostettiin heti alussa, mikä loi loivemman paahtokäyrän.

Taulukko 13. Tuloksissa vertailtujen paahtoprofiilien perusparametrit (J. Petjoi, henkilökohtainen tiedonanto 17.4.2024).

Profiili	Rummun la- tauslämpötila, °C	Tuotteen loppu- lämpötila, °C	Esijähdytys- vesi, l	Jäähdyttäjän tyhjennys- lämpötila, °C	Paahto- aika, s
152	160	203	56	36	310
1152	160	214	69	36	309
4152	160	203,5	56	36	338
9152	160	202	56	30	417
12152	190	205,5	55	30	426

Koepaahdoissa voitiin todeta, että rummun pyörimisnopeuden säätö vaikuttaa siihen, kuinka tasaisesti kahvipavut altistuvat lämmölle. Hitaampi pyörimisnopeus voi mahdollistaa tasaisemman paahtamisen, mutta voi myös pidentää paahtoaikaa ja vaikuttaa paahtohävikkiin. Profiileissa pyörimisnopeutta on säädetty, esim. profiilissa 12152 rummun nopeutta nostettiin hieman, jotta paahto olisi tasaisempaa. Ilmankierto varmistaa, että lämpö siirtyy tasaisesti paahtorummun läpi, ja se on tärkeä elementti kahvin paahtumisprosessissa. Ilmankiertoa on säädelty eri vaiheissa profiileissa, esimerkiksi profiilissa 4152 ilmankiertoa vähennettiin paahtokäyrän tietyissä vaiheissa esim. asetuspisteessä 7–15.

Esijähdytysveden määrä ja jäähdytyksen nopeus vaikuttavat kahvin makuprofiiliin ja paahtohävikkiin. Profiilissa 152 esijähdytysvesi oli 56 litraa, mutta myöhemmissä profiileissa sitä nostettiin esimerkiksi profiilissa 1152 jopa 69 litraan. Tämä auttoi vähentämään paahtohävikkiä. Paahto-aika ja sen hallinta vaikuttaa kahvin aromiin, makuun ja rakenteeseen. Esimerkiksi profiilissa 12152 paahto-aikaa pidennettiin, mikä auttoi saavuttamaan halutun makuprofiilin, vaikka lopputuotteen akryyliamidipitoisuus jäi korkeaksi.

Profiilien muokkaaminen esimerkiksi rummun latauslämpötilan, ilmankierrosta vastaavan M2-puhaltimen nopeuden ja lämpötilan hallinnan avulla vaikuttaa kahvin lopulliseen makuun ja laatuun. Profiilissa 12152 rummun latauslämpötilan nostaminen 190°C vaikutti paahtokäyrään ja näin myös lopputuotteen ominaisuuksiin. Kahvin aistinvarainen arviointi ja analyysit, kuten makuprofiilin ja aromien arviointi, ovat ratkaisevia prosessin onnistumisen arvioimiseksi. Vaikka paahtoprofiilit muokkaavat fysikaalisia ominaisuuksia, kuten väriä ja kosteusprosenttia, kahvin maku ja tuoksu ovat kriittisiä ominaisuuksia tuotteen hyväksymisessä tuotantoon. Näiden tekijöiden hallinta on keskeistä kahvin paahtoprosessin onnistumisessa, ja niiden säätäminen vaikuttaa suoraan lopputuotteen laatuun ja makuprofiiliin. Täydellinen paahto edellyttää tasapainoa näiden parametrien välillä.

6.9 Takuarvojen toteutuminen

Projektipäällikkö J. Hirkin (henkilökohtainen tiedonanto, 2.1.2025) toimeksiantona suoritettiin Brambati BR6000 paahtimen testaus, jolla todennettiin ostosopimuksessa määriteltyjen takuarvojen toteutuminen. Näytteet otettiin prosessin eri kohdista. Vertailussa olivat näytteet raakakahviseoksesta ja paahtetusta pavusta jäähdyttimen jälkeen. Testauksella varmistettiin, että Brambati BR6000 paahtin pystyy paahtamaan tavoiteltuja eräkokoja tasaisesti profiilissa 12152 määritetyillä paahtoajoilla. Paahtetun kahvin väripoikkeaman tuli olla mahdollisimman pieni. Testillä varmistuttiin myös, ettei prosessin pneumaattinen kuljetus lisää rikkoutuneiden kahvipapujen määrää.

Testaus suoritettiin näytteenotolla profiililla 12152 paahtetusta normaalista tuotantoerästä. Kunnossapitoasentaja keräsi 3 kpl 1 kg:n näytettä paahtetusta pavusta ennalta sovitusta prosessin vaiheista. Vertailunäytteeksi kerättiin vastaavat näytteet toiselta paahtolinjalta. Näytteet analysoitiin paahtimon laboratoriossa. Raakakahviseoksesta sekä paahtetusta pavusta määriteltiin rikkonaisten papujen määrä. Testi suoritettiin punnitsemalla näytettä 100 g ja manuaalisesti erottelemalla rikkonaiset pavut. Rikkonaisten papujen määrä punnittiin. Rikkonaiseksi pavuksi määriteltiin papu, josta on lohjennut palasia ja sen koko on alle 50 % ehjästä pavusta. Paahtetuista pavuista tarkastettiin silmämääräisesti paahton värin tasaisuus, joka todettiin olevan hyvä. Osa pavuista jauhettiin jauheeksi värianalyysia

varten. Taulukko 14 osoittaa, että jauhetun kahvivärissä on havaittavissa vain pientä poikkeamaa. Rikkonaisten papujen osalta voitiin todeta, että Brambati BR6000 paahtimella suoritettu paahtoprosessi ei lisännyt rikkoontuneiden papujen esiintyvyyttä. Testin tuloksena voitiin todeta takuuarvojen toteutuvan kahvin fysikaalisten ominaisuuksien osalta.

Taulukko 14 Takuuarvoanalyysin tulokset (J. Karkio, henkilökohtainen tiedonanto, 14.1.2025)

Näyte	Rikkonaisuus % raakakahviseos	Rikkonaisuus % paahtettu kahvi	Väri L* jauhettu kahvi
1	0,8	0,2	22,3
2	0,4	0,3	22,0
3	0,6	0,3	21,8

7 TULOKSET

Kahvin paahtoprofiilin kehittämisessä kohdattiin useita haasteita, jotka liittyivät halutun makuprofiilin, paahtotappioiden ja tuotantotehokkuuden saavuttamiseen. Alkuperäinen profiili 152, jolla pyrittiin saavuttamaan 4000 kg/h tuotantonopeus, ei tuottanut toivottua makua, ja kahvin ominaispaino sekä akryyliamidipitoisuus olivat korkeammat kuin tavoitearvot. Profiilin 152 muokkaukset johtivat profiileihin 1152, 2152, 3152, 4152, ja 5152, joissa muutettiin muun muassa tuloilman lämpötilaa, rummun nopeutta ja ilmankiertoa. Näistä erityisesti profiili 4152 osoittautui lupaavimmaksi, vaikka akryyliamidipitoisuudet olivat edelleen tavoitearvoa korkeampia.

Kehitystyö jatkui edelleen profiileilla 6152, 7152 ja 8152, joissa yritettiin parantaa makuprofiilia ja vähentää akryyliamidipitoisuuksia. Profiili 8152 tuotti kuitenkin kahvin, jonka makua kuvattiin ohueksi ja hapottomaksi. Viimeisessä kehitysvaiheessa luotiin profiilit 9152 ja 12152, joista erityisesti profiili 12152 onnistui parantamaan kahvin makuprofiilia, vaikka akryyliamidipitoisuudet olivat edelleen hieman tavoitearvoa korkeammat.

Profiilin 12152 tuotantokapasiteetti jäi kuitenkin alle tavoitellun, mutta se hyväksyttiin tuotantoon hyvän makuprofiilin vuoksi. Tämän profiilin pohjalta on kehitetty nopeampia versioita, mutta niiden makuprofiili ei ole vastannut tuotteelle ominaista makua. Kaiken kaikkiaan kahvin paahtoprofiilin kehittämisessä korostuu jatkuva optimointi, jossa on löydettävä tasapaino tuotantotehokkuuden, makuprofiilin ja tuoteturvallisuusvaatimusten välillä.

8 POHDINTA

Kahvin paahton onnistumiseen vaikuttaa useat eri tekijät, jotka ovat keskeisiä lopputuotteen makuprofiilin ja laadun kannalta. Paahtoprosessin kehittämistyössä tasapainoillaan makuprofiilin, tuotantotehokkuuden ja elintarviketurvallisuusvaatimuksien välillä. Työssä voitiin todeta, että lämpötila on merkittävä tekijä, joka vaikuttaa sekä makuun että akryyliamidipitoisuuksiin; esimerkiksi matalampi loppulämpötila yhdistettynä korkeampaan tuloilman lämpötilaan voi parantaa paahtokäyrän muotoa. Rummun pyörimisnopeus ja ilman kierto vaikuttavat paahton tasaisuuteen ja paahtohävikkiin, kun taas esijähdytysveden määrä ja paahto aika vaikuttavat paahtohävikkiin, makuprofiiliin ja aromiin. Näiden parametrien huolellinen säätö on välttämätöntä täydellisen paahtotuloksen saavuttamiseksi. Jokaisen paahtoprofiiliin tehtävän muutoksen vaikutus on kuitenkin arvioitava huolellisesti, sillä esimerkiksi tuotantonopeuden kasvattaminen voi heikentää makua tai lisätä haitallisten yhdisteiden, kuten akryyliamidin, pitoisuuksia.

Kahvin paahtoprofiilin kehittämisessä kohdattiin useita haasteita, jotka liittyivät halutun makuprofiilin saavuttamiseen, paahtohävikin hallintaan ja tuotantotehokkuuden optimointiin. Alkuperäisellä profiililla 152 ei saavutettu toivottuja tuloksia; tuotantonopeus pysyi korkeana, mutta kahvin maku, ominaispaino ja akryyliamidipitoisuudet eivät olleet tavoitetasolla. Tämän jälkeen testattiin useita muokattuja paahtoprofiileja (1152–12152), joissa pyrittiin parantamaan makuprofiilia ja vähentämään akryyliamidipitoisuuksia.

Profiili 4152 osoittautui lupaavimmaksi, mutta akryyliamidipitoisuudet pysyivät edelleen korkeina. Profiilissa 12152 saavutettiin paras kompromissi makuprofiilin ja tuotantotehokkuuden välillä, vaikka tuotantokapasiteetti jäikin alle tavoitellun. Tästä huolimatta profiili hyväksyttiin tuotantoon hyvän makunsa ansiosta, ja sen pohjalta jatketaan kehitystyötä kohti nopeampia versioita. Samalla kehitystyötä karsinogeenien vähentämiseksi jatketaan edelleen.

Tässä työssä voitiin todeta, että paahtoprofiilin kehitys vaatii jatkuvaa optimointia ja testailua, koska pienilläkin muutoksilla voi olla suuri vaikutus lopputuotteeseen. Paahtoprofiilien kehitystyö vaatii pitkäjänteisyyttä ja iteratiivista lähestymistapaa, jotta voidaan saavuttaa

sekä laadulliset että tuotannolliset tavoitteet. Tämä prosessi voi olla aikaa vievä, mutta se on välttämätön.

LÄHTEET

- Bagdonaite, Kristina; Derler, Karin & Murkovic, Michael. (2008). Determination of acrylamide during roasting of coffee. *Journal of agricultural and food chemistry*. 56(15), 6081–6086. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf073051p>
- Brambati S.p.A. (2024). Tailor-made technology, led by innovation. https://www.brambati.it/en/about/company_profile
- Brambati S.p.A. (i.a.). *Brambati roaster BR6000* [valokuva]. <https://www.brambati.it/it/plants/coffee>
- Meira. (8.12.2023). *BR22s Advanced specialty. Käyttäjän ohjekirja*. Haettu 12.3.2025. Meiran intranet.
- Meira. (8.12.2023). *Paahtokäyrä* [valokuva]. BR22s Advanced specialty. Käyttäjän ohjekirja.
- Clarke, R.J., & Macrae, R. (1988). *Coffee volume 2: Technology*. Springer, (s. 253).
- Eurofins Scientific. (i.a.). *Akryyliamidi*. <https://www.eurofins.fi/elintarvikkeet-ja-rehut/elintarvikeanalyysit/orgaaniset-vierasaineet/akryyliamidi/>
- Euroopan parlamentin direktiivi (2006/42). Direktiivi koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0042>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (1935/2004). Asetus elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista ja direktiivien 80/509/ETY ja 89/109/ETY kumoamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=celex:32004R1935>
- Friedman, M. (2003). Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16), 4508-4510. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf030204%2B>
- Galanakis, C.M. (2017). Handbook of coffee processing by-products. Sustainable Applications. (s. 7). Academic Press.

- Haga, C. (2021). *Kahvin paahtoprofiilin optimointi akryyliamidipitoisuuden vähentämiseksi* [AMK-opinnäytetyö, Metropolia ammattikorkeakoulu]. Theseus.
<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021053012503>
- Hoffman, J. (2018). *The world atlas of coffee: From beans to brewing – coffee explored, explained and enjoyed*. Mitchell Beazley. (s. 56).
- Hoos, R. (2015). *Modulating the flavor profile of coffee: One roaster's manifesto*. Rob Hoos.
- Hunterlab. (2023). *Measuring color using hunter L, a, b versus CIE 1976 L*a*b* - AN-1005b*. <https://support.hunterlab.com/hc/en-us/articles/204137825-Measuring-Color-using-Hunter-L-a-b-versus-CIE-1976-L-a-b-AN-1005b> Luettu 14.1.2025.
- International agency for research on cancer (IARC). (1994). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Some industrial chemicals. Vol. 60, IARC. (s. 389-433)
- Illy, A., & Viani, R. (2005). *Espresso coffee: The science of quality*. (s. 273). Elsevier.
- Kahvi- ja paahtimoyhdistys. (i.a.). *Kahvin tie pavusta pakkaukseen*.
https://www.kahvi.fi/kahvin-matka/kahvin-tie-pavusta-pakkaukseen.html?utm_source=chatgpt.com
- Kingston, L. (2015). *Näin syntyy kahvi: Tiedettä pavusta*. Like Kustannus.
- Kofihana. (2019). *Roast profiles and why they matter*.
<https://medium.com/@kofihana/roast-profiles-and-why-they-matter-3cf74b4a6e00>
- Lingle, T. R. (2011). *The coffee cupper's handbook*. Specialty coffee association of America.
<https://static1.squarespace.com/static/587af1d4db29d69a1a226b95/t/60cbcc1052eac94fe8487a39/1623968786983/CUPPERS+HANDBOOK+01-12-2015.pdf>
- Meira. (i.a.). *Vahvasti kotimainen, isosti kansainvälinen*. <https://meira.fi/yritys/>
- Mettler Toledo. (i.a.). *Moisture analyzers*.
https://www.mt.com/int/en/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/moisture-analyzers/moisture-analyzer.html
- Miltton. (2023). *Suomalaisten suosikkikahveja paahdetaan pian uudella koneella – Meiran paahtokoneinvestointi useita miljoonia euroja*. Verkkoaineisto.
<https://news.cision.com/fi/miltton/r/suomalaisten-suosikkikahveja-paahdetaan-pian-uudella-koneella---meiran-paahtokoneinvestointi-useita-,c3827431>

- Nieminen, P. & Puustinen, T. (2014). *Kahvi: Suuri suomalainen intohimo*. (s. 165–170).
- PSC Biotech. (2024). *The Difference between commissioning, qualification and validation*. Verkkoaineisto. <https://biotech.com/2024/05/27/difference-between-commissioning-and-qualification/> Luettu 5.3.2025.
- Rao, S. (2014). *The Coffee Roaster's companion*. Verkkoaineisto. Scott Rao. <https://pdfcoffee.com/the-coffe-roasters-companion-5-pdf-free.html>
- Ruokavirasto. (2023). *Akryyliamidi elintarvikkeissa*. Verkkoaineisto. https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/vierasaineet-ja-jaamat/vierasaineet/akryyliamidi/?utm_source=chatgpt.com Luettu 20.3.2025
- Specialty Coffee Association* (SCA). (2023). *The Science of Coffee Roasting*. Verkkoaineisto. SCA Resources.
- Specialty Coffee of America* (SCAA). (i.a.). *Green Coffee Classification and Grading*. Verkkoaineisto. <https://www.fao.org/4/x6939e/x6939e13.htm>
- Yoong, K. (2021). *Coffee Roasting Basics: A Guide to First & Second Crack*. Verkkoaineisto. MTPak Coffee. <https://mtpak.coffee/2021/02/coffee-roasting-basics-guide-to-first-second-crack/> Luettu 16.5.2024.
- Özdemir, D., & Devres, Y. (2000). *Analysis of acrylamide in coffee by gas chromatography*. *Food Chemistry*, 73(3), s. 333–338.