

Hunajan kuivausmenetelmät

TkK-tutkielma
Turun yliopisto
Bioteknologian laitos
Biotekniikka
Huhtikuu 2024
Tiia Tiusanen

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä

TURUN YLIOPISTO
Bioteknologian laitos
TIIA TIUSANEN: Hunajan kuivausmenetelmät
TkK-tutkielma, 20 s.
Biotekniikka
Huhtikuu 2024

Tutkielmassa perehdytään elintarvikkeisiin soveltuviin kuivausmenetelmiin, joita ovat sumukuivaus, pakastekuivaus, vakuumikuivaus ja mikroaalto-vakuumikuivaus. Tutkielman kohteena oli hunaja, ja kuinka siitä valmistetaan jauhetta sekä minkälainen laitteisto vaaditaan jokaiseen kuivausmenetelmään. Hunajajauhe mahdollistaa hunajan laajemman käytön erilaisissa sovelluksissa, jolloin siitä hyöttyy erilaiset yritykset ja myös tavalliset kuluttajat. Tutkielmassa tarkoituksena oli perehtyä olemassa oleviin kuivausmenetelmiin ja niiden avulla tuotettuun hunajajauheeseen.

Sumukuivauksessa hyödynnetään kaasun osapainetta sekä liuottimen höyrynpaineen eroa ja pakastekuivauksessa sublimaatiota. Vakuumikuivauksessa lasketaan matalan paineen avulla veden kiehumispistettä, jolloin voidaan käyttää alhaisempia lämpötiloja kuivauksen aikana. Mikroaalto-vakuumikuivaus toimii samalla periaatteella kuin vakuumikuivaus mutta siinä mikroaallot tehostavat veden haihtumista.

Jokainen kuivausmenetelmä tuottaa matalan vesipitoisuuden jauhetta, ja menetelmillä ei ole havaittu suurta vaikutusta jauheen kemiallisiin ominaisuuksiin. Matala vesipitoisuus vaikuttaa jauheen säilyvyyteen, koska mikro-organismit eivät pääse fermentoimaan. Jauheiden ominaisuudet riippuvat kuivatettavan hunajan ominaisuuksista. Hunajaa ei voida vielä kuivata ilman esikäsitteilyä sen kemiallisen koostumuksen vuoksi, vaan hunajaan on lisättävä apuaineita. Apuaineet vähentävät hunajan osuutta jauheessa, jolloin lopputuote ei ole 100 % hunajaa. Koska menetelmät kehittyvät jatkuvasti, tulevaisuudessa hunajajauheen valmistus voi olla helpompaa ja hunajapitoisuus jauheissa todennäköisesti kasvaa.

Avainsanat: hunaja, hunajajauhe, sumukuivaus, vakuumikuivaus, pakastekuivaus

Sisälllys

1	Johdanto	2
2	Mitä hunaja on?.....	3
2.1	Hunajan ominaisuudet.....	3
3	Kuivausmenetelmät.....	5
3.1	Sumukuivaus.....	5
3.1.1	Sumutus.....	6
3.1.2	Jauheen muodostus	7
3.1.3	Jauheen keräys	8
3.2	Pakastekuivaus	9
3.3	Vakuumikuivaus.....	12
3.3.1	Mikroaalto-vakuumikuivaus	13
4	Hunajajauheen ominaisuudet	15
4.1	Laatu	16
4.2	Käyttö raaka-aineena.....	16
5	Yhteenveto	18
6	Lähteet.....	19

1 Johdanto

Hunaja on luonnontuote, jota hyödynnetään käytännössä kaikkialla maailmalla sen arvokkaiden ominaisuuksien vuoksi. Sitä on käytetty elintarvikkeena ja lääkkeenä tuhansien vuosien ajan. Nykypäivänä tunnetaan jo noin 300 eri hunajalajia, jotka ovat muodostuneet, kun mehiläiset keräävät mettä monesta eri lähteestä. Hunaja koostuu pääasiassa monosakkarideista mutta sisältää lisäksi proteiineja, vitamiineja, aminohappoja ja monia muita yhdisteitä. (Samarghandian ja muut 2017.)

Hunajan ominaisuudet, kuten viskositeetti, vesipitoisuus ja tahmaisuus, voivat aiheuttaa vaikeuksia hunajan hyödyntämisessä. Nämä ongelmat voidaan ratkaista käyttämällä kuivattua hunajaa eli hunajajauhetta. Hunajajauheella on sen ominaisuuksiensa vuoksi paljon potentiaalia eri teollisuuden aloilla. Sen vuoksi hunajaa kuivataan erilaisilla kuivausmenetelmillä. (Umesh Hebbar ja muut 2008.) Laadukkaassa hunajajauheessa prosessointi ei ole vaikuttanut merkittävästi esimerkiksi hunajan väriin, makuun tai aminohappokoostumukseen. Jauhemaista hunajaa on myös helpompi käsitellä kuin kiteytynyttä tai nestemäistä hunajaa.

Hunajan prosessoinnilla on tärkeä merkitys hunajan ominaisuuksiin, koska oikeanlaisella käsittelyllä saadaan säilytettyä hunajasta saatavat hyödyt. Hunajan prosessointi on todellisuudessa monimutkainen prosessi, jossa jokaisessa prosessointivaiheessa on otettava huomioon käsiteltävän hunajan fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet. (Baglio 2018.)

Tutkielmassa käsitellään hunajan koostumusta ja ominaisuuksia sekä tutustutaan elintarviketeollisuudessa tunnettuihin kuivausmenetelmiin, joita ovat sumu-, pakaste-, vakuumi- ja mikroaalto-vakuumikuivaus. Tutkielmassa perehdytään menetelmien avulla saatavaan hunajajauheeseen ja sen ominaisuuksiin sekä käyttökohteisiin. Koska hunaja voi koostua monien eri kasvilajien medestä, pyritään tutkielmassa vertailemaan eri hunajien ominaisuuksia.

Hunajan kuivausmenetelmiä on tärkeä tutkia, jotta saadaan parametreja muuttamalla mahdollisimman hyvä saanto sekä säilytettyä halutut ominaisuudet kuten väri ja maku. Hunajan muuttaminen jauheeksi parantaa sen säilyvyyttä, pienentää varastotilaa sekä sitä on helpompi puhdistaa ja käsitellä (Cui ja muut 2008.)

2 Mitä hunaja on?

EU-direktiivi (2001/110/EC) määrittelee, että hunaja on luonnostaan makea tuote, jota tuottaa *Apis mellifera* eli tarhamehiläinen. *A. mellifera* on pääasiallinen laji, mutta sen alalajeja ja risteymiä voidaan myös hyödyntää hunajan tuotannossa. Hunajaa tuotetaan kasvien medestä ja kasvien elävien osien eritteestä. Mehiläinen sekoittaa keräämäänsä meteen omia erityisiä aineita, säilöö, kuivaa, varastoi ja jättää valmiin hunajan mehiläisyhdyskuntaan ravinnoksi. Lisäksi mehiläisten käyttäytyminen vaihtelee esimerkiksi ympäristön ja lajin vuoksi. Osa mehiläisistä suosii vain tiettyjen kasvien mettä, mutta pääosa mehiläisistä kerää kuitenkin mettä useista eri lähteistä. Mehiläiset keräävät mettä ravinnokseen. (Wright ja muut 2018.)

Mesi koostuu pääasiassa kolmesta sokerista, joita ovat glukoosi, fruktoosi ja sakkaroosi. Näiden sokerien määrät vaihtelevat kasvilajin mukaan. Yleisesti mehiläiset suosivat mettä, jossa sokerikonsentraatio on 30–50 %. Mesi sisältää alhaisina pitoisuuksina myös aminohappoja. Näillä aminohapoilla saattaa olla vaikutusta meden makuun, mikä vaikuttaa puolestaan siihen, kuinka mehiläiset tunnistavat erilaisia kasveja. (Wright ja muut 2018.)

Kun mehiläinen palaa pesään meden kanssa, se luovuttaa keräämänsä meden toiselle mehiläiselle, jonka tehtävänä on varastoida mesi hunajakennossa olevaan soluun. Meden liikuttelu kennon solujen välillä on tärkeä osa hunajan muodostumisessa. Siirtämisvaiheessa mehiläisen kurkun alapäässä olevista rauhasista erittyy meden joukkoon entsyymiä, joka pilkkoo meden sakkaroosin kahdeksi yksinkertaisemmaksi sokeriksi. Samaan aikaan vesi haihtuu sokeripitoisuuden lisäämiseksi. Hunajan kypsymiseen vaikuttavat erilaiset parametrit, kuten pesän koko, käytettävissä olevien solujen määrä kennossa, pesän kosteus, ilmasto-olosuhteet ja kasvitieteellinen alkuperä, joka määrää meden sokeripitoisuuden. Nämä tekijät ja niiden vuorovaikutukset vaikuttavat hunajan lopulliseen kypsymisaikaan, joka voi vaihdella 1–11 päivän välillä. (Eyer ja muut 2016.)

2.1 Hunajan ominaisuudet

Hunajan ominaisuudet voidaan jakaa fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Kemiallisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi sokeri- ja vesipitoisuus, aminohapot,

entsyymiaktiivisuus, vitamiinit, polyfenolit ja muut pienet yhdisteet. Fysikaalisia ominaisuuksia puolestaan ovat muun muassa viskositeetti, tiheys, väri ja rakenne. Hunajan ominaisuuksiin vaikuttavat useat tekijät, joita ovat mehiläisten laji, kasvien laji sekä ilmasto. (Carvalho ja muut 2009.)

Hunajalle ominaista on, että vesipitoisuus on alle 20 % ja sokeripitoisuus yli 80 % (Wright ja muut 2018). Hunajan sokereista suurin osa on monosakkarideja, kuten fruktoosia 27-40 % ja glukoosia 20-40 % (Bobiş ja muut 2018). Myös niiden suhde hunajassa vaikuttaa hunajan ominaisuuksiin. Esimerkiksi hunaja kiteytyy helposti, jos se sisältää paljon glukoosia. Jos taas fruktoosipitoisuus on suuri, hunaja pysyy nestemäisenä mutta voi pitkällä aikavälillä myös kiteytyä. (Baglio 2018.)

Kiteytymisessä hunajaan muodostuu kiteitä, jotka ovat lähtöisin glukoosista. Kiteet voivat olla eri kokoisia ja muotoisia. Myös suuri vesipitoisuus hunajassa edesauttaa kiteiden muodostumista. Kiteytymisen aikana kiteet kasvavat ja hunajasta tulee paksumpaa. Toisin sanoen hunajan viskositeetti kasvaa. (Dettori ja muut 2018.)

Hunaja sisältää myös mehiläisten sylkirauhasista peräisin olevia entsyymejä. Nämä entsyymit ovat esimerkiksi glukoosioksidaaseja, jotka muuttavat pieniä määriä glukoosia glukonihapoksi ja vetyperoksidiksi. Vetyperoksidi ja alhainen pH parantavat hunajan antibioottisia ominaisuuksia, mikä parantaa hunajan parantavia vaikutuksia. Myös monet muut pienet yhdisteet vaikuttavat hunajan väriin, aromaaniin ja makuun. (Wright ja muut 2018.)

Hunajan väri on fyysinen ominaisuus, johon kuluttaja kiinnittää ensimmäisenä huomiota. Hunajan väriin vaikuttavat fenolisten yhdisteiden lisäksi muun muassa mineraalit ja siitepöly. On myös havaittu, että kiteytyneessä hunajassa kiteiden muoto ja koko saattavat vaikuttaa väriin, koska ne vaikuttavat valon heijastumiseen. (Dettori ja muut 2018.)

3 Kuivausmenetelmät

Hunajan kuivausmenetelmillä tarkoitetaan tapoja, joilla nestemäisestä hunajasta saadaan valmistettua jauhemaista hunajaa. Hunajajauhe tarjoaa uusia käyttökohteita elintarvike- ja lääketieteellisyydessä, koska hunajajauheessa ei ole korkeaa viskositeettia ja tiheyttä. Hunajajauheen tuotto on kuitenkin vaikeaa sen kemiallisen koostumuksen vuoksi, koska se sisältää suuret pitoisuudet sokereita ja orgaanisia happoja. Kuivaamisen aikana paljon sokereita sisältävät aineet voivat jäädä siirappiseksi tai kiinnittyä laitteen seinämiin kiinni, mikä johtaa siihen, että ei saada jauhemaista tuotetta. Hunajajauheen tulisi myös säilyttää ravitsemukselliset ominaisuudet, jotta hunajan terveydelliset vaikutukset pysyvät. Hunajajauheen valmistus vaatii esikäsitteilyä. Niihin liittyy erilaisia parametreja, kantajia sekä apuaineita, jotka auttavat kuivauksessa. (Samborska 2019.)

3.1 Sumukuivaus

Sumukuivaus on vähäkustanteinen, toistettava ja helposti laajennettava menetelmä, jota käytetään laajalti nestemäisten elintarvikkeiden muuttamiseen jauheiksi. Sumukuivaus on paljon kustannustehokkaampi kuin pakaste- tai vakuumikuivaus, koska sillä voidaan käsitellä suuria tilavuuksia ja energian kulutus on vähäistä. Sumukuivauksen ominaisuuksiin kuuluu lyhyt kuivausaika ja nopea haihdutus, jolla on viilentävä vaikutus. Siksi sitä voidaan hyödyntää lämpöherkille materiaaleille. (Samborska 2019.)

Sumukuivauksessa on tärkeää hallita vaiheita tarkkaan, jotta saadaan haluttu lopputulos. Prosessin parametreilla on suuri osuus tuotteen laatuun. Prosessissa tulee ottaa huomioon esimerkiksi ilman lämpötila, jota syötetään laitteeseen. Tuotteen kosteuspitoisuuden vaikutetaan puolestaan materiaalin syöttönopeudella. Sumukuivaukseen vaikuttaa myös se, onko kuivattava materiaali tahmea vai ei. Tahmeita materiaaleja ovat paljon sokereita ja orgaanisia happoja sisältävät tuotteet, kuten hedelmämehut ja hunaja. Ei-tahmeiden aineiden sumukuivaus on paljon helpompaa kuin tahmeiden. Jotta onnistutaan valmistamaan jauhetta tahmeista aineista, käytetään apuaineita, joissa on suuri molekyylipaino. Sellainen apuaine on esimerkiksi maltodekstriini. (Tan ja muut 2011.)

Hunaja vaatii siis esikäsitteilyä ennen kuin sitä voidaan kuivata. Maltodekstriinin lisäksi voidaan käyttää kuivausainemateriaaleina arabikumia, tärkkelystä, gelatiinia, kaseiinia ja pektiiniä. Kaikkia näitä aineita yhdistää se, että ne ovat vesiliukoisia ja niillä on suuri

moolimassa. (Samborska, Langa, ja muut 2015; Tanuğur Samanci ja Samanci 2022) Suuren moolimassan aineen lisääminen nostaa hunajan käsittelylämpötilaa ja mahdollistaa sen kuivaamisen lasimaiseen rakenteeseen (Samborska ja muut 2019). Esimerkiksi gelatiini on väritöntä ja hajutonta, jolloin se ei aiheuta hunajajauheen ominaisuuksiin muutoksia. Myös esimerkiksi maltodekstriinillä on positiivisena ominaisuutena sen mauttomuus. Hunajan ja kuivausaineen hyvänä suhteena voidaan pitää 50/50. Suhde voi kuitenkin vaihdella sen mukaan, mitä hunajaa halutaan kuivattaa ja mitä apuainetta hyödynnetään. Seuraavaksi hunajan sekaan lisätään tislattua vettä niin paljon, että saadaan viskositeetin arvoksi 15–20 mPa·s. (Tanuğur Samanci ja Samanci 2022.)

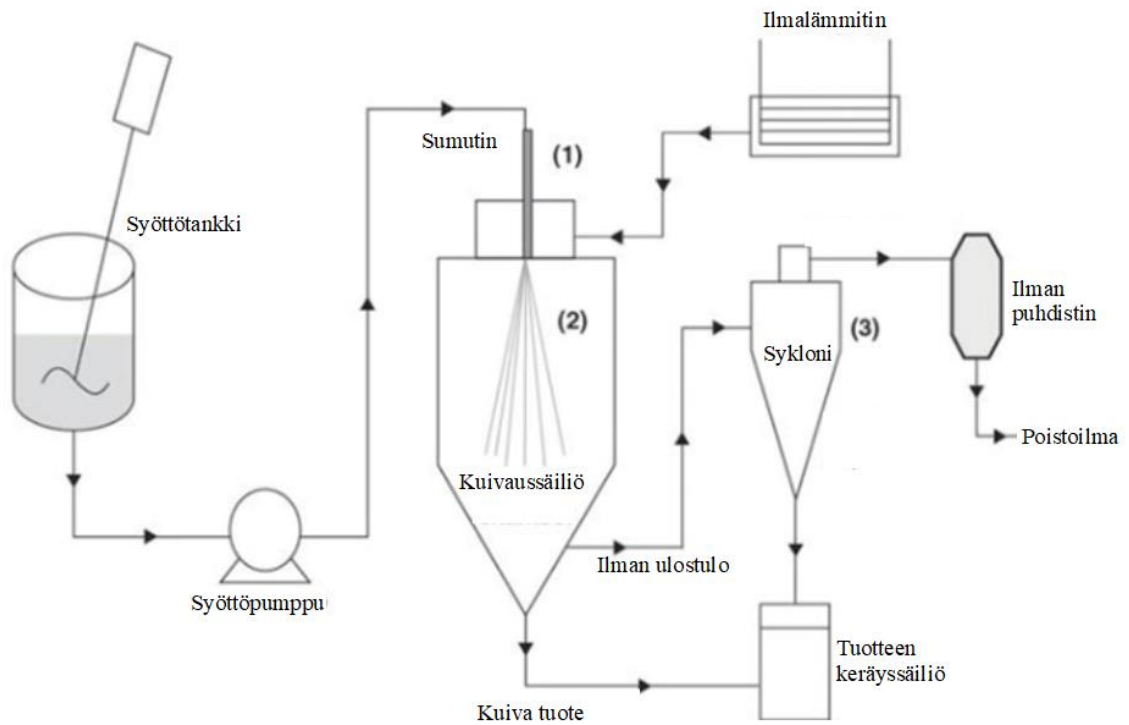
3.1.1 Sumutus

Sumukuivaus koostuu pääasiassa kolmesta vaiheesta, joita ovat sumutus, jauheen muodostaminen ja sen kerääminen. Syöttötankissa on käsiteltävä liuos, jota pumpataan syöttöpumpun avulla sumuttimelle. Sumutuksessa on tärkeää, että kammioon syötettävä liuos muuttuu pieniksi pisaroiksi, koska näin saadaan maksimoitua kosketuspinta-ala kuuman kuivauskaasun ja pisaroiden kanssa. Sumuttimia on monenlaisia, ja ne vaihtelevat sen mukaan, millaiset ovat tuotteen halutut ominaisuudet sekä liuoksen luonne. Esimerkkejä sumuttimista ovat pyörivä, hydraulisuutin ja pneumaattinen sumutin. (Santos ja muut 2017.) Lisäksi erilaiset sumuttimet määrittävät vaaditun energiamäärän ja vaikuttavat pisaroiden kokoon, lentorataan sekä nopeuteen. Sumutin vaikuttaa myös käytettävään kuivaussäiliöön. (Mujumdar 2020.)

Pyörivässä sumuttimessa on vaakatasossa oleva pyörä tai levy, jonka keskelle ohjataan syöttötankista tulevaa liuosta. Pyörimisliikkeestä aiheutuva voima kiihdyttää liuoksen levyn reunaan muodostaen pisarasuihkeen. Sumuttimen levyssä on tavallisesti uria, jotka mahdollistavat paremman hallinnan liuoksen dispersiossa. Hydraulisuutin sumuttimessa liuos johdetaan putken läpi, jonka halkaisija pienenee vähitellen. Tämä luo painetta liukseen. Liuos tulee ulos pienestä suuttimen aukosta suurella nopeudella ja samalla sen paine häviää, joka saa aikaan liuoksen hajoamisen pieniksi pisaroiksi. Pneumaattisessa sumuttimessa kaksi faasia syötetään suuttimeen, ja faasien välinen kitka liuoksen pinnalla saa sen hajoamaan pisarapilveksi. Liuoksen lisäksi toinen faasi on yleensä jokin kaasu. (Santos ja muut 2017.)

3.1.2 Jauheen muodostus

Sumutuksen jälkeen on vuorossa jauheen muodostusvaihe. Pisarat altistuvat kuumalle kaasulle kuivaussäiliössä, jossa suuri osa kosteudesta haihtuu. Kaasuna käytetään usein kuumennettua ilmaa mutta jossain tapauksissa jokin muu inertti kaasu on parempi vaihtoehto. Kuivaussäiliön koko ja muoto riippuvat käytetystä sumuttimesta ja tuotteeseen halutuista ominaisuuksista. Vaikka säiliöitä on erilaisia, niiden tulisi kuitenkin olla niin suuria, että pisarat ehtivät kuivumaan ennen kuin ne osuvat säiliön seinämiin. Suurin osa säiliöistä ovat lieriön muotoisia ja alaosasta löytyy käänteinen kartio kuten kuvassa 1 on esitetty. (Santos ja muut 2017.)



Kuva 1. Sumukuivauslaitteisto, muokattu kohteesta Santos ja muut 2017.

Säiliössä esiintyy erilaisia virtauskuvioita kuumen kaasun ja pisaroiden välillä. Virtauksia ovat myötä-, vasta- ja sekavirtaus. Myötävirtauksessa sumu ja kaasu tulevat sisään säiliön yläosasta ja kulkevat samaan suuntaan. (Patel ja muut 2019.) Jauhe tippuu kammion pohjalle, mistä se vapautetaan kaasun kanssa. Tässä virtauksessa kaasu ei ehdi siirtämään lämpöenergiaa ympäristöön, jolloin pisaroiden lämpötila on korkeimmillaan säiliön sisällä. (Santos ja muut 2017.) Vastavirtauksessa sumu ja kaasu tulevat säiliön vastakkaisista päistä eli sumu ylhäältä ja kaasu alhaalta (Patel ja muut 2019). Tämä

virtaus on tehokas, koska ylöspäin menevä virtaus vähentää alaspäin menevän sumun nopeutta, jolloin voidaan pidentää sumun aikaa säiliössä. Toisin kuin myötävirtauksessa, vastavirtauksessa lämpöä vapautuu ympäristöön, ja se aiheuttaa jauheen lämpenemisen. Jauhe vapautetaan pohjalta ja kaasu yläpäästä. (Santos ja muut 2017.)

Sekavirtauksessa puolestaan hyödynnetään myötä- ja vastavirtausta. Liuosta sumutetaan kammion pohjalta ja kaasua syötetään ylhäältä. (Patel ja muut 2019.) Sumu kulkee ensin ylöspäin mutta vaihtaa suuntaansa kaasun virtauksen vaikutuksesta alaspäin. Näin saadaan maksimoitua aika, jonka sumu viettää säiliössä. Jauhe ja kaasu poistuvat kammion alaosasta. (Santos ja muut 2017.) Myös tässä virtauksessa jauhe lämpenee kaasun vaikutuksesta, jolloin ideaalisin virtaus hunajaa kuivatessa olisi myötävirtaus, koska lämpö voi vaikuttaa hunajan ominaisuuksiin. Toisaalta myötävirtauksessa hunajasumu viettää lyhimmän ajan säiliössä, joka voi vaikuttaa jauheen vesipitoisuuteen ja kuivumisen onnistumiseen.

Kaasun vuorovaikutus pisaroiden kanssa aiheuttaa liuottimen haihtumisen, jonka seurauksena pisarat tiivistyvät jauheeksi. Haihtuminen selittyy kaasun osapaineen ja liuottimen höyrynpaineen erosta. Kaasun korkea lämpötila aiheuttaa lämmön siirtymisen kaasusta pisaraan. Tämä puolestaan saa aikaan kosteuden siirtymisen pisaroista ympäröivään kaasuun ja jäljelle jää kuivia hunajapartikkeleita. (Santos ja muut 2017.)

3.1.3 Jauheen keräys

Jauheen keräys jaetaan kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa kerätään säiliön kartiomaiseen pohjaan kerääntynyt jauhe. Toisessa osassa kerätään ilmassa leijuvat pienimmät hiukkaset, jotka siirretään ilman mukana toiseen laitteistoon. Laitteisto voi olla esimerkiksi syklonierotin. Syklonierotin perustuu pyörimisliikkeessä ulospäin suuntautuvaan voimaan. Pieniä hiukkasia sisältävä ilma syötetään syklonin yläosaan, josta se suuntautuu alaspäin ja luo samalla pyörivän virtauksen. Pyörimisliikkeen avulla hiukkaset saadaan syklonin seinämiin, josta ne valuvat pohjalle sijoitettuun keräyssäiliöön. Hiukkasia sisältänyt ilma poistuu sisäisen pyörteen avulla syklonin yläosasta. (Santos ja muut 2017.)

3.2 Pakastekuivaus

Pakastekuivaus, josta käytetään myös nimiä pakkas- ja kylmäkuivaus, on menetelmä, jossa elintarvikkeessa oleva vesi jäädytetään jääksi ja sublimoidaan matalan paineen avulla. Sublimoinnissa vesi muuttuu olomuotoaan kiinteästä suoraan kaasuksi. Tämä on mahdollista, kun tiedetään veden kolmipisteen olosuhteet. Kolmipiste tarkoittaa sitä kohtaa, jossa vesi voi esiintyä kiinteänä, nesteinä tai kaasuna. Faasienvaihto tapahtuu lämpötilaa ja painetta muuttamalla. Veden kolmipisteessä lämpötila on 0.01 °C ja paine 610 Pa. Jotta vesi saadaan jäätyneeseen, on pakastekuivaussäiliössä lämpötilan oltava vähintään -25 °C ja paineen 64-124 Pa:n alueella. Pakastekuivauksessa paine pidetään vakiona ja lämpötilaa nostetaan syöttämällä lämmintä ilmaa. Lämpötilan nosto saa aikaan veden faasimuutoksen kiinteästä kaasuksi. (Needham 2000; Nowak ja Jakubczyk 2020.)

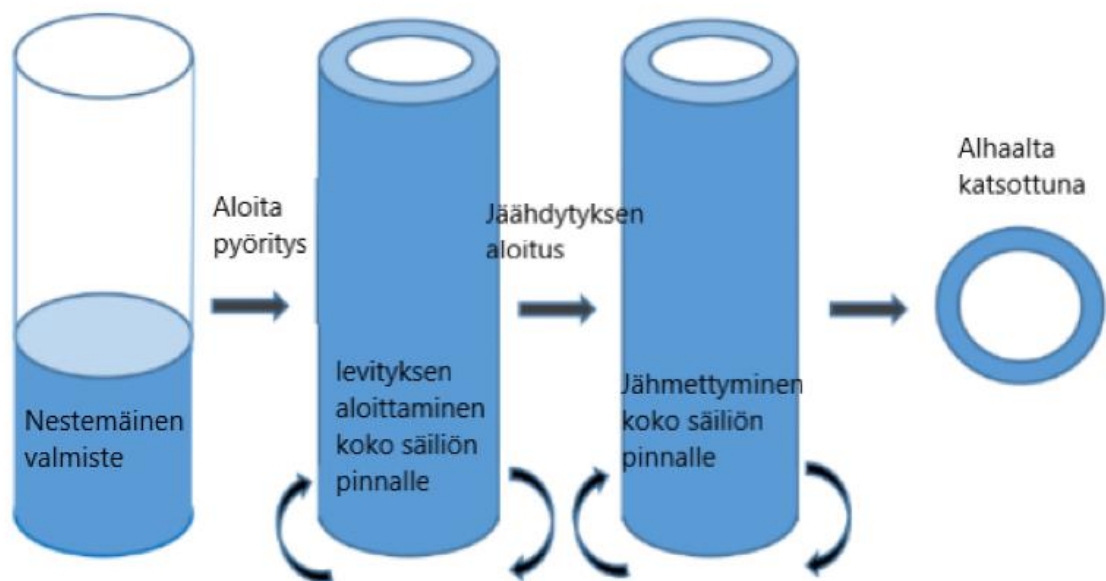
Menetelmän avulla voidaan säilyttää esimerkiksi kuivatettavan materiaalin ominaisuuksia, joita ovat maku, haju ja ravinteet. Tämä on mahdollista, koska veden jäädyttäminen estää muun muassa biokemiallisia prosesseja tapahtumasta. Menetelmän tavoitteena on jäädyttää materiaalissa oleva vapaa sekä sidottu vesi. Normaalisti sidottu vesi ei jäädy mutta eri tekijöillä ja monilla vaiheilla myös sidottu vesi saadaan jäädytettyä. (Nowak ja Jakubczyk 2020.)

Pakastekuivauksella tuotetun jauheen hinta riippuu pääasiassa menetelmän kestosta. Sen vuoksi menetelmässä käytettävät parametrit ja olosuhteet pyritään valitsemaan niin, että kesto saadaan mahdollisimman lyhyeksi. Parametrien lisääminen voi kuitenkin vaikuttaa tuotteen ominaisuuksien heikkenemiseen. Menetelmässä tärkeää on myös välttää veden sulaminen, koska nestemäisessä muodossa oleva vesi aiheuttaa muutoksia koostumukseen ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. (Nedic ja muut 2020.)

Hunajan pakastekuivaaminen vaatii hunajan esikäsitteilyä. Lämpö on usein käytetty keino, jolla voidaan alentaa hunajan viskositeettia sekä sulattaa jo kiteytynyt hunaja. Kuumennus voi kuitenkin aiheuttaa hunajan lämpöherkkien aineiden kuten aromaattisten yhdisteiden häviämistä, joka taas vaikuttaa suoraan jauheen laatuun. Aineiden häviämiseen voidaan vaikuttaa käytetyllä lämpötilalla ja lämmitysajalla. (Nedic ja muut 2020.) Pakastekuivauksessa hunaja yleensä vaatii myös apuaineen, joka on esimerkiksi maltodekstriini. Sitä ei kuitenkaan tarvita niin paljon kuin sumukuivauksessa. Maltodekstriinin ja hunajan hyvänä suhteena pidetään 25 % maltodekstriiniä ja 75 % hunajaa. (Nowak ja Jakubczyk 2020.)

Pakastekuivaus koostuu pääasiassa kolmesta vaiheesta, jotka ovat jäädyttäminen, ensisijainen ja toissijainen kuivaus. Menetelmä on hidas verrattuna sumukuivaukseen, koska koko kuivausprosessi voi kestää jopa vuorokauden. Pakastekuivauksessa lämpötilan hallinta on erittäin tärkeää, koska sen säätelyllä voidaan vaikuttaa kuivausaikaan. Menetelmässä on tärkeää pitää jatkuvasti yllä matalaa lämpötilaa ensisijaisen kuivauksen aikana, jotta veden poistaminen sublimaatiolla onnistuu. (Nowak ja Jakubczyk 2020.)

Ensimmäisessä vaiheessa kuivattava materiaali jäädytetään. Jäädyttäminen pysäyttää kaiken aktiivisuuden ja estää aineen vaahtoamisen paineen alentamisen aikana pakastekuivaussäiliössä. Menetelmässä jäätyminen nopeus on erittäin tärkeää, koska sillä voidaan vaikuttaa jääkristallien kasvuun, jotka puolestaan vaikuttavat ensisijaiseen ja toissijaiseen kuivaamiseen. Jäädyttämistä voidaan edistää esimerkiksi sumuttamalla nestemäistä materiaalia nestetyypeen tai kuvan 2 esittämällä tavalla, jossa pyörittämällä materiaalia sylinterin muotoisessa astiassa, sylinterin seinämiin saadaan muodostettua ohut ja tasapaksuinen kerros kuivattavaa materiaalia. (Nowak ja Jakubczyk 2020.)

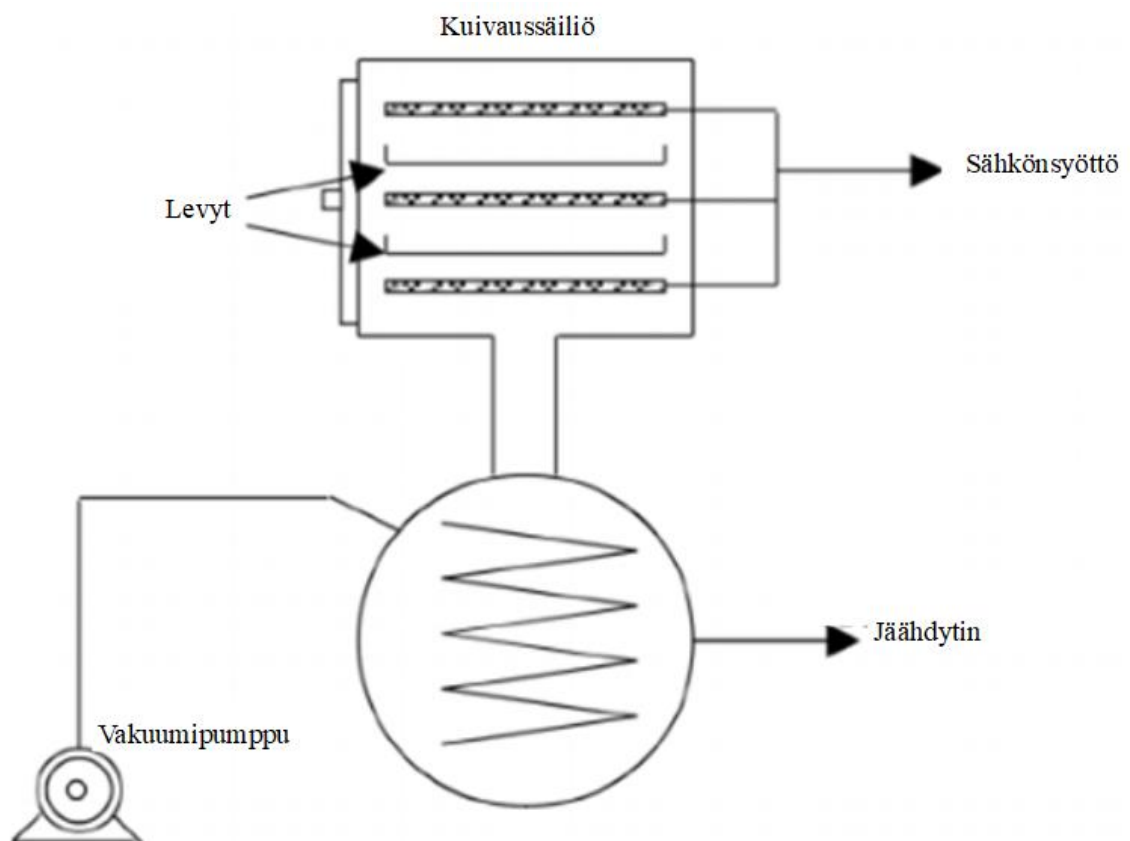


Kuva 2. Materiaalin jäädyttämiskeino, jossa pyörivän liikkeen avulla neste muodostaa säiliön reunoille tasaisen kerroksen materiaalia, muokattu kohteesta Nowak ja Jakubczyk 2020.

Hunajalle yksinkertaisempi jäädytysmenetelmä on hyödyntää pyörivää sylinteriä, koska hunajan tiheys estää sen kunnollisen sumuttamisen, ellei lisää hunajan sekaan tarpeeksi

tislattua vettä (Nedic ja muut 2020). Toinen tapa vaikuttaa hunajan jäätymiseen on muokata painetta. Hyödyntämällä jäätymlämpötilan paineriippuvuutta saadaan tuote jäätymään ensin nostamalla painetta ja sitten laskemalla sitä. (Nowak ja Jakubczyk 2020.)

Materiaalin jäädyttämisen jälkeen päästään ensisijaiseen kuivaamiseen. Ensisijainen kuivaaminen tapahtuu paineenkestävässä säiliössä. Säiliöön puolestaan kasataan päällekkäin useita tasolevyjä (kuva 3), joiden päälle kuivattava materiaali asetetaan. Jos jäädytyksessä hyödynnettiin pyörivää sylinteriä, se toimii kuivausmenetelmän painesäiliönä. Ensisijainen kuivaus koostuu käytännössä jään sublimaatiosta, ja painetta muuttamalla voidaan vaikuttaa muun muassa jään sublimaatiolämpötilaan. Yleisesti pakastekuivaussäiliössä lämpötila on $-60-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tarpeeksi matala lämpötila on erityisen tärkeä paljon monosakkarideja sisältäville materiaaleille kuten hunajalle, koska niiden olemassaolo alentaa merkittävästi materiaalin jäätympistettä. (Nowak ja Jakubczyk 2020.)



Kuva 3. Pakastekuivauslaitteisto, muokattu kohteesta Gaware ja muut 2010.

Säiliöön syötetään juuri sen verran lämmintä ilmaa, joka vaaditaan jään sublimointiin. Koska ilmaa syötetään säiliöön jatkuvasti, täytyy sitä myös poistaa samalla tahdilla, jotta

säiliössä säilyy haluttu paine. Poistuvan ilman mukana myös vesihöyry pääsee säiliöstä pois. Ohut materiaalikerros edistää kuivausprosessia ja vähentää sen kestoja, koska kuivaus alkaa materiaalin pinnalta ja etenee materiaalin keskelle. (Nowak ja Jakubczyk 2020.)

Toissijaisessa kuivauksessa eli jälkikuivauksessa tuotetta kuumennetaan alipaineessa. Kuumentamalla saadaan ei-jäätynyt vesi poistettua materiaalista. Jälkikuivaus tapahtuu hitaammin kuin ensisijainen kuivaus, koska vesipitoisuus on alhainen. Lopullinen vesipitoisuus tuotteessa määrää itse tuotteen sekä varastoinnin stabiiliuden. (Nowak ja Jakubczyk 2020.) Kun materiaali on jälkikuivattu, poistetaan saatu tuote kuivaussäiliöstä. Pakastekuivauksen aikana tuote pitää pääasiassa muotonsa. Sen seurauksena esimerkiksi hunajasta muodostuu kuiva ja kiinteä kappale. Hunaja täytyy siis irrottaa säiliöstä tai levystä ja jauhaa jauheeksi.

3.3 Vakuumikuivaus

Tässä kuivausmenetelmässä materiaalia käsitellään alhaisessa paineessa, jonka seurauksena vesi haihtuu pois. Käsittely voidaan suorittaa hapettomissa olosuhteissa, jolloin saadaan vähennettyä hapettumisesta johtuvaa hajoamista. Matala paine aiheuttaa myös sen, että vesi pystyy haihtumaan alemmissa lämpötiloissa kuin normaaliolosuhteissa. Siksi vakuumikuivaus soveltuu herkästi hapettuvien ja lämpöherkkien materiaalien kuivaamiseen. Sillä saadaan myös nopea kuivumisnopeus materiaalin vaahtoavan tai turvonneen rakenteen avulla. (Reis 2014.)

Vakuumikuivausta varten hunaja vaatii esivalmistelun. Esivalmistelussa hunajaan lisätään apuainetta, joka alentaa kuivauksen aikana tehokkaasti kosteuden diffuusion arvoja. Apuaineita, joita voidaan hyödyntää, ovat trikalsiumfosfaatti, maltodekstriini ja glyserolimonostearaatti. Kuivausmenetelmässä ohuempi kerros kuivuu paremmin kuin paksumpi. Lämpötila puolestaan vaihtelee yleisesti 50–80 °C:n välillä ja paine 5–25 kPa:n välillä. Käytetyt parametrit riippuvat hyvin pitkälti kuivattavasta materiaalista ja halutuista lopputuotteen ominaisuuksista. (Reis 2014.)

Hunajan vakuumikuivauksessa nestemäistä esikäsiteltyä hunajaa levitetään tarjottimelle noin 3 mm paksuinen kerros. Tarjotin laitetaan vakuumisäiliöön ja aloitetaan kuivaaminen alipaineessa. (Sahu 2008.) Säiliön lämpötilaksi asetetaan 70 ± 2 °C ja paineeksi 25 mbar. Itse kuivaaminen kestää noin 20 min, kun tavoitellaan 2,5 %

vesipitoisuutta. (Reis 2014; Cui ja muut 2008.) Kuivausaika riippuu materiaalin paksuudesta, paineesta ja lämpötilasta. Laitteistoon kuuluva vakuumpumppu säätelee säiliön alipainetta sekä poistaa kuivauksen aikana syntynyttä vesihöyryä. (Sahu 2008.)

Kuivaamisen jälkeen saatu kiinteä materiaali tulee jauhaa erikseen (Sahu 2008). Vakuumikuivauksella saadaan yleisesti ottaen tuotettua enemmän jauhetta kuin pakaste- ja sumukuivauksella. Kuitenkin sumukuivauksella on onnistuttu luomaan tietty prosessi, joka tuottaa kaikkiin kuivausmenetelmiin verrattuna eniten jauhetta. (Samborska 2019.) Sumukuivauksen tuotoissa on suuria vaihteluita, mikä vaikeuttaa menetelmien vertailua. Vakuumikuivauksessa tuotteen menetykseen liittyy sen kiinnittyminen säiliöön, materiaalin vuotaminen ulos säiliöstä ja jauhamisen aikana menetetty materiaali (Sahu 2008.)

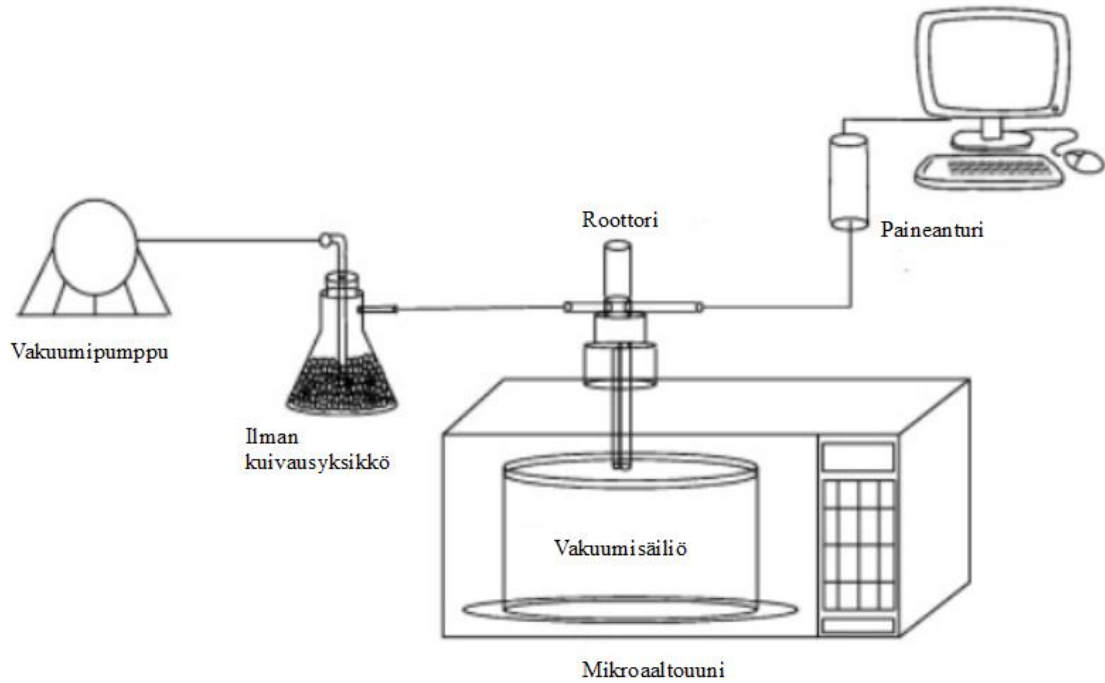
3.3.1 Mikroaalto-vakuumikuivaus

Vakuumikuivausta edistetään usein mikroaaltojen avulla. Niin sanottu mikroaalto-vakuumikuivaus on yksi lupaavimmista elintarvikkeiden kuivausmenetelmistä, koska kuivattavan materiaalin laatu säilyy hyvänä sekä menetelmä itsessään on matalakustanteinen. Mikroaalto-vakuumikuivauksessa voidaan käyttää jonkin verran alempia lämpötiloja (25–50 °C) kuin alkuperäisessä vakuumikuivauksessa (65–70 °C). (Cui ja muut 2008; Reis 2014.) Alemman lämpötilan vuoksi materiaalissa ei synny esimerkiksi Maillardin reaktion seurauksena makuhaittoja (Cui ja muut 2008).

Mikroaalto-vakuumikuivauslaitteisto koostuu kuvan 4 mukaisesti vakuumpumpusta, ilmakuivausyksiköstä, vakuumisäiliöstä, mikroaaltouunista, roottorista ja paineanturista. Vakuumpumppu luo säiliöön halutun paineen, jota voidaan seurata paineanturin avulla. Ilmakuivausyksikkö poistaa vakuumpumpusta lähtöisin olevan ilmankosteuden, jolloin saadaan käyttöön kuivaa paineilmaa. Säiliö asetetaan mikroaaltouuniin, jolloin materiaaliin saadaan kohdistettua mikroaaltoja. Laitteistossa on myös roottori, jonka tehtävä on pyörittää säiliötä, jotta mikroaallot vaikuttavat materiaaliin tasaisesti. (Monteiro ja muut 2015.)

Mikroaallot lämmittävät materiaalia molekyylien välisellä kitkalla, jota saadaan, kun mikroaallot pyörittävät polaarisia molekyyliä (yleensä vesi) ja -suoloja materiaalissa. Mikroaaltojen seurauksena materiaaliin muodostuu nopeaa ja erilaista lämpöä, joka saa aikaan materiaalin sisälle muodostuvaa painetta. Tämä puolestaan nopeuttaa kosteuden

häviämistä. Koska mikroaallot aiheuttavat lisääntyntä ulospäin suuntautunutta kosteuden virtausta, apuaineita ei välttämättä tarvitse käyttää. Hunajan kohdalla saadaan tuotettua puhtaampaa ja laadukkaampaa hunajajauhetta. (Kaur ja muut 2022.)



Kuva 4. Mikroaalto-vakuumikuivauslaitteisto, muokattu kohteesta Monteiro ja muut 2015.

4 Hunajajauheen ominaisuudet

Hunajajauheen väri riippuu paljon kuivaukseen käytetyn hunajan väristä. Hunaja voi olla väriltään joko erittäin vaaleaa tai todella tummaa. Eri hunajalajeista valmistetut jauheet eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia keskenään. Jos värissä on muutoksia, sen muutokset ovat yhteydessä Maillard-reaktioon ja fruktoosin sekä glukoosin karamellisointiin. (Osés ja muut 2021.) Varastointi aiheuttaa kuitenkin jauheissa väri muutoksia. Jos jauhe sisältää vain hunajaa ja apuainetta, jauheen keltaisuus ja punaisuus vähenee mutta tummuus lisääntyy 12 viikon aikana. Jos jauheessa on lisäksi natriumkaseinaatti-entsyymiä noin 2 %, värimuutoksia ei juuri esiinny. Toisaalta entsyymien lisäys vaikuttaa siihen, että jauhe on valmiiksi hieman tummempaa kuin sama jauhe ilman entsyymiä heti kuivauksen jälkeen. (Samborska, Langa, ja muut 2015.)

Hunaja on luonnostaan hapan yhdiste sen lukuisten orgaanisten happojen vuoksi. Hunajassa yhdistyy makea ja hapan, joten sokerit ja pH ovat vahvasti yhteydessä hunajan makuun. Kuivausprosessin aikana pH pysyi käytännössä muuttumattomana ja sokerien suhde puolestaan melkein samana. (Ikhsan ja muut 2022.) Kuivausmenetelmällä ei siis ole vaikutusta hunajajauheen makuun. Kuitenkin sumukuivauksella tuotetussa hunajajauheessa oli miellyttävämpi väri, ja vakuumikuivatussa hunajajauheessa tuoksu koettiin paremmaksi. (Samborska 2019.)

Jauheiden hienojakoisuudessa oli vaihteluita, jotka riippuivat pääasiassa kuivaukseen käytetystä hunajasta. Esimerkiksi monikukkaisessa hunajassa on suuremmat hiukkaset (17,2–48,1 μm) kuin akaasia hunajassa (10,6–26,7 μm). Jauheiden ominaisuuksiin kuuluu hyvä virtauskyky, joka ei ollut mahdollista nestemäisellä tai kiinteällä hunajalla. (Tomczyk ja muut 2021.)

Hunajajauheelle keskeistä on myös hygroskooppisuus, joka tarkoittaa jauheen kykyä absorboida nestettä. Hunajajauheen hygroskooppisuus on parhaimmillaan heti kuivauksen jälkeen. Se kuitenkin laskee, mitä pidempään jauhetta varastoidaan. Esimerkiksi rypsihunajasta spraykuivauksella valmistetun jauheen, jossa apuaineena on käytetty arabikumia, hygroskooppisuus oli valmistuksen jälkeen $H = 1,87 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ja 12 viikon varastoinnin jälkeen $H = 1,11 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. Hygroskooppisuuden laskua voi aiheuttaa varastoinnin aikana lisääntynyt kosteuspitoisuus, joka puolestaan lisää veden

aktiivisuutta jauheessa. Hunajan lajilla ei ole merkittävää vaikutusta hygroskooppisuuteen. (Samborska, Langa, ja muut 2015.)

4.1 Laatu

Hunajajauheen vesipitoisuus on yksi tärkeistä laadullisista tekijöistä. Vakuumikuivauksella päästään 1,40–1,92 % lukemiin. Sumukuivauksella puolestaan saadaan parhaimmillaan 0,9–1,6 % vesipitoisuuksia. Pakastekuivauksessa vesipitoisuus on hieman korkeampi (3,10 %) kuin vakuumi- ja sumukuivauksessa. Vesipitoisuudessa voi olla suuria vaihteluita, koska laitteistot, parametrit ja reagenssit vaikuttavat lopullisen jauheen vesipitoisuuteen. (Osés ja muut 2021.)

Pieni vesipitoisuus vaikuttaa siihen, että jauheessa mikro-organismit eivät pääse fermentoimaan, joten säilyvyys paranee (Ikhsan ja muut 2022). Suurimmassa osassa hunajajauheista melkein kaikki mineraalipitoisuudet säilyvät samanlaisina kuin ennen kuivausta olevassa hunajassa. Ainoastaan P, Ca, Mg ja Na arvot ovat alkuperäistä suuremmat, koska ne reagoivat apuaineen kanssa. (Tomczyk ja muut 2021.)

Laatua voidaan tarkastella myös HMF- eli hydroksimetyylifurfuraali-pitoisuuden avulla. HMF on yhdiste, jota muodostuu monosakkaridien hajotessa happamissa olosuhteissa ja Maillardin-reaktion vaikutuksesta. Hunaja sisältääkin paljon monosakkarideja, happoja ja mineraaleja, jotka edistävät HMF:n tuottamista. Myös pitkä varastointi nostaa yhdisteen pitoisuutta hunajassa. HMF:n pitoisuutta hyödynnetään hunajajauheen laadun tarkkailussa, koska siitä voidaan päätellä jauheen tuoreus ja selvittää, onko kuivausprosessin aikana tapahtunut hunajan ylikuumenemista. HMF pitoisuuden ylärajana pidetään 40 mg/kg hunajaa. Jos hunajan tuotanto on keskittynyt trooppisiin maihin, hyväksyttävä HMF pitoisuus on jopa 80 mg/kg hunajaa. (Toniazzo ja muut 2023.)

4.2 Käyttö raaka-aineena

Hunajajauhetta voidaan hyödyntää elintarvike- ja kosmetiikkateollisuudessa sekä farmaseuttisissa tuotteissa (Tomczyk ja muut 2021; Toniazzo ja muut 2023). Hunajajauheen käytön hyötyihin kuuluu sen säilöntätilan pieneneminen, helppokäyttöisyys ja annostelu. Kosmetiikassa hunajaa voidaan lisätä esimerkiksi suihkugeeleihin, hoitoaineisiin, kasvo- ja vartalovoiteisiin. Hunajan ravinteet auttavat pehmentämään ja rikastamaan ihoa. (Tomczyk ja muut 2021)

Elintarviketeollisuudessa hunajajauhetta hyödynnetään usein sokerin korvaajana ruoanlaitossa, leivonnassa ja makeisissa, koska hunaja on sokeria makeampaa ja sisältää vähemmän energiaa. Hunajajauhetta voi lisätä myös erilaisiin kuiviin maustesekoituksiin, jossa se sekoittuu muiden ainesosien kanssa säilyttäen hunajan maun. Hunajajauhetta voidaan siis hyödyntää nestemäistä hunajaa paremmin sen uusien ominaisuuksiensa vuoksi. (Cui ja muut 2008.)

Kuivattua hunajaa voidaan käyttää myös parantamaan leipätaikinan ominaisuuksia ja samalla leivän laatua. Hunajajauhe lisää veden imeytymistä, lyhentää taikinan kohotusaikaa ja lisää leivän pehmeyttä. Lisäksi leivästä tulee ilmavampi, koska hunaja nopeuttaa hiivan käymistä ja lisää kaasujen muodostusta. Valmis leipä on sisältä hieman keltaisempi kuin normaali leipä ja kuoresta tulee keltaruskea. Tämä johtuu siitä, että hunajajauheen fruktoosi osallistuu Maillard-reaktioon. (Tong ja muut 2010.)

Lisäksi leiville tehtiin aistinvarainen arviointi, jossa käytettiin kuvailevaa profiilitestiä. Testissä arvioitiin 16 leipää. Leivistä yksi oli standardi, joka ei sisältänyt yhtään hunajajauhetta ja loppuissa leivissä hunajajauheen määrä vaihteli. Testi perustui Kiinan kansalliseen standardiin GB/T 14611-93, ja paneeli koostui yhdeksästä koulutetusta Jiangnanin yliopiston elintarviketieteiden opiskelijasta. Testissä arvioitiin leivän tilavuus, kuoren väri ja tekstuuri, murujen väri ja tekstuuri, leivän tasaisuus ja kimmoisuus sekä suutuntuma. Leipä arvioitiin viitenä päivänä, jolloin huomattiin myös varastoinnin vaikutus. Leipät arvioitiin sattumanvaraisessa järjestyksessä. Parhaiten testissä menestyi leipä, joka sisälsi 10 % hunajajauhetta jauhojen määrään verrattuna. (Tong ja muut 2010.)

Hunajaa käytetään lisäksi hoitamaan esimerkiksi bakteeritulehduksia ja Hansenin tautia. Sillä ennaltaehkäistään myös loistulehduksia, mahahaavan riskiä ja tehostetaan immuunijärjestelmää. Koska hunajajauhe on helposti syötävää ja terveellistä, sitä voidaan lisätä farmaseuttisiin tuotteisiin kuten salvoihin tai yskänlääkkeisiin. (Gupta ja muut 2012.)

5 Yhteenveto

Hunajajauhetta voidaan tuottaa useiden kuivausmenetelmien avulla, joissa jokaisessa on omat hyvät ja huonot puolensa. Sumukuivaus vaatii paljon apuainetta ja hunajan esikäsitteilyä sekä suoritetaan suhteellisen korkeissa lämpötiloissa. Sillä saadaan kuitenkin tuotettua matalan vesipitoisuuden ja korkean hunajapitoisuuden jauhetta, jos parametrit ovat kunnossa. (Samborska ja muut 2015.) Pakastekuivauksen hyvänä puolena on matala lämpötila, jolloin hunajan tärkeitä komponentteja ei tuhoudu. Se kuitenkin vie paljon aikaa ja energiaa, jolloin ei pystytä tuottamaan edullisinta jauhetta. (Nowak ja Jakubczyk 2020.) Vakuumikuivauksella saadaan tuotettua hunajajauhetta hapettomissa olosuhteissa sekä pienemmissä lämpötiloissa kuin sumukuivauksessa. Tämäkin menetelmä vaatii vielä apuaineita mutta huomattavasti vähemmän kuin muut kaksi menetelmää. (Kaur ja muut 2022; Reis 2014)

Hunajajauhe laajentaa hunajan käyttökohteita mutta jauhe ei ole korvannut kiteytynyttä tai nestemäistä hunajaa. Koska kuivausmenetelmät kuitenkin kehittyvät jatkuvasti ja hunajajauheiden laatu paranee entisestään, voi tulevaisuudessa hunajajauhe olla yleisemmin käytössä myös tavallisten kuluttajien kesken. Erilaisia kuivausmenetelmiä voidaan hyödyntää myös muille elintarvikkeille ja materiaaleille, joten niistä on varmasti hyötyä lukemattomille ihmisille. Hunajajauheiden käyttö ei rajoitu pelkästään ruokiin ja makeisiin, vaan sitä voidaan hyödyntää myös muilla teollisuudenaloilla.

6 Lähteet

- Baglio, E. (2018) Honey: processing techniques and treatments. Teoksessa E. Baglio (Toim.), *Chemistry and technology of honey production* (ss. 15–22). Cham: Springer International Publishing.
- Bobiş, O., Dezmirean, D. S. & Moise, A. R. (2018) Honey and diabetes: the importance of natural simple sugars in diet for preventing and treating different type of diabetes. *Oxid Med Cell Longev* **2018**:4757893.
- Carvalho, C. A. L., Sodr e, G. S., Fonseca, A. A. O., Alves, R. M. O., Souza, B. A. & Clarton, L. (2009) Physicochemical characteristics and sensory profile of honey samples from stingless bees (Apidae: Meliponinae) submitted to a dehumidification process. *An Acad Bras Ci nc* **81**:143–149.
- Cui, Z.-W., Sun, L.-J., Chen, W. & Sun, D.-W. (2008) Preparation of dry honey by microwave–vacuum drying. *J Food Eng* **84**:582–590.
- Dettori, A., Tappi, S., Piana, L., Dalla Rosa, M. & Rocculi, P. (2018) Kinetic of induced honey crystallization and related evolution of structural and physical properties. *LWT* **95**:333–338.
- EU labelling rules for honey | EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/eu-labelling-rules-for-honey.html> (Luettu 11.4.2024)
- Eyer, M., Neumann, P. & Dietemann, V. (2016) A look into the cell: honey storage in honey bees, *Apis mellifera*. *PLOS ONE* **11**:e0161059.
- Gaware, T., Sutar, N. & Thorat, B. (2010) Drying of tomato using different methods: comparison of dehydration and rehydration kinetics. *Dry Technology* **28**:651–658.
- Gupta, R., Singh, B. & Shivhare, U. S. (2012) Optimization of osmo-convective dehydration process for the development of honey-ginger candy using response surface methodology. *Dry Technol* **30**:750–759.
- Ikhsan, L. N., Chin, K.-Y. & Ahmad, F. (2022) Methods of the dehydration process and its effect on the physicochemical properties of stingless bee honey: A review. *Molecules* **27**:7243.
- Kaur, D., Singh, M., Zalpouri, R. & Singh, I. (2022) Osmotic dehydration of fruits using unconventional natural sweeteners and non-thermal-assisted technologies: A review. *J Food Process Preserv* **46**:e16890.
- Monteiro, R. L., Carciofi, B. A. M., Marsaioli, A. & Laurindo, J. B. (2015) How to make a microwave vacuum dryer with turntable. *J Food Eng* **166**:276–284.
- Mujumdar, A. S. (2020) Handbook of industrial drying, 2. painos, s. 27. CRC Press, New York.
- Nedic, N., Gojak, M., Zlatanovic, I., Rudonja, N., Lazarevic, K., Drazic, M., ... Pajic, M. (2020) Study of vacuum and freeze drying of bee honey. *Therm Sci* **24**:4241–4251.
- Needham, P. (2000) What Is water? *Analysis* **60**:13–21.
- Nowak, D. & Jakubczyk, E. (2020) The freeze-drying of foods—the characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. *Foods* **9**:1488.

- Osés, S. M., Cantero, L., Crespo, M., Puertas, G., González-Ceballos, L., Vallejos, S., ... Sancho, M. T. (2021) Attributes of ling-heather honey powder obtained by different methods with several carriers. *LWT* **150**:112063.
- Patel, R. P., Patel, M. P., & Suthar, A. M. (2009). Spray drying technology: an overview. *Indian Journal of Science and Technology*, 44-47.
- Reis, F. R. (2014) Studies on conventional vacuum drying of foods. Teoksessa F. R. Reis (Toim.), vacuum drying for extending food shelf-life (ss. 7–18). New York: Springer.
- Sahu, J. K. (2008) The effect of additives on vacuum dried honey powder properties. *Int J Food Eng* **4**.
- Samarghandian, S., Farkhondeh, T. & Samini, F. (2017) Honey and health: a review of recent clinical research. *Pharmacogn Res* **9**:121–127.
- Samborska, K. (2019) Powdered honey – drying methods and parameters, types of carriers and drying aids, physicochemical properties and storage stability. *Trends Food Sci Technol* **88**:133–142.
- Samborska, K., Gajek, P. & Kaminska-Dworznicka, A. (2015) Spray drying of honey: the effect of drying agents on powder properties. *Pol J FOOD Nutr Sci* **65**:109–118.
- Samborska, K., Langa, E. & Bakier, S. (2015) Changes in the physical properties of honey powder during storage. *Int J Food Sci Technol* **50**:1359–1365.
- Samborska, K., Wiktor, A., Jedlińska, A., Matwijczuk, A., Jamróz, W., Skwarczyńska-Maj, K., ... Witrowa-Rajchert, D. (2019) Development and characterization of physical properties of honey-rich powder. *Food Bioprod Process* **115**:78–86.
- Santos, D., Maurício, A. C., Sencadas, V., Santos, J. D., Fernandes, M. H., Gomes, P. S., ... Gomes, P. S. (2017) Spray drying: an overview. Teoksessa *Biomaterials—Physics and Chemistry—New Edition*. IntechOpen.
- Tan, L. W., Ibrahim, Mohd. N., Kamil, R. & Taip, F. S. (2011) Empirical modeling for spray drying process of sticky and non-sticky products. *Procedia Food Sci* **1**:690–697.
- Tanuğur Samanci, A. E. & Samanci, T. (2022) Honey powder having high honey and antioxidant content and production of it. Destek Patent No. WO2022005413.
- Tomczyk, M., Zaguła, G., Tarapatsky, M., Kačániová, M. & Džugan, M. (2021) The effect of honey variety on the quality of honey powder. *J Microbiol Biotechnol Food Sci* **9**:949–954.
- Tong, Q., Zhang, X., Wu, F., Tong, J., Zhang, P. & Zhang, J. (2010) Effect of honey powder on dough rheology and bread quality. *Food Res Int* **43**:2284–2288.
- Toniazzo, T., Fioroto, A. M., Da Silva Araújo, E. & Tadini, C. C. (2023) Honey powder produced by spray drying as an ingredient: a new perspective using a plant-based protein as a carrier. *Dry Technol* **41**:1651–1662.
- Umesh Hebbar, H., Rastogi, N. K. & Subramanian, R. (2008) Properties of dried and intermediate moisture honey products: a review. *Int J Food Prop* **11**:804–819.
- Wright, G. A., Nicolson, S. W. & Shafir, S. (2018) Nutritional physiology and ecology of honey bees. *Annu Rev Entomol* **63**:327–344.