

SELLULOOSA JA SELLULOOSA- JOHDANNAISET ELINTARVIKKEISSA

Pekka Turkki

Pekka Turkki

SELLULOOSA JA SELLULOOSA- JOHDANNAISET ELINTARVIKKEISSA



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



XAMK TUTKII 7

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2018

© Tekijä ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Kannen kuva: Jukka Turunen
Taitto- ja paino: Grano Oy
ISBN: 978-952-344-114-9 (nid.)
ISBN: 978-952-344-115-6 (PDF)
ISSN: 2489-2459 (nid.)
ISSN: 2489-4575 (verkko)
julkaisut@xamk.fi

TIIVISTELMÄ

Tämä raportti on kirjallisuuskatsaus selluloosan ja selluloosajohdannaisten käytöstä elintarvikkeissa. Katsauksessa selvitettiin näiden tuotteiden ominaisuuksia, valmistusmenetelmiä, markkinoita ja ravitsemuksellista turvallisuutta sekä edelleen käyttömahdollisuuksia elintarvikkeissa sekä niiden käytöllä elintarvikkeissa saavutettavia hyötyjä. Katsauksessa tuotiin esille myös vaatimukset, joita elintarvikelainsäädäntö asettaa elintarvikelaatuisen selluloosan ja selluloosajohdannaisten valmistamiselle. Lopuksi annettiin kehittämissuosituksia näiden tuotteiden valmistamiseen ja elintarvikekäyttöön. Katsauksen painopiste oli mikrokiteiseen selluloosaan (MCC) liittyvissä elintarvikesovelluksissa.

Asiasanat: mikrokiteinen selluloosa, MCC, selluloosajohdannaiset, elintarvikkeet

ABSTRACT

Title: Cellulose and cellulose derivatives in food products

This report is a literature review on the use of cellulose and cellulose derivatives in foods. In the review the characteristics, manufacturing methods and nutritional safety of these cellulose products were touched and further the possibilities and benefits of their use in foods were scrutinized. The provisions for the manufacturing of cellulose and cellulose derivatives required by the food legislation were also brought out. In conclusion developing recommendations for the manufacturing of these products and for their use in foods were given. The focus of the review was on the food applications of the microcrystalline cellulose (MCC).

Keywords: microcrystalline cellulose, MCC, food

KIRJOITTAJA

Pekka Turkki, ETT, yMBA, TKI-asiantuntija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

LYHENTEET

CMC	karboksimeetyliselluloosa, selluloosakumi (carboxymethylcellulose, cellulose gum)
EC	etyyliselluloosa (ethylcellulose)
EMC	etyylimetyyliselluloosa (ethylmethylcellulose)
HAA	heterosykliset aromaattiset amiinit
HPC	hydroksipropyyliselluloosa (hydroxypropylcellulose)
HPMC	hydroksipropyylimetyyliselluloosa (hydroxypropylmethylcellulose)
MC	metyyliselluloosa (methylcellulose)
MCC	mikrokiteinen selluloosa (microcrystalline cellulose)

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	4
ABSTRACT	5
LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	3
2 SELLULOOSAN JA SEN ELINTARVIKEKÄYTTÖÖN SALLITTUJEN JOHDANNAISTEN OMINAISUUDET, VALMISTUSMENETELMÄT, MARKKINAT JA TURVALLISUUS	4
2.1 Selluloosa jatkojalosteiden raaka-aineena	11
2.2 Selluloosajauhe	13
2.3 Mikrokiteinen selluloosa	14
2.4 Selluloosajohdannaiset	20
2.5 Markkinat	24
2.6 Ravitsemuksellinen turvallisuus	30
3 MIKROKITEISEN SELLULOOSAN KÄYTTÖSOVELLUKSET ELINTARVIKKEISSA	31
3.1 Toiminnalliset ominaisuudet	33
3.1.1 Materiaalin ominaisuuksien vaikutukset toiminnallisuuteen	33
3.1.2 Esikäsittelyn vaikutukset toiminnallisuuteen	36
3.1.3 Teknis-toiminnalliset ominaisuudet	37
3.2 Käyttötarkoitus erityyppisissä elintarvikkeissa	44
3.2.1 Leipomotuotteet	44
3.2.2 Lihavalmisteet	50
3.2.3 Maitopohjaiset tuotteet	58
3.2.4 Kastikkeet	70
3.2.5 Jälkiruokatuotteet ja kuorrutukset	72
3.2.6 Juomat	73
3.2.7 Instant-jauheet	74
3.2.8 Makeiset	76
3.3 Terveysvaikutteiset käyttömahdollisuudet	77
3.4 Muu elintarvikekäyttö	80
3.4.1 Kapseloinnin seinämämateriaali	80
3.4.2 Pakkauskalvojen vahvistaminen	82
4 SELLULOOSAJOHDANNAISTEN KÄYTTÖSOVELLUKSET ELINTARVIKKEISSA	84
4.1 Metyyliselluloosa (E 461) ja hydroksiopropyylimetyyliselluloosa (E464)	84
4.2 Etyyliselluloosa (E 462)	86
4.3 Hydroksiopropyyliselluloosa (E 463)	86
4.4 Etyylimetyyliselluloosa (E 465)	86
4.5 Natriumkarboksिमetyyliselluloosa (E 466)	86

4.6 Silloitettu karboksimeetyliselluloosa (E 468).....	88
4.7 Entsymaattisesti hydrolysoitu karboksimeetyliselluloosa (E 468).....	89
5 VAATIMUKSET ELINTARVIKELAATUISTEN SELLUTUOTTEIDEN VALMISTAMISELLE	90
5.1 Elintarvikehuoneiston rakenteelliset, toiminnalliset ja omavalvontaa koskevat vaatimukset.....	91
5.2 Lopputuotetta ja sen pakkausmerkintöjä koskevat vaatimukset.....	94
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET TUOTEKEHITYSTYÖLLE	97
6.1 Käyttömahdollisuudet elintarvikkeissa	97
6.2 Elintarvikelaatuisten sellutuotteiden valmistaminen.....	101
6.3 Potentiaaliset kehittämiskohteet	101
LÄHTEET	103

1 JOHDANTO

Muutaman viimeisen vuosikymmenen aikana prosessoitun ruoan kysyntä on ampaissut rakettimaiseen nousuun. Kuten kotoisessa ruoanlaitossa, myös teollisessa ruoanvalmistuksessa tarvitaan kuhunkin tarkoitukseen sopivia ainesosia halutun rakenteen muodostamiseksi ja säilyttämiseksi elintarvikkeessa. Tähän tarkoitukseen elintarviketeollisuus käyttää hydrokolloideiksi kutsuttuja polysakkarideja ja proteiineja. Hydrokolloidit koostuvat kolloidisesta aineksestä (pienistä hiukkasista), joilla on taipumus (affiniteetti) kiinnittyä yhteen vesimolekyylien kanssa. Jotkut hydrokolloidit ovat vesiliukoisia ja muodostavat kolloidisia liuoksia, toiset vain turpoavat vedessä ja vain leikkausvoimaa käyttäen niiden hiukkaset sekoittuvat tasaisesti nesteeseen (dispergoituvat). Hydrokolloideja tarvitaan erityisesti stabilointiaineina, sakeutusaineina ja geelinmuodostajina (Williams & Phillips 2009, Wüstenberg 2015.).

Hydrokolloidien tarvetta elintarviketeollisuudessa kuvaa niiden markkinoiden valtava kasvu 2000-luvulla. Kun vuonna 2006 markkinoiden arvo (ilman Kiinan markkinoita) oli noin 3,9 mrd. \$ (Wüstenberg 2015), kasvoi se vuoteen 2016 mennessä noin 7,2 mrd. \$:iin (Seisun 2018). Markkinoiden arvon arvelaan kasvavan edelleen 4,8 % vuosittain ja saavuttavan 9,1 mrd. \$:n tason vuonna 2024 (Zion Market Research 2018).

Monet hydrokolloideista luokitellaan lisäaineiksi, eivätkä ne eikä prosessoitu ruoka sinänsä välttämättä aiheuta kuluttajissa positiivisia miellelyhtymiä. Lisäaineettomat ns. clean label tuotteet ovat vallalla oleva ruokatrendi, mutta kuluttajan toivomien rakenneominaisuuksien aikaansaaminen on vaikeaa ja usein mahdotonta ilman stabilointiaineita. Usein tuotekehittäjät joutuvat punnitsemaan sopivan hydrokolloidin valintaa keskenään ristiriitaisten tekijöiden välillä: tuottaako se toivotun rakenteen ja säilyvyyden, voidaanko sillä korvata kalliimpia raaka-aineita, tarvitaanko sille aikaa vieviä esikäsitteilyjä tai millainen maine sillä on. Esimerkiksi ksantaani ja karrageeni mielletään eri syistä muita huonomaineisemmiksi, eikä gelatiini ole kasvisruokavaliota noudattavien kuluttajien suosiossa – ravintokuidun lähteenä toimivia hydrokolloideja puolestaan kuluttajat arvioivat myönteisemmin (Seisun 2018).

Elintarvikekäyttöön hyväksytty selluloosa ja sen eräät kemiallisesti modifioidut johdannaiset kuuluvat hydrokolloidien monipuoliseen joukkoon. Ne ovat luonteeltaan ravintokuituja, joilla on rakenteen stabiloinnin lisäksi käyttöpotentiaalia myös kehitettäessä elintarvikkeisiin terveysvaikutteisia ominaisuuksia. Selluloosapohjaisten hydrokolloidien käyttömäärät ovat varsin vaatimattomia ottaen huomioon niiden monipuoliset käyttömahdollisuudet. Niiden markkinaosuus on vain noin 3 %:n luokkaa erilaisten tärkkelysten hallitessa markkinoita noin 70 %:n markkinaosuudella.

Elintarvikealan kirjallisuudessa selluloosalla voidaan tarkoittaa yleiskäsitteenä kaikkia selluloosapohjaisia tuotteita, joiden käyttö elintarvikkeissa on sallittu. Tässä julkaisussa termi selluloosa viittaa joko natiiviin selluloosaan tai natiivista kasvipohjaisesta selluloosasta puhdistettuun ja osittain hydrolysoituun mikrokiteiseen selluloosaan (MCC) tai puhdistetusta selluloosasta saatuun selluloosajauheeseen. Selluloosajohdannaisilla tarkoitetaan selluloosasta synteettisesti modifioituja tuotteita, jotka on osittain eetteröity metyyli-, etyyli- tai hydroksi-propyyli-ryhmillä. Näitä on elintarvikekäyttöön hyväksytty kahdeksan erilaista variaatiota.

Tässä selvityksessä tehdään katsaus selluloosan ja selluloosajohdannaisten elintarvikekäyttöön liittyvään kirjallisuuteen. Katsauksessa selvitetään näiden tuotteiden ominaisuuksia, valmistusmenetelmiä, markkinoita ja ravitsemuksellista turvallisuutta sekä edelleen käyttömahdollisuuksia elintarvikkeissa sekä niiden käytöllä elintarvikkeissa saavutettavia hyötyjä. Katsauksessa tuodaan esille myös vaatimukset, joita elintarvikelainsäädäntö asettaa elintarvikelaatuisen selluloosan ja selluloosajohdannaisten valmistamiselle. Lopuksi annetaan kehittämissuosituksia näiden tuotteiden valmistamiseen ja elintarvikekäyttöön.

Erityisen tarkastelun kohteena katsauksessa on MCC ja siitä yhdessä muiden hydrokolloidien kanssa prosessoimalla saadut erikoistuotteet. Tämä liittyy tarpeeseen tuntea MCC:n käyttömahdollisuudet laajasti tilanteessa, jossa uudet MCC:n valmistusmenetelmät (AaltoCell™) saattavat lisätä sen käyttömahdollisuuksia.

2 SELLULOOSAN JA SEN ELINTARVIKEKÄYTTÖÖN SALLITTUJEN JOHDANNAISTEN OMINAISUUDET, VALMISTUSMENETELMÄT, MARKKINAT JA TURVALLISUUS

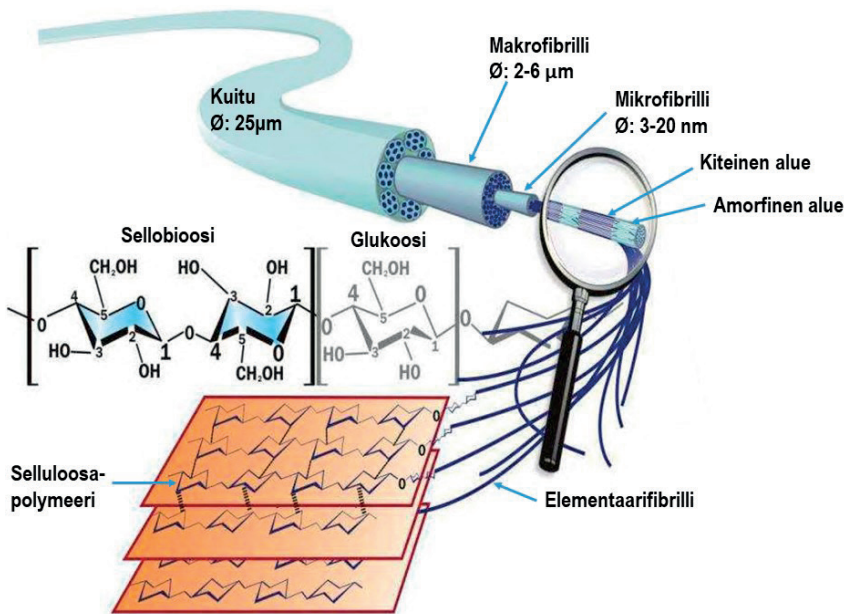
Selluloosa ja selluloosajohdannaiset ovat polysakkarideja, jotka kuuluvat laajaan hydrokolloidien ryhmään. Kuten muillakin hydrokolloideilla selluloosapohjaisilla tuotteilla, on niillä monia elintarvikkeiden toiminnallisia ominaisuuksia parantavia ominaisuuksia. Lisäksi ne ovat ravintokuitua, joilla on tunnettuja terveysvaikutuksia. Selluloosapohjaiset hydrokolloidit soveltuvat käytettäväksi lähes kaikissa elintarvikeryhmissä ja niiden markkinat ovat kasvamassa. Selluloosa ja sen tässä käsiteltävät johdannaiset luokitellaan lisäaineiksi, vaikka niiden käyttömäärää ei ole rajoitettu.

2.1 Selluloosa jatkojalosteiden raaka-aineena

Selluloosa on maapallolla runsaimmin esiintyvä orgaaninen yhdiste. Yleisin selluloosan lähde ovat kasvit, mutta selluloosaa on myös levissä ja eräissä meressä elävissä vaippaeläimissä. Myös eräät mikrobit voivat tuottaa selluloosaa. Puu on tärkein selluloosaa tuottavan teollisuuden raaka-ainelähde. Selluloosan eristäminen tapahtuu liuottamalla keitossa puuaineksesta muut aineet pois (sulfaatti- tai sulfittimenetelmä). Pohjoismaisessa puumateriaalissa selluloosan osuus on puulajista riippuen 40–53 % puun kuiva-aineesta (Vanhatalo 2017).

Kasveissa selluloosa on soluseinän pääkomponentti, joka antaa soluseinälle tarvittavan lujuuden. Selluloosa on kasvin soluseinässä makrofibrilleistä muodostuvina kuitumaisina rakenteina (kuva 1). Makrofibrillit rakentuvat mikrofibrillikimpuista. Mikrofibrillit muodostuvat puolestaan perusfibrilleistä (elementaarifibrilleistä), jotka ovat rakentuneet polymeroituneista β -D-glukoosi-molekyyleistä. Selluloosa kuuluu siten kemialliselta koostumukseltaan polysakkarideihin. Glukoosimonomeerit on sidottu toisiinsa 1 \rightarrow 4 glykosidisiin sidoksiin. Näin edellinen glukoosimolekyyli on liittynyt 1. hiilestään hap-

pisillalla seuraavan yksikön 4. hiileen. Polymeerin perusyksikkö (sellobioosi) muodostuu kahdesta glukoosimolekyylistä, jotka ovat kiertyneet 180° toisiinsa nähden. Siten polymeeriketjua voidaan kuvata niin, että joka toinen glukosimonomeeri on kääntynyt ylösalaisin muihin nähden. Tällainen sidostyyppi mahdollistaa polymeeriketjun lineaarisen rakenteen. Polymeraatioaste ilmaisee, montako toistuvaa sellobioosiyksikköä on keskimäärin ketjuuntunut selluloosan molekyyliketjuun. Natiivin puussa olevan selluloosan polymeraatioaste on noin 10 000, mutta kemiallisissa massoissa se voi olla niinkin alhainen kuin 500 – 2 000 (Alén 2000).



Kuva 1. Selluloosan rakenne.

Selluloosan jokainen glukoosiyksikkö sisältää kolme vapaata hydroksyyliiryhmää. Näillä hydroksyyliiryhmillä on voimakas taipumus muodostaa vetysidoksia sekä saman selluloosaketjun glukoosiyksikköiden välille että eri selluloosaketjujen glukoosiyksikköiden välille. Vetysidokset tekevät rakenteesta hyvin tiiviin ja lujan. Rakenteessa on järjestäytyneitä ja vähemmän järjestäytyneitä kohtia, jotka esiintyvät kuidussa vuorotellen. Järjestäytyneet kohdat ovat kiteisiä ja vähemmän järjestäytyneet kohdat ovat amorfisia alueita. Kuidun fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien kannalta olennaista on, että amorfisilla alueilla rakenne on kiteisiä alueita avoimempi. Tämä tekee mahdolliseksi veden ja kemikaali-

en imeytymisen sekä biologiset, kemialliset ja mekaaniset käsittelyt. Selluloosakuidussa kiteisten alueiden osuus on keskimäärin 45 % ja amorfisten alueiden osuus keskimäärin 55 %. (Wüstenberg 2015.)

Natiivi selluloosa ei liukene veteen, öljyyn, orgaanisiin liuottimiin tai alkoholiin ja turpoaa vedessä vain vähän. Veteen lisättäessä se ei myöskään lisää viskositeettiä eikä muodosta geeliä. (Wüstenberg 2015.)

Selluloosasta voidaan valmistaa mekaanisilla ja/tai kemiallisilla käsittelyillä selluloosajauhetta, mikrokiteistä selluloosaa ja selluloosajohdannaisia, joiden käyttö on sallittu elintarvikkeissa. Elintarvikelainsäädäntö edellyttää, että selluloosajauhe ja mikrokiteisen selluloosa valmistetaan alfa-selluloosasta.

2.2 Selluloosajauhe

Selluloosajauhetta saadaan α -selluloosasta puhdistamalla ja mekaanisesti hajotamalla (EU 231/2012). Se on valkoista, hajutonta kuitumaisista partikkeleista muodostunutta ainetta, joka voidaan puristaa itsestään kovettuviksi ja vedessä helposti hajoaviksi tableteiksi (JECFA 2006).

Selluloosajauhetta käytetään useammin lääkkeiden kuin elintarvikkeiden valmistuksessa. Sitä voidaan käyttää täyteaineena tai paakkuuntumisenestoaineena kosteutta absorboivana aineena esimerkiksi juustoraasteissa. JRS-yhtiöllä on Vitacel-tuotesarja, johon kuuluu useita selluloosajauheversioita (JRS 2015). Niissä kuidun pituus vaihtelee välillä 25–700 μm , ja kuidun pituuden kasvaessa ne sitovat vettä 400–1100 % ja absorboivat öljyä 370–1100 % painostaan. Tuotteita suositellaan mm. juomien, leipomotuotteiden, täytteiden sekä liha- ja kalavalmisteiden rakenteen stabilointiin. Selluloosajauhetta on käytetty pitkään ei-syötävien makkarasuolten valmistusaineena (Bodner & Sieg 2009).

Uudenlainen selluloosajauheen käyttötapa saattaa löytyä elintarvikkeiden 3D-tulostuksesta. Holland ym. (2018a ja 2018b) raportoivat menetelmästä, jossa selluloosajauhetta käytettiin sideruiskutusmenetelmää (binder jetting) hyödyntävässä 3D-tulostuksessa jauhemaisena tulostusmateriaalina ja ksantaanin vesiliuosta siihen ruiskutettavana sideaineena ("ink"). Menetelmässä selluloosajauhe tuli ensin hienontaa kuulamyllyllä amorfiseksi jauheeksi, joka voi 3D-tulostuksessa kiteytyä uudelleen.

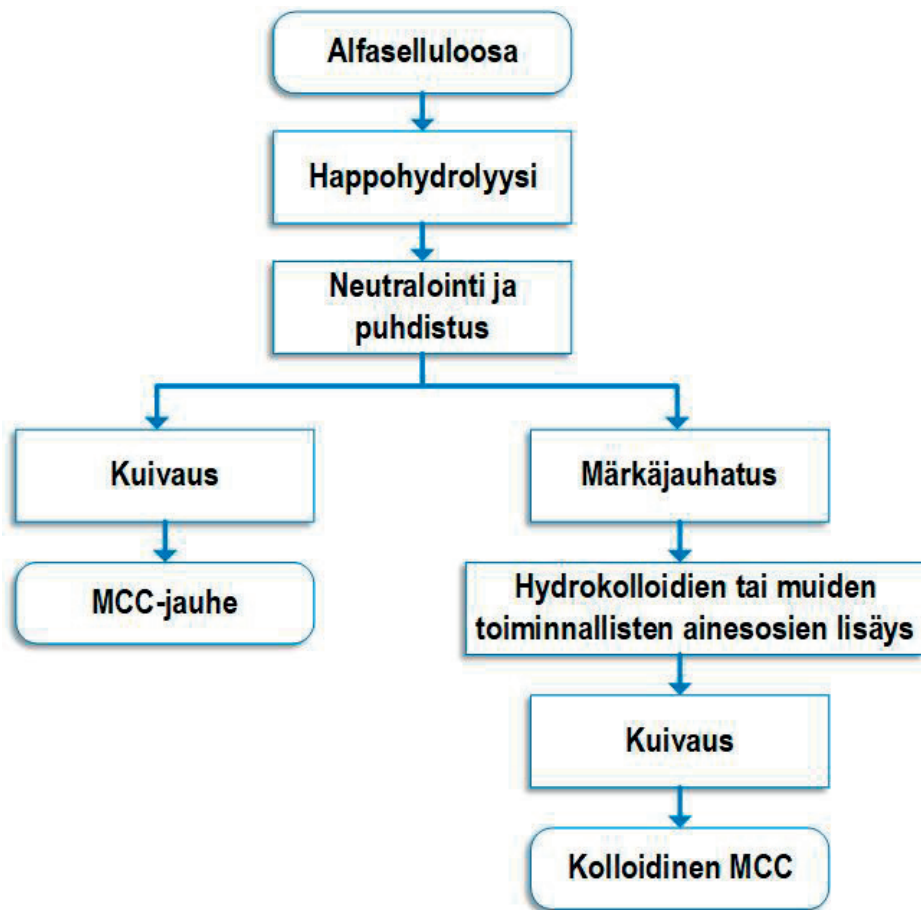
2.3 Mikrokiteinen selluloosa

Mikrokiteinen selluloosa on puhdistettua, osittain depolymeroitunutta selluloosaa, jota valmistetaan käsittelemällä kuitukasvien kannoista massana saatavaa alfa-selluloosaa mineraalihapoilla. Polymeraatioaste on tavallisesti alle 400. (Komission asetus (EU) N:o 231/2012.)

Kaikki kiteistä selluloosaa sisältävät lignoselluloosan¹ lähteet voivat olla mikrokiteisen selluloosan raaka-aineena, mutta puumateriaalien etuna yksivuotisiin kasveihin verrattuna on niiden homogeenisempi rakenne, pienempi prosessia häiritsevän epäorgaanisen aineksen määrä sekä parempi lopputuotteen saanto (Vanhatalo 2017). Teollisessa mittakaavassa MCC:n valmistukseen käytetään puu- tai puuvillakuidusta saatua puhdistettua selluloosakuitua (alfaselluloosaa), josta hemiselluloosa, ligniini ja muut epäpuhtaudet on kokonaan tai osittain poistettu (Trache ym. 2016).

Mikrokiteistä selluloosaa valmistetaan alfaselluloosasta poistamalla hydrolysoimalla polymeeriketjujen amorfisen alueen eri käsittelyille herkkiä sidoksia (kuva 2). Hydrolysointiin on käytössä useita menetelmiä, joista kemialliset käsittelyt mineraalihapoilla, kuten suolahapolla tai rikkihapolla, ovat kaupallisessa valmistuksessa käytettyjä. Muita kirjallisuudessa raportoituja hydrolysointiin käytettyjä menetelmiä ovat alkalikäsittelyt, entsyymaattiset, hydrotermiset ("höyryräjäytys") menetelmät sekä ekstruusio. Hydrolyysiä jatketaan, kunnes saavutetaan vakiintuva polymeeraatioaste (levelling-off degree of polymerization, LODP). Hydrolyysissä kiteiset alueet erottuvat ja muodostavat kristalliittikasaukia (aggregaatteja). Hydrolyysin jälkeen saatu vesipitoinen selluloosaliete neutraloidaan ja pestään perusteellisesti epäpuhtauksien poistamiseksi. Näin saatua märkää massaa (wetcake, kosteuspitoisuus yleensä 40–60 %) edelleen prosessoitaessa saadaan MCC-jauhetta tai kolloidista MCC:tä. (Tuason ym. 2010, Trache ym. 2016, Vanhatalo 2017.)

¹ Lignoselluloosalla tarkoitetaan kasvin biomassaa, joka koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä.

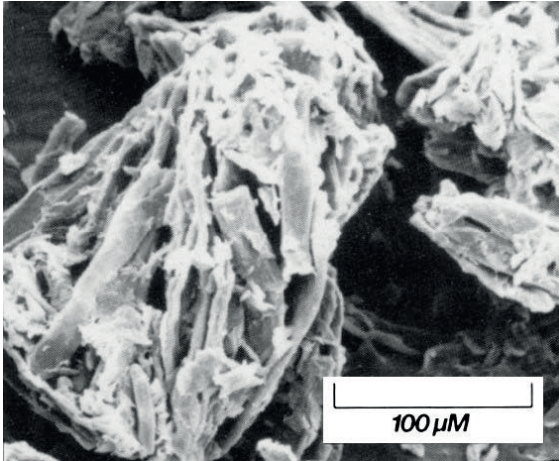


Kuva 2. MCC-tuotteiden valmistusprosessi (Wüstenberg 2015).

MCC-jauhe (Powdered MCC)

MCC-jauhetta valmistetaan hydrolysoidusta, neutraloidusta ja puhdistetusta massasta jauhamalla ja sumutuskuivaamalla (kuva 2). Tuloksena on valkoista, hajutonta ja mautonta sekä suhteellisen vapaasti virtaavaa jauhetta. Hydrolyysissä vain osa amorfisesta selluloosasta irtoaa kiteisten selluloosasegmenttien ympäriltä. MCC-jauheessa kiteisen fraktion osuus on noin 70 % ja amorfisen fraktion osuus noin 30 %. Jauhe koostuu kidekasumiin muodostamista huokoisista ja sienimäisistä partikkeleista (kuva 3). Huokoisuutensa ansiosta nämä partikkelit adsorboivat hyvin pintaansa vettä tai öljyä. MCC-jauhe ei kuitenkaan liukene veteen, ja veteen lisättäessä se turpoaa ja dispergoituu osittain. (Tuason ym. 2010, Wüstenberg 2015.)

Vaikka MCC-jauhe turpoaa vedessä, sillä on kuitenkin heikko vedenpidätyskyky. Tämä selittyy sillä, että vesi pidättyy vain partikkelien pintaosiin. Kovalov ym. (2017) ovat todenneet, että sitoutunut vesi on MCC:n huokosissa ja pinnalla useiden molekyylien kerroksena.



Kuva 3. Elektronimikroskooppikuva MCC-jauheen partikkelista (Humpreys 1996).

Mikrokiteisen selluloosajauheen keskeiset ominaisuudet on koottu taulukkoon 1. Sen toiminnallisia ominaisuuksia elintarvikkeissa tarkastellaan yksityiskohdaisesti luvussa 3.

Taulukko 1. Mikrokiteisen selluloosan keskeiset ominaisuudet.

Mikrokiteinen selluloosa (MCC), E460(i)	
Hienojakoinen, valkoinen tai lähes valkoinen, vapaasti juokseva, mauton ja hajuton jauhe. Geelinä läpinäkyvätön (opaakki).	
Liukoisuus ja geeliytyminen	Ei-kolloidisena veteen liukenematon (0,24 % vesiliukoisia komponentteja). 100 % dispergoituminen kylmään veteen (turpoaa vedessä). Kolloidisten versioiden liukoisuus vaihtelee niiden koostumuksesta riippuen. Viskositeetti säilyy stabiilina kuumennettaessa. Sekoitettaessa leikkausvoimat aktivoivat soolin ja edelleen geelin muodostumisen. Muodostaa levitettävän lämpöstabiiin geelin. Leikkausvoimat heikentävät geelin viskositeettia, mutta viskositeetti palautuu lähes ennalleen lepoajan jälkeen.
pH-stabiilisuus	Melko hyvä (pH 3,8–9), happamissa olosuhteissa (pH < 4,5) paakkuuntuu.
Hajoaminen	Entsyaattisesti sellulaaseilla.
Kalvonmuodostus	Heikko
Pinta-aktiivisuus	
Emulsion stabilointi	Tukee emulgaattorin vaikutusta.
Syneresis-taipumus	Vähäinen
Suolojen ja muiden liuenneiden aineiden vaikutus	Vähäinen
Vaikutus proteiineihin	Ei vaikutusta
Synergia	Inertti, ei synergiavaikutuksia
Annostus	0,1-5 %

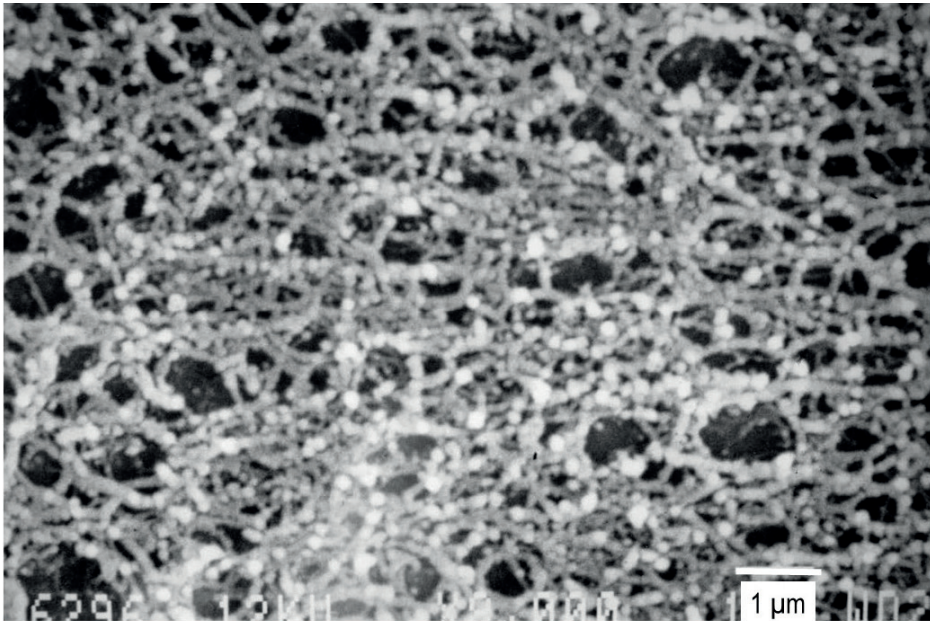
Kolloidinen MCC

MCC-jauheen käytössä havaittiin monia ongelmia, jotka johtivat kolloidisen MCC:n kehittämiseen (US 3539365A 1970):

- MCC-jauheen valmistuksessa tuote pyrkii pakkautumaan ja kovettumaan, kun kuivausprosessia monet pienet partikkelit liittyvät yhteen vetysidoksilla.
- Elintarvikekäytössä MCC-jauheen dispergoimiseksi veteen tarvitaan paljon energiaa (leikkausvoimaa) vetysidosten pilkkomiseksi.
- MCC-jauheesta valmistetut dispersiot ovat herkkiä ionisoituville materiaaleille (esim. suolat, hapot, kova vesi ja kolloidiset partikkelit kuten proteiinit). Dispersiossa heikosti negatiivisesti varautuneet MCC-partikkelit pyrkivät flokkuloitumaan (muodostamaan suurempia hiutaleita) positiivisesti varautuneiden ionien kanssa.
- Lisättäessä MCC-jauhetta ilman dispergoimista kuivana tuotteena elintarvikkeeseen se aiheuttaa tuotteeseen ei-toivottuja karkeuksia ja kalkkimaiseksi luonnehditun suutuntuman.

Kolloidista MCC:tä valmistetaan (kuva 2) hajottamalla ensin happohydrolyysissä saatu pesty massa (wetcake) mekaanisesti niin, että voimakkaalla leikkaus- ja hirtovaikutuksella MCC:n kiteisten kasaumien kompakti rakenne rikkoutuu ja uusia mikrokiteitä vapautuu. Mekaanisen käsittelyn tuloksena saadaan erittäin hienojakoista massaa, jossa kooltaan yli 1 µm:n partikkeleja ei tulisi olla enempää kuin 1 % massan painosta. Mekaanisen hienonnusvaiheen jälkeen hienonnetut mikrokiteet prosessoidaan hydrofiilisen dispersantin kanssa, joka estää vetysidosten muodostumisen ja mikrokiteiden kasautumisen uudelleen massaa kuivattaessa. Dispersantteina käytetään vesiliukoisia hydrokolloideja, kuten algiinaatteja, guarkumia, ksantaanikumia tai karboksyyylimetyyliselluloosaa (CMC) 8–12 %:n konsentraatioina. Lopuksi materiaali kuivataan. (US 3539365 1970, Tuason ym. 2010, Wüstenberg 2015.)

Kolloidista MCC:tä markkinoidaan elintarvikekäyttöön kuivana ingredienttinä, joka vesilisäyksen jälkeen muodostaa liukenemattomia mikrokiteitä sisältävän dispersion. Riippuen siitä, millaista vesiliukoista hydrokolloidia kolloidisen MCC:n valmistuksessa käytetään, saadaan lopputuotteesta valmistettaville dispersioille erilaisia toiminnallisia ominaisuuksia. Liukoinen hydrokolloidi edistää sekä MCC-partikkelien dispergoitumista uudentyyppisen rakenteen muodostuessa että parantaa lopputuloksena syntyvän kolloidisen dispersion stabilisuutta. Oikealla tavalla vesilisän kanssa valmistettu kolloidisen MCC:n muodostama dispersio muodostaa kolmiulotteisen verkostorakenteen (kuva 4). Juuri tämän liukenemattoman selluloosan verkostorakenteen ansiosta kolloidiselle MCC:lle saadaan kulloiseenkin elintarvikekäyttöön tarvittavat toiminnalliset ominaisuudet. (Krawczyk ym. 2009.)



Kuva 4. Elektronimikroskooppikuva kolloidisen MCC:n muodostamasta verkstorakenteesta (Humphreys 1996).

Humphreysin (1996) mukaan MCC:n kanssa koprosessoidut hydrokolloidit edistävät verkostomuodon syntymistä toimimalla vedestä turpoavina kapillaareina kiteiden välissä pakottaen ne avautumaan hydratoinnissa. Verkosto stabiloituu vetysidoksien ansiosta selluloosan pinnan polaaristen ryhmien välillä. Liukoiset hydrokolloidit myös vahvistavat verkostoa muodostamalla vetysidoksia mikrokiteiseen selluloosaan.

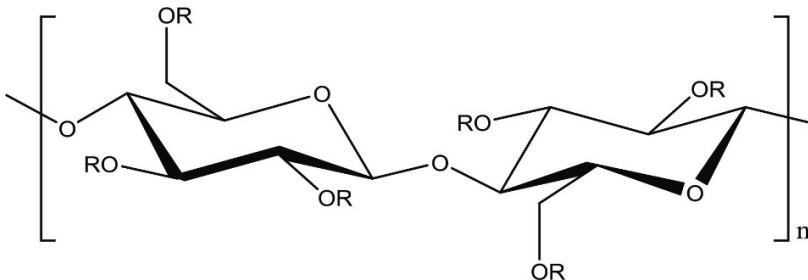
Kolloidisesta MCC:stä saadaan geelejä, joilla on kiinteän aineen elastisia ominaisuuksia (korkea myötöraja ja tiksotrooppisuus). Useimmat MCC-hydrokolloididispersiot ovat myös lämpöstabiileja, mikä on erittäin tärkeä ominaisuus kuumennettavien elintarvikkeiden valmistuksessa (Krawczyk ym. 2009.)

Erilaisten kolloidisten MCC-laatuojen ominaisuuksia tarkastellaan yksityiskohtaisesti elintarvikekohtaisten käyttösovellusten yhteydessä.

2.4 Selluloosajohdannaiset

Selluloosajohdannaisilla tarkoitetaan selluloosasta kemiallisella käsittelyllä, joko eetteröimällä tai esteröimällä, saatuja tuotteita (Wüstenberg 2015). Tässä tarkastellaan elintarvikelisiä aineina Euroopan unionin alueella käytettäväksi sallittuja selluloosajohdannaisia (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1333/2008, kuva 5), joita ovat:

- metyyli selluloosa, E461
- etyyli selluloosa, E462
- hydroksi propyyli selluloosa, E463
- hydroksi propyyli metyyli selluloosa, E464
- etyyli metyyli selluloosa, E465
- natriumkarboksimeetyli selluloosa (selluloosakumi), E466
- silloitettu natriumkarboksimeetyli selluloosa (silloitettu selluloosakumi), E468
- entsyymaattisesti hydrolysoitu karboksimeetyli selluloosa (entsyymaattisesti hydrolysoitu selluloosakumi), E469.



E461 R= H or $-\text{CH}_3$

E462 R= H or $-\text{CH}_2\text{CH}_3$

E463 R= H or $-\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ or $-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{OCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$

E464 R= H or $-\text{CH}_3$ or $-\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$

E465 R= H or $-\text{CH}_3$ or $-\text{CH}_2\text{CH}_3$

E466 R= H or $-\text{CH}_2\text{COONa}$ or $-\text{CH}_2\text{COOH}$

E469 R= H or $-\text{CH}_2\text{COONa}$ or $-\text{CH}_2\text{COOH}$

Kuva 5. Selluloosajohdannaisien kemiallinen rakenne. Rakennekaavassa R = vety tai spesifinen ryhmä, n = perättäisten selluloosiyksiköiden lukumäärä. (EFSA 2018).

Taulukkoihin 2–8 on koottu kunkin selluloosajohdannaisen keskeiset ominaisuudet niiden elintarvikekäytön näkökulmasta. Lähteenä käytetty Imesonin (2010) ja Wüstenbergin (2015) teoksia.

Taulukko 2. Metyyliselluloosan ja hydroksiopropyylimetyyliselluloosan keskeiset ominaisuudet.

Metyyliselluloosa (MC), E461 ja hydroksiopropyylimetyyliselluloosa (HPMC), E464	
Ei-ionisia vesiliukoisia selluloosaeettereitä. Polymeerin β -D-glukoosi-yksiköissä vapaita hydroksyyliiryhmiä korvattu:	
– varauksettomilla hydrofobisilla CH_3 -ryhmillä (MC)	
– varauksettomilla hydrofiilisillä $\text{CH}_2\text{CHOHCH}_3$ - ja varauksettomilla hydrofobisilla CH_3 -ryhmillä (HPMC)	
Vaaleita, vapaasti juoksevia, mauttomia ja hajuttomia jauheita. Vähemmän hygroskooppisia kuin CMC. Vesiliuoksina vesikirkkaita ja läpinäkyviä, geelinä läpinäkyvämmiä.	
Liukoisuus ja geelytyminen	Liukenee kylmään veteen. Lämmitettäessä: 1. Viskositeetti vähenee \rightarrow 2. Viskositeetti kasvaa \rightarrow 3. Geelytyminen (flokkeloituminen mahdollista). Jäähdytettäessä palautuu viskoosiksi liuokseksi (lämmittäessä geelytyy uudelleen).
pH-stabiilisuus	Hyvä (pH 2–12)
Hajoaminen	Entsymaattisesti sellulaaseilla.
Kalvonmuodostus	Hyvä
Pinta-aktiivisuus	Hyvä vaahdonmuodostaja (HPMC erityisen hyvä)
Emulsion stabilointi	Tukevat emulgaattorin vaikutusta
Syneresis-taipumus	Hieman (HPMC erittäin vähän)
Suolojen ja muiden liuenneiden aineiden vaikutus	Suolat ja sokerit alentavat geelinmuodostuslämpötilaa. MC voi saostua korkeissa suolapitoisuuksissa.
Vaikutus proteiineihin	Ei vaikutuksia.
Synergia	Viskositeetti paranee yhdessä Na-CMC:n kanssa, kun pH 4–9 ja NaCl < 0,5%
Annostus	0,1–0,5% (vaahdot), kalvoille 10 %

Taulukko 3. Etyyliselluloosan keskeiset ominaisuudet

Etyyliselluloosa (EC), E462	
Ei-ioninen veteen liukenematon selluloosaeetteri. Polymeerin β -D-glukoosi-yksiköissä vapaita hydroksyyliiryhmiä korvattu varauksettomilla CH_2CH_3 -ryhmillä.	
Valkoista tai harmahtavaa jauhetta.	
Liukoisuus ja geelytyminen	Ei liukene veteen. Geelytyy vain erityisolosuhteissa.
pH-stabiilisuus	Erittäin hyvä (pH 1–14)
Hajoaminen	Entsymaattisesti sellulaaseilla
Kalvonmuodostus	Erittäin hyvä
Pinta-aktiivisuus	
Emulsion stabilointi	Hyvä
Suolojen ja muiden liuenneiden aineiden vaikutus	Vähäinen
Vaikutus proteiineihin	Ei vaikutusta
Synergia	Ei vaikutusta
Annostus	0,5–5%

Taulukko 4. Hydroksipropyyliselluloosan keskeiset ominaisuudet

Hydroksipropyyliselluloosa (HPC), E463	
Ei-ioninen vesiliukoinen selluloosaeetteri. Polymeerin β -D-glukoosi-yksiköissä vapaita hydroksyyliiryhmiä korvattu varauksettomilla $\text{CH}_2\text{CHOHCH}_3$ -ryhmillä. Vaaleaa, kaupallisenä tuotteena saatavana jauhemaisena tai rakeisena. Vesiliuoksena kirkas ja läpinäkyvä.	
Liukoisuus ja geelytyminen	Liukenee veteen (0–38°C). Ei geelydy.
pH-stabiilisuus	Hyvä (pH 2–11)
Hajoaminen	Entsymaattisesti sellulaaseilla, mutta muita selluloosaeettereitä stabiilimpi.
Kalvonmuodostus	Hyvä kalvonmuodostaja, kalvo kuumasaumattavissa. Hyvä muovattavuus puristus- ja ruiskuvälutekniikoilla.
Pinta-aktiivisuus	Hyvä vaahdonmuodostaja
Emulsion stabilointi	Tukee emulgaattorin vaikutusta
Syneresis-taipumus	Ei
Suolojen ja muiden liuenneiden aineiden vaikutus	Suolat ja sokerit alentavat saostumislämpötilaa.
Vaikutus proteiineihin	Vähäinen
Synergia	Na-CMC parantaa viskositeettia pH-alueella 4–9 ja NaCl-pitoisuudessa < 0,5 %.
Annostus	Vaahdoille 0,1–0,5 %, kalvoille 10 %

Taulukko 5. Etyylimetyyliselluloosan keskeiset ominaisuudet

Etyylimetyyliselluloosa (EMC), E465 (Synonyymi: metyylietyyliselluloosa, MEC)	
Ei-ioninen vesiliukoinen selluloosaeetteri. Polymeerin β -D-glukoosi-yksiköissä vapaita hydroksyyliiryhmiä korvattu varauksettomilla CH_3 - ja CH_2CH_3 -ryhmillä. Ei saatavana kaupallisena tuotteena.	
Liukoisuus ja geelytyminen	Liukenee veteen. Hydroksyyliiryhmien substituutioasteen kasvaminen lisää selvästi liukoisuutta. Korkean substituutioasteen tuote muodostaa kirkkaan liuoksen ja kiinteän geelin lämmitettäessä. Jäähdytettäessä geeli palautuu viskoosiksi liuokseksi.
pH-stabiilisuus	Hyvä
Hajoaminen	Entsymaattisesti sellulaaseilla.
Kalvonmuodostus	Ei
Pinta-aktiivisuus	Erittäin hyvä vaahdonmuodostaja
Emulsion stabilointi	Ei tunneta
Syneresis-taipumus	Ei tunneta
Suolojen ja muiden liuenneiden aineiden vaikutus	Ei vaikutusta, hyvä yhteensopivuus
Vaikutus proteiineihin	Ei vaikutusta
Synergia	Ei tunneta
Annostus	Vaahdoille 0,2–0,5%

Taulukko 6. Natriumkarboksimeetyliselluloosan keskeiset ominaisuudet

Natriumkarboksimeetyliselluloosa (CMC), E466 (Synonyymi: selluloosakumi)	
Polymeerin β -D-glukoosi-yksiköissä vapaita hydroksyyliiryhmiä korvattu negatiivisen varauksen omaavilla karboksimeetyliiryhmillä (COO-).	
Anioninen vesiliukoinen selluloosaetteri. Valkoinen tai hieman ruskehtava, hajuton, mauton, vapaasti juokseva, hieman hygroskooppinen jauhe. Vesiliuoksena kirkas ja läpinäkyvä, geelinä läpinäkymätön (opaakki).	
Liukoisuus ja geeliytyminen	Liukenee hyvin veteen. Viskositeetti heikkenee lämmitettäessä, mutta palautuu jäädytettäessä. Alemmilla liukoisuusasteilla, karkeilla partikkeliko'oilla tai tiksotrooppisilla laaduilla paras vedensidontakyky. Ei geeliytymistä puhtaassa vedessä. Levitettävä geeli muodostuu, kun riittävä määrä ioneja (2+, 3+) on läsnä.
pH-stabiilisuus	Melko hyvä (pH 3–10)
Hajoaminen	Entsymaattisesti sellulaaseilla Lämmitettäessä happamassa ympäristössä (pH \leq 3,5)
Kalvonmuodostus	Hyvä
Pinta-aktiivisuus	Ei vaahdonmuodostaja
Emulsion stabilointi	Tukee emulgaattorin vaikutusta
Syneresis-taipumus	Ei
Suolojen ja muiden liuenneiden aineiden vaikutus	Yhdenarvoiset ionit vaikuttavat voimakkaasti viskositeettiin, kahden- ja kolmenarvoiset kationit vaikuttavat saostumiseen ja geeliytymiseen.
Vaikutus proteiineihin	Anioniluonne mahdollistaa reagoinnin proteiinien kanssa niiden isoelektrisessä pisteessä tuottaen liukoisia ja stabiileja proteiinikomplekseja.
Synergia	Viskositeetin parantamiseen guarumin ja ei-ionisten selluloosaetterien kanssa. Geelin laadun parantamiseen tärkkelysten ja karra-geenin kanssa.
Annostus	0,05–0,5%

Taulukko 7. Silloitetun natriumkarboksimeetyliselluloosan keskeiset ominaisuudet.

Silloitettu natriumkarboksimeetyliselluloosa, E468 (Synonyymit: silloitettu selluloosakumi, kroskarmelloosi)
Termisesti silloitetun osittain O-karboksimeetyloidun selluloosan natriumsuola. Ei liukene veteen, mutta absorboi hyvin vettä (moninkertaisesti painoonsa nähden). Ominaisuuksia ja käyttösovelluksia varsinaisissa elintarvikkeissa ei tunneta. Käytetään ravintolisätuotteissa, makeutusainetableteissa ja lääkkeissä. Esim. tabletin pintamateriaalina hajoaa nopeasti ruoansulatuskanavassa.

Taulukko 8. Entsymaattisesti hydrolysoidun karboksimeetyliselluloosan keskeiset ominaisuudet

Entsymaattisesti hydrolysoitu karboksimeetyliselluloosa, E469 (Synonyymi: entsyymaattisesti hydrolysoitu selluloosakumi)
Sellulaaseilla käsiteltyä karboksimeetyliselluloosaa. Liukenee hyvin veteen kuten alkuperäinen CMC. Viskositeetti heikkenee hieman lämmitettäessä, mutta palautuu ennalleen jäädytettäessä. Ei muodosta geeliä. Käytetään harvoin elintarvikesovelluksissa. Saostuu peruuttamattomasti happamissa olosuhteissa. Soveltuu käytettäväksi yhdessä muiden hydrokolloidien kanssa (kuten CMC). Annostus 0,05–3%.

2.5 Markkinat

Tarkkoja tietoja MCC:n ja selluloosajohdannaisten maailmanmarkkinoista ei ole julkisesti saatavana. Useat markkinatutkimuslaitokset ovat laatineet raportteja, joissa ne käsittelevät alue- ja toimialakohtaisesti näiden tuotteiden markkinatilannetta ja ennusteita markkinoiden kehittymisestä. Näitä raportteja markkinoidaan lähinnä alan yritysille erittäin korkeaan hintaan, minkä lisäksi niiden käyttäjälisenssin haltijan tulee sitoutua pitämään raportin tiedot salassa. Tässä voitiin käsitellä vain näistä raporteista laadituista lehdistötiedotteista löytyviä yleisluonteisia markkinatietoja. Parkerin (2017) laatima laaja tutkimusraportti MCC:n maailmanmarkkinoista on julkisesti käytettävissä. Toisin kuin markkinatutkimuslaitosten kyselyihin perustuvat selvitykset Parkerin raportin tulokset perustuvat ekonometriseen malliin, jolla saadut tulokset näyttävät poikkeavan merkittävästi markkinatutkimuslaitosten tuloksista sikäli kuin tuloksia on vertailtavissa. Parkerin raportissa ei myöskään käsitellä markkinatietoja toimialakohtaisesti.

MCC:n ja selluloosajohdannaisten kokonaismarkkinat

Selluloosaa tuotetaan vuosittain noin 192 milj. tonnia (FAO 2016), mikä vuoden 2017 hinnoin (875 \$/tn) vastaa 168 mrd. \$:n arvoista markkinaa. Selluloosakuidusta teollisuus käyttää 97,5 % paperin valmistukseen ja 2,5 % erilaisiin muihin selluloosatuotteisiin (Wüstenberg 2015).

MCC:n maailmanlaajuinen vuosituotanto on 120 000 tonnin suuruusluokkaa ja sen markkinahinta laadusta riippuen on 2 000–7 000 €/tonni (Vanhatalo 2017). Parker (2017) arvioi MCC:n maailmanlaajuisen latentin kysynnän arvon vuonna 2018 olevan noin 1,3 miljardia dollaria. Latentilla kysynnällä Parker tarkoittaa potentiaalista teollisuuden ansaintaa, joka on todennäköisesti suurempi kuin toteutuva kysyntä. Ero onkin merkittävä, koska Research and Markets (2018) arvioi MCC-markkinoiden todellisen arvon vuonna 2018 olevan 885,1 milj. \$.

Parkerin (2017) mukaan valtaosa MCC:n maailmanmarkkinoista, noin 80 %, jakautuu vuonna 2018 kolmen maanosan, Aasian, Euroopan ja Pohjois-Amerikan kesken. Selvästi eniten kysyntää on Aasiassa, jonka jälkeen tulevat Eurooppa ja Pohjois-Amerikka lähes yhtä suurilla osuuksilla (taulukko 9). Suurin osa

(46 %) MCC:n Aasian markkinoista löytyy Kiinasta. Kiinan jälkeen suurimmat osuudet Aasian markkinoista ovat Intialla ja Japanilla, kummallakin noin 15 %:n osuus. Euroopan MCC-markkinoista suurimmat osuudet jakavat Saksa (17 %), Iso-Britannia (13 %) ja Ranska (12 %). Pohjoismaiden markkinat arvioidaan vuodelle 2018 15,9 milj. \$:n arvoiseksi, mistä Suomen markkinat ovat 2,8 milj. \$ (1 % Euroopan markkinoista).

Taulukko 9. MCC:n potentiaaliset maailmanmarkkinat vuonna 2018 ja niiden muutos aikavälillä 2017–2023. Tiedot on koottu Parkerin (2017) raportista.

Maanosa	Kysyntä 2018 (milj. US \$)	Osuus markkinoista (%)	Kysynnän muutos 2017–2023 (%)
Aasia	484	37	+ 23
Eurooppa	276	21	+ 6
Pohjois-Amerikka ja Karibia	275	21	+ 10
Latinalainen Amerikka	110	9	+ 14
Lähi-itä	78	6	+ 16
Afrikka	54	4	+ 19
Oseania	17	2	+ 13
Yhteensä	1 295	100	+ 15

Parkerin (2017) ennusteen mukaan MCC:n kysyntä vuodesta 2017 vuoteen 2023 mennessä kasvaa noin 190 miljoonalla dollarilla (15 %, taulukko 9). Latentin kysynnän kasvuksi Parker arvioi 2,3 % vuodessa. Markkinatutkimuslaitosten ennustamat MCC:n kysynnän vuotuiset kasvuprosentit maailmanmarkkinoilla ovat edellä mainittua selvästi korkeampia: 5,8 % (TMR 2015), 7,2 % (M&M 2015a) ja 7,0 % (Research and Markets 2018). Tuoreimman ennusteen mukaan MCC:n maailmanmarkkinat kasvavat 1 241,1 milj. \$:iin vuoteen 2023 mennessä (Research and Markets 2018).

Parkerin (2017) ennusteiden mukaan Aasian jo ennestään suuret markkinat kasvavat eniten (23%) ja paljolti Kiinan ansiosta, jonka markkinalle ennustetaan 31 %:n kasvua. Parkerin mallissa MCC:n kysynnän kasvun arvioidaan Suomessa jäävän pienemmäksi kuin Euroopan maissa keskimäärin. Ennusteen mukaan vuoden 2017 markkina 2,7448 milj. \$ kasvaisi vain 3 %:lla 2,8293 milj. \$:iin vuonna 2023.

MCC:n tuotanto on melko keskittynyttä ja on edelleen keskittymässä. Taulukossa 10 on lueteltu eräitä MCC-markkinoilla toimivia keskeisiä yrityksiä sekä

niiden markkinaosuuksia. Tiedot perustuvat Euroopan komission julkisesti saatavilla olevaan aineistoon (European Commission 2017).

Taulukko 10. Eräiden MCC-markkinoilla toimivien yritysten markkinaosuuksia MCC:n markkinoista Euroopan talousalueella ja maailmanmarkkinoilla vuonna 2016 (Euroopan komissio 2017).

Yritys	Osuus markkinoista Euroopan talousalueella (%)		Osuus maailmanmarkkinoista (%)	
	Volyymi	Arvo	Volyymi	Arvo
FMC (USA)	20-30	20-30	30-40	40-50
DuPont/Danisco (USA)*)	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
JRS (Saksa)	30-40	30-40	20-30	20-30
Mingtai (Taiwan)	10-20	10-20	10-20	10-20
Blanver (Brasilia)	5-10	5-10	5-10	5-10

*) ei omaa tuotantoa, yhteistyösopimus tuotannosta Mingtain kanssa

Muita globaaleilla MCC-markkinoilla toimivia yrityksiä ovat: Asahi Kasei (Japani), DFE Pharma (Saksa), Tembec (Kanada), Juku Orchem (Intia), Sigachi Industries (Intia), Libraw Pharma (Intia) ja Avantor Performance Materials (USA). (TMR 2015.)

Vuonna 2017 tapahtuneessa toimialajärjestelyssä amerikkalaisten FMC-yhtiön ja DuPontin välillä MCC-tuotteiden tuotanto ja kehitystyö siirtyi FMC-yhtiöltä täydentämään DuPontin vastaavaa liiketoimintaa (Wyers 2017). Tätä ennen FMC oli johtava MCC:n tuottaja ja uranuurtaja MCC-tuotteiden kehitystyössä. Näin DuPontista tuli erittäin vahva toimija MCC-tuotteissa.

Suomessa MCC:tä valmistetaan tällä hetkellä kaupallisesti J.Rettenmeier & Söhne -yhtiön (JRS) tehtaalla Nastolassa. Kemijärvelle suunnitteilla olevan Boreal Bioref -biojalostamon on tarkoitus tuottaa MCC:tä Aalto-yliopistossa kehitetyllä uudella menetelmällä, jolla lopputuote saadaan aikaan ympäristöystävällisemmin ja pienemmin tuotantokustannuksin. Mikäli valmistusmenetelmä otetaan laajemmin käyttöön ja integroidaan sellutehtaiden prosesseihin, se vaikuttaa MCC:n markkinahintaa alentavasti ja entisestään MCC:n käyttöä kasvattavasti nykyisissä ja uusissa käyttökohteissa.

Selluloosaeetterien ja niiden johdannaisten markkinat olivat arvoltaan 4,51 mrd.\$ vuonna 2015. Markkinoiden on arvioitu kasvavan vuosittain 6%:lla niin, että markkinoiden arvo olisi 6,41 mrd. \$ vuonna 2021. (M&M 2017.)

Selluloosaetereitä tuotetaan globaalisti noin 600 000 tonnia vuodessa (Wüstenberg 2015). Niiden markkinoiden volyymista hieman yli puolet koostuu karboksimeetyliselluloosan (CMC) kysynnästä, 30 % metyyliselluloosan kysynnästä ja 12 % hydroksyetyliselluloosan kysynnästä. Suurin kysyntä selluloosaetereille on Aasiassa, erityisesti Kiinassa ja Euroopassa. Näistä kumpikin markkina-alue vastaa runsasta neljänneestä kokonaiskysynnästä (IHS Markit 2016).

Karboksimeetyliselluloosan maailmanmarkkinoiden arvioitiin olevan vuonna 2014 arvoltaan 1 152 milj. \$ ja kasvavan vuosittain keskimäärin 4,2 %:lla vuosina 2015–2020 (M&M 2015b). CMC:n teknisten laatujen valmistusta dominoivat kiinalaiset tuottajat ja pidemmälle jalostettujen, mm. elintarvikkeisiin soveltuvien laatujen suurimpia valmistajia ovat CPKelco 32 %:n markkinaosuudella ja Ashland 25 %:n markkinaosuudella (IHS Markit 2016). CPKelco valmistaa CMC:tä myös Suomessa.

Markkinat elintarviketoimialalla

Elintarvike- ja lääketeollisuus ovat merkittävimmät MCC:n käyttäjät. TMR (2015) arvioi lääketeollisuuden osuudeksi vuonna 2013 runsaat 35 % MCC:n maailmanmarkkinoista, ja sen markkinoiden arvo on M&M:n (2015a) mukaan useissa farmaseuttisissa sovelluksissa kasvamassa keskimäärin 7,9 %:n vuosivauhtia.

Elintarvikekäytön markkinaosuudesta maailmanmarkkinoilla ei ole käytettävissä kattavaa tietoa. Seisunin (2017) esittämien tilastojen mukaan MCC:tä käytettiin vuonna 2016 elintarvikkeisiin noin 14 000 tonnia markkina-arvoltaan noin 123 milj. \$. Näistä tilastoista kuitenkin puuttuvat Kiinan, joka on noussut MCC:n merkittäväksi käyttäjäksi, tiedot. MCC:n elintarvikemarkkinoiden arvo (muualla kuin Kiinassa) on kasvanut kymmenessä vuodessa yli kaksinkertaiseksi, kun vuoden 2006 tilastojen (Wüstenberg 2015) mukaan sen elintarvikekäytön tuotetun 9 000 tonnin markkina-arvo oli noin 54 milj. \$.

Markkinatutkimuslaitosten tiedotteissa MCC:n elintarvikekäyttö mainitaan lääke- ja kosmetiikkakäytön ohella kasvualaksi. Elintarvikekäytön kasvua tosin hidastavat monet korvaat tuotteet (Research and Markets 2018), joiksi Li ja

Nie (2016) mainitsevat hydrolysoidut tärkkelykset, ksantaanin ja polydeksstroosin. Kysynnän kasvuun arvioidaan vaikuttavan kehittyneissä maissa MCC:n käyttömahdollisuudet suosiotaan lisäävien vähärasvaisen ja runsaskuituisten elintarvikkeiden valmistuksessa. Kehittyneissä maissa vaurastuvan väestön mahdollisuudet käyttää pakattuja ja prosessoituja elintarvikkeita arvioidaan olevan merkittävä ajuri MCC:n kysynnän kasvulle.

Suuren MCC:tä tuottavan FMC-yhtiön johtaja Michael Wilson kuvasi MCC:n elintarvikemarkkinoita seuraavasti: ”Koska Kiinassa ei ole riittävästi maidontuotantoa kattamaan maidon ja proteiinin kysyntää, heillä on maidottomia proteiinijuomia ja he käyttävät MCC:tä saman suutuntuman aikaansaamiseen kuin maidolla. Kehittyneissä talouksissa taas MCC:n kysynnän kasvuun vaikuttaa lähes vastakkainen trendi: prosessoitujen tuotteiden, erityisesti vähärasvaisten juomien ja jälkiruokien, kasvava suosio.” Wilson (2013.)

Selluloosajohdannaisten vuotuinen elintarvikekäyttö on noin 6 000 tonnia (Cash & Caputo 2010). Prosessoitujen elintarvikkeiden valmistuksen arvioidaan olevan tärkein ajuri selluloosajohdannaisten kysynnän kasvulle (Business Wire 2018). Karboksimeetyliselluloosa (CMC) on tuotantomäärältään suurin ja laajimmin käytetty selluloosaeetteri, jonka globaalista kysynnästä noin neljännes tulee elintarviketeollisuudesta (Casaburi ym. 2018). Seisunin (2017) mukaan CMC:n markkinoiden volyymi (ilman Kiinan markkinoita) vuonna 2016 oli 46 000 tonnia ja arvo 209 milj. \$. Vastaavasti toiseksi laajimmin käytettyjen ja usein toisiaan korvaavien metyyliselluloosan (MC) ja hydroksimeetyliselluloosan (HPMC) yhteinen volyymi oli 10 000 tonnia ja arvo 107 milj. \$.

MCC:n ja selluloosajohdannaisten markkinoista elintarviketoimialalla ei saa oikeaa kuvaa, ellei niitä tarkastella laajemmassa elintarvikkeisiin käytettävien hydrokolloidien kontekstissa. Hydrokolloideja voidaan käyttää osittain toisiaan korvaavina riippuen luonnollisesti käyttötarkoituksesta ja tarvittavista spesifisistä ominaisuuksista. Selluloosapohjaiset hydrokolloiditkin kilpailevat siten markkinoilla muiden hydrokolloidien kanssa.

Hydrokolloidimarkkinat muodostuvat käytännössä taulukosta 11 nähtävistä ingredeinteistä. Tonnimääräisesti tärkkelys on runsaalla 1,5 milj. tonnin käyttömäärällä ylivoimaisesti käytetyin hydrokolloidi. Vaikka tärkkelysten keskimääräinen markkinahinta jää alle 1 \$/kg, nostaa suuri volyymi niiden markkina-arvon yksikköhinnaltaan kalliimpien gelatiinin ja pektiinin tasolle.

Selluloosapohjaiset hydrokolloidit edustavat vain noin 6 % markkinoiden arvosta, ja tonnimääräisesti niiden osuus jää selvästi tätäkin pienemmäksi. CMC:n käyttömäärä on yli kolminkertainen MCC:n käyttömäärään verrattuna, mikä johtune CMC:n pitkästä käyttöhistoriasta ja hyvästä tunnettuudesta sekä selvästi edullisemmasta hinnasta. CMC on useissa sovelluksissa MCC:tä korvaava tuote. MC:n ja HPMC:n markkinat ovat lähes MCC:n tasoa.

Verrattaessa taulukon 11 markkinatilannetta vuoden 2006 tilanteeseen (Wüstenberg 2015) kasvoivat MCC:n markkinat enemmän kuin hydrokolloidimarkkinat keskimäärin. Hydrokolloidien käyttö elintarvikkeissa kasvoi kymmenessä vuodessa 530 000 tonnilla (31 %) ja niiden markkina-arvo kasvoi 3,3 mrd. \$ (87 %). Samassa ajassa MCC:n käyttö kasvoi noin 5 000 tonnilla (56 %) ja markkina-arvo peräti 69 milj. \$ (128 %).

Taulukko 11. Hydrokolloidimarkkinoiden¹⁾ volyymi ja arvo loppuasiakastasolla vuonna 2016. Lukuarvot on laskettu Seisunin (2017) artikkelin perusteella.

Hydrokolloidi	Volyymi		Arvo		
	1 000 tn/v	%	\$/kg	milj. \$	%
Gelatiini	211	9,4	7,22	1 523	21,2
Tärkkelykset	1 588	70,9	0,88	1 398	19,4
Pektiini	63	2,8	21,02	1 324	18,4
Karrageeni	55	2,5	9,85	542	7,5
Ksantaani	83	3,7	6,39	530	7,4
Agar	13	0,6	22,00	286	4,0
Alginaatit	16	0,7	16,44	263	3,7
CMC	46	2,1	4,54	209	2,9
Arabikumi	54	2,4	3,50	189	2,6
MCC	14	0,6	8,79	123	1,7
Johanneksenleipäpuujauhe	12	0,5	10,17	122	1,7
MC/HPMC	10	0,4	10,70	107	1,5
Guarkumi	59	2,6	1,42	84	1,2
Muut	16	0,7	30,88	794	6,9
Yhteensä	2 240	100,0		7 184	100,0

¹⁾ ei sisällä Kiinan markkinoita, alkuperäinen lähde IMR International

Suomen hydrokolloidimarkkinoista ei ole saatavana tilastotietoja, mutta tilanne eri tuotteiden käyttösuuksissa lienee suunnilleen maailmanmarkkinatilanteen kaltainen. MCC on Suomessa huonosti tunnettu ja sen käyttömäärät ovat hyvin vähäisiä.

2.6 Ravitsemuksellinen turvallisuus

Ihmisen elimistö ei tuota ruoansulatusentsyymejä, jotka voisivat pilkkoa selluloosaketjujen β -1,4-sidoksia yksittäisten glukoosimolekyylien välillä. Tästä syystä selluloosa ja selluloosajohdannaiset luetaan kuuluvan ravintokuituihin. Selluloosa kulkeutuu ihmisen ruoansulatuskanavan läpi sellaisenaan imeytymättä elimistöön ja tuottamatta energiaa ja sillä on suolistoterveyden kannalta hyödyllisiä vaikutuksia. Selluloosajauhe ja mikrokiteinen selluloosa, toisin kuin selluloosajohdannaiset, toimivat ainakin jossain määrin prebioottisesti hyödyllisten bakteerien ravintona paksussasuolella ja tuottavat positiivisia terveysvaikutuksia. (Nsor-Atinda ym. 2017, EFSA 2018.) MCC:n terveysvaikutuksia käsitellään tarkemmin kohdassa 3.3.

Euroopan unionin säädösten (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus [EY] N:o 1333/2008) mukaan mikrokiteinen selluloosa (E 460 (i)) ja selluloosajauhe E 460 (ii) sekä aiemmin kohdassa 2.3 mainitut selluloosajohdannaiset (E 461–E 469) ovat elintarvikkeisiin sallittuja lisäaineita. Ne on todettu niin turvallisiksi useissa asiantuntija-arvioinneissa, ettei niiden päivittäiselle hyväksyttävälle käytölle (ADI) ole asetettu ylärajaa. Niiden käyttö on sallittu kaikenlaisille elintarvikkeille, joihin lisäaineita saa yleensäkin käyttää. Äskettäin julkaistussa Euroopan ruokaturvallisuusviraston uudelleenarvioinnissa (EFSA 2018) todetaan, ettei tässä tarkasteltaville modifioimattomille ja modifioituille selluloosille ole tarpeen asettaa numeerista ADI-arvoa, eivätkä niiden raportoitu käyttö tai käyttömäärät aiheuta turvallisuutta koskevaa huolta.

3 MIKROKITEISEN SELLULOOSAN KÄYTTÖSOVELLUKSET ELINTARVIKKEISSA

Markkinoilla on laaja valikoima erityisesti kolloidisia MCC-tuotteita, joilla kullakin on spesifisiä toiminnallisia ominaisuuksia. Käyttösovelluksia löytyy lähes kaikentyyppisille elintarvikkeille.

MCC-jauhe

Amerikkalainen O.A. Batista havaitsi jo vuonna 1957 MCC-jauheen mahdollisuudet elintarvikkeiden rakennetta stabiloivana aineena ja rasvan korvikkeena (Tuason ym. 2010), joille havainnolleen hän sai menetelmäpatentin vuonna 1962 (US 3023104 1962). Amerikkalainen FMC-yhtiö kaupallisti tuotteen vuonna 1962 Avicel-tuotemerkillä, joka on edelleen erilaisista MCC-tuotevariaatioista koostuvan tuoteperheen tunnus. MCC-jauheen käyttö huomattiin myös farmaseuttisessa teollisuudessa, jossa sitä alettiin käyttää laajalti tablettien valmistuksessa.

Spesifisiin käyttötarkoituksiin kehitetyt ja stabiileja suspensioita ja geelejä muodostavat kolloidiset MCC-tuotteet ovat syrjäyttäneet MCC-jauheen käytön elintarvikkeissa. MCC-jauhe on kuitenkin edelleen käyttökelpoista kuidun lähteenä ja täyteaineena sekä paakkuuntumisenestoaineena rasvaisille tuotteille kuten juustoraasteille (Krawczyk ym. 2009). Partikkelikooltaan erilaisia MCC-jauheita on kaupallisesti saatavana esimerkiksi FMC:n Avicel PH -tuotesarjassa (20-180 µm) ja JRS-yhtiön Vivapur -tuotesarjassa (20-190) µm (Nsor-Atindana ym. 2017, JRS 2015).

Tuasonin ym. (2010) mukaan erityisen hienojakoisia MCC-jauhelaatua (partikkelikoko < 30 µm) on käytetty elintarvikkeissa täyteaineena ja rasvan korvaajana. Eräs käyttökohde on erittäin vähän kosteutta sisältävien keksien täytteet ja päällysteet. Täyteaineeksi hienojakoinen MCC-jauhe sopii öljypohjaisille elintarvikkeille tai ainesosille, kuten pähkinävoille, suklaalle, jäätelölle, majoneesille ja laardi- tai kerमतäytteille.

Kolloidinen MCC

Menetelmän kolloidisen MCC:n valmistamisesta julkaisi ensimmäisenä Durandin työryhmä FMC-yhtiöstä vuonna 1970 (US 3539365 1970). Kehitetyssä tuotteessa MCC:tä prosessoitiin yhdessä CMC:n kanssa. Näin valmistettu tuote on kaupallistettu Avicel tuotemerkillä versioina CL-611, RC-591, RC-581, RC-501 ja BV-1518 (Krawczyk ym. 2009). Saman tyyppisiä tuotteita ovat esimerkiksi J. Rettenmaier & Söhne -yhtiön Vivapur MCG 611 ja 591 (Grodzka ym. 2005) ja Mingtai-yhtiön Neocel -tuotesarja (www.mingtai.com/03_3_4.htm). Erityisen kovaa kuumennuskäsittelyä vaativille tuotteille on kehitetty myös erityinen MCC-CMC -tuote (Avicel RT 1133, FMC), jota voidaan käyttää esimerkiksi sterilointi- ja UHT-prosesseissa (Tuason ym. 2010). Kuiviin seoksiin suunniteltu MCC-CMC-herajauhe -tuote (Microquick WC-595, FMC) tarvitsee minimaalisen määrän sekoitusta (leikkausvoimaa) täydelliseen dispergoitumiseen (Krawczyk ym. 2009).

Hydrokolloideja käsittelevässä kirjallisuudessa on mainittu MCC-CMC -tuotteiden lisäksi useita muita elintarvikekäyttöön kehitettyjä kolloidisia MCC-laatuja. Seuraavia on mainittu Humphreysin (1996), Buligan ym. (1998), Krawczykin ym. (2009), Tuasonin ym. (2010) ja Wüstenbergin (2015) julkaisuissa sekä patenttikirjallisuudessa:

- MCC-guarkumi (rasvan korvaaja; Novagel RCN-10, RCN-15, FMC)
- MCC-guarkumi & karrageeni (rasvan korvaaja; Novagel RCN-200, FMC)
- MCC-guarkumi & alginaatti (rasvan korvaaja; Novagel RCN-250, FMC)
- MCC-kalsiumalginaatti (dispergoitumisen edistäjä ”heti-valmis” -jauheissa ja maitotuotteissa, stabiilisuus alhaisessa pH:ssa 3,5–4,0; Avicel AC-4125, FMC)
- MCC-CMC-kalsiumkarbonaatti (erityisen hienojakoisen partikkelikoon tuote, alhaisen viskositeetin kalsiumilla rikastetuille maitopohjaisille juomille)
- MCC & HM-pektiini (stabiilisuus alhaisessa pH-arvossa, hedelmänektaarisovellukset, proteiinien stabiilisuus, emulsion stabiilisuus, leivontaominaisuuksien stabilointi, dispergoituminen maitopohjaisissa tuotteissa; Avicel BV-2815, FMC)
- MCC-hera/maitojauhe (kolloidinen MCC sisältää CMC:tä, instant-jauheista valmistettujen tuotteiden stabilointiin; Microquick, FMC)

- MCC-tärkkelys & ei-sakeuttava vesiliukoinen ”ohenne”, esim. maltodekstriini, hera tai maitojauhe (kolloidinen MCC sisältää CMC:tä, nopea peptisoituminen, instant-jauheista valmistettujen tuotteiden stabilointiin)
- MCC & iota-karrageeni (hyvä dispergoituvuus, hyvä hapon- ja suolankesto)
- MCC-maltodekstriini (stabilointiaineena useisiin käyttötarkoituksiin, instant-jauheisiin käytetään yhdessä CMC:n kanssa; Maltoquick, FMC)
- MCC-ksantaani-maltodekstriini (stabilointiaine jäädytettuihin jälkiruokiin; Avicel RCN-30, FMC)
- MCC-pinta-aktiivinen aine (pinta-aktiivinen aine parantaa MCC:n dispergoitumista alhaisen kosteuden tai ei-vesipohjaisissa elintarvikkeissa)
- MCC-hydrokolloidi-tärkkelys (muu hydrokolloidi voi olla CMC, pektiini, alginaatti, karrageeni, ksantaani, agar, wellan gum, gellan gum; seos muodostaa erittäin lujan geelin; [WO2013085809 2013]).

Edellä esitetty pitkä kaupallisten sovellusten luettelo, joka ei ole läheskään tyhjentävä, kuvastaa MCC:tä hyödyntävän teknologian moniulotteisia mahdollisuuksia ja MCC:n monipuolisia toiminnallisia ominaisuuksia elintarvikkeissa.

3.1 Toiminnalliset ominaisuudet

MCC:n toiminnallisiin ominaisuuksiin elintarvikkeissa vaikuttavat eräät itse MCC-materiaalin kriittiset ominaisuudet sekä MCC:n esikäsittely ennen lisäämistä prosessoitavaan elintarvikkeeseen. MCC:n keskeisimmät teknis-toiminnalliset ominaisuudet elintarvikkeissa liittyvät monipuolisiin rakenteen stabiilisuuden tuottamiseen ja ylläpitämiseen liittyviin ominaisuuksiin sekä rasvan korvaamiseen ja rasvaa muistuttavan suutuntuman tuottamiseen.

3.1.1 Materiaalin ominaisuuksien vaikutukset toiminnallisuuteen

MCC:n polymeeraatioasteen, kiteisyysasteen sekä partikkelien koon ja muodon on todettu vaikuttavat sen toiminnallisiin ominaisuuksiin elintarvikkeessa.

MCC-jauheen polymeeraatioaste (tyypillisesti alle 400) on havaittu korreloivan kokoonpuristuvuuden, tiivyyden ja partikkelikoon kanssa silloin, kun ver-

tailtavat näytteet oli valmistettu samasta MCC:n lähtömateriaalista. Korkean polymeroitumisasteen selluloosalla on todettu parempi vedensidontakyky kuin alemman polymeroitumisasteen selluloosalla. Todennäköisesti suurempi hydroksyyliiryhmien ja/tai amorfisten alueiden määrä tekee sen enemmän hygroskooppiseksi. Korkea polymeraatioaste parantaa myös MCC-jauheen valumisominaisuuksia, jolla on merkitystä MCC:n käytössä paakkuuntumisenestoaineena. (Nsor-Atindana ym. 2017.)

MCC:n korkeampi kiteisyysaste on juuri se toiminnallisia ominaisuuksia aikaansaava tekijä, joka erottaa sen luonnonselluloosasta. Sen kiteisyysaste vaihtelee tyypillisesti välillä 55-80 % (Trache ym. 2016). Kiteisyysasteen kasvaessa MCC:n lämpöstabiilisuus paranee ja tekee sen käyttökelpoiseksi ainesosaksi parantamaan elintarvikkeiden stabiilisuutta korkeita lämpötiloja edellyttävissä prosesseissa tai kantaja-aineena spray-kuivauksessa (Nsor-Atindana ym. 2017).

MCC-jauheiden partikkelikoon ja -muodon on havaittu vaikuttavan niiden valumaominaisuuksiin (Nsor-Atindana ym. 2017). Partikkelikoon kasvaessa jauheiden valumaominaisuudet paranevat. Partikkelien pallomainen muoto ja huokoinen rakenne parantavat kokoonpuristuvuutta ja valumaominaisuuksia.

MCC:stä valmistetun kolloidisen suspension tai geelin ominaisuudet riippuvat merkittävästi MCC-partikkelien koosta, kokojakaumasta ja konsentraatiosta. Partikkelien hienousasteen ja konsentraation kasvaessa suspension tai geelin stabiilisuus paranee. (EP0415193 1990). MCC:n valmistustekniikoita kuvaavissa patenteissa suositellaan partikkeleille tiettyjä hienonnuksasteita stabiilisuuden varmistamiseksi ja rakeisen suutuntuman estämiseksi:

- US359365 (1970): vähintään noin 1 % jauhetun massan painosta tai vähintään 30 % partikkelien lukumäärästä ei tulisi koostua yli 1 μm :n kokoisista partikkeleista
- EP0415193 (1990): jauhetussa materiaalissa 50 % partikkelien kumulatiivisesta volyymista tulisi olla kooltaan 0,3–6,0 μm , jossa pienien enintään 3 μm :n kokoisten partikkelien osuus olisi vähintään 25 %.

Patentissa US6037380 (2000) selostetaan ultrahienojakoisen MCC:n valmistusmenetelmä erittäin stabiilien dispersioiden valmistamiseksi, jossa partikkelikoko on pienempi kuin 0,7 μm . Samassa patentissa mainitaan myös, että monissa kaupallisissa tuotteissa, kuten FMC-yhtiön eräissä Avicel-tuoteryhmän tuotteissa (RC-501, RC-581, RC-591 ja CL-611), kuvataan 60 % dispersiossa

olevista partikkeleista olevan kooltaan pienempiä kuin 0,2 µm, kun tuotteet on oikein dispergoitu.

Yaginuma ja Kijima (2006a) fraktioivat kolloidisen MCC:n (Avicel RC-591) partikkeleita ja totesivat pääasiassa pienimmistä kiteistä muodostuvan fraktion kiteiden vaikuttavan dispersion viskoelastisiin ominaisuuksiin. Tämän fraktion partikkelien keskikoko oli 89 nm, ja se kattoi 59,4 % materialista.

Voimassa oleva lisäainelainsäädännön mikrokiteistä selluloosaa (E 460 (i)) ja selluloosajauhetta (E 460 (ii)) koskeva eritelmät (spesifikaatiot) edellyttävät, että niiden partikkelikoon tulee olla vähintään 5 µm (enintään 10 % alle 5 µm:n partikkeleita; Komission asetus (EU) N:o 231/2912). Euroopan unionin tieteellinen komitea on varoitoimenpiteenä vuonna 1999 toistanut vuonna 1995 antamansa neuvon, jotta partikkelikoko ei saisi olla pienempi kuin 5 µm partikkelien määrää koskevalla 10 %:n toleranssilla (EFSA 2018). Nanomateriaaleja ei elintarvikkeissa sallita.

MCC:n partikkelikoolle ei voi aistinvaraisen laadun kannalta antaa yksikäsitteistä suositusarvoa, koska aistittava suutuntuma muodostuu eri tavoin eri elintarvikesovelluksissa. Teoreettisissa malleissa rakeisen suutuntuman havaitseminen elintarvikkeessa on todettu riippuvan paitsi partikkelikoosta myös partikkelien konsentraatiosta ja dispersioväliaineesta. Imain ym. (1995) tutkimuksessa MCC:n vesisuspension, viskoosin suspension ja geelin havaitsi rakeiseksi sitä useampi koehenkilö, mitä suurempi MCC:n partikkelikoko tai konsentraatio oli kyseessä. Viskositeetin kasvaessa rakeisuus tunnistettiin heikommin. Imain ym. (1997) toisessa tutkimuksessa selvitettiin rakeisuuden havaitsemista emulsiosta, johon MCC oli dispergoitu. Siinäkin rakeisuus tunnistettiin paremmin MCC:n partikkelikoon ja konsentraation kasvaessa. Emulsioissa myös rasvapallostien koon kasvu edisti karkeuksien tunnistamista.

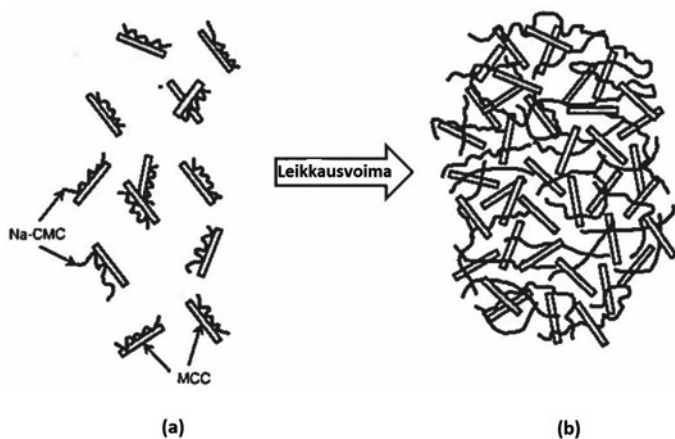
Terävän muotoiset partikkelit edistävät karkean tai rakeisen suutuntuman muodostumista (Engelen ym. 2005). Patentissa WO90/14017 (1990) esitettiin havainto, jonka mukaan koprosessoitaessa MCC:tä guarkumin kanssa muodostuu huomattavan pallomaisista partikkeleista koostuvaa kolloidista MCC:tä. Pallomaiset partikkelit saavat aikaan dispergoituessaan (geelinä) rasvojen konsistenssia muistuttavan rakenteen ja suutuntuman.

3.1.2 Esikäsittelyn vaikutukset toiminnallisuuteen

Toiminnallisten ominaisuuksien aikaansaamiseksi MCC-tuotteen liukenemattomat jauhemuodossa olevat mikrokiteet tulee sekoittaa veteen ja muodostaa niistä dispersio. Dispersio muodostetaan käyttämällä leikkausvoimaa, jolloin muodostuu kolmiulotteinen verkkorakenteinen geeli (kuva 6). Tarvittava leikkausvoiman määrä tehokkaan toiminnallisen dispersioon aikaansaamiseksi riippuu MCC-tuotetyypistä. Esimerkiksi Brownseyn ja Ridoutin (1985) tutkimuksessa tarkasteltiin tarvittavien leikkausvoimien vaikutusta kolloidisen MCC-CMC:n dispergoimiseksi.

Dispersioon valmistamisessa tulee ottaa huomioon seuraavat avaintekijät (Tuason ym. 2010):

- (1) Leikkausvoima: Riittävä leikkausvoima tulee käyttää, jotta kulloinkin käytettävän MCC-laadun partikkelit erottuvat ja dispergoituvat.
- (2) Lisäysjärjestys: Kolloidinen MCC tulee lisätä veteen ennen mahdollisia muita ainesosia (erityisesti ennen muita sakeutusaineita tai geelinmuodostajia), jotka voivat sitoa vettä ja estää liukenemattomien partikkelien jakautumista vesifaasissa.
- (3) Ionien läsnäolo: Kova vesi ja liukoiset elektrolyytit voivat estää kolloidisen MCC:n dispergoitumista.
- (4) pH-arvo: Happamassa ympäristössä ($\text{pH} < 4,5$) tarvitaan suojaava kolloidi (esim. ksantaani) estämään MCC-partikkelien kasautumista (fokkuloitumista).



Kuva 6. Kolloidinen MCC (a) ennen ja (b) jälkeen aktivoinnin (Wüstenberg 2015).

3.1.3 Teknis-toiminnalliset ominaisuudet

Suspensioiden stabilointi

Kolloidisessa suspensiossa hienojakoiset liukenemattomat partikkelit ovat dispergoituneet väliaineeseen. Suspendoituneiden partikkelien hienousasteen ja hienojakoisten partikkelien määrän kasvaessa suspensio alkaa menettää juoksevuttaan ja muuttua geelimäiseksi. Silloin kolloidisen suspension stabiilisuus ja viskositeetti vastaavasti kasvavat. (EP0415193 1990.)

Yleisesti kuvattuna pienemmissä kuin 1 %:n konsentraatioissa MCC muodostaa kolloidisia liuoksia ja yli 1 %:n konsentraatioissa se muodostaa ns. tiksotrooppisia geelejä (Klose ja Glicksman 1990). Tiksotrooppisilla geeleillä viskositeetti vähenee sekoitettaessa, mutta palautuu ennalleen tietyn lepoajan jälkeen. Tiksotrooppisuuden on havaittu riippuvan MCC:n raaka-ainelähteestä ja valmistustekniikasta. Esimerkiksi rikkihapolla hydrolysoitu MCC on tiksotrooppinen, mutta suolahapolla hydrolysoitu ei sitä ole (Nsor-Atindana ym. 2017). Elektrolyytit (esim. NaCl) dispersioväliaineessa estävät geelin syntymistä ja geeliin lisättäessä heikentävät sen stabiilisuutta (Dolz ym. 1991).

Yaginuman ja Kijiman (2006b) kaakaojuoman tyyppisillä suspensioilla tekeissä kokeissa todettiin MCC:n parantavan suspension kermaisuutta ja stabiilisuutta, koska MCC-partikkelit yhdistyivät systeemin muiden partikkelien kanssa muodostaen enemmän tai vähemmän aggregoituja rakenteita mukaan lukien verkostomaiset rakenteet.

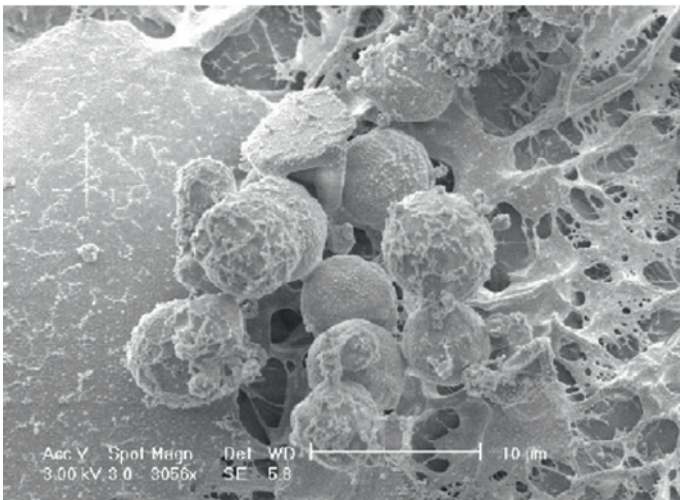
Lääkevalmistukseen liittyvissä tutkimuksissa (Dan ym. 2016) on käynyt selville, että MCC muodostaa vedessä ”sähköisesti varautuneen verkstorakenteen”, joka adsorboi aktiivisia ainesosia pinnalleen ja estää partikkelien yhdistymisen keskenään sekä niiden muodostamien kasaumien syntymisen. Tangin ym. (2013) mukaan rikkihapolla hydrolysoitu mikro- tai nanokiteinen selluloosa muodostaa stabiileja suspensioita vedessä kiteisen materiaalin pinnalla olevien varauksien ansiosta. Suolahapolla hydrolysoidussa tuotteessa näitä varauksia ei syntynyt. Tian ym. (2016) puolestaan totesivat selluloosan nanofibrillejä tutkiessaan negatiivisen varauksen olevan peräisin happokäsittelyssä syntyvien C-O-SO₃-ryhmien vaikutuksesta. Varaustila (zeta-potentiaali) kasvoi hapon konsentraation ja käsittelyajan pituuden kasvaessa.

Emulsioiden stabilointi

Hienojakoisen partikkelikoon MCC-laaduilla saadaan aikaan elintarvikekäyttöön hyvin sopivia useita kuukausia stabiilina pysyviä ns. Pickering-emulsioita (Oza ja Frank 1986, Nsor-Atindana ym. 2017).

Mikro- ja nanokokoluokan selluloosakiteiden kyvyn stabiloida emulsioita selitetään tapahtuvan kahdella eri mekanismilla (Kargar ym. 2012, Garti ja Reichman 1993):

- (1) Selluloosakiteet adsorboituvat pysyvästi vesifaasissa olevien rasvapallosten pintaan (oil-in-water-emulsio) muodostamalla siihen tiiviin kerroksen ja estämällä siten rasvapallosten liittymistä yhteen suuremmiksi kasaumiksi (kuva 7). Tämän mahdollistaa selluloosan vahva taipumus sitoutua sekä rasvaan että veteen. Molekyylin vapaat hydroksyylioryhmät ovat hydrofilisiä, ja kiteinen osa puolestaan voi toimia hydrofobisena puolena. Tällaisia partikkelien stabiloimia emulsioita sanotaan Pickering -emulsioiksi. Stabiloinnin tehokkuus riippuu useista parametreista, kuten partikkelien konsentraatiosta, muodosta ja koosta sekä niiden kontaktikulmasta rasvapallosen pinnalla (wettability).
- (2) Selluloosakiteet sakeuttavat rasvapallosten välissä olevan vesifaasin sekä muodostavat kaksi- tai kolmiulotteisia verkostorakenteita ja estävät siten rasvapallosia kulkeutumasta lähemmäksi toisiaan ja yhdistymästä.



Kuva 7. Elektronimikroskooppikuva 20 % oil-in-water-emulsionin rasvapallosista stabiloituina MCC-partikkeleilla 1,5 %:n lisäytsällä (Kargar ym. 2012).

Duffusin ym. (2016) ym. mukaan emulsioprosessista riippuen Pickering-tyyppisen emulsion muodostuminen ja emulsion stabiilisuus voidaan ennustaa riittävän hyvin, mikäli partikkelien spesifiset ominaisuudet tunnetaan. He määrittivät partikkelien tärkeimmät ominaisuudet emulsion muodostamiseksi: partikkelien tulee olla kooltaan riittävän pieniä (200 nm–1 µm), niillä tulee olla taipumus kiinnittyä (affiniteetti) emulsion jatkuvaan faasiin ja niillä tulee olla riittävä sähköinen varaus stabiilisuuden ylläpitämiseksi.

Kargar ym. (2012) totesivat MCC-partikkelien vähentävän merkitsevästi enemmän rasvojen hapettumista Pickering-tyyppisessä oil-in-water-emulsiossa kuin vastaavassa modifioidulla tärkkelyksellä aikaansaadussa emulsiossa. Tutkijat arvelivat tämän johtuvan negatiivisesti varautuneiden MCC-partikkelien kyvyystään vähentää vapaiden radikaalien vaikutusta tai niiden kyvystä asettua paksuksi kerrokseksi rasvapallosten ympärille.

MCC:llä ei kuitenkaan Sternin ym. (1988) maitorasvoilla tekemissä kokeissa havaittu rasvoja pilkkovan lipaasientsyymien estovaikutusta kuten eräillä muilla hydrokolloideilla (esim. karrageenilla ja Na-alginaatilla).

Myös selluloosamolekyyliden amorfisella aineksella on todettu emulsioita stabiloivia ominaisuuksia. Jia ym. (2015) kehittivät kustannustehokkaan menetelmän erottaa amorfisen selluloosa MCC-jauheesta fosforihapolla. Näin saadun amorfisen selluloosan he totesivat 0,83 %:n lisäystryn saavan aikaan kuukausia pysyvän oil-in-water-emulsion. He selittivät emulsion muodostuvan Pickering-mekanismiin ja kolmiulotteista verkostoa stabiloivan mekanismin yhteisvaikutuksesta. Tutkijoiden mukaan amorfista selluloosaa voitaisiin käyttää elintarvikkeissa emulsiota stabiloivana ainesosana sekä hyödyntää sen sakeuttamisominaisuuksia ja terveysvaikutuksia ravintokuituna. Amorfisen selluloosa ei kuitenkaan ole sallittujen elintarvikelisiä aineiden joukossa.

Vaahtojen stabilointi

Vaahdotetuissa elintarvikkeissa kolloidiset MCC-tuotteet sakeuttavat ja stabiloivat ilmakuplien välissä olevaa vesifaasia ja täydentävät ilmakuplia ympäröivän proteiinikalvon rakennetta (Krawczyk ym. 2010). Näiden ominaisuuksien ansiosta MCC onkin käyttökelpoinen lisäaine monenlaisille elintarvikkeille, kuten maitopohjaisille ja ei-maitopohjaisille vaahdotetuille kuorrutuksille ja jälkiruoille, jäätelölle, sekä leivonnaisten ja makeisten valmistukseen.

Rasvan määrällinen ja laadullinen korvaaminen

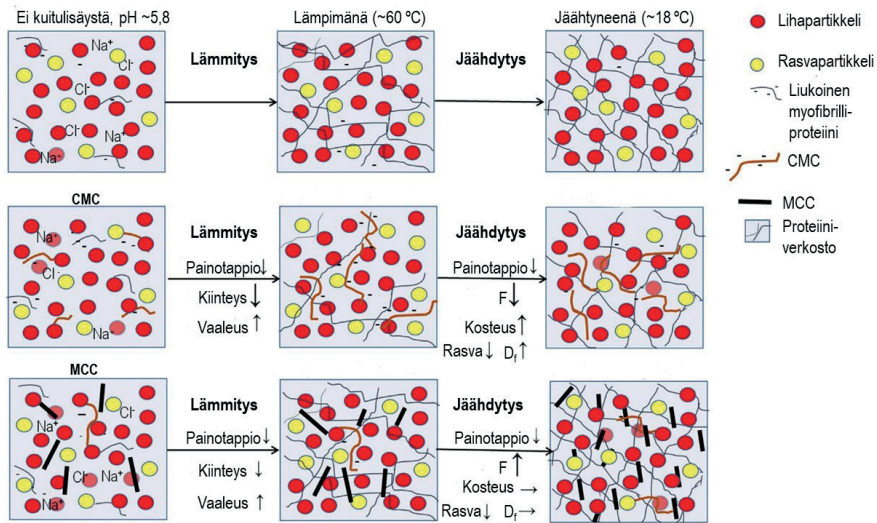
Kulutustottumukset ovat muuttuneet vähärasvaisten tuotteita suosiviksi. Ravitsemussuosituksissa painotetaan tarvetta muuttaa ravinnon rasvan laatua tyydyttyneistä kovista rasvoista tyydyttymättömiin pehmeitä rasvoja suosivaksi (Suomalaiset ravitsemussuositukset 2014). Rasva on monissa elintarvikkeissa tärkeä tuotteen rakenteeseen, suutuntumaan, makuun ja ulkonäköön vaikuttava tekijä. Rasvan määrän ja laadun korvaaminen muilla ainesosilla on tuotekehityksessä haasteellinen tehtävä, mikäli tuotteen toivotut ominaisuudet halutaan säilyttää.

MCC:tä on käytetty menestyksellisesti rasvan korvaajana monen tyyppisille elintarvikkeille. Kollidinen MCC tulee ensin dispergoida veteen (ks. 3.1.2), minkä jälkeen dispersio lisätään elintarvikkeeseen jäljittelemään rasvaa. MCC:stä on raportoitu potentiaalisena rasvan määrällisenä korvaajana jauhelihatuotteissa, keitotomakkarassa, jäätelössä, salaatinkastikkeissa ja muissa kastiketyyppisissä tuotteissa (Barbut ja Mittal 1996, Tuason ym. 2010, Gibis ym. 2015, Vainio 2016).

Rasvaa jäljittelevä geelimäinen rakenne lienee seurausta proteiinien ja polysakkaridien (MCC) muodostavien kompleksien syntymisestä. Kompleksien stabiilisuuden vaikuttavat sen sähköisen varauksen jakautuminen, pH-arvo ja ioniväkevyys (Schmitt ja Turgeon 2011).

Gibis ym. (2015) esittivät teorian MCC:n ja lihan proteiinien vuorovaikutusmekanismista jauhelihapihveissä, joissa rasvaa korvattiin 0,5–3% MCC:tä sisältävillä selluloosageeleillä. Tutkijat selittivät, että dispergoituneen MCC:n muodostama verkostomainen geelirakenne on sähköisesti neutraali ja inerttinä molekyylinä MCC voi täyttää tiukan lihan proteiiniverkoston aukot. MCC:n suojakolloidina olevan CMC:n pieni pitoisuus aiheuttaa pihvien rakenteen pehmenemistä lämpimänä, mutta jäähdytettynä niihin muodostuu kiinteä ja pysyvä rakenne (kuva 8). Tämä malli on kuitenkin ristiriidassa edellä esitettyjen (koh- ta 3.1.1) tutkimusten kanssa, joiden mukaan ainakin rikkihapolla hydrolysoitu MCC muodostaa negatiivisesti varautuneen verkoston.

Gibisin ym. (2015) vertailussa toisena hydrokolloidina käytetty CMC on negatiivisesti varautunut polymeeri, joka jauhelihapihvien pH arvossa 5,8 saa aikaan lihan negatiivisesti varautuneiden proteiinien välillä poistovoimia. Niiden vuoksi lihan proteiinien arveltiin aggregoituvan ja lihan proteiiniverkoston rikkoutuvan, mikä aiheutti rakenteen pehmenemisen (kuva 8).



Kuva 8. Ehdotettu mekanismi lihan proteiinien vuorovaikutuksesta MCC:n ja CMC:n kanssa. [F penetraatiota vastustava voima (Instron), D_f rakennefaktori; ↑ lisäys, ↓ vähentyminen, → ei muutosta kontrolliin verrattuna] (Gibis ym. 2015).

Oleogeelit on lupaava innovaatio tyydyttyneiden tai trans-rasvojen korvaamiseen ravitsemuksellisesti parempilaatuisella tyydyttymättömällä rasvalla. Parhaimmillaan pehmeistä rasvoista voidaan valmistaa oleogeelisiä, joita lisäämällä kovien rasvojen sijasta saadaan aikaan rakenteeltaan samanveroisia tuotteita kuin kovia rasvoja sisältävät perinteiset tuotteet.

Oleogeelit ovat orgaanisten liuottimien muodostamia geelejä, joissa liuotin on nestemäinen öljy (Patel 2015). Oleogeeli muodostuu, kun öljyyn lisättävä gelaattorimolekyylit organisoituvat kolmiulotteiseksi verkostoksi sitoen suuren määrän öljyä geelimäiseksi rakenteeksi. Oleogeelien valmistamiseen sopivia gelaattoreita ja valmistustekniikoita on tutkittu intensiivisesti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Useita vaihtoehtoja on kokeiltu, mutta useimmin käytetty tekniikka on ollut gelaattorin suora dispergointi nestemäiseen öljyyn (Singh ym. 2017). Hyviä tuloksia on saatu mm. etyyliiselluloosan käytöstä oleogeelin muodostavana gelaattorina useissa tuotteissa, kuten suklaassa, kermaäytteissä, keittomakkaraissa ja jauhelihatuotteissa, mutta kaupalliset sovellukset vielä puuttuvat (Zetzl ym. 2014).

Patelin (2015) mukaan etyyliiselluloosa on ainoa tunnettu elintarvikekäyttöön sallittu polymeeri, jota voidaan käyttää suoran dispersioproessin kautta oleo-

geelin valmistamiseen. Pian tämän jälkeen kuitenkin Totosaus ym. (2016) julkaisivat raportin, jossa selostettiin kolloidisen MCC:n käyttöä oleogelaattorina.

Totosaus ym. (2016) vertailivat kolloidisen MCC:n (Avicel RC-591, jossa CMC suojakolloidina), etyylielluloosan ja α -selluloosan ja niiden seoksien ominaisuuksia oleogelaattorina. Oleogeelein ainesosia olivat soijaöljy (85 %), oleogelaattori (11 %) ja pinta-aktiivinen (E472e, 4 %). Oleogeeli valmistettiin kuumentamalla seos 140 °C:seen samalla sekoittaen 20-30 min, minkä jälkeen se jäädytettiin. Etyylielluloosan avulla voitiin valmistaa stabiileimmat oleogeeleit. Kolloidisella MCC:llä saatiin aikaan pehmeämpi ja heikommin kuumennusta kestävä oleogeeli kuin muilla testattavilla gelaattoreilla. Kolloidisella MCC:llä saatu oleogeeli oli myös alttiimpi rasvan härskiintymiselle, mikä on täysin päinvastainen tulos Kargarin ym. (2012) emulsioilla saamiin tuloksiin verrattuna (kts. kohta 2.1.1). Tutkijoiden mukaan heikommista stabiilisuudestaan huolimatta kolloidisella MCC:llä valmistetun oleogeelein tuottama pehmeä rakenne on sopiva rasvan laadulliseen korvaamiseen prosessoiduissa elintarvikkeissa.

Elintarvikkeiden rasvahappokoostumusta on pyritty täydentämään terveyden kannalta edullisilla rasvahapoilla käyttäen erilaisia mikrokapselointitekniikoita, joissa herkästi hapettuvien rasvojen säilyttäminen hyvälaatuisena on ollut haasteellista heterogeenisissä monia muuttujia sisältävissä elintarvikesysteemeissä. Saga ym. (2011) kehittivät menetelmän, jossa runsaasti omega-3-rasvahappoja sisältävää monityydyttymätöntä öljyä sekoitettiin kolloidisen MCC:n (MCC+CMC) tai MCC-jauheen kanssa. Ravintolisäkäyttöön sopivaksi öljyn ja MCC:n seossuhteeksi osoittautui 50:50, jolloin seoksesta ei tullut liian öljymäistä tai jauhoista. Tutkittavien cameliaöljyn ja kalaperäisten öljyjen ja MCC:n seokset säilyivät oksidatiivisesti stabiileina 4 ja 22 °C:ssa koko 28 vrk:n tutkimusperiodin ajan. Tutkijat totesivat menetelmän olevan teknologisesti yksinkertainen ja kaupallisesti potentiaalinen tapa valmistaa ravintolisä, joita voidaan hyödyntää täydennettäessä elintarvikkeen rasvahappokoostumusta.

Lämpöstabiilisuus

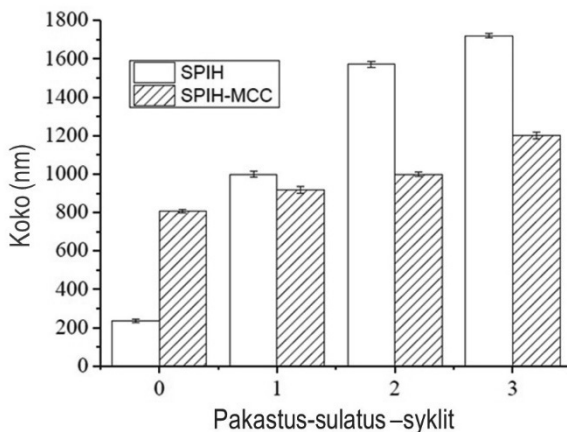
Lämpötilan vaikutus kolloidisiin MCC-dispersioihin on vähäinen verrattuna muihin hydrokolloideihin. Dispersio muodostuu hieman nopeammin lämpötilan noustessa, joten dispersiota valmistamisessa pieni lämpötilan lisäys alueella 25–40°C on hyödyllinen. MCC on erittäin lämpöstabiili laajalla läm-

pötila-alueella ja korkeissakin lämpötiloissa toiminnallisuus säilyy. Viskositeetti pienenee vain vähän keitossa, paistossa, steriloinnissa, UHT-käsittelyssä tai mikroaaltokuumennuksessa. (Wüstenberg 2015.)

Pakastus-sulatus-stabiilisuus

Kolloidisen MCC:n huokoinen rakenne tarjoaa suuren pinta-alan ja kyvyn pitää vettä, kun vapaata vettä muodostuu pakastettujen elintarvikkeiden pakastus-sulatus-sykleissä. Sen ainutlaatuinen kyky veden adsorbointiin kompensoi elintarvikesynteesin muiden kiinteiden aineiden heikon tai hitaan kyvyn absorboida jääkiteiden sulamisesta vapautuvaa vettä, kun pakastettu elintarvike sulaa tai sen lämpötila vaihtelee. (Tuason ym. 2010.)

Xu ym. (2016) havaitsivat, että MCC:n lisäyksen parantavan dramaattisesti emulsion (o/w) stabiilisuutta, kun emulsio altistettiin toistuville pakastus-sulatus-sykleille. Kokeet tehtiin öljymäisellä kurkumiinilla soijaproteiinihydrolysaatin toimiessa emulgaattorina. MCC asettui öljyn mikropisaroiden pinnalla olevan emulgaattorikalvon päälle paksuksi kerrokseksi ja sai aikaan pisaroiden välille niiden sähköiseen varaukseen liittyviä poistovoimia, jotka pitivät pisarat erillään. MCC lisäsi myös emulsion viskositeettiä ja sen muodostama geeli esti osaltaan öljypisaroiden liikkumista ja yhdistymistä toisiinsa isommiksi rasvakaumiksi. Kuvassa 9 nähdään MCC:n stabiloiva vaikutus emulsion öljypisaroiden kasvun estäjänä toistuvien pakastus-sulatus-syklien aikana.



Kuva 9. Kurkumiiniemulsion keskimääräisen pisarakoon riippuvuus pakastus-sulatus-syklien määrästä käytettäessä pelkästään emulgaattoria (SPIH) ja käytettäessä emulgaattorin ja MCC:n yhdistelmää (SPIH-MCC) (Xu ym. 2016).

3.2 Käyttötarkoitus erityyppisissä elintarvikkeissa

Seuraavassa katsauksessa MCC:n toiminnallisuutta tarkastellaan elintarvikeryhmittäin.

3.2.1 Leipomotuotteet

MCC soveltuu korvaamaan runsaasti energiaa sisältäviä ainesosia sekä lisäämään kuitupitoisuutta leipomo- ja konditoriatuotteissa. MCC:n käyttöä on myös selvitetty taikinan ja leipomotuotteiden rakennetta ja muuta aistinvaraista laatua parantavana ainesosana.

MCC:n käyttöä leipomotuotteiden täyteaineena kuvattiin jo monta vuosikymmentä sitten Battistan hakemassa patentissa (US 3023104 1962). Siinä esitellyissä esimerkeissä laadultaan hyväksyttäviä leipomotuotteita voitiin valmistaa, kun MCC-jauhetta käytettiin 20 % donitsien, 18 % muffinsien ja 13 % kakkupohjan kuivien ainesosien painosta. Mielenkiintoinen havainto oli, että donitsien uppopaistossa niihin imeytyneen rasvan määrä pieneni lisätyn MCC:n osuuden kasvaessa.

Gómez ym. (2010) vertailivat eri tyyppisten ravintokuitujen käyttöä runsaskuituisen sokerikakun valmistuksessa. Vertailussa olivat mukana MCC (partikkeli- μm koko 100 μm) sekä vehnä- ja kaurapohjaisia kuituvalmisteita karkeusasteeltaan 50, 80 ja 250 μm . Kakun valmistuksessa 12, 24 ja 36 % vehnäjauhoista korvattiin tutkittavilla kuiduilla. Tulokseksi saatiin, että erityisesti hienojakoisemmilla valmisteilla voitiin korvata runsaat 20 % vehnäjauhoista ilman, että lopputuotteen fysikaaliset ja aistinvaraiset ominaisuudet erosivat merkittävästi ilman kuitulisäystä valmistetusta kontrollituotteesta. 24 %:n lisäyстasolla MCC-tuote arvioitiin aistinvaraisesti muita vaihtoehtoja paremmaksi eikä se eronnut merkittävästi ($p < 0,05$) kontrollituotteesta ulkonäön, hajun, maun, jälkimaun, rakenteen tai yleisen hyväksyttävyyden osalta.

Leivonnaisten rasvapitoisuuden vähentämiseen ehdotettiin patentissa GB1062423 (1967) MCC-jauheesta, rasvasta ja proteiinista (esim. kaseiini, gluteeni tai soijaproteiini) valmistettuja seoksia. Patentissa US4668519 (1987) esitettiin ratkaisuja leivonnaisten, esimerkiksi pikkuleipien, enegiasisällön pienentämiseksi vähintään 25 %:lla korvaamalla rasvaa ja sokeria seoksella, joka sisälsi MCC-jauhetta, vesiliukoista polydekstroosia ja emulgaattorin.

Zbikowska ym. (2018) tutkivat rasvan korvaamista murotaikinakekseissä eri kolloidisen MCC:n (MCC + CMC) ja MCC-jauheen lisäystasoilla, kun vertailutuotteena oli 30 % rasvaa sisältävä keksi. Aistinvaraisen laadun ja fysikaalisten rakennemittausten kannalta optimaalinen tulos saavutettiin korvattaessa 25 % rasvaa MCC-geelillä (MCC/vesi 1:4) tai MCC-jauheella (0,9 %), kun samalla säädettiin reseptissä jauhojen ja lisätyn veden määrää. Näin saadut noin 21 % rasvaa sisältävät murotaikinakeksit olivat laadultaan vähintään vertailtavan standardituotteen veroisia.

Wüstenbergin (2015) teoksesta löytyvällä reseptillä (taulukko 12) suklaaleivoksien (brownies) rasvapitoisuutta voidaan vähentää käyttämällä valmistukseen MCC-guarkumi-geeliä niin, että tuotteen energiasisältö pienenee tavanomaiseen verrattuna 33 %:lla.

Taulukko 12. Vähärasvaisen suklaaleivoksen (brownie) resepti (Wüstenberg 2015).

Ainesosa	Osuus (%)
Sokeri	36,70
Vehnäjauho	20,40
Maissisiirappi	11,60
Vesi	8,10
Rasvaton kaakaojauho	7,00
Munanvalkuainen (neste)	5,40
MCC-guarkumi -geeli	5,00
Glyseriini	4,00
Suola	0,80
Tärkkelysjauhe	0,25
Emulgaattori	0,25
Leivinjauhe	0,25
Vaniljajauhe	0,25
Yhteensä	100,00

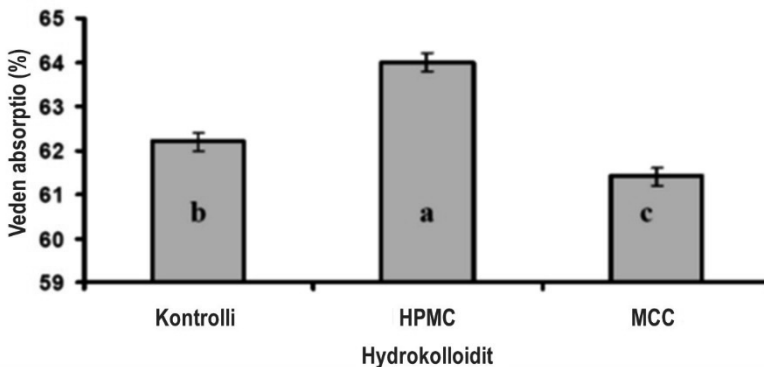
Tuasonin ym. (2010) mukaan hienojakoisia MCC-laatuja on kehitetty erityisesti alhaisen kosteuspitoisuuden tuotteille, joista halutaan vähentää rasvaa. Tällaisia ovat monet konditoriatuotteet ja keksien täytteet. Niissä ei alhaisen veden aktiivisuuden ja rakenteen vaatimusten vuoksi voida lisätä vettä rasvan korvaamiseksi, toisin kuin on mahdollista emulsiopohjaisissa tuotteissa. Ei lainkaan

energiaa sisältävä hienojakoinen MCC, jonka partikkelien huokoisuus ja pinta-ala ovat mahdollisimman pieniä absorptio-ominaisuuksien minimoimiseksi, sopii hyvin rasvan korvaajaksi konditoriatuotteiden täytteissä ja kuorrutteissa. MCC:n osuus reseptissä voi olla jopa 15 % käytettynä yhdessä siirappien kanssa. Taulukkoon 13 on koottu esimerkkejä eräiden konditoriatuotteiden täytteiden resepteistä, joissa on käytetty kolloidista MCC:tä.

Taulukko 13. Reseptejä konditoriatuotteiden täytteille (Wüstenberg 2015).

Ainesosa	Osuus (%)			
	Täyte	Täyte, vähäsokerinen	Ananastäyte	Juustokakutäyte, vähärasvainen
Sokeri	40,00	13,00	21,20	63,1
Glukoosi tai fruktoosisiirappi	13,6	-	-	6,0
Sokerisiirappi (63 DE)	-	-	47,60	-
Maltodekstriini	-	-	-	5,0
Modifioitu tärkkelys	3,0-3,5	4,0	2,00	-
Rasvaton maitojauhe	5,0	-	-	3,0
Glyseriini	-	-	-	7,0
MCC+CMC	0,8-1,0	0,8-1,2	1,0	2,0
Pektiini	-	-	0,75	-
Karrageeni	-	-	-	0,2
Emulgaattori	-	-	-	0,2
Väri- ja aromiaine	Maun mukaan	Maun mukaan	"Keltainen"+ ananasaromi	"Keltainen"+ ananasaromi
Na-sitraatti	-	-	0,15	-
K-sorbaatti	-	-	-	0,1
Sitruunahappo (1:1)	Haluttuun pH-arvoon	-	1,40	-
Vesi	→ 100%	-	25,90	-
Rasvaton maito	-	→ 100%	-	13,0
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0

Majzooi ym. (2007) tutkivat voidaanko vehnäleivän ominaisuuksia parantaa, kun leivän valmistuksessa käytettiin 0,5 % MCC:tä tai HPMC:tä (kontrollileipä valmistettiin ilman selluloosaa). Valmistettujen taikinoiden suolapitoisuus oli 2 %. Taikinan farinografitestissä MCC-lisäyksellä taikina absorboi vettä heikommin kuin kontrolli (kuva 10), taikinan muodostumisaika kasvoi ja stabiilisuus vastasi kontrollitaikinan tasoa. Valmiissa leivässä MCC-lisäyksellä saatiin kontrolliin verrattuna hieman kuohkeampi (tilavuus) ja pehmeämpi lopputulos. Aistivaraisesti ei eroja kontrolliin kuitenkaan havaittu. HPMC-lisäyksellä valmistettuihin taikinoihin vesi absorboitui paremmin, ja niiden stabiilisuus oli kontrollitaikinaa parempi. Valmiissa leivässä HPMC-lisäys sai aikaan pehmeämmän ja kuohkeamman (tilavuus) rakenteen ja leivän aistinvaraiset ominaisuudet (maku, rakenne, ulkonäkö ja yleinen hyväksyttävyyys) arvioitiin paremmiksi kuin ilman HPCM:ää valmistetussa leivässä ($p < 0,05$).



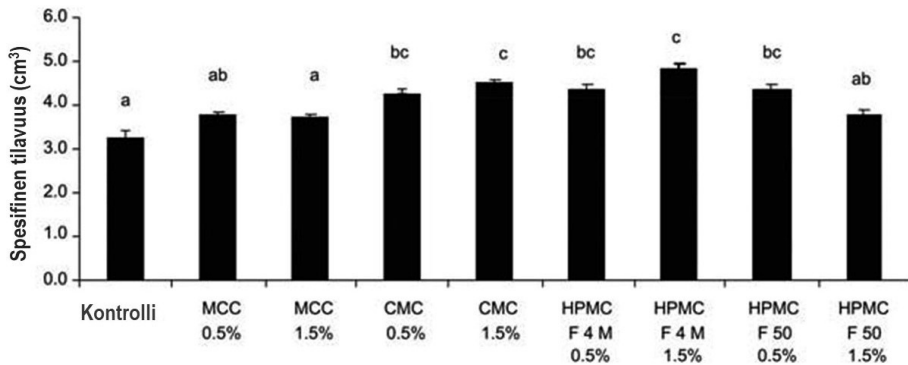
Kuva 10. MCC:n ja HPCM:n vaikutus vehnäleipätaikinan veden absorptioon. Erilaiset kirjaintunnukset pylväissä ilmaisevat merkitseviä eroja ($p < 0,05$). Poikkeamajanat ilmaisevat rinnakkaismittausten standardipoikkeamaa. (Majzooi ym. 2007.)

Correa ym. (2010) tutkivat vehnäleipätaikinan rakenneominaisuuksia, kun taikinan valmistuksessa vehnä jauhoa korvattiin 0,25, 0,50, 1,00 ja 1,5 %:n osuuk-silla erilaisia modifioituja selluloosia: MCC:tä (sis. 12 % CMC:tä), CMC:tä ja HPMC:tä. Taikinat valmistettiin sekä lisäämällä 2% suolaa että ilman suolali-säystä. Farinografimittauksessa veden absorptio taikinaan kasvoi selluloosatuotteen lisäyksen kasvaessa. Pienin vaikutus absorptioon oli MCC:llä ja suurin HPMC:llä. Suola lisäsi taikinan muodostumisaikaa ja stabiilisuutta kaikilla selluloosatuotteilla. MCC:n lisäystaso ei vaikuttanut taikinan stabiilisuuteen riippumatta käytettiinkö suolaa vai ei, kun puolestaan HPMC:llä stabiilisuus heikkeni lisäyksen kasvaessa suolaa sisältävässä taikinassa ja CMC:llä suolat-tomassa taikinassa. Muissa reologisissa mittauksissa MCC-taikinat olivat vain

hieman pelkstä vehnä jauhosta valmistettuja taikinoita pehmeämpiä, mutta muita vertailutaikinoita kovempia ja kiinteämpiä. Elektronimikroskooppikuvissa MCC-taikinat näyttivät muita hienojakoisemmilta etenkin, jos suolaa ei oltu lisätty. Taikina oli rakenteeltaan avoin ja huokoinen. Tärkkelysjyväsäät eivät olleet siinä kokonaan gluteenin peittämiä, ja ne voitiin helposti havaita.

Myös Corree ym. (2014) toisessa taikinakokeessa 1,5 % vehnä jauhoista korvattiin MCC:llä (sis. 12 % CMC:tä). Taikinan mikrorakenteen ei silloin havaittu elektronimikroskooppikuvissa olennaisesti poikkeavan pelkstäään vehnä jauhoista valmistetun kontrollinäytteen rakenteesta riippumatta siitä, käytettiinkö taikinan valmistukseen suolaa (2 %) vai ei. Samassa yhteydessä tutkittiin Raman-spektroskopiolla taikinan proteiinien (gluteenin) rakennetta vuorovaikutuksessa erilaisten hydrokolloidien kanssa. Suolattomissa taikinoissa havaittiin α -heliksirakenteiden osuus suurimmaksi kontrollinäytteessä ja MCC-lisäyksellä valmistetuissa näytteissä kuin vastaavasti vehnä jauhoja pektiinillä (HPM ja LPM), HPMC:llä ja CMC:llä korvaavissa näytteissä. Sekundäärinen α -heliksirakenteiden suuri osuus viittaa säännölliseen ja kompaktiin rakenteeseen. Suolaa sisältävät taikinoissa α -heliksirakenteiden osuus oli selluloosatuotteita sisältävissä taikinoissa yleisesti pienempi (CMC:llä selvästi pienempi).

Correa ja Ferrero (2015) vertailivat MCC:n (sis. 12% CMC:tä), CMC:n ja HPMC:n vaikutuksia vehnäleivän laatuominaisuuksiin, kun vehnä jauhoja korvattiin 0,5 tai 1,5 %:n osuudella mainittuja selluloosatuotteita. Taikinan fermentointivaiheessa MCC:llä (1,5 %) saavutettiin taikinalle pienempi maksimitilavuus kuin pelkällä vehnä jauholla valmistetulla kontrollinäytteellä tai muilla selluloosilla. Heikon kohoamistuloksen arvioitiin johtuvan MCC:n liukenemattomuudesta, jolloin dispergoituneet MCC-partikkelit saattoivat rikkoa gluteenimatriisin ja saavan aikaan vähemmän elastisen taikinan. Tästä seurasi, ettei MCC:n havaittu myöskään parantavan tuoreen valmiin leivän kuohkeutta toisin kuin useimmilla muilla selluloosatuotteilla tapahtui (kuva 11).



Kuva 11. Tuoreen vehnäleivän spesifinen tilavuus erilaisilla modifioituilla selluloosatuotteilla ja lisäysoilla. Erilaiset kirjaintunnukset pylväissä ilmaisevat merkitseviä eroja ($p < 0,05$). Poikkeamajana ilmaisevat rinnakkaismittausten standardipoikkeamaa. (Correa ja Ferrero 2015.)

Instrumentaalisessa rakenneprofiilianalyysissä MCC:n 0,5 %:n lisäysoilla tuoreen leivän sisus oli merkitsevästi ($p < 0,05$) pehmeämpi kuin kontrollituotteessa, mutta 1,5 %:n lisäyksellä kovuus ei poikennut kontrollituotteesta. CMC:llä saavutettiin pehmein sisustan rakenne. Pureskeltavuus noudatti samaa linjaa kovuudesta saatujen tulosten kanssa. Koossapysyvyys ja joustavuus (elastisuus) paranivat hieman kontrollituotteeseen verrattuna kaikilla selluloosatuotteilla. Mitkään sellutuotteet eivät estäneet leivän vanhenemista. 3 vrk:n säilytyksen jälkeen muut kuin MCC:tä 1,5 % sisältävät tuotteet olivat kuitenkin pehmeämpiä kuin kontrollituote.

Onyango ym. (2009) tutkivat MCC:n, eräiden selluloosajohdannaisien (CMC, MC, HPMC ja HPC) sekä eräiden emulgaattoreiden (GMS, SSL, CSL ja DAT-EM) vaikutusta leipätaikinan rakenneominaisuuksiin gluteenittoman leivän valmistuksessa. Leivät valmistettiin kassavatärkkelyksestä ja durrajauhosta, ja edellä mainittuja tutkittavia ainesosia lisättiin 0,5 % ja 2,4 %. Emulgaattoreilla saatiin taikinaan paremmat viskoelastiset sitkoa muistuttavat ominaisuudet kuin selluloosatuotteilla. Poikkeuksena oli kuitenkin CMC, joka 2,4 %:n lisäyksellä sai aikaan taikinassa saman tasoiset reologiset ominaisuudet kuin emulgaattoreilla. Selluloosista lähimmäksi CMC:n vaikutusta päästiin MCC:llä, kun taas heikoimmat tulokset saatiin HPMC-lisäyksellä. Tutkijat selittivät CMC:n positiivisia vaikutuksia sen anioniluonteella ja vesiliukoisuudella. MCC ja selluloosajohdannaiset eivät myöskään vähentäneet valmiin leivän sisustan kovuutta kontrollinäytteeseen (ei selluloosatuotteiden lisäystä) verrattuna, kun leivän kovuutta mitattiin vuorokauden välein 1–5 vrk aikana. Tässäkin suhteessa tutkittavien emulgaattorien käyttö antoi paremmat tulokset.

3.2.2 Lihavalmisteet

MCC:n käyttöä on tutkittu täyteaineena ja rasvan korvaajana keittomakkarakassa ja jauhelihatuotteissa.

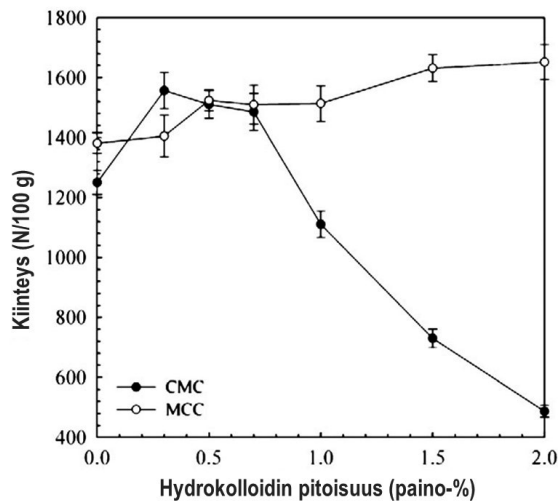
Keittomakkara

Varhaisimmat kokeet MCC:llä keittomakkaran täyteaineena tehtiin jo vuonna 1962, jolloin Orlando Battista selosti MCC-jauheen käyttömahdollisuuksia yhtenä esimerkkinä MCC:n valmistusta koskevassa patentissa (US 3023104 1962, esim. 14). Näissä kokeissa kaupallisen lenkkimakkarakomponentin mukaan valmistetusta makkaramassasta (kontrollinäyte) korvattiin 5, 10 ja 20 %:n osuudet MCC-jauheella, joka sekoitettiin massaan kuivana täyteaineena. Valmiiden tuotteiden laatua arvioitiin aistinvaraisesti. Kontrollinäytteen sekä 5 ja 10 %:n MCC:tä sisältävien näytteiden ulkonäössä ei havaittu eroja, mutta 20 % MCC:tä sisältävä näyte oli näitä vaaleamman punainen, ja siitä oli irronnut suolen alle hieman vähemmän nestettä kuin muissa näytteissä. Makkaroiden kiinteys kasvoi MCC:n osuuden kasvaessa. Kontrollin, 5 %:n ja 10 %:n lisäysosuudella näytteiden suutuntuma ja maku arvioitiin samankaltaiseksi ja hyväksi. 20 %:n MCC:n lisäys sen sijaan tuotti heikomman suutuntuman (hajoava), ja makkara oli maultaan selvästi muita heikompi.

Correia ym. (1991) selvittivät erilaisten täyteaineiden vaikutusta keittomakkaran rakenteeseen. Yksi testattavista ainesosista oli kolloidinen MCC (CMC-pitoisuus 11 %), jota lisättiin makkaramassaan kuivana jauheena. Kontrollinäytteen massan punaisen lihan ja silavan osuudesta neljännes korvattiin MCC:llä ja vedellä (jäänä) siten, että MCC:n osuudeksi testattavassa tuotteessa tuli 8,44 %. Instron-laitteella tehty rakenneprofiilianalyysi osoitti, että MCC:n lisäys makkaramassaan lisäsi merkitsevästi ($p < 0,05$) massan kovuutta, koossapysyvyyttä ja kimmoisuutta kontrollinäytteen massaan verrattuna. Vastaavan valmiin tuotteen rakenne ei kuitenkaan eronnut merkitsevästi ($p < 0,05$) kontrollinäytteestä minkään parametrin osalta (kovuus, koossapysyvyys, kimmoisuus, kumimaisuus ja pureskeltavuus). Näytteitä ei tutkittu aistinvaraisesti.

Myös Schuhin ym. (2013) tutkimuksessa selvitettiin kolloidisen MCC:n (CMC-pitoisuus 8,4–13,7 %) vaikutuksia keittomakkaran rakenteeseen ja toiminnallisiin ominaisuuksiin. Mukana vertailussa oli myös CMC (DS

0,55–0,75). Tutkimusasetelma erosi edellä mainitusta siinä, että tutkittavien aineiden lisäysetasot olivat pieniä (0,3 %, 0,5 %, 0,7 %, 1,0 %, 1,5 % ja 2,0 %; kontrollinäyte 0 %) ja että ne lisättiin valmistettavaan makkaramassaan (1:10) vesidispersiona. Tutkijat havaitsivat, että fysikaalisesti mitattuna valmiin makkaran kiinteys kasvoi lisätyn MCC:n osuuden kasvaessa siten, että 2 %:n lisäytsalla kiinteys oli noin 20 % korkeammalla tasolla kuin kontrollinäytteessä. Sen sijaan CMC:tä käytettäessä pienillä pitoisuuksilla tutkijoille tuntemattomasta syystä kiinteys ensin kasvoi, mutta heikkeni jyrkästi 1 %:n ja sitä suuremmilla lisäysetasoilla. (Kuva 12.)



Kuva 12. Keittomakkaran kiinteys eri MCC:n ja CMC:n lisäysetasoilla (0–2 paino-%, n=10) (Schuh ym. 2013).

Mitatut kiinteyden ja viskoelastisuuden muutokset olivat saman suuntaisia mikroskooppikuvista tehtyjen havaintojen kanssa: makkaran rakenne ei muuttunut MCC:tä lisättäessä juuri lainkaan, kun taas CMC-lisäys rikkoi lihan proteiiniverkostoa lisäysetason kasvaessa. MCC:n 0,3–1,5%:n lisäys ei vaikuttanut makkaran vedensidontakykyyn, mutta 2%:n lisäysetasolla vedensidontakyky heikkeni. CMC:n pienillä lisäysmäärillä vedensidonta heikkeni, mutta 1–2%:n lisäyksellä vedensidontan havaittiin parantuvan. (Schuh ym. 2013.)

Mittal ja Barbut (1993) tutkivat MCC:n ja CMC:n vaikutuksia vähärasvaisen keittomakkaran valmistuksessa. Kontrollinäytteinä olivat tavanomainen nakki-makkara (26 % rasvaa) ja siitä rasvaa vähentämällä ja vettä lisäämällä valmistettu vähärasvainen tuote (13 % rasvaa). Vertailunäytteiden resepti oli muuten

samanlainen kuin em. vähärasvaisella kontrollinäytteellä, mutta vesilisään sisältyi veteen 1:10 dispergoitua MCC:tä tai CMC:tä. Kokeessa käytettiin kahta MCC-laatua, MCC-jauhetta (partikkelikoko keskimäärin 50 µm) ja kolloidista MCC:tä (CMC suojakolloidina, partikkelikoko keskimäärin 0,2 µm). CMC:tä testattiin high viscosity- ja low viscosity -laatuina. MCC, erityisesti sen kolloidinen versio, oli tehokkaampi pidättämään vettä tuotteessa kuin CMC. Sekä MCC että CMC tuottivat valmiiseen tuotteeseen fysikaalisissa mittauksissa lähes samanlaisen rakenneprofiilin kuin kontrollinäytteissä. Myöskään näytteiden aistinvaraisissa ominaisuuksissa ei havaittu merkitseviä eroja MCC:n ja CMC:n välillä eikä niiden suhteessa kontrollinäytteisiin ($p < 0,05$).

Barbutt ja Mittal (1996) raportoivat myöhemmin tuloksista, jotka oli saatu samanlaisella koeasetelmalla (lisäystrasot MCC:llä 0,5 % ja CMC:llä 0,35 %) kuin Mittal ja Barbut (1993). Tulokset olivat saman suuntaisia kuin aikaisemmissa kokeissa. Lisäksi havaittiin, että painotappiot makkarointa uudelleen kuumentettaessa olivat merkitsevästi ($p < 0,05$) pienemmät makkaroinnissa, joihin oli käytetty kolloidista MCC:tä. Fysikaalisissa mittauksissa saatu kolloidisella MCC:llä valmistettujen tuotteiden rakenneprofiili muistutti eniten runsaasti rasvaa sisältävän tuotteen profiilia, vaikka aistinvaraisessa laadussa ei eroja havaittukaan eri näytteiden välillä.

Patentissa US 5441753 (1995) esiteltiin MCC:n (Avicel FD008, partikkelikoko keskim. 15–20 µm) ja mono- ja diglyseridejä sisältävän pinta-aktiivisen aineen (Atmul 84K) sovelluksia elintarvikkeisiin. Seoksen ainesosat oli koprossoitu painosuhteessa 80/20). Vähärasvaisen keittomakkaroin valmistamiseksi tavanomaisen runsaasti (26 %) rasvaa sisältävän makkaroin reseptiä muunnettiin siten, että rasvaisten liharaaka-aineiden osuutta vähennettiin, veden määrää lisättiin, jauhemuodossa olevaa MCC-seosta lisättiin 1,5 paino-%:a ja karrageenia lisättiin 0,3 %. Näin valmistetun makkaroin rasvapitoisuudeksi saatiin 13 %. Sekä rasvainen että vähärasvainen tuote arvioitiin aistinvaraiselta laadultaan yhtä hyväksi, kun tuotteita arvioitiin lämmitettynä.

Vainion (2016) tutkimuksessa korvattiin keittomakkaroin valmistuksessa rasvaisia liharaaka-aineita ei-kolloidisella MCC-geelillä (1 osa MCC:tä, 5 osaa vettä) siten, että MCC:n kuivapainon osuus valmiissa tuotteessa oli 1 %, 3 % tai 5 %. Vertailussa oli mukana keskimääräiseltä partikkelikooltaan 15 µm:n ja 55 µm:n MCC-jauheet. Valmiiden makkaroin rasvapitoisuudet olivat kontrollinäytteellä noin 23% ja vähärasvaisilla MCC:tä sisältävillä näytteillä noin 10

%. Vedensidonnassa ei näytteiden välillä löytynyt merkitseviä ($p < 0,05$) eroja, mutta keittotappiot olivat vähärasvaisilla MCC-makkaroilla 1–1,5 %-yksikköä suuremmat kuin kontrollinäytteellä. Rakenteen Instron-mittauksissa MCC:n todettiin lisäävän kiinteyttä lämmitetyissä makkaroissa, mutta kylmissä makkaroissa kiinteys oli kontrollinäytteen tasolla. Myös puruvastusta mitattaessa MCC-makkaroiden tulokset edustivat kontrollinäytteen tasoa. MCC-jauheen partikkelikoolla ei ollut vaikutusta makkaroiden mitattuihin rakenneominaisuuksiin. Makkaroiden aistinvaraisessa arvioinnissakaan ei havaittu merkitseviä eroja ($p < 0,05$) eri MCC:n lisäystasyösten välillä eikä partikkelikooltaan erilaisten MCC-laatuojen välillä.

Okanović ym. (2016) testasivat siipikarjanlihasta ja silavasta valmistettujen nakkien rasvan korvaamista MCC-geelillä. Geeli muodostettiin dispergoimalla 1 osa kolloidista MCC:tä (koprosessoitu kahden eri CMC-laadun kanssa) 9 osaan vettä. Silavaa korvattiin geelillä 0 % (kontrolli), 25 %, 50 %, 75 % ja 100 %. Valmiiden makkaroiden aistinvaraista laatua arvioi koulutettu asiantuntijaraati. Makkaroiden ulkonäössä ja leikkauspinnassa ei havaittu eroja ($p < 0,05$) minkään näytteiden välillä. 75 %:n korvaustasoon saakka näytteiden välillä ei havaittu merkitsevää ($p < 0,05$) eroa värissä ja sen pysyvyydessä, hajussa ja maussa, rakenteessa ja mehukkuudessa tai yleisessä hyväksyttävyydessä. 100 %:n korvaustasolla merkitsevä ero havaittiin kaikkien edellä mainittujen tekijöiden osalta. Näin voitiin osoittaa, että 23,5 % rasvaa sisältävän kontrollinäytteen rasvapitoisuutta voitiin vähentää 15,4 %:iin korvaamalla 75 % valmistusaineena käytetävästä silavasta MCC-geelillä aistinvaraisen laadun heikkenemättä.

Jauhelihatuotteet

Todd ym. (1989) vertailivat kolloidisen MCC:n (Avicel RC-591), puhtaan selluloosan (Solka Flocc) ja arabi- ja guarukumin seoksen (Nutriloid Fiberplus) vaikutusta jauhelihapihvien rakenteeseen, kun niitä käytettiin kuitulisänä 3,5 %:n ja 7,0 %:n osuudella. Näistä MCC 3,5 %:n lisäystasyöllä valmistettu pihvi tuotti fysikaalisiin mittauksiin perustuvilta rakenneominaisuuksiltaan parhaan tuloksen, mikä ei poikennut minkään parametrin osalta (murenevuus, kovuus, koossapysyvyys ja kimmoisuus) merkitsevästi ($p < 0,05$) ilman kuitulisää valmistetusta pihvistä. Myös puhtaalla selluloosalla (selluloosajauheella) saatiin 3,5 %:n lisäystasyöllä lähes yhtä hyvä tulos, vain pihvien kovuus ylitti selvästi kontrollinäytteen tason. Arabi- ja guarukumilla ei saatu jauhelihapihveihin yhtä hy-

viä rakenneominaisuuksia kuin selluloosatuotteilla. Selluloosatuotteiden 7 %:n lisäystrasolla pihvit olivat merkitsevästi ($p < 0,05$) murenevampia ja kovempia kuin ilman kuitulisää valmistetut.

Toisessa tutkimusraportissaan Todd ym. (1990) julkaisivat edellä mainitussa koeasetelmassa saadut aistinvaraisen arvioinnin tulokset. Asiantuntijaraadin arvioimia rakenneominaisuuksia olivat puruvastus, mehukkuus, rakeisuus ja jauhoisuus sekä koossapysyvyys. Arviointitulokset olivat rakenteen osalta yhdenmukaiset edellä mainittujen fysikaalisten mittausten osalta: MCC:n 3,5 %:n lisäystrasolla jauhelihipihvit eivät eronneet minkään rakenneominaisuuden osalta ilman kuitulisää valmistetuista tuotteista. Myöskään kontrollinäytteestä poikkeavaa sivumakua tai -hajua ei havaittu, eikä lihan maun intensiteetti poikennut kontrollinäytteestä. MCC:n 7 %:n lisäys tuotti hieman kuivemman rakenteen ja osa arvioijista havaitsi suutuntumassa hieman jauhoisuutta tai rakeisuutta. Puhtaan selluloosan lisäys tuotti kuivemman ja rakeisemman rakenteen ja vähemmän lihamaisen maun kuin ilman kuitulisäystä. Arabi- ja guarkumi saivat aikaan enemmän sivumakua, rakeisuutta, jauhoisuutta sekä pehmeämmän rakenteen verrattuna muihin tuotteisiin.

Rasvalla on jauhelihatuotteissa tärkeä laatuun vaikuttava merkitys. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että vähennettäessä jauhelihipihvien rasvapitoisuutta ilman korvaavien ainesosien lisäämistä noin 20 %:n pitoisuudesta 5–10 %:iin heikkenee pihvien mureus, mehukkuus, maun intensiteetti ja yleinen tuotteen maittavuus (Desmond ym. 1998).

Desmondin ym. (1998) vertailivat laajassa tutkimuksessaan 17 kaupallisen rasvan korvaajana käytetyn tuotteen vaikutuksia valmistettaessa vähärasvaisia jauhelihipihvejä. Kontrollinäytteinä olivat rasvainen ja vähärasvainen ilman rasvaa korvaavia ainesosia valmistettu jauhelihipihvi (rasvapitoisuudet 19,3 % ja 13,9 %). Vertailussa olivat mukana ei-kolloidinen MCC-jauhe (Avicel PH101) ja kolloidinen MCC (Avicel RCN30; MCC koprosessoitu maltodekstriinin [20 %] ja ksantaanin [5 %] kanssa). Vähärasvaisen jauhelihamassan valmistukseen käytettiin punaista naudanlihaa (88 %), vettä (10 %), suolaa (1 %) ja MCC:tä (1 %). MCC lisättiin massaan kuivana jauheena. Taulukkoon 14 on koottu analyysitulokset valmiista pihveistä, joissa MCC:tä oli käytetty rasvan korvaajana, sekä vertailu ilman rasvan korvaajaa valmistettuihin pihveihin.

Taulukko 14. Kooste Desmondin ym. (1998) tutkimuksen tuloksista MCC:tä sisältävien tuotteiden osalta käytettäessä MCC-jauhetta ja kolloidista MCC:tä rasvan korvaajana vähärasvaisten jauhelihapihvien valmistuksessa. Vertailutuotteina rasvainen ja vähärasvainen ilman MCC:tä valmistettu jauhelihapihvi.

	Rasvainen, kontrolli (rasvapit 19,3 %)	Vähärasvainen, kontrolli (rasvapit. 13,9 %)	MCC-jauhe (rasvapit. 15,0 %)	Kolloidinen MCC (rasvapit. 15,0 %)
Saanto kypsennyksessä (%)	56,7	57,9	59,5 ^a	62,1 ^{ab}
Vedensidontakyky (%)	26,1	33,5	34,0 ^a	30,7 ^{ab}
Kutistuminen kypsennyksessä (%)	23,2	23,5	21,6	20,2
Leikkausvoima, Warner-Bratzler	23,9	30,7	26,6 ^{ab}	22,9 ^b
Leikkausvoima, Kramer (N/g)	45,9	59,2	58,2 ^a	53,9 ^{ab}
Aistinvaraisesti:				
Mureus (1-8)	5,4	4,8	4,7 ^a	5,8 ^b
Kosteus/mehukkuus (1-8)	5,2	4,2	4,9 ^b	5,4 ^b
Lihainen maku (1-6)	5,1	5,1	5,1	5,9 ^{ab}
Ei-lihainen maku (1-6)	2,4	1,9	2,0	1,9
Maku yleisesti (1-6)	3,5	3,4	3,7	4,0
Rakenne yleisesti (1-6)	3,4	3,3	3,4	3,8
Hyväksyttävyyys yleisesti (1-6)	3,7	3,6	3,5	4,1

^a Tilastollisesti merkitsevä ero rasvaiseen kontrollituotteeseen ($p < 0,05$).

^b Tilastollisesti merkitsevä ero vähärasvaiseen kontrollituotteeseen ($p < 0,05$).

Tulokset osoittavat, että MCC-valmisteita käyttämällä pystytään valmistamaan ominaisuuksiltaan totutun runsarasvaisen jauhelihapihvin veroinen vähärasvainen tuote. Kolloidista MCC:tä käyttämällä päästään aistinvaraisen laadun osalta hieman parempaan lopputulokseen kuin MCC-jauhetta käyttämällä. Tulokset olisivat saattaneet olla vieläkin paremmat, jos MCC olisi dispergoitu veteen ja lisätty jauhelihamassaan geelinä.

Patentissa US 6270830 (2001) selostetaan lihavalmistelle kehitetyn stabilointiaineen käyttösovelluksia. Stabilointiaine on kolloidinen MCC, jossa hienojakoi-

nen MCC (partikkelikoko keskimäärin 10 µm) on koprossoitu κ-karrageenin kanssa. Jauhelihipihveihin osoittautuivat parhaiksi MCC/karrageeni -seossuhteiksi painoprosenteina 25/75, 40/60 ja 60/40. Näillä seossuhteilla saatiin aikaan mehukkaimmat, vähiten karkeat ja tahmeat jauhelihipihvit, kun stabilointiaine lisättiin jauhelihamassaan veteen dispergoituna (dispersion vesipitoisuus 50–70 %, stabilointiaineen kuiva-ainepitoisuus jauhelihamassassa 3 %).

Gibis ym. (2015) tutkivat MCC:tä ja CMC:tä rasvan korvaajana jauhelihipihveissä. Tutkimuksessa käytettiin kolloidista MCC:tä (Grindsted MCC MAS 17 LS, sisältää 8,4–13,7 % CMC:tä) ja CMC:tä kauppanimeltään Grinsted CMC BAK 130. Tutkittavat aineet dispergoitiin veteen suhteessa 5–30 % MCC/CMC:tä ja 70–95 % vettä. Dispersiota lisättiin jauhelihamassaan 10 paino-%:n osuus, jolloin tutkittavat MCC/CMC:n lisäystrasot massassa olivat 0,5 %, 1 %, 2 % ja 3 %. Näin saatujen valmiiden paistettujen pihvien rasvapitoisuus oli noin 9 %. Niiden laatua verrattiin ilman selluloosatuotteita valmistettujen pihvien laatuun (rasvapitoisuus noin 11 %). Tutkijat totesivat MCC:n soveltuvan hyvin rasvan korvaajaksi. MCC:tä 1–3 % sisältäviä pihvejä pidettiin aistinvaraiselta laadultaan optimaalisina ja tyypillisinä jauhelihipihveinä. MCC:n 2 %:n lisäystrasolla pihvit osoittautuivat merkitsevästi ($p < 0,05$) rakenteeltaan ja mehukkuudeltaan kontrollinäytteitä paremmiksi. Tätä lisäystrasoa pidettiin parhaana ja suutuntumaa kuvattiin rasvamaiseksi. CMC:tä ei sen sijaan pidetty sopivana rasvan korvaajana yli 0,5 %:n pitoisuudessa, jonka yläpuolella se sai aikaan proteiiniverkoston hajoamisen ja rakenteen pehmenemisen. Sama ilmiö havaittiin keittomakkaralla tehdyissä kokeissa (Schuh ym. 2013). Tutkijoiden mukaan 50 % standardituotteen rasvasta voitaisiin korvata kolloidisen MCC:n dispersiolla aistivaraisen laadun heikkenemättä.

Lähes kokonaan ilman rasvaakin voitaneen kelvollisia jauhelihipihvejä valmistaa, mutta silloin tarvitaan MCC:n lisäksi joukko muita rasvaa korvaavia ainesosia (taulukko 15).

Taulukko 15. Rasvattoman jauhelihapihvin resepti (Wüstenberg 2015).

Ainesosa	Osuus (%)
Naudanliha (rasvaa < 2 %)	53,00
Vesi (jäänä)	38,95
Suola	1,8
Modifioitu tärkkelys	1,5
Mausteet	1,4
Aromiaine	1,0
Sokeri	0,5
Dekstroosi	0,5
MCC	0,5
Konjakjauho	0,4
Fosfaattiseos	0,3
Natriumnitraatti (6,25 %)	0,15
Yhteensä	100,0

Kolloidisen MCC:n, joka sisältää 8 % CMC:tä (Avicel RC), on mainittu estävän jauhelihapihvien painotappioita ja kutistumista kypsennyksessä, kun seluloosaa levitetään pihvien pinnoille (Panda 2010).

Muut lihavalmisteet

Patentissa US 6270830 (2001) kuvataan hienojakoisen MCC:n ja karrageenin muodostaman koprossoidun seoksen käyttöä stabilointiaineena kinkun suolauksessa. Suolalaukka valmistettiin taulukossa 16 esitetyn reseptin mukaan. Laukkaa ruiskutettiin kinkkuun painosuhteessa 80 osaa laukkaa ja 100 osaa kinkkua. Maseerauksen, savustuksen ja keiton jälkeen valmiiden kinkkujen laatua arvioitaessa havaittiin, että paras lopputulos saavutettiin käyttämällä suolalaukassa stabilointiainetta (1 %) koostumuksella 40 % MCC:tä / 60 % τ -karrageenia. Tällä seossuhteella päästiin 82 %:n saantoon, ja kinkun rakenne arvioitiin erittäin hyväksi ja suutuntumaltaan mehukkaimmaksi.

Taulukko 16. Suolalaukan resepti kinkkujen suolaamiseen (US 6270830 2001).

Ainesosa	Osuus (%)
Vesi	77,95
NaCl	5,0
Soijaproteiini-isolaatti	5,0
Laktoalbumiini	5,0
Polyfosfaatti	2,0
Sakkaroosi	3,0
Natriumglutamaatti	1,0
MCC+ τ -karrageeni	1,0
Natriumnitriitti	0,05
Yhteensä	100,0

MCC:n on raportoitu muodostavan vähärasvaiselle lihapateelle sileän, helposti levitettävän ja runsasrasvaisen tuotteen rakennetta muistuttavan rakenteen, josta makuaineet tulevat hyvin esille (Tuason ym. 2010). Pinnoitusaineena MCC:n on myös todettu estävän pekoniviipaleiden käpristymistä ja tarttumista toisiinsa (Panda 2010).

3.2.3 Maitopohjaiset tuotteet

MCC-tuotteilla on lukuisia käyttösovelluksia vähärasvaisten juustojen, jäätelön ja jäädytettyjen jälkiruokien, maitopohjaisten juomien sekä erilaisten vähärasvaisten kreemien ja kuorrutusten valmistuksessa.

Juustot

Vähärasvaisten versioiden valmistaminen kuluttajien ennestään tuntemista juustolaaduista on osoittautunut haasteelliseksi, koska samanaikaisesti on otettava makuun ja rakenteeseen vaikuttavat tekijät sekä mahdollisesti muut toiminnalliset ominaisuudet, jos juustoa käytetään muiden elintarvikkeiden ainesosana. Ilman korvaavia ainesosia tai toimenpiteitä valmistettuja vähärasvaisia juustoja kuvataan usein rakenteeltaan kumimaisiksi ja maultaan epätyypillisiksi (Buliga ym. 1998, Mistry 2001). Vähärasvaisten tuotteiden laatuun voidaan vaikuttaa prosessiteknikalla, starterkulttuurin valinnalla tai stabilointiaineita ja rasvan korvaajia käyttämällä (Mistry 2001.)

Patentissa US3023104 (1962) kuvataan esimerkkinä MCC-jauheen käyttösovelluksia vähärasvaisen juustolevitteen valmistamiseksi. Cheddarjuustomassaan sekoitettiin MCC-jauhetta ja vettä niin, että muodostuvassa levitteessä oli noin 18 % MCC-jauhetta ja 40 % vettä. Keksijöiden mukaan lopputuloksena saadulla vähäkalorisella tuotteella oli pelkästään juustosta valmistetun tuotteen suutuntuma.

Useissa kirjallisuuslähteissä on raportoitu vähärasvaisten juustojen valmistuksesta, joissa rasvan korvaajana on käytetty FMC-yhtiön valmistamia Novagel-tuotteita. Ne ovat MCC:n, guarkumin ja/tai karrageenin kolloidisia seoksia. Esimerkiksi patentissa WO9501729A1 (1995) kuvataan vähärasvaisen juuston valmistusmenetelmiä cheddar-, monterey-, brick-, edam- ja goudatyypisille juustoille sekä kokonaan rasvattomalle colbyjuustolle. Menetelmässä käytettiin MCC-jauheen ja guarkumin (galaktomannaani) koprosessointituotteena saattua kolloidista MCC:tä (Novagel RCN-10 tai RCN-15) sekä tämän ja κ-karrageenin seosta.

Buligan ym. (1998) mukaan MCC-guarkumi yhdistelmä tuo vähärasvaisiin juustoihin kermaista suutuntumaa, parantaa ulkonäköä (vähentää läpikuultavuutta, täyteläisempi yleisväri), helpottaa viipalointia ja vähentää pinnan tahmeutta.

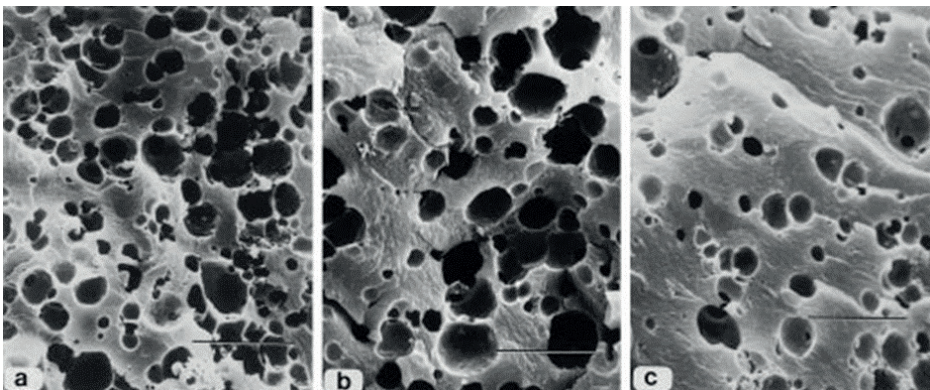
Bullens ym. (1994) raportoivat vähärasvaisen, 11 % rasvaa sisältävän cheddarjuuston valmistusmenetelmästä. Menetelmässä käytettiin lisäaineena kolloidista MCC-laatua (Novagel NC-200), jossa MCC oli koprosessoitu guarkumin kanssa ja sekoitettu edelleen karrageenin kanssa. MCC:tä lisättiin painoprosentteina 2 % viipaloitavaan tuotteeseen. Valmistusmenetelmällä saavutettua täysrasvaisen (34 %) juuston rakennetta muistuttavaa rakennetta tutkijat selittivät sillä, että karrageeni pehmensi juuston rakennetta estämällä kaseiinimisellien yhteenliittymistä ja että MCC-partikkelit puolestaan pidätyivät juustomassaan pehmentämällä kaseiiniverkostoa kuten rasvapalloset runsasrasvaisessa juustossa.

Novagel NC-200 (MCC-guarkumi-karrageeni) oli mukana Draken ym. (1996) tutkimuksessa, jossa vertailtiin vähärasvaisen cheddarjuuston valmistukseen suositeltuja rasvan korvikkeita. Siinä ennen varsinaista juuston valmistusta Novagel (0,125 paino-%) dispergoitiin rasvattomaan maitoon yhdessä rasvattoman maitojauheen (0,5 paino-%) kanssa. Vähärasvainen tuote (rasvapitoisuus 13,5 %), johon oli käytetty Novageliä, ei ollut asiantuntijaraadin ja kuluttajaraadin aistin-

varaisen arvioinnin perusteella ulkonäöltään, rakenteeltaan eikä maultaan täysrasvaisen tuotteen (35,6 % rasvaa) veroinen. Novagelillä valmistetun tuotteen erot ilman rasvan korvikkeita valmistettuun vähärasvaiseen tuotteeseen olivat melko pieniä, mutta asiantuntijaraadin arvioinnissa Novagel tuotti kiinteämmän ja hieman vähemmän kuminaisen rakenteen. Kuluttajaraadin mukaan Novageelillä valmistettu erosi ilman rasvan korvikkeita valmistetusta merkittävästi ($p < 0,05$) hieman paremman rakenteen ja ulkonäön ansiosta.

Myös Ma ym. 1997 tutkivat vähärasvaisen Cheddar-juuston valmistusta. He havaitsivat reologisissa mittauksissa MCC-guarkumi-karrageeni-yhdistelmän (Novagel NC-200) tuottavan vähärasvaiseen juustoon enemmän täysrasvaista juustoa muistuttavan rakenteen kuin vertailussa mukana olevat maidon proteiineihin perustuvat valmisteet. Kolloidinen MCC paransi vähärasvaisen juuston reologisia ominaisuuksia, mutta sen avulla ei kuitenkaan voitu täydellisesti simuloida täysrasvaisen juuston proteiinimatriisia.

Kuvan 13 elektronimikroskooppikuvat (Drake ym. 1996) havainnollistavat täysrasvaisen ja vähärasvaisen juuston rakennetta. Kuvissa rasvapalloset erottuvat tummina kohtina ja proteiinimatriisi vaaleana yhtenäisenä alueena. Vähärasvaisissa tuotteissa (b ja c) näkyy vähemmän rasvapalloja ja laajempia rikkoutumattomia proteiinimatriisin alueita kuin täysrasvaisessa tuotteessa (a). Rasvan korvikkeena käytettyä Novagel NC-200 sisältävän juuston (c) proteiinimatriisi näkyy sileämpänä ja rasva hienojakoisemmin jakautuneena kuin ilman rasvaa korvaavia ainesosia valmistetussa juustossa (c).



Kuva 13. Elektronimikroskooppikuvia (3300 x) Cheddar-juuston rakenteesta: a) täysrasvainen (35,6 %) juusto, b) vähärasvainen (13,5 %) juusto ja c) vähärasvainen (13,3 %) juusto, jonka valmistukseen on käytetty kolloidista MCC:tä (Novagel NC-200). Janan pituus 10 μm . (Drake ym. 1996.)

MCC:tä on kokeiltu myös vähärasvaisten tuorejuustojen valmistuksessa. McMahon ym. (1996) käyttivät kolloidista MCC-guarkumi -tuotetta (Novagel RCN-15) vähärasvaisen (4–5 % rasvaa) mozzarellajuuston valmistuksessa. Ennen juuston valmistusta kolloidinen MCC dispergoitiin rasvattomaan maitoon suhteessa 2,5 g / 1kg maitoa. Tutkijat raportoivat, että MCC:n lisäys sai juustossa aikaan notkeamman ja enemmän (4,3 %) kosteutta sisältävän rakenteen, kun sitä verrattiin ilman MCC-lisäystä valmistettuun juustoon. Tämän he selittivät johtuvan MCC:n mikrokiteiden kyvystä estää kaseiinisäikeiden yhdistymistä juustonvalmistuksen aikana sekä niiden muodostamista onkaloista, joihin juustossa oleva vesi voi pidäytyä. Toisaalta MCC-lisäys heikensi mozzarellajuuston sulavuutta kuumennettaessa 1–14 vrk kuluttua valmistuksesta, mikä on ei-toivottu ominaisuus esimerkiksi pitsan valmistuksessa. 28 vrk:n kuluttua sulavuus oli kuitenkin palautunut ei-MCC:tä sisältävän kontrollituotteen tasolle.

Romeih ym. (2002) käyttivät kolloidista MCC:tä (Novagel NC-200) vähärasvaisen (noin 7 % rasvaa) fetajuustotyyppisen tuorejuuston valmistamiseen. Dispergoitun MCC:n osuus maidossa oli 4 %. Reologisten mittaustulosten mukaan MCC:tä sisältävän tuotteen rakenne sai selvästi toivotun kaltaisen pehmeämmän rakenteen kuin ilman MCC:tä valmistetulla tuotteella, ja sen rakenne muistutti läheisesti täysrasvaisen (18 % rasvaa) tuotteen rakennetta. Aistinvaraisestikin arvioituna MCC:tä sisältävä tuote oli selvästi pehmeämpi, mutta aistinvaraiselta laadultaan kokonaisuutena vähärasvaiset tuotteet eivät eronneet toisistaan eivätkä yltäneet täysrasvaisen tuotteen tasolle.

Singh ym. (2015) totesivat MCC:n 2 % lisäystasolla estävän mozzarellajuustosta valmistetun juustoraasteen paakkuuntumista ja parantavan sen säilyvyyttä alentamalla veden aktiivisuutta tuotteessa.

Patentissa GB2484822A (2012) selostetaan maidottoman ja gluteenittoman juustoa muistuttavan tuotteen valmistusta. Tällainen tuote muodostuu kolmesta pääkomponentista: soijavalmiste 30–95 %, makua antamaton täyteaine 4,99–69,9 % ja juustoaromi 0,1–20 %. Täyteaineena voidaan käyttää tärkkelystä, mikrokiteistä selluloosaa tai muuta hydrokolloidia.

Jäätelö ja jäädytetyt jälkiruoat

Jäätelö on jäädytetty, ilmaa sisältävä emulsio ja rakenteeltaan siten varsin kompleksinen elintarvike. Rakenteen monimutkaisuus edellyttääkin valmistuksessa yleensä useamman kuin yhden stabilointiaineen käyttöä parhaan mahdollisen lopputuloksen aikaansaamiseksi (Sworn 2004).

MCC:tä on hyödynnetty jo kauan jäätelöissä ja jäädytetyissä jälkiruoissa. Jo 1960-luvun alkupuolella sitä kokeiltiin stabilointiaineena vähärasvaisen kasvisrasvajäätelön valmistuksessa (US3023104A 1962). Sen jälkeen käyttösovelluksen jäädytetyissä elintarvikkeissa ovat laajentuneet.

Kolloidisilla MCC laaduilla voidaan tehostaa jäätelön vaahdon pysyvyyttä ja kontrolloida vispautuvuutta. MCC muodostaa 0,4 % tai sitä korkeammalla liäsästasolla jäätelöyksissä geelin. Geeli suojaa jäädytetyn tuotteen alkuperäistä rakennetta varastoinnin ja kuljetuksen aikana estämällä vaihtelevan lämpötilan (lämpöshokin) vaikutuksia sekä säilyttämällä tuotteen ilmasta vedestä ja rasvasta koostuvan kolmen faasin järjestelmän. MCC:llä voidaan myös pienentää rasvan ja kiinteiden aineiden määrää 2–4 %:lla minimaalisin vaikutuksin jäätelön rakenteeseen. Karragenin tapaan selluloosageelillä on kyky estää heran erottumista jäätelöseoksissa. (Bahramparvar ja Mazaheri Tehrani 2011.)

Krawczyk ym. (2009) selittivät, miten uusimmat MCC-laadut estävät jäätelön lämpöshokkiin liittyviä ei-toivottuja ilmiöitä, kuten ilmasolujen yhdistymistä ja jääkiteiden kasvua. Heidän mukaansa jäädytettyyn tuotteeseen aina jäävä pieni määrä nestettä muodostaa MCC:n kanssa soolin, jossa MCC:n pitoisuus on hyvin suuri. Tämä sooli muodostaa elastisen geelin, joka kykenee estämään veden migraatiota ja asettamaan näin esteitä suurempien jääkiteiden syntymiselle lämpötilan vaihdellessa epäedullisesti. Nestefaasin sisäänsä sulkeva rakenne vaiuttaa myös paremman jäätelön suutuntuman muodostumiseen sekä parantaa sulamisominaisuuksia. Mainitut MCC:n laatuominaisuuksia parantavat ominaisuudet korostuvat vähärasvaisissa, vähän kiinteitä aineita sisältävissä ja/tai vähäsokerisissa jäätelöissä.

Wüstenbergin (2015) oli koonnut erilaisten jäätelöiden reseptejä, joissa oli jäätelön tyyppistä riippuen käytetty stabilointiaineena kahta erilaista MCC:tä sisältävää seosta. Reseptit on koottu taulukkoon 17.

Taulukko 17. Erilisten jäätelöiden kuivat ainesosat sisältäviä reseptejä (Wüstenberg 2015).

Ainesosa	Osuus (%)					
	Pehmejäätelö				Jäätelö	
	Tavanomainen	Vähärasvainen	Vähäsokerinen	Vähärasvainen ja vähäsokerinen	Tavanomainen	Vähärasvainen
Maitorasva	10,00	4,00	10,00	5,00	10,00	4,00
Rasvaton maitojauhe	12,00	13,00	10,00	11,00	8,25	9,00
Ruokosokeri	13,00	11,00			12,00	12,00
Maissi-siirappi		4,00			6,00	8,00
Herajauhe					2,75	3,00
Maltitoli			8,00	8,00		
Polydeks-troosi			8,00	4,00		
Sorbitoli				4,00		
Sukraloosi			0,012	0,01		
Stabilointi-aineseos A (MCC, CMC, karrageeni ^{a)})	0,5–0,6	0,6–0,7	0,5–0,6	0,6–0,7		
Stabilointi-aineseos B (MCC, CMC, karrageeni ^{b)})					0,45–0,55	0,55–0,65
Kuivat ainesosat yhteensä (noin)	35,5	32,6	36,5	32,6	39,5	36,6

^{a)} A: monoglyseridit, MCC, CMC, tetranatrium pyrofosfaatti, karrageeni, NaCl

^{b)} B: MCC, mono- ja diglyseridit, CMC, maltodekstriini, Polysorbaatti 80, karrageeni, NaCl

Jäätelön ja jäädytettyjen jälkiruokien stabiloinnissa on yleisesti käytetty MCC:n ja CMC:n seosta (ks. esim. US4421778 (1983)), mutta tähän tarkoitukseen on esitetty myös muita patentoituja kolloidisen MCC:n vaihtoehtoja.

Patentissa US4263334A (1981) vaihtoehtona tuotiin esille MCC:n, hiilihydraattimakeutusaineen ja jonkin muun hydrokolloidin seos. Parhaaksi kombinaatioksi osoittautui seos, joka sisältää 60 % MCC:tä, 30 % hydrolysoitua

viljavalmistetta (hydrolyzed cereal solids) ja 10 % ksantaania. Tällaista kolmen komponentin seosta tarvittiin stabilointiaineena 0,8 % ainesosien painosta jäädytettävän maitopohjaisen jälkiruoan valmistamiseen.

Patentissa WO9014017A1 (1990) esiteltiin esimerkkinä resepti rasvattomien jäädytetyn maitopohjaisten jälkiruokien valmistukseen, kun rasvaa korvaavana stabilointiaineena käytettiin MCC:n ja guarkumin seosta (taulukko 18, A).

Patentissa WO9424888 (1994) mainitaan, että MCC:n, alginaatin ja kalsiumsuolojen seoksella on erityisiä toiminnallisia ominaisuuksia, kuten dispergoituvuus maitopohjaisissa systeemeissä, maidon geeliyttäminen ja stabiilisuus alhaisessa pH:ssa, mitä ominaisuuksia ei ole muilla tunnetuilla kolloidisilla MCC-tuotteilla. Taulukossa 18 on esimerkki (sarake B) vähärasvaisen jäädytettävän jälkiruoan valmistukseen tarvittavista aineksista, kun stabilointiaineena käytetään alginaatin ja kalsiumsuolan kanssa koprosessoitua MCC:tä.

Humphreysin (1996) esimerkissä jäädytettävän vähärasvaisen maitopohjaisen jälkiruoan stabilointiin käytettiin kaupallisen Avicel RC-581:n (MCC+CMC), karrageenin ja guarkumin seosta (taulukko 18, C.).

Taulukko 18. Esimerkkejä maitopohjaisen jäädytetyn rasvattoman tai vähärasvaisen jälkiruoan resepteistä käytettäessä stabilointiaineena (A) MCC:n ja guarkumin seosta (WO9014017A1), (B) MCC:n, alginaatin ja kalsiumsuolan seosta (WO9424888) tai (C). Avicel RC-581 tuotteen (MCC+CMC), karrageenin ja guarkumin seosta (Humphreys 1996).

Ainesosa	Osuus (%)		
	A. Rasvaton	B. Vähärasvainen	C. Vähärasvainen
Rasvaton maito	74,01		
Maitorasva		4,00	3,00
Rasvaton maitojauhe	6,34	13,00	12,20
Sokeri	12,00	12,00	12,00
Maissi-/glukoosisiirappi	6,25	5,00	4,00
MCC+guarkumi	1,25		
MCC+alginaatti+Ca-suola		0,40	
CMC (7MF)	0,15	0,10	0,25–0,50
Avicel RC-581 (MCC+CMC)		0,01	0,05–0,20
Karrageeni			0,10–0,20
Guarkumi		0,30	0,20–0,50
Mono-diglyseridit		qs	qs
Vesi			
Yhteensä	100,00	100,00	100,00

Patentissa US5789004 (1998) on lisää esimerkkejä maitopohjaisten jäädytettävien jälkiruokien resepteistä, joissa stabilointiaineena on käytetty MCC:n ja guarkumin tai MCC:n ja CMC:n seosta. Suositellut lisäystrasot ensiksi mainitulle olivat 0,5–1,5 % ja jälkimmäiselle 0,2–1,0 % kaikkien ainesosien painosta. Patentin US6025007 (2000) esimerkissä 13 on puolestaan resepti, jossa käytetään MCC:n ja pinta-aktiivisen aineen koprossoitua seosta vähärasvaisen 6 % rasvaa sisältävän jäätelön valmistukseen.

Maitopohjaiset juomat

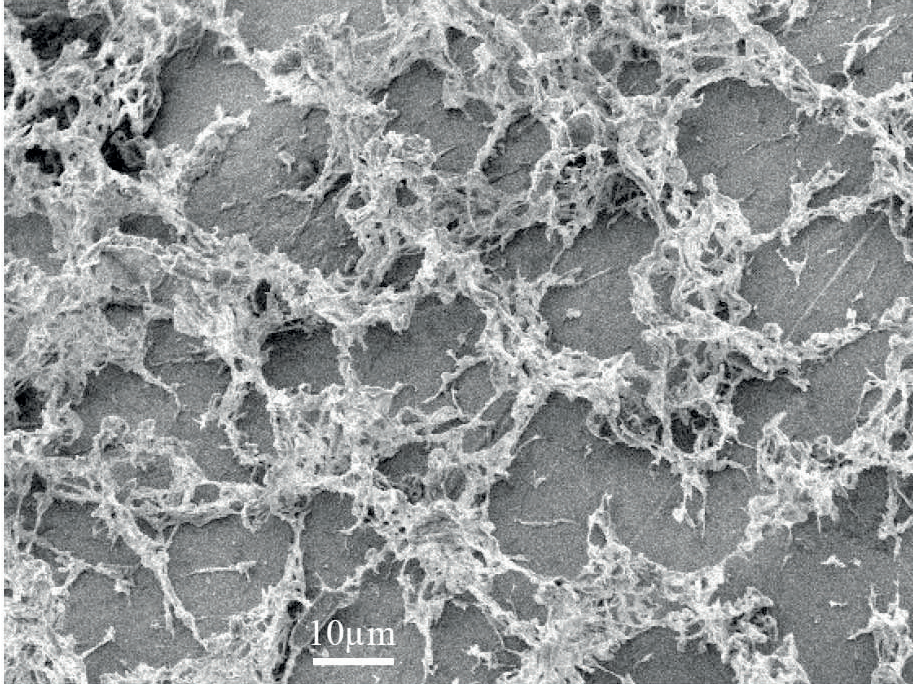
Maitopohjaisten juomien valmistuksessa haasteita aiheuttavat toivotun suutuntuman aikaansaaminen, proteiinien stabiilisuuden varmistaminen kuumennettaessa (esim. HTST- ja UHT-kuumennus) ja suspensioiden stabiilisuuden varmistaminen (partikkelien sakkautumisen ja nesteen erottumisen estäminen; GB2395413A 2004).

Tuasonin ym. (2010) mukaan alhaisen viskositeetin maitopohjaisten kaakajuomien stabilointiin on käytetty perinteisesti pieniä määriä κ-karrageenia (0,015–0,025 paino-%). Jos lämpökäsiteltyä kaakaota ei jäädytetä alle noin 15 °C:n lämpötilaan ennen pakkaamista tai jos juoman varastointilämpötila on korkea, ei sen valmistuksessa syntyvä karrageeni-kaseiini-verkosto pysty ylläpitämään kaakaopartikkeleiden muodostamaa stabiilia suspensiota. Lisäämällä sopivaa kolloidista MCC-laatua 0,22–0,40 % ainesosien painosta, voidaan maitokaakajuoman rakenteen stabiilisuutta parantaa niin, että se kestää korkeita lämpötiloja pakkauksen täytön ja juoman varastoinnin aikana.

Maitokaakajuomien stabilointiin on käytetty yleisesti kolloidista MCC:n ja CMC:n seosta, mutta tähän tarkoitukseen on ehdotettu monia muita kolloidisen MCC:n variaatioita (Tuason ym. 2010).

Yaginuma ja Kijima (2006) tutkivat maitokaakajuoman stabiilisuutta ja rakenteen muodostumista kolloidisen MCC:n (MCC+CMC, Avicel RC-591) viidellä eri lisäystrasolla välillä 0,1–0,5 %. Juomat kuumennettiin joko 85 °C:seen tai sterilointilämpötilaan 121 °C (30 min), homogenoitiin ja jäädytettiin 5 °C:seen. Juomien laatua arvioitiin 3 vrk kuluttua. Tutkijat havaitsivat, että kaakaopartikkeleita saostui ei-steriloiduissa juomissa kaikilla MCC:n lisäystrasoilla, mutta steriloiduissa juomissa saostumat vähenivät selvästi 0,4 %:n lisäystrasol-

la, eikä saostumista tapahtunut enää lainkaan 0,5 %:n lisäyksellä. Rakenteen merkittävää stabiloitumista steriloiduissa juomissa tutkijat selittivät sillä, että MCC partikkelit aggregoituvat ”löyhästi mutta laaja-alaisesti” kaakaopartikkelien kanssa muodostaen verkkomaisen rakenteen (kuva 14), johon myös maitopartikkelit kiinnittyvät.



Kuva 14. Elektronimikroskooppikuva kolloidisen MCC:n ja kaakaopartikkelien muodostamasta verkostorakenteesta sterilointilämpötilassa (Yaginuma ja Kijima 2006).

Erityisesti steriloitaviin tuotteisiin on kolloidisesta MCC-CMC-tuotteesta modifioitu versio (Avicel RT-1133), joka säilyttää esimerkiksi iskukuumennuksessa (UHT) juomien alhaisen viskositeetin (Krawczyk ym. 2009).

MCC:n ja karrageenin seos (90,9 % / 9,1 %) osoittautui patentin GB 2395413A (2004) selostuksen mukaan paremmaksi ratkaisuksi kuin pelkästään karrageenilla saatu tulos steriloidun maitokaakaojuoman stabiloinnissa. Kaakaopartikkelien saostumisen estämiseksi tarvittiin kuitenkin juoman sekoittamista jäähdytyksen aikana. Sekoitettussa juomassa havaittiin lievää koaguloitumista ja heran erottumista. Vertailussa vastaavassa suhteessa valmistettujen metyyli-selluloosan ja karrageenin sekä metyylihydroksietyyliselluloosan ja karrageenin seokset tuottivat hieman paremman tuloksen. Viimeksi mainitun seoksen sel-

luloosajohdannaisen käyttöä ei kuitenkaan sallita elintarvikkeisiin ainakaan Euroopan unionin alueella.

Wüstenbergin (2015) kirjasta löytyy kooste resepteistä iskukuumennettavan maitokaakaon valmistamiseksi, jossa 86–89 paino-% maitoa sisältävissä resepteissä maidon osuutta oli vähennetty 20 tai 40 %-yksiköllä. Stabilointiin käytettiin tuoteversiosta riippuen 0,25–0,7 % MCC:n, CMC:n, karrageenin ja kalsiumsuolan seosta. Resepteistä ilmenee, että mainitulla seoksella reseptin hinta pienenee tuoteversiosta riippuen 3–38 % verrattuna siihen, että stabilointiin olisi käytetty 0,02 % karrageenia.

Patentissa US2014/0364514A1 (2014) osoitettiin MCC:n, CMC:n ja tärkkelyksen muodostaman kolloidisen tuotteen stabiloivan iskukuumennettua maitokaakajuomaa paremmin kuin kaupallinen kolloidinen MCC-CMC-tuote. Patentissa kuvatussa seoksessa ainesosien (MCC/CMC/tärkkelys) osuudet olivat 60,7:10,7:28,6. Vertailtaviin juomiin lisättiin 0,15 paino-% tutkittavia stabilointiaineita. Kummassakin tapauksessa käytettiin myös 0,01 % karrageenia. Iskukuumennettujen juomien laatua arvioitiin visuaalisesti kuukauden kuluttua, kun niitä oli säilytetty 4, 22 ja 30 °C:n lämpötilassa. MCC/CMC/tärkkelys-tuotetta sisältävässä juomassa ei havaittu missään säilytyslämpötilassa nesteen erottumista tai kaakaon sakkautumista. Geelitymistä ei havaittu lainkaan tai se oli minimaalista. MCC-CMC-tuote toimi selvästi heikommin kaikkien edellä mainittujen tekijöiden osalta.

Patentissa US 6037380 (2000) kuvattiin, kuinka erittäin hienojakoiseksi (partikkelikoko $\leq 1 \mu\text{m}$) jauhetun kolloidisen MCC:n hienonnuksen tarvitaan ioninen ainesosa, jotta partikkelit jauhautuvat riittävän pieniksi. Tällainen ainesosa on esimerkiksi CaCO_3 (kalkkikivi). Samalla syntyy kalsiumia sisältävä tuote, jolla voidaan täydentää elintarvikkeen ravintosisältöä. Esimerkkinä annettiin kalsiumilla täydennetty maitojuoma, jossa lisäämällä 0,5 paino-% kolloidista CMC:tä ja CaCO_3 :a sisältävää MCC:tä voitiin maidon alkuperäistä kalsiumpitoisuutta lisätä 40 %:lla ilman kalsiumin saostumista. Kehitetyssä seoksessa MCC:n, CMC:n ja CaCO_3 :n paino-osuudet olivat 45:5:50. Vähärasvaiselle maidolle seosta voitiin lisätä 0,25 paino-% ilman saostumista, kun maitoon sekoitettiin vielä 0,016 paino-% karrageenia. Vähärasvaisen maidon kalsiumpitoisuus nousi silloin 500 mg/l.

Kermat

MCC:n kykyä stabiloida emulsioita voidaan hyödyntää ruokakerman valmistuksessa. Krawczykkin ym. (2009) mukaan tietyt kolloidisen MCC:n laadut (Avicel-plus CM-2159 ja SD-4422) ruokakermaan lisättyinä estävät kerman juoksettumista säilytettäessä sitä korkeissa (jopa 40°C) lämpötiloissa tai käytettäessä sitä ruoanvalmistuksessa (esim. viinikastikkeet). Näitä laatuja käyttämällä voidaan myös valmistaa viskositeetiltaan erilaisia ruokakermoja.

Kastikepohjaksi soveltuvan iskukuumennetun ruokakerman stabilointiin eri rasvaisuusteilla soveltuvat kolloidiset MCC-laadut, joissa MCC on koprossoitettu CMC:n ja karrageenin tai CMC:n ja ksantaanin kanssa (Wüstenberg 2015). Taulukossa 19 on esitetty tähän liittyviä reseptivaihtoehtoja.

Taulukko 19. Reseptejä kastikepohjiksi soveltuvien ruokakermojen (UHT) valmistamiseen (Wüstenberg 2015).

Ainesosa	Osuus (%)			
	5 % rasvaa	12 % rasvaa	20 % rasvaa	30 % rasvaa
Kerma (40 % rasvaa)	12,5	30,0	50,0	75,0
Modifioitu tärkkelys	2,0-2,5	2,0-2,5	1,0-2,0	1,0-2,0
Emulgaattori E471	0,2	0,2	0,2	0,2
MCC+CMC+karrageeni	0,35	0,32	0,28	0,25
MCC+CMC+ksantaani	0,7	0,65	0,6	0,55
Aromiaine	Tarvittaessa	Tarvittaessa	Tarvittaessa	Tarvittaessa
Rasvaton maito	→ 100 %	→ 100 %	→ 100 %	→ 100 %

Patentissa US2011/051097A1 (2011, esim. 32) esitettiin resepti vähärasvaisen (5 % rasvaa) ruokakerman valmistamiseen. Rasvattoman maidon ja kerman lisäksi valmistukseen käytettiin 0,35 paino-% MCC:n ja modifioidun tärkkelyksen seosta (60/40). Lisäksi tarvittiin Novation 3300-tärkkelysvalmistetta (2 %) sekä rasvahappojen mono- ja diglyseridejä (0,20 %).

Wüstenbergin (2015) teoksessa esiteltiin valmistusohjeita iskukuumennetun 30–35 % rasvaa sisältävän kuohukerman valmistukseen. Stabilointiaineksi suositeltiin jotakin seuraavista kombinaatioista: a) MCC + CMC, b) MCC + CMC + karrageeni tai c) MCC + tärkkelys + CMC. Stabilointiaineseos (0,3–0,5 %) tuli dispergoida ensin kylmään maitoon ja sekoittaa syntynyt dispersio tämän jälkeen kermaan.

Hapanmaitotuotteet

Patentissa US 6391368B1 (2002) käytettiin hyvin tuloksin kolloidista MCC:n ja karrageenin seosta (70:30) 1 %:n lisäystrystasolla stabiloimaan jugurttin rakennetta. Rakenne oli yhtä hyvä, kun vertailtavat reseptit sisälsivät 5 % gelatiinia tai 1 % tärkkelystä, mutta jälkimmäisen maku ei ollut yhtä raikas.

Patentissa US 2006/096500 (2006) selostettiin partikkelikooltaan erittäin hienojakoisen kolloidisen MCC:n valmistusta, jonka partikkelikoko oli keskimäärin < 10 µm. Tuotteesta valmistettiin erilaisia versioita, joissa MCC:n ja jonkin toisen hydrokolloidin seossuhteet olivat 70:30. Valmistuksessa käytettiin lisäksi CaCl₂:a (anti-slip agent). Seosten toimivuutta stabilointiaineena testattiin erilaisiin jogurttiin. MCC:n ja karrageenin sekä MCC:n, karrageenin ja HM pektiinin seokset tuottivat 0,25 %:n lisäystrystasolla makeutettuun jogurttiin tasaisen pehmeän ja kiiltävän rakenteen, mikä säilyi myös pakastuksen ja sulatuksen aikana. MCC:n ja HM pektiinin sekä MCC:n ja alginaatin seokset saivat aikaan juotavaan jogurttiin 0,33–0,35 %:n lisäystrystasolla stabiilin rakenteen.

Wüstenbergin (2015) julkaisemista resepteistä ilmenee, että MCC:n, CMC:n ja karrageenin seos sopii stabilointiaineeksi vähärasvaisen hapankerman valmistuksessa (taulukko 20).

Taulukko 20. Reseptit vähärasvaisen hapankerman valmistukseen (Wüstenberg 2015).

Ainesosa	Osuus (%)	
	5 % rasvaa	12 % rasvaa
Kerma (40 % rasvaa)	4,5	23,5
Modifioitu tärkkelys	3,0	1,0–3,0
MCC+CMC+karrageeni	0,5	0,35
Bakteeripuhdasviljelmä	0,02	0,02
Maito (3,5 % rasvaa)	→ 100 %	→ 100 %

3.2.4 Kastikkeet

Eräs yleisimmistä MCC:n käyttökohteista ovat vähärasvaiset majoneesit ja salaattinkastikkeet. Kuten edellä (kohta 3.1.3) on selostettu, on MCC:llä kyky toimia emulsiota stabiloivana ja sakeuttavana komponenttina. Stabiloivan ominaisuutensa lisäksi kolloidiset MCC-laadut tuovat vähärasvaisiin kastikkeisiin toivottua kermaista suutuntumaa.

Reseptejä vähärasvaisen majoneesin tai salaattinkastikkeen valmistamiseksi käyttäen kolloidista MCC:tä stabilointiaineena löytyy useista lähteistä. Useimmat reseptit ovat patenteissa käytettyjä esimerkkejä jonkin vähärasvaisiin tuotteisiin soveltuvan MCC-laadun käyttömahdollisuudesta. Näitä kirjallisuuslähteitä on koottu taulukkoon 21.

Taulukko 21. Kirjallisuuslähteitä resepteihin vähärasvaisen tai rasvattoman salaattinkastikkeen valmistamiseksi käyttäen MCC:tä stabilointiaineena. Lisäksi kaikkiin resepteihin tarvittiin stabilointiaineena pieni määrä ksantaania.

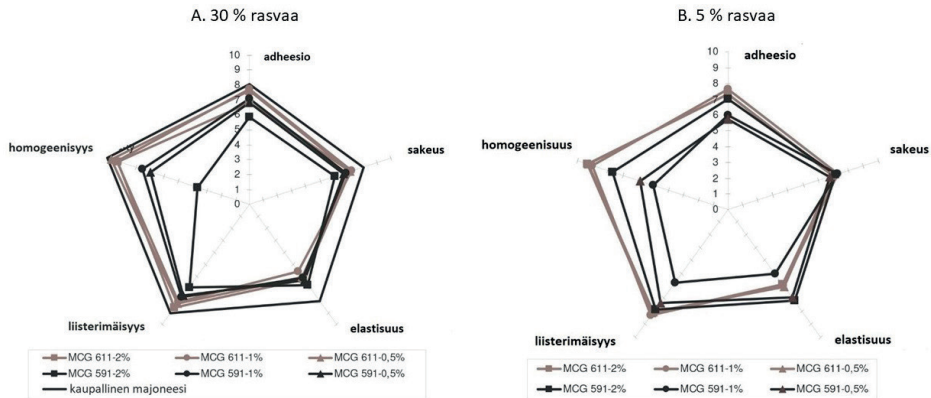
Kastikkeessa rasvaa (%)	Stabilointiaine	Käyttömäärä (%)	Lähde
n. 8	MCC (ei kolloidinen) ¹	15,56	US3023104 (1962)
0	MCC + guarkumi	4,0	WO9014017A1 (1990)
0	MCC ²	2,0–5,3	US5011701 (1991)
0	MCC+CMC	0,3–5,6	US5209942A (1993)
12	MCC+CMC+pintaaktiivinen aine	3,5–4,5	US5441753A (1995)
0	MCC ² +ksantaani	2,0	US6689405B1 (2004)
0	MCC ² +CMC	2,0	US6689405B1 (2004)
n. 8	MCC	1,65–2,0	Tuason ym. (2010)
10/5/1	MCC+guarkumi tai MCC+CMC	1,3/1,7/2,0	Wüstenberg (2015)

¹ ei kuivattu (kosteuspitoisuus noin 65 %)

² Microreticulated microcrystalline cellulose

Grodzka ym. (2005) valmistivat rasvapitoisuudeltaan erilaisia majoneeseja ja tutkivat kahden kaupallisesti saatavana olevan kolloidisen MCC:n kykyä toimia niissä stabilointiaineena. Vertailtavana olivat J. Rettenmaier & Söhne-yhtiön Vivapur MCG 611 (sisältää 11,3–18,8 % CMC:tä) ja Vivapur MCG 591 (sisältää 9–15 % CMC:tä). Tutkijat havaitsivat Vivapur MCG 611:n toimivan paremmin vähärasvaisessa tuotteessa kuin MCG 591. Paras tulos tutkituista li-

säystasoista (0,5, 1 ja 2 paino-%:a) saavutettiin, kun MCG 611:ta lisättiin 1 %. Silloin päästiin aistinvaraiselta laadultaan hyvin lähelle 30 % rasvaa sisältävää tuotetta (kuva 15).



Kuva 15. Täysrasvaisen (A) ja vähärasvaisen (B) majoneesin konsistenssi aistinvaraisesti arvioituna käytettäessä majoneesin valmistukseen kahta kaupallista kolloidista MCC-tuotetta (MCG 611 ja MCG 591) eri lisäysoilla. Vertailutuotteena täysrasvainen majoneesi (A). (Grodzka ym. 2005.)

Humphreys (1996) suositteli kahden kolloidisen MCC:n yhdistelmää stabilointiaineiksi vähärasvaisen majoneesin valmistamiseen. Hänen mukaansa FMC-yhtiön valmistamia Avicel (MCC+CMC) ja Novagel (MCC+guarkumi)-tuotteita käyttämällä voidaan valmistaa rasvapitoisuudeltaan 5 % majoneesia, jolla on 80 % rasvaa sisältävän majoneesin ulkonäkö, rakenne ja suutuntuma. Tällaisen vähärasvaisen majoneesin resepti on esitetty taulukossa 22. Myös patentista US6391368B1 (2002) löytyy esimerkki reseptistä (esimerkki 9), jossa vähärasvaisen majoneesin stabilointiin ja rasvan korvikkeena käytettiin yhtä hyvin tuloksin joko 2,5 % kolloidista MCC:n ja karrageenin seosta (70:30) tai 2,5 % kolloidista MCC:n ja CMC:n seosta täydennettynä 0,6 %:n karrageenin lisäyksellä.

Taulukko 22. Vähärasvaisen lusikoitavan majoneesin resepti, jossa stabilointiaineena käytetty Avicel- ja Novagel-tuotteita (Humpreys 1996).

Ainesosa	Osuus (%)
MCC+CMC (Avicel CL-611)	1,8
MCC+guarkumi (Novagel RCN-15)	1,4
Kasviöljy	4,3
Ksantaani	0,3
Modifioitu maissitärkkelys	3,6
Sokeri	5,8
Munankeltuainen	4,0
Etikka (12 %)	4,5
Sitruunamehu	0,5
Suola	1,8
Aromi- ja säilöntäaineet	qs
Vesi	→ 100 %

Reseptiesimerkkeinä MCC:n käytöstä muunlaisissa kastikkeissa on mainittu patentissa US6391368B1 (2002) juustokastike (esimerkki 5) ja paistikastike (esimerkki 6), joissa käytettiin kolloidista MCC-karrageeni –seosta (70:30). Myös Wüstenberg (2015, s. 177–178) on koonnut esimerkkejä erilaisista kastikeresepteistä, joissa stabilointiaineena on käytetty MCC:tä: vähärasvainen valkokastike, tomaattipohjainen kastike sekä Béarnaise-, Hollandaise- ja Béchamel-kastike.

3.2.5 Jälkiruokatuotteet ja kuorrutukset

MCC-valmisteiden käytöstä jälkiruokien sakeuttamiseen ja rakenteen stabilointiin löytyy kirjallisuudesta useita esimerkkejä:

- US3023104 (1962): suklaa- ja vaniljavanukas (MCC-jauhe lisätty pre-hydratoituna geelinä)
- US5441753A (1995): vaniljavanukas ja vähärasvainen suklaamousse (MCC+pinta-aktiivinen aine)
- Wüstenberg (2015): gelatiiniton kylmävalmistettu mousse (MCC), rasvan kalsiumilla täydennetty suklaavanukas (MCC + kalsium).

MCC:n käyttö monissa kuorrutuksissa perustuu kolloidisten MCC-tuotteiden kykyyn stabiloida vaahtoja. Tämän se saa aikaan sakeuttamalla ilmasolujen välistä vesifaasia ja eheyttämällä ilmasoluja ympäröivää proteiinikalvoa. Tietyt

CMC:tä sisältävät kolloidisen MCC:n laadut (Avicel BV-1518 ja Avicel-plus GP-3419) voidaan sekoittaa muiden kuivien ainesosien kanssa suoraan ilman pre-hydratointia vesifaasiin. Krawczykin ym. (2009) teoksessa (s. 751–752) kuvataan kasviöljypohjaisen kuohukermaa vastaavan tuotteen sekä kermavaahdon valmistusta, kun stabilointiaineena käytetään edellä mainittuja tuotteita. Myös Wüstenbergin (2015) teoksessa (s.167–168) on esitetty reseptejä ja valmistusohjeita vispatulle kuorrutukselle, jonka stabilointiin käytetään kolloidista MCC:n ja CMC:n seosta. Patentin US5441753A (1995) esimerkissä vispatun kuorrutuksen stabilointiin käytettiin MCC:n ja pinta-aktiivisen aineen seosta, ja reseptiin kuului myös Novagel RCN-15 -tuotetta (MCC+guarkumi). Myös patentissa US6025007 (2000, esim. 14) on esimerkki pinta-aktiivisen aineen kanssa koprossoidun MCC:n käytöstä rasvattoman vispattavan kuorrutteen valmistuksesta.

3.2.6 Juomat

MCC:tä on käytetty stabiloimaan maitopohjaisia juomia, jotka usein ovat isku-kuumennettuja. Näitä tuotteita on käsitelty kohdassa 3.2.3.

Patentissa US3827899 (1974) esitettiin MCC:n ja guarkumin kolloidista seosta estämään mehuissa tai limonadeissa (soft drinks) olevien hedelmä- tai muiden partikkelien sakkautumista. Patentissa todettiin, että toivottu lopputulos syntyy mainittujen hydrokolloidien koprossoidulla tuotteella, mutta ei silloin, kun niitä lisättiin erikseen tutkittavaan juomaan.

Alhaisen pH-arvon proteiinijuomien stabilointi on osoittautunut haasteelliseksi. Tällaisia juomia ovat esimerkiksi suosiotaan kasvattaneet soijapohjaiset juomat, juotavat jugurtit, funktionaaliset juomat, energiajuomat ja happamat heraproteiinijuomat. Niissä voidaan pelkän pektiinin avulla estää nesteiden erottumista, mutta korkeilla proteiinipitoisuuksilla sedimentoitumisen estämiseen suositellaan lisäksi tuotetta, joka on valmistettu MCC:tä ja HM-pektiiniä koprossoimalla (esim. Avicel BV-2815). MCC/HM-pektiini voidaan aktivoida melko vähäisellä sekoituksella (leikkausvoimalla) proteiinifaasissa, vedessä tai alhaisen pH-arvon mehussa tai mehkonsentraatissa. Proteiinien suojaus ja tuotteen pitkäkestoinen stabiilisuus saavutetaan, kun raaka-aineet lisätään oikeassa järjestyksessä ja prosessiolosuhteista huolehditaan suositellulla tavalla. (Krawczyk ym. 2010, Tuason ym. 2010.)

Patentissa US2011/0151097A1 (2011) esitettiin alhaisen pH-arvon ($\text{pH} < 5$) proteiinijuomien stabilointiin kolloidista MCC:tä, jossa MCC on koprosessoitu alhaista pH:ta kestävän modifioidun tärkkelyksen kanssa (60:40). Patentin useissa reseptiesimerkeissä juomiin käytettiin soijaproteiinia ja hedelmämehutiivisteitä. Kolloidisen MCC:n lisäystrasot vaihtelivat 0,30–0,60 % reseptin painosta. MCC-molekyylien pinnalle asettuvan tärkkelyksen selitettiin lisäävän pinnan negatiivista varausta, mikä puolestaan estää juoman partikkelien flokkuloitumista alhaisessa pH:ssa. Tämän lisäksi suositeltiin jonkin muun hydrokolloidin, erityisesti guarkumin, käyttöä (0,15–0,18 %:n lisäys) stabiilin tuotteen aikaansaamiseksi. Vastaava alhaisen pH:n juomille soveltuva kolmen komponentin stabilointiaine (MCC-tärkkelys-muu hydrokolloidi) esitettiin patentissa WO2013085809A1 (2013).

Patentissa WO02/49451 (2002) kuvattiin juomille, pirtelöille tai kastikkeille soveltuva stabilointisysteemi, joka koostui MCC-komponentista, vedensitojasta (tärkkelys) ja elastisoijasta (johanneksenleipäpuujauhe). Näitä ainesosia käyttämällä voitiin valmistaa maitoa tai maitopirtelöä muistuttavia juomia, joissa oli monia haluttuja oikean maidon tai maitopirtelön rakenneominaisuuksia ilman, että maitoa tai jäätelöä käytettiin valmistuksessa.

Wüstenberg (2015, taulukot 4.19–4.22) on koonnut reseptejä valmistusohjeineen erilaisista juomasekoituksista, joissa MCC:tä on käytetty stabilointiaineenä. Esimerkkeinä on mainittu proteiinijuomat, kahvi juomat, terveysvaikutteiset juomat ja alkoholijuomat.

3.2.7 Instant-jauheet

Instant-jauheilla tarkoitetaan ”heti valmis -jauheita”, joista saadaan nestettä lisäämällä ja vähäisin käsittelyin nopeasti nautintakelpoinen ruoka-aine, esimerkiksi juoma tai kastike. Jauheen yhtenä komponenttina tulee olla ainesosa, jolla varmistetaan valmiin tuotteen haluttu rakenne (esim. geeliytyminen, sakeutuminen tai toivottu suutuntuma). Tällaisen stabilointiaineen keskeinen vaatimus on, että se dispergoituu nesteeseen mahdollisimman vähäisellä sekoittamisella. Sen tulee nopeasti peptisoitua eli dispergoitua nesteeseen kolloiditilassa ja tuottaa toivottu toiminnallisuus nestefaasiin dispergoituneena.

Patentissa US4107335 (1978) kuvattiin kolloidisen MCC:n (MCC+CMC) käyttöä pakkaskuivaamalla valmistetun instant-salaatinkastikejauheen valmis-

tukseen. Kolloidisen MCC:n käyttömäärä oli 0,14–0,6 paino-% kastikkeessa ennen kuivaamista. Lisäksi tarvittiin 0,14–0,19 paino-% ei-ionista pinta-aktiivista ainetta.

Patentissa US4311717 (1982) esiteltiin instant-jauheisiin soveltuvan stabilointiaineen valmistus, jonka ainesosina olivat hera tai maitojauhe ja kolloidinen MCC (MCC+CMC). Niiden suositeltavana seossuhteena (hera:MCC) pidettiin 3:1. Esimerkkeinä stabilointiaineen käytöstä instant-jauheissa esitettiin reseptit vispattavan kuorutteen, suklaajuoman ja jäädytettävän maitovalmisteen valmistukseen. Patentissa mainittiin, että heraa sisältävänä kehitetty seos ei sovellu happamille tuotteille. Kyseisestä tuotteesta on havaittu, että se kyllä dispergoituu ja peptisoituu hyvin vähäisellä sekoittamisella, mutta kuumiin juomiin käytettäessä jää kellumaan ja paakkuuntuu hämmentämistä aloitettaessa (US6391368 2002).

Erityisesti kaakajuoman valmistamiseen tarkoitettun instant-jauheen stabilointiaineeksi esitettiin patentissa US4980193 (1990) kolmen komponentin seosta, joka koostui kolloidisesta MCC:stä (MCC+CMC), tärkkelyksestä ja ohenteesta (diluent). Ohenteen tulee olla ei-sakeuttavaa ja vesiliukoista ainetta, jonka on tarkoitus estää ei-toivottu viskositeetin lisääntyminen. Tähän tarkoitukseen suositeltiin maltodekstriiniä, herajauhetta tai maitojauhetta. Stabiilin kaakaosuspension aikaansaamiseen tarvittiin 2–3,3 % stabilointiainetta. Stabilointiainetta sisältävästä instant-jauheesta muodostui stabiili kaakajuoma muutamassa sekunnissa, kun jauhetta lisättiin kuumaan veteen lusikalla sekoittaen.

MCC:n ja iota-karrageenin koprossoitu seos on patentin US6391368 (2002) mukaan instant-jauheen osana nopeasti dispergoituva ja vähäisellä sekoittamisella peptisoituva. Seos ei sisällä CMC:tä. Patentissa suositeltiin ainesosien seossuhteiksi (MCC:iota-karrageeni) 80:20–50:50. Etuina aikaisemmin kehitettyihin vastaaviin stabilointiaineisiin verrattuna mainittiin pienempi käyttömäärä (0,05–2 paino-%), toimivuus erittäin alhaisissa pH-arvoissa (esim. etikka) ja jopa 24 % suolaa sisältävissä liuoksissa. Dispergoituneena MCC-karrageeni-stabilointiaineen viskositeetti on lämpötilasta riippuva. Siten esimerkiksi tätä seosta sisältävän kastikkeen viskositeetti kasvaa kastikkeen jäähtyessä nautinta-valmiiksi ja säilyttää rakenteensa uudelleen lämmitettäessä.

Valmistettaessa jauheita sumutuskuivauksella on erityisesti runsaasti sokereita ja orgaanisia happoja sisältävien marja- ja hedelmämehujen osalta haasteena

niiden alhainen lasisiirtymälämpötila. Mikäli tuo kullekin mehulle spesifinen, kuivauksen onnistumisen kannalta suhteellisen alhainen lämpötila ylitetään, tapahtuu siirtyminen lasitilasta kumitilaan. Silloin kuivattavassa tuotteessa alkaa tapahtua ei-toivottua tahmeutumista, paakkuuntumista ja kiteytymistä. Kantaja-aineilla voidaan nostaa lasisiirtymälämpötilaa ja siten parantaa prosessia ja lopputuotteen laatua. (Mikkonen 2011.)

MCC:n on todettu nostavan lasisiirtymälämpötilaa, mutta toisaalta sen niukkaliukuisuus voi rajoittaa käyttöä tietyissä tuotteissa (Cano-Chauca ym. 2005, Yousefi ym. 2011, Mikkonen 2011).

Wang & Zhou (2015) totesivat kantoaineena käytettävän MCC:n (tai va-hatärkkelyksen) yhdessä maltodekstriinin kanssa vähentävän merkittävästi tahmeutumista ja paakkuuntumista valmistettaessa soijakastikejauhetta sumutuskuivaamalla, kun lopputulosta verrattiin yleisesti kantoaineena käytettävällä maltodekstriinillä saatuun. Hyvälaatuista kastikejauhetta saatiin MCC:n ja maltodekstriinin seossuhteilla 1:5 ja 1:2 kantoaineessa. Kummallakin seossuhteella valmistetun jauheen liukuisuus veteen pieneni kuitenkin hieman verrattuna pelkästään maltodekstriinin käytöllä saatuun.

3.2.8 Makeiset

MCC:tä voidaan käyttää vähärasvaisten makeisten valmistamiseen. Makeisten ja muiden vähän kosteutta sisältävien tuotteiden, kuten keksien täytteiden, alhainen veden aktiivisuus ja rakenneominaisuudet edellyttävät, että rasvaa ei voida korvata vettä lisäämällä, kuten emulsiotyypisten tuotteiden kohdalla voidaan tehdä. Näissä sovelluksissa vähärasvaisuus sen sijaan saadaan aikaan lisäämällä vähäisen energiasisällön omaavia täyteaineita. (Krawczyk ym. 2009.)

Ensimmäiset esimerkit vähärasvaisten makeisten ja suklaan valmistamisesta käyttäen ei-kolloidista MCC:tä täyteaineena löytyvät Battistan uraa uurtavasta patentista vuodelta 1962 (US3023104). Patentissa US5441753 (1995) kuitenkin mainitaan, että täyteainekäytössä makeisissa tarvittavissa pitoisuuksissa pelkän MCC:n kalkkimainen maku saattaa tulla esille, samoin hankala dispersion aikaansaaminen sekä haitalliset vaikutukset rakenteeseen. Tässä tapauksessa kolloidiset esimerkiksi CMC:tä, guarkumia tai muuta hydrokolloidia sisältävät MCC-laadut eivät tuo ratkaisua näihin ongelmiin, koska ne eivät toimi riittävän hyvin vähän kosteutta sisältävissä tuotteissa.

Patentissa US5441753 (1995) esitettiin ratkaisuna edellä mainittuihin ongelmiin MCC-tuote, jossa MCC oli koprossoitu pinta-aktiivisen aineen kanssa. Patentissa esiteltiin tuotteen valmistusmenetelmiä sekä käyttösovelluksia suklaalle, karamellille, kinuskille (toffeelle), nougat'ille ja vähärasvaiselle suklaamousselle. Kuvattua MCC-tuotetta voidaan käyttää vähän kosteutta sisältäville tuotteille pinta-aktiivisen aineen valinnasta riippuen 10–20 % valmiin tuotteen painosta.

Vähän kosteutta sisältäville tuotteille on kehitetty täyteaineeksi ja rasvan korvajaksi ei-kolloidinen pelkästään MCC:stä koostuva tuote. Siinä MCC-partikkelit ovat hienojakoisia ($< 30 \mu\text{m}$), pinnaltaan erityisen sileitä ja muodoltaan melko pallomaisia. Partikkelien vähäisen huokoisuuden ja pienen pinta-alan ansiosta niiden absorptio-ominaisuudet on minimoitu. Tällaista MCC-tuotetta voidaan lisätä jopa 15 paino-% usein yhdessä erilaisten siirappien kanssa valmistettaessa vähärasvaisia alhaisen kosteuspitoisuuden ($a_w 0,45\text{--}0,6$) tuotteita. (Krawczyk ym. 2009.)

Edellä mainitun hienojakoisen MCC:n valmistusta ja ominaisuuksia on esitelty patentissa US5976600 (1999) ja kauppanimellä Avicel LM 310 Krawczykkin ym. (2009, s.755) artikkelissa. Kyseisen tuotteen käyttöä nougat'n valmistuksessa ovat ohjeistaneet Krawczyk ym. (2009) ja Wüstenberg (2015). Viimeksi mainitussa lähteessä on myös reseptejä rasvattomien tai vähärasvaisten karamellien valmistamiseksi kolloidista MCC-guarkumi-tuotetta käyttäen.

3.3 Terveysvaikutteiset käyttömahdollisuudet

Veteen liukenemattomien ravintokuitujen, joihin myös MCC kuuluu, terveysvaikutukset on jo pitkään tunnettu ja ne liittyvät pääasiassa paksunsuolen toimintoihin. Tällaisia ravintokuituja nauttimalla voidaan vähentää ummetuksen riskiä, nopeuttaa ulosteen kulkeutumista ja laimentaa haitallisia yhdisteitä, kuten sekundäärisiä sappihappoja, karsinogeneja ja toksineja. Epidemiologisissa tutkimuksissa on myös kiistatta osoitettu yhteys ravintokuidun kokonaismäärän korkean saannin ja eräiden kroonisten sairauksien, kuten tyyppin 2 diabeteksen, sydän- ja verisuonisairauksien ja paksunsuolen syövän, sairastumisriskin pienemisen välillä (Edwards ja Garcia 2009).

Nsor-Atindan ym. (2017) mukaan MCC:n ravitsemuksellisiin ja terveydellisiin vaikutuksiin on suhtauduttu skeptisesti, ja ne ovat vielä verrattain huonosti

tunnettuja. Tutkijat kuitenkin pitivät terveystieteisyyttä MCC-tutkimuksen kärkiaihealueena, joka uuden teknologian kehittymisen myötä elintarvike- ja ravitsemustieteissä tarjoaa paljon mahdollisuuksia funktionaalisten elintarvikkeiden kehittämiseen.

Nsor-Atinda ym. (2017) tekivät perusteellisen katsauksen ravitsemus- ja lääketieteelliseen kirjallisuuteen MCC:n ravitsemuksellisia vaikutuksia koskevista tutkimuksista. Selvityksessä tehtiin seuraavaan luetteloon koottuja havaintoja:

Vaikutukset veren rasva-aineisiin ja sokereihin eläinkokeissa

- MCC:n vaikutuksista veren kolesterolitasoon on ristiriitaisia tutkimustuloksia: toisaalta MCC-pitoisella ravinnolla ei ole todettu vaikutuksia, mutta toisaalta on tutkimuksellista näyttöä sen kolesterolitasoa alentavasta vaikutuksesta.
- MCC:n lisäys rasvaiseen ravintoon (pitsa, murokakku, hampurilainen ja ranskanperunat) lisäsi merkittävästi tyydyttyneiden ja transrasvahappojen määrää ulosteessa.
- MCC:n partikkelikoon pienenemisellä oli suotuisa vaikutus veren rasva-aineisiin
- MCC:tä sisältävän ravinnon suurempi viskositeetti lisäsi sappihapon määrää suolistossa ja uloste-eritystä; joko suurempi viskositeetti tai MCC:n hydrofobisuus heikensivät lipidisynteesiä ja lisäsivät sappihappojen kulkeutumiseen vaikuttavien entsyymien toimintaa.
- Ihmisen elimistössä (in vitro) MCC:n ei ole todettu sitovan glukoosia eikä vähentävän merkittävästi veren glukoositasoa tyypin 2 diabetestapauksissa verrattuna kontrolliryhmiin.
- Eläinkokeissa (sika, rotta) MCC kuitenkin pienensi veren glukoosipitoisuutta merkittävästi; alentuneen glukoositason arveltiin johtuvan glukosin heikentyneestä imeytymisestä ruoansulatuskanavasta, mikä puolestaan johtui suolen sisällön viskositeetin ja viskoelastisuuden lisääntymisestä.

Prebioottiset vaikutukset

- Rotilla tehdyssä kokeessa havaittiin, että MCC pysyy sulamattomana ruoansulatuskanavan yläosassa, mutta fermentoituu osittain bakteeritoiminnan tuloksena paksussasuolella tuottaen terveydelle hyödyllisiä lyhytketjuisia rasvahappoja.
- Lyhytketjuisten rasvahappojen tuotanto kasvaa MCC:n partikkelikoon pienentyessä (koe *in vitro* rotilla).

- Ihmisillä tehdyissä kokeissa havaittiin, että MCC:n fermentoituessa muodostuu myös kaasuja, mutta vähemmän kuin helposti liukenevilla ravintokuiduilla, kuten inuliinilla ja guarkumilla.

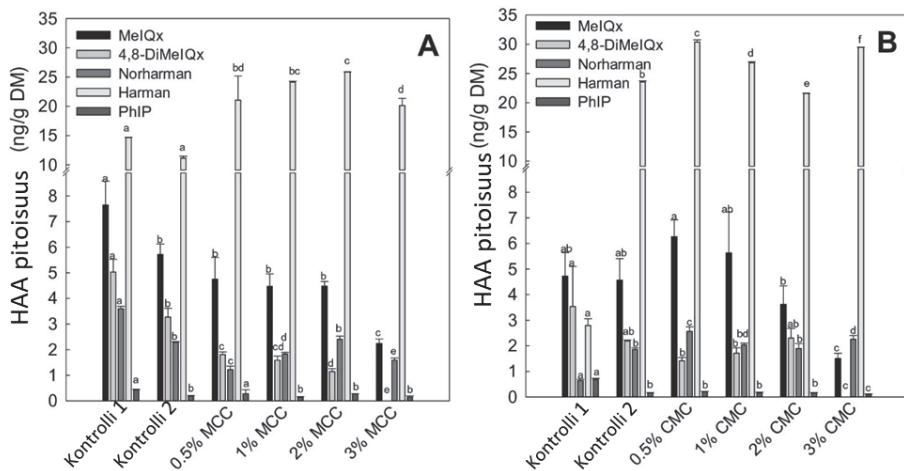
Vaikutukset suoliston toimintaan koe-eläimillä

- MCC:llä rikastettu ravinto edistää suoliston ja suolen sisällön liikkuvuutta lisääntyneen suolen sisällön viskositeetin ja viskoelastisuuden aiheuttaman painevaikutuksen kautta sekä prebioottivaikutuksen kautta (lyhytketjuiset rasvahapot).

Liikalihavuuden hallinta

- Hiirillä tehdyissä kokeissa todettiin rasvaista ravintoa annettaessa liukenevien ravintokuitujen kuten MCC:n estävän tehokkaammin liikalihavuutta kuin liukoisten ravintokuitujen. MCC:n pieni partikkelikoko tehostaa vaikutusta rotilla.

Gibis ja Weiss (2017) julkaisivat tutkimustuloksia MCC:n ja CMC:n vaikutuksista karsinogeenisten yhdisteiden muodostumisen estämiseen jauhelihapihvien paistossa. He havaitsivat, että pihvien sisältämien syöpävaarallisten heterosyklisten aromaattisten amiinien (HAA) määrä väheni selvästi, kun MCC:n tai CMC:n lisäystaso kasvoi (lisäys 0, 0,5, 1, 2 ja 3 paino-%; kuva 16). Tutkijat selittivät ilmiötä selluloosakuitujen vedenpidätyskyvyllä sekä niiden kyvyllä estää haitallisten prekursorien siirtymistä pihvin pintaosaan paiston aikana ja lisäksi mahdollisilla selluloosan glukoosimonomeerien kemiallisilla reaktioilla.



Kuva 16. Polaaristen HAA-yhdisteiden pitoisuudet analysoituna 0–3 % (A) MCC:tä tai (B) CMC:tä sisältävien paistettujen jauhelihapihvien kuiva-aineesta. Kontrollituotteet: (1) 100 % naudanlihaa, (2) 90 % naudanlihaa + 10 % vettä. MCC ja CMC dispergoitu veteen (90 % naudanlihaa / 10 % vettä). (Gibis ja Weiss 2017.)

Aikaisemmissa tutkimuksissa (Gibis ym. 2015) oli havaittu, että MCC:tä voitiin lisätä jauhelihapihveihin vain hyvin pieniä määriä (< 0,5 paino-%), koska suuremmilla pitoisuuksilla pihvin rakenne pehmenee ja se muuttuu rakenteeltaan ja väriltään epämiellyttäväksi. MCC:tä lisättäessä jauhelihapihvin aistinvaraisesti havaittavat ominaisuudet eivät sitä vastoin muuttuneet 2–3%:n lisäysohjelmaan. Siten Gibis ja Weiss (2017) totesivat, että tutkituista selluloosayhdisteistä vain MCC soveltuu karsinogeenisten HAA-yhdisteiden pitoisuuden vähentämiseen jauhelihapihveissä, koska sen käyttö ei vaikuta pihvien aistinvaraiseen laatuun. Tutkimuksessa käytettiin kolloidista MCC:tä, joka sisälsi 8,4–13,7% MCC:tä (Grindsted MCC MAS 17 LS).

Gibisin ym. (2015) ja Gibisin ja Weissin (2017) tutkimustulosten pohjalta voidaan todeta, että MCC:n 3 %:n lisäyksellä voidaan valmistaa paitsi vähemmän haitallisia HAA-yhdisteitä sisältävä jauhelihapihvi, niin myös tavanomaista vähärasvaisempi ja suutuntumaltaan ja muulta aistinvaraiselta laadultaan hyväksyttävä tuote. Lisäksi tuotetta voidaan silloin EU-säädösten mukaan kutsua kuidun lähteeksi (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1924/2006).

3.4 Muu elintarvikekäyttö

3.4.1 Kapseloinnin seinämämateriaali

Kapseloinnilla tarkoitetaan elintarviketeknologiassa prosessia, jossa aktiiviset aineet saadaan suljettua kantoaineen (seinämämateriaalin) sisälle. Kapselointia käytetään bioaktiivisten molekyylien (esim. antioksidantit, kivennäisaineet, vitamiinit, kasvisterolit, luteiini tai lykopeeni) tai elävien solujen (esim. probiootit) siirtämiseksi elintarvikkeeseen (Nedovic ym. 2011). Elintarvikkeeseen lisättyjen kapselien tulee olla kooltaan mikrokapseleita, jotka ovat halkaisijaltaan ainoastaan 0,001–2 millimetriä, sillä ne eivät saa vaikuttaa ruuan suutuntumaan.

Hiilihydraattipolymeerejä käytetään yleensä kapseloinnissa seinämämateriaalina, koska ne ovat syötäviä, biohajoavia, ja ne muodostavat estävän rajapinnan kapselin ytimen ja sen ympäristön välillä (Nedovic ym. 2011). Yleisimpiä elintarvikkeille käytettyjä kanto-aineita ovat maltodekstriini, arabikumi ja modifioitu tärkkelys, mutta myös MCC:llä on todettu potentiaalia tähän käyttöön (Yousefi ym. 2015).

Nsor-Atindana ym. (2017) pitivät MCC:tä potentiaalisena mikrokapseloinnin seinämämateriaalina, koska useita hydroksyyliiryhmiä omaavana hydrokolloidina se voisi olla muokattavissa tiettyyn tarpeeseen sopivaksi. Esimerkiksi rikkihapolla valmistetun MCC:n sähköisesti varautuneet molekyylit saattaisivat toimia ihanteellisesti aromiaineiden kapseloinnissa menetelmissä, jotka perustuvat kolloidien väliseen sähköstaattiseen vuorovaikutukseen (koaservaatio). Myös MCC:n lämpöstabiilisuus tarjoaa mahdollisuuksia kapseloinnille, koska kapselien tulee usein kestää elintarvikkeiden lämpökäsittely (Nsor-Atindana ym. 2017).

Bioaktiivisten molekyylien kapselointi

Sumutuskuivaus on yleisin elintarviketeollisuuden käyttämä kapselointimenetelmä, jota käytetään tyypillisesti kuivien ja stabiilien lisä- ja aromiaineiden valmistukseen. Sumutuskuivauksella saadaan tyypillisesti pyöreitä halkaisijaltaan 10–100 µm:n kokoisia partikkeleita. (Fang ja Bhandari 2010.)

Yousefi ym. (2015) tutkivat sopivan kantoaineen koostumusta vadelmamehun sumutuskuivaukseen tavoitteenaan saada säilymään kuivausprosessissa mehun luontaiset antosyaanit ja fenoliset yhdisteet mahdollisimman hyvin. Tutkimuksessa testattiin maltodekstriinin, guarumia muistuttavan sarviapilakumin (fenugreek gum) ja MCC:n seosta näiden ainesosien eri pitoisuuksilla. Optimaaliseksi kantoaineeksi antosyaanien ja fenolien säilymiseksi osoittautui 20 % maltodekstriiniä, 0,93 % sarviapilakumia ja 1,74 % MCC:tä sisältävä seos.

Feng ym. (2018) tutkivat astaksantiinin mikrokapselointia MCC-CMC-seos seinämämateriaalina ja mikrokapseloidun astaksantiinin vaikutuksia jogurtin laatuun. Astaksantiini on karotenoidipigmentti, joka on tunnettu terveystta edistävästä vaikutuksistaan ja väriaineena. Vapaa astaksantiini on erittäin herkkä valon, lämpötilan, pH:n ja hapen vaikutuksille sitä sisältävän elintarvikkeen prosessoinnin ja varastoinnin aikana. Tutkimuksessa parhaaksi seinämämateriaalin seossuhteeksi (MCC:CMC) havaittiin 4:6. Kapselointimenetelmänä käytettiin pakkaskuivausta. Mikrokapselointi paransi astaksantiinin stabiilisuutta, liukoisuutta ja antioksidatiivista aktiivisuutta sekä esti sen laadun heikkenemistä jogurtissa. Tutkijat totesivat, että käyttämällä menetelmällä mikrokapseloitu astaksantiini soveltuu paitsi jogurtin myös muiden happamien juomien antioksidatiivisen laadun parantamiseen sekä niiden saostus-, stabilointi- ja väriaineeksi.

Elävien solujen kapselointi

MCC:tä on hyödynnetty probioottien mikrokapseloinnissa lääketieteellisyydessä yleisesti käytetyllä ekstruusio-sferonisaatiotekniikalla, jolla voidaan valmistaa saman kokoisia pallomaisia partikkeleita. Niissä MCC toimii sidonta-aineena osana polymeerimatriisia, joka suojaa probioottisia bakteereita niiden kulkeutuessa läpi ruoansulatuskanavan happamien olosuhteiden (Bajaj ym. 2010).

De Barros ym. (2015) esittelivät uuden menetelmän probioottisen *Lactobacillus casei* -bakteerin kapselointiin ekstruusio-sferonisaatiotekniikalla, jossa elävät bakteerisolut sekoitetaan polymeeriseokseen ja seoksesta puristetaan halkaisijaltaan noin 1 mm:n kokoisia pallomaisia partikkeleita. Siinä MCC:n (50 %), kalsiumilla silloitetun alginaatin ja laktoosin seos edisti bakteerisolujen säilymistä elävänä valmistusprosessin ajan, suojasi niitä vatsahapoilta ja vapautti bakteerit nopeasti ja täydellisesti suoliston olosuhteissa.

3.4.2 Pakkauskalvojen vahvistaminen

Pääosin elintarvikepakkauksista koostuvan muovijätteen kerääntyminen luontoon on aiheuttamassa vakavaa ympäristöongelmaa. Tämä on aktivoinut elintarvikealan tutkijoita intensiiviseen kehitystyöhön syötävien ja biohajoavien pakkausmateriaalien löytämiseksi. (Cazón ym. 2017, review.)

Useissa tutkimuksissa on havaittu MCC:n edut syötävien tai biohajoavien pakkauskalvojen ainesosana (taulukko 23). Sitä käytetään erityisesti lujiteaineena ja estämään kosteuden läpäisyä. Lähes kaikki artikkelit, joissa viitataan MCC:n käyttöön, liittyvät pakkausmateriaalien ainesosien ominaisuuksiin, valmistusmenetelmiin ja testaukseen. Toiminnallisuudesta pakattavan elintarvikkeen kanssa ei juurikaan löydy tietoja lukuun ottamatta Albertin ja Mittalin (2002) artikkelia.

Taulukko 23. Tutkimusraportteja MCC:n käytöstä syötäviin ja biohajoavien pakkausmateriaaleihin.

Pakkauskalvon tyyppi ja sen pääkomponentit	Viite
Biohajoava kalvo. Tärkkelys, MCC, glyseroli, vesi.	Kumar ja Singh (2008)
Biohajoava kalvo. Tärkkelys, MCC/CMC, glyseroli, vesi.	Ma ym. (2008)
Biohajoava kalvo. Tärkkelys, MCC, vesi.	Wittaya (2009)
Biohajoava kalvo. Tärkkelys, sitruunahappo, MCC, vesi.	Wilpiszewska ja Czech (2014)
Biohajoava kalvo. Soijaproteiini-isolaatti, gelatiini, MCC, vesi.	Li ym. (2015)
Biohajoava antimikrobinen kalvo. Kitosaani, MCC/CMC, kurkumiini, vesi.	Bajpai ym. (2015a, 2015b)
Biohajoava kalvo. Plastisoitu tärkkelys, MCC, vesi.	Rico ym. (2016)
Biohajoava kalvo. Tärkkelys, MCC, vesi.	Chuang ym. (2017)
pH-responsiivinen, biohajoava kalvo. Kitosaani, MCC, kurkumiini, koliinikloridi-glyseroli, vesi.	Pereira ja Andrade (2017)
Antimikrobinen biohajoava kalvo. Gelatiini, MCC, glyseroli, oleoresiinit, vesi	Figuroa-Lopez ym. (2018)
Syötävä kalvo. Tärkkelys, MCC/MC, glyseroli/sorbitoli/glukoosi/sakkarosi, vesi.	Psomiadou ym. (1996)
Syötävä kalvo rasvan imeytymisen estämiseksi. Useita (11) vaihtoehtoisia materiaaleja, mm. MCC+polyetyleeniglykoli.	Albert ja Mittal (2002)
Syötävä kalvo. Propyleeniglykoliaalginaatti, MCC, vesi.	US6500462 (2002)
Syötävä kalvo. Karrageeni, MCC, vesi.	WO2005092296 (2005)
Syötävä kalvo. HPMC, MCC, vesi.	Dogan ja McHugh 2007
Syötävä kalvo. Tärkkelys, MCC, polybutyleeni adipaatti-co-tereftalaatti, vesi.	Reis ym. 2014
Syötävä kalvo. MCC (+CMC), agar/propyleeniglykoli alginaatti, glyseroli, vesi.	Harnkarnsujarit ja Li (2017)

Albert ja Mittal (2002) tutkivat 11 erilaisen syötäviin pakkauksiin soveltuvan materiaalin käyttöä viljavalmistukseen. Tarkoituksena oli löytää paras materiaali tuotteen pinnoittamiseen uppopaistoa varten niin, että rasvan imeytyminen tuotteeseen kalvon läpi olisi mahdollisimman vähäistä ja tuote samalla säilyttäisi mahdollisimman hyvin alkuperäisen kosteuspitoisuutensa. Testattavien materiaalien joukossa oli MCC:stä valmistettu kalvo, jossa pehmittimenä käytettiin polyetyleeniglykolia. MCC-kalvolla oli toivottuja ominaisuuksia, mutta se ei sijoittunut vertailussa parhaiden materiaalien joukkoon. Parhaiten uppopaistoon soveltuivat soijaproteiini-isolaatista, heraproteiini-isolaatista ja metyyliisellulosaasta valmistetut kalvot.

4 SELLULOOSAJOHDANNAISTEN KÄYTTÖSOVELLUKSET ELINTARVIKKEISSA

Selluloosasta modifioitujen selluloosajohdannaisten käyttösovelluksia on valtava määrä. Erityisen paljon niitä löytyy metyyli- ja hydroksipropyylimetyyliselluloosalle sekä karboksिमetyyliselluloosalle. Tässä kappaleessa on luettelomaisesti esitetty alan käsikirjoista löytyviä eräitä keskeisimpiä käyttösovelluksia.

4.1 Metyyliselluloosa (E 461) ja hydroksipropyylimetyyliselluloosa (E464)

Metyyliselluloosalla (MC) ja hydroksipropiilimetyyliselluloosalla (HPMC) toiminnalliset ominaisuudet elintarvikkeissa ovat hyvin samankaltaisia, ja niitä voidaan usein käyttää resepteissä toisensa korvaavina stabilointiaineina. Niiden käyttöalue erityyppisissä elintarvikkeissa on hyvin laaja. Pääasialliset käyttösovellukset liittyvät tuotteiden sidontaominaisuuksiin ja niiden muodon säilyttämiseen valmistusprosessissa varsinkin korkeissa lämpötiloissa, sekä kalvonmuodostukseen ja kalvoille ominaisiin estovaikutuksiin (Murray 2009).

Cashin ja Caputon (2010) katsauksessa on mainittu seuraavia metyyli-selluloosan ja hydroksipropyylimetyyliselluloosan elintarvikeryhmäkohtaisia sovellus-alueita:

Leipomotuotteet

- HPMC edistää leivän sisustan pysymistä pehmeänä pidempään
- HPMC edistää leipomotuotteiden huokoisen sisustan muodostumista ja säilymistä gluteenittomassa leivonnassa.
- MC:n ja HPMC:n hyvä geelinmuodostuskyky lämmitettäessä parantaa kakkujen sisustan rakennetta paistossa ja erilaisten lisäkkeiden (esim. hedelmät tai pähkinät) pysyvyyttä kakun sisustassa.

Jäätelö ja jäädytetyt jälkiruoat

- MC:n ja HPMC:n hyvää vaahdonmuodostusta ja pinta-aktiivisia ominaisuuksia hyödynnetään jäätelöä ja jäädytettyjä jälkiruokia stabiloivissa seoksissa ja kuorrutteissa.

Liha, kala ja liha-analogiat

- MC edistää veden pidättyvyyttä ja auttaa säilyttämään tuotteen muodon ekstruusiolla ja keittämällä valmistetuissa tuotteissa (esim. katkarapupalat ja pihvit, liha- ja kasvisnaksit).
- MC:tä ja HPMC:tä käytetään liha-, kala- ja kasvisruokien nielemisen helpottamiseen nielemisvaikeuksista kärsivien henkilöiden erityisruokavalioidissa.
- MC:tä käytetään sidonta-aineena usein kananmunan sijasta vegaaneille suunnatuissa lihavalmisteita jäljittelevissä tuotteissa.

Kastikkeet ja keitot

- MC:n ja HPMC:n emulsioiden muodostumista parantavia ominaisuuksia sekä korkean lämpötilan viskositeettiominaisuuksia hyödynnetään nestemäisissä kastikkeissa ja keitoissa, sekä nopeaa hydratoitumista ja kulkeutumista öljy-/vesi-rajapintaan instant-jauheissa (liukenee paremmin kylmään kuin kuumaan veteen).

Paistetut ruoat

- MC:tä ja HPMC:tä käytetään parantamaan muotoiltujen tuotteiden koossapysyvyyttä paiston aikana ja säilyttämään rakenne lämpimänä nautittavissa tuotteissa.
- MC ja HPMC estävät rasvan irtoamista täytetyistä pasteijoista leivonnassa ja paistossa.
- MC:tä käytetään erilaisissa taikinoissa ja ranskanperunoissa (pinnoitteena) estämään rasvan imeytymistä ja veden liiallista haihtumista paistossa.

Kalvot

- MC-kalvoja voitaneen käyttää suojaamaan rasvaisia ruokia kosteuden siirtymiseltä ja härskiintymiseltä.

Wüstenbergin (2015, s. 245–263) teoksesta löytyy kymmeniä eri tyyppisten elintarvikkeiden reseptejä ja valmistusohjeita, joissa stabilointiaineena on käytetty MC:tä tai HPMC:tä.

4.2 Etyyliselluloosa (E 462)

Etyyliselluloosa (EC) on erinomainen kalvonmuodostaja, jonka muodostamien kalvojen vetolujuus, venyvyys ja joustavuus määräytyvät molekyylipainon mukaan. EC:tä voidaan käyttää elintarvikkeiden aromien stabilointiin ja ravitsemuksellisesti tärkeiden ainesosien suojaamiseen aktiiviselta vuorovaikutukselta, hydrolysoitumiselta ja hapettumiselta. Se on käyttökelpoinen myös mikrokapseloinnin seinämämateriaalina hidastamaan aktiivisten ainesosien vapautumista tai peittämään aistinvaraisesti ei-toivottujen ominaisuuksien esille tulemistä. (Cash ja Caputo 2010, Wüstenberg 2015.)

4.3 Hydroksipropyyliselluloosa (E 463)

Hydroksipropyyliselluloosa (HPC) on tuote, jonka elintarvikesovelluksia vielä odotetaan. Elintarvikekäytössä sen tekee kiinnostavaksi hyvä kalvonmuodostuskyky ja muihin hydrokolloideihin verrattuna hyvät ominaisuudet pinta-aktiivisuuden alentamiseksi (Murray 2009). Wüstenberg (2015, s.335–338) esitteli muutamia sovelluksia HPC-kalvojen valmistuksesta sekä esimerkin HPC:n käytöstä vispattavan ja maidottoman tuotteen valmistuksesta. Nussinovitchin ja Hirashiman (2014) mukaan HPC:llä on antimikrobisia vaikutuksia, mutta säilöntäaineiden korvaajaksi pitkäaikaisessa säilytyksessä siitä ei ole.

4.4 Etyylimetyyliselluloosa (E 465)

Etyylimetyyliselluloosalla on erityisen hyvät vaahdonstabilointiominaisuudet, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi maidottomissa vispattavissa tuotteissa, kaakuissa ja ilman kananmunaa valmistettavissa marengissa ja dieettivalmisteissa. EMC:llä on käytännössä vähäinen merkitys, koska sitä ei ole kaupallisesti saatavana. (Wüstenberg 2015).

4.5 Natriumkarboksimeetyyliselluloosa (E 466)

Natriumkarboksimeetyyliselluloosa (CMC) eli selluloosakumi on käytetyin selluloosajohdannainen elintarviketeollisuudessa. Sitä on tuotettu kaupallisesti jo 1940-luvun lopulta lähtien, ja sen käyttösovellukset ovat laajentuneet lähes

kaikkiin elintarvikeryhmiin. (Cash ja Caputo 2010.) Viskositeetin tuottaminen on CMC:n primäärinen ominaisuus, mitä hyödynnetään monissa elintarvikesevelluksissa (Murray 2009).

Seuraava luettelo eräistä keskeisistä CMC:n käyttösovelluksista on koottu Murrayn (2009) ja Cashin ja Caputon (2010) artikkeleista:

Leipomotuotteet

- Parantaa taikinan veden adsorptiota, venyvyyttä, elastisuutta ja lisää taikinan volyymia pidättämällä kaasuja.
- Estää taikinan pakastuksessa aiheutuvaa laadun heikkenemistä.
- Hidastaa leivän sisustan kovettumista säilytyksen aikana.
- Lisää kakkujen volyymia, parantaa kuperaa profilia ja sisustan rakennetta.
- Säilyttää kakkujen homogeenisen rakenteen, kun taikinaan lisätään kuivattuja hedelmiä, suklaalastuja tai muita partikkeleita.
- Parantaa kuivien kakkuseosten hydratoitumista.
- Estää tortillan kosteuden haihtumista ja vanhentumista, säilyttää tortillojen rullaus- ja taipumisominaisuudet sekä estää niiden takertumista toisiinsa.
- Nuudeleissa parantaa taikinan kestävyyttä koneellisessa valmistuksessa, vähentää paistossa öljyn imeytymistä ja parantaa valmiiden tuotteiden syömälaatua.

Juomat

- CMC:n viskoosiutta lisääviä ominaisuuksia hyödynnetään yleisesti maakeutetuissa vähäkalorisissa juomissa korvaamaan sokerin tai glukoosisiirapin suutuntumaa.
- Lisää hedelmän kaltaista suutuntumaa aromiaineilla maustetuissa juomissa.
- Estää hedelmäjuomissa hedelmälihaa sakkautumasta ja aromiöljyjen muodostamia jälkiä lasipulloon ("neck ringing").
- Käytetään instant-juomajauheissa lisäämään valmistettavan juoman viskositeettia nopeasti halutulle tasolle (esim. juoma-automaateissa).
- Käytetään hedelmällä maustetuissa maito- tai soijajuomissa, jugurttipohjaisissa juomissa tai muissa happamissa proteiinijuomissa estämään proteiinin saostumista alhaisessa pH:ssa.

Jäätelö ja jäädytetyt jälkiruoat

- Suojaa tehokkaasti jäätelöä lämpöshokki –ilmiöltä kontrolloimalla jääkiteiden kasvua sekä jäätelön sulaessa parantaa sen valumiskestävyyttä.
- Sopii erityisesti pehmeäjäätelöille.

Kuorrutteet

- Vähentää sokerin kiteytymisestä aiheutuvaa rakeisuutta sokerimassoissa ja kuorrutteissa.

Kastikkeet ja siirapit

- Toimii sakeuttamisaineena salaatinkastikkeissa ja ketsupissa, koska liukee hyvin sekä kylmään että kuumaan veteen, sitoo hyvin vettä sekä toimii alhaisessa pH-arvossa.
- Käytetään säätämään siirappien konsistenssia mm. annostelun helpottamiseksi.

Liha-analogiat, makkaran suolet

- Hyvän vedensidontakykynsä ansiosta käytetään yhtenä ainesosana liha-analogioiden valmistuksessa.
- Käytetään yhtenä ainesosana kollageeni- ja selluloosasuolten valmistamisessa sekä apuaineena luonnonsuolten käsittelyssä.

Wüstenbergin (2015, s. 438–458) teoksessa on esitelty laajasti eri tyyppisten elintarvikkeiden reseptejä ja valmistusohjeita, joissa stabiloivana ainesosana on käytetty CMC:tä.

4.6 Silloitettu karboksimeetyliselluloosa (E 468)

Silloitettu karboksimeetyliselluloosa, josta usein käytetään nimeä kroskarmelloosi, on Na-CMC:stä happokäsittelyllä valmistettu selluloosajohdannainen. Veteen liukenemattomana sitä ei käytetä tyypillisissä nestemäisissä elintarvikeapplikaatioissa. Euroopan unionin alueella käyttö rajoittuu ravintolisiin, ma-keutustabletteihin ja lääkkeisiin. (Wüstenberg 2015.)

4.7 Entsymaattisesti hydrolysoitu karboksimeetyliselluloosa (E 468)

Entsymaattisesti hydrolysoitu karboksimeetyliselluloosa on CMC:n tapaan vesiliukoinen, mutta sen sakeutusominaisuudet ovat selvästi heikommät. Sen käyttö rajoittuu lähinnä juomien stabilointiin ja vähäkalorisiin täytteisiin, ja käyttömäärät Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa melko vähäisiä. Entsymaattisesti hydrolysoidun tuotteen sijasta elintarvikevalmistajat päätyvät useimmiten alhaisen viskositeetin CMC-tuotteisiin. (Wüstenberg 2015.)

5 VAATIMUKSET ELINTARVIKE- LAATUISTEN SELLUTUOTTEIDEN VALMISTAMISELLE

Tässä julkaisussa tarkasteltavat elintarvikelisiä aineiksi hyväksytyt selluloosa ja selluloosajohdannaiset ovat lainsäädännön määritelmien mukaan elintarvikkeita. Ne ovat tuotteita, jotka on tarkoitettu ihmisten nautittavaksi, ja aineita, joita lisätään tarkoituksella elintarvikkeeseen sen valmistuksen ja käsittelyn aikana. Näin ollen nämä sellutuotteet ja niiden tuotanto-, jalostus- ja jakeluvaiheet kuuluvat elintarvikelainsäädännön piiriin. Lisäaineita kaupallisesti valmistava yritys on siten elintarvikelainsäädännön kannalta elintarvikeyritys ja ”elintarvikealan toimija” (luonnollinen tai oikeushenkilö), joka on vastuussa elintarvikelainsäädännön vaatimusten noudattamisen varmistamisesta. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 178/2002.)

Kohdassa 2.6 käsiteltiin lisäaineiksi hyväksytyjen selluloosan ja selluloosajohdannaisten turvallisuutta ja lainsäädännön sallimia käyttömääriä elintarvikevalmistajan kannalta. Tässä luvussa käsitellään ensisijaisesti tuotetta (MCC perustuote/kolloidinen) ja sen valmistusprosessia koskevaa lainsäädäntöä sekä muita viranomaismääräyksiä ja laatuvaatimuksia, jotka velvoittavat lisäaineen valmistajaa.

Suurin osa elintarvikelainsäädännöstä on Euroopan yhteisön lainsäädäntöä, joka on suoraan voimassa kaikissa jäsenmaissa. Sen lisäksi Suomessa on säädetty kansallinen elintarvikelaki 23/2006 ja useita asetuksia, joilla täsmennetään yhteisön lainsäädännön vaatimuksia Suomessa. Nyt voimassa olevaa elintarvikelakia ja sen nojalla annettuja asetuksia ollaan uudistamassa. Uusi elintarvikelaki asetukseen on tarkoitus tulla voimaan 1.1.2020.

5.1 Elintarvikehuoneiston rakenteelliset, toiminnalliset ja omavalvontaa koskevat vaatimukset

Elintarvikelain (23/2006) mukaan elintarvikealan toimijan on tehtävä kirjallinen ilmoitus elintarvikehuoneistosta valvontaviranomaiselle viimeistään neljä viikkoa ennen toiminnan aloittamista tai olennaista muuttamista. Valvontaviranomainen on nykyisen lainsäädännön mukaan kunta, mutta uuden lain voimaan tullessa todennäköisesti elintarviketoimijan sijaintimaakunta. Elintarvikekäyttöön hyväksytyjä selluloosaa ja selluloosajohdannaisia valmistaville elintarvikehuoneistoille riittää pelkkä ilmoittaminen valvontaviranomaiselle. Niiden osalta elintarvikehuoneistolle ei tarvita erityistä hyväksymismenettelyä (laitoshyväksyntää), kuten on laita eläinperäisiä elintarvikkeita käsittelevien toimijoiden kohdalla. Myöskään helposti pilaantuville elintarvikkeille annetut säädökset eivät koske tämäläisiä kuivia elintarvikkeita.

Tässä tarkasteltavien ns. ilmoitettujen elintarvikehuoneistojen tulee kuitenkin täyttää lukuisia määriä rakenteellisia, toiminnallisia ja omavalvontaa koskevia elintarvikehygieniavaatimuksia. Niistä on säädetty Euroopan parlamentin ja neuvoston elintarvikehygieniasta antamassa asetuksessa (EY) N:o 852/2004 (yleinen elintarvikehygieni-asetus) sekä maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa ilmoitettujen elintarvikehuoneistojen elintarvikehygieniasta 1367/2011. Säädökset ja niiden soveltaminen on koottu Eviran julkaisemaan ohjeeseen, Ohje ilmoitettujen elintarvikehuoneistojen elintarvikehygieniasta (Evira 2018a), joka on alan toimijoille hyvä lähde yksityiskohtaisen tiedon hankkimiseksi.

Tässä yhteydessä huomioitavat tärkeimmät rakenteelliset vaatimukset koskevat: elintarviketurvallisuuden kannalta asianmukaista tilojen ja toimintojen sijoittelua

- elintarvikehuoneiston pintamateriaalien, laitteiden ja välineiden puhtaanapidettävyyttä sekä pesun ja mekaanisen puhdistamisen kestävyyttä
- laitteiden ja välineiden rakentamista ja materiaaleja saastumisriskin minimoimiseksi
- käsienpesupisteitä
- siivousvälineitä ja niiden säilytystä
- henkilökunnan käymälöitä ja
- ilmanvaihtoa.

Elintarvikehuoneistojen toiminnalliset vaatimukset tässä tarkoitetuille ei-helposti pilaantuville elintarvikkeille liittyvät erityisesti haitallisten valmistus- tai raaka-aineiden käytön estämiseen, valmistus- ja raaka-aineiden säilytykseen sekä elintarvikkeiden suojaamiseen saastumiselta tuotannon, jalostuksen ja jakelun kaikissa vaiheissa. Yleisessä elintarvikehygieniasetuksessa on vaatimuksia myös tuhoeläinten torjunnasta, vaarallisten ja/tai ravinnoksi kelpaamattomien aineiden säilytyksestä sekä pakkausmateriaaleista.

Omavalvonnalla tarkoitetaan elintarviketoimijan omaa järjestelmä, jolla toimija pyrkii varmistamaan, että elintarvike, alkutuotantopaikka ja elintarvikehuoneisto sekä siellä harjoitettava toiminta täyttävät niille elintarvikemääräyksissä asetetut vaatimukset (Epira 2015). Elintarvikelain 23/2006 mukaan ”Elintarvikealan toimijan on laadittava kirjallinen suunnitelma omavalvonnasta (omavalvontasuunnitelma), noudatettava sitä ja pidettävä sen toteuttamisesta kirjaa.”

Yleinen elintarvikeasetus (5. artikla) määrää, että elintarvikelaissa tarkoitettu omavalvonta ja omavalvontasuunnitelma tulee perustua ns. HACCP-periaatteisiin. Tämä tarkoittaa sitä, että elintarvikehuoneistoissa tuotettujen elintarvikkeiden turvallisuuden takaamiseksi elintarvikkeen raaka-aineisiin, valmistukseen, jakeluun ja myyntiin liittyvät vaarat arvioidaan (**H**azard **A**nalysis) ja määritetään prosessin kriittiset hallintapisteet (**C**ritical **C**ontrol **P**oints). Todettujen kriittisten hallintapisteiden hallintaan kehitetään tiivis seurantamenettely, käytännöt seurannan todentamiseksi ja koko järjestelmän arvointimenetelmä (validointi), jotka dokumentoidaan elintarviketurvallisuuden osoittamiseksi (HACCP-ohjelma).

HACCP-ohjelman lisäksi elintarvikehuoneiston omavalvontajärjestelmäkokoisuus sisältää omavalvonnan tukijärjestelmän. Tukijärjestelmällä varmistetaan, että esimerkiksi olosuhteet ovat kunnossa, käsittelyhygieniä riittävällä tasolla ja elintarvikkeiden koostumukseen sekä kuluttajille annettaviin tietoihin liittyvät lainsäädännön vaatimukset toteutuvat. Tukijärjestelmällä varmistetaan muun muassa tilojen ja välineiden kuntoa, puhtautta, säilytyslämpötiloja, työskentelyhygieniää, reseptien ja elintarvikkeista annettavien tietojen vastaavuutta sekä henkilökunnan riittävää elintarvikehygienistä osaamista. (Epira 2015.)

Omavalvontaan ei tarvita varsinaista hyväksyttämismenettelyä, mutta se on esitettävä valvontaviranomaiselle viimeistään ensimmäisellä tarkastuksella.

Elintarvikelain (23/2006) mukaan elintarvikelainsäädännön vaatimukset koskevat soveltuvin osin myös elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvia materiaaleja ja tarvikkeita (2 ja 3 §). Tässä tapauksessa näitä ns. elintarvikekontaktimateriaaleja ovat lähinnä valmistuslaitteet mukaan lukien putket, letkut, tiivisteet, pumput ja säiliöt sekä pakkausmateriaalit.

Kontaktimateriaalien vaatimustenmukaisuudesta säädetään yleisesti EY-asetuksella elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista N:o 1935/2004, minkä lisäksi on muutamia materiaaliikohtaisia erityissäännöksiä. Asetuksen mukaan (16. artikla) kontaktimateriaalialan ja elintarvikealan yritysten välisessä toimitusketjussa tiedot välitetään vaatimustenmukaisuusilmoituksilla (Declaration of Compliance) tai vastaavilla vaatimustenmukaisuutta osoittavilla asiakirjoilla. Nämä asiakirjat sekä tiedot pakkausmateriaalien jäljitettävyydestä (yksi askel taakse- ja eteenpäin toimitusketjussa) tulee elintarvikeyrityksellä olla esitettävissä valvontaviranomaiselle. Kaikki elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvia materiaaleja ja tarvikkeita koskevat säädökset on koottu maa- ja metsätalousministeriön sivustolle (MMM 2018), ja säädösten valvontaa on kuvattu Eviran laatimassa valvontaviranomaisille ja elintarvikealan toimijoille tarkoitettussa ohjeessa (Evira 2018b).

Elintarviketehtaan suunnittelussa huomioon otettavia hygieniavaatimuksia on annettu myös EU:n konedirektiivissä (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY, Liite 1: 2.1). Siinä esitetään vaatimuksia

- koneiden kontaktimateriaalien vaatimustenmukaisuudelle ja puhdistettavuudelle
- pintojen laadulle, puhdistettavuudelle ja desinfioitavuudelle
- puhdistuksesta, desinfioinnista ja huuhtelusta peräisin olevien nesteiden, kaasujen ja aerosolien esteettömälle poistumiselle
- hyönteisten tai orgaanisen aineen pääsyn estämiselle vaikeasti puhdistettavaiin paikkoihin
- terveydelle vaarallisten apuaineiden ml. voiteluaineiden pääsyn estämisestä kosketukseen elintarvikkeen kanssa.

Ohjeita hygieeniseen laitesuunnitteluun on laatinut esimerkiksi European Hygienic Engineering & Design Group (<https://www.chedg.org/guidelines/>).

5.2 Lopputuotetta ja sen pakkausmerkintöjä koskevat vaatimukset

Elintarvikelisiä aineita koskevissa säädöksissä määrätään, että lisäaineiden tulee olla kullekin lisäaineelle määriteltyjen eritelmien (spesifikaatioiden) mukaisia (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1333/2008). Selluloosalle ja selluloosajohdannaisille, kuten kaikille muillekin elintarviketekäyttöön edellä mainitussa asetuksessa hyväksytyille lisäaineille, on Komission asetuksella (EU) N:o 231/2012 määritelty eritelmit, jotka pitävät sisällään mahdolliset nimen synonyymit, määritelmän, aistinvaraisen kuvauksen, tunnistamismenetelmän ja puhtausvaatimukset. Taulukossa 24 on esitetty eritelmiä MCC:lle asetetuista vaatimuksista.

Taulukko 24. Mikrokiteisen selluloosan eritelmiä.

E 460 (i) Mikrokiteinen selluloosa, selluloosageeli	
Määritelmä	Mikrokiteinen selluloosa on puhdistettua, osittain depolymeroitua selluloosaa, jota valmistetaan käsittelemällä kuitukasvien kannoista massana saatavaa alfa-selluloosaa mineraalihapoilla. Polymeroitumisaste on tavallisesti alle 400.
EINECS	232-674-9
Kemiallinen nimi	Selluloosa
Kemiallinen kaava	$(C_6H_{10}O_5)_n$
Molekyylipaino	Noin 36 000
Pitoisuus	Vähintään 97 % vedettömänä, selluloosana laskettuna
Partikkelikoko	Vähintään 5 µm (enintään 10 % alle 5 µm:n partikkeleita)
Kuvaus	Hienojakoinen valkoinen tai lähes valkoinen hajuton jauhe.
Tunnistaminen	
Liukoisuus	Liukenematon veteen, etanoliin, eetteriin ja laimeisiin mineraalihappoihin. Liukenee niukasti natriumhydroksidiliuokseen.
Värireaktio	Lisätään 1 mg:aan näytettä 1 ml fosforihappoa ja kuumennetaan vesihauteessa 30 minuuttia. Lisätään 4 ml liuosta, jossa on 1:4 pyrokatekolia fosforihapossa, ja kuumennetaan 30 minuuttia. Muodostuu punainen väri.
Infrapuna-absorptiospektroskopia	Tunnistetaan
Suspensiotesti	Sekoitetaan 30 g näytettä ja 270 ml vettä suurinopeuksisella (12 000 rpm) sähkösekoittimella 5 minuutin ajan. Saatava seos on joko helposti juokseva suspensio tai raskas, paakkui-nen suspensio, joka juoksee huonosti jos ollenkaan, laskeutuu ainoastaan heikosti ja sisältää paljon ilmakuplia. Jos saadaan helposti juokseva suspensio, siirretään 100 ml tätä 100 ml:n mittalasiin ja annetaan seistä 1 tunnin ajan. Kiintoaine laskeutuu pohjalle ja erottuu kelluva neste.
pH	Kelluvan nesteen pH on välillä 5,0-7,5 (10-prosenttisessä vesisuspensiossa).

Puhtaus	
Kuivaushäviö	Enintään 7 % (105 °C, 3 h)
Veteen liukeneva aines	Enintään 0,24 %
Sulfaattituhka	Enintään 0,5 % (800 ± 25 °C)
Tärkkelys	Ei havaittavissa. Lisätään 20 ml:aan tätä dispersiota (saatu tunnistamisen aikana, suspensiotesti) muutama tippa jodiliuosta ja sekoitetaan. Mitään väriltään purppuranpunaisesta siniseen vaihtelevaa tai sinistä väriä ei muodostu.
Karboksyyliryhmät	Enintään 1 %
Arseeni	Enintään 3 mg/kg
Lyijy	Enintään 2 mg/kg
Elohopea	Enintään 1 mg/kg
Kadmium	Enintään 1 mg/kg

Lisäainasetuksessa (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1333/2008) säädetään myös elintarvikelisiä aineiden pakkausmerkinnöistä. Pakkausmerkintävaatimuksia on sekä muille kuin lopullisille kuluttajille myytäviksi tarkoitetuille (22 artikla) että lopullisille kuluttajille myytäviksi tarkoitetuille (23 artikla) lisäaineille. Vaatimukset koskevat elintarvikelisiä aineita, jotka myydään sellaisenaan tai toisiinsa ja/tai muihin elintarvikkeiden ainesosiin sekoitettuna, ja/tai niihin on lisätty muita aineita.

Muille kuin lopullisille kuluttajille, esimerkiksi elintarviketeollisuudelle tai ammattikeittäjille, tarkoitetuissa lisäainepakkauksissa tai -astioissa edellytetään seuraavat merkinnät:

- jokaisen lisäaineen osalta asetuksessa säädetty nimi ja/tai E-numero taikka myyntiseloste, jossa ne on mainittu (esimerkiksi kolloidisen MCC:n seoksissa tiedot muistakin seoksen lisäaineista kuin MCC:stä)
- maininta ”elintarvikekäyttöön” tai ”rajoitettuun elintarvikekäyttöön” tai tarkemmat tiedot sen aiotusta elintarvikekäytöstä
- tarvittaessa erityiset säilytystä ja/tai käyttöä koskevat vaatimukset
- erän tunnistemerkintä
- käyttöä koskevat ohjeet, jos niiden ilmoittamatta jättäminen voisi haitata lisäaineen asianmukaista käyttöä
- valmistajan, pakkaajan tai myyjän nimi tai toiminimi ja osoite
- merkintä kunkin sellaisen ainesosan tai ainesosaryhmän enimmäismäärästä, jonka määrä elintarvikkeessa on rajoitettu, ja/tai asianmukaiset tiedot selkeässä ja ymmärrettävässä muodossa, jotta ostaja voi noudattaa

tätä asetusta tai muuta asiaa koskevaa yhteisön lainsäädäntöä; kun sama määrä koskeva rajoitus koskee kokonaista ainesosien ryhmää, käytettynä yksin tai yhdessä, prosenttiosuudet voidaan yhdistää ja ilmoittaa yhtenä lukuna; määrää koskeva rajoitus ilmaistaan joko lukuarvona tai quantum satis -periaatteen mukaisesti

- nettomäärä
- vähimmäissäilyvyysaika ja viimeinen myyntipäivä
- soveltuvissa tapauksissa allergiaa aiheuttavien ainesosien sisältäminen (ainesosat luetellaan direktiivin 2000/13/EY liitteessä III a)
- kun lisäaineet myydään sekoitettuna toisiinsa ja/tai muihin elintarvikkeen ainesosiin, niiden pakkauksissa tai astioissa on oltava luettelo kaikista ainesosista niiden prosenttiosuutta kokonaispainosta vastaavassa alennetussa järjestyksessä.

Tietyin lisäaineasetuksessa mainituin ehdoin edellä mainittuja tietoja voidaan merkitä pakkauksen sijasta tuotteen mukana toimitettaviin asiakirjoihin. Lopulliselle kuluttajalle myytäväksi tarkoitettujen elintarvikelisiä aineiden pakkauksissa tulee ilmoittaa edellä mainitut nimeä ja E-numeroa koskevat tiedot sekä lisäksi maininta ”elintarvikekäyttöön” tai ”rajattuun elintarvikekäyttöön” tai tarkemmat tiedot sen aiotusta elintarvikekäytöstä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET TUOTEKEHITYSTYÖLLE

Tässä katsauksessa tarkasteltiin elintarvikekäyttöön sallittuja selluloosat tuotteita. Elintarvikekäyttöön sallitut selluloosapohjaiset tuotteet luokitellaan lisäaineiksi, joiden käyttö on kuitenkin todettu turvalliseksi niin, ettei niiden käyttömäärälle ole asetettu ylärajaa (quantum satis –periaate). Niiden käyttö on sallittu lähes kaikkiin elintarvikkeisiin. Sallittuja lisäaineita ovat mikrokiteinen selluloosa (E 460 (i)), selluloosajauhe (E 460 (ii)) sekä kahdeksan selluloosasta modifioitua selluloosajohdannaisista (E 461–E 466, E 468–E469).

Mikrokiteinen selluloosa (MCC) on puhdistettua selluloosaa, joka on valmistettu muuntamalla kuitumainen selluloosa happohydrolyysimenetelmällä kiteiseksi materiaaliksi, joka kuivataan puhtaaksi hienojakoiseksi MCC-jauheeksi tai prosessoidaan yhdessä vesiliukoisien muun hydrokolloidien kanssa kolloidiseksi MCC:ksi. Selluloosajauhe on puhdistetusta selluloosasta ilman happohydrolyysiä valmistettua jauhetta. Selluloosajohdannaiset ovat selluloosasta kemiallisesti alkalikäsittelyllä ja eetteröimällä modifioituja valmisteita.

Laajan käyttösovellusten määrän vuoksi tässä selvityksessä tarkasteltiin yksityiskohtaisesti vain mikrokiteisen selluloosan käyttömahdollisuuksia elintarvikkeissa selluloosajohdannaisien sovellusten jäädessä tarkastelussa yleisemmälle tasolle.

6.1 Käyttömahdollisuudet elintarvikkeissa

Selluloosa ja siitä modifioidut johdannaiset kuuluvat laajaan hydrokolloidien ryhmään, joita elintarviketeollisuus käyttää lähinnä rakenteen stabilointiin, sakeuttamiseen ja geelinmuodostukseen. Tästä arvoltaan noin 7,2 mrd. \$:n voimakkaasti kasvavasta ja osittain keskenään kilpailevien tuotteiden markkinasta selluloosapohjaisilla tuotteilla on vain runsaan 6 %:n markkinaosuus. Mikrokiteisen selluloosan (MCC) osuus on noin 1,7 % ja selluloosista suurimman volyymin omaavan karboksimeetyyliselluloosan (CMC) markkinaosuuskin on vain noin 2,9 %.

Liukenemattomista partikkeleista koostuvalla MCC-jauheella ja selluloosa-jauheella on rajalliset käyttömahdollisuudet elintarvikkeissa, mutta MCC:n ja liukoisen hydrokolloidin koprosessoituilla tuotteilla on elintarvikekäytössä sellaisia spesifisiä ominaisuuksia, joita näillä ainesosilla ei erikseen käytettäessä saada aikaan. Näin valmistettuja eri käyttötarkoituksiin soveltuvia kolloidisen MCC:n variaatioita on kaupallisina tuotteina markkinoilla lukuisia määriä.

MCC:tä lisätään käyttötarkoituksesta riippuen tuotteisiin yleisimmin 0,1–5 % ainesosien painosta. Erilaisten MCC-laatujen spesifiset toiminnalliset ominaisuudet antavat mahdollisuuden käyttää MCC:tä elintarvikkeissa hyvin monipuolisesti: suspensioiden, emulsioiden ja vaahtojen stabilointiin, rasvan korvaamiseen, tuotteen lämpöstabiilisuuden parantamiseen tai pakastus-sulatus-stabiilisuuden parantamiseen. MCC on sulamatonta ravintokuitua, mikä mahdollistaa sen käytön elintarvikkeen terveysvaikutuksia parantavana ainesosana.

Leipomotuotteissa MCC:n käyttömahdollisuudet rajoittuvat kuitupitoisuuden lisäämiseen ja runsaasti energiaa sisältävien ainesosien korvaamiseen. Rasvan korvaamiseen on käytetty kolloidisia MCC-CMC- ja MCC-guarkumi-seoksia. Erityisen hienojakoista MCC-tuotetta on käytetty rasvan korvaamiseen alhaisen kosteuspitoisuuden tuotteissa, kuten konditoriatuotteissa, kekseissä ja niiden täytteissä. Samaa periaatetta voidaan hyödyntää vähärasvaisten makeismassojen valmistuksessa. Vehnäleipätaikinan ja valmiin tuotteen rakenteen parantamiseen ei MCC:llä ole todettu yksikäsitteisesti positiivisia vaikutuksia. Se ei myöskään ole paras mahdollinen sitko-ominaisuuksia jäljittelevä ainesosa gluteenittoman leivän valmistukseen.

Lihavalmisteita koskevilla tutkimuksilla MCC:n käyttöä on tutkittu erityisesti keittomakkaraa ja jauhelihatuotteissa. Keittomakkaran valmistuksessa makkaran kiinteyttä voidaan parantaa merkittävästi kolloidista MCC:tä (CMC suojakolloidina) lisäämällä. Myös vähärasvaisia, aistinvaraiselta laadultaan täysrasvaisen tuotteen veroisia keittomakkaroita on valmistettu menestyksellisesti korvaamalla rasvaa kolloidisella MCC-CMC-geelillä tai jauhemuodossa olevalla erityisellä MCC:n ja pinta-aktiivisen aineen seoksella. Jauhelihapihveissäkin MCC-CMC-geeli on osoittautunut erinomaiseksi rasvan korvaajaksi. Jo 3 %:n lisäystryasolla MCC:tä voidaan hyödyntää paitsi rasvan korvaajana, niin myös ravintokuidun lähteenä, josta voidaan pakkausmerkinnöin ilmoittaa. Lisäksi tällä lisäystryasolla voidaan vähentää pihvien paistossa pinnalle muodostuvien syöpä-

vaarallisten heterosyklisten aromaattisten amiinien määrää, mikä on merkittävä uusi tutkimustulos.

Maitopohjaisissa tuotteissa MCC:llä on käyttösovelluksia juustoissa, jäätelöissä ja erilaisissa juomissa. Vähärasvaisten juustojen valmistuksessa on hyödynnetty erityisesti MCC-guarkumi-karrageeni-seosta, joka on todettu hyväksi rasvan korvaajaksi. Sillä voidaan parantaa vähärasvaisille juustoille tyypillistä kumi-maista rakennetta. Jäätelössä ja jäädytetyissä jälkiruoissa erilaisilla kolloidisen MCC:n seoksilla voidaan tehostaa vaahdon pysyvyyttä, estää lämpöshokkiin liittyvää ilmasolujen yhdistymistä ja jääkiteiden kasvua, sekä erityisesti vähärasvaisissa ja vähäsokerisissa tuotteissa parantaa suutuntumaa ja sulamisominaisuuksia. Maitopohjaisten kaakaajuomien kaakaopartikkelien stabilointiin on kehitetty useita sovelluksia, joissa käytetään kolloidisen MCC:n erilaisia variaatioita (esimerkiksi MCC-CMC tai MCC-CMC-tärkkelys). MCC:n hyvät lämpöstabiilisuusominaisuudet säilyttävät juoman rakenteen hyvänä myös iskukuumennuksen aikana ja sen jälkeisessä varastoinnissa. Rasvaisuusasteeltaan tai viskositeetiltään erilaisten ja iskukuumennettujen kermojenkin valmistukseen MCC-seokset soveltuvat. Myös jugurtin stabiloimiseen löytyy sopivia kolloidisen MCC:n seoksia.

MCC:n sakeuttamisominaisuutta ja kykyä parantaa emulsion muodostumista voidaan hyödyntää majoneesien ja salaattinkastikkeiden valmistuksessa. Kolloidisilla MCC-laaduilla (MCC-CMC, MCC-guarkumi, MCC-karrageeni) saadaan vähärasvaisiin kastikkeisiin kermamaista suutuntumaa.

Jälkiruokatuotteissa ja kuorrutuksissa hyödynnetään kolloidisten MCC-laatu- jen sakeuttavia ominaisuuksia ja geelinmuodostuskykyä (vanukkaat ja mousses) sekä kykyä stabiloida vaahtoja (vispatut kuorrutukset). Näissä sovelluksissa käytökelpoisia ovat spesifiset seokset, jotka on valmistettu koprosessoimalla MCC pinta-aktiivisen aineen, kalsiumin tai CMC:n kanssa.

Mehuissa ja limonadeissa voidaan käyttää hedelmä- ja muiden partikkelien sakkautumisen estämiseksi kolloidista MCC-guarkumi-seosta. Alhaisen pH:n proteiinijuomien sakkautumisen estämiseen soveltuu puolestaan MCC-pektiini- tai MCC-modifioitu tärkkelys-seos.

Instant-jauheissa stabilointiaineelta vaaditaan, että se muodostaa halutun rakenteen vähäisellä sekoittamisella ja nopeasti nestelisyksen jälkeen. Erityisesti

tähän tarkoitukseen on kehitetty erilaisia MCC-sovelluksia, esimerkiksi MCC:n ja iota-karrageenin seos. Valmistettaessa jauheita sumutuskuivaamalla voidaan MCC:tä käyttää lasisiirtymälämpötilaa nostavana komponenttina kuivattavassa nesteessä, mikä estää tuotteen tahmeutumista ja paakkuuntumista ja siten helpottaa prosessointia.

Elintarvikkeisiin lisättävän MCC:n mahdollisten positiivisten terveysvaikutusten tutkimus on ollut lähes olematonta verrattuna edellä kuvattujen MCC:n moninaisten toiminnallisten ominaisuuksien selvityksiin. Terveysvaikutuksia koskevat harvat tutkimustulokset ovat nekin lähes pelkästään eläinkokeisiin perustuvia. Selvää kuitenkin on, että MCC on elimistössä sulamatonta ravintokuitua, jolla on ruoansulatuskanavan fysiologisiin toimintoihin vaikuttavia ominaisuuksia ja jonka avulla voidaan pienentää ravinnon energiatihyyttä, kun sitä käytetään rasvan tai energiaa tuottavien hiilihydraattien sijasta. MCC fermentoituu ainakin osittain paksussasuolella, joten sillä on prebioottiominaisuuksia. Fermentoituessaan se tuottaa vähemmän haitallisia kaasuja kuin inuliinin tai guarukumin kaltaiset liukoiset kuidut. Siten MCC:llä saattaa käytömahdollisuuksia minimaaliset haittavaikutukset tuottavana prebioottina.

Muu MCC:n elintarvikekäyttö liittyy sen hyödyntämiseen seinämä- tai kalvomateriaalien valmistuksessa. MCC on todettu potentiaaliseksi seinämä- tai kalvomateriaaliksi huonosti säilyvien bioaktiivisten molekyylien (esim. aromiaineet) tai elävien solujen (esim. probiootit) mikrokapselointiin ja siirtämiseen elintarvikkeeseen sekä edelleen ihmisen elimistöön. MCC soveltuu myös lujiteaineeksi syötäviin tai biohajoaviin elintarvikkeiden pakkauskalvoihin.

Selluloosajohdannaisista erityisesti metyyliiselluloosalla (MC), hydroksimetyyliiselluloosalla (HPMC) ja karboksimetyyliiselluloosalla (CMC) on laajat käytömahdollisuudet elintarvikkeissa. MC:n ja HPMC:n käyttö liittyy tuotteiden sidontaominaisuuksiin ja muodon säilyttämiseen valmistusprosessissa varsinkin korkeissa lämpötiloissa sekä näiden yhdisteiden kykyyn muodostaa kalvoja. Niihin liittyviä sovelluksia on kehitetty leipomotuotteille, jäätelölle ja jäädytetyille jälkiruoille, lihalle, kalalle, liha-analogioille, kastikkeille ja keitoille sekä paistetuille ruoille. CMC:n tärkein ominaisuus elintarvikkeeseen lisättynä on sen viskositeettia lisäävä vaikutus. CMC on selluloosapohjaisista hydrokolloideista käytetyin, ja sen käyttösovellukset ulottuvat lähes kaikkiin elintarvikeryhmiin. Etyyliiselluloosaa (EC) käytetään erityisesti sovelluksissa, joissa tarvitaan sen hyvää kalvonmuodostuskykyä. Etyylimetyyliiselluloosa sekä silloitettu tai entsy-

maattisesti hydrolysoitu karboksimeetyliselluloosa ovat elintarvikkeissa erittäin harvoin käytettyjä selluloosajohdannaisia, eikä niiden käytöstä ole kirjallisuudessa juuri lainkaan esimerkkejä.

6.2 Elintarvikelaatuisten sellutuotteiden valmistaminen

Elintarvikelisäaineet, kuten tässä julkaisussa tarkasteltavat selluloosa ja selluloosajohdannaiset, ovat elintarvikkeita ja niiden valmistusta ja jakelua koskevat Euroopan yhteisössä sekä Suomessa kansallisesti annetut elintarvikkeita koskevat säädökset.

Säädökset koskevat elintarvikehuoneiston rakenteellisia, toiminnallisia ja oma-valvontaa koskevia vaatimuksia. Lisäksi lopputuotteelle ja sen pakkausmerkinnöille on annettu erityisiä vaatimuksia.

6.3 Potentiaaliset kehittämiskohteet

Selvitystyössä on tullut hyvin esille, että pelkän ei-kolloidisen MCC-jauheen käyttömahdollisuudet ja markkinat elintarvikealalla ovat hyvin rajalliset, *joten kehittämistoimenpiteet tulisi mieluummin keskittää kolloidisten MCC-laatujen edelleen kehittämiseen ja niiden käyttösovelluksiin elintarvikkeissa.*

MCC-tuotteiden käyttöä elintarvikkeisiin rajoittavat kilpailevat samankaltaisia toiminnallisia ominaisuuksia tuottavat ja hinnaltaan edullisemmat muut hydrokolloidit (esim. tärkkelykset). Suomessa on kuitenkin kehitetty uusi menetelmä (AaltoCell™), jolla MCC:tä voidaan valmistaa huomattavasti edullisemmin kustannuksin integroituna sellutehtaan tuotantoprosessiin verrattuna nykytilanteeseen, jossa MCC:tä valmistetaan perinteisillä menetelmillä erillisissä tehtaissa metsäteollisuuden ulkopuolella (Vanhatalo 2017). *Tulisikin selvittää voidaanko AaltoCell-menetelmällä tuotetun MCC:n jalostusastetta edelleen nostaa elintarvikelaatuisen MCC:n valmistamiseksi niin, että MCC:n käyttöä elintarvikkeissa voitaisiin lisätä kilpailukykyisemmän hinnan ansiosta.* Useiden kolloidisten MCC-laatujen valmistusmenetelmä on suojattu patentein, mutta suuri osa patenteista ei enää ole voimassa. Esimerkiksi tässä selvityksessä referoiduista patenteista puolet on myönnetty yli 20 vuotta sitten.

Yleisenä elintarvikekäyttöä rajoittavana ja lopputuotteen kustannuksia lisäävänä tekijänä elintarvikealan toimijat mainitsevat monien MCC-tuotteiden esikäsitelyyn tarvittavan työnvaiheen, joka tarvitaan jauhemuodossa olevan tuotteen dispergoimiseksi nesteeseen ennen sen lisäämistä elintarvikkeeseen. *Kehittämistarve suoraan elintarvikkeeseen lisättäville helposti ja nopeasti sakeuttaville MCC-tuotteille muihinkin käyttösovelluksiin kuin instant-jauheille on olemassa.*

MCC:n elintarvikekäytön arvioidaan kasvavan maailmanmarkkinoilla erityisesti terveysvaikutteisten sovellusten kysynnän kasvun myötä. Tällä aihealueella potentiaalisia kehittämiskohteita voisivat olla rasvan korvaamiseen ja *rasvan laatuun liittyvät sovellukset, esimerkiksi:*

- toiminnallisesti ja aistinvaraisesti optimaalisen kolloidisen MCC:n valinta rasvan korvaamiseen valitulle elintarvikkeelle (perinteinen tuote/kasvisproteiinituote)
- MCC oleogelaattorina: MCC:n toimivuus oleogelin valmistuksessa ja mahdollisuudet tyydyttyneen rasvan korvaamiseen MCC-oleogelillä valitussa elintarvikkeessa.

Muita sovelluksia terveysvaikutteisten elintarvikkeiden kehittämiseen, esimerkiksi:

- MCC:n käyttö terveysvaikutteisten aineiden, aromiaineiden tai elävien solujen (probioottien) mikrokapselointiin
- MCC:n käyttö syöpävaarallisten heterosyklisten aromaattisten amiinien syntymisen estämiseen paistettavissa tuotteissa.

Sakeuttamisaineena ja toivotun rakenteen muodostajana MCC-pohjaisista tuotteista on käyttösovelluksia lähes kaikentyyppisille elintarvikkeille. *Uusia testattavia ideoita elintarvikkeiden rakenteen aikaansaamiseen tai parantamiseen saattaisivat olla esimerkiksi:*

- MCC-tuotteiden käyttömahdollisuudet sakeuttamisaineena ammattikeittöön ruoanvalmistuksessa kylmävalmistusmenetelmällä
- MCC-tuotteiden tai selluloosajauheen käyttömahdollisuudet elintarvikkeiden 3D-tulostuksessa sokereita korvaavana ainesosana.

LÄHTEET

Albert S. & Mittal G. 2002. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. *Food Research International* 35: 445–458.

Alén R. 2000. Structure and chemical composition of wood. In: Stenius P. (Ed.) *Forest Products Chemistry. Papermaking Science and Technology*, Book 3. Fapet Oy.

Bahramparvar M. & Mazaheri Tehrani M. 2011. Application and functions of stabilizers in ice cream. *Food Reviews International* 27: 389–407.

Bajaj P., Survase S., Bule M. & Singhal R. 2010. Studies on Viability of *Lactobacillus fermentum* by Microencapsulation Using Extrusion Spheronization. *Food Biotechnology* 24:150–164.

Bajpai S, Chand B. & Ahuja S. 2015a. Investigation of curcumin release from chitosan/cellulose microcrystals (CMC) antimicrobial films. *International Journal of Biological Macromolecules* 79: 440–448.

Bajpai S., Chand B., Ahuja S. & Roy M. 2015b. Curcumin/cellulose micro crystals/chitosan films: Water absorption behavior and in vitro cytotoxicity. *International Journal of Biological Macromolecules* 75: 239–247.

Barbut S. & Mittal G. 1996. Effects of three cellulose gums on the texture profile and sensory properties of low fat frankfurters. *International Journal of Food Science and Technology* 31: 241–247.

Bodner J. & Sieg J. 2009. Fiber. In: Tarté R. *Ingredients in Meat Products*. Springer.

Brownsey G. & Ridout M. 1985. Rheological characterization of microcrystalline cellulose dispersions: Avicel RC 591. *Journal of Food Technology* 20: 237–243

Buliga G., Ayling G., Krawczyk G. & McGinley E. 1998. Microcrystalline cellulose technology. pp. 169-206. In: Walter R. (Ed.) Polysaccharide Association Structures in Food. Marcel Dekker, Inc.

Bullens C., Krawczyk G. & Geithman L. 1994. Reduced-fat cheese products using carrageenan and microcrystalline cellulose. *Food Technology* 48(1): 79–81.

Business Wire 2018. APAC Tops the Global Cellulose Ether Market. January 02, 2018. [http://www.businesswire.com/news/home/20180102005320/en/\[viitattu 12.3.2018\]](http://www.businesswire.com/news/home/20180102005320/en/[viitattu%2012.3.2018]).

Cano-Chauca M., Stringheta P, Ramos A. & Cal-Vidal J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6: 420–428.

Casaburi A., Montoya Rojo U., Cerrutti P, Vázquez A. & Foresti M. 2018. Carboxymethyl cellulose with tailored degree of substitution obtained from bacterial cellulose. *Food Hydrocolloids* 75: 147–156.

Cash M. & Caputo S. 2010. Cellulose Derivatives. In: Imeson A. (ed.) *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*. Wiley-Blackwell.

Cazón P, Velazquez G., Ramírez J. & Vázquez M. 2017. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids* 68: 136–148.

Chuang L., Panyoyai N., Shanks R. & Kasapis S. 2017. Structure and phase behaviour of microcrystalline cellulose in mixture with condensed systems of potato starch. *International Journal of Food Science + Technology* 52(3): 800–807.

Correa M., Añón M., Pérez G. & Ferrero C. 2010. Effect of modified celluloses on dough rheology and microstructure. *Food Research International* 43: 780–787.

Correa M., Ferrer E., Añón M. & Ferrero C. 2014. Interaction of modified celluloses and pectins with gluten proteins. *Food Hydrocolloids* 35: 91-99.

Correa M. & Ferrero C. 2015. A comparative study of commercial modified celluloses as bread making additives. *International Journal of Food Properties* 18: 849–861.

Correia L., Mittal G., Osborne W. & deMan J. 1991. Kinetics of texture change during smokehouse cooking of meat emulsions containing various fillers. *Journal of Food Engineering* 13: 27–56.

Dan J., Ma Y., Yue P., Xie Y., Zheng Q., Hu P., Zhu W. & Yang M. 2016. Microcrystalline cellulose – carboxymethyl cellulose sodium as an effective dispersant for drug nanocrystals: a case study. *Carbohydrate Polymers* 136: 499–506.

De Barros J., Lechner T., Charalampopoulos D., Khutoryanskiy V. & Edwards A. 2015. *International Journal of Pharmaceutics* 493: 483–484.

Desmond E., Troy D. & Buckley D. 1998. Comparative studies of nonmeat adjuncts used in the manufacture of low fat beef burgers. *Journal of Muscle Foods* 9: 221–241.

Dogan N. & McHugh T. 2007. Effects of microcrystalline cellulose on functional properties of hydroxy propyl methyl cellulose microcomposite films. *Journal of Food Science* 72(1): E16–E22.

Dolz M., Herraiz J., Sobrino P., Belda R. & Herraiz M. 1991. The effect of electrolyte concentration on the thixotropic behavior of microcrystalline cellulose – sodium carboxymethyl cellulose gels. *Journal of Dispersion Science and Technology* 12(5&6): 453–466.

Drake M., Boylston T. & Swanson B. 1996. Fat mimetics in low fat Cheddar cheese. *Journal of Food Science* 61(6): 1267–1271.

Duffus L., Norton J, Smith P., Norton I. & Spyropoulos, F. 2016. A comparative study on the capacity of a range of food-grade particles to form stable O/W and W/O Pickering emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science* 473: 9–21.

Edwards C. & Garcia A. 2009. Health aspects of hydrocolloids. pp. 50–81. In: Phillips G. & Williams P. (eds.) *Handbook of Hydrocolloids*, 2nd ed. Woodhead Publishing.

Elintarvikelaki 23/2006. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060023> [viitattu 29.9.2018].

Engelen L., de Wijk R., van der Bilt A., Prinz J., Janssen A., Bosman F. 2005. Relating particles and texture perception. *Physiology & Behavior* 86: 111–117.

EP0415193. 1990. Finely divided suspension of cellulosic material and process for producing the same. Asahi Kasei Kogyo Kabushiki Kaisaha, Japan. (Komuro Y. & Yamamoto K.).

EFSA 2018. EFSA ANS Panel (EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food). Younes M., Aggett P, Aguilar F., Crebelli R., Di Domenico A., Dusemund B., Filipic M., Jose Frutos M., Galtier P., Gott D., Gundert-Remy U., Georg Kuhnle G., Lambre C., Leblanc J.-C., Lillegaard IT., Moldeus P., Mortensen A., Oskarsson A., Stankovic I., Tobbäck P., Waalkens-Berendsen I., Wright M., Tard A., Tasiopoulou S. & Woutersen RA. Scientific opinion on re-evaluation of celluloses E 460(i), E 460(ii), E 461, E 462, E 463, E 464, E 465, E 466, E 468 and E 469 as food additives. *EFSA Journal* 16(1): 5047.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 178/2002, annettu 28 päivänä tammikuuta 2002, elintarvikelainsäädäntöä koskevista yleisistä periaatteista ja vaatimuksista, Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen perustamisesta sekä elintarvikkeiden turvallisuuteen liittyvistä menettelyistä. Euroopan unionin virallinen lehti 31/1, 1.2.2002. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002R0178&from=FI> [viitattu] 29.9.2018.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 852/2004, annettu 29 päivänä huhtikuuta 2004, elintarvikehygieniasta. Euroopan unionin virallinen lehti L139/1, 30.4.2004. <https://publications.europa.eu/fi/publication-detail/-/publication/fb8c29a0-3cfc-40ad-b787-13f9e0394e33/language-fi> [viitattu 29.9.2018].

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1935/2004, annettu 27 päivänä lokakuuta 2004, elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista ja direktiivien 80/509/ETY ja 89/109/ETY kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti L338/4, 13.11.2004. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R1935&from=FI> [viitattu 29.9.2018].

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY, annettu 17 päivänä toukokuuta 2006, koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta (uudelleenlaadittu). Euroopan unionin virallinen lehti L157/24, 9.6.2006. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=FI> [viitattu 30.9.2018].

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1924/2006 elintarvikkeita koskevista ravitsemus- ja terveystieteistä. Euroopan unionin virallinen lehti L 404/9, 31.12.2006. <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1924&from=FI> [viitattu 31.8.2018].

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1333/2008, annettu 16 päivänä joulukuuta 2008, elintarvikelisiä aineista. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R1333-20180812&qid=1537522790145&from=FI> [viitattu 3.9.2018].

European Commission 2017. Case M.8440 - DuPont/FMC (Health and Nutrition Business). Commission decision pursuant to Article 6(1)(b) in conjunction with Article 6(2) of Council Regulation No 139/2004 and Article 57 of the Agreement on the European Economic Area. 27.7.2017. http://ec.europa.eu/competition/mergers/cases/decisions/m8440_1518_3.pdf [viitattu 29.1.2018].

Evira 2015. Elintarvikehuoneiston omavalvonnan riskiperusteinen valvonta. Eviran ohje 16043/1. https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/lomakkeet-ja-ohjeet/elintarvikkeet/elintarvikehuoneistot/eviran_ohje_16043.pdf. [viitattu 29.9.2018].

Evira 2018a. Ohje ilmoitettujen elintarvikehuoneistojen elintarvikehygieniasta. Eviran ohje 16025/6. <https://www.evira.fi/globalassets/elintarvikkeet/elintarvikehuoneisto/ohje-ilmoitettujen-elintarvikehuoneistojen-elintarvikehygieniasta.pdf> [viitattu 29.9.2018].

Evira 2018b. Elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvia materiaaleja ja tarvikkeita koskeva valvontaohje. Ohje/versio 17018/4. https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/lomakkeet-ja-ohjeet/elintarvikkeet/kontaktimateriaalit/eviran_ohje_17018_lop_6_fi.pdf [viitattu 29.9.2018].

FAO 2016. FAOSTAT – Forestry database. <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/en/> [viitattu 25.1.2018].

Fang Z. & Bhandari B. 2010. Encapsulation of polyphenols – a review. *Trends in Food Science & Technology* 21: 510-523.

Feng Z.-Z., Li M.-Y., Wang Y.-T. & Zhu M.-J. 2018. Astaxanthin from *Phaffia rhodozyma*: Microencapsulation with carboxymethyl cellulose sodium and microcrystalline cellulose and effects of microencapsulated astaxanthin on yogurt properties. *LWT - Food Science and Technology* 96: 152–160.

Figuerola-Lopez K., Andrade-Mahecha M. & Torres-Vargas O. 2018. Spice oleoresins containing antimicrobial agents improve the potential use of bio-composite films based on gelatin. *Food Packaging and Shelf Life* 17: 50–56

Garti N. & Reichman D. 1993. Hydrocolloids as Food Emulsifiers and Stabilizers. *Food Structure* 12 (4): 411-426 (Article 3). Viitattu 13.2.2018. <https://digitalcommons.usu.edu/foodmicrostructure/vol12/iss4/3/>

GB1062423. 1967. Process for manufacture dry shortenings. Nippon Yushi Kabushiki Kaisha, Japan.

GB2395413A. 2004. Stabilised fluid composition comprising suspended particulates. Danisco A/S. (Davis C.).

GB2484822A. 2012. Cheese substitutes. St Giles Foods Ltd. (Wade Mussawir-Key F.).

Gibis M., Shuh V. & Weiss J. 2015. Effects of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) as fat replacers on the microstructure and sensory characteristics of fried beef patties. *Food Hydrocolloids* 45: 236-246.

Gibis M. & Weiss J. 2017. Inhibitory effect of cellulose fibers on the formation of heterocyclic aromatic amines in grilled beef patties. *Food Chemistry* 229: 828–836.

Gómez M., Moraleja A., Oliete B., Ruiz E. & Caballero P. 2010. Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. *LWT - Food Science and Technology* 43: 33–38.

Grodzka K., Maciejec A. & Krygier K. 2005. Attempts to apply microcrystalline cellulose as a fat replacer in low fat mayonnaise emulsions. [Próby zastosowania celulozy mikrokrystalicznej jako zamiennika tłuszczu w emulsjach majonezowych]. *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość* 2 (43) Supl: 52-61.

Harnkarnsujarit N. & Li Y. 2017. Structure–property modification of microcrystalline cellulose film using agar and propylene glycol alginate. *Journal of Applied Polymer Science* 134(47): 45533.

Holland S., Foster T., MacNaughtan W. & Tuck C. 2018a. Design and characterisation of food grade powders and inks for microstructure control using 3D printing. *Journal of Food Engineering* 220: 12–19.

Holland S., Tuck C. & Foster T. 2018b. Selective recrystallization of cellulose composite powders and microstructure creation through 3D binder jetting. *Carbohydrate Polymers* 200: 229–238.

Humphreys W. 1996. Fiber-based fat mimetics: microcrystalline cellulose. In: Roller S. & Jones S. (eds.) *Handbook of Fat Replacers*. CRC Press.

IHS Markit 2016. Cellulose Ethers. *Chemical Economics Handbook*. <https://ihsmarkit.com/products/cellulose-ethers-chemical-economics-handbook.html> [viitattu 30.1.2018].

Imai E., Hatae K. & Shimada A. 1995. Oral perception of grittiness: effect of particle size and concentration of the dispersed particles and the dispersion medium. *Journal of Texture Studies* 26: 561–576.

Imai E., Shimichi Y., Maruyama I., Inoue A., Ogawa S., Hatae K. & Shimada A. 1997. Perception of grittiness in an oil-in-water emulsion. *Journal of Texture Studies* 28: 257–272.

JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). 2006. Monograph 1. Combined compendium of food additive specifications. <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/scientific-advice/jecfa/jecfa-additives/en/> [viitattu 3.9.2018].

Jia X., Xu R., Shen W., Xie M., Abid M., Jabbar S., Wang P., Zeng X. & Wu T. 2015. Stabilizing oil-in-water emulsion with amorphous cellulose. *Food Hydrocolloids* 43: 275–282.

JRS 2015. Basic Training Fibre. Rosenberg 2015. Training presentation. J. Rettenmeier & Söhne GmbH & Co. KG

Kargar M., Fayazmanesh K., Alavi M., Spyropoulos F. & Norton I. 2012. Investigation into potential ability of Pickering emulsions (food-grade particles) to enhance the oxidative stability of oil-in-water emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science* 366: 209–215.

Klose R. & Glicksman M. 1990. Gums. In: Furia T. (Ed.) *CRC Handbook of Food Additives*. CRC Press.

Komission asetus (EU) N:o 231/2012, annettu 9 päivänä maaliskuuta 2012, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1333/2008 liitteissä II ja III lueteltujen elintarvikelisiä aineiden eritelmien vahvistamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti L 83/1, 22.3.2012. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0231&from=FI> [viitattu 30.9.2018].

Kovalov K., Alekseev O., Lazarenko M., Zabashta Y., Grabovskii Y. & Tkachov S. 2017. Influence of water on the structure and dielectric properties of the microcrystalline and nano-cellulose. *Nanoscale Research Letters* 12:468. <http://europemc.org/articles/PMC5529309> [viitattu 25.2.2018].

Krawczyk G., Venables A. & Tuason D. 2009. Microcrystalline cellulose. pp. 740-759. In: Phillips G. & Williams P. (eds.) *Handbook of Hydrocolloids*, 2nd ed. Woodhead Publishing.

Kumar A. & Singh P. 2008. Biocomposites of cellulose reinforced starch: Improvement of properties by photo-induced crosslinking. *Bioresource Technology* 99: 8803–8809.

Li C., Luo J., Qin Z., Chen H., Gao Q. & Li J. 2015. Mechanical and thermal properties of microcrystalline cellulose-reinforced soy protein isolate–gelatin eco-friendly films. *RSC Advances* 70(5): 56518–56525.

Li J.-M. & Ni S.-P. 2016. The functional and nutritional aspects of hydrocolloids

in foods. *Food Hydrocolloids* 53: 46–61.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus ilmoitettujen elintarvikehuoneistojen elintarvikehygieniasta antamassa asetuksessa 1367/2011. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20111367> [viitattu 29.9.2018].

Ma X., Chang P. & Yu J. 2008. Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers* 72: 369–375.

Ma L., Drake M., Barbosa-Cánovas G. & Swanson B. 1997. Rheology of full-fat and low-fat Cheddar cheeses as related to type of fat mimetic. *Journal of Food Science* 62(4): 748–752.

Majzoobi M., Farahnaky A. & Ostovan R. 2007. Effects of microcrystalline cellulose and hydroxypropylmethyl cellulose on the properties of dough and flat bread (Iranian barbari bread). *Iran Agricultural Research* 25(2) and 26(1-2): 87–97.

McMahon D., Alleyne M., Fife R. & Oberg C. 1996. Use of fat replacers in low fat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 79(11): 1911-1921.

Mikkonen T. 2011. Puolukkamehun sumutuskuivaus ja puolukkamehujauheen käyttösovellukset. EKT-sarja 1538. Maisterin tutkielma. Helsingin yliopisto.

Mistry V. 2001. Low fat cheese technology. *International Dairy Journal* 11: 413-422.

Mittal G. & Barbut S. 1993. Effects of various cellulose gums on the quality parameters of low-fat breakfast sausages. *Meat Science* 35: 93-103.

M&M 2015a. Microcrystalline Cellulose Market worth 1 080 Million USD by 2020. Press Release. September 2015. Markets and Markets. <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/microcrystalline-cellulose.asp> [viitattu 12.3.2018].

M&M 2015b. Carboxymethyl Cellulose Market by Application (Food & Beverages, Pharmaceutical & Cosmetics, Oil & Gas, Paper, Detergents, and Others (Mining, Textiles Processing, Ceramics, Paints, Construction, and Adhesives)) - Trends & Forecasts to 2020. Press Release. August 2015. Markets and Markets. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/carboxymethyl-cellulose-market-16412328.html> [viitattu 12.3.2018].

M&M 2017. Cellulose Ether & Its Derivatives Market by Product Type (Methyl, Ethyl, Hydroxyethyl, Hydroxypropyl, Carboxymethyl Cellulose), Application (Pharmaceuticals, Personal Care, Foods & Beverages, Paints & Coatings), and Region - Global Forecast to 2021. Press Release. January 2017. Markets and Markets. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/cellulose-ethers-market-782.html> [viitattu 12.3.2018].

MMM 2018. Elintarvikekontaktimateriaalit. <https://mmm.fi/elintarvikekontaktimateriaalit> [viitattu 29.9.2018].

Murray J. 2009. Cellulosics. pp. 710-739. In: Phillips G. & Williams P. (eds.) Handbook of Hydrocolloids, 2nd ed. Woodhead Publishing.

Nedovic V., Kalusevic A., Manojlovic V., Levic S. & Bugarski B. 2011. An overview of encapsulation technologies for food applications. 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF 11). *Procedia Food Science* 1: 1806–1815.

Nsor-Atindana J., Chen M., Goff H., Zhong F., Sharif H. & Li Y. 2017. Functionality and nutritional aspects of microcrystalline cellulose in food. *Carbohydrate Polymers* 172: 159-174.

Nussinovitch A. & Hirashima M. 2014. Cooking innovations – using hydrocolloids for thickening, gelling, and emulsification. CRC Press.

Okanović D., Toni D, Tasić T., Šojlć B., Škaljac S. & Džinić N. 2016. The impact of replacing backfat with microcrystalline cellulose gel on physico-chemical and sensory quality of frankfurter. *Quality of Life* 7(3-4): 86-92.

Onyango C., Unbehend G. & Lindhauer M. 2009. Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinised cassava starch. *Food Research International* 42: 949–955.

Oza K. & Frank S. 1986. Microcrystalline cellulose stabilized emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology* 7(5): 543–561.

Panda H. 2010. *The Complete Book on Gums and Stabilizers for Food Industry*. Asia Pacific Business Press.

Parker P. 2017. *The World Outlook for Microcrystalline Cellulose (MCC)*. ICON Group International Inc.

Patel A. 2015. *Alternative Routes to Oil Structuring*. Springer.

Pereira P. & Andrade C. 2017. Optimized pH-responsive film based on a eutectic mixture-plasticized chitosan. *Carbohydrate Polymers* 165: 238–246.

Psomiadou E., Arvanitoyannis I. & Yamamoto N. 1996. Edible films made from natural resources; microcrystalline cellulose (MCC), methylcellulose (MC) and corn starch and polyols-Part 2. *Carbohydrate Polymers* 31: 193–204.

Reis M., Olivato J., Zanela J., Yamashita F. & Grossmann M. 2014. Influence of microcrystalline cellulose in thermoplastic starch/polyester blown films. *Journal of Polymers and the Environment* 22(4): 545–552.

Rekas A. & Marciniak-Lukasiak K. 2015. A multivariate study of the correlation between addition of maltodextrin, MCG, HPMC and psyllium on the quality of instant fried noodles. *LWT - Food Science and Technology* 62: 689–696.

Research and Markets (2018). *Microcrystalline Cellulose (MCC) Market by Application (Food & Beverage, Pharmaceutical, Cosmetics & Personal Care.), Raw Material Source (Wood-based, Non-wood-based), and Region (North America, Europe, APAC, RoW) - Global Forecasts to 2023*. Press Release. August 2018. <https://www.researchandmarkets.com/research/5c9xrp/microcrystalline?w=4> [viitattu 9.9.2018].

Rico M., Rodríguez-Llamazares S., Barral L., Bouza R. & Montero B. 2016. Processing and characterization of polyols plasticized-starch reinforced with microcrystalline cellulose. *Carbohydrate Polymers* 149: 83–93.

Romeih E., Michaelidou A., Biliaderis C. & Zerfiridis G. 2002. Low-fat white-brined cheese from bovine milk and two commercial fat mimetics: Chemical, physical and sensory attributes. *International Dairy Journal* 12: 525–540.

Saga L., Rukke E.-O., Hovde Liland K., Kirkhaus B., Egelanddal B., Karlsten J. & Volden J. 2011. Oxidative stability of polyunsaturated edible oils mixed with microcrystalline cellulose. *Journal of American Oil Chemists' Society* 88: 1883–1895.

Schuh V., Allard K., Herrmann K., Gibis M., Kohlus R. & Weiss J. 2013. Impact of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) on functional characteristics of emulsified sausages. *Meat Science* 93: 240–247.

Schmitt C. & Turgeon S. 2011. Protein/polysaccharide complexes and coacervates in food systems. *Advances in Colloid and Interface Science* 167: 63–70.

Seisun D. 2017. Hydrocolloids: “Safe, sustainable and suitable”. *The World of Food Ingredients*, June 2017: 35–37.

Seisun D. 2018. Food hydrocolloids: good, bad or indifferent? *The World of Food Ingredients*, March 2018: 36–38.

Singh A., Auzanneau F.-I. & Rogers M. 2017. Advances in edible oleogel technologies – A decade in review. *Food Research International* 97: 307–317.

Singh M., Kanawjia S., Giri A. & Khetra Y. 2015. Effect of temperature and microcrystalline cellulose on moisture sorption characteristics of shredded Mozzarella cheese. *Journal of Food Processing and Preservation* 39: 521–529.

Stern K., Foegeding E. & Hansen A. 1988. Inhibition of lipolytic activity in milk by polysaccharides. *Journal of Dairy Science* 71(1): 41–45.

Suomalaiset ravitsemussuositukset (2014). Valtion ravitsemusneuvottelukunta. https://www.evira.fi/globalassets/vrn/pdf/ravitsemussuositukset_terveyttaruosta_2014_fi_web_v4.pdf [viitattu 20.2.2018].

Sworn G. 2004. Hydrocolloid thickeners and their applications, pp. 13-22. In: Williams P. & Phillips G. (Eds.) *Gums and Stabilizers for the Food Industry 12*. The Royal Society of Chemistry.

Tang H., Guo B., Jiang H., Xue L., Li B., Cao X., Zhang Q., Li P., Tang H. & Guo B. 2013. Fabrication and characterization of nanocrystalline cellulose films prepared under vacuum conditions. *Cellulose* 20(6): 2667–2674.

Tian C., Yia J., Wu Y, Wu Q, Qing Y. & Wang L. 2016. Preparation of highly charged cellulose nanofibrils using high-pressure homogenization coupled with strong acid hydrolysis pretreatments. *Carbohydrate Polymers* 136: 485–492.

TMR 2015. Microcrystalline Cellulose (MCC) Market is Expected to Reach US\$ 936.3 by 2020, expanding at a CAGR of 5.8% from 2014 to 2020. Transparency Market Research. March 26, 2015. <https://globenewswire.com/news-release/2015/03/26/719060/10126494/en/Microcrystalline-Cellulose-MCC-Market-is-Expected-to-Rich-US-936-3-Mn-by-2020-expanding-at-a-CAGR-of-5-8-from-2014-to-2020-Transparency-Market-Research.html> [viitattu 12.3.2018].

Todd S., Cunningham F., Claus J. & Schwenke J. 1989. Effect of dietary fiber on the texture and cooking characteristics of restructured pork. *Journal of Food Science* 54(5): 1190–1192.

Todd S., Cunningham F., Schwenke J. & Goetsch S. 1990. Sensory analysis of fiber formulated ground pork patties. *Journal of Sensory Studies* 5: 145–147.

Totosaus A., Gonzalés- Gonzalés R. & Fragoso M. 2016. Influence of the type of cellulosic derivatives on the texture, and oxidative and thermal stability of soybean oil oleogel. *Grasas y Aceites* 67(3): 1–10.

Trache D., Hussin M., Chuin C., Sabar S., Fazita M., Taiwo O., Hassan T. & Haafiz M. 2016. Microcrystalline cellulose: Isolation, characterization and bio-composite application – A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 93: 789–804.

Tuason D., Krawczyk G. & Buliga G. 2010. Microcrystalline Cellulose. In: Imeson A. (ed.) *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*. Wiley-Blackwell.

US3023104. 1962. Food compositions incorporating cellulose crystallite aggregates. American Viscose Corporation, USA. (Battista A.O.).

US3539365. 1970. Dispersing and stabilizing agent comprising β -1,4 glucan and CMC and method for its preparation. FMC Corporation, USA. (Durand H., Fleck E. & Raynor G.).

US3827899. 1974. Modified microcrystalline cellulose dispersion. Centre for Industrial Research (CIR), Israel. (Zirlin A.).

US426334A. 1981. Water dispersible cellulosic powder and method of making the same. FMC Corporation, USA. (McGinley J.).

US4421778. 1983. Freezer stable whipped ice cream and milk shake food products. Rich Products Corporation, USA. (Kahn M. & Lynch R.).

US4668519. 1987. Reduced calorie baked goods and methods for producing same. Nabisco Brands, USA. (Dartey C. & Briggs R.).

US5011701. 1991. Low calorie food products having smooth, creamy organoleptic characteristics. Kraft General Foods, Inc., USA. (Baer C., Buliga G., Hassenheutti G., Henry G., Heth A., Jackson L., Kennedy-Tolstedt J., Kerwin P., Miller M., Parker E., Paul N., Pechak D., Smith G. & Witte V.).

US5209942A. 1993. Low fat/ no fat salad dressing having mimetic functional properties fat and a process therefor. Thomas J. Lipton, Co., Division of Conopco, Inc., USA. (Bauer R., Cuccurullo J., Dazo P., Kochakji D., Rikon S. & Rubow R.).

US5441753. 1995. Coprocessed particulate bulking and formulating aids: their composition, production, and use. FMC Corporation, USA. (McGinley E., Krawczyk G. & Selinger E.).

US5976600. 1999. Microcrystalline cellulose, a bulking agent. FMC Corporation, USA. (Ruskay T. & Elliot D.).

US6025007 (2000). Cellulose composition, its preparation and its use in foods. FMC Corporation, USA. (Krawczyk G.).

US6037380. 2000. Ultra-fine microcrystalline cellulose compositions and process. FMC Corporation, USA. (Venables A., Buliga G., Dell S. & Colliopoulos J.).

US6270830. 2001. Stabilizer for meat products and meat product composition. Asahi Kasei Kogyo Kabushiki Kaisha, Japan. (Kamada E. & Mochihara N.).

US6391368. 2002. Rapidly peptizable microcrystalline cellulose –based stabilizing agents. FMC Corporation, USA. (Tuason D., Selinger E., Krawczyk G., Sewall C. & Hogan D.).

US6500462. 2002. Edible MCC/PGA coating composition. FMC Corporation, USA. (Augello M., Dell S. & Bliefernich E.).

US6689405B1. 2004. Fat like agents for low calorie food compositions. FMC Corporation, USA. (Tuason D., Ruszkay T. & Heese S.).

US2006/096500. 2006. Microcrystalline cellulose compositions. FMC Corporation, USA. (Tuason D., Amundarain J., Krawczyk G., Selinger E., Blakemore W., Modliszewski J., Lee J. & Messick F.).

US2011/051097A1. 2011. Water-dispersible compositions for food applications. FMC Corporation, USA. (Tuason D., Cammarata M., Krawczyk G. & Tan Z.).

US2014/0364514A1. 2014. Co-attrited stabilizer composition having superior gel strength. FMC Corporation, USA. (Tan Z., Sestrick M., Yaranossian N. & Ondov J.).

Vainio M. 2016. Mikrokiteisen selluloosan käyttö keittomakkaran valmistuksessa. EKT-sarja 1768. Opinnäytetyö. Helsingin yliopisto. Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos.

Vanhatalo K. 2017. A new manufacturing process for microcrystalline cellulose (MCC). Aalto University publication series DOCTORAL DISSERTATIONS 152/2017.

Wang W. & Zhou W. 2015. Characterisation of spray dried soy sauce powders made by adding crystalline carbohydrates to drying carrier. *Food Chemistry* 168: 417–422.

Williams P. & Phillips G. 2009. Introduction to food hydrocolloids, pp. 1–22. In: Phillips G. & Williams P. (eds.) *Handbook of Hydrocolloids*, 2nd ed. Woodhead Publishing.

Wittaya T. 2009. Microcomposites of rice starch film reinforced with microcrystalline cellulose from palm pressed fiber. *International Food Research Journal* 16: 493-500.

WO9014017A1. 1990. Fat-like bulking agent for aqueous food comprising microcrystalline cellulose and a galactomannan gum. FMC Corporation, USA. (McGinley E. & Tuason D.).

WO942488. 1994. Colloidal microcrystalline cellulose and barrier dispersant composition and method for manufacture. FMC Corporation, USA. (Tuason D. & McGinley E.).

WO9501729A1. 1995. Reduced fat cheese and method for making. FMC Corporation, USA. (Bullens C., Atassi S. & Krawczyk G.).

WO02/49451. 2002. Stabilizer for drink and dressing formulations. Societe des Produits Nestle S.A., CH. (Potter M. & Best E.).

WO2005092296. 2005. Edible microcrystalline cellulose and carrageenan coating composition. FMC Corporation, USA. (Augello M. & Fair P.).

WO2013085809A1. 2013. Co-attrited stabilizer composition having superior gel strength. FMC Corporation, USA. (Tan Z., Sestrick M., Yaranossian N. & Ondov J.).

Wüstenberg T. 2015. *Cellulose and Cellulose Derivatives in the Food Industry*. Wiley-VCH.

Wyers R. 2017. DuPont to Take on FMC's Health and Nutrition Business as Part of Swap Deal. *Food Ingredients* 1st. 31 Mar 2017. <http://www.foodingredientsfirst.com/news/dupont-to-take-on-fmcs-health-and-nutrition-business-as-part-of-swap-deal.html>. Viitattu 29.1.2018.

Xu D., Zhang J., Cao Y., Wang J. & Xiao J. 2016. Influence of microcrystalline cellulose on the microrheological property and freeze-thaw stability of soybean protein hydrolysate stabilized curcumin emulsion. *LWT - Food Science and Technology* 66: 590-597.

Yaginuma Y. & Kijima T. (2006a). Effect of pH on rheological properties of microcrystalline cellulose dispersions. *Journal of Dispersion Science and Technology* 27: 365-370.

Yaginuma Y. & Kijima T. (2006b). Effects of microcrystalline cellulose on suspension stability of cocoa beverage. *Journal of Dispersion Science and Technology* 27: 941-948.

Yousefi S., Emam-Djomeh Z. & Mousavi M. 2011. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). *Journal of Food Science & Technology* 48(6):677-684.

Yousefi S., Emam-Djomeh Z., Mousavi M., Kobarfard F. & Zbicinski I. 2015. Developing spray-dried powders containing antocyanins of black raspberry juice encapsulated based on fenugreek gum. *Advanced Powder Technology* 26: 462-469.

Zbikowska A., Kowalska M. & Pieniowska J. 2018. Assessment of shortcrust biscuits with reduced fat content of microcrystalline cellulose and psyllium as fat replacements. *Journal of Food Processing and Preservation* 2018;e13675. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13675> [viitattu 11.9.2018].

Zetzl A., Gravelle A., Kurylowicz M., Dutcher J., Barbut S. & Marangoni A. 2014. Microstructure of ethylcellulose oleogels and its relationship to mechanical properties. *Food Structure* 2: 27-40.

Zion Market Research 2018. Global food hydrocolloids market set for rapid growth, to reach USD 9.12 billion By 2024. Press release 05-Jul-2008. Zion Market Research. <https://www.zionmarketresearch.com/news/food-hydrocolloids-market> [viitattu 19.10.2018]

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU

- 1 *Srujal Shah - Kari Dufva*: CFD modeling of airflow in a kitchen environment. Towards improving energy efficiency in buildings. 2017.
- 2 *Elias Altarriba*: Öljyn leviämisen estimointi arviointitaulukoiden avulla osana operatiivista öljyntorjuntatyötä Saimaalla. 2017.
- 3 *Elina Havia - Jari Käyhkö (toim.)*: Fotoniikkasensori- ja korkean teknologian kuvantamisen demonstrointi metsäbiojalostamon hallintaan (FOKUDEMOMO). 2017.
- 4 *Justiina Halonen - Emmi Rantavuo - Elias Altarriba*: Öljyntorjuntakoulutuksen ja -osaamisen nykytila. SCAROIL-hankkeen selvitys öljyntorjunnan koulutustarpeista. 2017.
- 5 *Veli Liikanen - Arto Pesola*: Physical fun: exercise, social relations and learning in SuperPark. 2018.
- 6 *Timo Hantunen - Petri Janhunen (toim.)*: Sote-alan videoneuvottelujärjestelmien käytettävyys ja käyttöönotto. 2018.
- 7 *Pekka Turkki*: Selluloosa ja selluloosajohdannaiset elintarvikkeissa. 2018.



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu