



SELLULOOSAPOHJAISET HYDROKOLLOIDIT ELINTARVIKKEISSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Kemiatekniikan kandidaatintyö

2022

Oona Palonen

Tarkastaja: Dosentti Arto Pihlajamäki

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Kemiantekniikka

Oona Palonen

Selluloosapohjaiset hydrokolloidit elintarvikkeissa

Kemiantekniikan kandidaatintyö

31 sivua, 9 kuvaa ja 2 taulukkoa

Tarkastaja: Dosentti Arto Pihlajamäki

Avainsanat: hydrokolloidit, selluloosa, elintarviketeollisuus, mikrokiteinen selluloosa

Tässä kandidaatintyössä käsitellään elintarviketeollisuudessa ja elintarvikkeiden valmistuksessa käytettyjä selluloosapohjaisia hydrokolloideja. Kandidaatintyössä tarkastellaan näiden aineiden ominaisuuksia, valmistusmenetelmiä ja käyttöä elintarviketuotannossa.

Elintarviketeollisuuden käyttöön on 1900-luvun alun vuosikymmenistä lähtien kehitetty useita erilaisia selluloosajohdannaisia, jotka rakenteestaan riippuen voivat toimia erilaisissa tehtävissä ruoka-aineissa. 2000-luvulla selluloosajohdannaisia on alettu tutkimaan terveysvaikutteisina elintarvikelisiä aineina erilaisten sairauksien ehkäisyssä ja kuitulisinä. Positiivisista vaikutuksista terveyteen on tehty erilaisia tutkimuksia, joiden perusteella selluloosan lisääminen ruokavalioon voi auttaa esimerkiksi tyypin 2 diabeteksen hallinnassa.

Työssä tutkittiin erilaisten selluloosajohdannaisten tärkeimpiä käyttökohteita sekä elintarvikelainsäädäntöä liittyen selluloosapohjaisiin lisäaineisiin ruoassa. Kandidaatintyössä tarkasteltiin myös ympäristönäkökulmaa sekä selluloosapohjaisten kuitujen vaikutusta ravitsemukselliseen turvallisuuteen. Kandidaatintyön painopiste oli mikrokiteisen selluloosan käytössä lihajalosteissa ja lihankorvikkeiden tuotekehityksessä.

LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

CMC	Karboksyylimetyyliselluloosa, selluloosakumi (carboxymethylcellulose)
CA	Selluloosa-asetatti (cellulose acetate)
DP	Polymeroitumisaste (degree of polymerization)
EC	Etyyliselluloosa (ethylcellulose)
EMC	Etyylimetyyliselluloosa (ethylmethylcellulose)
HPC	Hydroksipropyyliselluloosa (hydroxypropylcellulose)
HPMC	Hydroksipropyylimetyyliselluloosa (hydroxypropylmethylcellulose)
MC	Metyyliselluloosa (methylcellulose)
MCC	Mikrokiteinen selluloosa (microcrystalline cellulose)
NC	Nanoselluloosa (nanocrystalline cellulose)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	2
2	Hydrokolloidit.....	4
2.1	Selluloosa	5
2.2	Selluloosajauhe	7
2.3	Mikrokiteinen selluloosa.....	8
2.4	Muut selluloosajohdannaiset.....	9
2.4.1	Metyyliselluloosa MC.....	9
2.4.2	Hydroksipropyylimetyyliselluloosa HPMC	10
2.4.3	Karboksimetyyliselluloosa eli selluloosakumi, CMC.....	11
2.4.4	Etyyliselluloosa EC.....	13
2.4.5	Hydroksipropyyliselluloosa HPC.....	13
2.4.6	Metyylietyyliselluloosa MEC	14
2.4.7	Entsymaattisesti hydrolysoitu karboksimetyyliselluloosa	16
2.4.8	Nanoselluloosa	16
3	Mikrokiteisen selluloosan käyttö elintarviketeollisuudessa	17
3.1	Lainsäädäntö	18
3.2	Terveysvaikutukset ja saantisuositukset.....	19
3.3	Käyttökohteet	19
3.3.1	Mikrokiteinen selluloosa ja lihajalosteet	20
3.3.2	Mikrokiteisen selluloosan käyttö lihankorvikkeissa.....	21
3.4	Ympäristövaikutukset.....	22
4	Johtopäätökset.....	23
	Lähteet	24

1 Johdanto

Tämä kandidaatintyö käsittelee joidenkin selluloosapohjaisten hydrokolloidien käyttöä elintarviketeollisuudessa, keskittyen erityisesti mikrokiteiseen selluloosaan. Kandidaatintyössä tarkastellaan erilaisten selluloosapohjaisten hydrokolloidien ominaisuuksia sekä mikrokiteisen selluloosan rakennetta, hyödyntämistä elintarvikekäytössä ja sen mahdollisuuksia kasviproteiinipohjaisten lihankorvikkeiden tuotekehityksessä.

Ruokaviraston mukaan (Kestävät ruokavalinnat lautasella, 2018) viime vuosikymmeninä prosessoidun ruoan kehitys ja sen kuluttaminen ovat kasvaneet huomattavasti. Valmisruokien tai puolivalmisteiden käyttö on lisääntynyt, mutta kuluttajat ovat aiempaa kiinnostuneempia ostamiensa tuotteiden alkuperästä, laadusta ja ravintoarvoista. Erityisesti riittämätön kuidun saanti on ollut huolen aiheena viime vuosien yhteiskunnallisessa keskustelussa.

Suomalaisista naisista 76 % ja miehistä 67 % saa liian vähän ravintokuitua ruokavaliostaan. Runsaan kuitujen nauttimisen osana tasapainoista ruokavaliota on todettu vähentävän useiden sairauksien riskiä ja vaikuttavan positiivisesti elinajanodotteeseen. (Repo, 2019)

Samalla kun maapallon väkiluku on kasvanut, on maapallon ruoantuotantoalan rajoja pyritty venyttämään äärimmilleen, mikä taas on johtanut useisiin ympäristöongelmiin. Kasvipohjaisen ravinnon hyödyntäminen helpottaisi kasvavan väestömäärän ruokkimista ja olisi ympäristölle vähemmän kuormittavaa. (Ruuan ympäristövaikutukset, 2022)

Hydrokolloidit ovat aineita, jotka veden kanssa reagoidessaan muodostavat kolloidisia liuoksia tai geelimäisiä rakenteita. Tässä työssä tarkastellaan kasveista saatavasta selluloosasta valmistettavia hydrokolloidipolymeereja. (Phillips and Williams, 2009)

Selluloosa ja sen johdannaiset ovat yleisimmin puusta saatavia polysakkarideja, joita jatkojalostamalla voidaan saada laajalti erilaisia lisä- ja hyötyaineita elintarvikekäyttöön ja muuhun teollisuuteen. Käsittelemällä puhdistettua selluloosaa edelleen voidaan valmistaa mikrokiteistä selluloosaa, jolla on laajat mahdollisuudet elintarvikekäytössä, mutta jonka ominaisuuksia pyritään edelleen tutkimaan ja kehittämään. (Wüstenberg, 2015)

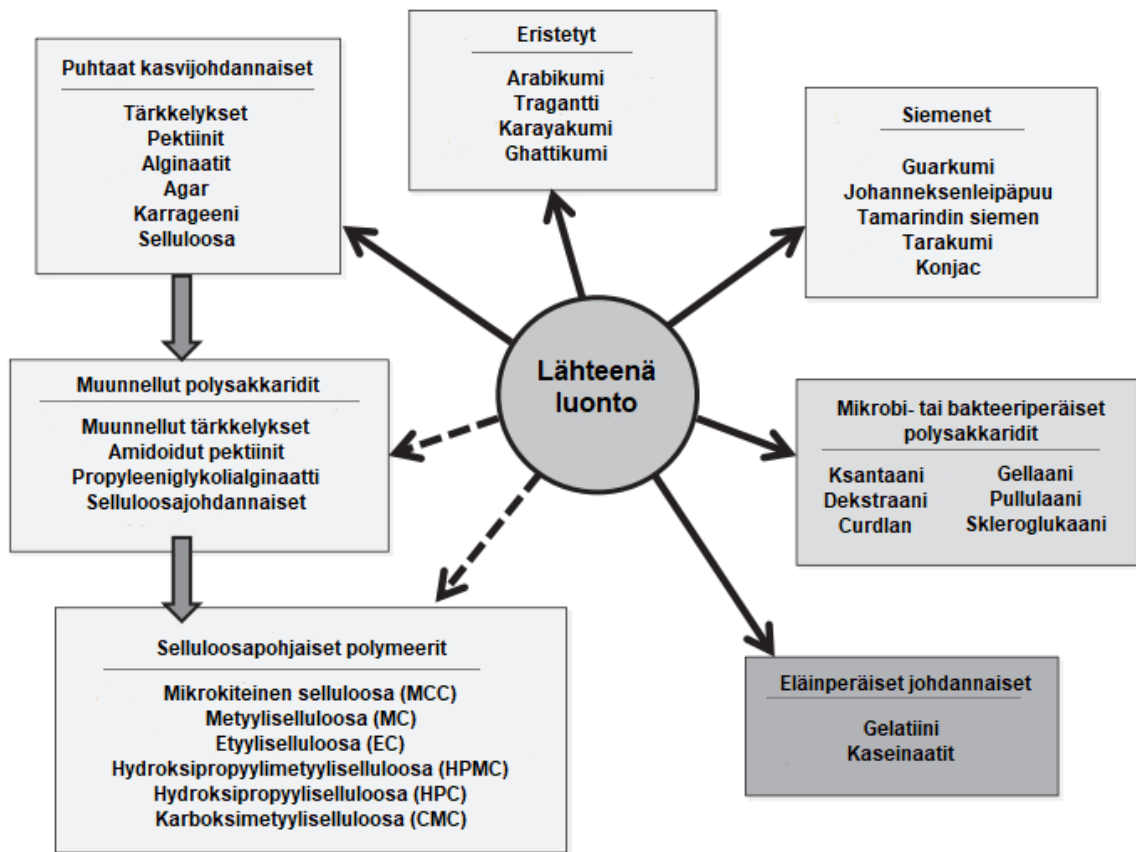
Kandidaatintyössä tutkitaan, voidaanko mikrokiteistä selluloosaa tulevaisuudessa hyödyntää lihaa korvaavien proteiininlähteiden tuotekehityksessä. Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena.

2 Hydrokolloidit

Termi ”hydrokolloidi” tulee kreikan sanoista hydro ”vesi” ja kolla ”liima”. Hydrokolloidit ovat kolloidisia aineita, joilla on affiniteetti veteen. Kemiallisesta näkökulmasta ne ovat hydrofiilisiä makromolekyylejä. Jotkin ovat vesiliukoisia ja muodostavat kolloidisia liuoksia, mutta jotkin vain turpoavat vedessä ja voivat hajota ainoastaan ulkoisen voiman avulla. Hydrokolloidit tuottavat veden kanssa reagoidessaan viskoosisia liuoksia, geelejä ja pseudogeelejä. Niiden heterogeeniset ryhmät koostuvat polysakkarideista ja proteiineista (Wustenberg 2015). Hydrokolloidit eroavat hydrogeeleistä siinä, että hydrogeelit ovat hydrofiilisiä silloitettuja polymeereja, jotka eivät liukene veteen. Hydrokolloidit sen sijaan muodostavat geelin sekoituessaan veden kanssa. (Madhu, 2021)

Selluloosasta valmistetuille hydrokolloideille on tyypillistä lämpötilaan liittyvä geelityminen. Geelitymisen voimakkuus lämpötilan vaihtuessa riippuu hydrokolloidin tyypistä sekä siitä, millaiset ovat sen liuottimen ominaisuudet johon hydrokolloidia sekoitetaan. Elintarvikkeiden valmistuksessa tästä on hyötyä, kun halutaan valmistaa vähäkalorisia, gluteenitomia tai hiilihydraatittomia tuotteita, joiden maku on silti aidon tuotteen kaltainen. Ilman geelitymistä ja sen aikaansaamaa rakenteen muutosta gluteenin aiheuttaman sitkon tai lihan verkkomaisen rakenteen jäljittely olisi selvästi haastavampaa. (Saha ja Bhattacharya, 2010)

Käytetyimpiä selluloosapohjaisia hydrokolloideita ovat selluloosajauhe ja mikrokiteinen selluloosa. Elintarviketeollisuudessa käytetään laajalti myös muita, ei-selluloosapohjaisia hydrokolloideita, kuten ksantaanikumia, liivatetta ja agar agaria (kuva 1). Näiden ongelmana on kuitenkin niiden sopimattomuus esim. vegaaniruokavalioon tai allergisoiminen joillakin kuluttajilla. Mikrokiteisen selluloosan kohdalla allergiatapauksia on havaittu huomattavasti harvemmin. (Paz Lansberg et al. 2016)



Kuva 1. Luonnosta peräisin olevia hydrokolloideja (Wüstenberg, 2015)

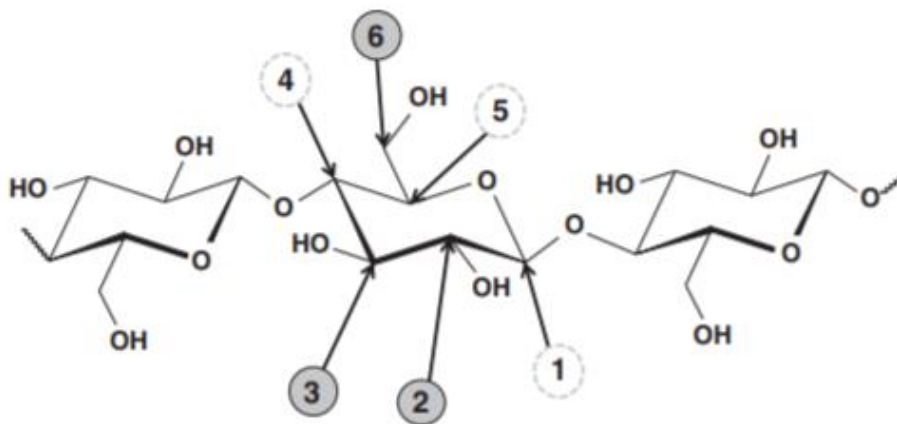
2.1 Selluloosa

Selluloosa on maapallon yleisin orgaaninen polymeeri, joka koostuu pitkien glukoosiyksiköiden muodostamista hiilihydraattiketjuista. Selluloosa puumateriaalista erillisenä aineena mainittiin ensimmäisen kerran vuonna 1838, kun ranskalainen kemisti Anselme Payen tutki kasvikuitujen käsittelyä hapoilla ja ammoniakilla. Hänen käsiteltyään saatu kuitua väkevällä rikkihapolla, Payen huomasi hajottaneensa selluloosan lyhytkejuisemmiksi hiilihydraattimolekyyleiksi ja ymmärsi siten, että selluloosa on rakenteeltaan polysakkaridi. (Klemm, D. et al. (2005))

Ulkoiselta rakenteeltaan selluloosa on vaaleaa, höytyväistä ainetta. Rakenteeltaan selluloosa on polydispersinen, lineaarinen anhydroglukoosirenkaista koostuva molekyyli, joka on yhteenliittynyt asetaalisidoksin. Raakaselluloosa koostuu kolmesta reaktiivisesta hydroksyyli ryhmästä jokaista anhydroglukoosin monomeeria kohden. Selluloosamolekyylit ovat siis

satunnaisesti orientoituneita ja niillä on taipumus muodostaa vetysidoksia. Nämä hydroksyyliyhdytymät ovat paikkoja, joissa alkylointireaktiolla on mahdollisuus tapahtua ja näin aikaansaada selluloosaeettereitä. Kuvassa 2 on esitetty reaktiivisten OH-ryhmien sijainti selluloosamolekyylissä. Muitakin kemiallisia reaktioita, kuten selluloosan reagoitua orgaanisten ja epäorgaanisten happojen kanssa tapahtuu OH-ryhmän rakenteen läsnäollessa. (Rowell, 2021)

Useimpien puulajien kuivarakenteesta noin 40–45 % koostuu selluloosasta. Vaikka selluloosan kemiallinen koostumus on tunnettu jo yli 150 vuoden ajan, sen tarkka molekyyli rakenne kuten sen kristallinen ja säikeinen rakenne on edelleen keskustelun aiheena (Sjöström, 1993). Elintarviketeollisuudessa käytetty selluloosa on niin kutsutussa α -selluloosamuodossa, joka on selluloosan muoto, jota on käsitelty puuaineksesta erottamisen jälkeen mahdollisimman vähän. Selluloosa on α -muodossa vain mekaanisesti hajotettua ja puhdistettua. (Tristantini et al., 2017)



Kuva 2. Hydroksyyliyhdytymien sijainti selluloosamolekyylissä (Wüstenberg, 2015)

Selluloosajohdannaisien suurta määrää selittää se, että raaka-aineena selluloosa on monipuolinen molekyyli. Muunneltujen selluloosien ominaisuuksiin vaikuttavat erityisesti kolme päätekijää. Nämä ovat selluloosan substituutiotyyppi, selluloosamolekyylien keskimääräinen molekyylikoko ja -ketjun pituus tai polymeroitumisaste ja ketjun substituutioaste. Ketjun molekyylien hiukkaskoko voi vaihdella. Hiukkaskoon jakauma ja selluloosasta valmistettujen jauheisten tuotteiden bulkkitiheys vaikuttavat sen liukenemisominaisuuksiin. (Phillips ja Williams, 2009)

Kaikki muunnetussa muodossa olevat selluloosat niin jauheena kuin rakeisenakin aineena reagoivat herkästi ilmakehässä olevan kosteuden kanssa ja kykenevät imemään vettä itseensä. Tämän reagoitokyvyn takia erilaisia hydrokolloideja voidaan käyttää vettä sitovana aineena erilaisissa elintarvikkeissa. Vedenimemiskyvyn ansiosta ne tulee kuitenkin ruokajalosteissakin säilyttää ilmatiiviissä pakkauksissa (Rowell, 2021)

2.2 Selluloosajauhe

Selluloosajauhetta valmistetaan α -selluloosasta puhdistamalla se ja hajottamalla se mekaanisesti. Ulkonäöltään selluloosajauhe on vaaleaa, kuitumaista ja höytyväistä ainetta. Selluloosajauhetta käytetään elintarviketeollisuudessa täyteaineena tai paakkuuntumisenestoaineena esimerkiksi juustoraasteissa. Lisäksi selluloosajauhetta käytetään stabilointiaineena esimerkiksi liha- ja kalavalmisteissa ja ei-syötäväksi tarkoitettujen makkaransuolten rakenneaineena. (Turkki, 2018)

Tarté (2009) kertoo, että selluloosajauhe on yksi ensimmäisistä markkinoilla olleista kaupallisesti saatavista elintarvikekäyttöön tarkoitetuista selluloosatuotteista. Selluloosajauheen valmistus tapahtuu keittämällä puhdistettua kasvimateriaalia emäksisessä liuoksessa rikkiyhdisteiden kanssa korkeassa lämpötilassa ja paineessa. Kuuma kaustinen liuos poistaa ligniinin ja muut yhdisteet, joita lopputuotteeseen ei haluta. Tuloksena saatu kuitumassa valkaistaan, kuivataan ja jauhetaan haluttuun kidekokoon. Ruoan ravintokuituihin erikoistuneen yrityksen JRS:n (2022) mukaan selluloosakuidun kidekoko vaihtelee 20 ja 500 μm kuitupituuden välillä.

Kaupallisesti selluloosajauhetta on saatavilla useina erilaisina tuotemuunnelmina, joissa suurin eroavaisuus on kuitujen pituus. Kyky absorboida vettä riippuu jonkin verran kuidun pituudesta, sillä pidemmät kuidut sitovat itseensä enemmän vettä kuin lyhyemmät kuidut. Tämä johtuu kuitujen sisällä tapahtuvasta kapillaari-ilmiöstä. Selluloosajauhetta voidaan myös jatkojalostaa muiden selluloosajohdannaisien, kuten metyylliselluloosan tai karboksimeyylliselluloosan valmistamiseksi. (Tarté, 2009)

Tulevaisuudessa selluloosajauhetta voidaan hyödyntää elintarvikkeiden 3D-tulostuksessa si-deruiskutusmenetelmässä, jossa ksantaanin vesiliuosta käytettiin ruiskutettavana sideaineena ja selluloosajauhetta jauhemaisena tulostusmateriaalina. 3D-tulostusta ja sen

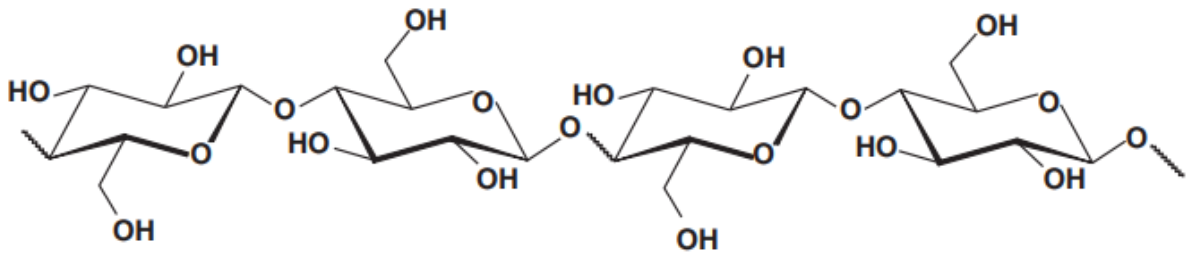
sovelluksia hyödynnetään tulevaisuudessa suihkutukseen liittyvässä elintarvikkeiden lisäainevalmistustekniikassa, jossa kidekooltaan säädeltyjä hiukkasia ja mustetta käytetään elintarviketeollisuuden tarvitsemien rakenteiden luomiseen. (Holland et al., 2018)

2.3 Mikrokiteinen selluloosa

Mikrokiteinen selluloosa on elintarviketeollisuuden käytetyin selluloosajohdannainen. Sitä on viime vuosina tutkittu laajalti elintarvikekäytössä, keskittyen erityisesti sen käyttöön toiminnallisena lisäaineena. Mikrokiteisellä selluloosalla uskotaan olevan useita lupaavia mahdollisuuksia funktionaalisten elintarvikkeiden tuotekehityksessä. (Nsor-Atindana J. et al., 2017)

Ulkoiselta rakenteeltaan mikrokiteinen selluloosa on jauhemaista selluloosatuetta, jota voidaan valmistaa kaikista luonnon selluloosalähteistä, alkaliselluloosasta, regeneroidusta selluloosasta sekä substituutioselluloosajohdannaisista. (Vanhatalo et al., 2014)

Selluloosakuidut koostuvat useista miljoonista mikrofibrilleistä. Yksittäinen mikrofibrilli koostuu kahdenlaisista ketjusegmenteistä, joista osa on parakiteisiä eli amorfisia joustavia sidoksia ja osa kiteisiä osia. Tämän takia selluloosamolekyylillä sisältää sekä happo- että emäsherkkiä sidoksia. Poistamalla hydrolyyttisesti nämä epästabiilit sidokset amorfisilla alueilla, syntyy mikrokiteistä selluloosaa. Mikrokiteisen selluloosan rakenteelle on tunnusomaista suuri kiteisten vyöhykkeiden osuus, joita molekyylissä on noin 70 % kun amorfisia vyöhykkeitä on noin 30 %. Hydrolyyttisesti käsittelemättömässä selluloosassa osuuksien suhde on 45 % ja 55 %. Mikrokiteisen selluloosan kemiallinen koostumus on hyvin samankaltainen kuin alkuperäisen selluloosan kemiallinen koostumus. Kuvan 3 mukainen mikrokiteinen selluloosamolekyylillä on lineaarinen, haarautumaton β -D-glukoosimonomeereistä 1–4 sidoksin koostuva ketju. (Wüstenberg, 2015)



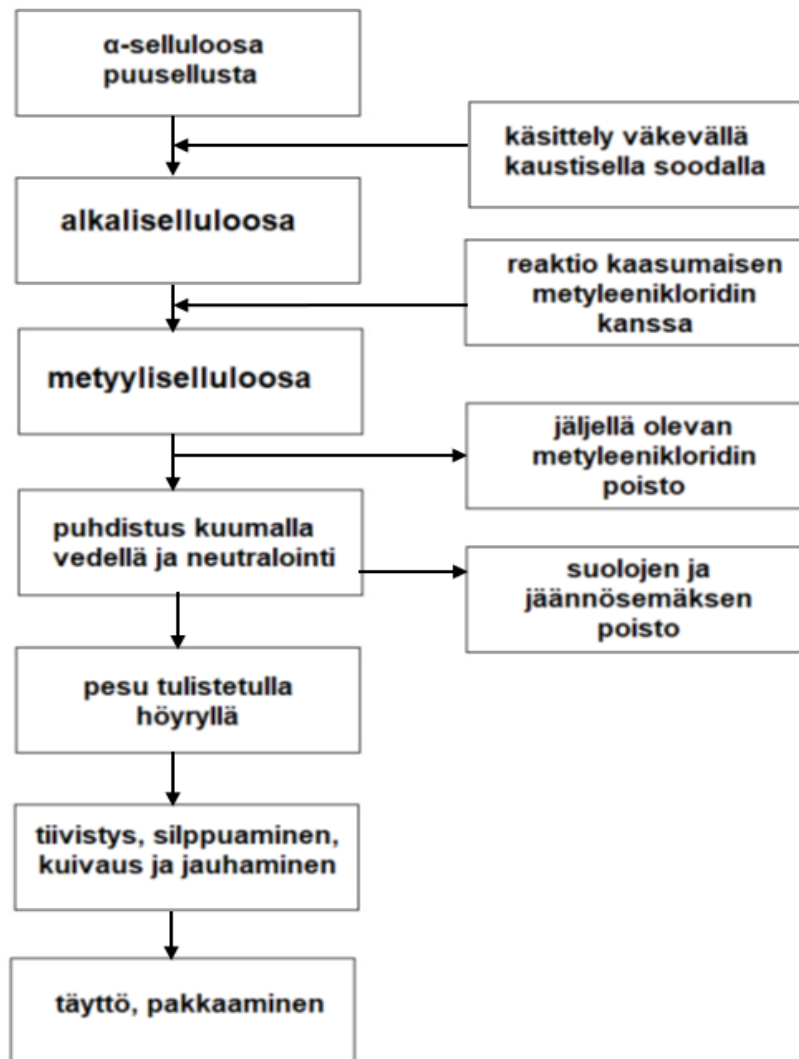
Kuva 3. Mikrokiteisen selluloosamolekyylin rakenne (Wüstenberg, 2015)

2.4 Muut selluloosajohdannaiset

Muita elintarviketeollisuudessa käytettäviä selluloosasta saatavia johdannaisia ovat esimerkiksi metyyliiselluloosa (MC), hydroksipropyylimetyyliiselluloosa (HPMC) ja karboksimeyyliiselluloosa (CMC), sekä etyyliiselluloosa (EC) ja hydroksipropyliiselluloosa (HPC). Näitä selluloosajohdannaisia käytetään hyvin laaja-alaisesti erilaisiin toimintoihin elintarviketeollisuudessa sen mukaan, millaisia ominaisuuksia tietyissä sovelluksissa halutaan hyödyntää.

2.4.1 Metyyliiselluloosa MC

Metyyliiselluloosamolekyylin perusrakenteen muodostaa polysakkaridiselluloosasta koostuvat molekyylit, joissa on 1–4-sidottu β -D-glukoosiyksikkö. Noin kaksi kolmesta vapaasta hydroksyyliiryhmästä on korvautunut metyyliiryhmillä. Metyyliiselluloosaa käytetään elintarvikkeissa sidosaineena erityisesti valmistuksen aikana. (Philp, 2018) Sen termistä geelitymistä käytetään hyväksi emulgoidessa rasvapitoisia seoksia ja valmistuksen jälkeen koossapitävänä agenttina (Wüstenberg, 2015). Kuvassa 4 on esitelty elintarvikelaatuisen metyyliiselluloosan valmistusprosessi päävaiheissaan.



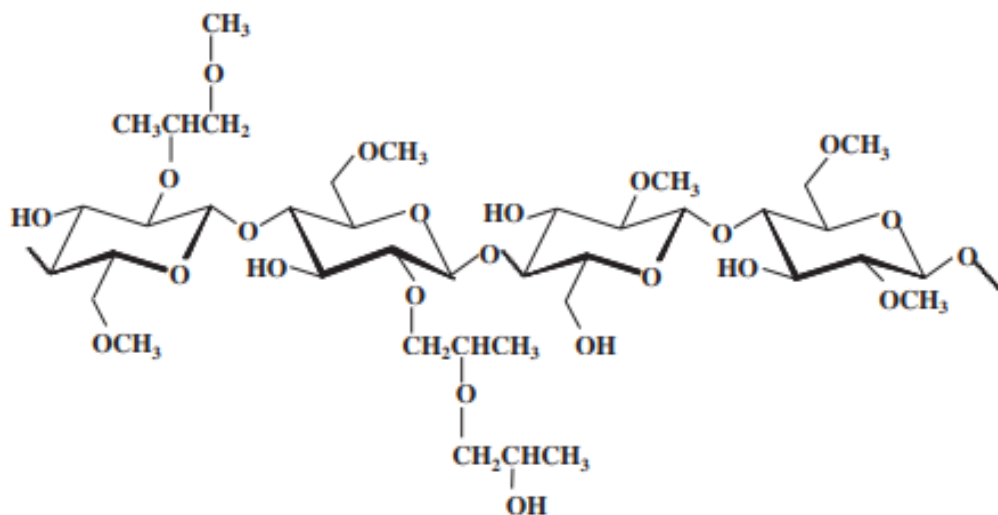
Kuva 4. Elintarvikelaatuisten metyyliselluloosan tuotanto (Wüstenberg, 2015)

2.4.2 Hydroksipropyylimetyyliselluloosa HPMC

Hydroksipropyylimetyyliselluloosan aineominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset kuin metyyliselluloosan. Sekä HPMC että metyyliselluloosa ovat liukoisia kylmään veteen, ja niillä on laaja viskositeettialue. Hydroksipropyylimetyyliselluloosa geeliiytyy kuumennettaessa kun liuoksen lämpötila on nostettu sen pisteen yläpuolelle, jota kutsutaan alkavaksi geelilämpötilaksi. (Murray, 2009)

Hydroksipropyylimetyyliselluloosaa valmistetaan eetteröimällä kasvikuituja osittain pienellä määrällä substituoituja hydroksipropyyliryhmiä. Valmistuksen aikana lisätään myös propyleenioksidia pieni määrä. (Wüstenberg, 2015)

Hydroksipropyyliryhmän lisääminen selluloosamolekyylin parantaa sen liukoisuutta ja nostaa geeliytymislämpötilaa. Koostumukseltaan hydroksipropyylimetyyliselluloosassa on selluloosarunko, joka koostuu β -D-glukoosimonomeereista, joissa on 1–4-sidos. Kolme vapaata hydroksyyliiryhmää on osittain eetteröity metyyliiryhmillä. Kuvassa 5 on esitetty hydroksipropyylimetyyliselluloosamolekyylin rakenne.



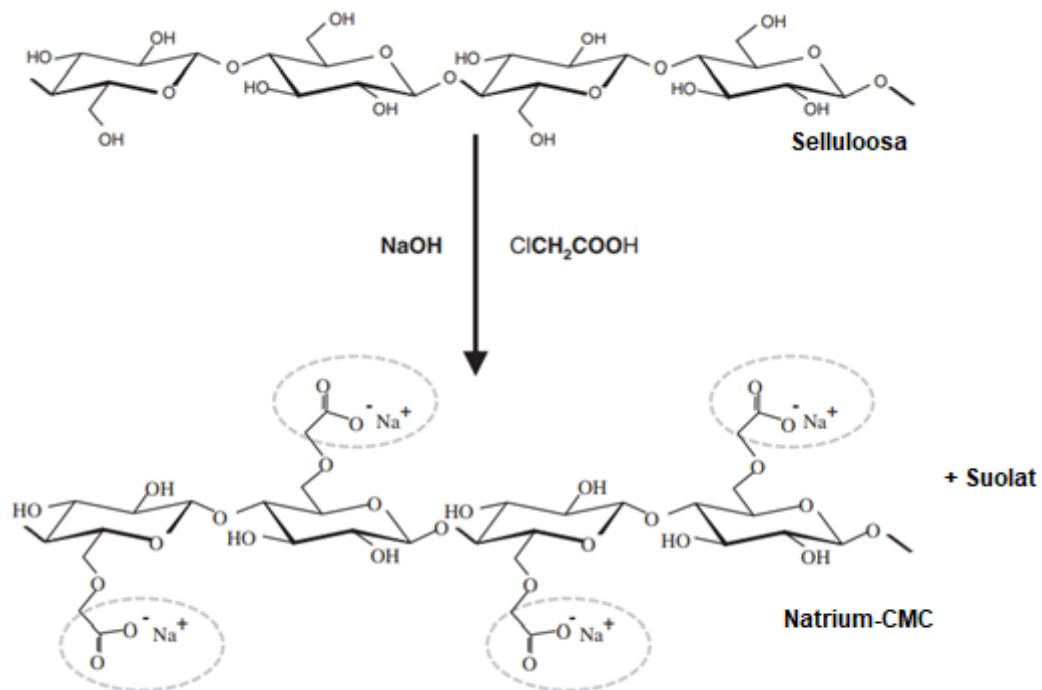
Kuva 5. Hydroksipropyylimetyyliselluloosa (Wüstenberg, 2015).

2.4.3 Karboksिमetyyliselluloosa eli selluloosakumi, CMC

Karboksिमetyyliselluloosaa eli natriumkarboksिमetyyliselluloosa on selluloosan karboksिमetyylieetterin natriumsuola. Natriumkarboksिमetyyliselluloosan eli CMC:n valmistus kehitettiin ensimmäisen maailmansodan jälkeen ja sitä on valmistettu suuremmassa teollisessa mittakaavassa vuodesta 1935. Rakenteeltaan CMC-molekyylin on polymeeri, jossa on β -D-glukoosiyksiköiden muodostama emäs, jonka vapaat hydroksyyliiryhmät ovat osittain substituotuneet karboksिमetyyliryhmillä. (Wüstenberg, 2015)

CMC valmistetaan käsittelemällä α -selluloosaa natriumhydroksidin vesiliuoksella ja seuraavaa reaktiota monokloorietikkahapon tai sen natriumsuolan kanssa. Rinnakkaisessa

reaktiassa sivutuotteet natriumkloridi ja natriumglykolaatti muodostuvat eetteröintikemikaaleista vapaalla natriumhydroksidilla. Suolojen puhdistus ja poistaminen halutusta loppuotteesta suoritetaan liuottimien, kuten veden avulla. (Damodaran et al. 2017) Kuvassa 6 on esitetty karboksimeetyliselluloosan muodostuminen, kun selluloosaa käsitellään natriumhydroksidilla ja monokloorietikkahapolla.



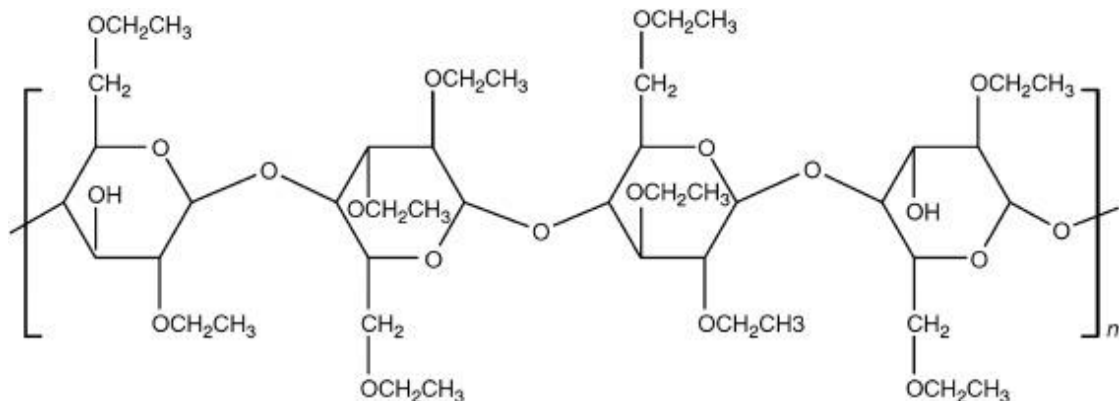
Kuva 6. Karboksimeetyliselluloosan muodostuminen selluloosamolekyylistä (Wüstenberg, 2015)

Karboksimeetylointiprosessin lopussa CMC:n on oltava neutraloitua, koska siihen jää pieniä määriä ylimääräistä natriumhydroksidia. Vaikka natriumkarboksimeetyliselluloosan neutralointipiste sijaitsee heikosti emäksisellä alueella pH-arvon 8,25 tuntumassa, säädetään pH yleensä lähemmäs arvoa 7–7,5. Jos karboksimeetyliselluloosan pH-arvo säädetään arvoon 6 tai alle sen ollessa vielä kosteaa, sen liukoisuusominaisuudet kärsivät jatkojalostusta ajatellen. CMC:n valmistusprosessin viimeisessä vaiheessa se kuivataan ja lopulta jauhetaan haluttuun hiukkaskokoon. (Wüstenberg, 2015)

2.4.4 Etyyliselluloosa EC

Kirjassaan ruoan aineosista (2011) R. Igoe mainitsee, että etyyliiselluloosa eli selluloosan etyylietteri on selluloosapohjaisista hydrokolloideista kaikista huonoiten veteen liukenevaa, minkä takia sitä käytetään laajalti myös elintarvikepakkauksiin ja muihin ei-syötäviin elintarviketeollisuuden tuotteisiin. Elintarviketeollisuudessa etyyliiselluloosaa käytetään eniten lääkkeiden ja vitamiinitablettien suojapäälysteiden komponenttina. Rakenteeltaan se on selluloosaeetteri, joka koostuu eetterisidoksella kiinnittyneistä etoksiryhmistä. Sen vapaat hydroksyyliiryhmät ovat korvautuneet lähes kokonaan etyyliryhmillä.

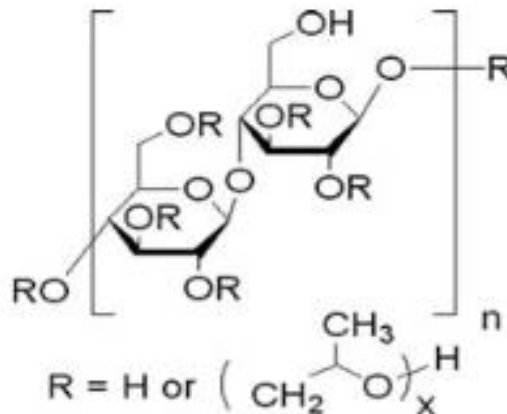
Etyyliiselluloosan tuotantoprosessi on kehitetty vuonna 1928, minkä jälkeen se on säilynyt edelleen lähes muuttumattomana. Suurin osa teollisuudessa tuotetusta etyyliiselluloosasta on tyypiltään veteen liukenematonta ja voimakkaasti eetteröityä, sillä vesiliukoisen etyyliiselluloosan valmistuksen on todettu olevan kannattamatonta halvempien korvaavien vaihtoehtojen vuoksi. (Wüstenberg, 2015) Kuvassa 7 on esitetty osa etyyliiselluloosamolekyylistä.



Kuva 7. Osa etyyliiselluloosan rakenteesta (Brady, et al., 2017)

2.4.5 Hydroksipropyyliselluloosa HPC

Hydroksipropyyliselluloosa on suoraan perusmuotoisesta α -selluloosasta valmistettua ainetta, joka saadaan eetteröimällä selluloosaa hydroksipropyyliryhmien kanssa. Hydroksipropyyliselluloosa ilmestyi markkinoille 1960-luvulla. Kuva 8 esittää hydroksipropyyliselluloosan rakennekaavaa.



Kuva 8. Hydroksipropyyliselluloosan rakennekaava (Rwei ja Lyu, 2012)

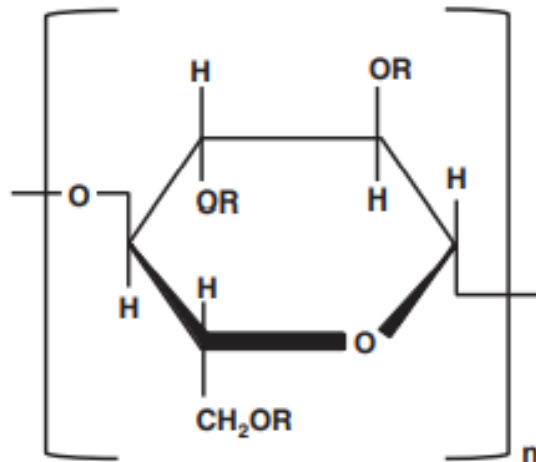
Hydroksipropyyliselluloosa on liukoinen myös kylmään veteen ja sen viskositeettialue riippuu DPstä. HPC muuttuu veteen liukenemattomaksi noin 45 °C lämpötilassa, mutta sillä ei ole MC:n ja HPMC:n kaltaisia geeliytymisominaisuuksia. Hydroksipropyyliselluloosa eroaa olennaisesti muista selluloosapohjaisista hydrokolloideista siinä, että se liukenee sekä väkeviin etanoliliuoksiin että laimeampiin veden ja etanolin seoksiin. Elintarvikekemiallisessa mielessä HPC:n tärkeimmät ominaisuudet ovat kuitenkin sen kalvonmuodostuskyvyssä ja korkeassa pinta-aktiivisuudessa muihin hydrokolloideihin verrattuna.

2.4.6 Metyylietyyliselluloosa MEC

Metyylietyyliselluloosa on selluloosan sekamuotoinen eetteröintituote. Se liukenee myös kylmään veteen ja muodostaa kuumennettaessa heikkoja geelejä. Elintarviketeollisuudessa MEC on kuitenkin käytössä eniten pinta-aktiivisuuden lisääjänä ja siten vatkaattavien tuotteiden apuaineena erityisesti proteiinipitoisissa tuotteissa. (Phillips ja Williams, 2009)

Wüstenbergin (2015) mukaan MEC:n yleisimmät käyttökohteet ovat esimerkiksi täytteissä, mousseissa ja valmistaikinoissa, sillä metyylietyyliselluloosan lisääminen vatkausta vaativiin tuotteisiin auttaa saamaan pisarakooltaan hienompia vaahtoja. Liuokset voidaan myös vatkata uudelleen, vaikka vaahton annettaisiin palata nesteeksi seisomisen jälkeen. Monet MEC-vaahdot ovat yhteensopivia yleisten elintarvikkeiden, kuten kananmunankeltuaisen

kanssa. Rakenteeltaan metyylietyyliselluloosa on pitkäketjuinen β -D-glukoosimonomeerien ketju, jossa monosakkaridimolekyylissä glukoosin kolme vapaata hydroksyyliiryhmää on substituoitu etyyli- tai metyyliiryhmillä. Kuvassa 9 on esitetty metyylietyyliselluloosan rakennekaava.



Kuva 9. Metyylietyyliselluloosan rakenne, jossa $R = H, CH_3$ tai C_2H_5 (Wüstenberg, 2015)

Kylmään veteen sekoitettuna MEC muodostaa kolloidisia liuoksia. Samoin kuin kaikkien muiden eetteröityjen selluloosajohdannaisien kohdalla, sen vesiliukoisuus riippuu substituutioasteesta. Jos MEC on heikosti substituoitu, se muodostaa sameita liuoksia ja heikkoja geelejä kuumennettaessa. Vahvemmin substituoitu metyylietyyliselluloosa on liukoista lämpötilaltaan alhaisemmissakin vesiliuoksissa. (Wüstenberg, 2015)

Wüstenbergin (2015) mukaan muista selluloosajohdannaisista metyylietyyliselluloosan erottaa siis erityisesti sen liukoisuus kylmään veteen, substituutioasteesta riippuva geeliytyminen sekä kyky muodostaa pitkäkestoisia vaahtoja. MEC on metyyliiselluloosaa pinta-aktiivisempi ja liukenee etanoliin toisin kuin metyyliiselluloosa. Ravitsemuksellisesti metyylietyyliselluloosan on todettu olevan ihmiskehossa liukenemattoman kuidun lailla reagoivaa, eikä sille ole Euroopan Unionissa määritelty enimmäisrajoitusta.

2.4.7 Entsymaattisesti hydrolysoitu karboksimeytyyliselluloosa

Entsymaattisesti hydrolysoitua karboksimeytyyliselluloosaa valmistetaan pilkkomalla natriumkarboksimeytyyliselluloosa sellulaasien avulla. Käytettävä sellulaasi on tyypillisimmin *Ascomycete Trichoderma longibraciatum* -niminen entsyymi. Käsittelyn seurauksena karboksimeytyyliselluloosan molekyyli rakenne muuttuu niin, että sen paksuntamisominaisuudet heikentyvät huomattavasti ja geeliytymistä voi olla vaikea havaita vesiliuoksissa. Hydrolysoitu karboksimeytyyliselluloosa liukenee erittäin hyvin veteen, eikä muodosta geelejä. Koska tuote on niin hyvin vesiliukoinen, se sopii hyvin yhdistettäväksi muiden polymeerirakenteisten aineiden kanssa, esimerkiksi proteiinien tai rasvojen. Yleisesti sitä käytetään samoissa sovelluksissa kuin perinteistä kemiallisesti hydrolysoitua karboksimeytyyliselluloosaa. (Wüstenberg, 2015)

2.4.8 Nanoselluloosa

Nanoselluloosa eli mikrofibrilloitu selluloosa MFC koostuu nanokokoisista selluloosafibrilleistä, joilla on korkea pituus-leveysuhde. Tyypilliset lateraaliset mitat ovat leveydeltään 5–20 nanometriä ja pituus kymmenistä nanometreistä useihin mikroneihin. Nanoselluloosaluokset ovat pseudoplastisia ja nanoselluloosalla on geeliytymiseen ja viskositeetiltaan korkeisiin nesteisiin liittyviä ominaisuuksia, jotka ovat normaaliolosuhteissa paksuja ja viskoosisia, mutta muuttuvat virtausominaisuuksiltaan ohuemmiksi ajan myötä tai kun ainetta ravistellaan tai sekoitetaan. Tällaista ominaisuutta kutsutaan tiksotropiaksi. (Wüstenberg, 2015)

Biomassasta saatavilla nanoselluloosatuotteilla on suuri merkitys uusiutuvan nanoteknologian alalla. Tämä johtuu nanoselluloosan poikkeuksellisesta fysikaalisesta rakenteesta ja sen biohajoavuudesta. Selluloosan nano- ja makrokuituja voidaan käyttää nanokomposiittina esimerkiksi tuotteissa, joissa hyvä lämmönjohtavuus on tarpeen. (Wasim et al., 2021)

Wasim et al., (2021) kertovat tutkimuksessaan, että nanoselluloosaa valmistetaan irrottamalla mekaanisesti puupohjaisesta kuidusta massaa, joka edelleen hajotetaan pienemmiksi nanokuiduiksi. Prosessi tapahtuu usein korkeapaineisilla homogenisaattoreilla, mikrofluidisaattoreilla tai jauhatuslaitteilla. Menetelmän haittapuolina on se, että se vaatii suuren määrän energiaa, minkä vuoksi usein reaktiota parannetaan selluloosa-aineoksen entsyymaattisella

tai mekaanisella esikäsitteilyllä, joka pienentää valmistuksen energiankulutuksen 30 MWh:sta tonnilta alle 1 MWh per tuotettu tonni nanoselluloosaa.

Elintarvikelaki (297/2021) määrittelee, että nanopartikkeleita sisältävien aineiden käyttö elintarvikkeiden apuaineina on kielletty. Tämän takia nanoselluloosan käyttömahdollisuudet elintarviketeollisuuden alalla ovat kalvorakenteissa ja esimerkiksi tablettien päällysteissä (Wasim et al., 2021).

3 Mikrokiteisen selluloosan käyttö elintarviketeollisuudessa

Mikrokiteistä selluloosaa voidaan käyttää elintarviketeollisuudessa monessa eri roolissa. MCC:n kolloidista muotoa voidaan käyttää esimerkiksi makkaroissa rasvankorvaajana ja sidosaineena. Koska mikrokiteisen selluloosan käyttö elintarviketeollisuudessa on suurempaa kuin muiden elintarvikekäyttöön tarkoitettujen selluloosajohdannaisten, sitä käsitellään tässä työssä omassa alaluvussaan.

Mikrokiteisestä selluloosasta valmistetut geelit käyttäytyvät tiksotrooppisesti, eli geelin viskositeetti pienenee ulkoisten leikkausvoimien vaikutuksesta. Jos geelin annetaan levätä jonkin aikaa, alkuperäinen viskositeetti voidaan saavuttaa lähes täydellisesti. Jos mikrokiteistä selluloosaa käytetään happamissa olosuhteissa, jossa pH-arvo on alle 4,5, suositellaan seokseen lisättäväksi suojaavaa kolloidainesta, joka estää hapon aiheuttamaa flokkuloitumista liuoksessa. Tällaisena suojaavana kolloidina käytetään esimerkiksi ksantaanikumia. (Wüstenberg, 2015)

Mikrokiteiselle selluloosalle on ominaista sakeuttaa veden ja öljyn liuoksissa öljypallojen välistä vesifaasia, joka estää öljypallojen yhteensulautumista ja lähentymistä. Tämän ominaisuuden takia mikrokiteistä selluloosaa voidaan hyödyntää tuotteissa, jotka vaativat hyvää stabiilisuutta ja samanaikaisesti korkeampaa viskositeettia, kuten salaatinkastikkeissa. Veteen dispergoitujen kolloidisten MCC-tuotteiden reologisia ominaisuuksia on käytetty imitoimaan rasvaa myös muissa elintarviketeollisuuden tuotteissa. Lisäämällä mikrokiteistä selluloosaa kiinteisiin ja nestemäisiin elintarvikkeisiin on saatu öljyn ja rasvan määrää

vähennettyä säilyttäen samalla rasvalle ominaiset fysikaaliset ja reologiset ominaisuudet. (Wüstenberg, 2015)

3.1 Lainsäädäntö

Euroopan Unionin jäsenmaissa joidenkin selluloosajohdannaisten käyttö on sallittua elintarvikekäytössä väri- ja makeutusaineisiin liittyvän direktiivin 95/2/EY perusteella. EU-direktiivin mukaisesti joillekin selluloosatuotteille on annettu taulukon I mukaiset E-koodinumerot. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 95/2/EY)

Taulukko I. Selluloosatuotteiden E-koodeja (Wüstenberg, 2015)

Tuote	E-koodi
Hydroksipropyylimetyyliselluloosa	E464
Hydroksipropyyliselluloosa	E463
Karboksimetyyliselluloosa	E466
Metyylietyyliselluloosa	E465
Metyyliselluloosa	E461

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (2008/84/EY) määrittelee elintarvikelaatuisten materiaalien puhtausstandardit. Kolloidimuotoista mikrokiteistä selluloosaa on jo vuosien ajan kutsuttu Euroopan Unionissa nimellä ”selluloosageeli”. Sen E-koodinnumero on E460. Mikrokiteisen selluloosan toiminnallista tehtävää elintarvikkeissa on kuvailtu täyteaineena, stabilointiaineena tai kantaja-aineena. Käsittelemättömissä tuotteissa ja vauvanruoassa mikrokiteisen selluloosan käyttö on kiellettyä. Niissä ruoissa, joissa mikrokiteisen selluloosan käyttäminen lisäaineena on sallittua, ei ole määritelty erityistä päivittäissaannin ylärajaa.

MCC:n, kalsiumalginaatin, pektiinin, guarkumin ja CMC:n kanssa käytetyt kopolymeerit on myös lueteltu direktiivin 95/2/EY liitteessä I ja ne on hyväksytyt käytettäväksi E-numeroilla E 404 a, E 440, E 412 ja E 466. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 95/2/EY)

3.2 Terveysvaikutukset ja saantisuositukset

Nsor-Atindana et. al. (2017) mukaan selluloosan on tutkitusti todistettu olevan terveyttä edistävä lisäaine elintarvikkeissa, sillä se toimii elimistössä ravintokuidun tavoin. Veteen liukenemattoman mikrokiteisen selluloosan on huomattu edistävän suoliston toimintaa ja vähentävän tyydyttyneiden rasvahappojen ja transrasvahappojen imeytymistä elimistöön rasvaista ruokaa nautittaessa. Hiirillä ja rotilla tehdyissä laboratoriokokeissa MCC:n todettiin myös alentavan ruokailun jälkeistä verensokerin nousua huomattavasti, joskaan ihmiskokeissa ei samaa tulosta saatu aikaiseksi.

Mikrokiteinen selluloosa pysyy suoliston alussa lähes liukenemattomana, mutta syvemmillä suolistossa reagoi ja muodostaa lyhytketjuisia rasvahappoja, jotka yhdessä MCC:n rakenteen aiheuttaman viskositeetin kasvamisen kanssa toimivat suolen sisällön liikkuvuutta edistävänä tekijänä. Tämän lisäksi mikrokiteisen selluloosan aiheuttama kaasunmuodostus suolistossa havaittiin muita kuituja vähäisemmäksi. (Turkki, 2018)

Alkuperäinen selluloosa on itsessään täysin liukenematonta ihmiselimistössä. Mikrokiteinen selluloosa koostuu vain näistä liukenemattomista kuiduista, minkä takia se toimii erittäin hyvänä ravintokuidun lähteenä. Mikrokiteisen selluloosan valmistusprosessissa hydrolysointi ei muuta selluloosakuitujen käyttäytymistä ihmiselimistössä tai lisää sen energiasisältöä, joten mikrokiteistä selluloosaa voidaan pitää myös täysin kalorittomana elintarvikelisiä aineena. Mikrokiteisen selluloosan lisääminen tuotteeseen ei vaikuta sen ravintoarvoihin. (Wüstenberg, 2015)

3.3 Käyttökohteet

Mikrokiteistä selluloosaa käytetään jo useissa ruokatuotteissa. Sen ominaisuudet mahdollistavat sen käytön useissa eri elintarviketeollisuuden sovelluksissa toimien monessa eri

tehtävässä kuten rasvankorvikkeena tai kuitulisänä. Taulukossa II on kuvattu mikrokiteisen selluloosan käyttökohteita eri elintarvikkeissa (Turkki, 2018)

Taulukko II. Mikrokiteisen selluloosan käyttökohteita elintarvikkeissa (Turkki, 2018)

Elintarvike	Käyttökohte
Maitopohjaiset juomat	Juoman rakenteen säilytys iskukuumentuksessa
Jauhelihapihvit	Kuitulisä ja rasvankorvaaja
Makeat leipomotuotteet	Rasvapitoisuuden pienentäjä, kuitulisä
Leipä	Kuohkeuden lisääminen, sitko gluteenittomissa tuotteissa, veden sitominen
Makkara	Vedensidonta, rasvankorvike, purutuntuman parantaminen
Juustot	Rasvankorvaaja, ulkonäön parantaminen
Jäätelö ja kylmät jälkiruoat	Vaahdon rakenteen ylläpito, jääkiteiden syntymisen esto
Hapanmaitotuotteet	Viskositeetin ylläpito
Kastikkeet	Viskositeetin parantaminen
Makeiset	Pehmeiden parantaminen

3.3.1 Mikrokiteinen selluloosa ja lihajalosteet

Mikrokiteisen selluloosan ja CMC:n käyttö lihajalosteissa voi auttaa vähentämään karsinogeenisten yhdisteiden muodostumista tuotteen paiston aikana. (Gibis ja Weiss, 2017)

Vasquez Mejia et. al toteavat tutkimuksessaan, että naudanlihasta valmistettujen pihvien sidosaineena ja kuitupitoisuuden lisääjänä mikrokiteinen selluloosa toimii tärkkelyksen korvaajana hyvin ja se sisältää vähemmän kaloreita kuin tärkkelys, mikä tekee siitä ominaisuuksiltaan toimivan kuitulisän naudanjauhelihapihvejä valmistettaessa.

Mikrokiteisen selluloosan kolloidista muotoa on tutkittu myös stabilointiaineena ja rasvan korvaajana keitetyissä ja emulgoiduissa lihatuotteissa, kuten makkaroissa (Schuh et al., 2013). Selluloosan lisääminen auttaa pitämään kosteushäviön pienempänä paiston aikana, sillä se sitoo kosteutta lihatuotteeseen paremmin kuin ei-selluloosapitoinen lihajaloste. Mikrokiteisen selluloosan lämmönkesto takaa myös sen, että sitä voidaan käyttää myös korkeissa valmistuslämpötiloissa, jota jotkin lihatuotteet kuten siipikarja vaatii kypsyäkseen. (Wüstenberg, 2015)

Tarté (2009) kertoo vertailussaan lihatuotteiden sisältämistä kuiduista, että vesipitoisuuden nostamisen lisäksi kasvikuidulla on lihajalosteissa useita muitakin tehtäviä. Kuidun lisäämisellä lihatuotteeseen saadaan vähennettyä keittöhäviöitä, parannettua useita rakenteellisia ominaisuuksia ja säilytettyä tuotteen standardiominaisuudet, kuten purutuntuma ja naksahdaminen, vaikka lihapitoisuus ja lihan kaltaisten tuotteiden määrä lopputuotteessa vähenisi.

Correia L. et al. ovat tutkimuksessaan jauhelihapihvien kypsennyksestä todenneet, että mikrokiteisen selluloosan lisääminen jauhelihapihveihin auttaa pitämään lopullisen kypsän tuotteen kosteustason korkeampana ja vähentämään paiston aikana tuotettuja karsinogeenisiä yhdisteitä jauhelihapihveissä.

3.3.2 Mikrokiteisen selluloosan käyttö lihankorvikkeissa

Mikrokiteinen selluloosa on käyttökohteiltaan hyvin monipuolinen tuote. Sitä voidaan käyttää lihankorvikkeissa samantapaisiin käyttötarkoituksiin kuin muissakin elintarvikkeissa, eli toimimaan rasvaa imitoivana tekijänä, kosteuden ylläpitäjänä ja kuitulisänä. (Turkki, 2018) Selluloosajohdannaisien käytöstä lihankorvikkeiden ja kasvispihvien tuotekehityksessä on olemassa vielä melko vähän tutkimustietoa (van der Weele et al., 2019). Toisin kuin elintarviketeollisuudessa paljon käytetty tärkkelys, toimivat selluloosa ja sen johdannaiset elimistössä kuidun tavoin ja ovat siten toiminnaltaan tärkkelyksestä poikkeavia elintarviketuotannossa. Tarté (2009) mainitsee selluloosajohdannaisien käytön lihankorvikkeissa keskittyvän

yleisesti korvaamaan kalliimpaa ainesosaa eli lihaa ja madaltamaan siten lopputuotteen hintaa.

Wüstenberg, (2015) kertoo, että mikrokiteistä selluloosaa käytetään kasviproteiinituotteissa yleensä korvaamaan eläinperäisiä liimamaisia rakenteita, kuten gelatiinia ja kananmunaa, joilla proteiinituotteesta saadaan paremmin koossa pysyvä. Kasviproteiinipohjaisissa lihankorvikkeissa mikrokiteisen selluloosan tai muiden selluloosajohdannaisten osuus on Wüstenbergin mukaan noin 0,33–3 %. Määrä riippuu lihankorvikkeen tyypistä sekä siitä, millaisia ominaisuuksia tuotteeseen halutaan.

3.4 Ympäristövaikutukset

Selluloosajohdannaisten valmistamiseksi tarvittavat lähdemateriaalit ovat nopeasti uusiutuvia luonnonvaroja. Koska suuri osa elintarvikekäyttöön jalostettavista selluloosatuotteista saadaan puupohjaisesta materiaalista, voidaan elintarvikeselluloosan valmistus käsittää osaksi puutuoteteollisuutta.

Tutkimuksessaan ravinnontuotantoon liittyvän maankäytön lisääntymisestä 1700-luvun lopulta 2010-luvulle Taylor ja Rising, (2021) toteavat maa-alan kasvaneen maailmanlaajuisesti alle miljardista hehtaarista yli 4 miljardin hehtaarin kokoon 2000-luvulle siirryttäessä. Samanaikaisesti maapallon väestön määrä on jatkanut kasvuaan ja asettanut paineita tehostaa jäljellä olevan maa-alan käyttöä entisestään.

Globaalisti eläinperäiseen ravinnontuotantoon käytetään jopa 83 prosenttia maapallon ruoantuotannon käytössä olevasta maa-alasta. Jos tämä maa-ala saataisiin suoraan ihmiskäyttöön tarkoitetun ravinnon kasvattamiseen, ympäristöpäästöt pienenisivät suuresti. Lihansyönnin puolittamalla ruokavalion ilmastovaikutus pienenesi 13 prosenttia. (Ruuan ympäristövaikutukset, 2022)

4 Johtopäätökset

Kandidaatintyön tarkoituksena oli tarkastella erilaisia elintarviketeollisuuden käytössä olevia selluloosakuituja ja niiden johdannaisia, sekä selvittää kerätyn tiedon perusteella, voitaisiinko mikrokiteistä selluloosaa hyödyntää tulevaisuudessa uusien kasviproteiinituotteiden tuotekehityksessä.

Selluloosajohdannaisten käyttö on laaja-alaista jo nykyisessä elintarviketeollisuudessa, mutta kun niiden tutkimus lisääntyy ja terveys- ja ravitsemusvaikutuksista saadaan lisätietoa, on hyvin mahdollista, että selluloosajohdannaisten tuotekehitys ja käyttö muissakin syötäväksi tarkoitetuissa tuotteissa lisääntyy olennaisesti.

Elintasosairausdiagnoosien määrä länsimaissa on vahvasti nousussa. Tarkempien terveysvaikutusten tutkiminen on edelleen esimerkiksi tyyppin 2 diabeteksen osalta kesken, mutta tulevaisuudessa ruokaan sidoksissa olevien hoitomuotojen määrän uskotaan lisääntyvän.

Ihmisten käsitys monista ruoan lisäaineista on yleisesti ottaen negatiivinen, sillä trendinä on syödä ”puhdasta” ja ”prosessoimatonta” ruokaa, vaikka hyvin harva puhtaaksi ajateltu ruoka on kokonaan prosessoimatonta. Selluloosa lisäaineena koetaan kuitenkin turvallisemmaksi kuin monet muut lisäaineet.

Mikrokiteisen selluloosan käytöstä lihankorvikkeissa on vielä melko vähän tutkimustietoa, sillä kasvipohjaisten proteiinituotteiden tuotekehitys on vielä paljolti kesken. Viime vuosina markkinoille on kuitenkin tullut monia erilaisia lihankorvikkeita, ja kun kuluttajat omaksuvat paremmin kasvipohjaisten proteiinien käytön osaksi päivittäistä kulutustaan, voidaan olettaa, että lihankorvikkeiden tuotekehityksessä löydetään uusia mahdollisuuksia myös mikrokiteisen selluloosan hyödyntämiselle.

Teknologian edistyessä paperin käyttö on viimeisen vuosikymmenen aikana vähentynyt suuresti. Puun selluloosalle pyritään tämän takia löytämään korvaavia käyttökohteita. Yksi ratkaisu tälle ongelmalle voisi olla elintarvikekäyttö ja muovin korvaaminen elintarvikepakauksissa.

Lähteet

- Bodner J. & Sieg J. 2009. Fiber. In: Tarté R. Functional ingredients in Meat Products. Springer.
- Bhandari B., Roos Y. H., Food Materials Science and Engineering. 2012. First Edition. Blackwell Publishing Ltd. 401 s.
- Brady, J., Dürig, T., Lee, P. and Li, J., 2017. Polymer Properties and Characterization. Developing Solid Oral Dosage Forms, pp.181-223.
- 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.
- De Paoli, A., 2022. Lihankorvike on ilmastoystävällinen vaihtoehto pihville. [verkkosivu] Yle.fi. <<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2018/05/17/lihankorvike-on-ilmastoystavallinen-vaihtoehto-pihville>> [luettu 14.4.2022].
- 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.
- Elintarvikelaki 297/2021. 2021.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus. 95/2/EY. Annettu 18. maaliskuuta 1995, muista elintarvikelisäaineista kuin väri- ja makeutusaineista.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2008/84/EY. Direktiivi annettu 27. elokuuta 2008, elintarvikelaatuisten materiaalien puhtausstandardeista.
- Feiner, G. 2006. Meat products handbook: practical science and technology. Cambridge, England. Woodhead Publishing.
- Gibis, M. and Weiss, J., 2017. Inhibitory effect of cellulose fibers on the formation of heterocyclic aromatic amines in grilled beef patties. *Food Chemistry*, 229, pp.828-836.

Gibis, M., Schuh V., ja 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*. s.236–246.

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

Igoe R. S., *Dictionary of Food Ingredients*. 2011. Fifth Edition. San Diego, USA. Springer Publishing. 264 s. <<https://mohebtc.com/images/FoodEncyclopedia.pdf>>

Imeson, A. (2010). *Food stabilisers, thickeners and gelling agents* (1. Painos) Wiley-Blackwell Publishing. s. 2018-236.

Jrs.eu. 2022. *JRS - Dietary Fibers vitacel*. [verkkosivu] Available at: <https://www.jrs.eu/jrs_en/life-science/food/products/dietary-fibers/> [luettu 11.5.2022].

Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie (International ed. in English)*, [verkkoaineisto] 3358–3393. <https://doi.org/10.1002/anie.200460587>

Krawczyk, G., Venables A., ja Tuason D. FMC BioPolymer, USA. 2009. S. 740-757. Health aspects of hydrocolloids. Phillips G. & Williams P. *Handbook of Hydrocolloids*, 2nd ed. Woodhead Publishing

Lappalainen, E., 2021. Lihankorvikkeet tulevat nyt rytinällä. [verkkolehti] HS Visio. <<https://www.hs.fi/visio/art-2000007905490.html>> [luettu 13.4.2022].

Leminen, T., 2016. Lihankorvikkeet vyöryvät ruokakauppoihin – mutta miltä ne maistuvat ja miten niitä käytetään? [online] HS Ruoka <<https://www.hs.fi/ruoka/art-2000002917718.html>> [luettu 12.4.2022].

Lorenzo, J. M. et al. (2021) *Sustainable Production Technology in Food*. San Diego: Elsevier Science & Technology.

Madhu, 2021. What is the Difference Between Hydrogel and Hydrocolloid? [verkkosivu] Compare the Difference. <<https://www.differencebetween.com/what-is-the-difference-between-hydrogel-and-hydrocolloid/>> [luettu 16.4.2022].

Manzato, L., Takeno, M., Pessoa-Junior, W., Mariuba, L. and Simonsen, J., 2018. Optimization of Cellulose Extraction from Jute Fiber by Box-behnken Design. *Fibers and Polymers*, [verkkoaineisto] 19(2), pp.289-296. Available at: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12221-018-1123-8>> [luettu 16.4.2022].

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

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

Phillips, G. and Williams, P., 2009. *Handbook of hydrocolloids*. 2nd ed. Woodhead Publishing.

Philp, K., 2018. *Polysaccharide Ingredients*. Reference Module in Food Science.

Polymerdatabase.com. 2022. Hydroksipropyyliselluloosan rakenne. [verkkoaineisto] Available at: <<https://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/HPC.html>> [luettu 15.4.2022]

Repo, P., 2019. Laaja tutkimus: Runsas kuidun saanti vähentää monien sairauksien vaaraa. [online] HS Kotimaa. <<https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000006022248.html>> [Luettu 15.4.2022].

Ruokavirasto. 2018. Kestävät ruokavalinnat lautasella. [verkkajulkaisu] <<https://www.ruokavirasto.fi/teemat/terveytta-edistava-ruokavalio/kestavat-ruokavalinnat-lautasella/>> [luettu 8.4.2022].

Ruokavirasto.fi. 2014. Suomalaiset ravitsemussuosituksset. [verkkajulkaisu] <https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/teemat/terveytta-edistava-ruokavalio/kuluttaja-ja-ammattilaismateriaali/julkaisut/ravitsemussuosituksset_2014_fi_web_versio_5.pdf> [luettu 12.4.2022].

Rwei, S. and Lyu, M., 2012. 3-D phase diagram of HPC/H₂O/H₃PO₄ tertiary system. *Cellulose*, 19(4), pp.1065-1074.

- Saha, D. and Bhattacharya, S., 2010. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, [verkkojulkaisu] 47(6), pp.587-597. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3551143/>> [luettu 2.4.2022].
- Schuh, V. et al. (2013) Impact of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) on functional characteristics of emulsified sausages. *Meat science*. [Online] 93 (2), 240–247.
- Sjöström, E. 1993 *Wood chemistry: fundamentals and applications*. Second edition. San Diego: Academic Press
- Tarté, R., 2009. *Ingredients in meat products*. New York: Springer, pp.57-107.
- Taylor, C. and Rising, J., 2021. Tipping point dynamics in global land use. *Environmental Research Letters*, 16(12), p.125012.
- Turkki, P. 2018. *Selluloosa ja selluloosajohdannaiset elintarvikkeissa*. Tutkimus. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu. Mikkeli. 124 s.
- Tran, Q., Vo, T., Ly, H., Kwon, B., Kim, K., Kim, S. and Kim, J., 2022. Pyrolysis kinetics and product distribution of α -cellulose: Effect of potassium and calcium impregnation. *Renewable Energy*, 181, pp.329-340.
- Tristantini, D., Dewanti, D. and Sandra, C., 2017. Isolation and characterization of α -cellulose from blank bunches of palm oil and dry jackfruit leaves with alkaline process NaOH continued with bleaching process H₂O₂. *AIP Conference Proceedings*.
- Vanhatalo, K. ja Dahl, O., 2014. Effect of Mild Acid Hydrolysis Parameters on Properties of Microcrystalline Cellulose. *BioResources*, 9(3).
- Vasama, T., 2020. Ruuan sisältö ratkaisee, ei jalostus. [verkkolehti] HS Tiede. <<https://www.hs.fi/tiede/art-2000006464237.html>> [luettu 15.4.2022].
- Wasim M, Shi F, Liu J, Khan MR, Farooq A, Sanbhal N, Alfred M, Xin L, Yajun C, Zhao X (2021) Extraction of cellulose to progress in cellulosic nanocomposites for their potential applications in supercapacitors and energy storage devices. *Journal of Materials Science* 56(26): 14448-14486.
- Vasquez Mejia, S. M., de Francisco, A., & Bohrer, B. M. (2019). Replacing starch in beef emulsion models with β -glucan, microcrystalline cellulose, or a combination of β -glucan and

microcrystalline cellulose. *Meat science* volume 13, 58–65. [verkko-aineisto]
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.012>

van der Weele, C., Feindt, P., Jan van der Goot, A., van Mierlo, B. and van Boekel, M., 2019. Meat alternatives: an integrative comparison. *Trends in Food Science & Technology*, 88, pp.505-512.

Wüstenberg, T., 2015. *Cellulose and Cellulose Derivatives in the Food Industry*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., p.552. ISBN: 978-3-527-68296-6

WWF Suomi. 2022. Ruuan ympäristövaikutukset. [verkkoaineisto]
<https://wwf.fi/ruoka/ruuan-ymparistovaikutukset/> [luettu 15.4.2022].