



**TURUN
YLIOPISTO**

Leipäjätteen hyödyntäminen elintarvike- ja juomateollisuudessa

LuK-tutkielma
Turun yliopisto
Bioteknologian laitos
Biokemia

Nyytti Koskinen

17.2.2026

Turku

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidaatintutkielma

Tutkinto-ohjelma, oppiaine: Biokemia

Tekijä(t): Nyytti Koskinen

Otsikko: Leipäjätteen hyödyntäminen elintarvike- ja juomateollisuudessa

Ohjaaja(t): Dos. Jukka-Pekka Suomela

Sivumäärä: 43 sivua

Päivämäärä: 17.2.2026

Leipä koostuu pääosin tärkkelyksestä, joka leipomisen jälkeen uudelleenkiteytyy asteittain. Tärkkelyksen uudelleenkiteytyminen on keskeinen leivän väljähtämistä selittävä tekijä. Leivän väljähtäminen on yksi merkittävimmistä syistä leipäjätteen muodostumiselle homehtumisen lisäksi. Leipäjäte muodostaa huomattavan osan tuotetusta elintarvikejätteestä, josta suurin osa muodostuu kotitalouksissa.

Leipäjätteen käsittelytapoja rajoittaa infrastruktuurin lisäksi se, ettei leipäjätettä tyypillisesti kerätä erikseen, minkä vuoksi leipäjäte päätyy muun elintarvikejätteen sekaan tai jopa sekajätteeseen. Ratkaisuja leipäjätteen hyödyntämiselle elintarvike- ja juomateollisuudessa ei ole juurikaan käytössä panimoteollisuuden sovelluksia lukuun ottamatta. Leipäjätteen hyödyntämismahdollisuuksia ihmisravintona tulisi kuitenkin kehittää, jotta kasvava väestö saadaan ruokittua.

Leipäjätteen hyödyntämisestä oluen tuotannossa on useita kaupallisia ratkaisuja. Juomateollisuudessa on tutkittu myös muunlaisten fermentoitujen juomien tuottoa leipäjätteestä. Elintarviketeollisuudessa tutkimus keskittyy pääosin leipäjätteen hyödyntämiseen rihmamaisten sienten kasvatusalustana. Myös muiden mikrobien kasvatusta leipäjätettä sisältävässä elatusaineessa on tutkittu. Sovelluskohteita leipäjätteelle elintarviketeollisuudessa on lisäksi naposteltavien tuotannossa ekstruusiomenetelmin sekä uuden leivän valmistuksessa, jossa taikinaan lisätään leipäjätettä.

Avainsanat: Ruokahävikki, Elintarvike, Leipomotuotteet, Leipä, Fermentointi, Olut

Sisällys

1	Johdanto	4
2	Leivän koostumus	5
3	Leivän väljähtäminen ja mikrobiologinen pilaantuminen	8
4	Leipäjätteen synty ja vaikutukset	11
4.1	Leipäjätteen synty elintarvikeketjun eri vaiheissa	11
4.1.1	Kotitalouksien tuottama leipäjäte	12
4.1.2	Muissa elintarvikeketjun vaiheissa tuotettu leipäjäte	14
4.2	Vaikutukset talouteen ja ympäristöön	15
5	Leipäjätteen käsittely ja kiertotalous	17
5.1	Käsittelytapoja elintarvike- ja juomateollisuuden ulkopuolelta	17
5.1.1	Rehukäyttö	18
5.1.2	Bioetanolin tuotanto	19
5.2	Leipäjätteen käsittelyn rajoitukset	20
6	Leipäjätteen hyödyntäminen elintarviketeollisuudessa	21
6.1	Sovellukset yksisoluproteiinin tuotossa	21
6.1.1	Rihmamaiset sienet	21
6.1.2	Muut mikrobit	25
6.2	Hyödyntäminen ekstruusiomenetelmillä	26
6.3	Leipäjäte leivän raaka-aineena	26
7	Leipäjätteen hyödyntäminen juomateollisuudessa	30
7.1	Sovellukset panimoteollisuudessa	30
7.2	Hyödyntäminen muiden fermentoitujen juomien tuotannossa	33
8	Yhteenveto	35
9	Lähteet	39

1 Johdanto

Leivän tuotannolla on pitkät perinteet. Maatalous alkoi noin 10 000 vuotta sitten neoliittisessä Lähi-Idässä (Lev-Yadun ja muut 2000). Kasvien prosessointi, kuten mahdollisesti jauhon tuotanto, oli kuitenkin tavanomaista monessa paikassa Eurooppaa jo noin 30 000 vuotta sitten (Revedin ja muut 2010). Ensimmäiset leivät leivottiin yli 12 000 vuotta sitten (Mondal ja Datta 2008).

Pitkästä historiastaan huolimatta leipä on yhä merkittävä osa ruokavaliota. Leivän kulutus on maailmanlaajuisesti noin 70 kg ihmistä kohden vuodessa (De Boni ja muut 2019). Euroopassa kulutus on keskiarvoa matalampi: 59 kg ihmistä kohden vuodessa. Ravitsemuksellisten syiden lisäksi leivän nauttimiseen liittyy muun muassa uskonnollisia ja kulttuurillisia syitä. Esimerkiksi kristinuskossa leipää nautitaan osana ehtoollista.

Leivällä on lyhyt säilytysaika siinä tapahtuvien kemiallisten ja fyysisten muutosten takia, joten osa siitä päättyy välttämättä jätteeksi (Mondal ja Datta 2008). Säilytysajan pidentämiseksi on kehitetty monenlaisia leipään lisättäviä pilaantumista estäviä aineita. Pidemmän säilytysajan tavoittelu on korostunut siirryttäessä leivän teolliseen tuotantoon, jossa keskeistä on tuottavuus. Säilytysaikaa ei kuitenkaan voi pidentää loputtomasti eikä lyhyt säilytysaika toisaalta selitä kaikkea muodostuvaa leipäjätettä.

Tässä tutkielmassa tarkastelen leipäjätettä ja sen käsittelytapoja painottaen elintarvike- ja juomateollisuuden ratkaisuja. Aluksi esitän syitä leipäjätteen muodostumiselle sekä leivässä tapahtuvien prosessien että elintarvikeketjun näkökulmasta. Lisäksi kuvaan leipäjäteongelman laajuutta sekä elintarvike- ja juomateollisuuden ulkopuolisia tapoja leipäjätteen käsittelylle. Lopuksi kerron leipäjätteen erinäisistä sovelluksista elintarvike- ja juomateollisuudessa. Tutkielman tavoitteena on kertoa lukijalle kattavasti minkälaista leipäjäte on, missä ja miksi sitä muodostuu, miten leipäjätettä käsitellään nyt ja minkälaisia sovelluskohteita sille nähdään elintarvike- ja juomateollisuudessa.

2 Leivän koostumus

Leivän koostumus on sen raaka-aineiden sekä valmistusprosessin summa, mikä käy ilmi kuvasta 1. Vehnä on kansainvälisesti käytetyin vilja leivän valmistuksessa (Goesaert ja muut 2005). Suomessa kulutetuin vilja on vehnä, ja toiseksi kulutetuin vilja on ruis (Luonnonvarakeskus 2025). Vehnäjauho sisältää noin 70–75 % tärkkelystä, noin 14 % vettä, noin 10–12 % proteiinia, noin 2–3 % muita polysakkarideja kuin tärkkelystä ja noin 2 % lipidejä (Goesaert ja muut 2005). Vehnäjyvän sisältämästä proteiinista 85–90 % on gluteenia ja 10–15 % on albumiinia (Biesiekierski 2017). Gluteeni on proteiiniseos, josta suurin osa on gliadiineja ja gluteniineja. Vehnäleivänvalmistuksessa vehnäjauhon joukkoon sekoitetaan vettä, suolaa ja hiivaa tai muita mikrobeja (Goesaert ja muut 2005). Ainesosien sekoittamisen jälkeen taikinaa fermentoidaan, ja lopulta taikina paistetaan.



Kuva 1. Vehnäleivän valmistusprosessi ja vehnäjauhon sekä vehnäleivän ravintosisällöt. Vehnäjauhon ravintosisältö on lähteestä Goesart ja muut (2025), vehnäjyvän proteiinisisältö lähteestä Biesiekierski (2017) ja vehnäleivän ravintosisältö lähteestä Alkurd ja muut (2020).

Jordaniassa terveellisiksi markkinoiduista moniviljaleivistä analysoitiin 16 eri leipää vehnäleivän lisäksi, ja analysoitujen leipien ravintosisällöistä laskettiin keskiarvot (Alkurd ja muut 2020). Keskimäärin leivässä oli 50,0 % hiilihydraatteja, 13,6 % proteiinia, 2,0 % rasvaa, 24,5 % kosteutta, 2,7 % tuhkaa ja 1,3 % kuitua. Suurin osa leivän hiilihydraateista on tärkkelystä. Energiaa leivässä oli keskimäärin 275,76 kcal/100 g. Eri leipätyyppien ravinto- ja energiasisällössä on kuitenkin eroja. Tutkitussa vehnäleivässä oli 60,9 % hiilihydraatteja, 10,3 % proteiinia, 0,4 % rasvaa, 27,0 % kosteutta, 1,0 % tuhkaa ja 0,4 % kuitua. Vehnäleivän ravintosisältö oli 288,6 kcal/100 g.

Tärkkelys koostuu kahdesta eri glukoosipolymeeristä: amyloosista ja amylopektiinistä (Goesaert ja muut 2005). Amyloosia on useimmissa endospermeissä 18–33 % ja amylopektiiniä 72–82 % (Buléon ja muut 1998). Amyloosi on lineaarinen molekyyli, jossa D-glukopyranosyliyksiköt ovat kiinnittyneet toisiinsa α -(1,4)-sidoksin. Amyloosi voi kuitenkin hieman haaroittua muodostamalla monomeerien välille α -(1,6)-sidoksia. Amylopektiini on puolestaan haaroittunut molekyyli, jossa toisiinsa α -(1,4)-sidoksin kiinnittyneet D-glukopyranosoliyksiköt muodostavat lineaarisia molekyylejä, jotka haaroittuvat muodostaessaan keskenään α -(1,6)-sidoksia.

Leivän leipominen johtaa tärkkelyksen liisteröitymiseen (Hug-Iten ja muut 2003). Liisteröityminen saadaan aikaan lämmittämällä tärkkelystä veden läsnä ollessa, jolloin tärkkelyksen muoto muuttuu järjestäytyneestä epäjärjestäytyneeksi (Wang ja muut 2016). Tärkkelys sitoo liisteröityessään itseensä vettä ja turpoaa. Tuoreessa leivässä tärkkelys on liisteröitynyttä, muttei vielä uudelleenkiteytynyttä (Hug-Iten ja muut 2003). Uudelleenkiteytyminen viittaa prosessiin, jossa aiemmin liisteröityneet ja siten epäjärjestäytyneet tärkkelysuketjut järjestäytyvät ajan kuluessa järjestäytyneeseen rakenteeseen, joka eroaa kuitenkin alkuperäisestä rakenteesta (Wang ja muut 2016). Sekä tärkkelyksen liisteröityminen että uudelleenkiteytyminen ovat irreversiibejä prosesseja.

Leipä on kiinteä vahto (Gray ja Bemiller 2003). Leivän kiinteässä osassa on gluteeniverkoston ja irronneiden tärkkelysmolekyylien muodostama jatkuva faasi. Jatkuva faasi tarkoittaa järjestelmän

keskeytymätöntä faasia, jossa toiset järjestelmän faasit sijaitsevat (Slomkowski ja muut 2011). Epäjatkuvassa faasissa on liisteröityneitä ja turvonneita tärkkelysjyväsia.

3 Leivän väljähtäminen ja mikrobiologinen pilaantuminen

Leivän väljähtäminen (engl. staling) sekä mikrobiologinen pilaantuminen johtavat leipäjätteen syntyyn. Näiden prosessien seurauksena myös leivän koostumus ja ominaisuudet, kuten rakenne, muuttuvat. Mahdolliset mikrobiologisen pilaantumisen seurauksena syntyneet toksiinit ja tärkkelyksen kiteytynyt olomuoto vaikuttavat merkittävästi siihen, miten leipäjäte voidaan ja miten se kannattaa käsitellä.

Vaikka väljähtänyt leipä ei välttämättä ole mikrobiologisesti pilaantunutta, se ei täytä kuluttajien kriteerejä syömäkelpoisesta leivästä (Ribotta ja Le Bail 2007). Väljähtänyt leipä on siis tavallisesti yhä yhtä terveellistä ja syömäkelpoista kuin tuore leipä, mutta kuluttajat suosivat tuoretta leipää. Leivän väljähtämisen tutkimisessa hyödynnetään sen takia leivän kovuuden mittaamisen lisäksi aistinvaraista arviointia (Cereals & Grains Association 2025).

Leivän väljähtäessä sen sisus kovenee ja kuori pehmenee (Curti ja muut 2011). Sisus alkaa kovettua leipomisen jälkeen, ja sisus kovenee entisestään ajan kuluessa säilytyksen aikana (Every ja muut 1998). Säilytyksen aikana kosteuspitoisuus kasvaa kuorella ja vähenee sisuksessa (Piazza ja Masi 1995). Kuorella ei ole juurikaan kosteutta silloin, kun leipä poistetaan uunista paistamisen jälkeen, mutta heti viilenemisen aikana kosteus alkaa siirtyä sisuksesta kuoreen. Kosteuspitoisuuden pienentyessä leivän jäykkyys kasvaa. Leivän sisuksen kosteuspitoisuus on mahdollista säilyttää säilytyksen aikana poistamalla kuori (Baik ja Chinachoti 2001). Ilman kuorta säilöminen myös vähentää amylopektiinin uudelleenkiteytymistä.

Väljähtämisprosessiin kuuluu myös leivän tuoreudesta kertovan maun heikkeneminen (Curti ja muut 2011).

Väljähtäminen on seurausta leivässä olevista tärkkelys-tärkkelys- ja gluteeni-tärkkelysvuorovaikutuksista (Every ja muut 1998). Tärkkelystä on kuitenkin leivässä huomattavasti gluteenia enemmän, joten tärkkelys-tärkkelysvuorovaikutukset vaikuttavat väljähtämiseen gluteeni-tärkkelysvuorovaikutuksia määrällisesti enemmän. Leivässä on turvonneisiin tärkkelysjyväsiin sitoutuneita amyloosista tai amylopektiinistä peräisin olevia tärkkelysketjuja. Nämä tärkkelysketjut muodostavat vetysidoksia toisiin tärkkelysjyväsiin ja pienemmässä määrin myös gluteenifibrilleihin. Tärkkelys-

tärkkelysvuorovaikutuksien muodostuessa leivän sisäinen hiilihydraattiverkko laajenee ja leipä kovenee.

Leivän väljähtäessä isompi osa tärkkelyksestä on kiteytyneessä muodossa (Hug-Iten ja muut 2003). Tärkkelyksen kiteytymisen taso ei kuitenkaan suoraan korreloi sisuksen kovuuden kanssa. Tuoreessa leivässä amyloosi on jo osittain kiteytynyt. Leivän väljähtämisprosessin alkuvaiheissa amyloosin kiteytymisellä on suurin vaikutus. Tärkkelysjyväset, joiden sisuksessa on amyloosia, ovat keskeisiä leivän kovenemisessä. Amylopektiinin kiteytyminen taas vaikuttaa eniten pidempiaikaisessa väljähtämisprosessissa.

Gluteeni-tärkkelysvuorovaikutukset vaikuttavat tärkkelys-tärkkelysvuorovaikutuksien lisäksi leivän väljähtämisprosessiin (Every ja muut 1998). Gluteeni ei kuitenkaan ole välttämätön leivän kovenemiselle, sillä gluteenitonkin leipä kovenee ajan kuluessa. Gluteeni estää amylopektiinikiteiden muodostumista (Curti ja muut 2017). Gluteenipitoisella leivällä on vähägluteenista leipää suurempi tilavuus, ja se on tekstuuriltaan koheesiivisempaa, kosteampaa ja joustavampaa.

Väljähtämisen lisäksi leipäjätettä aiheuttaa myös mikrobiologinen pilaantuminen. Tärkkelyksen liisteröityminen leipomisen aikana tekee leivästä herkemmän mikrobiologiselle pilaantumiselle (Kosseva ja Webb 2013). Leivän valmistuksessa käytetyt raaka-aineet sisältävät itiöitä muodostavia *Bacillus*-bakteereja, joista osa pystyy tuottamaan ruokamyrkytykseen johtavia toksineja (Valerio ja muut 2012). *Bacillus*-suvun bakteerit aiheuttavat lisäksi leivän pilaantumiseen liittyvän ilmiön, jota kutsutaan rihmataudiksi (engl. rope spoilage) (Thompson ja muut 1993). Ilmiö alkaa hedelmäisellä hajulla, jota seuraavat värinmuutokset ja lopulta leivän sisuksen rihmamainen ulkomuoto.

Bacillus-kontaminaatio voi tapahtua viljan viljelyn ja prosessoinnin aikana, leipomoympäristön materiaalien kautta tai raaka-aineiden, esimerkiksi hiivan, välityksellä (Thompson ja muut 1993). *Bacillus*-itiöt pystyvät selviämään kuumista leivontalämpötiloista, ja ne muuttuvat vegetatiivisiksi leivän viilentyessä paistamisen jälkeen. *Bacillus*-kontaminoituneen ruoan syöminen voi aiheuttaa ruokamyrkytyksen *Bacillus*-bakteerien tuottamien toksiinien takia, esimerkiksi *Bacillus licheniformis* -

bakteeri tuottaa lichenysin A -toksiinia (Mikkola ja muut 2000). Yleisimmin löydetty laji rihmatautisessa leivässä on *Bacillus amyloliquefaciens* (Valerio ja muut 2012).

Bacillus-bakteerien lisäksi erilaiset homeet aiheuttavat leivän mikrobiologista pilaantumista. Leivän pilaantumista yleisimmin aiheuttavat sienilajit kuuluvat *Penicillium*- ja *Aspergillus*-sukuihin (Garcia ja muut 2019). *Penicillium*-home muodostaa leivälle sinivihreän kasvuston. *Aspergillus*-kasvusto sen sijaan on väriltään sinertävää tai kellertävää. Homekontaminaatio tapahtuu leipomisen jälkeen homeitiöillä kontaminoituneen jauhun päästessä kontaktiin leivän kanssa esimerkiksi ilmavirran välityksellä (Legan 1993).

4 Leipäjätteen synty ja vaikutukset

EU-komission määritelmä elintarvikejätteestä sisältää sekä syömäkelvottoman että syömäkelpoisen ruoan, jota ei hyödynnetä ihmisravintona, rehuna tai muuna arvojakeena (Riipi ja muut 2021). Ruokahävikki sen sijaan kansallisen määritelmän mukaan sisältää vain syömäkelpoisen ruoan, jota ei hyödynnetä ihmisravintona, rehuna tai muuna arvojakeena. Vältettävä elintarvikejäte taas viittaa elintarvikejätteeseen, joka olisi voitu välttää, mikäli ruoka olisi valmistettu tai säilytetty eri tavalla (Katajajuuri ja muut 2014). Leipä ei sisällä syömäkelvottomia osia, joten leipäjäte on aina muodoltaan vältettävää elintarvikejätettä ja ruokahävikkiä.

Globaalisti elintarvikejätettä vuodessa syntyy noin 931 miljoonaa tonnia, joka on noin 17 % globaalista ruoantuotannosta (United Nations Environment Programme 2021). EU-alueella elintarvikejätettä syntyy vuosittain lähes 57 miljoonaa tonnia (Riipi ja Kuisma 2025). EU-alueen asukas tuottaa keskimäärin 127 kg elintarvikejätettä vuodessa. Vähiten elintarvikejätettä tuotetaan Sloveniassa, 68 kg asukasta kohden vuosittain, ja eniten Kyproksessa, 400 kg asukasta kohden vuosittain. Suomessa elintarvikejätettä tuotetaan 116 kg asukasta kohden vuosittain. Luken tutkimuksen mukaan Suomessa syntyy vuosittain 643 miljoonaa kiloa elintarvikejätettä (Riipi ja muut 2021). Peltoon jäävää satoa ei ole huomioitu luvussa. Ruokahävikkiä kaikesta Suomessa tuotetusta elintarvikejätteestä on 361–376 miljoonaa kiloa.

4.1 Leipäjätteen synty elintarvikeketjun eri vaiheissa

Kotitaloudet selkeästi korostuvat sekä elintarvikejätteen että ruokahävikin isoimpana tuottajana elintarvikeketjussa. Globaalisti kotitaloudet tuottavat elintarvikejätteestä noin 61 %, ravitsemuspalvelut 26 % ja vähittäismyynti 13 % (United Nations Environment Programme 2021). EU-alueella kotitaloudet tuottavat noin 55 % kaikesta elintarvikejätteestä (Riipi ja Kuisma 2025). Muut elintarvikeketjun vaiheet tuottavat elintarvikejätettä selkeästi vähemmän: elintarvike- ja juomateollisuus 18 %, alkutuotanto 11 %, ravitsemuspalvelut 9 % ja vähittäis- ja tukkukauppa 7 %. Suomessa tuotetusta elintarvikejätteestä 46 % syntyy kotitalouksissa, 25 % elintarviketeollisuudessa, 12 % ravitsemuspalveluissa, 9 % kaupassa ja 8 %

alkutuotannossa (Riipi ja muut 2021). Ruokahävikistä sen sijaan Suomessa 33 % muodostuu kotitalouksissa, 23 % elintarviketeollisuudessa, 17 % ravitsemuspalveluissa, 16 % kaupassa ja 11 % alkutuotannossa.

Leipäjätteen käsittelytavan valinnan takia on tärkeää tietää, mistä vaiheesta elintarviketjua jäte on. Esimerkiksi kaupassa myymättä jäänyt leipä ei ole kotitalouksien leipäjätteen tavoin välttämättä muun elintarvikelijätteen seassa, jolloin sillä on enemmän käsittelymahdollisuuksia (Brancoli ja muut 2020).

4.1.1 Kotitalouksien tuottama leipäjäte

Suomalaisessa päiväkirjatutkimuksessa 70 % kotitalouksista tuotti kahden viikon tutkimuksen aikana alle 1 kg vältettävää elintarvikelijätettä (Katajajuuri ja muut 2014). Suurin osa elintarvikelijätteestä muodostui pilaantuvista ja tuoreista elintarvikkeista sekä syömättä jääneestä ruoasta. Yleisimpiä syitä ruoan roskeen heittämiselle oli elintarvikkeessa oleva home (29 %), mennyt parasta ennen -päiväys (19 %), syömättä jäänyt ruoka (14 %) tai se, että ruokaa oli valmistettu liikaa (13 %). Leipäjätteen kohdalla yleisimmät syyt olivat home ja leivän epämiellyttävyys, mikä todennäköisesti on seurausta väljähtämisestä. Tutkimuksen aikana kotitalouksien tuottamasta vältettävästä elintarvikelijätteestä 13 % koostui leipomo- ja viljatuotteista. Suomessa kotitalouksien ruokahävikistä 15–20 % koostuu leivästä (Riipi ja muut 2021).

Australiassa tehdyssä viikon kestäneessä kyselytutkimuksessa yli 60 % kotitalouksissa raportoi leipä- tai leipomotuotejätettä (Ananda ja muut 2024). Noin 23 % kotitalouksista raportoi viipaloitujen leipätuotteiden jätettä, mikä on yleisin australialaisissa kotitalouksissa kulutettu leipä. Leipä- ja leipomotuotteet muodostavat 12 % kaikesta australialaisten kotitalouksien tuottamasta ruokahävikistä.

Yhdistyneissä kuningaskunnissa leipä on kolmanneksi suurin ruokahävikkiä aiheuttava tuoteryhmä tuoreiden perunoiden ja aterioiden jälkeen (WRAP 2025). Päivää kohden Yhdistyneissä kuningaskunnissa 960 tonnia leipää päätyy kotitalouksissa ruokahävikiksi. Määrä vastaa 24 miljoonaa leipäviipaletta tai 1,2 miljoonaa kokonaista leipää.

Norjassa tehdyssä tutkimuksessa 27 % kotitalouksien ruokahävikistä koostui tuoreesta leivästä ja muista leipomotuotteista (Hanssen ja muut 2016). Yhteensä ruokahävikkiä tuotettiin vuosittain 46,3 kg ihmistä kohden. Leipäjätteen osuus kotitalouksien ruokahävikistä on suurempi kuin monella muulla maalla. Eron maiden välillä ajateltiin selittyvän muun muassa sillä, että Norjassa syödään Ruotsia ja Suomea enemmän leipäpohjaisia ruokia, ja kuluttajilla on vahvemmat mieltymykset rapeisiin leipiin. Rapeus on yksi ominaisuuksista, joka heikkenee väljähtämisen aikana.

Monet ostokäyttäytymispiirteet vaikuttavat kotitalouksien tuottaman leipäjätteen määrään. Muun muassa ostoslistojen käyttämisen on huomattu Australiassa tehdyn kyselytutkimuksen perusteella vähentävän viipaloitun leipäjätteen määrää (Ananda ja muut 2024). Sen sijaan tiheämpi kaupassakäynti lisää leipä- ja leipomotuotejätettä. Jokainen yksittäinen kaupassakäynti lisää leipä- ja leipomotuotejätteen todennäköisyyttä 11 %. Varmuuden vuoksi ostavat kuluttajat tuottavat leipä- ja leipomotuotejätettä 35 % todennäköisemmin. Toisaalta tutkimuksessa ei huomattu olevan yhteyttä sillä, että ostaa liikaa ruokaa ja tuotetun leipäjätteen määrällä. Takeaway-ruokaa ostavat kuluttajat tuottivat leipä- ja leipomotuotejätettä muita kuluttajia 26 % todennäköisemmin.

Suomessa on myös tutkittu ostokäyttäytymispiirteiden vaikutusta syntyvään elintarvikejätteeseen. Kotitaloudet, joissa nainen oli päävastuussa ruokaostoksista miehen tai molempien kumppaneiden sijaan tuottivat enemmän vältettävää elintarvikejätettä (Koivupuro ja muut 2012). Suhtautuminen tarjouksiin ja ruoan hintaan vaikutti myös elintarvikejätteen määrään. Kotitaloudet, jotka eivät usein osta alennettuja tuotteita tai hyödynnä ”osta yksi, saa toinen ilmaiseksi” -tarjouksia, tuottivat enemmän jätettä. Kotitaloudet, jotka eivät nähneet ruoan hintaa merkittävänä ostopäätökseen vaikuttavana tekijänä tuottivat enemmän vältettävää elintarvikejätettä kuin kotitaloudet, joille ruoan hinta oli tärkeä ostopäätökseen vaikuttava tekijä.

Australiassa tutkittiin myös, miten kotitalousmuoto vaikuttaa tuotettuun leipäjätteeseen. Lapsiperheet tuottavat enemmän leipä- ja leipomotuotejätettä sekä viipaloitujen leipätuotteiden jätettä (Ananda ja muut 2024). Jokainen kotitalouteen kuuluva alle 15-vuotias lapsi lisää leipä- ja leipomotuotejätteen todennäköisyyttä 45 %

ja viipaloitujen leipätuotteiden jätettä 85 %. Yleisesti perhekotitalouksilla oli yksinasuvia 54 % suurempi todennäköisyys leipäjätteen tuottamiselle.

Suomessa tehdyssä päiväkirjatutkimuksessa ei huomattu korrelaatiota vältettävän elintarvikejätteen ja esimerkiksi alueen, kotitalouden vanhimman henkilön iän, asuntotyyppin, koulutustason tai ostos-, ruoan valmistus ja syömiskäyttäytymisen välillä (Koivupuro ja muut 2012). Kotitalousmuodolla sen sijaan huomattiin yhteys tuotetun vältettävän elintarvikejätteen määrään. Mitä enemmän henkilöitä kotitalouteen kuuluu, sitä enemmän jätettä tuotetaan. Kuitenkin jaettaessa jätemäärä ihmismäärällä, huomattiin yksinasuvien tuottavan eniten jätettä. Yksinasuvat naiset tuottivat henkilöä kohden eniten vältettävää elintarvikejätettä. Yksinasuvien naisten tuottama jätteen määrä yksinasuviin miehiin verrattuna ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä. Myöhemmässä päiväkirjatutkimuksessa, jossa kartoitettiin sosiodemografisten tekijöiden vaikutusta ruokahävikkiin, saatiin samankaltaisia tuloksia (Riipi ja muut 2021). Yksinasuvien naisten tuottama keskimääräinen ruokahävikki oli vuodessa 27,5 kg henkilöä kohden ja yksinasuvien miesten ruokahävikki puolestaan vain 14,2 kg henkilöä kohden. Sukupuolella ei huomattu eroa tuotettuun ruokahävikkiin muissa kotitalousmuodoissa.

4.1.2 Muissa elintarvikeketjun vaiheissa tuotettu leipäjäte

5–10 % leipomoteollisuuden tuotannosta arvioidaan päätyvän jätteeksi tuotantovaiheessa Suomen leipomoteollisuudessa (Immonen ja muut 2020). Tämä vastaa yhteensä 10–20 miljoonaa kiloa jätettä vuosittain.

Tukku- ja jälleenmyyntisektori tuottaa 65–75 miljoonaa kiloa elintarvikejätettä vuosittain (Katajajuuri ja muut 2014). Vähittäis- ja tukkukaupassa suhteellisesti eniten elintarvikejätettä ja ruokahävikkiä syntyi tuoreista leipä- ja leipomotuotteista (Riipi ja muut 2021). Määrällisesti vain tuoreista vihanneksista, juureksista ja hedelmistä muodostui enemmän elintarvikejätettä ja ruokahävikkiä.

Yhteensä Suomessa ravintolasektori tuottaa 75–85 miljoonaa kiloa elintarvikejätettä vuosittain, mikä on 20 % kaikesta ravintoloissa valmistetusta ja käsitellystä ruoasta (Katajajuuri ja muut 2014). Tulokset vastaavat hyvin Luken tutkimuksen tuloksia, joissa

tutkittujen ravitsemuspalveluiden tuottama elintarvikejäte oli noin 21 % kaikesta valmistetusta ruoasta (Riipi ja muut 2021). Arvioitu vuosittainen elintarvikejäte oli 78 miljoonaa kiloa vuosittain. Ruokahävikin osuus elintarvikejätteestä oli 16 % ja syömäkelvotonta elintarvikejätettä oli 5 %.

Elintarvikejätteeksi päätyy kaikesta tuotetusta ruoasta päiväkodeissa 27 %, sairaaloissa ja vanhainkodeissa 26 %, työpaikka- ja opiskelijaravintoloissa 24 %, ravintoloissa, ruokapaikoissa (engl. diner) ja hotelleissa 19 %, kahviloissa ja huoltoasemilla 19 %, kouluissa 18 % ja pikaruokaravintoloissa 8 % (Katajajuuri ja muut 2014).

Annosravintolat ja linjastoravintolat eroavat toisistaan elintarvikejätteen koostumuksessa. Annosravintolatyyppejä edustavissa ravintoloissa, ruokapaikoissa ja hotelleissa tuotetusta ruoasta 7 % on syömättä jäänyttä ruokaa, 6 % on keittiöjätettä ja 5 % tarjoiluhävikkiä eli ylituotettua ruokaa. Linjastoravintolatyyppejä edustavissa työpaikka- ja opiskelijaravintoloissa sen sijaan kaikesta tuotetusta ruoasta 17 % on tarjoiluhävikkiä, 4 % syömättä jäänyttä ruokaa ja 3 % keittiöjätettä. Luken tutkimuksessa huomattiin, että annosravintoloissa tuotettiin kaksinkertaisesti keittiöbiojätettä linjastoravintoloihin verrattuna, mutta kokonaisruokahävikin määrä oli pienempi (Riipi ja muut 2021).

4.2 Vaikutukset talouteen ja ympäristöön

Australiassa kotitalouksille tehdyn kyselytutkimuksen mukaan kotitalouksien leipä- ja leipomotuotejätteestä 55 % päätyy roskiin, 21 % ruokitaan eläimille ja 11 % kompostoidaan (Ananda ja muut 2024). Suomessa kotitalouksien elintarvikejätteestä vain noin 20 % kierrätetään biojätteenä ja loput 80 % hävitetään sekajätteen mukana (Riipi ja muut 2021).

Australiassa pelkästään roskiin päätyvän leipä- ja leipomojätteen arvon arvioidaan olevan 719 miljoonaa dollaria (Ananda ja muut 2024). Australialaisissa kotitalouksissa keskimääräisesti 2 dollarin arvoinen määrä leipää ja leipomotuotteita päätyy roskiin viikossa. Suomalaisessa päiväkirjatutkimuksessa arvioitiin vuosittain jokaisen suomalaisen keskimääräisesti heittävän ruokaa roskiin 70 euron edestä (Katajajuuri ja muut 2014). Kotitaloustasolla tämä tarkoittaa vuosittain 150–220 euron menetyksiä. Kansallisesti menetykset ovat 400–550 miljoonaa euroa. Arvioitu suomalaisten

kotitalouksien tuottaman elintarvikejätteen ilmastovaikutus on 350 miljoonaa kiloa hiilidioksidia vuosittain (Katajajuuri ja muut 2014).

Leipäjätteen ympäristövaikutukset riippuvat sen käsittelytavasta. Ruotsalaisessa tutkimuksessa vertailtiin ympäristön kannalta jo käytössä olevia sekä mahdollisia leipäjätteen käsittelymenetelmiä (Brancoli ja muut 2020). Vertailu tehtiin 18 eri vaikutuskategoriassa, kuten ilmastonmuutos, makeanveden rehevöityminen, maankäyttö, vedenkulutus ja ihmisterveys. Kaikkein parhaimmaksi menetelmäksi osoittautui leipäjätteen vähentäminen. Tämä selittyy viljan viljelyn vaatimilla ympäristökustannuksilla, ja jätteen tuotannon välttämällä vältetään myös alavirtaprosessointi ja sen vaikutus ympäristöön. Varsinaisista käsittelymenetelmistä parhaiksi osoittautuivat rehun tuotto, hyväntekeväisyyteen lahjoitus, oluen tuotanto ja etanolin tuotanto. Huonoimmiksi menetelmiksi osoittautuivat Ruotsissa laajassa käytössä olevat anaerobinen digestio ja poltto. Nämä menetelmät tosin pärjäsivät hyvin kategorioissa ionisoiva säteily, merten rehevöityminen, maankäyttö ja vedenkulutus. Muissa kategorioissa leipäjätteen käsittely ja rikastaminen tuottivat anaerobiseen digestioon ja polttoon verrattuna enemmän ympäristösäästöjä.

Leipäjätteen muodostumisen välttäminen johtaa -0,66 kg hiilidioksidipäästösäästöihin yhtä kiloa tuotettua leipää kohden (Brancoli ja muut 2020). Vaikka etanolin, oluen ja rehun tuotanto johtaa suurempiin ympäristösäästöihin kuin leipäjätteen anaerobinen digestio tai polttaminen, Ruotsissa on rajoitettu määrä niiden toteuttamiseksi tarvittavaa infrastruktuuria, joten kuljetusmatkat ovat pidempiä ja kapasiteetti rajallisempi. Esimerkiksi mikäli leipää kuljetetaan yli 730 km paluumatkat mukaan lukien etanolintuottolaitoksille, tulee polttamisesta etanolin tuottoon verrattuna ympäristönäkökulmasta kannattavampaa.

5 Leipäjätteen käsittely ja kiertotalous

Kiertotalouden tavoitteena on ylläpitää tuotteiden, komponenttien ja materiaalien arvoa ja hyötyä (Bocken ja muut 2017). Arvon ylläpidon strategioita ovat muun muassa uudelleenkäyttö, tavaroiden yhteiskäyttö, kunnostus, tavaroiden monikäyttöisyys ja kierrätys. Kiertotaloutta voi ajatella niin sanotun 3R-periaatteen kautta eli vähentämisen (engl. reduce), uudelleenkäytön (engl. reuse) ja kierrätyksen (engl. recycle) ajatusmallina. Kiertotalouden keskiössä on huomion siirtäminen jätteen käsittelystä tehokkaampaan materiaalien hyödyntämiseen. Kiertotaloudessa voidaan erottaa keskenään biologisperäisten ja synteettisten materiaalien kierrot. Biologisperäiset materiaalit voidaan tarvittaessa turvallisesti palauttaa luontoon, kun taas synteettisiä materiaaleja tulee uudelleenkäyttää tavalla, joka minimoi materiaalin arvon heikkenemisen.

Kiertotalousajattelu on huomioitu myös EU-tasolla. EU:n jätehierarkiassa jätteen ehkäiseminen on asetettu tärkeimmäksi tavoitteeksi (2008/98/EY). Jätteen ehkäisemistä seuraavat hierarkiassa valmistelu uudelleenkäyttöön, kierrätys, muu hyödyntäminen ja loppukäsittely.

Leipäjäte on merkittävä osa tuotettua elintarvikejätettä. Sillä on merkittävät taloudelliset sekä ympäristölliset vaikutukset. EU:n jätehierarkian sekä kiertotalouden periaatteiden mukaisesti keskeisintä on leipäjätteen vähentäminen. Koska leipä on kansainvälisesti tärkeä osa monien ruokavaliota ja on nopeasti pilaantuvaa, leipäjätettä tulee kuitenkin välttämättä muodostumaan ja siten leipäjätteen käsittelemiseen on oltava kiertotalousajattelun mukaisia menetelmiä.

5.1 Käsittelytapoja elintarvike- ja juomateollisuuden ulkopuolelta

Leipäjätteen käsittelyyn on useita vaihtoehtoja. Ruotsissa yleisimmät tavat sekaelintarvikejätteen käsittelemiseksi ovat anaerobinen digestio ja polttaminen (Brancoli ja muut 2020). Anaerobisella digestiolla saadaan yhtä kiloa leipää kohti -0,02 kg hiilidioksidipäästösäästöjä, kun taas polttamisella saavutetaan -0,08 kg hiilidioksidipäästösäästöjä kiloa leipää kohti (Brancoli ja muut 2020).

Käytetyt tavat eivät kuitenkaan ole parhaita. Yhdysvaltojen ympäristönsuojelun virasto (United States Environmental Protection Agency) suosittelee välttämään elintarvikejätteen polttamista, viemistä kaatopaikalle sekä kaatamista alas viemäristä (US EPA 2015). EU:n jätehierarkian tavoin myös Yhdysvaltojen ympäristönsuojelun virasto painottaa jätteen vähentämisen tärkeyttä tärkeimpänä jätteen vähentämisen keinona. Viraston esittelemiä jätteen käsittelykeinoja parhaimmasta huonoimpaan ovat lahjoitus hyväntekeväisyyteen tai uusiojalostus (engl. upcycling), rehukäyttö tai sadon korjaamatta jättäminen, kompostointi tai anaerobinen digestio, jonka mädätysjäte hyödynnetään, anaerobinen digestio, jonka mädätysjäte hävitetään, tai maahan levitys.

Uusiojalostus avaa uusia mahdollisuuksia biojätteen käsittelyyn. Biojalostamot ovat laitoksia, jotka käyttävät biomassaa raaka-aineena biopohjaisten tuotteiden valmistukseen (Vea ja muut 2018). Biojätettä biomassanaan käyttävät biojalostamot ovat saaneet viime aikoina kiinnostusta, ja tutkimusta on tehty esimerkiksi biomuovien, biohyönteismyrkkujen ja entsyymien tuotosta biojätteestä.

5.1.1 Rehukäyttö

Elintarvikejätteen hyödyntäminen rehuna on Yhdysvaltain ympäristönsuojelun viraston kolmanneksi suosimin keino elintarvikejätteen ympäristöllisten vaikutusten vähentämiseksi (US EPA 2015). Elintarvikejätettä voi joko ruokkia eläimille sellaisenaan tai elintarvikejäte voidaan vaihtoehtoisesti käsitellä rehukäyttöön soveltuvaksi.

Elintarvikejätteen rehukäytöllä on satojen vuosien perinne. Rehukäyttö vähentää eläinmaatalouden vaatimaa tavallista rehua, joten samalla rehuksien kasvatuksen ja rehun käsittelyn vaatimilta ympäristökustannuksilta säästytään. Elintarvikejätteen hyödyntäminen rehuna voi myös olla taloudellisempaa maanviljelijöille.

Suomessa on Kotkassa leipomojätteen käsittelyyn keskittynyt laitos (Manner 2018). Laitos kuuluu Lantmännen-konserniin kuuluvalle Agro Recycling Ab -yritykselle. Laitoksella leipomojäte, kuten taikina- ja leipäjäte, murskataan ja kuivataan ennen kuin sen kuljetetaan laivalla Ruotsiin Norrköpingiin jalostettavaksi bioetanoliksi ja rehuksi. Norrköpingin biojalostamolla myös kerätään bioetanolin tuotosta muodostuva hiilidioksidi. Suklaata ja lihaa sisältävää jätettä laitoksella ei käsitellä, sillä suklaan

sisältämä teobromiini voi aiheuttaa hevosille positiivisen doping-tuloksen, ja liha aiheuttaisi riskin hullun lehmän tautiin sairastumiselle.

Leipäjätteen rehukäytön ympäristö- ja ilmastovaikutuksia on myös tutkittu.

Leipäjätteestä rehun tuottaminen johtaa -0,53 kg hiilidioksidipäästösäästöihin yhtä kiloa leipää kohden (Brancoli ja muut 2020). Leipäjätteestä rehutuoanto on siis ilmastonäkökulmasta kannattavampaa kuin polttaminen tai anaerobinen digestio.

Sekaelintarvikejätteen sisältämän leipäjätteen käsittely rehuksi on ympäristön kannalta suotuisampaa kuin kaiken sekaelintarvikejätteen käsittely anaerobisella digestiolla (Vandermeersch ja muut 2014).

5.1.2 Bioetanolin tuotanto

Bioetanol on uusiutuva nestemäinen polttoaine, jota valmistetaan pääosin viljelykasveista, kuten maissista, vehnästä tai sokeriruo'osta (Pietrzak ja Kawa-Rygielska 2015). Bioetanolia voidaan tuottaa myös lignoselluloosasta, joka on maatalous- ja metsäteollisuuden ylijäämätuote. Biojätteen käytön soveltuvuutta bioetanolin raaka-aineena on myös tutkittu. Leipäjätteen käsittely etanoliksi johtaa -0,56 kg hiilidioksidipäästösäästöihin yhtä kiloa leipää kohden (Brancoli ja muut 2020). Bioetanolia saadaan tuotettua kilosta vehnäruisleipäjätettä noin 411–425 g (Pietrzak ja Kawa-Rygielska 2015). Saanto oli 92–95 % teoreettisesta saannosta. Leipäjätevelli käsiteltiin ennen *Saccharomyces cerevisiae*-hiivalla fermentointia alfa-amylaasilla ja neutraasilla.

Toisessa bioetanolin tuottoon keskittyvässä tutkimuksessa ylijäämäleivästä tuotettiin fermentointia varten elatusainetta kaksivaiheisella hydrolyysillä (Ebrahimi ja muut 2008). Elatusaineessa kasvatettiin *S. cerevisiae*-hiivaa, joka tuotti 350 g etanolia kiloa alkuperäistä leipää kohden. Leivän väljähtämisellä ei huomattu olevan etanolin tuotannon kannalta merkitystä, sillä tuoreella leivällä saatiin sama etanolisaanto kuin väljähtäneellä leivällä. Prosessointivaiheissa ei myöskään huomattu eroa tuoreen ja väljähtäneen leivän välillä.

5.2 Leipäjätteen käsittelyn rajoitukset

Leipäjäte ei ole homogeenistä, vaan koostuu vaihtelevan laatuista leivistä (Ebrahimi ja muut 2008). Jätteen päätyneet leivät eroavat keskenään leivontaolosuhteiden, mikrobiologisen pilaantumisen ja väljähtämisen asteen näkökulmista. Leipäjäte lisäksi sisältää usein epäpuhtauksia. Näiden syiden takia leivän hyödyntäminen erilaisten yhdisteiden ja tuotteiden kuten bioetanolin tuotannossa on vaikeaa, sillä erot eri leipäjätteen välillä johtavat eroihin tuotetuissa yhdisteissä. Mikrobiologinen pilaantuminen myös usein johtaa tiettyjen jälkikäsittelyn kannalta toivottujen yhdisteiden vähenemiseen leipäjätteessä. Lämpöresistentit mykotoksiinit aiheuttavat taas haasteita terveysnäkökulmasta.

6 Leipäjätteen hyödyntäminen elintarviketeollisuudessa

Maailman väestön arvioidaan rikkovan 9,1 biljoonan raja vuoteen 2050 mennessä (FAO 2025). Kasvavan väestön ruokkiminen vaatii globaalin ruoantuotannon lisääntymistä 70 % vuoteen 2025 mennessä. Keskeisimpien viljakasvien sadon tuottavuuden kasvunopeudet (engl. growth rate of yield) ovat laskeneet vihreän vallankumouksen jälkeisistä vuosista. Tämän takia on tärkeää, että elintarviketeollisuuden sivuvirtoja ja ruokahävikkiä hyödynnetään ruoantuotannossa.

6.1 Sovellukset yksisoluproteiinin tuotossa

Mikrobeja on käytetty ravintona tahallisesti ja tahattomasti satoja vuosia (Sadler 1990). Toisen maailmansodan aikana ja sen jälkeen oltiin kiinnostuneita mikrobien hyödyntämisestä proteiini-rikkaiden elintarvikkeiden tuotannossa. Perinteisempien proteiinituotteiden, kuten eläinperäisen proteiinin, hinnat kuitenkin laskivat ja saatavuus parani, joten mikrobiproteiinin tuotanto ei saanut osakseen kaupallista kiinnostusta. 1950-luvun puolessa välissä maailman proteiinivaje kuitenkin aiheutti huolta. Samoihin aikoihin havahduttiin myös teollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisen potentiaaliin ja tarpeeseen. Loogisesti kiinnostus mikrobiproteiinia kohtaan heräsi jälleen.

Termi yksisoluproteiini (engl. single-cell protein, SCP) luotiin välttämään sanojen kuten mikrobi tai bakteeri aiheuttamia negatiivisia mielikuvia kuluttajissa (Sadler 1990). Kirjaimellisen merkityksen mukaan fermentoimalla tuotettu sienibiomassa ei ole yksisoluproteiinia, sillä sieni ei yksisoluinen. Ristiriidasta huolimatta termiä kuitenkin usein käytetään myös käsittämään fermentoinnilla tuotettu sienibiomassa. Kaiken kaikkiaan yksisoluproteiinitermiä keskiössä on ruoaksi tarkoitettun mikrobibiomassa tuotto.

6.1.1 Rihmamaiset sienet

Quorn mykoproteiinituotteet ovat malliesimerkki rihmamaisten sienien hyödyntämisestä yksisoluproteiinin tuotossa. Tekstuuriltaan lihaa muistuttavaa Quorn mykoproteiinituotetta tuotetaan fermentoimalla *Fusarium venenatum* -sientä (Quorn

2026). Hiililähteenä fermentoinnissa käytetään vehnystä saatavaa glukoosia. Halutun tekstuurin saavuttamiseksi mykoproteiinin sekaan lisätään kananmunaa tai kasviproteiinia (Quorn 2025). Myös prosessin viimeisellä vaiheella eli tuotteen jäädyttämällä vaikutetaan tekstuuriin. Jäädyttämisessä muodostuvat jääkristallit pakottavat tuotteen kuidut lähekkäin toisiaan, mikä luo tuotteeseen lihamaista tekstuuria. Lihamaisen tekstuurin ansiosta Quornia voi käyttää esimerkiksi hampurilaispihvinä.

Lihamaisen tekstuurin lisäksi Quornilla on ravitsemuksellisia etuja. Quorn sisältää kaikki 9 välttämätöntä aminohappoa, ja sen proteiinin imeytyvyydellä korjattu aminohappopisteystys eli PDCAAS (engl. protein digestibility corrected amino acid score) on 0,99, kun taas pihvillä vastaava on 0,92 ja herneproteiinilla 0,82 (Quorn 2026). Lisäksi Quorn sisältää 100 g kohti 6 g kuituja, mukaan lukien beetaglukaania ja kitiiniä. Quorn on vähärasvainen eikä sisällä kolesterolia (Quorn 2025).

Mykoproteiinituotteiden, kuten Quornin, tuotanto vaatii hiililähteen. Leipä on rakenteeltaan huokoista, ja sen ravinteet ovat helposti sienen hyödynnettävissä (Gmoser ja muut 2020). Kiinteän faasin fermentoinnilla väljähtäneestä leivästä tuotetuilla sienituotteilla nähdään sovelluksia paikallisissa leipomoissa, ravintoloissa ja ruokateollisuudessa pienessä mittakaavassa. Kiinteän faasin fermentoinnilla *Neurospora intermedia* -sienellä saadaan tuotettua väljähtäneestä hapanjuurileivästä sienituote, jossa on alkuperäistä väljähtynyttä hapanjuurileipää enemmän kokonaistyppeä, välttämättömiä aminohappoja, lipidejä, mannaaneja, galaktaaneja, ligniiniä, ravintokuitua, tuhkaa ja kaikkia tutkittuja mineraaleja ja vitamiineja (taulukko 1). Myös α -linoleenihapon määrä kasvoi alkutuotteeseen verrattuna. Sienituotteen rasvahapoista oli määrällisesti eniten rasvahappoa C18:2 n-6 ($13,73 \pm 1,62$ mg per g näytettä) ja toiseksi eniten rasvahappoa C18:1 n-9/n-12 ($7,81 \pm 1,23$ mg per g näytettä). Sen sijaan erityisesti glukaanien, mukaan lukien tärkkelyksen, määrä väheni. Sieni siis muunsi leivän hiilihydraatteja proteiiniksi. 65 % leivän tärkkelyksestä muuntui sieniproteiiniksi, jota lopputuotteessa oli 21 %.

Taulukko 1. *Neurospora intermedia* -sienellä fermentoinnin vaikutus väljähtäneen hapanjuurileivän ravintosisältöön. Tutkimusdata lähteestä Gmoser ja muut (2020).

yhdiste	väljähtänyt hapanjuurileipä	<i>Neurospora intermedia</i> -sienellä fermentoimalla väljähtäneestä hapanjuurileivästä tuotettu sienituote
kokonaistyyppi	2,0 %	6,0 %
kokonaisaminohapot	18,4 %	21,1 %
välttämättömät aminohapot	6,3 %	8,4 %
lipidit	2,4 %	10,5 %
ksytaanit	1,7 %	1,2 %
mannaanit	0,4 %	3,7 %
galaktaanit	0,5 %	1,8 %
arabinaanit	0,9 %	0,8 %
glukaanit	80,4 %	30,7 %
josta tärkkelystä	65,1 %	8,5 %
ligniini	3,0 %	9,6 %
kokonaisravintokuitu	3,8 %	22,0 %
kiinteä aine	92,6 %	92,5 %
tuhka	3,2 %	7,3 %
kupari	4,64 µg/g kuivapainosta	8,89 µg/g kuivapainosta
sinkki	11,95 µg/g kuivapainosta	34,12 µg/g kuivapainosta
rauta	28,36 µg/g kuivapainosta	52,17 µg/g kuivapainosta
D2-vitamiini	0,02 µg/g kuivapainosta	0,89 µg/g kuivapainosta
tokoferolit α, γ ja δ	0,32 µg/g kuivapainosta	27,84 µg/g kuivapainosta
C-vitamiini	0,00 µg/g kuivapainosta	0,86 µg/g kuivapainosta

Gmoser ja muut (2020) tutkivat lisäksi, miten mäskin lisääminen väljähtäneen hapanjuurileivän joukkoon muuttaa muodostuvaa sienituotetta. Mäski on yleinen panimoteollisuuden sivuvirta. 12 % prosenttiin asti mäskin lisäys paransi tuotteen tekstuuria. Tuotteen tekstuuri muistutti lihan fibrillejä.

Sienituotteiden valmistus leipäjätteestä on mahdollista myös kotitalouksissa ilman steriilejä fermentointiolosuhteita (Hellwig ja muut 2022). Ylijäämäleipää fermentoitiin sienillä *N. intermedia* ja *Rhizopus oligosporus*. Vertailtaessa kotitalouksissa ja laboratorio-olosuhteissa fermentoitujen lopputuotteiden koostumuksia huomattiin, että kotitalouksissa fermentointi johti pääosin korkeampiin proteiini-, rasva- ja kuitupitoisuuksiin. Sekä kotitalouksissa että laboratoriossa suoritetuissa

fermentoinneissa proteiini-, rasva- ja kuitupitoisuudet olivat fermentoinnin jälkeen suuremmat kuin alkuperäisessä leivässä ja tärkkelyspitoisuudet puolestaan matalammat.

Kotitalousolosuhteiden vähäisemmällä ilmankierrolla arveltiin olevan vaikutusta parempaan fermentointitulokseen, sillä korkeamman ilmankierron olosuhteissa leipä saattaa menettää enemmän kosteutta (Hellwig ja muut 2022). Myös erojen valon määrässä sekä fermentointiajassa ajateltiin mahdollisesti selittävän fermentointitulosten eroja kotitalouksien ja laboratorion välillä.

Kontaminaatiota ei todettu kotitalouksissa tai laboratorio-olosuhteissa suoritetuissa fermentoinneissa (Hellwig ja muut 2022). Kotitalouksissa leipäjätteen fermentointi vähentää jätehuollon kuormitusta, mutta myös vähentää kotitalouksien taloudellista kuormitusta, kun leipäjäte, josta kotitalous on maksanut, voidaan uudelleen hyödyntää. Fermentointia ei ole myöskään pakko tehdä jatkuvatoimisesti. Kuivattuna leipäjäte säilyy melko hyvin, joten fermentointi voidaan tehdä vasta, kun leipäjätettä on tarpeeksi.

N. intermedia -sienellä fermentoitua leipäpohjaista hampurilaispihviä on arvioitu aistinvaraisesti kyselytutkimuksella vertailemalla sitä Quorniin ja lihapohjaiseen hampurilaispihviin (Hellwig ja muut 2020). Maun kannalta miellyttävimmäksi vaihtoehdoksi 51 % valitsi hampurilaispihvin, 26 % leipäpohjaisen hampurilaispihvin ja 22 % Quorn-*pihvin*. Tekstuuriltaan miellyttävimmäksi tuotteeksi 40 % valitsi hampurilaispihvin, 36 % Quorn-*pihvin* ja 24 % leipäpohjaisen hampurilaispihvin. Ympäristöllisistä syistä miellyttävimmäksi vaihtoehdoksi 63 % arvioi leipäpohjaisen hampurilaispihvin, 24 % Quorn-*pihvin* ja 14 % hampurilaispihvin. Kaiken kaikkiaan, mikäli tuotteet maksaisivat saman verran, 44 % osallistujista valitsisi hampurilaispihvin, 35 % leipäpohjaisen hampurilaispihvin ja 21 % Quorn-*pihvin*. Leipäpohjaisen hampurilaispihvin makua ja tekstuuria kannattaisi yhä kehittää. Vastaavien leipäpohjaisten sienituotteiden kaupallistamisessa on hyvä kiinnittää huomiota hintaan verrattuna muihin samankaltaisiin tuotteisiin sekä ympäristönäkökulman esille tuomiseen.

Hellwigin ja muiden (2020) tutkimuksessa lisäksi arvioitiin leipäpohjaisen hampurilaispihvin ominaisuuksia asteikolla 1–5, jossa 1 vastaa hyvin huonoa ja 5 erinomaista. Yleisin arvio ulkonäölle ja maun kitkeryydelle oli 3. Suolaisuudelle, makeudelle, yleiselle makukokemukselle, tekstuurin rapeudelle ja sitkeydelle, tekstuurin tasaisuudelle ja kuohkeudelle, yleiselle tekstuurikokemukselle ja hajulle yleisin arvio oli 4. Iällä huomattiin olevan vaikutusta kitkeryydelle annetulle arviolle: nuoremmat osallistujat arvioivat kitkeryyden paremmaksi kuin vanhemmat osallistujat.

6.1.2 Muut mikrobit

Halofiilista arkeonia *Haloferax mediterranei* käytettiin tuottamaan leipäjätehydroksylaattista samanaikaisesti proteiinia ja biopolymeeriä poly-3-hydroksibutyraatti-ko-3-hydroksivaleraattia (PHBV) (Unis ja muut 2024). *H. mediterranei* menestyy erittäin korkeissa suolapitoisuuksissa, mikä on selkeä etu teollisuusnäkökulmasta mikrobikontaminaatioiden estämiseksi (Pacholak ja muut 2021). Unisin ja muiden (2024) tutkimuksessa myös vertailtiin keskenään eri leipäjätteiden soveltuvuutta arkeonin elatusaineeksi. Vaikka leipäjätteet erosivat keskenään koostumukseltaan, sillä ei ollut vaikutusta arkeonin kasvuun, sillä kaikissa tutkituissa leipäjätteissä oli runsaasti typpeä.

Arkeoni käyttää leipäjätettä hiili- ja typpilähteenään (Unis ja muut 2024). Elatusaineena käytetyn leipäjätehydroksylaatin kemiallinen koostumus oli $C_{355}H_{660}N_{23}S_{2.6}O_{297}$.

Leipäjättepitoisuuden suhteen optimaalinen spesifinen kasvunopeus ja kahdentumisaika saavutettiin leipäjättepitoisuudella 3,0 % w/v. Solubiomassa sisälsi tässä leipäjättepitoisuudessa $21,4 \pm 1,1$ % w/w PHBV:tä ja $24,4 \pm 1,2$ % w/w proteiinia. Elatusaineessa oli organismin halofiilisuuden takia myös punaista merisuolaa. 20 % w/v punaisen merisuolan pitoisuudella saavutettiin optimaaliset spesifinen kasvunopeus ja kahdentumisaika. Tässä suolapitoisuudessa solubiomassa sisälsi $20,0 \pm 1,0$ % w/w PHBV:tä ja $20,5 \pm 1,0$ % w/w proteiinia. pH:n suhteen parhaiksi olosuhteiksi todettiin pH 7,3.

Kun arkeonia kasvatettiin pH:n sekä leipäjäte- ja suolapitoisuuden suhteen optimaalissa olosuhteissa, saavutettiin $8,0 \pm 0,1$ g L⁻¹ biomassapitoisuus ja $11,1$ mg L⁻¹h⁻¹ tuottavuus (Unis ja muut 2024). Biomassa sisälsi PHBV:tä $36,0 \pm 6,3$ % w/w. Tuhkaa

biomassa sisälsi 20,2 % w/w, mikä on enemmän kuin tyyppisissä proteiininlähteissä. Tuotetun proteiinin PDCAAS oli $0,78 \pm 0,02$. Aminohappoja biomassassa sisälsi $358,0 \pm 3,9$ g kg⁻¹, ja rajoittava aminohappo oli L-lysiini. Tryptofaania ei pystytty määrittämään.

6.2 Hyödyntäminen ekstruusiomenetelmillä

Leivänmurut ovat yleinen leipomoiden sivutuote (Koksel ja muut 2025). Leivänmuruja valmistetaan leivästä, joka on yli- tai alikypsää, väärän muotoista, väärän näköistä tai jäänyt myymättä. Perinteisesti leivänmuruja käytetään friteerattujen ruokien rapean pinnan luomiseen. Koksel ja muut (2025) näkivät leivänmuruilla potentiaalia myös naposteltavien ruokien valmistukseen. Naposteltavat ruoat ovat hyvin suosittuja erityisesti lasten keskuudessa. Ekstruusiomenetelmät soveltuvat hyvin naposteltavien ruokien valmistamiseen, sillä ekstruusiolla tuotetut ruoat ovat kevyitä, rapeita ja niitä voidaan tuottaa monen kokoisina ja muotoisina.

Kokselin ja muiden (2025) tutkimuksessa ekstruusiolla leivänmuruista tuotettiin naposteltavia, jotka täyttävät EU:n määritelmän kuitupitoisuudesta. Elintarviketta voidaan markkinoida runsaskuituisena vain, jos se sisältää ravintokuituja vähintään 6 g/100g tai 3 g/100 kcal (Ruokavirasto 2025). Tutkimuksessa vertailtiin kuitupitoisuuden kasvattamiseksi tuotteessa resistentin tärkkelyksen tyyppiä 2 ja tyyppiä 4 kuitulisinä (Koksel ja muut 2025). Tyyppin 2 tärkkelyksellä täydennetty leivänmurunaposteltava laajeni paremmin, oli ilmavampaa ja rapeampaa kuin tyyppin 4 tärkkelyksellä täydennetty naposteltava suurimmassa osassa kokeiltuja ekstruusio-olosuhteita. Joillain olosuhteilla tyyppin 4 tärkkelyksellä täydennetyillä naposteltavilla saatiin kuitenkin vastaavia tuloksia. Parhaat tekstuuriominaisuudet saavutettiin molemmilla täydennyksillä 150 °C:n suutinlämpötilassa ja 13 % syötön kosteuspitoisuudella.

6.3 Leipäjäte leivän raaka-aineena

Leipäjätteen lisääminen leipätaikinaan on haastavaa, sillä leipäjätteen sisältämä liisteröitynyt tärkkelys ja denaturoitunut proteiini vaikeuttavat taikinan kohoamista (Immonen ja muut 2020). Leipäjätteen sisältämät *Bacillus*-itiöt saattavat myös aktivoitua prosessin aikana, mikä lisää riskiä leivän rihmataudille sekä kuluttajan ruokamyrkytykselle (De Bellis ja muut 2015).

Maitohappofermentoinnilla ja etikkahappofermentoinnilla kuitenkin voidaan estää *Bacillus*-itiöiden aiheuttama riski, sillä matalassa pH:ssa itiöiden aktivoituminen estyy (Katina ja muut 2002). Hapanjuurileivonnassa hyödynnetään maitohappofermentointia ja etikkahappofermentointia, ja siten voidaan pienentää riskiä *Bacillus*-itiöiden aktivoitumiselle. Useat maitohappobakteerikannat, joita käytetään esimerkiksi hapanjuurileivonnassa, tuottavat lisäksi eksopolysakkarideja (EPS), jotka parantavat fermentoitujen tuotteiden tekstuuria ja viskositeettia (Ruas-Madiedo ja muut 2002). Bakteerit erittävät EPS-molekyylit soluseinänsä ulkopuolelle.

Immonen ja muut (2020) tutkivat miten käsittelemättömän ja käsitellyn leipäjätevelliin lisääminen leipätaikinaan vaikuttaa leivotun leivän laatuun. Käsittelemätön leipäjätevelli oli hienonnettua ylijäämäleipää RO-veteen sekoitettuna. Käsiteltyjä leipäjätevelliä tutkittiin neljää erilaista. Kaksi tutkituista käsittelytavoista oli EPS-positiivisia ja loput kaksi EPS-negatiivisia. Maitohappobakteereja *Pediococcus clausenii* E-032355T sekä *Weissella confusa* A16 käytettiin leipäjätevelliin käsittelyyn. *W. confusa* tuottaa EPS-dekstraania velliin lisäystä sakkaroosista, kun taas *P. clausenii* tuottaa beeta-glukaanin glukoosista, jota saadaan hydrolysoimalla leipäjätteen sisältämää tärkkelystä. EPS-negatiiviseen käsittelyyn *W. confusalla* käytettiin glukoosia ja fruktoosia sakkaroosin sijaan. Toiseen EPS-negatiiviseen käsittelyyn käytettiin *P. clausenii* E-022179-kantaa, joka ei tuota EPS:iä, mutta sen hapontuottamiskyvyt vastaavat *P. clausenii* E-032355T:n hapontuottamiskykyjä.

Tutkimuksessa huomattiin, että käsittelemättömän leipäjätevelliin lisääminen leipätaikinaan heikentää leivotun leivän laatua huomattavasti, eikä se siten ole kannattava leipäjätteen käsittelytapa (Immonen ja muut 2020). Laadun heikkeneminen on todennäköisesti seurausta leipäjätteen sisältämästä liisteröityneestä tärkkelyksestä sekä denaturoituneista proteiineista. Denaturoituneet proteiinit eivät osallistu taikinan gluteeniverkoston luomiseen.

Asiakkaat odottavat vehnäleivän olevan ilmavaa, pehmeää ja hyvin säilyvää, joten leipäjätevelliin lisääminen taikinaan ei saisi heikentää näitä ominaisuuksia leivotussa leivässä (Immonen ja muut 2020). Käsittelemättömän leipäjätevelliin lisääminen taikinaan kuitenkin pienensi leivän tilavuutta. Leivottu leipä myös väljähti nopeammin,

mikä tutkimuksessa havaittiin leivän sisuksen kovettumisena säilytyksen aikana. Kontrollileivän sisuksen kovuus lisääntyi 41 g/d, kun taas 12,5 % leipäjätevelliä sisältävä leipä kovettui 72 g/d. Tilavuuden pieneneminen ja kovuuden lisääntyminen ovat molemmat suoraan verrannollisia lisätyn käsittelemättömän leipäjätellin määrän kasvuun taikinassa.

Tutkimuksessa tutkittiin vehnäleipää, jolla tilavuuden ja kovuuden heikkeneminen johtavat leivän laadun heikkenemiseen (Immonen ja muut 2020). Nämä ominaisuudet eivät kuitenkaan ole yhtä tärkeitä esimerkiksi ruisleivälle, joten sen kohdalla voitaisiin kokeilla myös käsittelemättömän ylijäämäleivän lisäystä taikinaan. Tosin käsittelemättömän leipäjätellin lisäys aiheuttaa riskin *Bacillus*-itiöiden aktivoitumiselle myös ruisleivän tilanteessa.

Fermentoinnilla voidaan lisätä ylijäämäleipävelliä taikinaan ilman yhtä merkittävää laadun heikkenemistä kuin käsittelemättömän leipäjätellin tilanteessa (Immonen ja muut 2020). Neljästä tutkitusta fermentoinnista kontrollia parhaiten vastaavat tulokset saatiin 12,5 % leipäjätevelliä sisältävällä taikinalla, joka käsiteltiin EPS-positiivisella *W. confusa* -käsittelyllä. Tällä käsittelyllä saatu tilavuus oli paras kaikista käsitteletavoista. EPS-positiivisessa käsittelyssä *W. confusa* tuotti dekstraania 102 g kiloa leipäjätettä kohden, ja sen sakkaroosi-dekstraanimuunnosaste oli 46,6 %.

Dekstraanin tuotto selvästi paransi tilavuutta, sillä EPS-negatiivisella vastaavalla käsittelyllä saatu tilavuus oli heikompi (Immonen ja muut 2020). Tilavuus oli kuitenkin yhä kontrollia sekä 4,5 % käsittelemättömä leipäjätevelliä sisältävää leipää huonompi. Verrattuna 12,5 % käsittelemättömä leipäjätevelliä sisältävään leipään EPS-positiivisella *W. confusa* -käsittelyllä saavutettiin 12 % suurempi tilavuus ja 37 % vähäisempi sisuksen kovuus. Dekstraanin positiiviset vaikutukset johtuvat todennäköisesti siitä, että se sitoo vettä sisuksessa ja on vuorovaikutuksessa sekä tärkkelyksen että gluteenin kanssa. Dekstraanin myös ajatellaan hidastavan tärkkelyksen uudelleenkiteytymistä. Beeta-glukaanilla ei huomattu vaikutusta sisuksen kovuuteen tai tilavuuteen.

Leivän sisusjätettä on tutkittu myös hapanjuurileipätaikinän raaka-aineena (Gélinas ja muut 1999). Gélinasin ja muiden (1999) tutkimuksessa jäteleipä jauhettiin muruksi ja sekoitettiin veteen ennen fermentointia. Tutkimuksessa painotettiin hyvien

fermentointiolosuhteiden löytämistä valkoiselle leivälle, joka muodostaa ison osan leipäjätteestä. Eri kantoja vertailtaessa huomattiin kaupallisen *Lactobacillus plantarum* -bakteeria sisältävän kannan soveltuvuus 50 % valkoisen leivän sisusta sisältävän taikinan fermentoinnissa, kun lämpötila oli 35 °C ja fermentointiaika 12–48 h. Näissä olosuhteissa muodostui paljon happoa, ja happopitoisuus kasvoi taikinassa solujen kasvun loputtuakin noin 12–24 tunnin kuluttua. Pidemmällä fermentointiajalla saadaan lisättyä happopitoisuutta ja siten luotua hapanjuurileivälle ominainen vahva aromi.

7 Leipäjätteen hyödyntäminen juomateollisuudessa

Juomateollisuus on elintarviketeollisuuden tavoin tapa hyödyntää leipäjäte ihmisravintona. Elintarviketeollisuudesta poiketen juomateollisuudesta löytyy kuitenkin jo kaupallisia leipäjätteen hyödyntämissovelluksia vain tutkittujen sovelluskohteiden lisäksi.

7.1 Sovellukset panimoteollisuudessa

Olut on ympäri maailman nautittu fermentoitu juoma, jonka kansainvälinen kulutus oli vuonna 2024 noin 194,12 miljoonaa kilolitraa (Kirin Holdings Company 2026).

Alueellisesti olutta kulutetaan eniten Aasiassa ja valtiotasolla Kiinassa. Henkilöä kohden olutta kulutetaan eniten Tšekin tasavallassa. Oluen kulutus kasvoi vuonna 2024 0,5 % vuoteen 2023 verrattuna.

Oluen valmistus koostuu viljan mallastuksesta, maltaan rouhinnasta, mäskäyksestä, humalan lisäämisestä, keittämisestä, käytettyjen humalien poistosta, viilennyksestä ja ilmastuksesta, hiivafermentoinnista, hiivan poistosta, kypsymisestä, suodatuksesta, pastöroinnista ja pakkaamisesta (Rachwał ja muut 2020). Prosessissa viljasta peräisin oleva tärkkelys muunnetaan yksinkertaisemmiksi hiilihydraateiksi, jotka uutetaan ja fermentoidaan hiivalla. Valmistusprosessissa muodostuu useita sivuvirtoja: mäskiä, ylijäämähiivaa ja ylijäämähumalaa.

Hävikileivän käytöstä oluen raaka-aineena on kiinnostuttu muun muassa ympäristösyistä. Leipäjätteen hyödyntäminen oluentuotannossa johtaa -0,46 kg hiilidioksidipäästösäästöihin yhtä kiloa leipää kohden, mikä tekee siitä hiilidioksidipäästösäästöjen kannalta paremman vaihtoehdon leipäjätteen käsittelylle kuin esimerkiksi polttaminen tai anaerobinen digestio (Brancoli ja muut 2020). Leivän ja oluen yhtymäkohdat on kuitenkin ymmärretty jo antiikin ajoista. Antiikin Egyptissä leipää valmistettiin viljajauhojen lisäksi myös maltaasta (Samuel 1996).

Hävikileipäoluita onkin jo useita kaupallisesti saatavilla. Esimerkiksi Teerenpeli Panimo ja Fazer loivat yhteistyössä Vaalea Ruis -oluen, jonka maltaista 25 % on korvattu Fazerin hävikkiruisleivällä (Teerijoki 2025). Vaalea Ruis -oluen haluttiin maistuvan klassiselta lagerilta eikä liikaa leivältä. Korvattaessa 25 % maltaista

hävikkiruisleivällä saavutettiin parhaat aistinvaraiset ominaisuudet. Leivän hyödyntämistä oluen valmistuksessa vaikeuttaa suola, jonka maku vahvistuu lisätessä enemmän leipää olueen. Hävikkileipä myös vaikeuttaa mäsikin siivilöinti- ja suodatusprosesseja tukkimalla siivilöitä ja suodattimia. Tukkeutumisongelma ratkaistiin lisäämällä käytettyyn leipärouheeseen entsyymiseosta, joka pilkkoo leivän tärkkelystä. Fazer on aiemmin hyödyntänyt hyväntekeväisyyteen lahjoittamista ja Gasumilla biokaasun tuotantoa syömäkelpoisen hävikin käsittelytapoina.

Myös Turun ammattikorkeakoulun Kupittaa Campus Brewery -panimossa on valmistettu 20 % leipomohävikkiä sisältävää olutta (Turku AMK 2024). Käytetty leipomohävikki koostuu leivästä, voisilmäpullista ja pitkopullista.

Karhu-olut ja Leipomo Väyrynen päättivät luoda leipomon ja panimon välille järjestelmän, jossa leipomon leipäjätettä hyödynnetään panimossa oluen panoon ja panimon mäskiä hyödynnetään leipomossa leivän valmistukseen (Sinebrychoff 2020). Leivän lisääminen olueen tuo siihen paahteisuutta ja täyteläisyyttä. Mäskileipä on hapanjuurileipää, johon on lisätty noin 50–100 g Karhu-oluen mäskiä. Sinebrychoff hyödyntää mäsikin pääosin rehuna.

Leipäoluita on myös tutkittu erityisesti aleoluitten valmistuksessa. Martin-Loberan ja muiden (2022) tutkimuksessa valmistettiin aleoluita, joissa 50 % maltaista oli korvattu vehnä-, ruis-, maissi- tai täysjyväleivällä. Leipäoluita vertailtiin 100 % mallasta sisältävään aleen. Oluita vertailtiin toisiinsa ja kontrolliin sameuden, tummuuden, pH:n, alkoholipitoisuuden, polyfenolimäärän, antioksidanttikapasiteetin, haihtuvien yhdisteiden, maun ja olfaktometrisen profiilin suhteen.

Vehnäleipäoluen sameus vastasi kontrollia, ja muiden leipäoluiden sameus oli kontrollia matalampi täysjyväleipäolutta lukuun ottamatta (Martin-Lobera ja muut 2022). Käytetyllä leivällä on yhteys oluen sameuteen: paljon sisusta sisältävät vehnä- ja täysjyväleipä vapauttavat enemmän partikkeleja olueen, kun taas maissi- ja ruisleivästä vapautuu olueen vähemmän partikkeleja tiiviimmän sisuksen ja paksumman kuoren takia. Leipäoluet olivat myös kontrolliolutta vaaleampia. Tummin leipäoluista oli täysjyväleipäolut, jolla oli myös tumma sisus.

Leipäoluitten pH vastasi hyvin kontrollin pH:ta eikä leipätyyppien välillä huomattu merkittäviä pH-eroja (Martin-Lobera ja muut 2022). Leipäoluitten alkoholipitoisuus vastasi hyvin kontrolliolutta maissileipäolutta lukuun ottamatta. Hiiva pystyy siis fermentoimaan vehnä-, ruis- ja täysjyväleivästä peräisin olevat hiilihdraatit yhtä hyvin kuin maltaasta peräisin olevat hiilihdraatit. Maltaan sisältämien entsyymien on ajateltu yhdeksi oluen valmistuksessa käytettävän leivän määrää rajoittavaksi tekijäksi.

Täysjyvä- ja vehnäleipäoluiden polyfenolimäärä vastasi kontrolliolutta (Martin-Lobera ja muut 2022). Ruis- ja maissileipäoluiden polyfenolimäärä oli kontrolliolutta matalampi. Täysjyväleipäoluen antioksidanttikapasiteetti oli kaikkia oluita korkeampi, ja kaikkien leipäoluiden paitsi maissileipäoluen antioksidanttikapasiteetti oli kontrolliolutta suurempi.

Oluita jaoteltiin ryhmiin niiden sisältämien haihtuvien yhdisteiden perusteella (Martin-Lobera ja muut 2022). Vehnä- ja ruisleipäoluen sisältämät haihtuvat yhdisteet vastasivat toisiaan. Niille tyypilliset haihtuvat yhdisteet olivat fenyylieetylialkoholi, fenyyliekarboksyylaatti ja isoamyliasettaatti. Täysjyväleipä- ja kontrolliolut taas vastasivat toisiaan, ja ne sisälsivät etyylioktanoaattia ja dekaanihappoetyyliesteriä.

Maissileipäoluelle tyypilliset haihtuvat yhdisteet sen sijaan olivat sitronelloli ja linaloli.

Leipäoluista arvioidut makuun liittyvät ominaisuudet koettiin pääosin intensiivisimpinä kontrolliolueen verrattuna (Martin-Lobera ja muut 2022). Vehnäleipäoluen happamuus, täyteläisyys (engl. body) ja hiilidioksidi erityisesti arvioitiin kontrolliolutta intensiivisemmiksi. Täysjyväleipäolut oli myös kontrollia happamampaa. Parhaiten kontrolliolutta vastasi maissileipäolut, vaikka sen aromaattinen pysyvyys oli kontrollia korkeampi.

Leipäoluitten olfaktometrinen profiili oli kontrolliolutta intensiivisempi ja monipuolisempi (Martin-Lobera ja muut 2022). Maissi- ja ruisleipäoluita määrittävät eksoottinen hedelmä humala, kypsä hedelmä mallas, kahvi ja leipähiiva.

Vehnäleipäolut vastasi parhaiten kontrolliolutta, jota karakterisoi trooppinen hedelmä hiiva -haju. Täysjyväleipäoluelle ominaiset hajut taas olivat laku ja tulinen hiiva.

Coelhon ja muiden (2024) tutkimuksessa huomattiin, että pale ale -oluen valmistuksessa 50 % maltaiden korvaaminen väljähtäneellä leivällä vaati 185 minuutin mäsäysajan, jotta tärkkelys saadaan pilkkottua yksinkertaisimmiksi sokereiksi. Tutkimuksessa tuotetun pale alen alkoholipitoisuus oli normaalia olutta matalampi. Aistinvaraisessa arvioinnissa väljähtänyttä leipää sisältävässä oluessa ei huomattu merkittäviä eroja kontrolliolueen. Valmistettu olut sisälsi hajuprofiiliin vaikuttavia haihtuvia yhdisteitä: linalolia, 2-fenyylietanolia, oktaanihappoetyyliesteriä, sitronellolia, 2-fenyylieetyliasetaattia, nerolia, alfa-humuleenia, 2-tert-butyyl-4-isopropyyl-5-metyylifenolia, karyofylleenioksidia, 1-heptadekanolia ja eikosaania. Näistä linaloli ja sitronelloli olivat maissileipää sisältävälle alelle tyypillisiä haihtuvia yhdisteitä (Martin-Lobera ja muut 2022).

Dall'Acuan ja muiden (2025) tutkimuksessa vehnähiutaleita korvattiin ranskalaistyylisellä leivällä alekäsityöläisoluen valmistuksessa. Leipäjätettä sisältävät oluet olivat kontrolliolutta kirkkaampia, tummempia, ja ne sisälsivät vähemmän etanolia, glyserolia ja etikkahappoa. Koulutettu aistinvaraisen arvioinnin raati ei kuitenkaan havainnut eroja sameudessa, ja arvioi kontrollioluen tummemman väriseksi kuin leipäjäteoluet. Happamuuden suhteen ei ollut eroja, ja pH oli kontrollia hieman matalampi. Oluesta tunnistettiin haihtuvia yhdisteitä, kuten D-limoneenia, etyylidodekanaattia, heptanolia, asetaldehydiä ja etyyliasetaattia. Leipäjäteosuuden kasvaessa oluen banaanin haju ja maku voimistui. Vehnähiutaleiden täysi korvaus leipäjäteellä osoittautui otolliseksi eikä leipäjätettä sisältävistä oluista ei todettu sivumakuja.

7.2 Hyödyntäminen muiden fermentoitujen juomien tuotannossa

Fermentoituja juomia voidaan tuottaa maitohappofermentoinnilla väljähtäneestä vehnäruisleivästä (Jus ja muut 2024). Jusin ja muiden (2024) tutkimuksessa 8 tunnin fermentointiajalla kannoilla *Lactiplantibacillus plantarum* ja *Lacticaseibacillus paracasei* saavutettiin 10^8 log CFU/ml solumäärät sekä pellavansiemenjauhelisäyksellä että ilman pellavansiemenjauhelisäystä. 10^8 log CFU/ml solumäärä on tärkeää saavuttaa, jotta juomalla on terveyttä edistäviä vaikutuksia ja ei-haluttujen mikrobien kasvu estyy. Jopa kuuden tunnin fermentointiaika voi riittää, sillä edellä mainittu

solumäärä saavutettiin kuudessa tunnissa varianteilla *L. plantarum* ilman pellavansiemenjauhelisäystä ja *L. paracasei* pellavansiemenjauhelisäyksellä ja ilman. 24 tunnin fermentointiajan jälkeen korkeimmat solupitoisuudet olivat varianteilla *L. paracasei* ilman pellavansiemenjauhelisäystä, *L. paracasei* pellavansiemenjauhelisäyksellä ja *L. plantarum* pellavansiemenjauhelisäyksellä. *L. paracasei* ja *L. plantarum* sekafermentaatiolla saatiin matalimmat solupitoisuudet. Missään juomavariantissa ei todettu *E. colia* tai sieniä.

Kaikissa juomissa bakteerimäärien kasvaessa pH laski (Juś ja muut 2024).

Pellavansiemenjauhetta sisältävissä juomissa pH oli korkeampi kuin juomissa, joihin ei ollut lisätty pellavansiemenjauhetta. *L. paracaseilla* fermentoitujen juomien pH oli *L. plantarumilla* fermentoitujen ja sekafermentoitujen juomien pH:ta matalampi.

Juomien antimikrobiaaliset ominaisuudet paranivat fermentointiajan pidetessä (Juś ja muut 2024). MIC-arvot olivat suurimmalle osalle juomavarianteista >50 % *Escherichia colia*, *Staphylococcus saprophyticysia* ja *Pseudomonas fluorescensia* vastaan 6–12 tunnin fermentointiajalla. MIC-arvot laskivat 25 % tai 50 % 24 ja/tai 48 tunnin fermentoinnin jälkeen. *L. paracaseilla* fermentoidulla pellavansiemenlisätyllä juomalla MIC *P. fluorescens* vastaan oli poikkeuksellisesti 48 tunnin fermentoinnin jälkeen 12,5 %. *Micrococcus luteusta* vastaan MIC-arvot olivat kaikkien juomien kohdalla pääsääntöisesti matalammat, mikä viittaa parempaan sensitiivisyyteen tätä mikrobia vastaan. *L. plantarumilla* fermentoidulla pellavansiemenlisätyllä juomalla oli vahvimmat antibakteriaaliset ominaisuudet. Juoma inhiboi bakteerikasvua *E. colilla*, *P. fluorescensilla* ja *M. luteuksella* yli 70 % 6 tunnin fermentoinnin jälkeen. Samoihin arvoihin *S. saprophyticuksella* päästiin 8 tunnin fermentoinnin jälkeen.

Optimaalisimmaksi variantiksi arviointiin 24 tunnin fermentointiajan *L. paracasei* pellavansiemenjauhelisäyksellä, sillä sen maitohappobakteeripitoisuus oli vähintään 10^8 log CFU/ml, pH \leq 3,5, fermentointiaika 24 tuntia verrattuna 48 tunnin ja sillä oli hyvät antimikrobiaaliset ominaisuudet.

8 Yhteenveto

Leipä on suurimmaksi osaksi tärkkelystä, joka vaikuttaa leivän koostumukseen kaikissa vaiheissa leivän elinkaarta. Lisättäessä vettä tärkkelyksen joukkoon lämpimässä tärkkelys liisteröityy. Liisteröitynyt tärkkelys voi lämpötilan laskiessa uudelleenkiteytyä, mikä on keskeinen leivän väljähtämistä selittävä tekijä. Myös leivän sisältämä proteiini, josta suurin osa on gluteenia, vaikuttaa väljähtämisprosessiin. Väljähtäessä leivän tekstuuriominaisuudet heikkenevät, mikä tekee leivästä kuluttajan näkökulmasta epämiellyttävämmän kuin tuore leipä.

Pilaantuminen voi tapahtua myös mikrobien, kuten *Bacillus*-bakteerien tai homeiden vaikutuksesta. Home sekä väljähtämisestä johtuva aistinvarainen epämiellyttävyys ovat keskeisimpiä syitä leivän päätymiseksi jätteeksi kotitalouksissa. Muodostuvan leipäjätteen määrällä on huomattu yhteys kuitenkin myös esimerkiksi tiettyihin ostokäyttäytymispiirteisiin kuten ostoslistojen käyttöön ja kaupassakäyntien tiheyteen.

Leipä- ja leipomotuotteet ovat nopeasti pilaantuvia, ja siten ne korostuvat elintarvikeryhmänä kartoittaessa elintarvikejätteen ja ruokahävikin koostumusta. Korostumista selittää myös leivän vakiintunut asema osana ruokavaliota kansainvälisesti, mikä johtaa suuriin kulutettuihin määriin leipää. Kotitaloudet tuottavat määrällisesti eniten elintarvikejätettä ja ruokahävikkiä kuin muut elintarvikeketjun vaiheet. Kotitalouksien tuottaman leipäjätteen käsittelyä vaikeuttaa se, että leipäjäte päätyy useimmiten muun elintarvikejätteen sekaan tai jopa sekajätteeseen.

Leipäjätettä voidaan käsitellä usealla eri tavalla riippuen esimerkiksi siitä, onko leipäjäte kerätty erikseen ja minkälaista infrastruktuuria on paikallisesti saatavilla. Osa leipäjätteestä päätyy kaatopaikalle tai poltettavaksi. Leipäjätettä käsitellään myös anaerobisella digestiolla, jonka tehokkuus riippuu siitä, hyödynnetäänkö muodostuva mädätysjäte. Muita käytössä olevia käsittelytapoja ovat hyväntekeväisyyteen lahjoitus, bioetanolin tuotto ja rehukäyttö. Lahjoituksessa, rehukäytössä, bioetanolin tuotossa sekä biojalostamosovelluksissa leipäjätteen oikea koostumus on kuitenkin erittäin tärkeää. Käsittelyä voivat rajoittaa esimerkiksi home tai leipäjätteen sisältämät eläinperäiset raaka-aineet.

Leipäjätteen nykyistä käsittelyä on kehitettävä. Vaikka jätteen vähentämisen puolesta on työskenneltävä, on hyvä lisäksi parantaa nykyisiä leipäjätteen keräysstrategioita, jotta leipäjäte ei päätyisi muun elintarvikejätteen tai varsinkaan sekajätteen sekaan. Kaupoissa tällaisten strategioiden kehittäminen on helpompaa kuin kotitalouksissa, jossa leipäjätteen erilliskeräys ei ole muodostuvan leipäjätteen määrän kannalta välttämättä mielekäästä. Leipäjätteen keräyksen kehittäminen mahdollistaisi parempien leipäjättekäsittelystrategioiden käytön, kuten bioetanolin tuoton. Parempiin leipäjättekäsittelytapoihin siirtyminen vaatii parempien keräysstrategioiden lisäksi myös infrastruktuurin kehittämistä.

Leipäjätteen käsittelylle on haettu ratkaisuja myös elintarvike- ja juomateollisuudesta, sillä kasvavan väestön ruokkimisen kannalta on tärkeää hyödyntää tuotettu ruoka ihmisravintona. Nykyään elintarviketeollisuudessa leipäjätteestä tuotetaan leivänmuruja, joita hyödynnetään friteerattujen ruokien valmistuksessa. Leivänmuruista on kuitenkin mahdollista tuottaa lisäksi ekstruusiolla naposteltavia.

Iso osa leipäjätteen elintarviketeollisuuden sovelluksista keskittyy leipäjätteen hyödyntämiseen kasvualustana tai osana elatusainetta yksisoluproteiinin tuotossa. Tärkkelyspitoisena elintarvikkeena leipä tarjoaa mikrobeille käyttökelpoisen hiilenlähteen. Leipäjätteellä kasvatetulla rihmamaisella sienellä on saatu tuotettua sienituote, jonka ravitsevukselliset ominaisuudet ovat alkuperäistä leipää paremmat. Rihmamaisten sienien etuna on mahdollisuus tuottaa tuotteeseen lihaa muistuttava tekstuuri. Leipäjätteestä tuotetut sienituotteiden kaupallistamisessa on tärkeää tavoitella hintatasoa, joka vastaa saman tuotekategorian tuotteita, sekä tuoda markkinoinnissa esille tuotteen ympäristöystävällisyyttä.

Rihmamaisilla sienillä yksisoluproteiinin tuotto leipäjätteestä soveltuu pienen mittakaavan ratkaisuihin ravintoloissa, leipomoissa, ruokateollisuudessa ja kotitalouksissa. Samankaltaisia sovelluskohteita nähdään myös leipäjätteen lisäämisellä leipätaikinaan. Lisättävän leipäjätteen pitoisuus on kuitenkin optimoitava, jottei leivottavan leivän laatu heikkene. Leipäjäte sisältää liisteröitynyttä tärkkelystä, denaturoitunutta proteiinia ja mahdollisia *Bacillus*-itiöitä, mistä jälkimmäinen on suora riski kuluttajalle, kun taas kaksi ensimmäistä vaikeuttavat taikinan kohoamista.

Lisättävän leipäjätteen käsittely EPS-molekyylejä tuottavilla maitohappobakteerikannoilla vähentää riskiä *Bacillus*-itiöiden aktivoitumiselle ja siten kuluttajan ruokamyrkytykselle. Nämä maitohappobakteerikannat parantavat myös leipäjätettä sisältävän leivän koostumusta, mikä mahdollistaa suuremman leipäjätteen pitoisuuden taikinassa.

Leipätyyppi vaikuttaa taikinaan lisättävän leipäjätteen pitoisuuteen sekä vaatimaan käsittelyyn. Esimerkiksi ruisleivässä ovat erilaiset vaatimukset tekstuurille kuin vehnäleivässä, ja siten käsittelemättömän leipäjätteen lisääminen ruisleipätaikinaan ei välttämättä johtaisi vastaavanlaisiin merkittävien aistinvaraisten ominaisuuksien heikkenemiseen.

Elintarviketeollisuuden leipäjätteen hyödyntämissovellukset ovat pitkälti ainoastaan tutkimuksen alla eivätkä vakiintuneessa käytössä elintarviketeollisuudessa.

Juomateollisuudessa on vastaavanlaisia toistaiseksi vain tutkittuja menetelmiä, mutta sen lisäksi myös vakiintuneita ja laajalle levinneitä sovelluskohteita.

Juomateollisuudessa toistaiseksi tutkimuksen tasolla ovat muut fermentoidut juomat kuin oluet. Fermentoimalla leipäjätettä maitohappobakteereilla on mahdollista tuottaa antimikrobiaalinen maitohappobakteerijuoma.

Leipäjätettä raaka-aineenaan hyödyntäviä oluita on kaupallisesti useita saatavana.

Useimmiten lisätty leipäjäte korvaa osan maltaista. Tutkimus leipäjätteen hyödyntämisestä juomateollisuudessa keskittyy aleoluiden valmistamiseen.

Leipäjätteen lisääminen muuttaa oluen aistinvaraisia ominaisuuksia ja voi myös vaikuttaa käytettävään valmistusprosessiin. Monenlaisia leipäjätettä sisältäviä oluita on mahdollista tuottaa riippuen käytetystä leipäjätteestä ja valmistusprosessista. Tämän takia on keskeistä tietää, millaista olutta halutaan valmistaa. Jotkut leipäjätettä sisältävät oluet sisältävät esimerkiksi tavallista olutta vähemmän alkoholia, mikä voi olla valmistajalle etu tai haitta riippuen kohderyhmästä.

Kaiken kaikkiaan, leipäjätteelle löytyy monia innovatiivisia sovelluksia sekä elintarviketeollisuudessa. Suurin osa sovelluksista on kuitenkin vasta tutkimusvaiheessa. Tutkimusta tulisi kuitenkin ehdottomasti jatkaa, sillä sovelluskohteet vaikuttavat lupaavilta ja leipäjätteen hyödyntäminen ihmisravintona on

tärkeää. Elintarvike- ja juomateollisuuden sovelluksilla ei kuitenkaan voida ratkaista koko leipäjäteongelmaa, vaan ongelman ratkaisu vaatii myös muita sovelluksia.

9 Lähteet

- 2008/98/EY. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2008/98/EY.
<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj/eng> (Luettu 16.12.2025)
- Alkurd, R., Tahruri, H., Muwalla, M. & Arafat, T. (2020) The Nutritional Value, Energy and Nutrient Contents and Claims of Marketed Multi-grain Breads. *J Food Nutr Res* **8**:600–605.
- Ananda, J., Pearson, D. & Oakden, S. (2024) Breaking bread: Assessment of household bread waste incidence and behavioural drivers. *J Clean Prod* **471**:143377.
- Baik, M.-Y. & Chinachoti, P. (2001) Effects of Glycerol and Moisture Gradient on Thermomechanical Properties of White Bread. *J Agric Food Chem* **49**:4031–4038.
- Biesiekierski, J. R. (2017) What is gluten? *J Gastroenterol Hepatol* **32**:78–81.
- Bocken, N. M. P., Olivetti, E. A., Cullen, J. M., Potting, J. & Lifset, R. (2017) Taking the Circularity to the Next Level: A Special Issue on the Circular Economy. *J Ind Ecol* **21**:476–482.
- Brancoli, P., Bolton, K. & Eriksson, M. (2020) Environmental impacts of waste management and valorisation pathways for surplus bread in Sweden. *Waste Manag* **117**:136–145.
- Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V. & Ball, S. (1998) Starch granules: Structure and biosynthesis. *Int J Biol Macromol* **23**:85–112.
- Cereals & Grains Association. Staleness/Texture Methods.
<https://www.cerealsgrains.org/Pages/default.aspx> (Luettu 13.12.2025)
- Coelho, P., Prista, C. & Sousa, I. (2024) Brewing Mainly from Stale Bread: A Pale Ale Case Study. *Beverages* **10**:23.
- Curti, E., Bubici, S., Carini, E., Baroni, S. & Vittadini, E. (2011) Water molecular dynamics during bread staling by Nuclear Magnetic Resonance. *LWT - Food Sci Technol* **44**:854–859.
- Curti, E., Carini, E. & Vittadini, E. (2017) Staling and water dynamics in high-gluten bread. *Eur Food Res Technol* **243**:1173–1182.
- Dall’Acua, K., Klein, M. P., Tech, B. I., Fontana, A., Crepalde, L. T., Wagner, R., ... Sant’Anna, V. (2025) Understanding the Utilization of Wasted Bread as a Brewing Adjunct for Producing a Sustainable Wheat Craft Beer. *Microorganisms* **13**:66.

- De Bellis, P., Minervini, F., Di Biase, M., Valerio, F., Lavermicocca, P. & Sisto, A. (2015) Toxigenic potential and heat survival of spore-forming bacteria isolated from bread and ingredients. *Int J Food Microbiol* **197**:30–39.
- De Boni, A., Pasqualone, A., Roma, R. & Acciani, C. (2019) Traditions, health and environment as bread purchase drivers: A choice experiment on high-quality artisanal Italian bread. *J Clean Prod* **221**:249–260.
- Ebrahimi, F., Khanahmadi, M., Roodpeyma, S. & Taherzadeh, M. J. (2008) Ethanol production from bread residues. *Biomass Bioenergy* **32**:333–337.
- Every, D., Gerrard, J. A., Gilpin, M. J., Ross, M. & Newberry, M. P. (1998) Staling in Starch Bread: The Effect of Gluten Additions on Specific Loaf Volume and Firming Rate. *Starch - Stärke* **50**:443–446.
- FAO. How to Feed the World in 2050.
https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf (Luettu 2.12.2025)
- Garcia, M. V., Bernardi, A. O. & Copetti, M. V. (2019) The fungal problem in bread production: Insights of causes, consequences, and control methods. *Curr Opin Food Sci* **29**:1–6.
- Gélinas, P., McKinnon, C. M. & Pelletier, M. (1999) Sourdough-type bread from waste bread crumb. *Food Microbiol* **16**:37–43.
- Gmoser, R., Fristedt, R., Larsson, K., Undeland, I., Taherzadeh, M. J. & Lennartsson, P. R. (2020) From stale bread and brewers spent grain to a new food source using edible filamentous fungi. *Bioengineered* **11**:582–598.
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K. & Delcour, J. A. (2005) Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends Food Sci Technol* **16**:12–30.
- Gray, J. a. & Bemiller, J. n. (2003) Bread Staling: Molecular Basis and Control. *Compr Rev Food Sci Food Saf* **2**:1–21.
- Hanssen, O. J., Syversen, F. & Stø, E. (2016) Edible food waste from Norwegian households—Detailed food waste composition analysis among households in two different regions in Norway. *Resour Conserv Recycl* **109**:146–154.

- Hellwig, C., Gmoser, R., Lundin, M., Taherzadeh, M. J. & Rousta, K. (2020) Fungi Burger from Stale Bread? A Case Study on Perceptions of a Novel Protein-Rich Food Product Made from an Edible Fungus. *Foods* **9**:1112.
- Hellwig, C., Rousta, N., Wikandari, R., Taherzadeh, M. J., Häggblom-Kronlöf, G., Bolton, K. & Rousta, K. (2022) Household fermentation of leftover bread to nutritious food. *Waste Manag* **150**:39–47.
- Hug-Iten, S., Escher, F. & Conde-Petit, B. (2003) Staling of Bread: Role of Amylose and Amylopectin and Influence of Starch-Degrading Enzymes. *Cereal Chem* **80**:654–661.
- Immonen, M., Maina, N. H., Wang, Y., Coda, R. & Katina, K. (2020) Waste bread recycling as a baking ingredient by tailored lactic acid fermentation. *Int J Food Microbiol* **327**:108652.
- Juś, K., Ścigaj, M., Gwiazdowska, D., Marchwińska, K. & Studenna, W. (2024) Innovative Fermented Beverages Based on Bread Waste—Fermentation Parameters and Antibacterial Properties. *Appl Sci* **14**:5036.
- Katajajuuri, J.-M., Silvennoinen, K., Hartikainen, H., Heikkilä, L. & Reinikainen, A. (2014) Food waste in the Finnish food chain. *J Clean Prod* **73**:322–329.
- Katina, K., Sauri, M., Alakomi, H.-L. & Mattila-Sandholm, T. (2002) Potential of Lactic Acid Bacteria to Inhibit Rope Spoilage in Wheat Sourdough Bread. *LWT - Food Sci Technol* **35**:38–45.
- Kirin Holdings Company. Global Beer Consumption by Country in 2024. https://www.kirinholdings.com/en/newsroom/release/2025/1222_01.pdf (Luettu 8.1.2026)
- Koivupuro, H.-K., Hartikainen, H., Silvennoinen, K., Katajajuuri, J.-M., Heikintalo, N., Reinikainen, A. & Jalkanen, L. (2012) Influence of socio-demographical, behavioural and attitudinal factors on the amount of avoidable food waste generated in Finnish households. *Int J Consum Stud* **36**:183–191.
- Koksel, H., Samray, M. N., Masatcioglu, T. M. & Koksel, F. (2025) Quality of resistant starch-enriched breadcrumbs extrudates. *Cereal Chem* **102**:364–376.
- Kosseva, M. R. & Webb, C. (2013) Food Industry Wastes: Assessment and Recuperation of Commodities. Chantilly, United States: Elsevier Science & Technology.

- Legan, J. D. (1993) Mould spoilage of bread: The problem and some solutions. *Int Biodeterior Biodegrad* **32**:33–53.
- Lev-Yadun, S., Gopher, A. & Abbo, S. (2000) The Cradle of Agriculture. *Science* **288**:1602–1603.
- Luonnonvarakeskus (2025, kesäkuuta 17) Ravintotase 2023 lopullinen ja ennakko 2024. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/ravintotase-tilasto-lakkautettu/ravintotase-2023-lopullinen-ja-ennakko-2024> (Luettu 8.1.2026)
- Manner, H. (2018, lokakuuta 30) Leipomotähdettä Ruotsiin. <https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/teemajutut/valmistus-ja-lisaaineet-tuotekehitys/ke-5-2018-leipomotahdetta-ruotsiin/> (Luettu 7.1.2026)
- Martin-Lobera, C., Aranda, F., Lozano-Martinez, P., Caballero, I. & Blanco, C. A. (2022) Bread as a Valuable Raw Material in Craft Ale Beer Brewing. *Foods* **11**:3013.
- Mikkola, R., Kolari, M., Andersson, M. A., Helin, J. & Salkinoja-Salonen, M. S. (2000) Toxic lactonic lipopeptide from food poisoning isolates of *Bacillus licheniformis*. *Eur J Biochem* **267**:4068–4074.
- Mondal, A. & Datta, A. K. (2008) Bread baking – A review. *J Food Eng* **86**:465–474.
- Pacholak, A., Gao, Z.-L., Gong, X.-Y., Kaczorek, E. & Cui, Y.-W. (2021) The metabolic pathways of polyhydroxyalkanoates and exopolysaccharides synthesized by *Haloferax mediterranei* in response to elevated salinity. *J Proteomics* **232**:104065.
- Piazza, L. & Masi, P. (1995) Moisture Redistribution Throughout the Bread Loaf During Staling and Its Effect on Mechanical Properties. *Cereal Chem* **72**:320–325.
- Pietrzak, W. & Kawa-Rygielska, J. (2015) Simultaneous saccharification and ethanol fermentation of waste wheat–rye bread at very high solids loading: Effect of enzymatic liquefaction conditions. *Fuel* **147**:236–242.
- Quorn. What Is Quorn? About Mycoprotein. <https://www.quornnutrition.com/mycoprotein/what-is-mycoprotein/> (Luettu 2.12.2025)
- Quorn. About Quorn mycoprotein. <https://www.quornnutrition.com/about-mycoprotein-for-healthcare-professionals> (Luettu 12.1.2026)
- Rachwał, K., Waśko, A., Gustaw, K. & Polak-Berecka, M. (2020) Utilization of brewery wastes in food industry. *PeerJ* **8**:e9427.

- Revedin, A., Aranguren, B., Becattini, R., Longo, L., Marconi, E., Lippi, M. M., ... Svoboda, J. (2010) Thirty thousand-year-old evidence of plant food processing. *Proc Natl Acad Sci* **107**:18815–18819.
- Ribotta, P. D. & Le Bail, A. (2007) Thermo-physical assessment of bread during staling. *LWT - Food Sci Technol* **40**:879–884.
- Riipi, I., Hartikainen, H., Silvennoinen, K., Joensuu, K., Vahvaselkä, M., Kuisma, M. & Katajajuuri, J.-M. (2021) *Elintarvikejätteen ja ruokahävikin seurantajärjestelmän rakentaminen ja ruokahävikitiekartta*. Luonnonvarakeskus.
<https://jukuri.luke.fi/handle/11111/5715> (Luettu 17.11.2025)
- Riipi, I. & Kuisma, M. Tuloksia. <https://projects.luke.fi/ruokahavikkiseuranta/tuloksia/> (Luettu 17.11.2025)
- Ruas-Madiedo, P., Hugenholtz, J. & Zoon, P. (2002) An overview of the functionality of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. *Int Dairy J* **12**:163–171.
- Ruokavirasto. Ravitsemus- ja terveystieteopas elintarvikealan yrityksille ja valvojille.
<https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/oppaat/ravitsemus--ja-terveysvaiteopas/ravitsemus--ja-terveysvaiteopas--elintarvikealan-yrityksille-ja-valvojille/> (Luettu 28.12.2025)
- Sadler, M. (1990) Myco-protein—A new food. *Nutr Bull* **15**:180–190.
- Samuel, D. (1996) Investigation of Ancient Egyptian Baking and Brewing Methods by Correlative Microscopy. *Science* **273**:488–490.
- Sinebrychoff (2020, toukokuuta 18) Karhu x Leipomo Väyrynen—Olutmäskistä leipää, hukkaleivästä olutta. <https://www.sinebrychoff.fi/newsroom/karhu-x-leipomo-vaeyrynen/> (Luettu 6.1.2026)
- Slomkowski, S., Alemán, J. V., Gilbert, R. G., Hess, M., Horie, K., Jones, R. G., ... Stepto, R. F. T. (2011) Terminology of polymers and polymerization processes in dispersed systems (IUPAC Recommendations 2011). *Pure Appl Chem* **83**:2229–2259.
- Teerijoki, E. (2025, heinäkuuta 23) Hävikkiruisleivästä syntyi yhteistyöllä oluen ainesosa. <https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/uutisia/havikkiruisleivasta-syntyi-yhteistyolla-oluen-ainesosa/> (Luettu 6.1.2026)
- Thompson, J. M., Dodd, C. E. R. & Waites, W. M. (1993) Spoilage of bread by *bacillus*. *Int Biodeterior Biodegrad* **32**:55–66.

- Turku AMK (2024, kesäkuuta 25) Leipomon hävikkituotteista olutta.
<https://www.turkuamk.fi/artikkeli/leipomon-havikkituotteista-olutta/> (Luettu 6.1.2026)
- Unis, R., Gnaim, R., Kashyap, M., Shamis, O., Gnayem, N., Gozin, M., ... Golberg, A. (2024) Bioconversion of bread waste into high-quality proteins and biopolymers by fermentation of archaea *Haloferax mediterranei*. *Front Microbiol* **15**.
- United Nations Environment Programme (2021) Food Waste Index Report 2021.
<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/35280> (Luettu 8.1.2026)
- US EPA, O. (2015, elokuuta 12) Reduce Wasted Food by Feeding Animals [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reduce-wasted-food-feeding-animals> (Luettu 19.12.2025)
- Valerio, F., De Bellis, P., Di Biase, M., Lonigro, S. L., Giussani, B., Visconti, A., ... Sisto, A. (2012) Diversity of spore-forming bacteria and identification of *Bacillus amyloliquefaciens* as a species frequently associated with the ropy spoilage of bread. *Int J Food Microbiol* **156**:278–285.
- Vandermeersch, T., Alvarenga, R. A. F., Ragaert, P. & Dewulf, J. (2014) Environmental sustainability assessment of food waste valorization options. *Resour Conserv Recycl* **87**:57–64.
- Vea, E. B., Romeo, D. & Thomsen, M. (2018) Biowaste Valorisation in a Future Circular Bioeconomy. *Procedia CIRP* **69**:591–596.
- Wang, S., Li, C., Zhang, X., Copeland, L. & Wang, S. (2016) Retrogradation enthalpy does not always reflect the retrogradation behavior of gelatinized starch. *Sci Rep* **6**:20965.
- WRAP (2025, heinäkuuta). UK Food Waste & Food Surplus – Key Facts.
<https://www.wrap.ngo/sites/default/files/2025-06/WRAP-UK-Food-Waste-and-Food-Surplus-Key-Facts-July-2025-v5.pdf> (Luettu 16.12.2025)