



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2023

Höyhenten ja poistotekstiilien jalostusarvon nosto ja uudet käyttökohteet

Marja Lehto, Heidi Högel, Juhani Marttila, Panu Miettinen,
Jaakko Hiidenhovi ja Henrik Heräjärvi

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2023

Höyhenten ja poistotekstiilien jalostusarvon nosto ja uudet käyttökohteet

**Marja Lehto, Heidi Högel, Juhani Marttila, Panu Miettinen, Jaakko Hiidenhovi ja
Henrik Heräjärvi**

Viittausohje:

Lehto, M., Högel, H., Marttila, J., Miettinen, P., Hiidenhovi, J. & Heräjärvi, H. 2023. Höyhenten ja poistotekstiilien jalostusarvon nosto ja uudet käyttökohteet. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 53 s.

Marja Lehto ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0001-5704-3958>



ISBN 978-952-380-625-2 (Painettu)

ISBN 978-952-380-626-9 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-626-9>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Marja Lehto, Heidi Högel, Juhani Marttila, Panu Miettinen, Jaakko Hiidenhovi ja Henrik Heräjärvi

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2023

Julkaisuvuosi: 2023

Kannen kuva: Heidi Högel, Luke ja Lounais-Suomen Jätehuolto Oy

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.omapumu.com/fi>

Tiivistelmä

Marja Lehto¹, Heidi Högel², Juhani Marttila³, Panu Miettinen¹, Jaakko Hiidenhovi⁴ ja Henrik Heräjärvi³

¹ Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

² Luonnonvarakeskus, Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

³ Luonnonvarakeskus, Yliopistokatu 6 B, 80100 Joensuu

⁴ Luonnonvarakeskus, Myllytie 1, 31600 Jokioinen

Siipikarjatuotannossa syntyy sivutuotteena höyheniä, joita hyödynnetään tällä hetkellä alhaisen arvonlisän tuotteissa, käytännössä tuotanto- ja turkiseläinten rehuna, maanparannusaineena tai energian tuotannossa. Höyhenestä on noin 91 % keratiiniproteiinia, 1 % rasvaa ja 8 % vettä. Höyhenet ovat kevyitä ja niiden eristävyys sekä keratiinin palo-ominaisuudet ovat erittäin hyvät. Broilerin höyheniä muodostuu Suomessa noin 12 000 tonnia vuodessa.

Höyheniä voidaan puhdistaa ja prosessoida eri tavoin sekä tuotteistaa erilaisiin käyttökohteisiin. Höyhenet ovat eläinperäistä sivutuotetta, joten ne on käsiteltävä EU:n sivutuoteasetuksen (1069/2009) mukaisesti. Höyhenmateriaalien hyödyntämiskohteita löytyy niin elintarvike-, kosmetiikka- ja tekstiiliteollisuudesta kuin maataloudesta ja biolääketieteellisistä sovelluksista. Keratiinipohjaisia materiaaleja voidaan hyödyntää mm. elektrodeissa, dielektrisissä materiaaleissa, biohajoavissa painetuissa piirilevyissä, komposiiteissa, kalvoissa ja kestumuoveissa, absorbenteissa, palonestoaineissa, mikro- ja nanohiukkasissa sekä regeneroiduissa kuiduissa. Biolääketieteessä keratiinia on hyödynnetty mm. haavojen paranemisessa ja kudosteknologiassa sekä lääkeaineiden kulkeutumissovelluksissa.

Huolimatta rohkaisevista tutkimustuloksista höyhenmateriaalien ominaisuudet, käsittely, logistiikka ja erilaiset määräykset vaikeuttavat niiden hyödyntämistä eristeinä, mutta muut hyödyntämisvaihtoehdot, joissa vaatimuksia ei ole yhtä paljon, voivat olla kiinnostavia. Tutkimustulosten ja yritysten kiinnostuksen perusteella höyhenissä nähdään olevan merkittävää liiketoimintapotentiaalia.

Poistotekstiilien erilliskeräys tuli pakolliseksi Suomessa 1.1.2023, ja siitä vastaavat alueelliset tai kunnalliset jätehuoltotoimijat. Suomi on poistotekstiilien lajittelussa ja jatkokäytössä muita Euroopan maita pidemmällä. Poistotekstiilien jalostusprosessin tavoitteena on saada aikaan laadukasta kierrätyskuitua. Laatukriteereitä ovat mm. kuidun pituus, tasalaatuisuus ja väri. Tällä hetkellä laatuhaasteita aiheuttavat etenkin vaihteleva kuidun pituus, sekoitemateriaalit sekä väri. Poistotekstiilien lajittelun pohjana toimii jätteenkäsittelyn etusijaperiaate. Sen mukaan pyritään ensisijaisesti palauttamaan käyttökelpoinen materiaali uudelleen kiertoon. Poistotekstiileitä käsitellään mekaanisesti ja prosessissa valmistuu kierrätysraaka-ainetta esimerkiksi lankoihin, kuitukangasmateriaaleihin, eristeisiin, akustiikkalevyihin, suodatinkankaisiin sekä komposiitteihin – myös uusia sovelluskohteita haetaan aktiivisesti.

Suomessa rakennetaan valtakunnallista ja yhtenäistä poistotekstiilien keräys- ja lajittelusysteemiä, jossa ovat mukana kaikki maan kunnalliset jätelaitokset. Toimintamallien, logistiikan ja prosessointiteknologioiden kehitys sekä investointien ja kansainvälistymisen edistäminen perustuu Telaketju-osaajayhteisöön. Tekstiilikiertotalouden keskeinen oivallus liittyykin yhteisvastuulliseen toimintamalliin, jossa verkoston kaikki toimijat ovat merkityksellisiä ja yhden puuttuminen voi nopeasti pysäyttää muidenkin prosessit.

Asiasanat: Broilerin höyhen, poistotekstiili, käsittely, tuotteistaminen, eriste, komposiitti

Alkusanat

Business Finlandin rahoittamassa Höyhenten ja muiden alihyödynnettyjen sivujakeiden jalostusarvon nosto ja uudet käyttökohteet (Featherproduct) -hankkeessa selvitettiin höyhenten ja poistotekstiilien hyödyntämisen tehostamista, erilaisia käsittelyvaihtoehtoja ja tuotteistamismahdollisuuksia. Hankkeen päätavoitteena oli koota tietoa ja kehittää ratkaisuja, joilla edellä mainittuja sivuvirtoja voidaan tehokkaammin hyödyntää korkean arvonlisän tuotteiksi, joilla on kansainväliset markkinat sekä tuotteiden että niiden valmistusteknologian osalta. Lisäksi hanke kokosi höyhen- ja poistotekstiilialan toimijaverkostoa ja kartoitti yhteistyömahdollisuuksia. Hanke kohdistui erityisesti rakennusmateriaalien kehittämiseen, mutta tarkasteli myös muita tuotevaihtoehtoja sekä arvioi liiketoiminnan kehittämisen polkuja ja sen mutkia.

Kirjoittajat esittävät kiitoksensa rahoittajalle sekä hankkeen etenemistä aktiivisesti tukeneelle yritysjoukolle.

Sisällys

1. Tausta	7
2. Höyhenraaka-aine ja sen hyödyntäminen	8
2.1. Höyhenen rakenne ja ominaisuudet	8
2.2. Höyhenten saatavuus.....	9
2.2.1. Tuotantotilastot	9
2.2.2. Siipikarjan tuotanto ja höyhenten saatavuus tulevaisuudessa	12
2.3. Höyhenten käsittely.....	13
2.3.1. Turvallisuus.....	13
2.3.2. Höyhenten puhdistus	14
2.3.3. Keratiinin hydrolyysi.....	16
2.3.4. Keratiinin erotus	17
2.3.5. Ekstruusio.....	18
2.4. Tuotesovellukset ja tuotantoteknologiat	19
2.5. Höyhenten hyödyntämisen ja tuotteistamisen haasteet.....	23
3. Höyhenmateriaalin markkinapotentiaali	25
3.1. Reunaehdot ja höyhenten käyttö.....	25
3.2. IPR-selvitys	26
4. Poistotekstiilien ominaisuudet, saatavuus ja jalostaminen	29
4.1. Poistotekstiili ja tekstiilijäte.....	29
4.2. Poistotekstiilien saatavuus.....	29
4.3. Kierrätyskuidun jalostaminen poistotekstiileistä	30
4.3.1. Lajitteluprosessi	30
4.3.2. Suomi on tekstiilikiertotalouden edelläkävijä.....	30
4.4. Kierrätyskuidun jalostamisen haasteet.....	32
4.5. Poistotekstiileihin liittyvä lainsäädäntö	32
5. Eläinperäisiä sivutuotteita koskeva sääntely	33
5.1. Sivutuotteiden luokittelu ja käsittelysäädökset	33
5.2. Sivutuotteita koskeva lainsäädäntö	34
5.3. Sivutuotteiden hyödyntäminen.....	35
5.3.1. Sivutuotteita käsittelevät laitokset	35
5.3.2. Teknisten tuotteiden valmistus sivutuotteista.....	36

6. Rakennustuotteiden sääntely	37
6.1. Rakennustuotteita ja rakentamista koskeva lainsäädäntö.....	37
6.2. Paloturvallisuus.....	38
6.3. Terveysvaikutukset.....	40
6.4. Meluntorjunta ja ääniolosuhteet	40
6.5. Energiatehokkuus.....	40
7. Johtopäätökset	41
Viitteet	42

1. Tausta

Sivuvirroilla tarkoitetaan materiaaleja, jotka syntyvät teollisissa prosesseissa varsinaisten lopputuotteiden lisäksi. Merkittävä määrä tuotannon sivuvirroista jää hyödyntämättä, ja niiden käsittely on tuottajalleen usein ongelma ja kustannuserä. Kuluttajat vaativat tuottajilta entistä vastuullisempia ratkaisuja, minkä lisäksi myös kestävä kehityksen megatrendit nostavat sivuvirroista valmistettujen tuotteiden arvoa.

Siipikarjatuotannossa syntyy sivutuotteena höyheniä, joita hyödynnetään tällä hetkellä alhaisen arvonlisän tuotteissa, käytännössä turkiseläinten rehuna tai energian tuotannossa. Materiaali on märkää, joten sen energiasisältö on alhainen. Höyhenten monipuolisempi hyödyntäminen esimerkiksi eristemateriaaleina voisi lisätä siipikarjatuotannon kannattavuutta ja synnyttää uutta korkean lisäarvon liiketoimintaa. Uusiutuvien rakennusmateriaalien kysynnän odotetaan kasvavan. Suomessa tuotettu höyhenmäärä riittäisi sellaisenaan eristämään noin 3000 pientalon yläpohjaa vuodessa (keskimäärin noin puolet vuosittain rakennettavista pientaloista). Jos höyhenet sekoitetaan muiden materiaalien, esim. puupohjaisten eristeiden tai poistotekstiilien kanssa, kasvaa käytettävissä oleva volyymi.

Nykyiset kulutustottumukset ovat johtaneet poistotekstiilien määrän vuosittaisen kasvun: tekstiilikuitujen tuotanto ja kulutus ovat lähes kolminkertaistuneet 30 vuoden aikana (Suomen Tekstiili & Muoti ry). Vaatteiden määrä henkeä kohti on kasvanut samana aikana 40 %. Euroopassa heitetään pois tekstiilejä vuosittain keskimäärin 11 kg/hlö (Euroopan parlamentti, 2020) – luku pitää sisällään paitsi yksityisen kulutuksen myös teollisen tekstiilituotannon jätteet. Öljypohjaiset synteettiset tekokuidut, kuten polyesteri, muodostavat noin kaksi kolmasosaa tekstiilimateriaalien globaalista tuotannosta (Suomen Tekstiili & Muoti ry), ja maailman kasvihuonepäästöistä noin 10 % on peräisin vaatteiden ja jalkineiden valmistuksesta (Euroopan parlamentti, 2020). Pikamuodin seurauksiin on kuitenkin viime vuosina herätty. Suomessa on kehitetty mm. selluloosakuituja, joita voidaan valmistaa bio- ja kierrätyspohjaisista raaka-aineista. Potentiaali käytöstä poistettujen tekstiilien materiaalihyötykäytön kasvattamiselle on edelleen suuri. Tekstiiliarvoketju on yksi avainkohdista EU:n kiertotaloutta koskevassa toimintasuunnitelmassa (Circular Economy Action Plan, 2020). Poistotekstiilien keräys on aloitettu Suomessa jo 2015 ja kaikki EU-maat veloitetaan tekstiilikeräykseen viimeistään vuonna 2025 (Jätedirektiivi (EU) 2018/851).

Tähän raporttiin on koottu tietoa höyhenten ja poistotekstiilien rakenteesta, käsittelystä, tuotantomääristä, tuotteistamismahdollisuuksista ja tuotteistamiseen liittyvistä haasteista. Lisäksi tarkastellaan lainsäädännön sekä liiketoimintaan ja tuotteistamiseen liittyviä vaatimuksia.

2. Höyhenraaka-aine ja sen hyödyntäminen

2.1. Höyhenen rakenne ja ominaisuudet

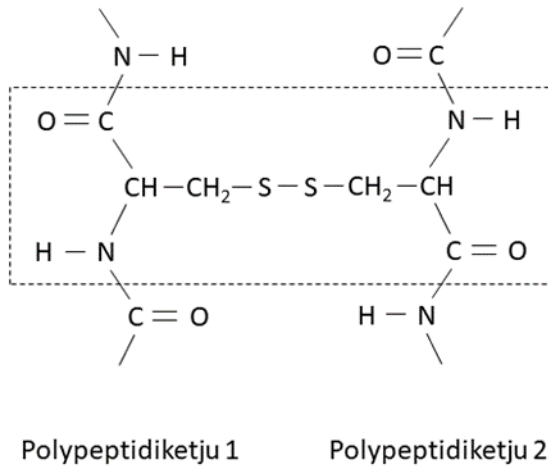
Höyhenten eristävyys, samoin kuin keratiinin palo-ominaisuudet, ovat erittäin hyvät. Eristys- ja palo-ominaisuuksien lisäksi höyhenten keveys muodostaa erittäin kiinnostavan eristet tuotteiden raaka-ainepohjan, joka voidaan yhdistää esimerkiksi kutterinlastun, sahapurun tai kierätystekstiilikuitujen kanssa.

Lintujen höyhenistö voidaan jakaa karkeasti koon ja rakenteen perusteella kolmeen ryhmään: untuviin, höyheniin ja sulkiin. Höyhen ja sulka ovat rakenteeltaan samankaltaisia. Niillä on höyhentuppeen kiinnittyvä ontto kynä, ja sen jatkeena umpinainen ruoto. Ruotoa ympäröi höyty, joka muodostuu siitä haarautuvista höytyliistakkeista. Untuvien ruoto on lyhyt ja se koostuu pääasiassa höytyliistakkeista, joista puolestaan haarautuu tiheästi höytysäteitä (Tirri ym. 2001). Höyhenväkäset kiinnittävät höytysäteet toisiinsa sulissa ja höyhenten kärkiosissa, kun taas höyhenten tyviosissa ja untuvissa väkäsiä ei ole. Ruoto ja höytyliistakkeet koostuvat kuitumaisesta ulkokuoresta sekä hunajakennomaisesta sisärakenteesta, joka aikaansaa höyhenten keveyden ja alhaisen tiheyden. Höyhenestä on noin 91 % keratiiniproteiinia, 1 % rasvaa ja 8 % vettä (Chinta ym. 2013). Höyhenten eri osien (tyvi, ruoto, höytyvät) fysio-kemiallinen koostumus ja ominaisuudet voivat poiketa toisistaan.

Keratiini on kuitumainen proteiini, joka kestää mekaanista painetta ja puristusta (Lingham-Soliar ym. 2010, McKittrick ym. 2012). Kuitumaisille proteiineille on tyypillistä toistuva aminohapposekvenssi ja hyvin järjestäytynyt rakenne, jonka muoto perustuu aminohappoketjun eli polypeptidin sekundäärirakenteelle. Keratiinit jaotellaan α - ja β -keratiineihin, joista α -keratiinia esiintyy pääasiassa villassa, hiuksissa, kynsissä, sarvissa ja kavioissa, kun taas β -keratiinia tavataan höyhenissä, lintujen nokissa ja kynsissä sekä matelijoiden suomissa ja kynsissä (Wang ym. 2016). Jaottelu perustuu sekundäärirakenteisiin: α -keratiinien tyypillinen rakenne on α -kierrerakenne, kun taas β -keratiinien β -laskosrakenne. β -keratiinissa laskos muodostuu β -levyrakenteista, jotka pakkautuvat molekyylien välillä vetysidoksilla yhteen lateraalisesti joko paralleelisesti tai antiparalleelisesti (Kuva 2, Wang ym. 2016). Polypeptidiketjun keskiosan β -laskokset muodostavat β -keratiinin filamenttirakenteen, kun taas polypeptidiketjun C- ja N-terminaaliset päät muodostavat filamenttia ympäröivän matriisin, sidokset ympäröiviin molekyyliin sekä kiertävät laskosrakenteen filamentiksi. Höyhenen ruoto-osassa on enemmän β -laskosta ja korkeampi kiteisyysaste kuin höytyliistakkeissa, ja höytyliistakkeissa on enemmän rasvaa (Nuutinen 2017).

α -keratiineja löytyy kaikilta selkärangkaisilta, kun taas β -keratiineja vain linnuilta ja liskoilta (Greenwold ym. 2014). Neljällekkymmenellekahdeksalle eri lintulajille tehdyn kartoituksen mukaan linnuilla on erilaisia β -keratiineja runsaammin kuin α -keratiineja, ja kanalla havaittiin olevan erilaisia β -keratiineja runsaammin kuin linnuilla keskimäärin (Greenwold ym. 2014). Samassa tutkimuksessa β -keratiineista 85 % havaittiin kuuluvan ns. höyhenkeratiineihin (Greenwold ym. 2014). Keratiinin polypeptidiketjulle tyypillisiä piirteitä ovat korkea kystiinin ja myös glysiinin, proliinin ja seriinin määrä, kun taas lysiinin, histidiinin ja metioniinin määrät ovat alhaisia ja tryptofaania ei ole lainkaan (Kornikowicz-Kowalska & Bohacz 2011, Sarma 2022). Keratiinin kysteiinien sivuketjut voivat muodostaa kovalentteja rikkisidoksia, ns. rikkisilloja (Kuva 1). Polypeptidien väliset sekä keratiinifilamentin ja matriisin väliset rikkisillat tekevät keratiinikuidusta vahvan (Martinez-Hernandez ym. 2005, Saravanan & Dhurai 2012, Nuutinen 2017).

Keratiiniproteiinin polypeptidiketjussa on sekä hydrofiilisiä (Ser, Pro, Cys) sekä hydrofobisia (Gly, Val, Leu) aminohappoja, jotka voivat olla joko keratiinikuidun sisä- tai ulkopuolella. Tämä vaikuttaa keratiinikuidun pinnan ominaisuuksiin (Schmidt & Jayasundera 2003). Aalto-yliopiston tutkimuksissa mm. havaittiin, että höyhenen prosessointi kuten höyryräjäytys tai liuotinkäsittely vaikuttavat höyhenen keratiinin kemialliseen koostumukseen sekä rakenteeseen eri tavoin (Nuutinen 2017). Lopputuotteen ominaisuuksiin voidaan siis vaikuttaa prosessimenetelmää ja -olosuhteita optimoimalla.



Kuva 1. Kovalenttinen rikkisidos yhdistää kaksi kysteiinipeptidiä. Sidos voi muodostua joko kahden eri polypeptidiketjun välille tai saman polypeptidin sisällä. Kuva: Mukailten Feughelman 2002.

2.2. Höyhenten saatavuus

2.2.1. Tuotantotilastot

Höyhenten saatavuutta voidaan arvioida siipikarjan lihantuotannon määrän perusteella. Globaalin tuotannon perusteella ylivoimaisesti merkittävin siipikarjalaji on broileri (FAOSTAT 2022). Broilerinlihan tuotanto on kasvanut vuosina 2016–2020 muutaman prosentin vuosivauhtia. Globaali tuotanto vuonna 2020 oli noin 120 miljoonaa tonnia. Määrästä noin 40 % tuotettiin Amerikassa, 36 % Aasiassa ja 16 % Euroopassa. Kiina ja Yhdysvallat erottuvat yksittäisinä merkittävinä tuotantomaina (Taulukko 1). Suomessa broilerinlihaa tuotettiin vuonna 2020 kaikkiaan 137 000 tonnia. Myös Ruotsin, Norjan ja Tanskan vuotuinen tuotantomäärä on kussakin maassa 100 000–200 000 tonnia.

Broilerin höyhenten saatavuutta alueittain on arvioitu taulukossa 2. Määrät perustuvat taulukossa 1 esitettyihin lihantuotannon määriin, ja oletuksena on asiantuntija-arvio, jonka mukaan broilerin kokonaispainosta lihaa on 65 % ja höyheniä 5,5 %.

Taulukko 1. Broilerinlihan tuotanto eri alueilla vuosina 2016–2020 (tuhatta tonnia). Lähde: FAOSTAT.

Broilerinliha	2016	2017	2018	2019	2020
Kiina	13 301	14 373	15 050	15 415	15 824
Norja	87	91	90	99	102
Ruotsi	154	153	146	154	167
Saksa	999	1 010	1 021	1 036	1 066
Suomi	117	121	127	131	137
Tanska	154	152	146	157	165
Venäjä	4 232	4 542	4 543	4 606	4 577
Viro	20	20	19	20	22
Yhdysvallat	18 708	19 141	19 568	20 173	20 490
Aasia					
Aasia	36 959	39 945	42 154	43 245	43 491
Afrikka					
Afrikka	5 442	5 899	6 193	6 441	6 378
Pohjois- ja Etelä-Amerikka					
Pohjois- ja Etelä-Amerikka	44 943	46 096	46 798	48 002	48 451
Eurooppa					
Eurooppa	17 840	18 332	19 014	19 405	19 685
Oseania					
Oseania	1 428	1 494	1 469	1 523	1 499
Koko maailma					
Koko maailma	106 613	111 767	115 629	118 617	119 505

Taulukko 2. Broilerinhöyhenen saatavuus eri alueilla vuosina 2016–2020 (tuhatta tonnia) taulukon 1 tietoihin perustuen (FAOSTAT 2022).

Broilerinhöyhen	2016	2017	2018	2019	2020
Kiina	1 126	1 216	1 273	1 304	1 339
Norja	7	8	8	8	9
Ruotsi	13	13	12	13	14
Saksa	85	85	86	88	90
Suomi	10	10	11	11	12
Tanska	13	13	12	13	14
Venäjä	358	384	384	390	387
Viro	2	2	2	2	2
Yhdysvallat	1 583	1 620	1 656	1 707	1 734
Aasia					
Aasia	3 127	3 380	3 567	3 659	3 680
Afrikka					
Afrikka	461	499	524	545	540
Pohjois- ja Etelä-Amerikka					
Pohjois- ja Etelä-Amerikka	3 803	3 900	3 960	4 062	4 100
Eurooppa					
Eurooppa	1 510	1 551	1 609	1 642	1 666
Oseania					
Oseania	121	126	124	129	127
Koko maailma					
Koko maailma	9 021	9 457	9 784	10 037	10 112

Muita teollisesti hyödynnettäviä siipikarjalajeja ovat muun muassa anka ja kalkkuna. Ankanlihan tuotanto on kasvanut keskimäärin muutamia prosentteja vuodessa vuosina 2016–2020 (Taulukko 3). Globaali tuotantomäärä vuonna 2020 oli noin 5 miljoonaa tonnia, josta Kiinan osuus oli noin 70 %. Alueellisesti ankanhöyhenet voivat siis olla merkittäviä erityisesti Kiinassa, mutta globaalisti ankanlihan tuotantomäärä on vain 4 % broilerinlihan tuotantomäärästä. Pääosa Kiinan ulkopuolisesta ankanlihan tuotannosta on Euroopassa. Pohjoismaissa ankanlihan tuotanto on hyvin vähäistä.

Taulukko 3. Ankanlihan tuotanto eri alueilla vuosina 2016–2020 (tuhatta tonnia). Lähde: FAOSTAT.

Ankanliha	2016	2017	2018	2019	2020
Kiina	3 001	3 243	3 381	3 429	3 514
Norja	1	1	1	1	1
Saksa	41	36	39	34	27
Suomi	0	0	0	0	0
Tanska	0	0	1	2	1
Viro	0	0	0	0	0
Yhdysvallat	62	61	64	64	52
Afriikka					
Afriikka	141	144	122	162	126
Pohjois- ja Etelä-Amerikka					
Pohjois- ja Etelä-Amerikka	113	113	116	117	105
Aasia					
Aasia	3 677	3 918	4 138	4 201	4 299
Eurooppa					
Eurooppa	494	439	535	516	450
Oseania					
Oseania	17	18	17	18	18
Koko maailma					
Koko maailma	4 443	4 632	4 929	5 013	4 998

Kalkkunanlihan tuotantomäärä on pysynyt varsin vakaana vuosina 2016–2020 (Taulukko 4). Globaali tuotanto vuonna 2020 oli noin 6 miljoonaa tonnia, mikä suuruusluokaltaan vastaa ankanlihan tuotantoa ja murto-osaa broilerinlihan tuotannosta. Globaalista kalkkunanlihan tuotannosta yli puolet on keskittynyt Yhdysvaltoihin ja reilu kolmannes Eurooppaan. Pohjoismaiden yhteenlaskettu vuosituotanto on hieman yli 20 000 tonnia, josta 8 000 tonnia Suomessa.

Taulukko 4. Kalkkunanlihan tuotanto eri alueilla vuosina 2016–2020 (tuhatta tonnia). Lähde: FAOSTAT.

Kalkkunanliha	2016	2017	2018	2019	2020
Kiina	3	3	3	3	3
Norja	10	9	8	8	9
Ruotsi	4	4	4	5	5
Saksa	483	466	467	471	476
Suomi	8	8	8	8	8
Tanska	0	0	0	0	0
Viro	0	0	0	0	0
Yhdysvallat	2 713	2 713	2 666	2 641	2 607
Aasia	157	150	185	166	152
Afrikka	185	196	197	201	210
Pohjois- ja Etelä-Amerikka	3 592	3 568	3 543	3 517	3 477
Eurooppa	2 057	1 950	2 076	2 057	2 134
Oseania	23	23	23	20	20
Koko maailma	6 015	5 887	6 024	5 961	5 993

2.2.2. Siipikarjan tuotanto ja höyhenten saatavuus tulevaisuudessa

Maailman lihantuotanto oli vuonna 2020 noin 328 miljoonaa tonnia, josta siipikarjan lihan osuus oli 134 miljoonaa tonnia. Arvion mukaan globaali lihantuotanto kasvaa 2020-luvun aikana ja saavuttaa 374 miljoonaa tonnia vuoteen 2030 mennessä. Laiduntavien eläinten määrän kasvu, lisääntynyt eläinkohtainen tuottavuus (kasvava keskimääräinen teuraspaino, lisääntynyt hedelmällisyys ja parempi rehukoostumus) tukevat kasvua erityisesti Amerikassa ja Kiinassa. Ennusteen mukaan valtaosa kasvusta kohdistuu Kiinaan, jonka jälkeen tulevat Brasilia ja Yhdysvallat (OECD-FAO 2021).

Lisääntynyt lihantuotanto johtuu erityisesti siipikarjan tuotannon kasvusta. Alhaisen tulotason maissa kasvua tukee siipikarjan lihan edullisempi hinta muihin lihavaihtoehtoihin verrattuna ja korkean tulotason maissa kuluttajapreferenssien muutokset, ikääntyminen ja hitaasti kasvava väestö, on johtamassa kokonaisuudessaan lihankulutuksen vähenemiseen. Toisaalta siirtymää punaisesta lihasta valkoiseen lihaan tukevat lisääntyvä terveystietoisuus ja valmistuksen helppous. Jossain määrin liha korvautuu kasviperäisillä proteiiniä sisältävillä, arvion mukaan lähinnä korkean tulotason maissa. Tulevan 10 vuoden aikana substituution vaikutus globaalilla tasolla on kuitenkin vähäinen. Globaalisti lihaproteiinien kulutuksen ennustetaan kasvavan vuoteen 2030 mennessä 14 % vuoden 2018–2020 keskiarvoon verrattuna. Valkoisen lihan ennustetaan kattavan 41 % kaikesta lihaproteiinien kulutuksesta vuonna 2030 (OECD-FAO 2021).

Siipikarjan tuotannon kasvua ajavia tekijöitä ovat vähäinen rehun kulutus tuotettua lihakiloa kohti muihin lihantuotantovaihtoehtoihin verrattuna sekä lyhyt tuotantokykli, joka mahdollistaa nopean reagoinnin markkinanäkymien muuttuessa sekä nopea kehitys jalostuksessa, eläinten terveydessä ja ruokintakäytännöissä. Siipikarjanlihan tuotannon arvioidaan kasvavan

etenkin Kiinassa, Brasiliassa ja Yhdysvalloissa. Euroopan unionissa investoinnit keskittyvät arvon mukaan alhaisten tuotantokustannusten maihin, kuten Unkariin, Puolaan ja Romaniaan (OECD-FAO 2021).

Suomessa broilerinlihan jalostuksessa on tehty viime vuosien aikana suuria investointeja. HK-Scan otti vuonna 2017 käyttöön Rauman tuotantolaitoksen. Käynnistysvaikeuksien jälkeen lisäinvestointi alkupään teurastusyksikköön vuonna 2021 paransi toimintaa (YLE 2021a). Atria investoi parhaillaan uuteen siipikarjayksikköön, joka valmistuu vuonna 2024 ja lisää siipikarjan tuotantokapasiteettia (YLE 2021b). Toisaalta Sahalahden tehdasta suunnitellaan suljettavaksi (YLE 2022).

Höyhenet ovat lihantuotannon sivutuote, joten siipikarjanlihan tuotannon lisääntyminen suoraan yhteydessä höyhenten saatavuuden lisääntymiseen, mikäli eläinjalostuksessa ei tapahdu höyhenpeitteeseen vaikuttavia muutoksia. Cahanerin (2019) mukaan jalostuksen aiheuttama nopea kasvu lisää broilerin lämmöntuotantoa ja kuolleisuutta lämpimissä oloissa. Broileri, jonka höyhenten määrä oli vähäinen tai joka oli jalostettu höyhenettömäksi, kesti lämpökuormaa paremmin. Lihantuotanto lisääntyi oletettavasti myös sen vuoksi, että höyhenten muodostumiseen tarvittavat panokset säästyivät (Cahaner 2019). Mikäli jalostuksessa siis suositaan vähäistä höyhentuotantoa, voi höyhenten saatavuus vähentyä, vaikka siipikarjanlihan tuotanto kasvaisikin.

2.3. Höyhenten käsittely

2.3.1. Turvallisuus

Teurastuksen yhteydessä irrotettu höyhenmassa sisältää usein likaa, kuiviketta, ulostetta, rasvaa, vettä sekä teurasjätettä kuten sisäelimiä ja verta. Höyheniä käsiteltäessä on muistettava, että ne saattavat myös sisältää erilaisia taudinaiheuttajia. Höyhenet ovat eläintuotannossa syntyviä sivutuotteita, jotka kuuluvat sivutuoteluokkaan 3 ja niiden käsittelyn on noudatettava lainsäädännön vaatimuksia (ks. luku 5.2.). Höyhenten käsittelyssä on sovellettava jotakin taulukossa 5 esitetyistä käsittelymenetelmistä (Sivutuoteasetuksen toimeenpanoasetuksen (EU) 142/2011 liitteen IV luku II). Höyhenten kuljetus teurastamolta jatkokäsiteltäväksi on tapahduttava kuivattuna suljetuissa pakkauksissa, lähetyksen mukana on kuljettava kaupallinen asiakirja ja hygienisointikäsittelyn tulee olla säädösten mukainen. Ruokaviraston julkaisemassa pienteurastamojen sivutuoteoppaassa ohjeistetaan höyhenten käsittelystä seuraavasti: hiukkaskoon tulee olla enintään 12 mm ja lämpötilan käsittelyn aikana vähintään 70 astetta vähintään 60 minuutin ajan (Pienteurastamojen sivutuoteopas 2016). Sivutuoteasetuksessa sivutuotteen käsittelystä on sanottu seuraavasti: "Turvalliseen käsittelyyn kuuluu käytettävän aineksen käsittely sellaisessa valmistusprosessissa, jolla käytettävän aineksen tai muiden valmistusprosessissa syntyvien aineiden ihmisten ja eläinten terveydelle aiheuttamien riskien määrä vähennetään hyväksyttävälle tasolle. On varmistettava, että johdettu tuote ei aiheuta kohtuuttomia riskejä ihmisten ja eläinten terveydelle, erityisesti siten, että lopputuote testataan." (Sivutuoteasetuksen (EY) 1069/2009 artikla 38).

Taulukko 5. Yhteenvedo eläimistä saatavien sivutuotteiden vakiokäsittelymenetelmistä.
Lähde: (EU) 142/2011 liitteen IV luku III.

Käsittelymenetelmä	Hienontaminen	Aika, lämpötila ja paine	Prosessi
Käsittelymenetelmä 1 (painesterilointi)	Partikkelikoko enintään 50 mm	Sivutuotetta on kuumennettava keskeytyksettä yli 133 °C:n sisälämpötilaan vähintään 20 minuutin ajaksi vähintään 3 baarin (absoluuttisessa) paineessa.	Panosprosessi tai jatkuva prosessi
Käsittelymenetelmä 2	Partikkelikoko enintään 150 mm	Sivutuotteen sisälämpötila on yli 100 °C vähintään 125 minuutin ajan, yli 110 °C vähintään 120 minuutin ajan ja yli 120 °C vähintään 50 minuutin ajan.	Panosprosessi
Käsittelymenetelmä 3	Partikkelikoko enintään 30 mm	Sivutuotteen sisälämpötila on yli 100 °C vähintään 95 minuutin ajan, yli 110 °C vähintään 55 minuutin ajan ja yli 120 °C vähintään 13 minuutin ajan.	Panosprosessi tai jatkuva prosessi
Käsittelymenetelmä 4	Partikkelikoko enintään 30 mm	Sivutuotteet on laitettava astiaan, johon lisätään rasva, ja lämmitettävä siten, että sisälämpötila on yli 100 °C vähintään 16 minuutin ajan, yli 110 °C vähintään 13 minuutin ajan, yli 120 °C vähintään 8 minuutin ajan ja yli 130 °C vähintään 3 minuutin ajan.	Panosprosessi tai jatkuva prosessi
Käsittelymenetelmä 5	Partikkelikoko enintään 20 mm	Sivutuotteita on lämmitettävä niin kauan, että ne hyytyvät, minkä jälkeen niitä on puristettava, jotta rasva ja vesi poistuvat valkuaispitoisesta aineksesta. Valkuaispitoinen aines on lämmitettävä tämän jälkeen siten, että sisälämpötila on yli 80 °C vähintään 120 minuutin ajan ja yli 100 °C vähintään 60 minuutin ajan	Panosprosessi tai jatkuva prosessi
Käsittelymenetelmä 6 (yksinomaan luokkaan 3 kuuluvia vesieläimistä tai vedessä elävistä selkärangattomista peräisin olevia sivutuotteita varten)			
Käsittelymenetelmä 7	Mikä tahansa toimivaltaisen viranomaisen sallima käsittelymenetelmä, kun <ul style="list-style-type: none"> - toimija on yksilöinyt kyseiselle viranomaiselle eläinten terveystilanteeseen liittyvät mahdolliset riskit, - on osoittanut käsittelymenetelmän kykenevän laskemaan kyseiset vaarat sellaiselle tasolle, että ne eivät aiheuta merkittävää riskiä ihmisten ja eläinten terveydelle, - on osoittanut mikrobiologisten vaatimusten täyttyvän 30 tuotantopäivän ajan. 		

2.3.2. Höyhenten puhdistus

Puhdistamattomissa höyheneissä voi olla erilaisia veren välityksellä leviäviä taudinaiheuttajamikro-organismeja, kuten kampylo-, entero-, salmonella- ja kolibakteereita (Tesfaye ym. 2018). Rikkivetyä muodostavat bakteerit tuottavat haitallista vetysulfidikaasua, mikä voi pilata eläinperäisen materiaalin (Gong ym. 2014). Lisäksi höyhenten pinnalla on vahamaisia

rasvayhdisteitä, joita linnun ihon rasvarauhaset erittävät. Rasvayhdisteet aiheuttavat höyhenten kellertävän värin (Tesfaye ym. 2018). Höyhenten loiset ja mikro-organismit voidaan käsitellä fysikaalisin ja kemiallisin keinoin (Rai ym. 2002). Puhdistuksessa ja desinfioinnissa voidaan käyttää erilaisia pinta-aktiivisia aineita sekä orgaanisia liuottimia (Griffit 2002, Gassner ym. 1998, Bryndza & Lumberg 1995). Puhdistuskäsittelyt saattavat vaikuttaa höyhenten ominaisuuksiin, joten on tärkeää kokeilla erilaisten käsittelyjen vaikutuksia tiettyihin käyttötarkoituksiin tarkoitettuihin höyheneihin (Nuutinen 2017, Tesfaye ym. 2018). Esimerkiksi pelkkä höyhenten autoklavointi jättää rasvaa höyhenten pinnalle, jolloin höyhenten morfologia muistuttaa käsittelemätöntä höyhentä. Kemiallisesti tehty puhdistus ja rasvanpoisto taas tekevät höyheneistä rakenteeltaan ilmvampia, mutta mikrorakenteet kuitenkin säästyvät (Tesfaye ym. 2018).

EU:n lainsäädännössä käsittelymenetelmä 7 antaa liikkumavaraa höyhenten hygienisointikäsitteilyyn. Tällöin on osoitettava, että käsittelytapa on tehokas ja takaa ihmis- ja eläinterveyden (Taulukko 5). Erilaisia pesukäsittelyitä on testattu ja kehitetty sekä esitelty tieteellisissä julkaisuissa. Seuraavassa on esimerkkejä erilaisista höyhenten pesuprosesseista.

Sharma ym. (2017) menetelmässä höyhenet huuhdeltiin ensin vedellä 60°C:ssa, liotettiin pesuaineliuoksessa kaksi tuntia ja huuhdeltiin vedellä 60°C:ssa. Tämän jälkeen rasva poistettiin 12 tunnin petrolieetterikäsittelyllä. Lopuksi höyhenet huuhdeltiin tislattulla vedellä ja kuivattiin 20°C:ssa 24 h, RH 65 %. Pesun jälkeen höyheniä käsiteltiin erilaisilla pinta-aktiivisilla aineilla (SDS, PEG, CTAB; 1 g/l) kolmen tunnin ajan. Lopuksi höyhenet pilkottiin pieneksi ja kuivattiin auringossa 48 h. Höyhenet säilytettiin +4°C:ssa. Tehokkain mikro-organismien poisto saavutettiin, kun käytettiin kationista CTAB tensidiä (Sharma ym. 2017).

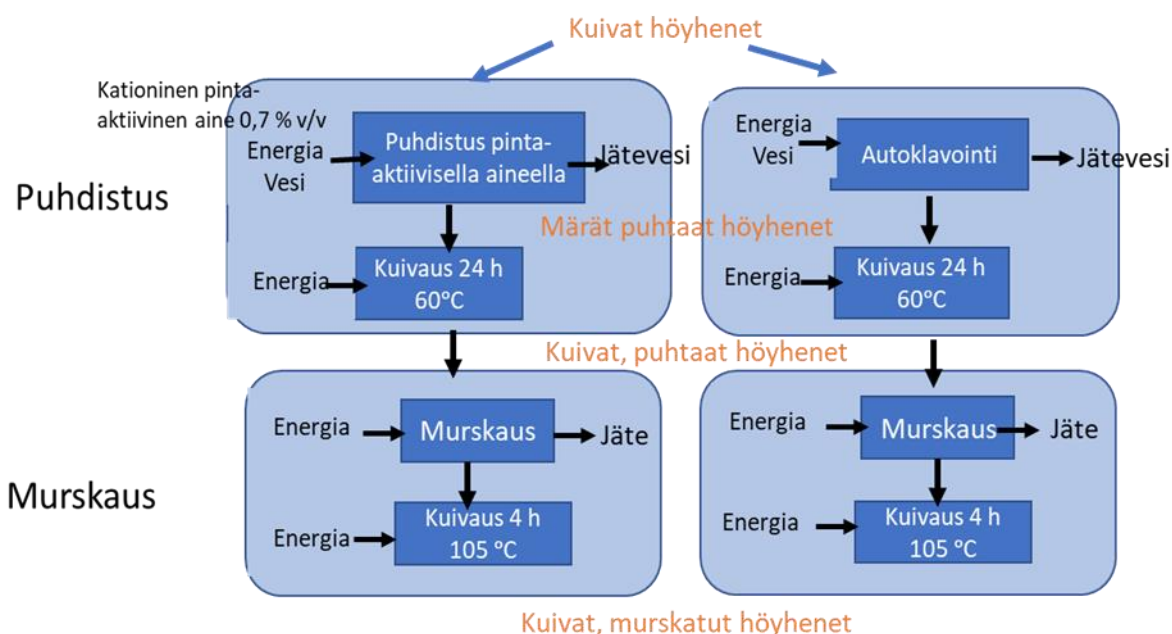
Sahin (2018) menetelmässä yhdistettiin aldehydikäsittely ja happo-aluna-käsittely. Höyheniä liotettiin aluksi tunnin ajan pesuaineliuoksessa (3 g/l), johon lisättiin vaiheittain EDTA (3 g/l). Liotuksen jälkeen pesuaineliuos suodatettiin pois ja höyhenet pakattiin puuvillaisiin pesupusseihin. Liotusvesi otettiin talteen ja käytettiin pesupusseihin pakattujen höyhenten pesuun 60°C:ssa 600 rpm tunnin ajan. Pesun jälkeen höyhenet laitettiin 2 % alumiinisulfaattiliuokseen 5 minuutin ajaksi. Liuokseen lisättiin 1 % natriumkarbonaattia ja liotusta jatkettiin 5 minuuttia. Höyhenet suodatettiin liuoksesta, huuhdeltiin ja käsiteltiin trikloorietyleenillä huoneenlämmössä rasvajäämien poistamiseksi. Höyhenten annettiin kuivua huoneenlämmössä 24 h.

Rasvan ja epäpuhtauksien poistoon sekä valkaisuun voidaan käyttää erilaisia kemikaaleja. Useimmin käytetyt kemikaalit ovat hapettimia kuten vetyperoksidi (H_2O_2), natriumhypokloriitti ($NaOCl$), natriumkloriitti ($NaClO_2$), natriumperboraatti ($NaBO_3$) tai natriumperkarbonaatti ($Na_2CO_3 \cdot 5H_2O$). Myös pelkistimiä käytetään, kuten natriumditioniittiä ($Na_2S_2O_4$) ja natriumtiosulfaattia ($Na_2S_2O_3$) tai metallioksideita kuten titaanidioksidiä (TiO_2) tai sinkkioksidiä (ZnO) (Tesfaye ym. 2018). Vetyperoksidin etuna on, että se ei reagoi proteiinien kanssa eikä siten vaikuta höyhenten keratiinin ominaisuuksiin. Tesfaye ym. (2018) testasivat näistä kolmen, vetyperoksidin, natriumhypokloriitin ja natriumditioniitin, soveltuvuutta kaupalliseen höyhenten puhdistamiseen. Kemikaaleja tutkittiin kolmessa eri pitoisuudessa ja kolmessa eri lämpötilassa 5–60 minuutin ajan. Kaikki kemikaalit vähensivät tehokkaasti bakteerien kasvua, mutta tehokkain bakterisidi oli vetyperoksidi, toiseksi tehokkain natriumhypokloriitti ja kolmanneksi tehokkain natriumditioniitti.

Kreze & Strnadin (2012) tutkimuksessa höyhenet pestiin teollisesti talousvedellä ritilän päällä. Pääosa epäpuhtauksista, kuten veri ja eritteet, saatiin näin puhdistettua. Tämän jälkeen

höyhenet pestiin vesihauteessa (60°C, 30 min) ei-ionista pesuainetta (1 g/l) käyttäen. Höyhenen ja veden painosuhte oli 1:40. Höyhenet kuivattiin kuivurissa, jossa oli ilmanvaihto, 40 °C:ssa 72 tuntia. Höyheniä uutettiin petroolieetterissä 6 h, minkä jälkeen ne kuivattiin vakuumissa 24 h. Vakuumikuivauslämpötilan ollessa välillä 36–42°C (paine <80 mbar) 24 tunnin kuivauksen jälkeen höyhenen kosteusprosentti oli laskenut 75 %:sta 17 %:iin. Jos kuivausta jatkettiin vielä 5–10 h, päästiin 10 % kosteusprosenttiin. Haju oli neutraali kuivien höyhenen haju.

Molins ym. (2012) tutkivat höyhenen esikäsittelymenetelmiä elinkaarianalyysin kannalta: pesu ja hygienisointi ovat paljon energiaa kuluttavia vaiheita. Analyysissä verrattiin pinta-aktiivisilla aineilla tehtävää esikäsittelyä autoklavointiin; kuivaus ja murskausvaiheet olivat molemmissa käsittelyissä samanlaiset (Kuva 2). Tässä vertailussa autoklavoidut höyhenet olivat ympäristöystävällisempiä (Molins ym. 2012).



Kuva 2. Puhdistuskäsittelyt pinta-aktiivisella aineella ja autoklavoinnilla. Kuva: Mukailten Molins ym. 2012.

2.3.3. Keratiinin hydrolyysi

Hydrolyysissä kovalenttinen sidos hajoaa veden vaikutuksesta, disulfidi- ja amidisidokset katkeavat ja muodostavat lyhyitä aminohappoketjuja eli peptidejä ja vapaita aminohappoja. Keratiini on rakenteeltaan tiukasti disulfidi- ja vetysidoksin sekä hydrofobisin voimin pakkautunut. Tämä tekee siitä veteen liukenemattoman, mutta myös resistentin useimmille kemikaaleille ja entsyymeille (Sinkiewicz ym. 2017). Erilaisilla hydrolyysimenetelmillä, hapettamalla, pelkistämällä tai erilaisilla hydrotermisillä menetelmillä keratiinirakenne saadaan kuitenkin hajotettua, jolloin keratiinin vesiliukoisuus paranee. Hydrolyysi voidaan suorittaa kemiallisesti happoa tai emästä käyttämällä, entsyymaattisesti tai mekaanisesti.

Kemiallisessa hydrolyysissä käytetään emäksiä, vahvoja happoja tai muita reagensseja, kuten pelkistäviä ja hapettavia aineita. Kemiallista hydrolyysia voidaan tehostaa lämmöllä, mutta lämpö voi myös aiheuttaa aminohappojen tuhoutumista (Sinkiewicz ym. 2017). Kemiallinen hydrolyysi on yleensä nopea ja yksinkertainen prosessi ja saannot ovat korkeat. Menetelmä on kuitenkin epäspesifinen, mikä johtaa aminohappojen hajoamiseen ja runsaasti tuhkaa

sisältäviin lopputuotteisiin. Lisäksi jotkut kemikaalit, kuten tiolit, sulfiitit ja peroksidit ovat myrkyllisiä, Prosessi vaatii myös paljon energiaa, koska siinä käytetään korkeita lämpötiloja ja/tai paineita (Sinkiewicz ym. 2018, Callegaro ym. 2019) (Kuva 3).

Happohydrolyysi on tehokas menetelmä, mutta se aiheuttaa joidenkin aminohappojen, kuten tryptofaanin, hajoamista (Zhang ym. 2013). Emäshydrolyysi on hitaampi kuin happohydrolyysi ja hydrolysoituminen voi olla epätäydellistä, mutta aminohappojen hajoaminen on vähäisempää kuin happohydrolyysissä. Happo- ja emäshydrolyysin lopputuote riippuu pH:sta, lämpötilasta, reaktioajasta sekä käytettyjen happojen ja emästen pitoisuuksista. Hydrolysaatin liukoisuus ja stabiilisuus riippuvat proteiinien hajoamisasteesta (Coward-Kelly ym. 2006).

Entsyaattiset menetelmät ovat vaihtoehto ympäristölle haitallisille kemiallisille hydrolyysimenetelmille. Tutkimukset ovat osoittaneet, että monet mikro-organismit hydrolysoivat keratiinia erittämällä keratinolyttisiä ja proteolyttisiä entsyymejä, joita kutsutaan keratinaaseiksi. Tällaisia mikro-organismeja ovat mesofiiliset sienet, aktinomykeetit ja jotkut bacillus-lajit (Brandelli 2008, Chilakamarry ym. 2021). Entsyaattisen hydrolyysin tärkeimmät edut ovat kohtuullisen yksinkertaiset prosessiolosuhteet, menetelmän spesifisyys, aminohappojen hyvä säilyvyys sekä hydrolyysiasteen hallinnan ja entsyymien inaktivoinnin helppous prosessin jälkeen. Muita etuja ovat immobilisoitujen entsyymien talteenoton ja uudelleenkäytön mahdollisuus. Entsyaattista hydrolyysiä pidetäänkin kustannustehokkaana ja ympäristön kannalta turvallisena menetelmänä (Callegaro ym. 2019).

Hydroterminen hydrolyysi tapahtuu korkean paineen ja lämmön avulla (100–150°C, 1,5 x 10⁵ Pa). Käsittelyssä käytetään autoklaavia, painekattilaa tai höyrykeitintä. Hydroterminen käsittely kuluttaa paljon energiaa ja korkea lämpötila tuhoaa aminohappoja, esim. tryptofaanin ja lysiinin, mikä alentaa lopputuotteen ravitsemuksellista arvoa (Grazziotin ym. 2006).

Höyryräjäytyksessä höyhenet käsitellään saturoidulla höyryllä korkeassa paineessa, jolloin massaan imeytyvä höyry saa aikaan ns. autohydrolyysin. Painetta vähitellen alentamalla saavutetaan massan räjähdysmäinen hajoaminen. Höyryräjäytys suoritetaan yleisesti 160–260 °C:een lämpötilassa (vastaa painetta 0,69–4,83 MPa) muutamien sekuntien tai minuuttien aikana, jonka jälkeen paine lasketaan normaaliin.

Nopea höyryräjäytys (steam flash explosion) eroaa tavallisesta höyryräjäytyksestä ajassa, jolla painetta alennetaan. Höyryräjäytyksessä höyryn paineen lasku kestää kymmeniä sekunteja, kun taas nopeassa höyryräjäytyksessä lasku tapahtuu millisekunneissa (Yu ym. 2012). Nopealla höyryräjäytyksellä on potentiaalia höyhenen esikäsitelyssä (Zhang ym. 2015, Zhao ym. 2012) tai prosessoinnissa, esimerkiksi höyhenrehun valmistuksessa (Zhang ym. 2014).

2.3.4. Keratiinin erotus

Keratiinista on tullut viime vuosina suosittu biopolymeeri useisiin erilaisiin käyttötarkoituksiin niin maataloudessa, kosmetiikassa kuin lääketieteellisyydessä. Syynä tähän on keratiinin pysyvyys ja entsyymattainen hajoamattomuus, mutta toisaalta myös biohajoavuus mm. mikrobien toimesta. Keratiinilla on myös taipumus kerääntyä yhteen ja muodostaa polymeerejä (Chilakamarry ym. 2021). Keratiinin erotukseen sitä sisältävistä materiaaleista kuten villasta ja höyhenistä voidaan käyttää kemiallisia menetelmiä, höyryräjäytystä, säteilytystä tai mikrobiologisia ja entsyymattaisia menetelmiä. Pelkistys, hapetus, säteilytys, alkaliuutto, höyryräjäytys, sulfitolyysi ja ionisten nesteiden käyttö ovat yleisimmät menetelmät keratiinin liuottamiseksi ja eristämiseksi (Chilakamarry ym. 2021).

Sienkiewicz ym. (2017) tutkivat liukoisen keratiinin valmistusta broilerin höyhenistä lämpökemiallisella käsittelyllä. Pelkistävinä aineina käytettiin mm. 2-merkaptotoetanolia, ditiotreitolia, natrium-m-bisulfiittia ja natriumbisulfiittia sekä natriumhydroksidia. Kahden tunnin 2-merkaptotoetanoli- ja natriumbisulfiittikäsittelyn jälkeen liukoisen keratiinin saannot olivat 84 ja 82 %.

Honkajoki Oy, Honkajoki

Honkajoki Oy on Suomen johtava eläinperäisten sivutuotteiden käsittelijä ja jalostaja; sen käsittelyyn päätyy noin 75 prosenttia kaikista Suomen eläinperäisistä sivuvirroista. Honkajoki Oy valmistaa suomalaisilla maatiloilla, teurastamoilla ja lihanleikkaamoilla syntyneistä eläinperäisistä sivutuotteista hyödykkeitä, joita käytetään raaka-aineina esimerkiksi eläinten ruoissa, lannoitteissa, kosmetiikassa ja biopolttoaineissa. Honkajoki Oy on valittu myös Sitran Kiertotalouden kiinnostavimmat 2.1-listalle. Honkajoki Oy on osa ainutlaatuista Kirkkokallion ekopuistoa, joka koostuu kokonaisuudessaan seitsemästä eri toimijasta, jotka ovat symbioosissa keskenään.

Honkajoki Oy käynnistää uuden höyhenproteiinilaitoksensa keväällä 2023. Laitoksessa hyödynnetään mekaanista prosessia, jossa höyhenten hydrolysointi tapahtuu lämmön ja paineen avulla.



Kuva 3. Höyhenistä valmistettua rehuikäyttöön tarkoitettua hydrolysaattia. Kuva: Anna Jacobsen/Scandi Standard.

2.3.5. Ekstruusio

Ekstruusio on lämpömekaaninen prosessi, jossa prosessoitava materiaali on jatkuvassa liikkeessä yhden tai useamman koteloidun ruuvin läpi. Massa pakotetaan muotoillun aukon (suulakkeen) läpi. Prosessissa saadaan yhdistymään erilaisia toimintoja lyhyessä ajassa. Ekstruusio menetelmä on monipuolinen ja joustava, sillä on korkea tuottavuus ja alhaiset kustannukset sekä hyvä energiatehokkuus (Bordoloi & Ganguly 2014, Kaisangsri ym. 2016, Masli ym. 2018).

Ekstruusiotuotetta on hyödynnetty ennen kaikkea polymeeriteollisuudessa. Höyhenkeratiinipolymeeri on suhteellisen joustavaa, joten se on hyvä materiaali kalvojen valmistukseen. Kalvo on biohajoavaa, joten sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi pakkausten valmistuksessa. McGauran ym. (2022) prosessoivat höyhenten (partikkelikoko 212–500 µm) ja propyleeniglykolin seosta

(seossuhde 70:30) 125 °C:ssa. Tällä seossuhteella saavutettiin optimaaliset mekaaniset ja prosessointiominaisuudet höyhenpolymeerille. Barone ym. (2006) käsittelivät ekstruuderilla höyhenkeratiinia 120 °C:ssa glyserolin, veden ja natriumsulfiitin toimiessa prosessoinnin apuaineina.

2.4. Tuotesovellukset ja tuotantoteknologiat

Höyhenmateriaalien hyödyntämiskohteita löytyy niin elintarvike-, kosmetiikka- ja tekstiiliteollisuudesta kuin maataloudesta ja biolääketieteellisistä sovelluksista (Reddy 2015, Sinkiewicz ym. 2016). Keratiinipohjaisia materiaaleja voidaan hyödyntää mm. elektrodeissa, dielektrisissa materiaaleissa, biohajoavissa painetuissa piirilevyissä, komposiiteissa, kalvoissa ja kesto-muoveissa, absorbenteissa, palonestoaineissa, mikro- ja nanohiukkasissa sekä regeneroiduissa kuiduissa. Biolääketieteessä keratiinia on hyödynnetty mm. haavojen paraneemisessa ja kudosteknologiassa sekä lääkeaineiden kulkeutumissovelluksissa (Sarma 2022).

Kuitukankaat (non-woven) ovat tasomaisia, kuiduista valmistettuja tekstiilimateriaaleja, joissa kuituja on sidottu toisiinsa kemiallisesti, mekaanisesti tai lämmön avulla sekä näiden menetelmien yhdistelmillä (SFS-EN ISO 9092). Air-laid-menetelmä mahdollistaa kuitukankaiden valmistamisen lyhyistä kuiduista. Kuitukangastuotteet voivat olla eripaksuisia ja niillä voi olla eri tiheys, sideainetta tarvitaan vähän. Kuitukankaan valmistuksessa tasolle levitettyjä kuitukeroksia lämmitetään ja puristetaan samanaikaisesti. Tuotteilla on korkea kuitupitoisuus ja erinomaiset lämmöneristävyysominaisuudet ja niistä voidaan valmistaa esim. lämpöeriste- ja akustiikkalevyjä, (Dieckmann et al. 2018). Höyhenistä valmistettuja kuitukankaita voidaan hyödyntää, käytetystä lisäaineesta riippuen, mm. suodatusmateriaalina rakentamisessa, maataloudessa tai eri teollisuudenaloilla (Wrześniewska-Tosik ym. 2020).

Höyhenkuidun käyttöä komposiittivalmistuksessa niin lujitteena kuin matriisina on tutkittu useissa tutkimuksissa. Barone ym. (2005) tutkivat höyhenistä peräisin olevan keratiinikuidun sisällyttämisen (20 %) vaikutusta PE-pohjaiseen komposiittiin. Kuitu toi materiaaliin jäykkyyttä, mutta heikensi vetolujuutta. Colom ym. (2022) testasivat höyhenen sopivuutta PP/PE-pohjaisen komposiittien lisäksi etyleeni-vinyyli-asettaatti (EVA) -pohjaiseen komposiittiin ja kokivat sen parhaaksi matriisiksi höyhenelle. He käyttivät valmistuksessa alle 2 mm partikkeleiksi jauhettuja höyheniä. McGauran ym. (2021) laskivat, että höyhenten hyödyntäminen polymeerien valmistuksessa täyteaineena säästää energiaa ja hiiltä sekä laskee valmistuskustannuksia.

Biopohjaisuus ja kompostoitavuus ovat yleisiä syitä höyhenpohjaisten raaka-aineiden käytölle. Täysin biopohjaisen komposiittimateriaalin valmistuksen mahdollisuuksia tutkittiin käytämällä eripituisia höyhenkeratiinikuituja lujitteena kitosaani-tärkkelysmatriisissa (Flores-Hernández ym. 2014). Tutkimuksessa keratiinin havaittiin vahvistavan rakennetta, mutta komposiitin varsinaisia käyttöominaisuuksia ei tutkittu. Huda ym. (2013) tutkivat keratiinikuidun ja Aranberri ym. (2017) jauhetun höyhenen käytettävyyttä polylaktidi-biopolymeereista (PLA) valmistettujen komposiittimateriaalien lujitteena. Aranberri ym. (2017) kokeilivat tutkimuksissaan myös polybutyraatti-adipaatti-tereftalaatti (PBAT)-matriisia. Korkean höyhenpitoisuuden (50–60 %) havaittiin heikentävän komposiittien lujuutta ja kosteudenkestävyyttä, mutta materiaalit olivat kevyitä ja lämpöeristäviä. Molemmat ryhmät tutkivat myös kemiallisen lisäaineen käytön vaikutusta. Huda ym. (2013) havaitsivat käsittelyn parantavan PLA-komposiitin rakennetta ja mekaanisia ominaisuuksia. Aranberri ym. (2017) testasivat polyetyleeniglykolia (PEG) pehmittimenä parantamaan mekaanisia ominaisuuksia, mutta sillä ei ollut vaikutusta

höyhenkomposiittien ominaisuuksiin. Rangappa ym. (2022) yhdistivät höyhenistä eristetyn kuidun kaarnasta eristettyyn lignoselluloosaan ja käyttivät niitä bioepoksihartsipohjaisten komposiittien valmistukseen. Näin he saivat valmistettua mekaanisilta ominaisuuksiltaan ja rakenteeltaan toimivia biokomposiitteja.

Taghiyari ym. (2020) käyttivät tutkimuksessaan kokonaista höyhentä ilman polymeerejä MDF- ja lastulevyjen valmistuksessa, jolloin he havaitsivat jo 10 % höyhenlisäyksen heikentävän tuotteiden mekaanisia ominaisuuksia. Šafarič ym. (2020) saivat samankaltaisia tuloksia, kun tutkimusryhmä valmisti MDF-levyä vastaavia tuotteita yhdistämällä eri määriä höyhentä eri tavoin sahanpuruun ja muihin puun käsittelyn oheistuotteisiin. He laskivat myös tuotantokustannukset erilaisille tuotteille. Eniten höyhentä sisältävien levyjen mekaaniset ominaisuudet heikentyivät, mutta vähemmän höyhentä sisältävien levyjen lämmöneristävyys parani.

Tutkimuksissa on selvitetty eläinperäisistä sivutuotteista valmistettujen hydrolysaattien käyttöä biopohjaisena sidosaineena mm. pelleteissä, vanereissa ja lastulevyissä (Adhikari ym. 2018 ja 2019, Fagbemi ym. 2021). Näissä tutkimuksissa hydrolysaatteja on käytetty yhdessä polyamidoamiini-epikloorihydriinipolymeerien (PAE) kanssa vahvuuden ja kosteuden kestävyuden parantamiseksi. PAE-hartsit sisältää funktionaalisia kationisia atsetidinium-ryhmiä, jotka reagoivat amiini-, karboksyyli- ja hydroksyyli-ryhmien kanssa ja näin mahdollistavat ristisilloittumisen proteiinien/peptidien kanssa (Adhikari ym. 2019, Ojanperä 2020).

Fagbemi ym. (2021) hyödynsivät lastulevyn valmistuksessa alkaalisella hydrolyysillä valmistettua höyhenhydrolysaattia, joka yhdistettiin sitruunahappopohjaiseen PAE-hartsiin sekä selluloosanokiteisiin. Menetelmällä saatiin tuotettua mekaanisilta ominaisuuksiltaan toimiva tuote, mutta sen kosteuden kestävyys pysyi verrattain huonona.

Keveyden ja hunajakennomaisen rakenteensa vuoksi höyhenten eristekäyttö on herättänyt kiinnostusta. Aranberri ym. (2019) yhdistivät jauhettuja höyheniä vahvikkeeksi risiiniöljypohjaisista polyoleista valmistettuihin jäykkiin polyuretaanivaahtoihin (RPUF) ja tutkivat höyhenlisäyksen vaikutusta vaahdon kosteudenkestoon, lämmöneristävyteen, rakenteeseen sekä mekaanisiin ominaisuuksiin. Höyhenen lisäys vaikutti mm. seoksen viskositeettiin ja vaahdon rakenteeseen. Vasta korkeimmassa testatussa höyhenpitoisuudessa seos muuttui pastamaiseksi vaikeuttaen komponenttien sekoittumista, vaahdon kennorakenne särkyi osittain ja murtolujuus heikentyi. Höyhen kuitenkin paransi vaahdon lämmöneristävyttä jopa 20 % (Aranberri ym. 2019).

Mrajji ym. valmistivat non-woven-tekniikalla eristettä, jossa höyhenen höytylistakkeita neulattiin kuituverkkoon (Mrajji ym. 2019). Höyhentä sisällytettiin eristeeseen 50 tai 80 % ja loppu oli villaa tai kierrätyspuuvillaa. Valmistettujen eristeiden lämmönjohtavuus oli hyvä (0.0313–0.04465 W/mK); pienin arvo oli 80 % höyhentä ja 20 % villaa sisältäneellä materiaalilla (Mrajji ym. 2019) (vrt. Taulukko 6). Babalola ym. (2020) valmistivat maniokkitärkkelyspohjaista eristekomposiittia, johon he sisällyttivät höyhenen höytylistakkeita jauhettuna. Pienimmät lämmönjohtavuusarvot mitattiin materiaaleille, jotka sisälsivät höyhenkuitua.

Höyhenet sisältävät runsaasti typpeä, joten niiden hyödyntämistä palonestoaineina on tutkittu. Keratiini palaa heikosti ja sillä on korkea syttymispiste. Tällä perusteella se voi tarjota mahdollisuuden vähentää palonestokemikaalien käyttöä eristeissä ja komposiittimateriaaleissa. Jalostamattoman höyhenmateriaalin heikohkot palonesto-ominaisuudet (Kuva 7) ja työläs prosessointi asettavat haasteita materiaalin hyödyntämiselle. Jalostettujen ja eri tavoin

käsiteltyjen höyhenmateriaalien soveltuvuus palonestoaineiksi on kuitenkin osoittautunut paremmaksi.

Taulukko 6. Eristemateriaaleille tehdyn eristyskykytestin mittaustulokset (Brno University of Technology 2019). U-arvo on lämmönläpäisykerroin, joka kuvaa, miten paljon tehoa tarvitaan pinta-alaa kohti, jotta saavutettaisiin tietty lämpötilaero eristerakenteen yli.

Materiaali	Tiheys, kg/m ³	Lämmönjohtavuus, W/mK	Paksuus, cm U=0.17 ¹	Neliöpaino, kg/m ² U=0.17 ²
Broilerin höyhen	54,9	0,033	19,4	10,7
Kutteripuru	80,5	0,044	25,9	20,8
Selluloosavanu	40,8	0,038	22,4	9,1
Lasivilla (Isover) ¹	14	0,037	21,8	3,0
Polystyreeni (Finfoam) ²	35	0,034	20,0	7,4

¹ Vertailuarvot laskettu kirjallisuuteen perustuen. ² Tarvittava materiaalimäärä U-arvon 0.17 W/m²K saavuttamiseksi.

Wrześniewska-Tosik ym. (2014) testasivat hienoksi jauhettua höyhentä elastisten polyuretaanivaahtojen (EPUR) palonestoaineena. Höyhen muutti vaahtojen kennorakennetta: mitä suurempi määrä höyhentä lisättiin, sitä suuremaksi ja epäsäännöllisemmän muotoiseksi kennot muuttuivat. Syttyvysherkkyttä voidaan ilmaista käyttämällä happi-indeksiä eli LOI-arvoa (limiting oxygen index): mitä pienempi materiaalin LOI-arvo on, sitä helpommin se syttyy. Tutkimuksessa höyhen nosti vaahtojen LOI-arvoa noin 13 % ja hidasti palonopeutta horisontaalisessa polttokokeessa (Wrześniewska-Tosik ym. 2014).

Hu ym. (2020) korvasivat osan epoksihartsin palonestoaineesta höyhenkuidulla, ja saavuttivat yhdistelmällä paremman lopputuloksen kuin käyttämällä ainoastaan alkuperäistä palonestoainetta. Brenner & Weichold (2020) impregnoivat kuitulevyjä höyhenhydrolysaattiliuoksella (70 mg/ml) vaihdellen imeytymää välillä 0,5–1,5 ml/g. Vaikka tutkimuksessa käytettiin ns. märkäprosessia, sen ei havaittu vaikuttavan levyn lujuusominaisuuksiin. Hydrolysaattikäsittely nosti kuitulevyjen LOI-arvoa noin 13 %. Impregnoitujen levyt paloivat horisontaalisessa polttokokeessa noin puolta huonommin kuin käsittelemättömät levyt (Taulukko 7). Impregnoitujen levyjen kyteminen oli myös huomattavasti käsittelemättömiä vähäisempää (Brenner & Weichold 2020).

Kemiallisesti käsiteltyä höyhenen keratiinikuitua on käytetty palonestoaineena puuvillakan-kaassa ja PP/PE-komposiiteissa (Wang ym. 2014, Jung ym. 2018, 2019 ja 2020, Mohammed & Alhassan 2022). PP-komposiittien osana höyhenmateriaali paransi palonesto-ominaisuuksien lisäksi myös komposiitin mekaanisia ominaisuuksia (Jung ym. 2020, Mohammed & Alhassan 2022).

Taulukko 7. Höyhenhydrolysaatilla käsiteltyjen kuitulevyjen syttymisherkkyydestä tu-
loksia. Lähde: Brenner & Weichold (2020).

	Matka, mm	Aika, s	Nopeus, mm/s
Käsittelemätön	50 ± 02	116,5 ± 7,9	0,43 ± 0,03
Impregnoitu ¹	14,1 ± 9,43	48,4 ± 27,6	0,28 ± 0,07
muutos, %	-72	-59	-44

¹ Impregnoitu 1,5 ml/g hydrolysaattiliuoksella, jonka pitoisuus on 70 mg/ml 0,2 M NaOH. 2 Näyte paloi täysin lop-
puun. 3 Näyte sammui itsestään.

Hartseja käytetään mm. komposiittimateriaalien sideaineena. Polymeerihartsia käytetään mm. muovien, liiman ja lakkojen tuotannossa. Brenner ym. (2020) tutkivat höyhenten käyttöä bio-
pohjaisten polykondensaatiotyyppisten hartsien osana. Höyhenten lisääminen (20 %) vähensi
prosessissa esiintyvää vaahtoamista ja paransi tuotteen lämpöominaisuuksia.

Kirjallisuudessa on lukuisia esimerkkejä höyhenhydrolysaattien hyödyntämisestä mm. orgaa-
nisina lannoitteina, rehujen ainesosina, kosmeettisina aineina ja biopoltoaineiden tuotan-
nossa (Callegaro ym. 2019).

Jiang ym. (2008) korvasivat fenoleja höyhenproteiinilla fenoli-formaldehydihartsissa. Hartsissa
oli yksi osa höyhenproteiinia ja kaksi osaa fenolia. Käsittely tehtiin kahdella hydrolyysimenet-
elmällä, ilman fenolia ja fenolin kanssa. Tulosten perusteella höyhenproteiini oli potentiaali-
nen ja kustannustehokas materiaali fenoli-formaldehydi-tyyppisten liimahartsien tuotta-
miseksi (Jiang ym. 2008).

Kusno ym. (2019a) tutkivat broilerinhöyhenen ominaisuuksia eristemateriaaleissa. Tutkimuk-
sessa 25 mm, 50 mm 75 mm paksuisilla höyhenkerroksilla absorptiokertoimen arvo 0,99 saa-
vutettiin taajuuksilla 1600 Hz, 946 Hz ja 638 Hz. Absorptiokertoimet olivat verrattavissa lasivil-
lan absorptiokertoimiin ja osin jopa korkeampia.

Taulukko 8. Esimerkkejä höyhenmateriaalien käyttösovellustutkimuksista.

Tuotesovellus	Lähteitä
Akustiikkalevyt	Ansarullah ym. 2018, Kusno ym. 2019a ja 2019b
Eristeet	Aranberri ym. 2019, Babalola ym. 2020, Ball ym. 2001
Kuitukankaat ja -eristeet	Chinta ym. 2013, Dieckmann ym. 2018 ja 2020, El-Nagar ym. 2006, Kakonke ym. 2019, Mrajji ym. 2021, Soekoco ym. 2018
Komposiitit ja sideaineet	Acda 2010, Ali ym. 2021, Aranberri ym. 2017, Bensal & Singh 2016, Bessa ym. 2017, Dash & Tripathy 2018, Huda & Yang 2008, Molins ym. 2012, Rangappa ym. 2022, Safaric ym 2020, Taghiyari ym. 2020
Konservointiaineet	Endo ym. 2008, Endo & Sugiyama 2013 ja 2022
Liimat	Fagbemi & Sithole 2021. Li ym. 2021, Yang ym. 2018
Palonestoaineet	Bansal & Songh 2016, Brenner & Weichold 2020, Sandesh Kiran & Rajaprakash 2019, Taghiyari ym. 2021, Wang ym. 2014
Pakkausmateriaalit ja muovin korvaajat	Ali ym. 2021, McGauran ym. 2021, Mendez-Hernandez ym. 2017, Oluba ym. 2021
Öljynkerääjät	Ifelebuegu & Chinonyere 2016, Tesfaye ym. 2018, Zhou ym. 2014

Tuotesovellusesimerkki: Pluumo

Pluumo on höyhenpohjainen pakkausmateriaali, joka on kehitetty korvaamaan polystyreeni ruoka- ja lääkekuljetusten termopakauksissa Iso-Britanniassa. Pakkaukset ovat palautettavia ja uudelleenkäytettäviä, mutta myös kompostoituvia. Pakkausten palautus on tehty helpoksi: palautus on ilmainen ja se käy kätevästi kattavan keräilypisteverkoston avulla. Pluumon mainostetaan ylläpitävän pakkausten alhaisen lämpötilan pidempään ja vievän myös vähemmän tilaa kuljetuksissa kuin perinteisen polystyreenin.

Lisätietoja: <https://www.pluumo.com/>

2.5. Höyhenten hyödyntämisen ja tuotteistamisen haasteet

Valtaosa Suomessa muodostuvista sivutuotteista on vajaasti hyödynnettyjä: niistä tehdään turkiseläinten rehua, lannoitetta, niitä hyödynnetään biokaasulaitoksissa tai ne poltetaan. Yrityksiä, joilla olisi mahdollisuus käsitellä sivutuotteet teollisuuden raaka-aineiksi, on vähän. Broilerin höyheniä ei tällä hetkellä erotella ja puhdisteta, vaan ne menevät muun teurasjätteen mukana käsittelyyn.

Höyhenet ovat luokan 3 eläinperäisiä sivutuotteita ja niiden hyödyntämiselle on sivutuoteasetuksessa asetettu tiukat ehdot (ks. luku 5.). Teurastamon prosessista tulevat höyhenet ovat märkiä ja sisältävät epäpuhtauksia. Höyhenet on puhdistettava tai käsiteltävä nopeasti (vuorokauden kuluessa), ettei niiden laatu kärsi ja ne voidaan edelleen jatkojalostaa. Höyhenten käytön taloudellinen kannattavuus riippuu optimoidun paikallisen toimitusketjun ja siihen liittyvän valmistusklusterin kehittämisestä (Dieckmann ym. 2020). Höyhenten kuljettamiseen, puhdistamiseen ja prosessointiin tarvitaan energiaa, mikä voidaan kompensoida, kun käytetään uusiutuvaa sivutuotetta neitseellisten raaka-aineiden sijaan (Dieckmann ym. 2020).

Huolimatta rohkaisevista tutkimustuloksista höyhenmateriaalien ominaisuudet, käsittely, logistiikka ja erilaiset määräykset vaikeuttavat niiden hyödyntämistä eristeinä. Muut hyödyntämisvaihtoehdot, joissa vaatimuksia ei ole yhtä paljon, voivat olla kiinnostavia. Tällaisia ovat esimerkiksi eristävät pakkaukset, öljynkeräysmatot sekä kryogeeniset (matalissa lämpötiloissa käytettävät) lämmöneristyssovellukset (Dieckmann ym. 2020).

Tuotantolaitokset on usein mitoitettu suurille raaka-ainemäärille, koska pienempien yksiköiden tuotantokustannukset ovat suuremmat (Dieckmann ym. 2020). Höyheniä tuotetaan teollisten prosessien tarpeisiin nähden suhteellisen vähän.

Jos höyhentä käytetään sellaisenaan eristeinä esim. pientalon yläpohjassa, voi höttöinen ja helposti ilmavirran mukana liikkuva materiaali siirtyä väärään paikkaan – samat haasteet toki koskevat muitakin puhallettavia eristeitä. Materiaalin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa puhdistus- ja käsittelymenetelmillä.

Höyheneristeiden valmistuksessa tuotannon pölynpoistojärjestelmä voi aiheuttaa ongelmia. Tässä mielessä kokonainen höyhen on tasalaatuisemmaksi murskattua höyhentä parempi vaihtoehto. Kokonainen höyhen on myös kantavampaa eli se ei painu ajan kuluessa kasaan yhtä helposti kuin murskattu.

Paitsi varastoinnin myös loppukäytön aikana tuotteen pitää olla hajuton, jottei se houkuttele hyönteisiä tai jyrssiöitä. Pölynhallinta tai pölyämättömyys on tärkeää myös asennuksen, käytön ja purkamisen aikana.

Ryynäsen ym. (2001) mukaan suurelta osin keratiinista koostuvana höyhenet ja untuvat eivät syty helposti eivätkä ylläpidä palamista. Toisaalta tämän hankkeen osana syksyllä 2022 toteutetut polttokokeet (Kuva 4) osoittivat, että sekä kokonaisen että murskatun höyhenen ohuimmat höytyvät palavat herkästi.



Kuva 4. Murskatun ($30,52 \text{ kg/m}^3$) ja kokonaisen ($27,62 \text{ kg/m}^3$) höyhenen palontestausta.
Kuva: Akseli Romppainen, Ecoup Oy.

Testin perusteella höyhenmateriaali sijoittui paloluokkaan F. Höyhenten höytyvät kärähtivät ja sitten sammuiivat. Murskattu höyhen paloi kokonaista herkemmin, koska hapen kanssa kosketuksissa oleva pinta-ala on suurempi kuin kokonaisilla höyhenillä.

3. Höyhenmateriaalin markkinapotentiaali

3.1. Reunaehdot ja höyhenten käytölle

Teollisten tuotantoprosessien synnyttämien sivuvirtojen hyödyntäminen ja uusiutuvien eristemateriaalien käytön lisääminen ovat maailmanlaajuisia haasteita, joten niihin liittyvillä keksinnöillä on merkittävä kansainvälinen liiketoimintapotentiaali. Rakennusalle haetaan uusiutuvia eristemateriaaleja. European Renovation Wave Strategy (2021) tähtää rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen. Euroopan komissio tavoittelee korjausrakentamisen kaksinkertaisamista energia- ja materiaalitehokkuuden nimissä: vuoteen 2030 mennessä on tavoitteena 30 milj. energiaremontoitavaa asuntoa EU:ssa. Strategiassa on erikseen mainittu uusiutuvat eristemateriaalit, joilla toistaiseksi on EU-tasolla alle kahden prosentin (n. 250 milj. €/a) markkinaosuus. Halvat kivillä, lasivilla ja EPS, joiden valmistus aiheuttaa merkittäviä ympäristövaiikutuksia, hallitsevat eristemarkkinoita lähes täysin.

Uusia eristeitä voidaan markkinoida kuluttajille luonnonmukaisuudella, kemikaalittomuudella ja ympäristöystävällisyydellä, mutta niiden tulee myös olla teknisesti ja taloudellisesti kilpailukykyisiä. Eristemateriaalit sisältävät orgaanista hiiltä, joka varastoituu tuotteeseen tyyppillisesti rakenteen käyttäjäksi. Materiaalien massasta on 37–50 % hiiltä, joka vapautuu ilmakehään, kun tuote poltetaan elinkaarensa päätteeksi.

Eläinperäisten materiaalien hyödyntämiseen liittyy kysymyksiä, joilla on vaikutusta tuotteiden hyväksyttävyyteen. Vegaanit eivät syö eläinperäisiä tuotteita ja välttävät ylipäänsä eläinperäisten materiaalien käyttämistä sekä tuotteita, joita on testattu eläimillä. Taustavaikuttimet liittyvät mm. eläinten hyväksikäytön välttämiseen ja ympäristösyihin (Go vegan... 2022). Vuonna 2021 Brasiliassa, Meksikossa, Kiinassa, Yhdysvalloissa ja Saksassa vegaanien osuus oli 1–3 % ja Intiassa 9 % väestöstä (Wunsch 2022 mukaan Health & Wellness...2021). Vegaanien suhteellisen vähäisestä määrästä riippumatta kuluttajakäyttäytyminen vaikuttaa myös yritysten valintoihin. Esimerkiksi Volvo on luopumassa nahkan käytöstä verhoilussa ja yleisesti siirtymässä tuotannossaan "vegaaniystävällisiin" autoihin vuoteen 2030 mennessä (Greaves 2021). Lisäksi osalla yrityksistä voi olla tuotekehitystyön julkistamattomana taustavaikuttimena eläinperäisten materiaalien välttäminen tuotekehityksessä ja tuotannossa. Tämä voi vaikuttaa höyhenten hyödyntämismahdollisuuksiin.

Toisaalta tuotantoeläimiä tuotettaessa sivutuotteiden tehokas ja arvonnisää tuottava hyödyntäminen on EU:n jätedirektiivin hierarkian mukaisesti hyödyllistä ja auttaa vähentämään jätettä. Kiertotalousperiaatteen mukaisesti materiaalit kannattaa pitää mahdollisimman pitkään kierrossa ja välttää näin hukkan ja jätteen määrää.

Höyhenmateriaalien hyödyntäminen erilaisissa käyttökohteissa vaatii toimiakseen jäsennellyn arvoverkon. Haastattelujen pohjalta identifioimme kolme arvoketjun kriittistä osaa: 1) Teurastamot, 2) Höyhenmateriaalin jatkokäsittelijät ja 3) Käsitellyn höyhenmateriaalin hyödyntäjät (Kuva 5).

Teurastamotoiminta on keskittynyttä ja teurastamot ovat tyyppillisesti suuria laitoksia, jotka tarjoavat teurastamopalveluita alueen lihantuotantoyrityksille. Siipikarjan teurastuksen sivuvirtana syntyvää höyhenmateriaalia ei Suomessa jatkokäsitellä (puhdisteta) teurastamoilla, mikä muodostaa merkittävän rajoitteen höyhenen jatkokäytölle. Pääosa höyheneistä kuljetetaan

muiden sivutuotteiden mukana Honkajoki Oy:hyn, jossa siitä valmistetaan rehua ja maanparannusainetta. Osa höyhenestä menee energiantuotantoon (poltto, biokaasu) ja osa toimitetaan turkiseläinten rehuksi.

Höyhenen matka tuotteiksi

Arvoverkon rakenne, esimerkki



Kuva 5. Esimerkki höyhenten hyödyntämisen arvoverkon perusrakenteesta.

Osana hanketta järjestettiin kysely höyhenten markkinapotentiaalista eri tuotekategorioissa. Vastaajat tunnistivat suurimman markkinapotentiaalín eláinrehuissa ja liimantuotannossa. Eriste- ja pakkausmateriaaleissa, palonsuoja-aineissa, komposiiteissa, puunsuojauksessa ja geopolymeereissa potentiaali náhtiin väháisemmäksi.

3.2. IPR-selvitys

Patentti on määraaikainen yksinoikeus hyödyntää tekniikan alaan liittyvää keksintöä, jota voidaan käyttää teollisesti (Patenttilaki 1967, Patentit 2002). Patentit ovat määraaikaisia ja voimassa vain siinä maassa tai niissä maissa, joissa ne on haettu. Eurooppapatenttihakemuksella (EP-hakemuksella) voi saada patentin valtioihin, jotka ovat liittyneet Euroopan patenttisopimukseen (European Patent Convention, EPC) (Patentit 2002).

Patenttítiedot ovat julkisia. Höyhenen käyttöön liittyviä patenttihakuja tehtiin suomalaisesta PatInfo-tietokannasta (<https://patent.prh.fi/>) ja kansainvälisestä Espacenet-tietokannasta (<https://worldwide.espacenet.com/>). Hakutulokset on esitetty taulukossa 9. Haut keskittyivät yleisesti höyheneen liittyvien patenttien lisäksi höyhenen prosessointiin sekä höyhenestä tehtäviin tuotteisiin.

Patentit, joiden otsikossa esiintyi hakusana "feather", oli Espacenet-tietokannan mukaan yli 5 000 kpl. Varsin suuri osa erityisesti 1900-luvulla tehdyistä höyhentä koskevista patenttijulkaisuista koski pienikokoisia kotitalous- ym. tuotteita, joissa höyhentä käytetään kokonaisuena. On huomattava, että hakusanoilla "höyhen" tai "feather" ei luultavasti saada näkyville kaikkia höyheniä, niiden prosessointia tai käyttöä koskevia patenteja. Esimerkiksi prosessointimenetelmiä koskevilla patenteilla voi olla tarkoituksenmukaista jättää kertomatta minkä materiaalin prosessoinnista tarkalleen ottaen on kyse, tai käyttää materiaalista kiertoilmausta "luonnonmateriaali", "siipikarjatuotannon sivutuote", tms. Työmäärän kohtuullistamiseksi höyhenen prosessointiin liittyviä julkaisuja etsittiin siis rajatuilla hakusanayhdistelmillä.

Taulukko 9. Haussa käytetyt hakusanat. Tilanne 14.10.2022.

Tietokanta	Hakusana	Tyyppi	Tuloksia
Patinfo	*höyhen*	Yleinen	2
Espacenet	feather	Yleinen	5 223
Espacenet	feather AND cleaning	Prosessointimenetelmä	284
Espacenet	feather AND drying	Prosessointimenetelmä	179
Espacenet	feather AND composite	Tuote	152
Espacenet	feather AND feed	Tuote	125
Espacenet	feather AND washing	Prosessointimenetelmä	124
Espacenet	feather AND meal	Tuote	74
Espacenet	feather AND keratin	Tuote	48
Espacenet	feather AND separation	Prosessointimenetelmä	53
Espacenet	feather AND sterilization	Prosessointimenetelmä	25
Espacenet	feather AND fertilizer	Tuote	23
Espacenet	feather AND disinfecting	Prosessointimenetelmä	22
Espacenet	feather AND insulation	Tuote	17

Höyhenten puhdistamiseen (cleaning), kuivaamiseen (drying) ja pesemiseen (washing) liittyviä patenttijulkaisuja on kutakin enemmän kuin 100 kpl.

Samaan aihepiiriin liittyviä keksintöjä on otsikoitu niin menetelmän kuin laitteenkin nimellä: esim. hakusanoilla "feather AND separation" julkaisuja oli 53 kpl ja hakusanoilla "feather AND separator" julkaisujen määrä oli 31 kpl.

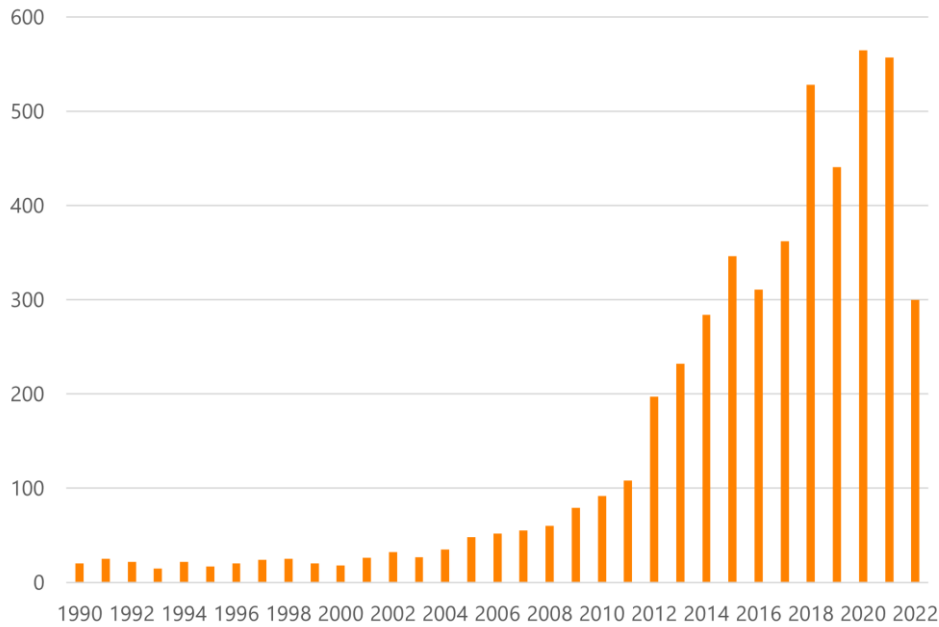
Höyhenpohjaisista tuotteista komposiitteihin (composite) ja rehun (feed) liittyviä julkaisuja oli kutakin enemmän kuin 100 kpl.

Taulukossa 10 on esitetty hakusanan "feather" otsikossaan sisältävien patenttien julkaisumaat. Valtaosa Espacenet-tietokannassa olevista patenteista on julkaistu Kiinassa. Lisäksi julkaisuja on erityisesti Japanissa, Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Euroopan maista eniten asiaan liittyviä patenteja on julkaistu Saksassa, Venäjällä ja Ison-Britanniassa.

Taulukko 10. Eri maissa julkaistut patentit, joiden otsikko sisältää hakusanan "feather". (Espacenet 2022). Tilanne 14.10.2022.

Maa	Patenttijulkaisuja	Maa	Patenttijulkaisuja
Kiina	4 209	Australia	27
Japani	484	Ukraina	26
Yhdysvallat	341	Ranska	19
Kanada	63	Neuvostoliitto	14
Taiwan	60	Puola	12
Saksa	48	Suomi	2
Venäjä	46	Tanska	2
Iso-Britannia	38	Ruotsi	1
Espanja	32	Muut	84

Kuvassa 6 on esitelty höyheneen liittyvien patenttien määrä julkaisuviuosittain vuodesta 1990 lähtien. Vuosittain julkaistujen patenttien määrä on ollut yksittäisissä kymmenissä 2000-luvun alkuvuosiin saakka, minkä jälkeen määrä on nopeasti noussut. Vuonna 2018 määrä ylitti ensimmäisen kerran 500 kappaleen rajan. Suurin merkitys patenttien määrän nousuun on kiinalaisten patenttihakemusten määrän huomattava kasvu 2000-luvun mittaan. Vuoden 2022 osalta on huomattava, että luku ei kata koko vuotta.



Kuva 6. Vuosina 1990–2022 julkaistut patentit, joiden otsikko sisältää hakusanan "feather". (Espacenet 2022). Tilanne 14.10.2022.

Kiinan patenttikehitystä on tutkinut esim. Prud'homme (2017). Kiinan valtio on ottanut voimakkaan roolin patentoinnin edistämiseksi, mikä on johtanut suureen patenttien määrään. Toisaalta patenttien laatu ja todellisen kaupallisen hyödynnettävyyden mahdollisuudet ovat useissa tapauksissa olleet kyseenalaisia.

4. Poistotekstiilien ominaisuudet, saatavuus ja jalostaminen

4.1. Poistotekstiili ja tekstiilijäte

Poistotekstiilillä tarkoitetaan määritelmällisesti omistajalleen tarpeetonta tekstiiliä, joka sisältää sekä tekstiilijätteen että käytetyt ja ehjät tekstiilit eli tekstiilituotteet (Telaketju 2020). Poistotekstiilejä syntyy sekä teollisuudessa että yksityisiltä kuluttajilta. Poistotekstiilit voivat olla ehjiä ja siten vielä käyttökelpoisia tai tekstiilijätettä. Tekstiilijätettä ovat tekstiilit, jotka on poistettu käytöstä ja jotka on kerätty, mutta jotka eivät kelpaa uudelleenkäyttöön esimerkiksi likaisuuden tai rikkinäisyyden vuoksi (Salmenperä 2017).

Tekstiilimateriaali voi olla tekstiilinä, rouheena, hienokuituna tai kuituna. Tekstiilikuidut voivat olla luonnonkuituja, tekokuituja, sekakuituja, villaa, denimiä tai muita erikoisjakeita. Ne voivat olla monivärisiä tai värin mukaan lajiteltuja. Keskeistä on tunnistaa tekstiilit siten, että kuidun koostumus on tiedossa, jotta kierrätyskuidusta saadaan haluttuun käyttöön soveltuvaa.

4.2. Poistotekstiilien saatavuus

Euroopan komission asettaman tavoitteen mukaisesti tekstiilijätteen erilliskeräys on järjestettävä vuoteen 2025 mennessä. Suomessa poistotekstiilien erilliskeräysvelvoite astui voimaan jo vuoden 2023 alussa. Tekstiilikeräys on keskitetty Lounais-Suomen jätehuollolle (LSJH), joka suunnittelee kuluttajapoistotekstiilejä käsittelevää jalostuslaitosta Topinpuiston kiertotalouskeskukseen Turkuun. Poistotekstiilien jalostuksen pilotointi aloitettiin Paimiossa Green Field Hub:ssa vuonna 2021. Linjaston tavoitteena on käsitellä kotitalouksien poistotekstiilit mekaanisesti kierrätyskuiduksi, jota yritykset voivat edelleen käyttää omien tuotteidensa raaka-aineina. Suomen malli on kansainvälisesti poikkeuksellinen; missään muualla ei ole samanlaista koko maan kattavaa yhteistä keräysjärjestelmään poistotekstiilien kierrättämiseksi. Muissa maissa keräykset keskittyvät tekstiilien ohjaamiseen uudelleenkäyttöön eikä niinkään itse materiaalien kierrättämiseen.

Tekstiilien kokonaiskäyttö Suomessa oli 137,9 milj. kg vuonna 2019. Käytöstä poistettiin samaan aikaan tekstiilejä yhteensä 85,8 milj. kg (Dahlbo ym. 2021). Käytöstä poistetuista tekstiileistä 16 % päätyi ulkomaille ja loput jäivät kotimaahan. Kotimaahan jääneestä määrästä 60 % päätyi vuonna 2019 polttoon (Dahlbo ym. 2021). Kotitalouksien erilliskeräykseen poistotekstiilejä kertyi vuonna 2019 22,7 milj. kg, josta suurin osa, 21,8 milj. kg, päätyi hyväntekeväisyysjärjestöjen keräykseen (UFF, Pelastusarmeija, SPR, Fida). Jäteyhtiöt keräsivät poistotekstiilejä 213 000 kg, josta Lounais-Suomen jätehuolto (LSJH) 169 000 kg ja Rauman seudun jätehuoltolaitos 44 000 kg (Dahlbo ym. 2021). Jäteyhtiöiden keräämistä poistotekstiileistä noin puolet käytettiin energiantuotantoon ja puolet materiaalin uudelleenkäyttöön. Vuonna 2019 sekajätteeseen arvioitiin päätyvän edelleen yli 40 milj. kg tekstiilejä.

Arvion mukaan Suomessa kerätään vuonna 2023 valtakunnallisesti poistotekstiiliä 2 000–2 500 tonnia eli noin 0,5 kg/asukas, josta voidaan hyödyntää uudelleen materiaalina noin 50 % (LSJH 2022).

4.3. Kierrätyskuidun jalostaminen poistotekstiileistä

4.3.1. Lajitteluprosessi

Poistotekstiilien jalostusprosessin tavoitteena on saada aikaan laadukasta kierrätyskuitua. Laatuksiteereitä ovat mm. kuidun pituus, tasalaatuisuus ja väri. Tällä hetkellä laatuhaasteita aiheuttavat etenkin vaihteleva kuidun pituus, sekoitemateriaalit sekä väri. Poistotekstiilien lajittelun pohjana toimii jätteenkäsittelyn etusijaperiaate. Sen mukaan pyritään ensisijaisesti palauttamaan käyttökelpoinen materiaali uudelleen kiertoon.

Suomessa lajitteluprosessi on kolmiportainen: esilajittelu, jatkolajittelu ja lopuksi materiaalilajittelu (LSJH verkkosivut) (Kuva 7). Esilajittelun tarkoituksena on tunnistaa poistotekstiilikierrätykseen kelpaava materiaali sinne kuulumattomasta. Esilajittelun perusteella materiaali siirtyy jatkolajitteluun tai se hylätään keräykseen kuulumattomana tai pilaantuneena. Jatkolajittelussa joukosta poimitaan pois uusiokäyttöön kelpaavat myyntikelpoiset tekstiilit sekä kierrätyskelvottomat tekstiilit, jotka eivät sovellu mekaaniseen kierrätykseen. Kierrätykseen soveltumattomat tekstiilit kuten nahka, muovikalvot, sadetakit ja laminoidut pöytäliinat, vahvikkeet ja toppaukset, elastaani sekä monirakenteiset tuotteet, kuten vanutäytteiset toppatakit, lasketelutakit ja vahvistetut työvaatteet, voidaan hyödyntää energiantuotannossa. Materiaalilajittelussa tekstiilit lajitellaan näppituntumalla omiin jakeisiinsa materiaaleittain. Lajittelu varmistetaan vielä optisella skannerilla. Vuonna 2022 poistotekstiilit lajiteltiin neljään materiaalijakeeseen: selluloosakuituihin, tekokuituihin, villakuituihin sekä sekakuituihin.



Kuva 7. Tekstiilikierrätyksen vaiheet Suomessa. Kuva: Lounais-Suomen Jätehuolto Oy.

4.3.2. Suomi on tekstiilikiertotalouden edelläkävijä

Kotitalouksien poistotekstiilejä on kerätty ja lajiteltu Suomessa vuodesta 2015. Vastuu kotitalouksien poistotekstiilien keräyksestä on kunnallisilla jätelaitoksilla. Ongelmana on ollut poistotekstiilien jatkojalostus, jonka puuttuminen on puolestaan rajoittanut kierrätystekstiileistä jalostettujen materiaalien teollista hyödyntämistä. Kuluttajien ympäristötietoisuuden

lisääntyminen ja kiertotaloustavoitteiden saavuttamiseen tähtäävä sääntely ovat nopeuttaneet siirtymää kierrätysmateriaalien käyttöön tekstiilialalla. Ottaen huomioon tekstiiliraaka-aineisiin ja tekstiilien tuotantoon ja käyttöön liittyvät monimutkaiset kansainväliset arvoerot, vaatii materiaalien uudelleen- tai uusiokäyttöön ohjaaminen toimijoiden välistä yhteistyötä, perinteisistä poikkeavia liiketoiminta- ja ajattelumalleja sekä toimivia kansainvälisiä kumppanuuksia. Kaikki EU-maat veloitetaan poistotekstiilien erilliskeräykseen viimeistään vuonna 2025.

Suomesta on rakentumassa yksi Euroopan tekstiilikierrätyskeskittymistä (Rehubs). Paimiossa toimiva poistotekstiilien kiertotalouslaitos käsittelee tekstiilejä kierrätysraaka-aineeksi kahdella linjastolla. Rester Oy:n linjasto käsittelee yritysten poistotekstiilejä sekä teollisuuden tekstiilisivuvirtoja, ja Lounais-Suomen Jätehuolto Oy (LSJH) kotitalouksien poistotekstiilejä. Koska linjastoille tulevat raaka-aineet ovat erilaisia, ovat myös valmistuvan kierrätyskuidun loppukäyttökohteet erilaisia. Kyseessä on Pohjois-Euroopan ensimmäinen poistotekstiilejä kierrätyskuiduksi jalostava yksikkö. LSJH:n tavoite on ratkaista kotitalouksien tekstiilinkierrätys Suomessa. Rakentuva tekstiilikiertotalousmalli on kansainvälisesti edistyksellinen: yhdessäkään maassa ei ole toistaiseksi kyetty rakentamaan valtakunnallista ja yhtenäistä poistotekstiilien keräys- ja lajittelusysteemiä, jossa ovat kaikki maan kunnalliset jätelaitokset mukana. Lisäksi Suomessa sekä kunnallinen että yksityinen yritys toimivat saman katon alla kehittääkseen poistotekstiilien prosessointia kierrätysraaka-aineeksi. Toimintamallien, logistiikan ja prosessointiteknologioiden kehitys sekä investointien ja kansainvälistymisen edistäminen perustuu tekstiilikiertotalouden toimijat yhteen saattaneeseen Telaketju-osaajayhteisöön. Kiertotalouden keskeinen oivallus liittyykin toimintamalliin, jossa kaikki toimijat ovat kriittisiä ja yhden puuttuminen voi nopeasti pysäyttää muidenkin prosessit. Oman liiketuloksen maksimoinnin sijaan strategista liiketoiminta-ajattelua tulisi suunnata kiertotalousarvoverkkoon: mitä paremmin systeemi saadaan toimimaan, sitä paremmat mahdollisuudet jokaisella toimijalla on parantaa tulostaan.

Paimion linjasto pystyy käsittelemään noin kymmenen prosenttia Suomen poistotekstiileistä, mutta LSJH laajentaa poistotekstiilin jalostuskapasiteettia vastaamaan Suomen kotitalouksista kerätyille poistotekstiileille. Vuonna 2023 Suomen jätelaki velvoittaa kunnat poistotekstiilien erilliskeräykseen, jolloin eri alueilla keräyksen ja esilajittelun hoitaa paikallinen jäteyhtiö.

Poistotekstiileitä käsitellään mekaanisesti ja prosessissa valmistuu kierrätysraaka-ainetta esimerkiksi lankoihin, kuitukangasmateriaaleihin, eristeisiin, akustiikkalevyihin, suodatinkankaisiin sekä komposiitteihin – ja uusia sovelluskohteita haetaan aktiivisesti. Kiertotalousperiaatteen mukainen tavoite on, että arvokkaat materiaalit pysyisivät käytössä niin pitkään kuin mahdollista. Prosessoidun kierrätystekstiilikuidun laatutekijöitä ovat kuidun pituus, puhtaus, väri ja tasalaatuisuus. Jos syntyvälle jakeelle ei löydy kannattavaa tuotekäyttöä, hyödynnetään se energiana. Energiaksi päätyvän jakeen osuus on noin kolmannes, mutta se pienenee uusien tuotearvoketjujen rakentuessa. Energiakäyttöä ei usein tunnisteta kiertotalousratkaisuksi, mutta se on erityisesti kylmässä Pohjolassa tärkeä kiertotalouden osa. Mielenkiintoista on, että vanhempien tekstiilien kierrätys on keskimäärin helpompaa: nykyisten ns. pikamuotitekstiilien raaka-aineet ovat halpoja ja heikkolaatuisia, eikä niitä ole suunniteltu kierrätettäviksi. Tekstiilikiertotalouden kehitystä onkin hidastanut se, että monet neitseelliset raaka-aineet ovat edelleen halpoja. Myös rakenteet, jopa lainsäädäntö, jotka tukevat perinteistä lineaarista markkinataloutta ja halpojen tuotteiden kysyntää, hidastavat tekstiilikiertotaloutta.

Kuten monien kestävän kehityksen ratkaisujen käynnistysvaiheessa myös tekstiiliteollisuudessa julkisilla hankinnoilla on merkittävä rooli. Suunnitteilla olevan sekoitevelvoitteen rooli on myös merkittävä. Tuottajat pitäisi saada mukaan taloudellisesti tukemaan jo rakennettua keräys ja lajittelusysteemiä.

Suomalaiset toimijat ovat rakentamassa innovatiivista ja globaalina esimerkkinä toimivaa tekstiilikiertotalouden toimintamallia. Toimiva yhteistyö yksityisen ja julkisen sektorin välillä nopeuttaa kehitystä ja minimoi kuluja. Alaan vaikuttavan säädösohjauksen vakaus ja ennustettavuus ovat pitkäjänteisen kehittämisen ja välttämättömien investointien toteutuksen edellytys.

4.4. Kierrätyskuidun jalostamisen haasteet

Tekstiilikuidun haasteena on saada materiaali kerättyä kuivana ja puhtaana, sillä kosteus ja lika heikentävät kierrätettävän kuitumateriaalin laatua. Materiaalien laaja kirjo tekstiileissä vaikeuttaa kierrätystä, ja osa tekstiileissä käytetyistä materiaaleista on ei-tekstiilisiä, kuten muovia, metallia ja nahkaa. Uusiokäytön kannalta tärkeää on, että tekstiilit saadaan lajiteltua tarkasti kunnon, rakenteen ja materiaalikoostumuksen mukaisesti. Poistotekstiilien hygienia rajoittaa hyödyntämistä, lopputuote ei sovellu kaikkiin tarkoituksiin.

Tekstiilit pyritään käsittelemään mekaanisesti, mutta edelleen jätetekstiilien lajittelussa ja käsittelyssä tarvitaan paljon ihmistyövoimaa, mikä nostaa kustannuksia. Monia eri materiaaleja sisältävät tekstiilituotteet ovat vaikeasti hyödynnettäviä ja ne hyödynnetään useimmiten energiana. Käsittelyprosesseja kehitetään jatkuvasti, esimerkiksi kuidun avauksessa on edelleen parannettavaa.

4.5. Poistotekstiileihin liittyvä lainsäädäntö

Jätelain ja sitä täydentävien asetusten tavoitteena on vähentää jätteen määrää ja lisätä uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Lajiltaan ja laadultaan erilaiset jätteet on lajiteltava ja kerättävä erikseen kierrätystä varten. Erilliskerättyä jätettä ei enää saa viedä kaatopaikalle eikä poltettavaksi.

Poistotekstiilien erilliskeräys tuli pakolliseksi Suomessa 1.1.2023, kaksi vuotta EU:n edellyttämää aikarajaa aikaisemmin (Valtioneuvoston asetus jätteistä 978/2021, Laki jätelain muuttamisesta 714/2021). Poistotekstiilien keräyksen järjestäminen tulee olemaan kuntien vastuulla. Keräys toteutetaan todennäköisesti pääsääntöisesti kuntien ylläpitämällä alueellisilla keräyspisteillä.

5. Eläinperäisiä sivutuotteita koskeva sääntely

5.1. Sivutuotteiden luokittelu ja käsittelysäädökset

Eläinperäisten sivutuotteiden hyödyntämistä määrittää niiden sivutuoteluokka (Ruokavirasto, Sivutuotteiden käyttö ja hävitys). Tähän on joitain poikkeuksia muun muassa rehukelpoisuuden suhteen: pilaantunut sivutuote ei ole rehukelpoinen luokasta riippumatta. Eläinperäiset sivutuotteet jaetaan kolmeen luokkaan. Luokkajako perustuu tuotteiden ihmisten ja eläinten terveydelle aiheuttaman riskin vakavuuteen. Tarkempi luettelo kuhunkin luokkaan kuuluvista aineksista löytyy sivutuoteasetuksen artikloista 8, 9 ja 10 ((EY) N:o 1069/2009).

Luokan 1 sivutuotteisiin lasketaan kuuluvaksi muun muassa yli 12 kk ikäiset märehitjät, lemmikkieläimet, eläintarhaeläimet ja sirkuseläimet, luonnonvaraiset eläimet, jos niiden epäillään sairastavan ihmisiin tai eläimiin tarttuvaa tautia, kansainvälisesti toimivista liikennevälineistä peräisin oleva ruokajäte sekä sivutuotteet, joissa on TSE-taudin riski (esim. BSE) tai joissa on kiellettyjä aineita tai ympäristömyrkyjä yli lainsäädännössä sallitun rajan. Myös TSE-riskiainesta erottavien teurastamoiden, teurastuspaikkojen ja leikkaamojen jätevedestä erotettu eläinperäinen aines sekä luokan 1 ja 2 tai luokan 1 ja 3 sivutuotteiden seokset kuuluvat luokkaan 1.

Luokan 1 sivutuotteet on käsiteltävä siihen hyväksytyssä käsittelylaitoksessa ja hävitettävä polttamalla siihen hyväksytyssä polttolaitoksessa. Märehitjät voi hävittää hautaamalla syrjäisellä seudulla. Luokan 1 sivutuotteista voidaan myös valmistaa tiettyjä tuotteita, joita ei kuitenkaan käytetä tuotantoeläinten ruokintaan tai sellaisen alueen maanparannusaineeksi, josta tuotantoeläimiä on tarkoitus ruokkia.

Luokan 2 sivutuotteisiin kuuluvat muun muassa eläimet, joissa on muiden kuin TSE-tautien riski, itsestään kuolleet tai lopetetut tuotantoeläimet (sis. alle 12 kk ikäiset märehitjät), lihan tarkastuksessa hylätyt ruhon osat, lanta ja ruoansulatuskanavan sisältö, kuoriutumattomana kuollut siipikarja sekä sivutuotteet, joissa on antibioottien tai muiden eläinlääkkeiden jäämiä yli lainsäädännössä sallitun tason.

Luokan 2 sivutuotteet on käsiteltävä luokan 1 tai 2 käsittelylaitoksessa ja hävitettävä polttamalla siihen hyväksytyssä laitoksessa. Maito, maitoperäinen tuote, ternimaito, lanta ja ruoansulatuskanavan sisältö voidaan levittää maahan, jos katsotaan, että siihen ei sisälly vakavaa tartuntataudin leviämisenriskiä. Samoin edellytyksin myös munat ja munatuotteet voidaan kompostoida tai muuntaa biokaasuksi. Osa luokan 2 sivutuotteista voidaan käyttää turkiseläinten, eläintarhaeläinten, sirkuseläinten, matelijoiden, luonnonvaraisten eläinten, työkoirien tai kalansyötiksi kasvatettujen toukkien ruokintaan. Luokan 2 sivutuotteista voidaan myös valmistaa tiettyjä tuotteita, joita ei kuitenkaan käytetä elintarviketuotantoeläinten ruokintaan tai sellaisen alueen maanparannusaineeksi, josta elintarviketuotantoeläimiä on tarkoitus ruokkia.

Luokan 3 sivutuotteisiin kuuluvat pääasiassa ihmisravinnoksi hyväksytyistä eläimistä saatavat sivutuotteet, joita ei kuitenkaan käytetä elintarvikkeiksi. Höyhenet kuuluvat tähän luokkaan. Luokkaan 3 kuuluvat myös ravintoloiden, pitopalvelujen ja keittiöiden ruokajäte, entiset eläinperäiset elintarvikkeet sekä elintarvikkeiden käsittelyssä ja valmistuksessa syntyvät sivutuotteet. Myös hautomoiden sivutuotteet, munat ja munien sivutuotteet, kuten munankuoret ja kaupallisista syistä tapetut untuvikot kuuluvat luokkaan 3.

Luokan 3 sivutuotteet on käsiteltävä luokan 1, 2 tai 3 käsittelylaitoksessa ja hävitettävä polttamalla siihen hyväksytyssä laitoksessa, kompostoitava tai muunnettava biokaasuksi. Osaa sivutuotteista voidaan käyttää tuotantoeläinten ja lemmikkieläinten rehun valmistukseen, turkiseläinten, eläintarhaeläinten, sirkuseläinten, matelijoiden, luonnonvaraisten eläinten, työkoirien tai kalansyötiksi kasvatettujen toukkien ruokintaan sekä orgaanisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden valmistukseen.

5.2. Sivutuotteita koskeva lainsäädäntö

Höyhen on eläimistä saatava sivutuote, joten höyhenten käsittelyä ja käyttöä koskevat EU-lainsäädäntö ja sitä täydentävä kansallinen lainsäädäntö. Keskeisimpiä lakeja ja asetuksia ovat sivutuoteasetus (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009), täytäntöönpanoasetus (Komission asetus (EU) N:o 142/2011), sivutuotelaki (Laki eläimistä saatavista sivutuotteista 517/2015), maa- ja metsätalousministeriön asetus eläimistä saatavista sivutuotteista 783/2015, valtioneuvoston asetus valtionavustuksesta eläimen omistajalle nautojen, lampaiden, vuohien, sikojen ja siipikarjan raatojen keräilystä ja hävittämisestä aiheutuviin kustannuksiin 998/2017 sekä maa- ja metsätalousministeriön asetus kunnaneläinlääkärin maksullisista suoritteista 335/2021. Lisäksi muun muassa eläinlääkintälainsäädäntö, rehulainsäädäntö sekä lannoitelainsäädäntö sisältävät sivutuotteita sääteleviä osia.

Sivutuoteasetus edellyttää, että sivutuotteita käsittelevien laitosten tulee olla hyväksytyjä tai rekisteröityjä ((EY) N:o 1069/2009 artiklat 23 ja 24). Hyväksytyjen ja rekisteröityjen laitosten ajantasainen luettelo on nähtävissä Ruokaviraston verkkosivuilla (Ruokavirasto, Hyväksytyjen ja rekisteröityjen laitosten luettelo). Hyväksyntä tarvitaan, jos laitoksessa sivutuotteita koskevat "toimet aiheuttavat huomattavan riskin ihmisten ja eläinten terveydelle" (Ruokavirasto, Sivutuotelaitosten hyväksyntä ja rekisteröinti). Hyväksyntää kevyempi menettely on sivutuoteasetuksen mukaiseksi toimijaksi rekisteröinti, jota vaaditaan laitoksille, joissa käsitellään tiettyjä vähäriskisiä sivutuotteita tai johdettuja tuotteita. Rekisteröinti vaaditaan muun muassa toimijoita, jotka kuljettavat tai välittävät sivutuotteita tai niistä johdettuja tuotteita sekä sivutuotteita ja johdettuja tuotteita erityisiin tarkoituksiin käyttävät toimijat kuten luonnonvaraisten eläinten, sirkuseläinten, eläintarhaeläinten ja turkiseläinten ruokintaa tekevät toimijat sekä sivutuotteita ja niistä johdettuja tuotteita tutkimuksessa käyttävät toimijat (Ruokavirasto, Sivutuotelaitosten hyväksyntä ja rekisteröinti).

Käytännössä hyväksyntää tai rekisteröintiä haetaan kirjallisesti toimivaltaiselta viranomaiselta eli kunnaneläinlääkäriltä tai Ruokavirastolta. Vastuunjako näiden viranomaisten kesken erityyppisten toimijoiden hyväksynnässä ja rekisteröinnissä on esitetty taulukossa 11. Rekisteröintiä ei vaadita, jos pientä määrää luokkaan 2 ja 3 kuuluvia sivutuotteita ja niistä johdettuja tuotteita käytetään tuotteiden valmistamiseen, jotka toimitetaan suoraan loppukäyttäjälle, paikallisille markkinoille tai paikallisiin vähittäisliikkeisiin tai jos sivutuotteet syntyvät tiloilla tai muissa toimitiloissa, joissa eläimiä pidetään, kasvatetaan tai hoidetaan (esimerkiksi eläinlääkärriasemilla ja maatiloilla syntyneet sivutuotteet) (Ruokavirasto, Sivutuotelaitosten hyväksyntä ja rekisteröinti).

5.3. Sivutuotteiden hyödyntäminen

5.3.1. Sivutuotteita käsittelevät laitokset

Sivutuotealan laitoksen rekisteröivä, hyväksyvä ja valvova viranomainen voi harjoitettavasta toiminnasta riippuen olla joko Ruokavirasto tai kunta. Sivutuotealan laitosten ja toimijoiden rekisteröinnistä, hyväksymisestä ja valvonnasta on säädetty sivutuotelaisissa.

Taulukko 11. Viranomaisten vastuunjako hyväksynnässä ja rekisteröinnissä (x = rekisteröinti, o = hyväksyntä). Lähde: Ruokavirasto, Sivutuotelaitosten hyväksyntä ja rekisteröinti.

Laitos	Ruokavirasto	Kunnan-eläinlääkäri
Biokaasulaitokset, jotka hajottavat eläinperäisiä tuotteita	o	
Haaskatoimijat		x
Hygienisointiyksiköt	o	
Lantaa polttavat laitokset, jotka sijaitsevat eläintilalla		o
Lemmikkieläinten ruokia valmistavat laitokset, jotka käyttävät luokan 3 sivutuotteita	o	
Keräyskeskukset		x
Kompostointilaitokset, jotka hajottavat eläinperäisiä tuotteita	o	
Kuljetusliikkeet	x	
Kv-ruokajätteen keräyspisteistä vastuussa olevat toimijat	x	
Käsittelylaitokset, luokat 1, 2 ja 3	o	
Maitoalan laitokset	x	
Orgaanisia lannoitteita valmistavat laitokset, jotka eivät vaadi hyväksyntää	x	
Poltto- ja rinnakkaispolttolaitokset, jotka polttavat kokonaisia eläinraatoja		o
Rehusekoittamot	x	
Sivutuoteasetuksen artiklan 36 mukaisia tuotteita valmistavat laitokset niin sanotut cascade-laitokset	x	
Sivutuotteita eläintarhaeläinten, kalansyötiksi kasvatettavien matojen ja toukkien sekä muiden matelijoiden ja petolintujen kuin eläintarhaeläinten ruokintaan käyttävät toimija		x
Sivutuotteita tutkimustarkoituksiin käyttävät toimijat	x	
Sivutuotteita välittävät toimijat	x	
Tekniset laitokset, joita ovat tekniseen käyttöön tarkoitettuja tuotteita valmistavat ja käsittelevät laitokset		x
Teknisten tuotteiden varastointilaitokset		x
Teurastamon yhteydessä olevat rekisteröitävät laitokset, esim. keräyskeskukset	x	
Tilarehustamot		x
Varastointilaitokset, jotka varastoivat kerättyjä käsiteltyjä sivutuotteita		o
Varastointilaitokset, jotka varastoivat orgaanisia lannoitteita ja maanparannusaineita	o	
Väliasteen laitokset, jotka varastoivat kerättyjä käsittelemättömiä sivutuotteita tai suorittavat niille niin sanotun väliasteen toimia		o

5.3.2. Teknisten tuotteiden valmistus sivutuotteista

Teknisillä tuotteilla tarkoitetaan eläimistä peräisin olevista sivutuotteista johdettuja tuotteita, jotka on tarkoitettu johonkin muuhun tarkoitukseen kuin eläinten ruokintaan. Muun muassa käsitelty villa, karva ja harjakset, sulat ja höyhenet ja niiden osat ovat teknisiä tuotteita. Teknisiä tuotteita valmistavien toimijoiden on haettava rekisteröintiä toimivaltaiselta viranomaiselta eli kunnaneläinlääkäriltä (Taulukko 11).

6. Rakennustuotteiden sääntely

6.1. Rakennustuotteita ja rakentamista koskeva lainsäädäntö

Rakennustuotteeksi määritellään tuote, joka tulee kiinteäksi osaksi rakennusta. Tällaisia tuotteita ovat muun muassa betonielementit, ikkunat, teräsrakenteet ja sahatavara (Rakennustuotteet 2022). Rakennustuotteiden kelpoisuutta määrittelevän sääntelyn tarkoitus on turvata turvalliset ja kestävä kehityksen mukaiset tuotteet, jotka eivät saa aiheuttaa haittaa terveydelle. Maankäyttö- ja rakennuslain nojalla on säädetty olennaisia teknisiä vaatimuksia koskien rakenteiden lujuutta ja vakautta, paloturvallisuutta, terveellisyttä, käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä energiatehokkuutta (Rakennustuotteet 2022).

Rakennustuotteita koskevan lainsäädännön tavoitteena on varmistaa tuotteista saatavan tiedon luotettavuus ja vertailukelpoisuus sekä edistää rakennustuotteiden kotimaan myyntiä ja vientiä (Rakennustuotteet 2022). Säädöksiä on eri tasoilla (Rakennustuotteet 2022):

Euroopan unionin rakennustuoteasetus ((EU) N:o 305/2011) säätää, kuinka rakennustuotteiden ominaisuuksista kerrotaan. Asetuksessa on säädetty, millä edellytyksillä rakennustuotteet voidaan CE-merkitä (vaatimustenmukaisuusmerkintä). Rakennustuoteasetuksessa on myös lueteltu rakennuskohteen perusvaatimukset, jotka toimivat pohjana tuotestandardeille ja teknisten arviointien laadinnalle (Rakennustuotteet 2022).

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus ((EY) N:o 765/2008) säätää tuotteiden kaupan pitämiseen liittyvästä akkreditoinnista ja markkinavalvontaa koskevista vaatimuksista. Asetus toimii CE-merkintää koskevana lainsäädäntöpohjana. CE-merkinnällä osoitetaan rakennustuotteiden kelpoisuus, jos tuote kuuluu harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan tai valmistaja on hakenut tuotteelle eurooppalaisen teknisen arvioinnin (ETA).

Laki CE-merkintärikkomuksista (187/2020) säätää hallinnollisista pakkokeinoista CE-merkintää koskevassa järjestelmässä.

Laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä (954/2012) koskee rakentamisessa käytettävien rakennustuotteiden hyväksymistä, kun tuotteelle ei voi käyttää CE-merkintää. Sellaisille rakennustuotteille, joille harmonisoitua tuotestandardia tai ETAA ei ole määritelty, voidaan käyttää kansallista hyväksyntämenettelyä.

Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä (555/2013) tarkentaa eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä annettua lakia. Siinä säädetään muun muassa kansallisesta hyväksymismenettelyn hakemisesta, merkinnöistä ja valvonnasta.

Muita aihepiiriin kuuluvia lakeja ovat mm. **maankäyttö- ja rakennuslaki** (132/1999), joka määrittelee rakentamisen yleiset edellytykset, tekniset vaatimukset, lupamenettelyn ja viranomaisvalvonnan. Olennaisiin vaatimuksiin sisältyy rakenteiden lujuutta ja vakautta, paloturvallisuutta, terveellisyttä, käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä energiatehokkuutta koskevat seikat (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2022).

Tarkemmat rakentamista koskevat säännökset on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>. Seuraavissa kappaleissa on esitelty keskeisiä osia säädöksistä, jotka vaikuttavat erityisesti höyhenten ja tekstiilijakeiden hyödynnettävyyteen rakennusmateriaaleina.

6.2. Paloturvallisuus

Rakennukset tulee suunnitella ja rakentaa käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla paloturvallisiksi. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) sisältää keskeiset paloturvallisuuteen liittyvät vaatimukset rakentamisessa.

Rakennukset jaetaan neljään paloluokkaan: P0, P1, P2 ja P3. Lisäksi rakennuksen kantavat ja osastoivat rakennusosat jaetaan paloluokkiin sen mukaan, miten ne kestävät paloa. Merkintä muodostuu kirjaimista R=kantavuus, E=tiivius, I=eristävyys ja niiden yhdistelmistä sekä minuutteina ilmaistusta palonkestävyyssajasta. Ryhmittely paloluokkiin tehdään pääkäyttötavan perusteella (YM 2017b).

Rakennusosien valmistamisessa on käytettävä sellaisia rakennustarvikkeita, että ne täyttävät kussakin käyttötavassa tarvikkeille asetetut luokkavaatimukset. Rakentamiseen käytettävät materiaalit ja tarvikkeet jaetaan luokitusstandardi EN 13501-1 mukaan paloluokkiin (Taulukko 12). Luokitus perustuu materiaalin syttymisherkyyteen ja palon leviämiseen liittyviin ominaisuuksiin sekä siihen, miten materiaali käyttäytyy palaessaan: muodostuuko savua ja palavia pisaroita ja kuinka paljon. Eurooppalainen rakennustarvikkeen luokkamerkinnän muodostuminen muiden rakennustuotteiden kuin lattiapäällysteiden osalta on kuvattu taulukossa 12.

A1-luokkaan kuuluvat tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon, esim. mineraalivillat ja kuitubetonit, jotka sisältävät vain vähän palavaa orgaanista ainesta. A2-luokan tuotteiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu. Tällaisia voivat olla esim. pinnoitetut mineraalivillat, kuitusementtilevyt ja maalatut metallilevyt. B-luokkaan kuuluvat tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu ja C-luokkaan tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitusti. Luokkaan D kuuluvat tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä ja luokkaan E tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä (YM 2011). Osa palo-suojatuista puutuotteista kuuluu luokkaan B, kun taas esim. palosuojamattomat lastulevyt ja vanerit kuuluvat luokkaan D tai E. F-luokan tuotteet eivät täytä minkään yllä mainitun luokan vaatimuksia tai niiden käyttäytymistä ei ole määritetty (Rakennusteollisuus.fi).

Tuotteen paloluokka määritetään testaamalla luokitusstandardin mukaisesti. Tuotteen palamattomuuden määrittämiseen (luokat A1 ja A2) käytetään standardia EN ISO 1182, jossa tietyn kokoinen koekappale asetetaan putkimaiseen uuniin, jonka lämpötila on 750°C. Lämpöarvon määrittämiseen (luokat A1 ja A2) käytetään standardia EN ISO 1716, jossa koekappaleta poltetaan paineessa tiiviissä terässylinterissä. Yksittäisen palavan esineen koe (SBI-koe) suoritetaan standardin EN 13823 ja syttyvyysmittaus (luokat B, C, D ja E) EN ISO 11925-2-standardin mukaisesti (2000/147/EY, Taulukko 12). Lämmön- ja savuntuoton mittaus (luokat A2, B, C ja D) tehdään kartiokalorimetrillä standardin ISO 5660 mukaisesti. Paloluokitusstandardin ulkopuolella voidaan lisäksi määrittää tuotteen taipumus kytevään paloon (standardi EN 16733).

Höyhenten ja poistotekstiilien käytön kannalta paloturvallisuus on keskeistä kaikkien rakentamisen tuoteryhmien osalta. Hyödynnettäessä sivujakeita eriste- tai akustiikkamateriaaleina materiaalien paloturvallisuudesta on varmistuttava.

Taulukko 12. Rakennustuotteiden paloteknistä käyttäytymistä kuvaavat luokat. Lähde: Komission päätös 2000/147/EY.

Luokka	Testausmenetelmä	Luokitusperusteet	Lisäluokitus
A1	Tuotteen palamattomuus EN ISO 1182; ja	$\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$; ja $\Delta m \leq 50\%$; ja $t_f = 0$	-
	Lämpöarvon määrittäminen EN ISO 1716	$\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ/kg}^{-1}$ (1); ja $\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ/kg}^{-1}$ (2) (2a); ja $\text{PCS} \leq 1,4 \text{ MJ/m}^2$ (3); ja $\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ/kg}^{-1}$ (4)	-
A2	Tuotteen palamattomuus EN ISO 1182; tai	$\Delta T \leq 50^\circ\text{C}$; ja $\Delta m \leq 50\%$; ja $t_f \leq 20 \text{ s}$	-
	Lämpöarvon määrittäminen EN ISO 1716; ja	$\text{PCS} \leq 3,0 \text{ MJ/kg}^{-1}$ (1); ja $\text{PCS} \leq 4,0 \text{ MJ/kg}^{-1}$ (2) (2a); ja $\text{PCS} \leq 4,0 \text{ MJ/m}^2$ (3); ja $\text{PCS} \leq 3,0 \text{ MJ/kg}^{-1}$ (4)	-
	Yksittäisen palavan esineen koe (SBI-koe) EN 13823	$\text{FIGRA} \leq 120 \text{ W/s}$; ja $\text{LFS} < \text{näytteen reuna}$; ja $\text{THR}_{600\text{s}} \leq 7,5 \text{ MJ}$	Savuntuotto ja liekehtivät pisarat/osat
B	Yksittäisen palavan esineen koe (SBI-koe) EN 13823; ja	$\text{FIGRA} \leq 120 \text{ W/s}$; ja $\text{LFS} < \text{näytteen reuna}$; ja $\text{THR}_{600\text{s}} \leq 7,5 \text{ MJ}$	Savuntuotto ja liekehtivät pisarat/osat
	Syttyvyysmittaus EN ISO 11925-2: <i>altistusaika = 30 s</i>	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ 60 s kuluessa	
C	Yksittäisen palavan esineen koe (SBI-koe) EN 13823; ja	$\text{FIGRA} \leq 250 \text{ W/s}$; ja $\text{LFS} < \text{näytteen reuna}$; ja $\text{THR}_{600\text{s}} \leq 15 \text{ MJ}$	Savuntuotto ja liekehtivät pisarat/osat
	Syttyvyysmittaus EN ISO 11925-2: <i>altistusaika = 30 s</i>	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ 60 s kuluessa	
D	Yksittäisen palavan esineen koe (SBI-koe) EN 13823; ja	$\text{FIGRA} \leq 750 \text{ W/s}$	Savuntuotto ja liekehtivät pisarat/osat
	Syttyvyysmittaus EN ISO 11925-2: <i>altistusaika = 30 s</i>	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ 60 s kuluessa	
E	Syttyvyysmittaus EN ISO 11925-2: <i>altistusaika = 15 s</i>	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ 20 s kuluessa	Liekehtivät pisarat/osat
F	Käyttäytymistä ei määritely		

¹Homogeenisten tuotteiden ja epähomogeenisten tuotteiden oleellisten komponenttien osalta. ²Epähomogeenisten tuotteiden vähämerkityksisten ulkopinnan komponenttien osalta. ^{2a}Vaihtoehtoisesti vähämerkityksinen ulkopinnan komponentti, jonka $\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ/m}^2$ edellyttäen, että tuote täyttää seuraavat kriteerit EN 13823 (SBI) -testissä: $\text{FIGRA} \leq 20 \text{ W/s}$; ja $\text{LFS} < \text{näytteen reuna}$; ja $\text{THR}_{600\text{s}} \leq 4,0 \text{ MJ}$; ja s_1 ; ja d_0 . ³Epähomogeenisten tuotteiden vähämerkityksisten sisäisten komponenttien osalta. ⁴Tuotteelle kokonaisuutena. Lyhenteet: ΔT = lämpötilan nousu, Δm = massan menetys, t_f = liekehtimisen kesto-aika, PCS = ylempi lämpöarvo, FIGRA = lämmöntuoton kasvunopeus, $\text{THR}_{600\text{s}}$ = kokonaislämmöntuotto, LFS = sivusuuntainen liekin leviäminen, F_s = liekin leviäminen.

6.3. Terveysvaikutukset

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että se on terveellinen ja turvallinen ottaen huomioon rakennuksen sisäilma-, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuollon. Rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista esim. sisäilman epäpuhtauksien vuoksi (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2022).

Kokonaisuuteen liittyvistä yksityiskohdista on säädetty ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (YM 2017d). Asetuksen mukaan sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisessa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä viihtyisyyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja.

Kemiallisten tekijöiden enimmäisrajat on määritelty sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015). Kemialliset epäpuhtaudet ovat määriteltävissä erilaisin analyysimenetelmin.

Järnströmin ym. (2016) mukaan viihtyisyyttä heikentävän hajun määrittäminen on käytännössä vaikeaa. Objektivistia arviointia haittaa hajuaistimuksen subjektiivinen kokemus ja hajulähteiden suuri määrä. Teknistä analyysimenetelmää, joka pystyy arvioimaan hajukomponentteja yhtä tarkasti ja kattavasti kuin ihmisnenä, ei toistaiseksi ole. Kemiallisten analyysien rinnalla käytetään aistinvaraista arviointia varmentamaan tuotteen soveltuvuus sisätiloihin.

Kilpiön & Haahtelan (1995) mukaan kliinisesti merkittävä höyhenallergia on erittäin harvainen. Todennäköisimmin höyhentuotteista saadut oireet ovat pölypunkki-allergiaa, joka liittyy höyhentuotteiden pölypunkki-kontaminaatioon tai epäspesifisen pölyn aiheuttamaan limakalvoärsytykseen. Tutkimuksen mukaan riski uusien, puhdistettujen höyhentuotteiden aiheuttamista allergiaoireista vaikuttaa vähäiseltä.

Tämän hankkeen yhteydessä erään yrityksen toteuttamissa höyhentesteissä havaittiin, että pesytykin höyhenet houkuttelevat jyräjyitä. Tiedossa ei ole, mikä hajukomponentti kiinnostuksen aiheutti. Erilaisella puhdistusmenetelmällä tai lisäainekäsittelyllä jyräjyiden aiheuttama haitta voi poistua. Lainsäädännön näkökulmasta haittaeläimet muodostavat potentiaalisen terveysriskin.

6.4. Meluntorjunta ja ääniolosuhteet

Suomen rakentamismääräyskokoelman (2022) mukaan rakenteiden ääneneristävyyden on oltava sellainen, että rakennuksessa oleskelevien uni ja lepo ei häiriinny ja käyttötarkoituksen mukainen toiminta rakennuksessa on ääniolosuhteiden puolesta mahdollista. Meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita koskee ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä (YM 2017a). Sivujakeiden käytön suhteen meluntorjunnalla on merkitystä lähinnä akustiikkamateriaaleissa.

6.5. Energiatehokkuus

Rakennuksessa käytettävien rakennustuotteiden tulee olla sellaisia, että energiankulutus ja tehontarve rakennusta ja sen järjestelmiä käyttötarkoituksensa mukaisesti käytettäessä jää vähäiseksi (Suomen rakennusmääräyskokoelma 2022). Keskeiset vaatimukset on kuvattu ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiaterhokkuudesta (YM 2017c). Sivujakeiden käytössä energiaterhokkuusvaatimukset koskevat lämmöneristeitä.

7. Johtopäätökset

Merkittävät määrät erilaisia tuotannon sivuvirtoja jää tehokkaasti hyödyntämättä ja niiden käsittely on tuottajalle usein kustannuserä. Kuitenkin mm. ekologisten rakennusmateriaalien tarve ja kysyntä kasvavat ja kuluttajat vaativat tuottajilta entistä vastuullisempia ratkaisuja, lisäksi myös megatrendit nostavat sivuvirroista valmistettujen tuotteiden arvoa.

Siipikarjatuotannossa syntyy merkittävä määrä höyheniä, joita hyödynnetään tällä hetkellä alhaisen arvonlisän tuotteissa. Höyhenten tehokkaampi hyödyntäminen voi parantaa alan vastuullisuutta ja synnyttää uutta korkean lisäarvon liiketoimintaa esimerkiksi rakennusmateriaalien valmistus-, myynti- ja markkinointitoimialojen yrityksille.

Suomessa poistotekstiilien erilliskeräysvelvoite astui voimaan vuoden 2023 alusta. Tekstiilien lajittelu ja jatkokäsittely on keskitetty Lounais-Suomen jätehuollolle (LSJH). Arvion mukaan vuonna 2023 Suomessa kerätään poistotekstiilejä 2000–2500 tonnia eli noin 0,5 kg/asukas, josta voidaan hyödyntää uudelleen materiaalina noin 50 %. LSJH etsii aktiivisesti hyötykäyttökohteita lajitelluille poistotekstiilimateriaaleille.

Materiaalien ominaisuudet, volyymi, käsittelyvaatimukset, logistiikka ja erilaiset määräykset rajoittavat höyhenten hyödyntämistä, mutta tutkimustulosten ja yritysten kiinnostuksen perusteella höyhenissä nähdään olevan merkittävää liiketoimintapotentiaalia. On tärkeää, että tuote-, prosessi- ja liiketoiminnan kehityksessä käynnistetään monipuolista elinkeinoelämän ja tutkimusorganisaatioiden välistä yhteistyötä kotimaassa ja kansainvälisesti.

Viitteet

- Acda, M.N. 2010. Waste chicken feathers as reinforcement in cement-bonded composites. *Philippine Journal of Science* 139(2): 161–166.
- Adhikari, B.B., Chae, M., Zhu, C., Khan, A., Harfield, D., Choi, P. & Bressler, D.C. 2019. Pelletization of Torrefied Wood Using a Proteinaceous Binder Developed from Hydrolyzed Specified Risk Materials. *Processes* 7(4): 229.
- Adhikari, B.B., Kislitsin, V., Appadu, P., Chae, M., Choi, P. & Bressler, D.C. 2018. Development of Hydrolysed Protein-Based Plywood Adhesive from Slaughterhouse Waste: Effect of Chemical Modification of Hydrolysed Protein on Moisture Resistance of Formulated Adhesives. *RSC Adv.* 8: 2996–3008.
- Ali, M.F., Hossain, M.S., Moin, T.S., Ahmed, S. & Chowdhuty, A.M.S. 2021. Utilization of waste chicken feathers for the preparation of eco-friendly and sustainable composite. *Cleaner Engineering and Technology* 4: 100190.
- Ansarullah, R.R., Kusno, A., Baharuddin, & Jamala, N. 2018. Utilization of waste of chicken feathers and waste of cardboard as the material of acoustic panel maker IOP Conf Earth and environmental science 126: 012036
- Aranberri, I., Montes, S., Azcune, I., Rekondo, A. & Grande, H.-J. 2017. Fully biodegradable biocomposites with high chicken feather content. *Polymers* 9(11): 593.
- Aranberri, I., Montes, S., Wesołowska, E., Rekondo, A., Wrześniewska-Tosik, K. & Grande, H.-J. 2019. Improved Thermal Insulating Properties of Renewable Polyol Based Polyurethane Foams Reinforced with Chicken Feathers. *Polymers* 11(12): 2002.
- Babalola, R., Ayeni, A.O., Joshua, P.S., Ayoola, A.A., Isaac, U.O., Aniediong, U., Efeovbokhan, V.E. & Omoleye, J.A. 2020. Synthesis of thermal insulator using chicken feather fibre in starch-clay nanocomposites. *Heliyon* 6(11): e05384.
- Ball, R.E.B., van Wicklen, G.L & Eiteman, M.A. 2001. Field test comparison of fiberglass batt insulation and loose-fill poultry feather insulation. *Applied Engineering in Agriculture* 17(4): 507–513.
- Barone, J.R., Schmidt, W.F. & Liebner, C.F. 2005. Compounding and Molding of Polyethylene Composites Reinforced with Keratin Feather Fiber. *Composites Science and Technology* 65: 683–692.
- Barone, JR., Schmidt, WF. & Gregoire, NT. 2006. Extrusion of Feather Keratin *Journal of Applied Polymer Science* 100: 1432–1442.
- Bensal, G. & Singh, V.K. 2016. Review on chicken feather fiber (CFF) a livestock waste in composite material development. *International Journal of Waste Resources* 06(04).
- Bessa, J., Souza, J., Lopes, J.B., Sampaio, J., Mota, C., Cunha, F. & Figueiro, R. 2017. Characterization of thermal and acoustic insulation of chicken feather reinforced composites. *Procedia Engineering* 200: 472-479.

- Brenner, M., Popescu, C. & Weichold, O. 2020. Anti-Frothing Effect of Poultry Feathers in Bio-Based, Polycondensation-Type Thermoset Composites. *Applied Sciences* 10: 2150.
- Brenner, M. & Weichold, O. 2020. Protein Hydrolysates from Biogenic Waste as an Ecological Flame Retarder and Binder for Fiberboards. *ACS Omega* 5 (50): 32227–32233.
- Bryndza, H.E., Foster, J.P., McCartney, L. & Lundberg, J.C. 1995. Methodology for determining surfactant efficacy in removal of petrochemicals from feathers. In: Frink L, Ball-Weir K, Smith C (eds.). *Wildlife and oil spills: response, research and contingency planning*. Newark. Tristate Bird Rescue and Research Inc. Pp. 69–86.
- Callegaro, K., Brandelli, A. & Joner Dariot, D. 2019. Beyond plucking: Feathers bioprocessing into valuable protein hydrolysates. *Waste Management* 95: 399–415.
- Cahaner, A. 2019. Genetic and breeding aspects of feather coverage and their effects on performance in broilers. In: Olukosi, OA, Olori VE, Helmbrecht A, Lambton S, French NA. *Poultry Feathers and Skin: The Poultry Integument in Health and Welfare*, Cambridge, England.
- Chilakamarry, C.R., Mahmood, S, Saffe, S.N.B.M., Arifin, M.A.B., Gupta, A., Sikkandar, M.Y., Begum, S.S. & Narasaiah, B. 2021. Extraction and application of keratin from natural resources: a review, *3Biotech* 11.
- Chinta, S.K., Landage, S.M. & Krati, Y. 2013. Application of chicken feathers in technical textiles. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 2(10): 5493–5498.
- Circular Economy Action Plan - For a cleaner and more competitive Europe, Euroopan unioni 2020. [viitattu 18.10.2022] https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/-new_circular_economy_action_plan.pdf
- Colom, X., Cañavate, J. & Carrillo-Navarrete, F. 2022. Towards Circular Economy by the Valorization of Different Waste Subproducts through Their Incorporation in Composite Materials: Ground Tire Rubber and Chicken Feathers. *Polymers (Basel)* 14(6): 1090.
- Coward-Kelly, G., Agbogbo, F.K. & Holtzapple, M.T. 2006. Lime treatment of keratinous materials for the generation of highly digestible animal feed: 2. Animal hair. *Bioresource Technology* 97: 1344–1352.
- Dahlbo, H., Rautiainen, A., Savolainen, H., Oksanen, P., Nurmi, P., Virta, M. & Pokela, O. 2021. *Textile flows in Finland 2019. Reports from Turku University of Applied Sciences* 276. Turku University of Applied Sciences. Turku 2021
- Dash, A. & Tripathy, S. 2018. Mechanical characteristics of chicken feather teak wood dust epoxy filled composite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 377: 012111.
- Dieckmann, E., Dance, S., Sheldrick, L. & Cheeseman, C. 2018. Novel sound absorption materials produced from air laid non-woven feather fibres. *Heliyon* 4. e00818.

- Dieckmann, E., Onsiong, R., Nagy, B., Sheldrick, L. & Cheeseman, C. 2020. Valorization of waste feathers in production of new thermal insulation materials. *Waste and Biomass Valorization*.
- El-Nagar, K., Saleh, M.S. & Ramadan, A.R. 2006. Utilization of feather waste to improve the properties of the Egyptian cotton fabrics. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management* 5(2).
- Endo, R., Kamei, K., Iida, I. & Kawahara, Y. 2008. Dimensional stability of waterlogged wood treated with hydrolyzed feather keratin. *Journal of Archaeological Science* 35(5): 1240–1246.
- Endo, R. & Sugiyama, J. 2013. Evaluation of cell wall reinforcement in feather keratin-treated waterlogged wood as imaged by synchrotron X-ray microtomography (μ XRT) and TEM. *Holzforschung* 67(7): 795–803.
- Endo, R. & Sugiyama, J. 2022. New attempts with the keratin-metal/magnesium process for the conservation of archaeological waterlogged wood. *Journal of Cultural Heritage* 54: 53–58.
- Espacenet – Patent search. 2022. [viitattu 14.10.2022] <https://worldwide.espacenet.com/>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus ((EY) N:o 765/2008. [viitattu 25.10.2022] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32008R0765>
- Euroopan parlamentti. 2020. Tekstiilituotannon ja -jätteen vaikutus ympäristöön (infografiikka). [viitattu 13.10.2022] <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20201208STO93327/tekstiilituotannon-ja-jatteen-vaikutus-ymparistoon-infografiikka>
- Euroopan unionin rakennustuoteasetus (EU) N:o 305/2011. [viitattu 25.10.2022] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32011R0305>
- European Renovation Wave Strategy 2021. <https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2021/04/BPIE-Renovation-Wave-Analysis-052021-Final.pdf>.
- Fagbemi, O.D. & Sithole, B. 2021. Evaluation of waste chicken feather protein hydrolysate as a bio-based binder for particleboard production. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4:100168.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Data. [viitattu 10.2.2022] <https://www.fao.org/faostat/en/>
- Feughelman, M. 2002. Natural protein fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 83(3): 489–507.
- Flores-Hernández, C.G., Colín-Cruz, A., Velasco-Santos, C., Castaño, V.M., Rivera-Armenta, J.L., Almendarez-Camarillo, A., García-Casillas, P.E. & Martínez-Hernández, A.L. 2014. All Green Composites from Fully Renewable Biopolymers: Chitosan-Starch Reinforced with Keratin from Feathers. *Polymers* 6: 686–705.
- Gassner, G., Schmidt, W., Line, M.J., Thoms, C. & Waters, R.M. 1998. Fiber and fiber products produced from feathers. US Patent, 5,705,030.

- Go Vegan. 2022. The Vegan Society. [viitattu 23.12.2022] <https://www.vegansociety.com/go-vegan>
- Gong C., Liu, X. & Jiang, X. 2014. Application of bacteriophages specific to hydrogen sulfide-producing bacteria in raw poultry by-products. *Poultry Science* 93(3): 702–710.
- Grazziotin, A., Pimentel, F.A., De Jong, E.V. & Brandelli, A. 2006. Nutritional improvement of feather protein by treatment with microbial keratinase. *Animal Feed Science and Technology* 1261: 135–144.
- Greaves, H. 2021. Volvo cars to go leather-free and vegan-friendly by 2030. [viitattu 23.12.2022] <https://www.veganfoodandliving.com/news/volvo-cars-to-go-leather-free-vegan-friendly-by-2030/>
- Greenwold, M.J., Bao, W., Jarvis, E.D., Hu, H., Li, C., Gilbert, M.T.P., Zhang, G. & Sawyer, R.H. 2014. Dynamic evolution of the alpha (α) and beta (β) keratins has accompanied integument diversification and the adaptation of birds into novel lifestyles. *BMC Evolutionary Biology* 14: 249.
- Griffith BA. 2002. Feather processing method and product PCT Patent, WO/0238853 A2
- Health & Wellness Across the Globe – July 2021. 2021. The Hartman Group. Page 49.
- Hu, P., Zheng, X., Zhu, J. & Wu, B. 2020. Effects of chicken feather keratin on smoke suppression characteristics and flame retardancy of epoxy resin. *Polymers for Advanced Technologies* 31: 2480–2491.
- Huda, M.S., Schmidt, W.F., Misra, M. & Drzal, L.T. 2013. Effect of fiber surface treatment of poultry feather fibers on the properties of their polymer matrix composites. *Journal of Applied Polymer Science* 128: 1117–1124.
- Huda, S. & Yang, Y. 2008. Composites from ground chicken quill and polypropylene. *Composites Science and Technology* 68(3–4): 790–798.
- Ifelebuegu, A. & Chinonyere, P. 2016. Oil spill clean-up from sea water using waste chicken feathers. *The Fourth Intl. Conf. On Advances in Applied Science and Environmental Technology - ASET 2016*. 1: 61-64.
- Jiang, Z, Qin, D., Hse, C.-Y., Kuo, M., Luo, Z., Wang, G. & Yu, Y. 2008. Preliminary Study on Chicken Feather Protein-Based Wood Adhesives. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 28: 240–246.
- Jung, D. & Bhattacharyya, D. 2018. Keratinous Fiber Based Intumescent Flame Retardant with Controllable Functional Compound Loading. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 6: 13177–13184.
- Jung, D., Kim, N & Bhattacharyya, D. 2020. Use of modified chicken feather to enhance flame retardancy and mechanical properties of polymeric composites. *AIP Conference Proceedings* 2289, 020028.

- Jung, D., Persi, I. & Bhattacharyya, D. 2019. Synergistic Effects of Feather Fibers and Phosphorus Compound on Chemically Modified Chicken Feather/Polypropylene Composites. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 7: 19072–19080.
- Järnström, H., Saari, M. & Päckilä, T. 2016. Rakennusmateriaalien aistinvarainen arviointi (hajut) – tilastollinen tarkastelu tuoteryhmittäin sekä kokemuksia hajuhaittakohteista. Sisäilmastoseminaari 2016, Helsinki. VTT Expert Services Oy. [viitattu 19.10.2022] <http://sisailmayhdistys.fi/content/download/2907/19212/Sisem2016+Helena+J%C3%A4rns-tr%C3%B6m.pdf>.
- Jätedirektiivi (EU) 2018/851, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/851, jätteistä annetun direktiivin 2008/98/EY muuttamisesta. [viitattu 18.10.2022] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1528981579179&uri=CELEX:32018L0851>
- Kakonke, M.C.G. 2019. Valorization of chicken feathers: Production of superabsorbant fabrics via nonwoven technology. University of Pretoria.
- Kilpiö, K. & Haahtela, T. 1995. Höyhenallergia – luultua harvinaisempi. *Duodecim* 111: 331–336.
- Komission päätös (2000/147/EY) neuvoston direktiivin 89/106/ETY soveltamisesta rakennustuotteiden paloteknistä käyttäytymistä koskevan luokituksen osalta. [viitattu 10.10.2022] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000-D0147&from=FI>
- Korniłowicz-Kowalska, T. & Bohacz, J. 2011. Biodegradation of keratin waste: Theory and practical aspects. *Waste Management* 31(8): 1689–1701.
- Kusno, A., Mulyadi, R. & Haisah, S. 2019a. Study on Chicken Feather as Acoustical Absorptive Material. *Journal of Physics: Conference Series* 1150(1): 012052
- Kusno, A., Sakagami, K., Okuzono, T., Toyoda, M., Otsuru, T., Mulyadi, R. & Kamil, K. 2019b. A Pilot Study on the Sound Absorption Characteristics of Chicken Feathers as an Alternative Sustainable Acoustical Material. *Sustainability* 11: 1476.
- Kreže, T. & Strnad, S. 2012. Physical-chemical properties of poultry feather fibres. International Conference on Innovative Technologies, INTTECH 2012, Rijeka, 26.-28.09.2012
- Laki CE-merkintärikkomuksista 187/2020. [viitattu 25.10.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20100187>
- Laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä 954/2012. [viitattu 25.10.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120954>
- Laki jätelain muuttamisesta 714/2021. [viitattu 7.10.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210714>
- Li, X., Zhou, Y., Li, J., Li, K. & Li, J. 2021. Perm-Inspired High-Performance Soy Protein Isolate and Chicken Feather Keratin-Based Wood Adhesive without External Crosslinker. *Macromolecular Materials and Engineering* 306: 2100498.

- Lingham-Soliar, T., Bonser, R. H. C., & Wesley-Smith, J. 2010. Selective biodegradation of keratin matrix in feather rachis reveals classic bioengineering. *Proceedings of The Royal Society* 277(1685): 1161–1168
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus eläimistä saatavista sivutuotteista 783/2015. [viitattu 9.2.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150783>
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus kunnaneläinlääkärin maksullisista suoritteista 335/2021. [viitattu 9.2.2022] <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210335>
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. [viitattu 25.10.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>
- Martinez-Hernandez, A.L., Velasco-Santos, C., De Icaza, M., & Castano, V.M. 2005. Microstructural characterisation of keratin fibres from chicken feathers. *International Journal of Environment and Pollution* 23(2): 162–178
- McGauran, T., Dunne, N., Smyth, B.M., Cunningham, E. & Harris, M. 2021. Poultry feather disulphide bond breakdown to enable bio-based polymer production. *Polymers from Renewable Resources* 12(3–4): 92–110.
- McGauran, T., Harris, M., Dunne, N., Smyth, B.M. & Cunningham, E. 2021. Development and optimisation of extruded biobased polymers from poultry feathers. *European polymer Journal* 158, 110678.
- McGauran, T. Harris, M., Dunne, N., Smyth, B.M. & Cunningham, E. 2022. Production of Feather-Based Biopolymers as a Direct Alternative to Synthetic Plastics. *ACS. Sustainable Chem. Eng.* 10(1): 486–494
- McKittrick, J., Chen, P.Y., Bodde, S.G., Yang, W., Novitskaya, E.E., & Meyers, M.A. 2012. The structure, functions, and mechanical properties of keratin. *JOM* 64(4): 449–468.
- Mendez-Hernandez, M.L., Salazar-Cruz, B.A., Rivera-Armenta, J.L., Estrada-Moreno, I.A. & Chavez-Cinco, M.Y. 2017. Preparation and characterization of composites from copolymer styrene-butadiene and chicken feathers. *Polímeros*, 28, 4.
- Mohammed, A.D. & Alhassan, Y.R. 2022. Preparation and physico-chemical study of fire retardant from chicken feathers and PP/PE composites. *Ovidius University Annals of Chemistry* 33(1): 71–77.
- Molins, G., Alvarez, M.D., Garrido, N., Macanas, J. & Carrillo, F. 2012. Chicken feather based composites: a life cycle assessment. *ECCM15 – 15th European conference on composite materials*, Venice, Italy, 24–28 June 2012.
- Mrajji, O., Wazna, M.E., Boussoualem, Y., Bouari, A.E. & Cherkaoui, O. 2019. Feather waste as a thermal insulation solution: Treatment, elaboration and characterization. *Journal of Industrial Textiles* 50(10): 1674–1697.
- Nuutinen, E.-M. 2017. Feather characterization and processing. Master's Thesis. Chemical, Biochemical and Materials Engineering. Fibre and Polymer Engineering. Aalto University School of Chemical Engineering. Helsinki 2017.

- OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030. 2021. Chapter 6: Meat. <https://doi.org/10.1787/-19428846-en>
- Ojanperä, A. PAE-geeli – määrittäminen ja muodostuminen prosessissa. 2020. Opinnäytetyö. Biotuote- ja prosessitekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere 2020. 54 s. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/337040/Ojanpera_Anniina.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Oluba, O.M., Obi, C.F., Akpor, O. B., Ojeaburu, S.I., Ogunrotimi, F.D., Adediran, A.A. & Oki, M. 2021. Fabrication and characterization of keratin starch biocomposite film from chicken feather waste and ginger starch. Scientific Reports 11, 8768.
- Patentit. 2022. Patentti- ja rekisterihallitus. [viitattu 12.10.2022] <https://www.prh.fi/fi/patenttit.html>
- Patenttilaki 15.12.1967/220. [viitattu 12.10.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1967/-19670550>
- Pienteurastamojen sivutuoteopas 2016. Ruokavirasto. [viitattu 9.6.2022] https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/asiointi/oppaat-ja-lomakkeet/yritykset/elintarvike-ala/elintarvikealan-oppaat/pienteurastamojen_sivutuoteopas_2016_netti.pdf
- Prud'homme, D. 2019. Section 4.2: Chinese patent quantity and patent quality, and the role of the state. In: Prud'homme, D. & Zhang, T., 2017. Evaluation of China's intellectual property regime for innovation. Report for the World Bank. pp. 39–66.
- Rai, S.K., Konwarh, R. & Mukherjee, A.K. 2009. Purification, characterization and biotechnological application of an alkaline β -keratinase produced by Bacillus subtilis RM-01 in solid-state fermentation using chicken-feather as substrate. Biochemical Engineering Journal 45(3): 218–225.
- Rakennusteollisuus.fi, Rakennustuotteiden paloluokitus EN 13501-1 mukaan. [viitattu 10.10.2022] <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/standardisointi/10-tiia-ryynanen-2016.pdf>
- Rakennustuoteasetus – Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 305/2011 rakennustuotteiden kaupan pitämistä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta ja neuvoston direktiivin 89/106/ETY kumoamisesta. [viitattu 9.2.2022] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32011R0305>
- Rakennustuotteet. 2022. Ympäristöministeriö. Rakentaminen ja maankäyttö. [viitattu 9.2.2022] <https://ym.fi/rakennustuotteet>
- Rangappa, S.M., Parameswaranpillai, J., Siengchin, S., Jawaid, M. & Ozbakkaloglu, T. 2022 Bioepoxy based hybrid composites from nano fillers of chicken feather and lignocellulose Ceiba Pentandra. Scientific Reports 12, 397.
- Rolland, M., Hjermslev, N.H., Orlien, V., Rasmussen, M.A. & Rasmussen, H.T. 2018. Effect of meal mixes properties on extrusion process and pellet quality of aquafeed formulated with three different fish meals or feather meal levels. Journal of Aquaculture and Fisheries Management 1(1): 5–15.

- Ruokavirasto. Eläinala. Eläimistä saatavat sivutuotteet. Sivutuoteasetuksen (EY) N:o 1069/2009 mukaisesti hyväksytyjen tai rekisteröityjen laitosten luettelo. [viitattu 9.2.2022] <https://www.ruokavirasto.fi/yrietykset/elainala/elaimista-saatavat-sivutuotteet/sivutuotelaitosten-hyvaksynta-ja-rekisterointi/hyvaksytyjen-ja-rekisteroityjen-laitosten-luettelo/>
- Ruokavirasto. Eläinala. Eläimistä saatavat sivutuotteet. Sivutuotelaitosten hyväksyntä ja rekisteröinti. [viitattu 9.2.2022] <https://www.ruokavirasto.fi/yrietykset/elainala/elaimista-saatavat-sivutuotteet/sivutuotelaitosten-hyvaksynta-ja-rekisterointi/>
- Ruokavirasto. Eläinala. Eläimistä saatavat sivutuotteet. Sivutuotteiden käyttö ja hävitys. [viitattu 9.2.2022] <https://www.ruokavirasto.fi/yrietykset/elainala/elaimista-saatavat-sivutuotteet/sivutuotteiden-kaytto-ja-havitys/>
- Ryynänen, T., Kallonen, R. & Ahonen, E. 2001. Palosuojaatut tekstiilit – ominaisuudet ja käyttö. VTT tiedotteita 2116. 101 s. [viitattu 19.10.2022] <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2001/T2116.pdf>.
- Šafarič, R., Zemljič, L.F., Novak, M., Dugonik, B., Bratina, B., Gubelj, N., Bolka, S. & Strnad, S. 2020. Preparation and characterisation of waste poultry feathers composite fireboards. *Materials* 13, 4964.
- Sahin, U.K. 2018. Chemical treatment of chicken feather prior to use as filling material. *TEKSTİL ve KONFEKSİYON* 28(3): 207–212.
- Salmenperä, H. 2017. Poistotekstiileihin kytkeytyvät juridiset ja hallinnolliset tulkinnot sekä menettelyt. SYKE 2017. [viitattu 7.10.2022]. https://storage.googleapis.com/turku-amk/2018/02/termit-ja-lainsaadanto_syke.hannasalmenpera.2017.pdf
- Sandesh Kiran. S. & Rajaprakash, B.M. 2019, Flammability Characterization of Feather Fiber based Hybrid Composites. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* 08, 11.
- Saravanan, S., Sameera, D.K., Moorthi, A., & Selvamurugan, N. 2013. Chitosan scaffolds containing chicken feather keratin nanoparticles for bone tissue engineering. *International Journal of Biological Macromolecules* 62: 481–486.
- Sarma, A. 2022. Biological importance and pharmaceutical significance of keratin: A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 219: 395–413.
- Schmidt, W. F. & Jayasundera, S. 2004. Microcrystalline Avian Keratin Protein Fibers. In: Wallenberger, F.T., Weston, N.E. (eds). *Natural Fibers, Plastics and Composites*. Springer, Boston, MA.
- Sharma, S., Gupta, A., Saufi, S.M., Kee, C.Y.G., Podder, P.K., Subramaniam, M. & Thuraisingam, J. 2017. Study of different treatment methods on chicken feather biomass. *IJUM Engineering Journal* 18(2): 47–55.
- Sinkiewicz, I., Sliwiska, A., Staroszczyk, H. & Kolodziejska, I. 2017. Alternative methods of preparation of soluble keratin from chicken feathers. *Waste and Biomass Valorization* 8: 1043–1048.

- Sivutuoteasetus - Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009 muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveys säännöistä. [viitattu 9.2.2022] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R1069-20191214&from=FI>
- Sivutuotelaki - Laki eläimistä saatavista sivutuotteista 517/2015. [viitattu 9.2.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2015/20150517>
- Soekoco, A.S., Ochwan, M.I., Hananto, A. & Mustafa, D. 2018. Application of chicken feather waste as a material of nonwoven insulator. AIP Conference Proceedings 2014, 020104.
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. [viitattu 25.10.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>
- Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2022. Ympäristöministeriö. [viitattu 19.10.2022] <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>.
- Suomen Tekstiili & Muoti ry, Tekstiilikuituopas. [viitattu 13.10.2022] <https://www.stjm.fi/palvelut-ja-tietoa-yrityksille/tekstiilikuituopas/?cats=166>
- Taghiyari, H.R., Majidi, R., Wsmailpour, A., Samado, Y.S., Jahangiri, A. & Papadoupoulos, A.N. 2020. Engineering Composites Made from Wood and Chicken Feather Bonded with UF Resin Fortified with Wollastonite: A Novel Approach. Polymers 12, 857.
- Telaketju 2020. Poistotekstiilin valtakunnallinen keräys. https://telaketju.turkuamk.fi/uploads/-/2020/08/5d8cc5d4-poistotekstiilin-valtakunnallinen-kerays_lsjh.pdf
- Tesfaye, T., Sithole, B. & Ramjugernah, D. 2018. Valorisation of waste chicken feathers: Green oil sorbent. International Journal of Chemical Sciences 16(3): 282.
- Tesfaye, T., Sithole, B. & Ramjugernath, D. 2018. Valorisation of waste chicken feathers: optimisation of decontamination and pre-treatment with bleaching agents using response surface methodology. Sustainable Chemistry and Pharmacy 8: 21–37.
- Tesfaye, T., Sithole, B., Ramjugernath, D. & Ndlela, L. 2018. Optimisation of surfactant decontamination and pre-treatment of waste chicken feathers by using response surface methodology. Waste Management 72: 371–388.
- Teurastuksen sivutuotteet. Lihätiedotus. [viitattu 10.2.2022] <https://www.lihatiedotus.fi/tilalta-kauppaan/teurastus/teurastuksen-sivutuotteet.html>
- Tirri, R., Lehtonen, J., Lemmetyinen, R, Pihakaski, S. & Portin P. 2001. Biologian sanakirja. Uudistetun laitoksen 2. painos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu 2003.
- Täytöntöönpanoasetus – Komission asetus (EU) N:o 142/2011 muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveys säännöistä [viitattu 9.2.2022] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1600681759085&uri=CELEX:32011R0142>

- Valtioneuvoston asetus valtionavustuksesta eläimen omistajalle nautojen, lampaiden, vuohien, sikojen ja siipikarjan raatojen keräilystä ja hävittämisestä aiheutuviin kustannuksiin 998/2017. [viitattu 9.2.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170998>
- Valtioneuvoston asetus jätteistä 978/2021. [viitattu 7.10.2022] <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210978>
- Wang, X., Lu, C. & Chen, C. 2014, Effect of chicken-feather protein-based flame retardant on flame retarding performance of cotton fabric. *Journal of Applied Polymer Science* 131, 40584
- Wang, B., Yang, W, McKittrick, J. & Meyers, M.A. 2016. Keratin: Structure, mechanical properties, occurrence in biological organisms, and efforts at bioinspiration. *Progress in Materials Science* 76: 229–318.
- Wrześniewska-Tosik, K., Mik, T., Wesołowska, E., Montes, S., Kowalewski, T. & Kudra, M. 2020. Composite Nonwovens with Natural Additives. *123 FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 28 1(139): 123–129.
- Wrześniewska-Tosik, K., Zajchowski, S., Bryśkiewicz, A. & Ryszkowska, J. 2014. Feathers as a Flame-Retardant in Elastic Polyurethane Foam. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 22, 1(103): 119-128.
- Wunsch, N. Share of vegans worldwide in 2021, by select country. [viitattu 23.12.2022] <https://www.statista.com/statistics/1280066/global-country-ranking-vegan-share/>
- Yang, I., Park, D.H., Choi, W.-S., Ahn, D.U., Oh, S.C. & Han, G.-S. 2018. Adhesive and curing properties of chicken feather/blood-based adhesives for the fabrication of medium density fiberboards. *The Journal of Adhesion* 94(14): 1137–1154.
- YLE 2021a. HK-Scanin miljoonainvestointi valmistui Raumalla – teurastusmääriin huomattava kasvu. 2021. [viitattu 27.9.2022] <https://yle.fi/uutiset/3-11862516>.
- YLE 2021b. Atrian jätti-investointi rakentuu kolmen vuoden aikana Nurmoon. <https://yle.fi/uutiset/3-11906266>. [Viitattu 27.9.2022]
- YLE 2022. Atria suunnittelee Sahalahden tehtaan sulkemista – neuvottelut koskevat 130 henkilöä. <https://yle.fi/uutiset/3-12630067>. [Viitattu 27.9.2022]
- YM 2011. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 3/11. Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2011. E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. [viitattu 10.10.2022] https://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf
- YM 2013. Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä 555/2013. [viitattu 25.10.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130555>
- YM 2017a. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017. [viitattu 25.10.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>
- YM 2017b. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. [viitattu 25.19.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>

- YM 2017c. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. [viitattu 25.10.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>
- YM 2017d. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. [viitattu 25.10.2022] <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>
- Yu, Z., Zhang, B., Yu, F., Xu, G., & Song, A. 2012. A real explosion: The requirement of steam explosion pretreatment. *Bioresource Technology* 121: 335–341.
- Zhang, J., Li, Y., Li, J., Zhao, Z., Liu, X., Li, Z., Han, Y., Hu, J. & Chen, A. 2013. Isolation and characterization of biofunctional keratin particles extracted from wool wastes. *Powder Technology* 246: 356–362.
- Zhang, Y., Yang, R., & Zhao, W. 2014. Improving digestibility of feather meal by steam flash explosion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62(13): 2745–2751
- Zhao, W., Yang, R., Zhang, Y., & Wu, L. 2012. Sustainable and practical utilization of feather keratin by an innovative physicochemical pretreatment: high density steam flash-explosion. *Green Chemistry* 14(12): 3352–3360.
- Zhou, L., Yang, G., Yang, X, Cao, Z. & Zhou, M. 2014. Preparation of regenerated keratin sponge from waste feathers by a simple method and its potential use for oil adsorption. *Environmental Science and Pollution Research* 21: 5730–5736.



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi

