



KOIVUN KUORI

Ainesosat, ominaisuudet ja hyödyntäminen –
suberiini raaka-aineena ja suberiinipohjaiset tuotteet markkinoilla

Marja-Liisa Järvelä ja Mari Mäki-Kahma-Lahti

Luonnontuotealan täydennyskoulutus 2022–2024

Luonnontuotteiden ainesosat, ominaisuudet ja hyödyntäminen

Kehittämistehtävä

15.11.2023

SISÄLLYS

1. Johdanto	3
2. Koivun kuori raaka-aineena.....	3
2.1. Vaikuttavat bioarvoyhdisteet	4
2.1.1. Bioarvoyhdisteiden pitoisuudet.....	5
2.1.2. Suberiini	8
2.2. Suberiinin hyödyntäminen tuotteissa.....	10
2.2.1. Puuteollisuuden sivuvirran hyödyntäminen kaskadikäytön periaatteella	11
2.2.2. Teollinen talteenotto ja potentiaaliset raaka-ainemäärät	12
2.2.3. Kuorintaprosessi.....	14
2.2.4. Kuoren varastointi	15
2.2.5. Ideasta tuotteeksi	16
3. Suberiinipohjaiset tuotteet markkinoilla	21
3.1. Kehittämistä ohjaava politiikka	21
3.2. Markkinoita ohjaavat trendit ja ilmiöt	21
3.3. Kaupallistamiseen vaikuttavat lait ja asetukset sekä tuotetiedot ja tuotteeseen liittyvät väittämät.....	23
3.4. Kilpailevat tuotteet.....	26
3.5. Keksinnön, tuoteidean ja osaamisen suojaaminen.....	27
4. Yhteenveto ja johtopäätökset	28
5. Lähteet	29

1. Johdanto

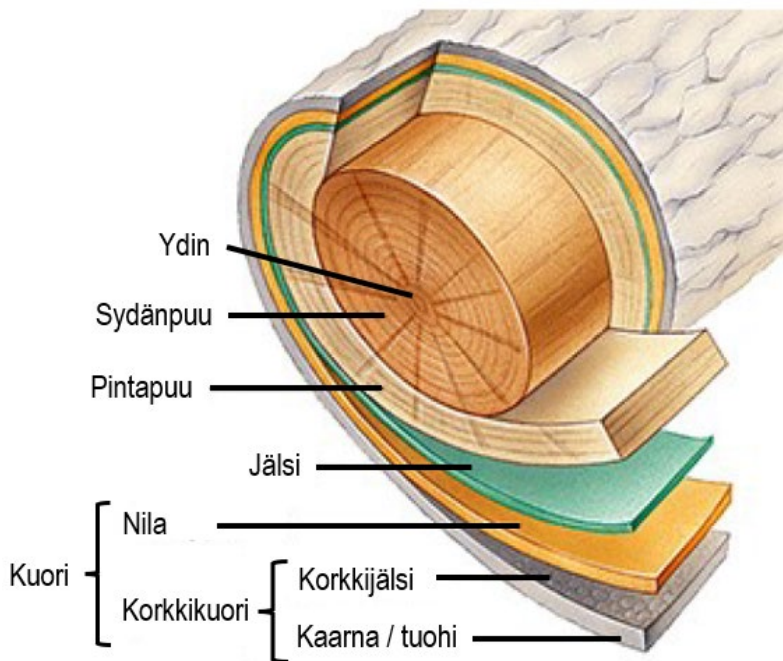
Metsäteollisuus on suhdanneherkkä ala, jolla kärsitään tällä hetkellä heikosta suhdanteesta ja puun korkeasta hinnasta. Metsäteollisuuden tuotteiden kysyntä kansainvälisillä markkinoilla on vähentynyt ja kilpailu tehtaiden välillä on kovaa. Alalla on käynnissä rakennemuutos ja monet yritykset ovat kehittämässä uusia tuotteita tai materiaaleja, joilla kannattava liiketoiminta voitaisiin turvata tulevaisuudessa. (MTV Uutiset, 2023; Viitanen et al., 2023.) Rakennemuutos, kasvava tietoisuus happamien kuorikasojen aiheuttamista ympäristöhaasteista sekä markkinoita ohjaavat trendit ja ilmiöt avaavat mahdollisuuksia puun kuoren komponenttien uudelleenlaiseen hyödyntämiseen nykyistä tehokkaammin.

Koivun kuori on yksi koivua käyttävien sellu- ja vaneritehtaiden sivuvirroista, jota voidaan hyödyntää muun tuotannon raaka-aineena. Koivun ulkokuoresta eli tuohesta saataville vaikuttaville bioarvoyhdisteille on lukuisia käyttökohteita muun muassa kemianteollisuudessa (vihreä kemia), lääke- ja rohdosteollisuudessa, kosmetiikka- ja hyvinvointialalla sekä elintarviketeollisuudessa. Tällä hetkellä pääosa sellu- ja vaneritehtailla syntyvästä koivunkuorimassasta poltetaan energiaksi, jolloin menetetään merkittävä jalostusarvopotentiaali (Korpinen, 2023).

Tässä kehittämistehtävässä käsitellään teollisesti talteenotettua koivun kuorta raaka-aineena ja siitä saatavien bioarvoyhdisteiden hyödyntämistä tuotteissa. Lisäksi luodaan katsaus koivun kuoreen pohjautuvien tuotteiden markkinoihin.

2. Koivun kuori raaka-aineena

Koivun kuoren muodostavat nila ja korkkikuori, joista jälkimmäinen koostuu korkkijällestä ja tuohesta (Kuvio 1.) (Wojtech, 2013). Koivun runkoa peittää valkoinen tuohi, mutta rungon tyvessä erottuu hieskoivulla (*Betula pubescens*) vaalea ja rauduskoivulla (*Betula pendula*) tumma tyvikaarna (Pro Puu ry, 2023a, Pro Puu ry, 2023b). Tuohi eli ulkokuori on koivun korkkikuoren kuollutta pintasolukkoa. Nila eli sisäkuori syntyy sen alla olevassa ohuessa jälsikerroksessa tapahtuvan solujakautumisen myötä; jälsi vastaa puun paksuuskasvusta tuottamalla uusia nilasoluja ulospäin ja uusia puusoluja sisäänpäin. (Pirinen, 2018.) Elävässä pintapuussa vesi ja ravinteet siirtyvät juurista latvukseen, kun taas sydänpuu on kuollutta puuainesta. Lähinnä tärkkelyksestä koostuva ydin varastoi ravinteita uutta vuosikasvainta ja oksistoa varten, mutta alempana rungossa ydinkin on kuollutta puuainesta. (Pro Puu ry, 2023c.)



Kuvio 1. Puun poikkileikkaus (suomennettu lähteestä Wojtech (2013) ja lisätty kuvioon ydin lähteen Pro Puu ry (2023c) mukaisesti).

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään koivun kuoren sisältämiä bioarvoyhdisteitä ja niiden hyödyntämistä tuotteissa erityisesti suberiinin näkökulmasta. Tuotekehitysprosessien tarkastelu pohjautuu teolliseen tuotantoon.

2.1. Vaikuttavat bioarvoyhdisteet

Koivun kuoren kemiallista koostumusta on tutkittu verrattain paljon. Ulkokuoren eli valkoisen tuohen (Kuva 1) ja sisäkuoren eli nilan (Kuva 2) kemialliset koostumukset eroavat toisistaan huomattavastikin (mm. Kumar et al., 2022). Esimerkiksi kosmetiikkatuotteissa sekä rohdos- ja lääkevalmisteissa käytettävien vaikuttavien bioarvoyhdisteiden pitoisuudet ovat korkeimmat koivun ulkokuoressa (Pirinen, 2018). Merkittävimmät siitä eristettävät yhdisteet ovat suberiini ja betuliini.



Kuvat 1–2. Vasemmalla koivun ulkuoorta ja oikealla koivun sisäkuorta. Kuvat ©Risto Korpinen (Korpinen, 2023, dia 8).

2.1.1. Bioarvoyhdisteiden pitoisuudet

Koivun kuoren sisältämän suberiinin ja betuliinin pitoisuuksille löytyy toisistaan jonkin verran poikkeavia tutkimustuloksia. Lukuja verrattaessa on tärkeää huomioida käytetty raaka-aine (ulkokuori, sisäkuori vai näiden sekoitus) ja esitystapa; onko luvut esitetty prosenttiosuutena kuivamassasta vai suhteutettuna uutevapaaseen kuoren kuivamassaan. Lisäksi koivulajin ja maantieteellisen sijainnin on osoitettu vaikuttavan ainakin betuliinipitoisuuteen (mm. Demets et. al., 2022). Ulkokuoren betuliinipitoisuuteen vaikuttaa myös se, minkä verran kuorimassassa on mukana tyvikaarnaa: Betuliini antaa koivun tuohelle sen valkoisen värin, joka suojaa puuta keskitalven auringonpaisteelta (mm. Tuli et. al., 2021). Mitä enemmän raaka-aine sisältää myös tummempaa tyvikaarnaa (Kuvat 3–4), sitä vähemmän siinä on valkoista väriä antavaa betuliinia.



Kuvat 3–4. Rauduskoivun tummaa tyvikaarnaa

Esimerkiksi Pinton et. al. (2009) mukaan rauduskoivun ulkokuori sisältää keskimäärin 45 % suberiinia, 40 % uuteaineita, 9 % ligniiniä, 4 % hemiselluloosaa ja 2 % selluloosaa kuivamassasta (kts. myös kuvio 2.). Kähkösen et. al. (1999 julkaisussa Kumar et. al., 2022) mukaan ulkokuoren uuteaineet koostuvat pääosin erilaisista triterpenoideista ja sisältävät vain vähän fenoleja, kun taas sisäkuoren fenolipitoisuus on korkea. Demetsin et. al. (2022) viittaamien julkaisujen (O’Connell et. al., 1988; Holonec et. al., 2012; Hu et. al., 2013; Šiman et. al., 2016) mukaan ulkokuoren betuliinipitoisuus on 20–30 % kuivamassasta tai koivulajista ja maantieteellisestä sijainnista riippuen jopa lähes 45 % kuivamassasta. Kwan et. al. (2022) kokosivat tutkimustuloksia rauduskoivun kuoren kemiallisesta koostumuksesta yhteensä kahdeksasta eri julkaisusta (Matthews et. al., 1997; Kratsutsky, 2006; Holmbom, 2011; Räisänen & Athanassiadis, 2013; Routa et. al. 2017; Raitanen et. al., 2020; Blondeau et. al., 2020; Kumaniaev et. al. 2020), joiden mukaan rauduskoivun kuori sisältää betuliinia vain 9,8 % kuivamassasta ja uuteaineitakin vain 25,6 % kuivamassasta. Ferreiran et. al. (2013) mukaan koivun ulko-

kuoren suberiinipitoisuus kuivamassassa vaihtelee yleensä 40–50 % välillä tai suhteutettuna uuteainevapaa- seen kuoren kuivamassaan 50–60 % välillä. Kumar et. al. (2022) raportoivat, että sellutehtaalta tulevassa sekä ulko- että sisäkuorta sisältävässä raaka-aineessa suberiinipitoisuus voi olla merkittävästi alhaisempi kuin pel- kästään ulkokuorta sisältävässä raaka-aineessa; vain 5,9 %.

Koska koivun kuoren sisältämän suberiinin ja betuliinin määrät voivat vaihdella paljonkin raaka-aineesta riip- puen, tuotantoprosessit tulee suunnitella käytettävän raaka-aineen mukaan. Koivun kuoresta noin 25–33 % on ulkokuorta ja noin 67–75 % sisäkuorta. Teollinen sivuvirtakuorimassa sisältää ulkokuoren lisäksi bioarvoyhdis- teiden näkökulmasta vähempiarvoista sisäkuorta, jonka lisäksi siinä on mukana jonkin verran puuainesta (Ku- vat 5–7). (Korpinen, 2023.) Koivun koneellinen korjuu voi myös vaikuttaa kuoren määrään tehtaalle tulevassa raakapuussa; konehakuun yhteydessä osa erityisesti ulkokuoresta voi irrota korjattavista rungoista (Kuvat 8– 9).

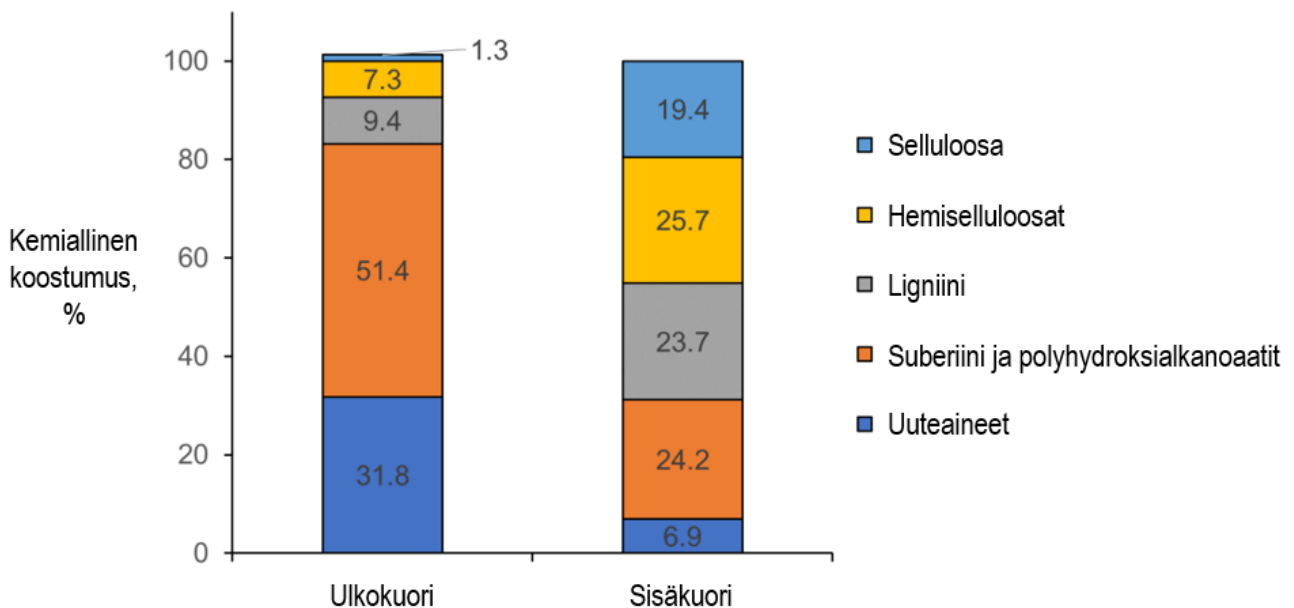


Kuvat 5–7. Vasemmalla teollista kuorimassaa ja oikealla käsin irrotettua ulkokuorta. Keskellä molemmista kuorimassoista jauhetut näytteet. Kuvat ©Risto Korpinen (Korpinen, 2023, dia 24).



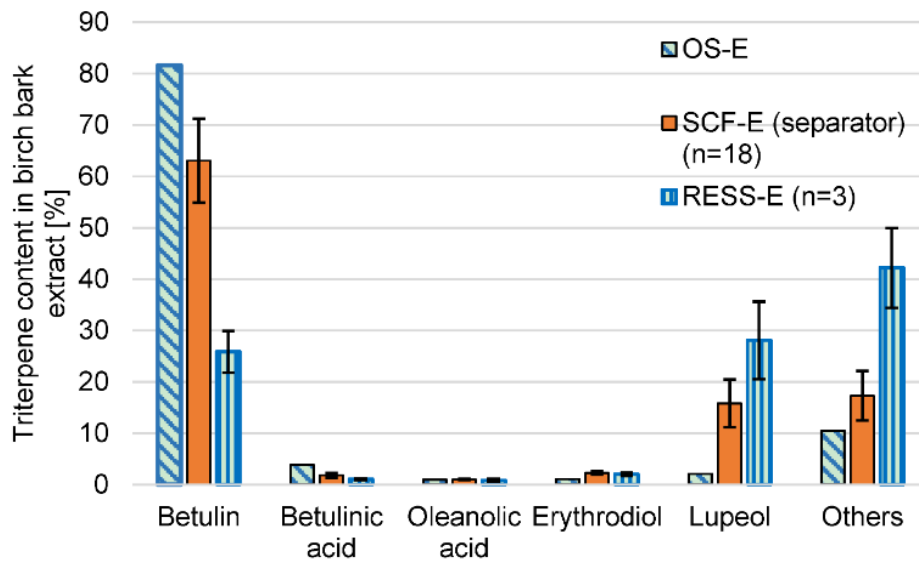
Kuvat 8–9. Koneellisesti korjattua koivua odottamassa kuljetusta. Osa kuoresta on irronnut korjuun yhtey- dessä.

Sellu- ja vaneritehtaiden kuorintaprosessit optimoidaan nimenomaan puunkäytön näkökulmasta, joten teolliseen kuorimassaan pohjautuvien tuotteiden tuotantoprosessi tulee suunnitella huomioimaan sivuvirtaraaka-aineen alhaisemmat bioarvoyhdistepitoisuudet: Koivun ulkokuori sisältää noin 27 prosenttiyksikköä enemmän suberiinia ja polyhydroksialkanoaatteja, ja noin 25 prosenttiyksikköä enemmän uuteaineita kuin sisäkuori (Kuvio 2). Tehokkaan bioarvoyhdistetuotannon näkökulmasta onkin tärkeää löytää tuotantoprosessiin sopivaa teknologiaa ulko- ja sisäkuoren erotteluun. (Korpinen, 2023.)



Kuvio 2. Koivun ulko- ja sisäkuoren kemiallinen koostumus (suomennettu lähteestä Korpinen, 2023, dia 10)

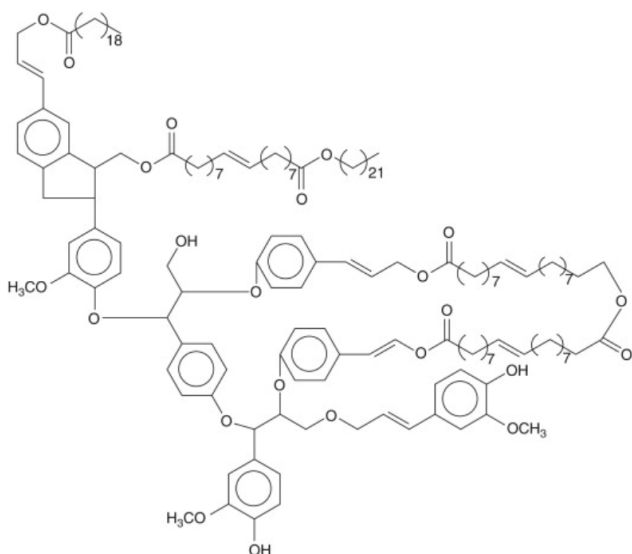
Koivun ulkokuoresta valmistetaan esimerkiksi koivunkuoriuutetta, jonka tuotannossa hyödynnettävät tärkeimmät koivulajit ovat raudus- ja hieskoivu. Koivunkuoriuute sisältää runsaasti triterpenoideja; tunnistettuja yhdisteitä ovat muun muassa betuliini, lupeoli, betuliinihappo, erytrodoli, ja oleanolihappo (Kuvio 3.). Euroopan lääkevirasto (EMA) on hyväksynyt kahden koivunkuoriuutepohjaisen lääkevalmisteen käytön. (DrugBank, 2022.)



Kuvio 3. Eri uuttomenetelmillä valmistetun koivunkuoriuutteen triterpeenikoostumus (keskiarvo \pm keskihajonta): OS-E = Organic Solvent Extract (verrokki); SCF-E (separator) = SuperCritical Fluid Extract (by phase separation); RESS-E = Rapid Expansion of Supercritical Solutions Extract (Armbruster et. al. 2017, Kuvio 3.)

2.1.2. Suberiini

Suberiini on rasvaliukoinen, rakenteeltaan monimutkainen biopolyesteri. Sen depolymeroituneista monomeereista on verrattain paljon tutkimustietoa, mutta niiden tarkkaa järjestystä makrorakenteessa ei täysin tunneta. Rakenne myös vaihtelee eri kasvilajeilla. (Gandini et. al., 2006 julkaisussa Laine, 2020.) Kirjallisuudessa suberiinille on esitetty useita vaihtoehtoisia kemiallisia rakennekaavoja (Kuvio 4).



Kuvio 4. Gandinin & Belgacemin (2013) esittämä kemiallinen rakennekaava suberiinille

Suberiinin hydrofobinen polymakromolekyylisuoja suojaa kasvia ympäristön aiheuttamalta stressiltä. Se esimerkiksi estää veden liiallista haihtumista kasvista, toimii eristeenä äärimmäisissä sääolosuhteissa ja sääolosuhteiden vaihteluissa sekä suojaa kasvia ulkoisia taudinaiheuttajia vastaan. Sillä on myös merkittävä rooli mekaanisten vaurioiden paranemisprosessissa. (mm. Harman-Ware et. al., 2021.)

Aiemmassa kirjallisuudessa suberiinin rakenteesta on kahdenlaista näkemystä. Osassa tutkimuksista suberiini rajataan alifaattiseen osaan, jossa on mukana joitakin aromaattisia yhdisteitä. Useissa tutkimuksissa suberiinin kuitenkin nähdään sisältävän sekä alifaattinen että aromaattinen osa. (Järvinen, 2010 julkaisussa Lepistö, 2021.) Alifaattinen osa rakentuu polyfunktionaalisista pitkäketjuisista rasvahapoista, rasva-alkoholeista ja glyserolista, jotka sitoutuvat kovalenttisesti suberiinin runsaasti fenolihydrideiksi sisältävään aromaattiseen osaan. (Harman-Ware et. al., 2021.) Alifaattisen osan pitkäketjuiset rasvahapot, ”suberiinirasvahapot”, ovat tärkein osa suberiinipohjaisia tuotteita. Ekmanin (1983) paljon viitatussa tutkimuksessa määritettiin suberiinirasvahappojen määrät ja prosentuaaliset osuudet kuivatussa rauduskoivun kuorella: Yhteensä 20 ulkokuorinäytettä sisälsi suberiinirasvahappoja keskimäärin 322 g/kg kuivattua rauduskoivun kuorta (Taulukko 1). Pääasiallinen suberiinimonomeeri oli 9,10-epoksi-18-hydroksioktadekaanihappo (112 g/kg kuivaa kuorta ja 36 % suberiinimonomeereistä). Muiden suberiinimonomeerien osalta hydroksimonomeeriset hapot muodostivat pääryhmän. Tässä tutkimuksessa suomalaisen sellutehtaan teollisen ulkokuoren suberiinimonomeerien määrä ja koostumus oli samanlainen kuin teollisesti käsittelemättömän ulkokuoren, mutta vertailussa on tärkeää huomioida, että sekä hakkuu- että tehdaskäsittelyprosessit ja -teknologiat ovat kehittyneet merkittävästi viimeisten 40 vuoden aikana. Teollisen koivunkuorimassan osalta onkin tarpeen käyttää tuorempien tutkimusten tuloksia.

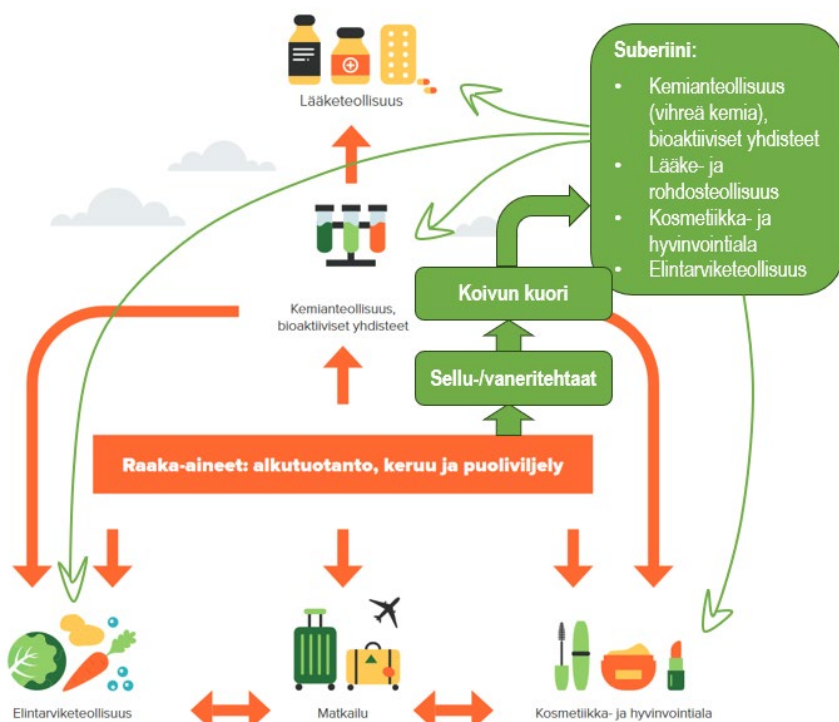
Taulukko 1. Rauduskoivun ulkokuoren sisältämien suberiinirasvahappojen määrä ja prosentuaalinen osuus kuivatuissa kuorinäytteissä alkalihydrolyysin jälkeen (Ekman 1983, s. 210 julkaisussa Lepistö, 2021, s. 16)

Yhdiste	Käsittämätön ulkokuori (kuivattu)		Teollinen ulkokuori (kuivattu)*	
	Määrä (g/kg)	Osuus (%)	Määrä (g/kg)	Osuus (%)
9,10-epoksi-18-hydroksioktadekaanihappo	112,3	36,0	124,0	37,9
22-hydroksidokosaanihappo	46,3	14,4	48,0	14,7
18-hydroksioktadek-9-eenihappo	36,1	11,3	35,2	10,8
9,10,18-trihydroksioktadekaanihappo	30,3	9,4	25,6	7,8
dokosaani-1,22-diolihappo	18,2	5,7	21,2	6,5
9,16- ja 10,16-dihydroksiheksadekaanihappo	12,0	3,7	12,2	3,7
20-hydroksieikosanoiinihappo	10,1	3,1	10,3	3,1
Oktadek-9-eeni-1,18-diolihappo	9,9	3,1	8,3	2,5
Oktadekaani-1,18-diolihappo	2,8	0,9	3,1	0,9
Muut	43,8	12,4	39,5	12,1
Yhteensä	321,8	100,0	327,4	100,0

*Hakkuu- ja tehdaskäsittelyprosessit sekä -teknologiat ovat kehittyneet merkittävästi viimeisten 40 vuoden aikana, joten teollisen koivunkuorimassan osalta on tarpeen käyttää tuorempien tutkimusten tuloksia.

2.2. Suberiinin hyödyntäminen tuotteissa

Suberiini on monipuolinen raaka-aine, jolla on tutkimuksissa todettu olevan lukuisia potentiaalisia käyttökohteita eri teollisuudenaloilla, kuten kemianteollisuudessa (vihreä kemia), lääke- ja rohdosteollisuudessa, kosmetiikka- ja hyvinvointituoteteollisuudessa sekä elintarviketeollisuudessa (Kuvio 5). Suberiinirasvahappoja käytetään tai niiden käyttöä tutkitaan esimerkiksi seuraavasti: ruoan säilöntäaineena, antioksidanttien reagensseina, lisäaineena lääketeollisuudessa, ihoa pehmentävänä komponenttina kosmetiikassa, tekstiilivärinä, kyllästeenä rakennuspuissa (esim. terassilaudat), muovin korvaajana, dispergointiaineena maaleissa, sementeissä, savituotteissa ja öljynporausnesteissä, sidosaineena pelleteissä, asfaltin emulgeenina, lisäaineena lyijyakuissa, flokkulanttina vedenpuhdistuksessa sekä absorbenttina myrkyllisille orgaanisille torjunta-aineille. Elintarvikekäytön näkökulmasta raudus- ja hieskoivun kuori ei ole uuselintarvike ravintolisissä, mutta muu elintarvikekäyttö vaatisi uuselintarvikelain mukaisen uuselintarvikeluvan hankkimista (Euroopan komissio, ei julkaisuajankohtaa). Suberiinituotteita ei ole hyväksytty biosidikäyttöön (KemiDigi, 2023), mikä asettaisi rajoituksia sen käyttöön muihin tarkoituksiin (Pirinen, 2023).

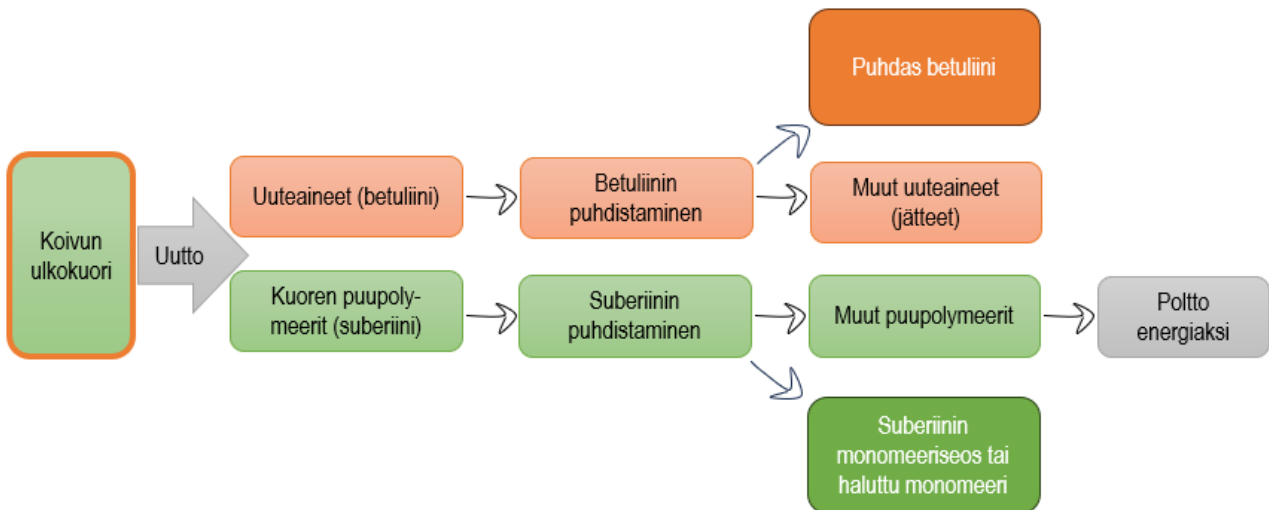


Kuvio 5. Suberiinin käyttökohteita (pohjakuva lähteestä Arktinen älykäs metsäverkosto -hanke, 2020)

Tässä kehittämistehtävässä tarkastellaan jauhemaiseen muotoon eristetyyn suberiinin valmistusta (jauhe, väri valkoisesta kermanvalkoiseen). Kyseessä on välituote, jota eri teollisuudenalojen toimijat voivat hyödyntää omissa lopputuotteissaan.

2.2.1. Puuteollisuuden sivuvirran hyödyntäminen kaskadikäytön periaatteella

Suberiinin tuotanto voidaan perustaa kaskadikäytön periaatteiden mukaisesti puuteollisuuden sivuvirran hyödyntämiseen (Kuvio 6). Tällöin sen saatavuus on riippuvainen sellu- ja vaneriteollisuuden tuotteiden menekistä maailmanmarkkinoilla, mutta potentiaaliset raaka-aine- ja tuotantomäärät ovat merkittävästi isommat kuin käsi-työhön perustuvassa tuotannossa.



Kuvio 6. Periaatteellinen prosessikuvaus koivun kuoren kokonaisvaltaisesta hyödyntämisestä (Laine, 2020, s. 20)

Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan teollisen koivunkuorimassan matkaa suberiinipohjaiseksi välituotteeksi. Prosesseissa huomioidaan myös betuliinin tuotanto, jotta mahdollistetaan koivun kuoren sisältämien bioarvoyhdisteiden kokonaisvaltainen talteenotto ja sitä kautta koko jalostusarvopotentialin hyödyntäminen ennen jäännösmassan polttoa energiaksi. Suunnitellut tuotantoprosessit sisältävät vaihtoehtoisia tuotantomenetelmiä.

2.2.2. Teollinen talteenotto ja potentiaaliset raaka-ainemäärät

Teollisessa mittakaavassa koivun ulkokuori otetaan talteen olemassa olevasta sellu- tai vaneritehtaasta, joka käyttää koivua raaka-aineena (mm. Laine, 2020; Lepistö, 2021). Tuotannon sivuvirtana syntyvä koivun ulkokuori ja siitä saatavat vaikuttavat bioarvoyhdisteet voidaan käyttää muun tuotannon raaka-aineena. Esimerkiksi vuonna 2021 metsäteollisuus käytti lehtipuuta noin 14,8 Mm³, josta massateollisuuden osuus oli noin 13,6 Mm³ (Taulukko 2). Lehtipuun osuus koostui lähinnä koivusta. (Vaahtera, 2023.)

Taulukko 2. Metsäteollisuuden puun käyttö toimialoittain vuonna 2021 (Vaahtera, 2023, s. 137)

Toimiala	Raakapuu								Tuonti- hake	Kaikki- aan	Sahahake ja puru
	Tukkipuu				Kuitupu						
	Mänty	Kuusi	Lehtipuu	Yhteensä	Mänty	Kuusi	Lehtipuu	Yhteensä			
	1 000 m ³										
Metsäteollisuus	11 613	14 472	1 239	27 323	17 893	10 638	13 611	42 143	2 690	72 156	9 773
Puutuoteteollisuus	11 574	14 427	1 231	27 232	2 064	1 085	4	3 154	-	30 385	1 068
Sahateollisuus	11 315	12 579	147	24 042	2 048	1 084	4	3 136	-	27 178	-
Suuret ja keskisuuret sahat	11 087	12 340	104	23 531	1 992	1 043	4	3 039	-	26 570	-
Piensahat	228	239	43	511	56	41	0	97	-	608	-
Vaneriteollisuus	0	1 819	1 084	2 903	-	-	-	-	-	2 903	-
Muu	259	29	-	287	17	1	-	17	-	305	1 068
Massateollisuus	39	45	8	92	15 829	9 553	13 607	38 989	2 690	41 771	8 705
Mekaaninen	-	23	-	23	-	4 526	1 315	5 841	29	5 893	917
Puolikemiallinen	-	-	-	-	-	-	1 188	1 188	-	1 188	184
Sellu	39	22	8	68	15 829	5 027	11 104	31 960	2 662	34 690	7 604

Sahateollisuuden käyttämät pikkutukit tilastoidaan kuitupuuna.

Muu: lastu- ja kuitulevyteollisuus, pylväiden, hirsirakennusten ja puupellettien tuotanto.

Lähteet: SVT: Luonnonvarakeskus; Metsäteollisuus ry

Sellutehtaalle saapuva puu kuoritaan ennen haketusta. Kuorinnassa puusta irrotetaan sellun valmistuksen kannalta haitallinen kuori, joka sisältää pääosan bioarvoyhdisteistä. Rakenteeltaan kuori on erittäin heterogeenistä verrattuna varsinaiseen puuainekseen; myös saman puulajin kuoren rakenne vaihtelee suuresti. Eniten kuoren rakenteeseen vaikuttavat puun ikä ja kasvupaikka, mutta rakenne ja kemiallinen koostumus voivat vaihdella myös rungon eri korkeuksilla. (Kalaoja, 2013.)

Kuoren määrään vaikuttavat puulaji, ikä, koko, rungon muodot, latvuksen laatu, puun sijoittuminen metsikössä, kasvupaikka sekä maantieteellinen sijainti. Hyväkasvuisen ja terveen puuyksilön kuori voi olla hyvinkin ohut kerros puun pinnalla, kun taas kitukasvuisella tai biologisia vaurioita kärsineellä puulla kuoren paksuus voi olla moninkertainen. (Kalaoja, 2013.) Puun kuoripitoisuus voi vaihdella myös maan kasvuvyöhykkeiden välillä; Pohjois-Suomessa kasvavissa koivuissa on enemmän kuorta kuin muualla Suomessa (Taulukko 3) (Koskinen, 1999 julkaisussa Partanen, 2017, s. 9).

Taulukko 3. Koivun kuoripitoisuudet tilavuusprosentteina Suomessa (Koskinen, 1999 julkaisussa Partanen, 2017, s. 9)

Alue	Kuoren osuus
Etelä-Suomi	13,6 %
Länsi-Suomi	12,6 %
Kainuu	16,7 %
Lappi	16,8 %
Koko Suomi	14,1 %

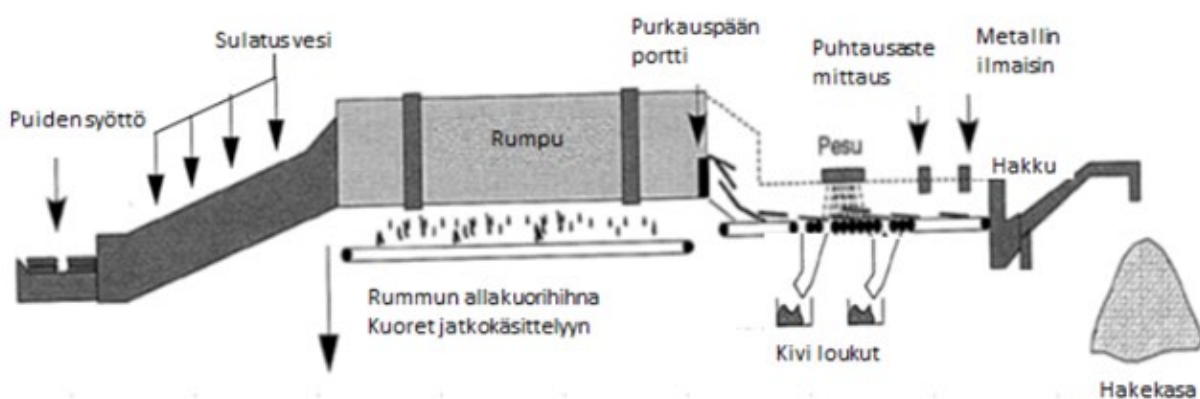
Teollisen kuorinnan ja kuoren poiston tehokkuutta kuvataan kuorinnan asteella. Kuorinta-aste valitaan tehdas-kohtaisesti huomioiden prosessin toimivuus, kuorinnan puuhäviöt sekä lopputuote. Optimikuorinta-asteen määrityksessä ei lähtökohtaisesti tavoitella puiden 100-prosenttista kuorintaa, koska korkea kuorinta-aste lisää kustannuksia. Kuorinta-asteen on kuitenkin oltava verrattain korkea, sillä koivun kuori aiheuttaa sellun valmistuksen jatkoprosessissa merkittäviä ongelmia. (Partanen, 2017)

Koska sekä kuoren määrä raaka-aineena olevissa koivuissa että tehtaan kuorinta-aste vaihtelevat, on koivun kuoren saantoa suhteessa metsäteollisuuden vuosittaiseen puunkäyttöön haastavaa arvioida tarkasti. Lisäksi puiden vastaanoton aikana siirto- ja nostovaiheissa kuorta irtoaa puun pinnalta. Keskimäärin voidaan kuitenkin todeta, että koivukuitupuulla kuoripitoisuuden vaihteluväli on noin Etelä-Suomen 13 prosentista Pohjois-Suomen 16 prosenttiin puun tilavuudesta. (Partanen 2017; Hautakangas, 2021.)

2.2.3. Kuorintaprosessi

Käytetyin menetelmä kuoren poistoon on rumpukuorinta, joka voidaan tehdä märkäkuorintana, kuivakuorintana tai näiden yhdistelmänä. Märkäkuorinnassa rumpuun syötetään vettä kuorinnan tehostamiseksi, joka lisää jätevesipäästöjä. Tämän takia nykyään käytetään enemmän kuivakuorintamenetelmää. (Koskinen, 2008 julkaisussa Hautakangas, 2021.)

Rumpukuorinnassa puiden pintaan kohdistuu mekaanista rasitusta, joka aiheuttaa kuoren irtoamisen (Kuvio 7). Irronnut kuori poistetaan joko rummun kehällä olevien aukkojen kautta alla olevalle hihnakuuljettimelle tai rummun ulostulopäästä puiden mukana. Prosessissa syntynyt kuorijäte käsitellään kuorenkäsittelylinjastolla. (Partanen 2017; Hautakangas, 2021.)



Kuvio 7. Havainnekuva sellutehtaan kuorintalinjasta (Kalaoja, 2013, s. 27)

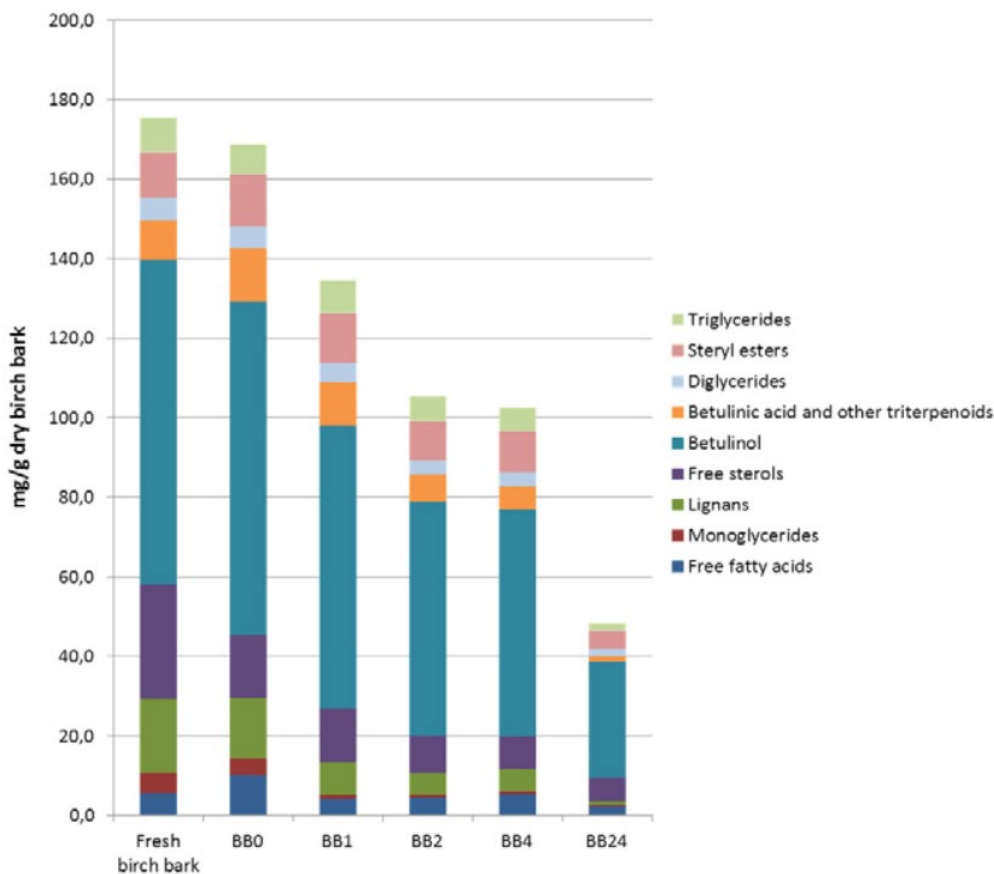
Kuorenkäsittelylinjasolla kuoriaines voidaan ohjata repijöiden tai kuorimurskaimen kautta kuoripuristimelle, jonka avulla kuiva-ainepitoisuudeksi saadaan 40–50 prosenttia. Sellukuorimolla koivu kuoritaan kuivakuorintana, jonka jälkeen kuiva-ainepitoisuus on jo valmiiksi 40–50 prosenttia. Kuorintalinjan kiertoveteen päätynyt

kuoriaines erotetaan siitä saoskuljettimella. Puiden mukana prosessiin päätyvä hiekka ja hieno kuoriliete poistetaan kiertovedestä kiertovesialtaan puhdistuskuljettimella, joka kuljettaa hiekan ja hienon kuoriaineksen jäte-
lavalle. (Partanen 2017; Hautakangas, 2021.)

2.2.4. Kuoren varastointi

Kun koivun kuorta varastoidaan käytettäväksi bioarvoyhdisteiden raaka-aineena, säilytysaikaa ei kannata kasvattaa liian pitkäksi. Lappi, Nurmen & Läspän (2014) tutkimuksessa seurattiin koivun kuorinnan jälkeen varastoidun kuoriaineksen muutoksia varastointiajan kasvaessa. Koivun kuorinäytteitä otettiin 24 viikon ajan ja niistä määritettiin tärkeimpiä uuteainepitoisuuksia. Muun muassa betuliinin määrä näytteissä laski huomattavasti.

Tulokset kuoren varastoinnin vaikutuksista uuteaineisiin on esitetty kuviossa 8.

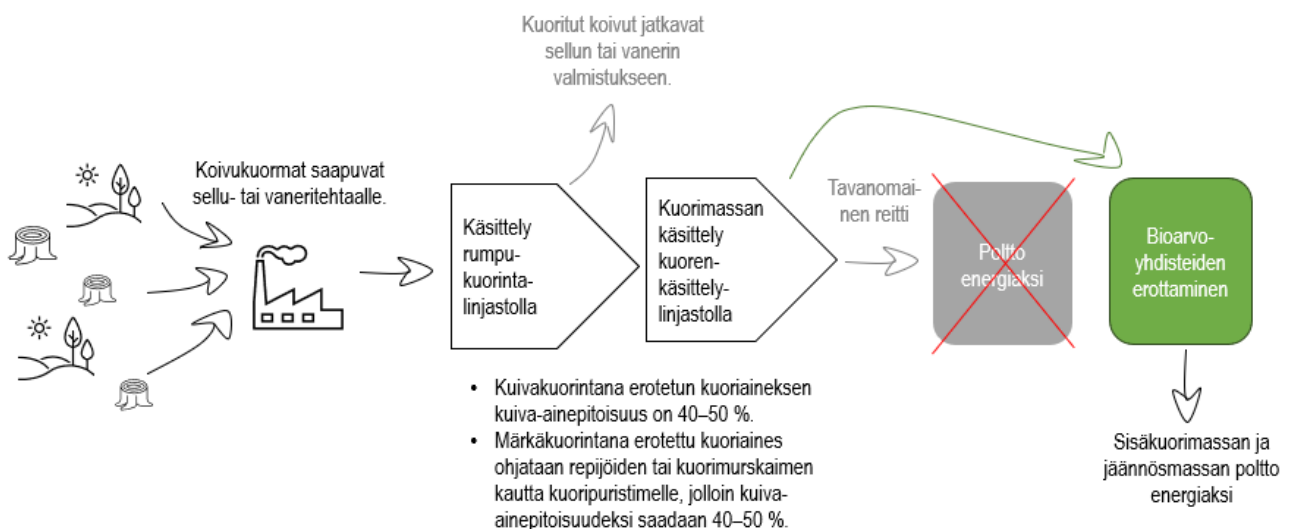


Kuvio 8. Koivun kuoren uuteainepitoisuudet varastointiajan kasvaessa (Lappi, Nummi & Läspä, 2014): Fresh birch bark = tuore koivun kuori, BB0 = ennen varastointia, BB1 = 1 vkon varastoinnin jälkeen, BB2 = 2 vkon varastoinnin jälkeen, BB4 = 4 vkon varastoinnin jälkeen, BB24 = 24 viikon varastoinnin jälkeen

Varastointiajan vaikutuksesta koivun kuoren suberiinipitoisuuksiin ei toistaiseksi löydy tutkimustietoa. Pitkäketjuiset alifaattiset rasva-alkoholit ja tyydyttyneet rasvahapot ovat kuitenkin rakenteeltaan stabiileja, joten voidaan olettaa, että pitkäkään varastointiaika ei vaikuta merkittävästi suberiinipitoisuuksiin. Alifaattiset rasva-alkoholit ja tyydyttyneet rasvahapot esimerkiksi selviävät reagoimatta teollisen sellun ECF-valkaisusta, jossa valkaisukemikaalina käytetään klooridioksidia (ClO₂). (Heinonen, 2020.)

2.2.5. Ideasta tuotteeksi

Jauhemuotoisen suberiiniväli tuotteen tuotanto teollisesta koivunkuorimassasta edellyttää saumatonta yhteistyötä sellu- ja/tai vaneritehtaiden kanssa, jotka edelleen tekevät yhteistyötä metsäalan toimijoiden kanssa (Kuvio 9). Koivunkuorimassan omistuksesta ja siihen liittyvistä vastuista (esimerkiksi jäännösmassaan liittyvät toimenpiteet ja kustannukset) tehdaskäsittelyn jälkeen sovitaan tehtaan ja kuorimassan käsittelijän välillä.



Kuvio 9. Periaatteellinen prosessikuvaus koivunkuorimassan ja siitä erotettavien bioarvo-yhdisteiden tuotannosta sellu- tai vaneritehtaalla sivuvirtana

Ensimmäisessä vaiheessa koivunkuorimassasta erotetaan kaskadikäytön periaatteiden mukaisesti sekä puu-polymeerit (suberiini) että uuteaineet (betuliini) (kts. myös kuvio 6). Kuorimassan bioarvo-yhdisteiden erotusmenetelmiä on useita, mutta niissä kaikissa on huomioitu seuraavat esikäsittelyvaiheet:

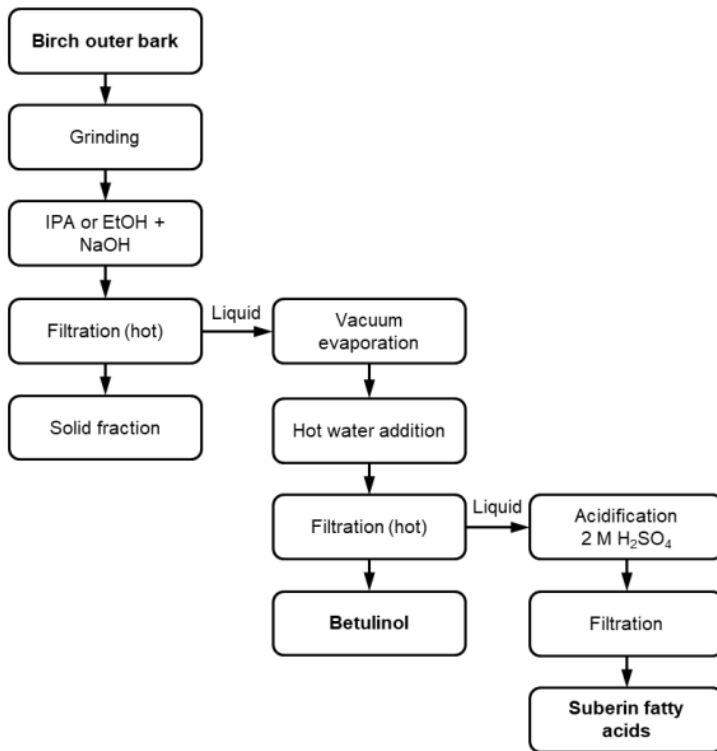
1. **Koivunkuorimassan kuivaaminen:** Sellu- tai vaneritehtaalta tulevan ulko- ja sisäkuorta sekä jonkin verran myös puuainesta sisältävän koivunkuorimassan kuiva-ainepitoisuus on 40–50 % (Partanen 2017; Hautakangas, 2021). Kirjallisuuden ja patentoitujen menetelmien kuvausten mukaan kuorimassa kuivataan ennen jatkokäsittelyä. Esimerkiksi Hotasen & Pietarisen (2012 julkaisussa Lepistö, 2021) patentoimassa menetelmässä koivun kuori kuivataan 23 m-%:n jäännöskosteuteen. Kuoren kuivaamiseen voidaan käyttää ainakin ilma-, tyhjiö- ja sumutuskuivaimia sekä ohutkalvohaihdutinta ja

nousevaa kalvohaihdutinta (Krasutsky et. al., 2004 julkaisussa Lepistö, 2021; Hotanen & Pietarinen, 2012 julkaisussa Lepistö, 2021). Kuivauksen kustannus riippuu raaka-aineen kosteuspitoisuuden ja muiden ominaisuuksien lisäksi muun muassa käytettävästä menetelmästä ja energian hinnasta.

2. **Mekaaninen esikäsittely:** Koivunkuorimassa lastutaan, revitään, murskataan tai jauhetaan (Hotanen & Pietarinen 2012 julkaisussa Lepistö, 2021). Koivun ulkokuori on joustavaa ja kuituista, kun taas sisäkuori on rakenteeltaan tiheämpää ja rakeisempaa. Erilaisten fysikaalisten ominaisuuksien takia ulko- ja sisäkuoren sirpaloituminen tuottaa erikokoisia partikkeleita. Aineensiirtoprosessin tehostamiseksi partikkelikoon olisi hyvä olla riittävän pieni (alle 3 mm), mutta koska koivun ulkokuoren tiheys on alhainen, vain 0,1–0,2 kg/l, bioarvoyhdisteiden erottaminen olisi kustannustehokkaampaa tehdä ilman kuoren murskaamista partikkeleiksi. Alhainen tiheys johtaa kalliiseen uuttotilavuuden kasvuun ja isompiin liuotinmääriin. (Krasutsky et. al., 2004 julkaisussa Lepistö, 2021.) Tiheyttä saataisiin kasvatettua esimerkiksi pelletöinnillä, joka nostaisi tiheyden 0,5–0,7 kilogrammaan/litra. Pelletöinti myös vähentäisi kuljetuskustannuksia, mikäli kuorimassan käsittelylaitos sijaitsisi etäällä sellu- tai vaneritehtaasta. (Krasutsky, 2006 julkaisussa Laine, 2020.) Toisaalta pelletöinti lisäisi työvaiheita ja tuotantokustannuksia. Krasutskyn (2006 julkaisussa Laine, 2020) mukaan pelletöinti myös helpottaisi uuttolaitteiston lasaamista, kun taas Pirisen (2023) mukaan pelletit olisi tarpeen murskata ennen uuttoa, jotta varmistetaan maksimaalinen bioarvoyhdisteiden saanto.
3. **Koivun ulko- ja sisäkuoren erottaminen:** Suberiini- ja betuliinituotannon näkökulmasta arvokas ulkokuori erotetaan sisäkuoresta esimerkiksi seulomalla tai vesierotuksella (Lepistö, 2021). Ulkokuori jatkaa bioarvoyhdisteiden erotusprosessiin ja sisäkuorimassa poltetaan energiaksi.

Esikäsittelyn jälkeen ulkokuorimassa etenee bioarvoyhdisteiden erotusprosessiin. Menetelmiä on useita, joista osa mahdollistaa suberiinirasvahappojen ja betuliinin erottamisen samanaikaisesti. Tällöin koivun ulkokuorimassasta ei poisteta uuteaineita: Triterpeenialkoholeja sisältävä raaka-aine nostaa hieman suberiinisaantoa (noin 2 %) sekä alentaa tuotantokustannuksia (aika, reagenssit), mutta samalla saatujen hiiliaketjujen pituus lyhenee ja funktionaalisuus heikkenee. Tuoteseoksesta triterpeenialkoholit voidaan tarvittaessa puhdistaa pois ja hyödyntää erilaisissa teollisuuden sovelluksissa. Mikäli hiiliaketjujen pituus ja funktionaalisuus ovat tärkeitä tekijöitä lopputuotteessa, uuteaineet voidaan poistaa esimerkiksi metanolyysillä, jonka avulla saadaan epoksi- ja hydroksiryhmiä sisältäviä yhdisteitä metyyliestereiden sijaan. (Fichtner, 2017 julkaisussa Lepistö, 2021; Heinämäki et. al., 2017 julkaisussa Lepistö, 2021; Lepistö, 2021.) Metanolyysissä hajottamiseen käytetään metanolia, kun taas esimerkiksi hydrolyysissä hajottamiseen käytetään vettä, glykolyysissä glykoleja, hydroglykolyysissä vettä ja glykoleja samanaikaisesti, aminolyysissä amiineja, ja aminoglykolyysissä amiineja ja glykoleja. Lopputuotteina näistä prosesseista saadaan yleensä polymeerien monomeereja tai niiden johdannaisia.

Korpinen (2023) esittelee hydrolyysiprosessin, jonka tavoitteena on eristää suberiini (rasvahappoina) ja triterpenoidit kahtena erillisenä jakeena hyödyntämällä emäksistä alkoholihydrolyysiä sekä yhdistettyä esiuuttoa ja hydrolyysiä. Hydrolyysiprosessin vaiheet on esitetty kuviossa 10 ja prosessin lopputuotteet kuvissa 10–11.



Kuvio 10. Hydrolyysiprosessi, jonka lopputuotteina saadaan betuliinia ja suberiinirasvahappoja (Korpinen, 2023, dia 20)



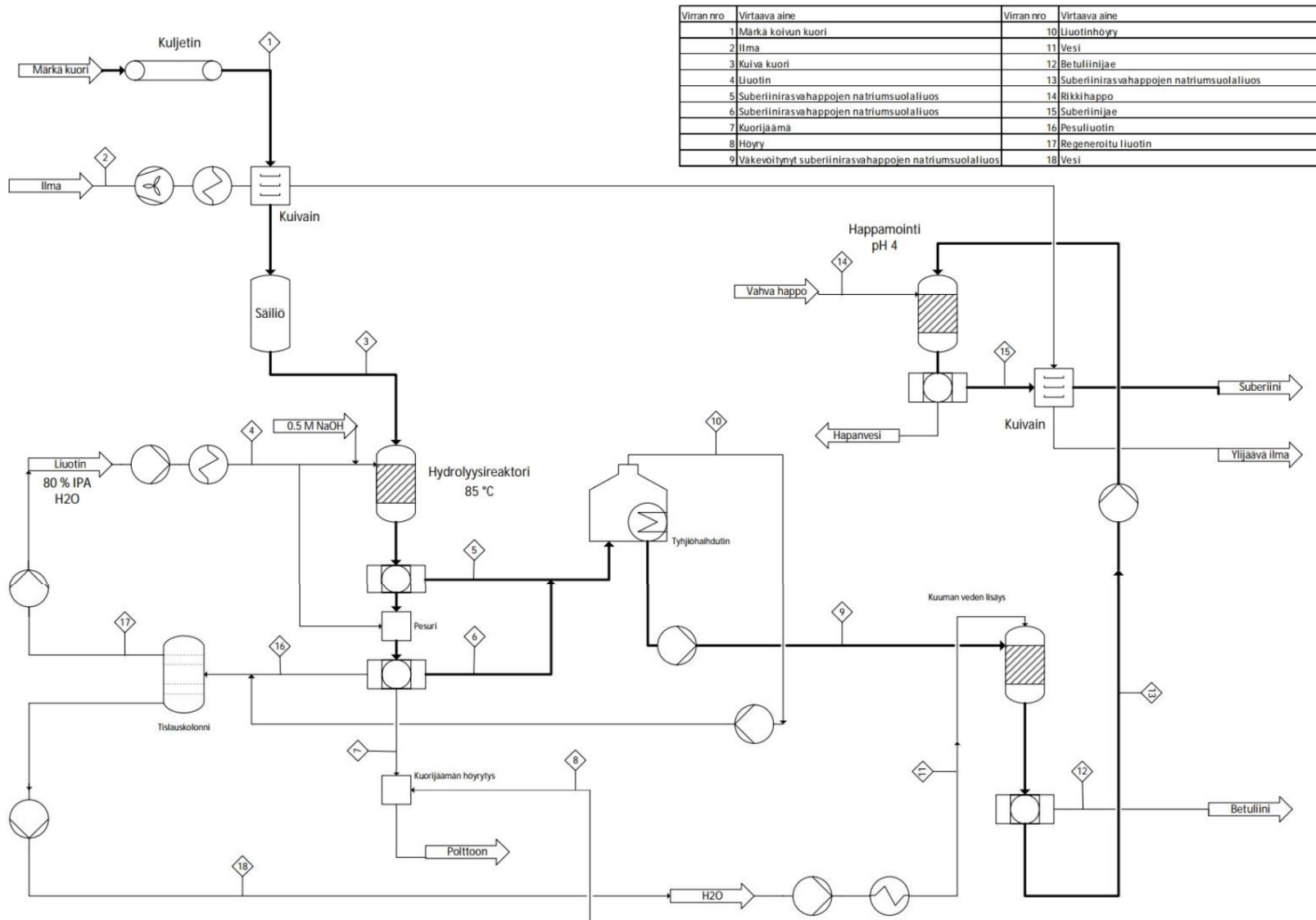
Kuvat 10–11. Vasemmalla kuviossa 10 esitetyn hydrolyysiprosessin lopputuotteena saatavaa suberiinirasvahappojaetta ja oikealla saman prosessin betuliinijaetta. Kuvat ©Risto Korpinen (Korpinen, 2023, dia 21).

Lepistö (2021) vertasi pro gradu -tutkielmassaan kolmea patentoitua menetelmää suberiinin erottamiseksi koivun ulkokuoresta; Krasutskyn et. al. (2004) patentissa käytettävää uuteaineettoman tuohen alkaliolkoholihydrolyysiä, Iversenin et. al. (2010) patentissa käytettävää uuteaineettoman ulkokuoren alkalihydrolyysiä sekä Hotasen & Pietarisen (2012) patentin menetelmää, jossa emäksinen hydrolyysi suoritetaan uuttamattomalle tuohelle käyttäen hydrolyysiliuottimena vesiliuoksen lisäksi alkoholia (esim. etanolia tai isopropanolia):

1. **Krasutskyn et. al. (2004) patentoima menetelmä:** Kyseessä on uuteaineettoman ulkokuoren uuttomenetelmä, jossa käytetään liuottimena alkoholivesiliuosta. Suberiinin depolymerointiaste on verrattain korkea, jolloin muodostuu runsaasti yksittäisiä rasvahappojen suoloja. Kun nämä suolat happamoidaan (pH 5–6), saadaan suuri määrä suberiinirasvahappoja.
2. **Iversenin et. al. (2010) patentoima menetelmä:** Tässä menetelmässä uuteaineeton tuohen suberiini depolymeroidaan emäksisellä vesiliuottimella ilman alkoholia. Menetelmän etuna on edullinen vesiliuotin, mutta toisaalta korkeasta suberiinirasvahapposaannosta ei ole varmuutta.
3. **Hotasen & Pietarisen (2012) patentoima menetelmä:** Kyseessä on suberiinin vaihtoehtoinen erotusmenetelmä, jossa saadaan samanaikaisesti betuliinia ja suberiinirasvahappojen suoloja altistamalla koivun ulkokuori alkalihydrolyysille käyttäen liuottimena alkaliolkoholivesiliuosta. Menetelmää on paranneltu sekä alustavasti mitoitettu ja simuloitu teolliseen mittakaavaan.

Lepistö (2021) käytti patentoitujen menetelmien vertailukriteereinä suberiinirasvahappojen saantoa ja puhtautta (painoarvo 4), funktionaalisten ryhmien säilyvyyttä (painoarvo 3) sekä prosessikustannuksia (painoarvo 5). Menetelmät pisteytettiin yhdestä kolmeen ja kerrottiin niille määritellyillä painoarvoilla. Vertailussa parhaaksi menetelmäksi nousi Hotasen & Pietarisen menetelmä 28 pisteellä. Toiseksi sijoittui Iversenin et. al. menetelmä 25 pisteellä ja kolmanneksi Krasutskyn et. al. menetelmä 22 pisteellä. Saanto ja puhtaus oli paras Iversenin et. al. menetelmässä, funktionaalisten ryhmien säilyvyys Krasutskyn et. al. ja Hotasen & Pietarisen menetelmissä, ja kustannustehokkuus Hotasen & Pietarisen menetelmässä.

Suberiinirasvahappojen erotusprosessiin kuuluu myös tuotejakeen kuivaus (kts. kuvio 11, virtauskaavion kohta 15). Esimerkiksi Hotasen & Pietarisen patentin menetelmässä tuoteliukseen lisätään jatkuvasti sekoittaen kantaja-ainetta (piimaata) 40 m-% kuiva-aineiden kokonaismäärästä, jonka jälkeen tuotejake loppukuivataan. Kuivaukseen suositellaan käytettäväksi Lödigen DRUVATHERM® -tyhjiökuivainta (40 kPa ja 70–80 °C). (Lepistö, 2021.)



Kuvio 11. Hotasen & Pietarisen (2012) patentin mukaisen suberiinirasvahappojen talteenottomenetelmän prosessin virtauskaavio. Suberiinin erottamisprosessissa yksikköoperaatioita ovat kuivaus, hydrolyysi, suodatus, haihdutus, veden lisäys ja liuoksen happamointi sekä mahdollinen uudelleenkitetyys ja väkevöinti. (Lepistö, 2021, Liite 1.)

3. Suberiinipohjaiset tuotteet markkinoilla

Tässä luvussa luodaan katsaus koivun ulkokuoresta erotettuun suberiiniin pohjautuvien tuotteiden markkinoihin. Lisäksi käsitellään tuotteita ja niiden kaupallistamista koskevaa lainsäädäntöä.

3.1. Kehittämistä ohjaava politiikka

Luonnontuotealan tulevaisuuden kehittymiselle ja kasvulle on vahva poliittinen tahtotila (Wacklin, 2022). Ala on mukana esimerkiksi seuraavissa kansallisissa strategioissa ja ohjelmissa, joiden lisäksi se on huomioitu useissa alueellisissa ja kansainvälisissä ohjelmissa ja strategioissa:

- Kansallinen metsästrategia 2035 (MMM, 2022a)
- Suomen biotalousstrategia – Kestävästi kohti korkeampaa arvonalisää (TEM et. al., 2022)
- Valtioneuvoston selonteko ruokapolitiikasta: Ruoka2030 – Suomi-ruokaa meille ja maailmalle (MMM, ei julkaisuajankohtaa)
- Lähiruokaohjelma ja lähiruokasektorin kehittämisen tavoitteet vuoteen 2025: Lähiruokaa – totta kai! (MMM, 2022b)
- Luomu 2.0 – Suomen kansallinen luomuohjelma vuoteen 2030 (MMM, 2021).

Esimerkiksi Suomen biotalousstrategiaan on kirjattu tavoite edistää luonnontuotteiden käyttöä elintarvike-, bioteknologia-, kosmetiikka- sekä lääke- ja rohdosteollisuudessa (TEM et. al., 2022). Luonnontuotealan toimintaohjelmassa 2030 (Rutanen, Wacklin & Partanen, 2023) nostetaan edellisten lisäksi esille muut hyvinvointituotteet, rehut, väri- ja tekstiiliteollisuuden tuotteet sekä matkailu- ja hyvinvointipalvelut. Myös vihreän kemian sektorille luonnontuoteala tarjoaa raaka-aineita (Kunnas, 2022). Suberiinin kaupallisen hyödyntämisen näkökulmasta olennaisia ovat muun muassa kemianteollisuus (vihreä kemia), lääke- ja rohdosteollisuus, kosmetiikka- ja hyvinvointituoteteollisuus sekä elintarviketeollisuus (Kuvio 5.).

3.2. Markkinoita ohjaavat trendit ja ilmiöt

Luonnontuotepohjaisten tuotteiden kysyntään vaikuttaa positiivisesti muun muassa yleinen kiinnostuksen kasvu luonnonmukaisuutta, ekologisuutta, turvallisuutta, terveellisyttä ja eettisyyttä kohtaan. Megatrendeistä ekologinen kestävyyskriisi vaikuttaa näkyvästi myös luonnontuotealaan, jonka kasvulle se luo perustaa (Wacklin, 2022; Rutanen, Wacklin & Partanen, 2023). Luonnontuotepohjaisilla tuotteilla voidaan korvata vähemmän kestäviä tuotteita, jolloin ei pyritä kokonaiskulutuksen kasvattamiseen, vaan ohjaamaan kuluttajia kasvattamaan kestävästi tuotettujen tuotteiden ja palvelujen markkinaosuutta. Yhä suurempi osa kuluttajista pitää tärkeänä kehittää kulutustottumustensa kestävyttä, mikä ohjaa valitsemaan tuotteita ja palveluja myös muiden tekijöiden kuin hinnan perusteella.

Kansainvälisten markkinoiden näkökulmasta suomalaisen tuote- ja palvelutuotannon kilpailutekijöitä ovat muun muassa arktisuus sekä puhdas ilma, maaperä ja vesi. Suomen pohjoiset olosuhteet tuottavat raaka-aineisiin sellaista laatua (vrt. esim. etelässä ja pohjoisessa kasvaneen mustikan tai ruusujuuren arvoyhdistepitoisuudet), jota voitaisiin hyödyntää markkinoinnissa huomattavasti nykyistä enemmän. Vientimarkkinat ovat myös yhä helpommin saavutettavissa yleisen globalisaation ja maailmanlaajuisen kasvun kautta (Wacklin, 2022; Rutanen, Wacklin & Partanen, 2023).

Viime vuosien kriisit (Covid-19-pandemia ja Ukrainan sota) ovat lisänneet tuotantopanosten kustannuksia ja heikentäneet kuluttajien ostovoimaa. Tämä vaikuttaa heikentävästi myös luonnontuotealan kannattavuuteen sekä kuluttajien mahdollisuuksiin ja valmiuksiin ostaa korkean jalostusarvon tuotteita. Toisaalta taas tällä hetkellä alihyödynnettyjen luonnontuotteiden uusiutuvuus ja kasvu ilman tuotantopanoksia ovat merkittävä vahvuus luonnontuotealalle. Kriisit ovat myös nostaneet keskusteluun huoltovarmuuden ja omavaraisuuden, joihin luonnontuotealalla on tarjota osaltaan ratkaisuja. Toisaalta huoltovarmuuskysymykset saattavat kasvattaa metsien käyttöön liittyvää kilpailua, kun esimerkiksi uusiutuvan energian käyttö lisääntyy. (Wacklin, 2022.)

Metsäbiomassojen käytön kestävyys onkin jo herättänyt julkista keskustelua. Tähän on syynä ennakoitu puun käytön kasvu, kun puulla pyritään entistä enemmän korvaamaan myös uusiutumattomia raaka-aineita. Kartonkitekiteollisuutta tukee edelleen kasvava verkkokauppa, joka lisää pakkausmateriaalien menekkiä. Lisäksi on mahdollista, että kartonkipakkauksilla aletaan korvata yhä enemmän myös muovipakkauksia. Toisaalta kartonkitekiteollisuuden kehitysnäkymiä tulee ohjaamaan Euroopan parlamentin ympäristövaliokunnan kanta pakkaus- ja pakkausjäteasetukseen, joka toteutuessaan kieltäisi ruoan ja juoman tarjoilun ravintoloissa kertakäyttöisistä pakkauksista silloin, kun ne nautitaan paikan päällä. EU tavoittelee tällä esimerkiksi pikaruokaa tarjoavien ravintoloiden jätteiden vähentämistä. (Sailaranta, 2023.)

Yhtenä kestävyyttä varmistavana tekijänä nähdään erityisesti EU:n piirissä metsäbiomassan kaskadikäyttö, jossa materiaali hyödynnetään jalostuksen lisäksi uudelleenkäytön ja kierrätyksen muodostamissa ketjuissa (Koistinen, 2016). Kaskadikäytön periaatteeseen pohjautuu myös tämä kehittämistehtävä, jossa tarkastellaan koivua käyttävien sellu- ja vaneritehtaiden sivuvirroista saatavaa koivun kuorta, jota voidaan hyödyntää suberiini- ja samalla betuliinituotannon raaka-aineena energiaksi polttamisen sijaan.

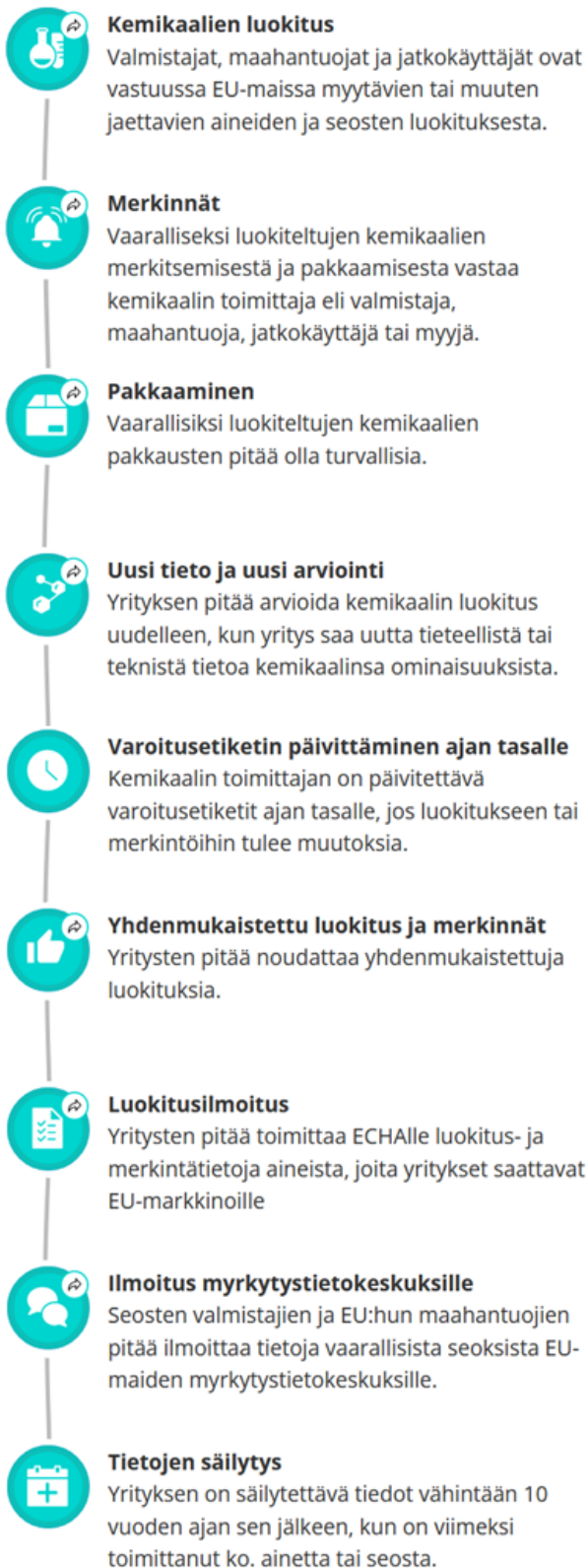
Suberiinia on mahdollista eristää maailmanlaajuisesti tarkasteltuna myös muista kasveista kuin koivusta (Lepistö, 2021). Näin ollen suberiinia sisältävien tuotteiden markkinointi luo mahdollisuuden nostaa eri tavoin esiin myös suberiinin lähtöraaka-ainetta, koivua, sekä sen matkaa lopputuotteeseen. Yleinen positiivinen mielikuva suomalaisesta, vastuullisesti kasvatetusta koivusta sekä läpinäkyvästi esitetty tuotantoketju, jossa luonnonvarojen kaskadikäytön periaate toteutuu, voidaan olettaa tuovan markkinoilla lisäarvoa suomalaista alkuperää

oleviin suberiiniin pohjautuviin jatkojalostustuotteisiin. Samoilla argumenteilla voidaan vaikuttaa ympäristötoimien kuluttajien osto- ja valintapäätöksiin suberiinipohjaisten ja muiden vastaavaan käyttötarkoitukseen tarkoitettujen tuotteiden kategoriassa.

3.3. Kaupallistamiseen vaikuttavat lait ja asetukset sekä tuotetiedot ja tuotteeseen liittyvät väittämät

Suberiinituotteelle vaaditaan Suomen lain edellyttämä käyttöturvallisuustiedote, jonka sisältö pohjautuu REACH-asetukseen (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals). Asiakirjalla kemikaalin toimittaja kertoo asiakkailleen kemikaalin mahdollisista vaaroista sekä turvallisesta varastoinnista, käsittelystä ja hävittämisestä. (Tukes, ei julkaisuajankohtaa (d).) Kemikaalien toimittajan tulee toimittaa käyttöturvallisuustiedote pyydettyäessä kemikaalien ammatti- ja teollisuuskäyttäjille (Pirinen, 2023; Tukes, ei julkaisuajankohtaa (c)).

CLP-asetus (Kuvio 12) eli Euroopan parlamentin ja neuvoston kemikaalien luokitusta, merkintöjä ja pakkaamista koskeva asetus 1272/2008 sisältää säännöt kemikaalien (aine tai seos) luokituksesta, merkinnöistä ja pakkaamisesta. EU-markkinoilla myyvän tai EU-markkinoille maahantuovan toimijan tulee noudattaa CLP-asetusta ja luokitella, merkitä ja pakata kemikaali asetuksen säännösten mukaisesti. (Tukes, ei julkaisuajankohtaa (b); Tukes, ei julkaisuajankohtaa (d).)



Kuvio 12. CLP-asetus (Tukes, ei julkaisuajankohtaa (d))

Kemikaalille osoitetaan yksilöllinen CAS-numero (American Chemical Society), kun se saapuu CAS Registry®-tietokantaan. CAS-numero on enintään kymmenen numeroa pitkä ja kolmeen osaan yhdysmerkillä jaettu tunnistus, joka tulee sisällyttää käyttöturvallisuustiedotteeseen. (Chemwatch, 2023.) Suberiini löytyy European

Chemical Agencyn (ECHA, ei julkaisuajankohtaa) tietokannasta nimellä "Suberin acid" ja CAS-numerolla 505-48-6. Tukesin ylläpitämästä biosidirekisteristä suberiinia ei löydy (KemiDigi, 2023). Tämä on suberiinin potentiaalisten käyttökohteiden kannalta positiivinen asia, sillä kuuluminen biosidirekisteriin vaikuttaisi rajaavasti kemikaalin muuhun käyttöön (Pirinen, 2023). Biosidit ovat ihmisten, eläinten, materiaalien tai esineiden suojaamiseen haitallisilta eliöiltä (mm. tuhoeläimiltä ja mikrobeilta) tarkoitettuja valmisteita, joiden myynti ja käyttö Suomessa edellyttää Tukesin ennakkohyväksymisen (Tukes, ei julkaisuajankohtaa (a)).

Uuselintarvikelaki ei rajoita raudus- ja hieskoivun kuoren käyttöä ravintolisissä, mutta muu elintarvikekäyttö vaatisi uuselintarvikelain mukaisen uuselintarvikeluvan hankkimista. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että raudus- ja hieskoivun kuorta tiedetään käytetyn ravintolisänä EU:n alueella merkitsevässä määrin ennen vuotta 1997 ja sen käyttö on sallittua ravintolisissä. (Euroopan komissio, ei julkaisuajankohtaa.)

Jauhemuotoiselle suberiiniväliuotteelle ei voida esittää tuotteeseen liittyviä ravitsemus- ja terveysväitteitä tai kosmetiikan markkinointiväittämiä. Lopputuotteiden valmistajien tulee varmistaa käyttökohteen mukainen lainmukaisuus esimerkiksi seuraavasti:

- Elintarvikekäyttö (valvova viranomainen: Ruokavirasto):
 - Elintarvikelaki (23/2006, 1397/2019, uudistus 2021)
 - Uuselintarvikeasetus (2015/2283)
 - Asetus ravintolisistä (78/2010)
 - Ravitsemus- ja väiteasetus (1924/2006)
 - EU:n asetus elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista (EU N:o 1935/2004)
- Kosmetiikkakäyttö (valvova viranomainen: Tukes):
 - Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1223/2009 kosmeettisista valmisteista ja laki kosmeettisista valmisteista (492/2013)
- Lääke-/rohdoskäyttö (valvova viranomainen: Fimea):
 - Lääkelaki (395/1987) ja -asetus (693/1987)
- Eläinten rehut ja eläimille suunnatut valmisteet (valvova viranomainen: Ruokavirasto):
 - Eläinsuojelulaki (247/1996) ja Rehulaki (1263/2020)
- Kemikaalikäyttö (luonnonraaka-aineista valmistetut siivous- tai torjunta-aineet, valvova viranomainen: Tukes):
 - Kemikaalilaki 599/2013
 - REACH-asetus (EY) N:o 1907/2006 kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista

- CLP-asetus (EY) N:o 1272/2008 aineiden ja seosten luokituksesta, merkinnöistä ja pakkaamisesta
 - Asetus (EY) N:o 9(77) 648/2004 pesuaineista
 - Asetus (EU) N:o 528/2012 biosidivalmisteiden asettamisesta saataville markkinoilla
- Kuluttajansuojalaki (38/1978)

3.4. Kilpailevat tuotteet

Suberiinirasvahapot ovat kaupallisilla markkinoilla verrattain tuore tuote. Esimerkiksi Lepistön (2021) pro gradu -tutkielman julkaisun aikaan ei vielä ollut saatavilla suberiinin myyntihintatietoja. Lepistö käytti kannattavuusarvioihin atsealiinihapon myyntihintaa (12,45 €/kg). Atsealiinihappo on samankaltainen yhdiste kuin suberiinirasvahapot ja sitä käytetään yleisenä komponenttina ihon- ja hiustenhoitotuotteissa. Tällä hetkellä kaupallisilta markkinoilta löytyy muutamia yksittäisiä suberiinituotteiden tuottajia, joista vain ulkomaiset ilmoittavat hinnatonsa julkisesti verkkosivuilla. Esimerkiksi amerikkalainen bioteknologia-, kemikaali- ja lääkeyhtiö Avantor (2023) sekä VWR, joka on osa Avantoria, myyvät suberiinia hintaan 35 €/100 g, 117 €/500 g ja 423 €/2 500 g (pakkaustyyppi: valosuojattu ruskea lasipullo). Muita suberiinia myyviä kaupallisia yrityksiä ovat muun muassa Sigma-Aldrich, joka on yhdysvaltalainen kemian, biotieteiden ja bioteknologian yritys (jonka omistaa monikansallinen kemianteollisuusyritys Merck Group) sekä TCI (Tokyo Chemical Industry). Molemmat ilmoittavat myyntihinnat Yhdysvaltain dollareina (US\$). (Chemical Book, 2023.)

Erytisesti Suomen markkinoilla tärkein kilpaileva tuote jauhemuotoiselle suberiiniväli tuotteelle on Innomost Oy:n Suberinno.™. Yrityksen kotisivuilla kerrotaan, että tuotetta on saatavilla viidessä eri muodossa, myös vahana. Tuotteelle ilmoitetaan tyypillinen koostumus, joka sisältää 57–67 % 9,10-epoksi-18-hydroksioktadekaanihappoa, 23–28 % 22-hydroksidokosaanihappoa, 3–15 % 9,10,18-trihydroksioktadekaanihappoa, 2–5 % 20-hydroksieikosanoiniinihappoa ja 0–2 % 18-hydroksioktadek-9-eenihappoa. Tuotteelle ilmoitetaan INCI-nimeksi *Betula alba bark extract*, joka tarkoittaa koivunkuoriuutetta. (Innomost Oy, 2023.) Koivunkuoriuutteesta valmistetaan muun muassa lääkevalmisteita. Euroopan lääkevirasto (EMA) on hyväksynyt kahden koivunkuoriuutepohjaisen lääkevalmisteen käytön. (DrugBank, 2022.) Tällä hetkellä markkinoilta löytyy Filsuvez-geeli (Kuva 12), jonka käyttöaiheena on dystrofiseen ja junktionaaliseen epidermolysis bullosaan (EB) liittyvien osittain syvien haavojen (PTW, Partial Thickness Wounds) hoito kuuden kuukauden ikäisillä ja sitä vanhemmilla potilailla. Yksi gramma geeliä sisältää 100 mg rauduskoivun, hieskoivun ja edellisten hybridien kuoresta valmistettua uutetta (kuivauutteena ja puhdistettuna). Määrä vastaa 0,5–1,0 g koivun kuorta ja sisältää 84–95 mg triterpeenejä (betuliinia, betuliinihappoa, erytrodolia, lupeolia ja oleanolihappoa yhteensä). Uuttoliuottimena käytetään n-heptaania. (EMA, 2023.) Toisen hyväksytyin lääkevalmisteen, Episalvan-geelin, myyntiluvan valmistaja peruutti vuonna 2022 (DrugBank, 2022).



Kuva 12. Koivunkuoriuutteeseen pohjautuva Filsuvez-geelivalmiste (Schlenger, 2022)

Koivun lisäksi suberiinia esiintyy maailmanlaajuisesti myös muissa kasveissa. Esimerkiksi toinen merkittävä suberiinin lähde on Väli-Euroopassa esiintyvä korkkitammi (*Quercus suber*), jonka kuorta käytetään viinipullojen korkkien lisäksi myös lämpö- ja äänieristeissä. Lepistö (2021) on esittänyt, että korkkitammen teollisten prosessien sivutuotteena syntyy arviolta 40 000 t/a ”korkkipuuteria”, jota hyödynnetään polttoaineena ja tästä määrästä korkkitammipuuteria voitaisiin saada suberiinia noin 16 000 tonnia vuodessa (Gandini et. al., 2006 julkaisussa Lepistö, 2021). Näin ollen myös muu ulkomainen tuotanto saattaa tulevaisuudessa tuoda kilpailevia tuotteita Suomen markkinoille.

3.5. Keksinnön, tuoteidean ja osaamisen suojaaminen

Keksinnön voi suojata patentilla tai kriteereiltään väljemmällä hyödyllisyysmallilla, jolloin muut eivät pääse hyötymään siitä taloudellisesti kopioimalla tai jäljittelemällä sitä. Patentti voidaan myöntää, jos keksintö on uusi ja ratkaisee jonkin teknisen ongelman. Keksinnön on oltava olennaisesti erilainen kuin aiemmin tunnetut ratkaisut ja sen tulee olla konkreettinen ratkaisu, laite, tuote tai menetelmä, ei pelkkä idea. Keksinnön voi suojata myös ulkomuodon mallisuojuksella ja sen nimen tai muun tunnusmerkin tavaramerkillä. (Suomi.fi-verkkotoimitus, 2023.)

Jos keksinnön odotettavissa oleva elinikä markkinoilla on hyvin lyhyt, virallinen suojaaminen ei välttämättä ole kannattavaa. Tällöin keksintöä voi suojata pitämällä se salassa kilpailijoilta mahdollisimman pitkään, keskustelemalla tuoteideasta vain luotettavien henkilöiden kanssa ja varmistamalla luottamuksellisuus tarvittaessa kirjallisella sopimuksella. Tuoteidean täydellinen salaaminen ei kuitenkaan yleensä ole eduksi, vaan siitä kannattaa keskustella ainakin yhden asiaa tuntevan, luotettavan tahon kanssa, jolloin keksinnön käyttökelpoisuuteen voi saada uusia näkökulmia. (Suomi.fi-verkkotoimitus, 2023.)

Yrityksen osaamista voidaan suojata esimerkiksi kilpailu- ja rekrytointikiellolla sekä salassapidolla. Myös tiedon käyttöön liittyvät rajoitukset, dokumentointi sekä henkilöstön sitouttaminen ehkäisevät tiedon katoamista. (Suomi.fi-verkkotoimitus, 2023.)

Tämän kehittämistehtävän tuotteena on jauhemuotoinen suberiiniväliaine, jonka tuotantoprosessi pohjautuu olemassa oleviin menetelmiin. Patentoituja suberiininerotusmenetelmiä on useita ja niitä on esitelty alaluvussa ‘2.2.5 Ideasta tuotteeksi’. Tavaramerkin rekisteröinti tuotteelle on vaihtoehto, jota on hyödyntänyt esimerkiksi

Innomost Oy: Yritys on rekisteröinyt tavaramerkit Suberinno.TM (suberiini) ja Betuinno.TM (betuliini). Molemmat on rekisteröity kansallisiksi tavaramerkeiksi 4.9.2023. (Patentti- ja rekisterihallitus, 2023.)

4. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä kehittämistehtävässä käsiteltiin teollisesti talteenotettua koivun kuorta raaka-aineena ja siitä saatavien bioarvoyhdisteiden hyödyntämistä tuotteissa. Prosessikuvaus keskittyi tarkastelemaan koivunkuorimassan ja siitä erotettavien bioarvoyhdisteiden tuotantoa sellu- tai vaneritehtaan sivuvirtana. Arvoyhdisteiden osalta tarkastelu keskittyi suberiiniin ja sen erilaisiin erotusmenetelmiin.

Lisäksi kehittämistehtävässä luotiin katsaus koivun kuoreen pohjautuvien tuotteiden markkinoita ohjaaviin kehityssuuntiin, joissa muun muassa metsäteollisuuden rakennemuutos sekä kaskadikäytön periaate metsäbiomassojen kestäväää käyttöä varmistavana tekijänä avaavat mahdollisuuksia puun kuoren komponenttien uudelleen hyödyntämiseen nykyistä tehokkaammin. Tällä hetkellä pääosa sellu- ja vaneritehtailla syntyvästä koivunkuorimassasta poltetaan vielä energiaksi, jolloin menetetään merkittävä jalostusarvopotentiaali.

Koivun ulkokuoresta saataville vaikuttaville bioarvoyhdisteille on lukuisia käyttökohteita muun muassa kemianteollisuudessa (vihreä kemia), lääke- ja rohdosteollisuudessa, kosmetiikka- ja hyvinvointialalla sekä elintarviketeollisuudessa. Luonnontuotepohjaisten tuotteiden kysyntään vaikuttaa positiivisesti muun muassa yleinen kiinnostuksen kasvu luonnonmukaisuutta, ekologisuutta, turvallisuutta, terveellisyttä ja eettisyyttä kohtaan.

Tulevaisuudessa puuteollisuuden sivuvirtoihin pohjautuvalla bioarvoyhdistetuotannolla on potentiaalia tarjota luonnontuotealalle volyymituotteita, joilla voidaan vastata sekä kotimaiseen että kansainväliseen kysyntään. Tällä hetkellä suurin osa suomalaisista luonnontuoteraaka-aineiden jalostajista on mikro- ja pienyrityksiä, joiden tuotantomäärät ovat verrattain pieniä ja taustalla olevat tuotantokustannukset verrattain isoja. Yhtenä syynä on monien luonnontuoteraaka-aineiden heikko ja/tai epävarma saatavuus, johon vaikuttavat pienten yritysten vähäisten kehittämisresurssien lisäksi muun muassa vaatimattomat keruuteknologiat, kehittymättömät keruuketjut ja puuttuvat tukkuporrastoimijat. Koivun kuoren osalta raaka-ainesaatavuus ei ole samalla tavalla rajoite.

Suomalaisen luonnontuotealan kokonaisvaltaisen kehittymisen näkökulmasta olisi tärkeää, että saisimme maahan teollisuusmittakaavan toimintaa, joka vahvistaisi alan näkyvyyttä ja asemaa toiminnallisesti, taloudellisesti ja poliittisesti. Tällä hetkellä alan vaikutusmahdollisuudet ovat pienet, eikä ala nouse vahvasti esiin biotalouden keskusteluissa toisin kuin esimerkiksi vahvan aseman omaava metsäteollisuus (Wacklin, 2022). Tähän voidaan vaikuttaa kansallisia ja EU-tason ohjelmia, strategioita ja tavoitteita vahvasti tukevalla yritystoiminnalla, joka tuottaa kansallisesti merkittäviä taloudellisia ja sosiaalisia hyötyjä ekologisesti kestäväällä tavalla.

Suberiinipohjaisten tuotteiden teollisuusmittakaavan tuotanto tiiviissä yhteistyössä metsä- ja puuteollisuuden toimijoiden kanssa voisi toimia yhtenä merkittävänä veturina tässä kehittämistyössä.

5. Lähteet

Arktinen älykäs metsäverkosto -hanke (2020). *Luonnontuoteala Lapissa*. Viitattu 22.9.2023, <https://www.tiede-keskus-pilke.fi/assets/pdf-tiedostot/Infograafit/UUSI-Luonnontuoteala-Lapissa-Infograafi-A3.pdf>.

Armbruster, M., Mönckedieck, M., Scherließ, R., Daniels, R. & Wahl, M. A. (2017). Birch Bark Dry Extract by Supercritical Fluid Technology: Extract Characterisation and Use for Stabilisation of Semisolid Systems. *Applied Sciences*, 7(3): 292.

Avantor (2023). *Suberic acid* ≥99%. Viitattu 14.11.2023, <https://ie.vwr.com/store/product/2355738/suberic-acid-99>.

Blondeau, D., St-Pierre, A., Bourdeau, N., Bley, J., Lajeunesse, A. & Desgagné-Penix, I. (2020). Antimicrobial activity and chemical composition of white birch (*Betula papyrifera* Marshall) bark extracts. *MicrobiologyOpen*, 9(1), ss. n/a–n/a.

Chemical Book (2023). *Suberic acid*. Viitattu 14.11.2023, https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB2775043.htm.

Chemwatch (2023.) *Kaikki mitä sinun tarvitsee tietää CAS-numeroista*. Viitattu 14.11.2023, <https://chemwatch.net/fi/blog/everything-you-need-to-know-about-cas-numbers/>.

Demets, O. V., Takibayeva, A. T., Kassenov, R. Z., Aliyeva, M. R. (2022). Methods of Betulin Extraction from Birch Bark. *Molecules*, 27(11): 3621.

DrugBank (2022). *Birch bark extract*. Viitattu 25.7.2023, <https://go.drugbank.com/drugs/DB16536>.

Ekman, R. (1983). The Suberin Monomers and Triterpenoids from the Outer Bark of *Betula verrucosa* Ehrh. *Holzforschung*, 37(1983), ss. 205–211.

European Chemical Agency (ECHA) (ei julkaisuajankohtaa). *Substance Infocard: Suberin acid*. Viitattu 11.11.2023, https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.007.283?_disssub-sinfo_WAR_disssubsinfoportlet_backURL=https%3A%2F%2Fecha.europa.eu%2Fsearch-for-chemicals%3Fp_p_id%3Ddisssimplesearch_WAR_dissearchportlet%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26_disssimplesearch_WAR_dissearchportlet_sessionCriteriaId%3DdisSimpleSearchSessionParam101401699794534054.

Euroopan komissio (ei julkaisuajankohtaa). *EU Novel food catalogue*. Viitattu 11.11.2023, https://webgate.ec.europa.eu/fip/novel_food_catalogue/#.

Euroopan lääkevirasto (European Medicines Agency, EMA) (2023). *Filsuvez: Liite 1 – valmisteyhteenveto*. Viitattu 23.9.2023, https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/filsuvez-epar-product-information_fi.pdf.

Ferreira, R., Garcia, H., Sousa, A. F., Freire, C. S. R., Silvestre, A. J. D., Rebelo, L. P. N. & Pereira, C. S. (2013). Isolation of suberin from birch outer bark and cork using ionic liquids: A new source of macromonomers. *Industrial Crops and Products*, 44(January 2013), ss. 520–527.

Fichtner, A. (2017). *Extraction Studies of Suberin from Bark and Synthesis of Lignin Isosyanate-Free Polyurethanes: Byproducts of the Beech Wood Industry*. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Viitattu 11.11.2023, <https://freidok.uni-freiburg.de/data/15679>.

Gandini, A. & Belgacem, M. N. (2013). 4 - The State of the Art of Polymers from Renewable Resources. Teoksessa: Ebnesajjad, S. (toim.), *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics*. Plastics Design Library, William Andrew Publishing, ss. 71–85.

Gandini, A., Pascoal Neto, C. & Silvestre, A. J. D. (2006). Suberin: A promising renewable resource for novel macromolecular materials. *Progress in Polymer Science*, 31(10), ss. 878–892.

Harman-Ware, A. E., Sparks, S., Addison, B. & Kalluri, U. C. (2021). Importance of suberin biopolymer in plant function, contributions to soil organic carbon and in the production of bio-derived energy and materials. *Bio-technology for Biofuels*, 14: 75.

Hautakangas, I. (2021). *Sellutehtaan kuorimon vedenkäytön optimointi*. Kandidaatintyö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT, Kemianteekniikka. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021052030923>.

Heinonen, S. (2020). *Koivumassan uuteaineiden hallinta*. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ju-202012147088>.

Heinämäki, J., Pirttimaa, M., Alakurtti, Pitkänen, P., Kanerva, H., Hulkko, J., Paaver, U., Aruväli, J., Yliruusi, J. & Kogermann, K. (2017). Suberin Fatty Acids from Outer Birch Bark: Isolation and Physical Material Characterization. *Journal of Natural Products*, 80, s. 916–924.

Holmbom, B. (2011). Extraction and utilisation of non-structural wood and bark components. Teoksessa: Alén, R. (toim.), *Biorefining of Forest Resources*. Espoo: Paperi ja Puu Oy, ss. 178–224.

- Holonec, L., Ranga, F., Crainic, D., Truta, A. & Socaciu, C. (2012). Evaluation of betulin and betulinic acid content in birch bark from different forestry areas of western carpathians. *Not Bot Horti Agrobo*, 40(2), ss. 99–105.
- Hotanen, U. & Pietarinen, S. (2012). *Method for treating birch bark and the use of the product*. WO2012/160250A2.
- Hu, Z., Guo, N., Wang, Z., Liu, Y., Wang, Y., Ding, W., Zhang, D. & Wang, Y. (2013). Development and validation of an LC-ESI/ MS/MS method with precolumn derivatization for the determination of betulin in rat plasma. *Journal of Chromatography B Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 939(15.11.2023), ss. 38–44.
- Innomost Oy (2023). *Suberinno.™ Suberin*. Viitattu 11.11.2023, <https://www.innomost.com/products/suberin/>.
- Iversen, T., Nilsson, H. & Olsson, A. 2010. *A method for separating from suberin and/or cutin containing plants, a solid and/or oil fraction enriched in cis-9,10-epoxy-18-hydroxyoctadecanoic acid*. WO2010/093320A1.
- Järvinen, R. (2010). *Cuticular and suberin polymers of edible plants, analysis by gas chromatographic-mass spectrometric and solid state spectroscopic methods*. Väitöskirja. Turun yliopisto, Biokemia ja Elintarvikekemia. Viitattu 30.9.2023, <https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/64138/diss2010jarvinen.pdf?isAllowed=y&sequence=1>.
- Kalaoja, M. (2013). *Koivun rumpukuorintaan vaikuttavat tekijät talvella*. Diplomityö. Oulun yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Prosessi- ja ympäristötekniikka. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-201302271058>.
- KemiDigi (2023). *Kemikaalituoterekisteri*. Viitattu 14.11.2023, <https://www.kemidigi.fi/kemikaalihaku>.
- Koistinen, A. (2016). *Kaskadikäyttö metsätalouden kestävyys todentajana — esiselvitys*. Tapion raportteja nro 4. Viitattu 15.11.2023, <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2019/10/Kaskadikaytto-metsatalouden-kestavyyden-todentajana.pdf>.
- Korpinen, R. (2023). *Suberin fatty acids and triterpenoids from birch outer bark*. Viitattu 11.11.2023, <https://www.univ-reims.fr/media-files/48578/risto-korpinen.pdf>.
- Koskinen, K. (1999). Wood handling applications. Teoksessa: Gullichsen, J. & Fogelholm, C.-J. (toim.), *Chemical Pulping*. Helsinki: Papermaking Science and Technology, ss. 330-490 s.
- Koskinen, K. (2008). Wood Handling Applications. Teoksessa: Fardim, P. (toim.), *Papermaking Science and Technology, Volume 6(1), Chemical Pulping Part A, Fibre Chemistry and Technology*. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association.
- Krasutsky, P. A. (2006). Birch bark research and development. *Natural Product Reports*, 23(6), ss. 919–942.

- Krasutsky, P. A., Carlson, R. M., Nesterenko, V. V., Kolomistyn, I. V. & Edwardson, C. F. (2004). *Birch bark processing and the isolation of natural products from birch bark*. US6815553B2.
- Kumaniaev, I., Navare, K., Mendes, N. C., Placet, V., Van Acker, K. & Samec, J. S. M. (2020). Conversion of birch bark to biofuels. *Green Chemistry*, 2020(22), ss. 2255–2263.
- Kumar, A., Korpinen, R., Möttönen, V. & Verkasalo, E. (2022). Suberin Fatty Acid Hydrolysates from Outer Birch Bark for Hydrophobic Coating on Aspen Wood Surface. *Polymers*, 2022, 14(4), 832.
- Kunnas, S. (2022). *Älyä luonnosta – uutteista suoja-aineita tekstiilimateriaaleihin vihreän kemian menetelmillä*. Esitys Luonnontuotealan tutkimusseminaarissa Mikkelissä 8.11.2022.
- Kwan, I., Huang, T., Ek, M., Seppänen, R. & Skagerlind, P. (2022). Bark from Nordic tree species – a sustainable source for amphiphilic polymers and surfactants. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 37(4), ss. 566–575.
- Kähkönen, M. P., Hopia, A. I., Vuorela, H. J., Rauha, J.-P., Pihlaja, K., Kujala, T. S. & Heinonen, M. (1999). Antioxidant Activity of Plant Extracts Containing Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10), ss. 3954–3962.
- Laine, J. (2020). *Puun kuoren komponenttien hyödyntäminen*. Kandidaatintyö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT, Kemiantechniikka. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020060140065>.
- Lappi, H., Nurmi, J. & Läspä, O. (2014). *Decrease in Extractives of Tree Bark During Storage*. Viitattu 30.9.2023, http://biofuelregion.se/wp-content/uploads/3_11_IS_2014-08-11_Decrease_in_Extractives_Lappi_Nurmi_Laspa.pdf.
- Lepistö, R. (2021). *Suberiinirasvahappojen talteenottomenetelmät koivun tuohesta ja prosessin scale-up*. Opinnäytetyö. Metropolia-ammattikorkeakoulu, Bio- ja kemiantechniikka. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021052310496>.
- Maa- ja metsätalousministeriö (MMM) (2021). *Luomu 2.0 – Suomen kansallinen luomuohjelma vuoteen 2030*. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2021:13. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-386-2>.
- Maa- ja metsätalousministeriö (MMM) (2022a). *Kansallinen metsästrategia 2035*. Viitattu 22.9.2023, <https://mmm.fi/documents/1410837/110695773/Kansallinen+mets%C3%A4strategia+2035+MN+hyv%C3%A4ksym%C3%A4+14122022.pdf/0d1c4f6a-8ab2-8f03-0bca-8c66e131be86/Kansallinen+mets%C3%A4strategia+2035+MN+hyv%C3%A4ksym%C3%A4+14122022.pdf?t=1682587418855>.

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM) (2022b). *Lähiuokaohjelma ja lähiuokasektorin kehittämisen tavoitteet vuoteen 2025: Lähiuokaa – totta kai!* Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2021:8. Saatavilla:

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-195-0>.

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM) (ei julkaisuajankohtaa). *Valtioneuvoston selonteko ruokapolitiikasta:*

Ruoka2030 – Suomi-ruokaa meille ja maailmalle. Viitattu 22.9.2023, <https://mmm.fi/documents/1410837/1923148/Ruokapoliittinen+selonteko+Ruoka2030/d576b315-41fe-4e9d-9d02-8462c5ae5895>.

Matthews, S., Mila, I., Scalbert, A. & Donnelly, D. M. X. (1997). Extractable and non-extractable proanthocyanidins in barks. *Phytochemistry*, 45(2), ss. 405–410.

MTV Uutiset (2023). *MTV-analyysi 20.9.2023: Metsäteollisuus kärvistelee kahden kurimuksen keskellä – pienten tehtaiden pudotuspeli uhkaa jatkua*. Viitattu 21.9.2023, <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/mtv-analyysi-metsateollisuus-karvistelee-kahden-kurimuksen-keskella-pienten-tehtaiden-pudotuspeli-uhkaa-jatkua/8781724#gs.5zpbvw>.

O’Connell, M. M., Bentley, M. D., Campbell, C. S. & Cole, B. J. W. (1988). Betulin and lupeol in bark from four white-barked birches. *Phytochemistry*, 27(7), ss. 2175–2176.

Partanen, S. (2017). *Kuorinnan ja puuraaka-aineen muutosten vaikutus polttojakeen ominaisuuksiin*. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto LUT (nyk. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT), Energia-tekniikka. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201704186179>.

Patentti- ja rekisterihallitus (2023). *Tavaramerkkitietopalvelu*. Viitattu 11.11.2023, <https://tavaramerkkitietopalvelu.prh.fi/fi/>.

Pinto, P. C. R. O., Sousa, A. F., Silvestre, A. J. D., Pascoal Neto, C., Gandini, A., Eckerman, C. & Holmbom, B. (2009). *Quercus suber* and *Betula pendula* outer barks as renewable sources of oleochemicals: A comparative study. *Industrial Crops and Products*, 29(1), ss. 126–132.

Pirinen, H. (2018). Koivu. Teoksessa: Pirinen, H. (toim.), *Luonnontuoteopas – Toimintaympäristö, työskentely ja tuotteistaminen luonnontuotealalla*. Helsinki: Opetushallitus, ss. 226–240.

Pirinen, H. (2023). *Luonnontuotealan täydennyskoulutuksen opintojakson ‘3. Luonnontuotteiden ainesosat, ominaisuudet ja hyödyntäminen’ kehittämistehtävän ohjauskeskustelu*. Teams-tapaaminen 25.10.2023: Heli Pirinen, Marja-Liisa Järvelä, Mari Mäki-Kahma-Lahti ja Katja Perttu.

Pro Puu ry (2023a). *Betula pubescens – Hieskoivu*. Viitattu 25.7.2023, <https://puuproffa.fi/puutieto/yleista-puista/hieskoivu/>.

Pro Puu ry (2023b). *Betula pendula – Rauduskoivu*. Viitattu 25.7.2023, <https://puuproffa.fi/puutieto/yleista-puista/rauduskoivu/>.

Pro Puu ry (2023c). *Puun kerrokset*. Viitattu 25.7.2023, <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-kerrokset/>.

Raitanen, J. E., Järvenpää, E., Korpinen, R., Mäkinen, S., Hellström, J., Kilpeläinen, P., Liimatainen, J., Ora, A., Tupasela, T. & Jyske, T. (2020). Tannins of Conifer Bark as Nordic Piquancy-Sustainable Preservative and Aroma? *Molecules*, 2020, 25(3), 567.

Routa, J., Brännström, H., Anttila, P., Mäkinen, M., Jänis, J. & Asikainen, A. (2017). *Wood extractives of Finnish pine, spruce and birch – availability and optimal sources of compounds*. Natural resources and bioeconomy studies 73/2017. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-495-3>.

Rutanen, J., Wacklin, S. & Partanen, B. (2023). *Kestävästi ja vastuullisesti monipuolista arvonlisää – Luonnontuotealan toimintaohjelma 2030*. Helsingin yliopiston Ruralia-instituutin Raportteja 225. Viitattu 22.9.2023, <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/88e67b82-37cb-44e5-8ca0-0116dfdb51a8/content>.

Räisänen, T., Athanassiadis & D. (2013). *Basic chemical composition of the biomass components of pine, spruce and birch*. Viitattu 18.9.2023, http://biofuelregion.se/wp-content/uploads/2017/01/1_2_IS_2013-01-31_Basic_chemical_composition.pdf.

Sailaranta, T. (2023). *Metsä Boardin loppuvuosi on lohduton, mutta edessä siintävät jo valoisimmat ajat*. Kauppalehti 13.11.2023. Viitattu 15.11.2023, <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/metsa-boardin-loppuvuosi-on-lohduton-mutta-edessa-siintavat-jo-valoisimmat-ajat/33256ef0-eccd-489b-a7f6-6c1f70b9abc4>.

Schlenger, R. (2022). *Hilfe für die Schmetterlingskinder – Mit Filsuvez® steht ab sofort ein Arzneimittel zur Wundversorgung zur Verfügung*. Viitattu 11.11.2023, <https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/daz-az/2022/daz-36-2022/hilfe-fuer-die-schmetterlingskinder>.

Šiman, P., Filipova, A., Ticha, A., Niang, M., Bezrouk, A. & Havelek, R. Effective method of purification of betulin from birch bark: The importance of its purity for scientific and medicinal use. *PLoS ONE*, 11(5), ss. n/a–n/a.

Suomi.fi-verkkotoimitus (2023). *Keksinnön, tuoteidean ja osaamisen suojaaminen*. Viitattu 11.11.2023, <https://www.suomi.fi/yritykselle/tuotteiden-ja-palveluiden-kehittaminen/tuoteideat-ja-keksinnot/opas/yrityksen-aineettoman-omaisuuden-hallinta/keksinnon-tuoteidean-ja-osaamisen-suojaaminen>.

Tuli, H. S., Sak, K., Gupta, D. S., Kaur, G., Aggarwal, D., Chaturvedi Parashar, N., Choudhary, R., Yerer, M.B., Kaur, J., Kumar, M., Garg, V. K. & Sethi, G. Anti-Inflammatory and Anticancer Properties of Birch Bark-Derived Betulin: Recent Developments. *Plants (Basel)*, 10(12): 2663.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) (ei julkaisuajankohtaa (a)). *Biosidit*. Viitattu 14.11.2023, <https://tukes.fi/kemikaalit/biosidit>.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) (ei julkaisuajankohtaa (b)). *CLP-asetus*. Viitattu 14.11.2023, <https://tukes.fi/kemikaalit/clp-luokitus-merkinnat-ja-pakkaaminen/cpl-asetus>.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) (ei julkaisuajankohtaa (c)). *Käyttöturvallisuustiedote*. Viitattu 14.11.2023, <https://tukes.fi/kemikaalit/reach/kayttoturvallisuustiedote>.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) (ei julkaisuajankohtaa (d)). *Luokitus, merkinnät ja pakkaaminen*. Viitattu 14.11.2023, <https://tukes.fi/kemikaalit/clp-luokitus-merkinnat-ja-pakkaaminen>.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM), maa- ja metsätalousministeriö (MMM), ympäristöministeriö (YM), opetus- ja kulttuuriministeriö (OKM), sosiaali- ja terveysministeriö (STM), liikenne- ja viestintäministeriö (LVM), valtiovarainministeriö (VVM) & valtioneuvoston kanslia (2022). *Suomen biotalousstrategia: Kestävästi kohti korkeampaa arvonalisää*. Valtioneuvoston julkaisuja 2022:3. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-547-4>.

Vaahtera, E. (toim.) (2023). *Metsätalastollinen vuosikirja 2022*. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-584-2>.

Viitanen, J., Mutanen, A. & Karvinen, S. (toim.) 2023. *Metsäsektorin suhdannetiedote 2023*. Luonnonvarakeskus. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-736-5>.

Wacklin, S. (2022). *Toimialaraportit: Arvoketjuja vahvistamalla volyyymia luonnontuotealalle*. TEM toimialaraportit 2022:5. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-985-8>.

Wojtech, M. (2013). *The Language of Bark*. Viitattu 25.7.2023, <https://www.americanforests.org/article/the-language-of-bark/>.

Kuvat ovat tekijöiden, ellei muuta lähdettä ole mainittu kuvan yhteydessä.