

Sahateollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisen kehitys ja haasteet

Sonja Kuusisto
Materiaalitekniikka
Kone- ja materiaalitekniikan laitos
Teknillinen tiedekunta
Turun yliopisto

12.3.2025

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidaatintutkielma

Oppiaine: Materiaalitekniikka

Tekijä: Sonja Kuusisto

Otsikko: Sahateollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisen kehitys ja haasteet

Ohjaaja: FT Emilia Palo

Sivumäärä: 27 sivua

Päivämäärä: 12.3.2025

Suomalaisessa sahatöissä syntyy tuotannon sivuvirtoja jopa 13 miljoonaa kuutiometriä vuosittain. Sivuvirtojen määrä on siis merkittävä, mutta nykyisellään niiden jalostusarvo on kuitenkin verrattain matala – metsäteollisuuden puuraaka-aineesta noin viidesosa päätyy lopulta energiantuotannon raaka-aineeksi. Sahateollisuuden sivuvirrat tarjoavat siis runsaan ja edullisen raaka-aineen uusille, korkeamman jalostusasteen tuotteille.

Tässä tutkielmassa tarkastellaan sahatöiden sivuvirtojen hyötykäytön tutkimusta korkeamman jalostusarvon tuotteissa, sekä innovaatioiden kaupallistamisen haasteita. Erityisesti tarkastellaan sahanpurun ja kuoren hyötykäytön tutkimuksen ja kehityksen nykytilaa ja tulevaisuuden näkymiä. Sahanpurun ja kuoren raaka-ainekäytöstä erilaisissa sovelluksissa on paljon tutkimusta, joista tämä tutkielma käsittelee kuutta erilaista tuotetta. Kuoren raaka-ainekäytöstä tarkastellaan mahdollisuuksia tanniinin uuttoon sekä kuoren käyttämistä biomassana biohiilen tai aktiivihiihen tuotannossa. Sahanpurun osalta tarkastellaan mahdollisuuksia furfuraalin ja levuliinihapon tuotantoon sekä sahanpurun hemiselluloosan, tarkemmin galaktoglukomannaanin (kuusikumin), hyötykäyttöön.

Tutkielmassa eri sivuvirtojen hyötykäytön merkittävimmiksi haasteiksi tunnistettiin teknologian kypsyys (TRL, technology readiness level) sekä toimintaympäristön vakaus. Korkein teknologinen kypsyys oli biohiilellä ja aktiivihiihellä sekä sahanpurusta saatavalla kuusikumilla (TRL 7–9), kun taas matalin oli sahanpurusta jalostettavalla furfuraalilla (TRL 5–6). Teknologioiden kypsyydestä huolimatta kaikki tässä tutkielmassa käsitellyt teknologiat vaatisivat teollisessa mittakaavassa toteutuakseen jopa kymmenien miljoonien eurojen investoinnit laitosta kohti. Investointien suuruuden takia toimintaympäristön vakaus ja ennustettavuus ovat keskeisiä alan toimijoille. Tulevaisuudessa varsinkin kestävä kehitys ja vihreän siirtymän nähdään olevan keskeisiä ajureita puupohjaisten tuotteiden kaupallistamiselle.

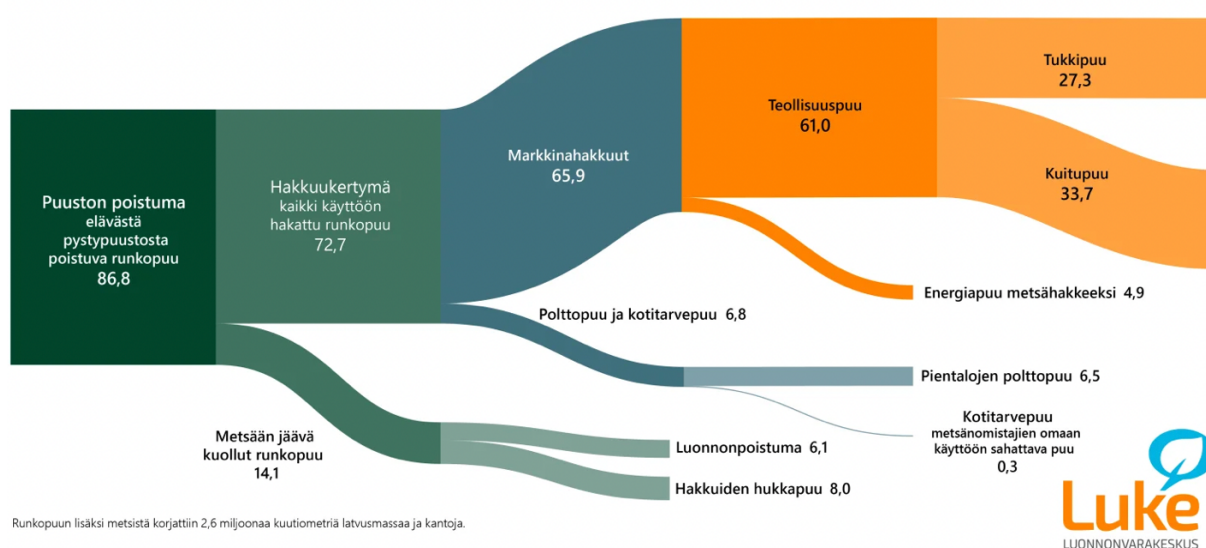
Avainsanat: metsäteollisuus, sahatöiden sivuvirta, sahanpuru, kuori, kiertotalous, kestävä kehitys, vihreä siirtymä

Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Sahateollisuus ja sen sivuvirrat	7
2.1	Sahateollisuus	7
2.2	Sahateollisuuden sivuvirrat ja niiden hyödyntäminen	7
2.2.1	Kuori	8
2.2.2	Hake	8
2.2.3	Sahanpuru	9
2.3	Biomassan kaskadiperusteinen hyötykäyttö	9
3	Sahateollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisen tutkimus ja kehitys	11
3.1	Tutkimus- ja kehityshankkeita kuoren hyödyntämiseksi	11
3.1.1	Tanniinin uutto	11
3.1.2	Biohiili ja aktiivihiihi	12
3.2	Tutkimus- ja kehityshankkeita sahanpurun hyödyntämiseksi	13
3.2.1	Hemiselluloosa ja kuusikumi	14
3.2.2	Furfuraali ja levuliinihappo	14
4	Sahateollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisen haasteet	16
4.1	Teknologian kypsyys (TRL)	16
4.2	Toimintaympäristön vakaus	18
5	Tulevaisuuden näkymät sahteollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisessä	20
5.1	Suomen biotalousstrategia	20
5.2	Kestävä kehitys ja vihreä siirtymä	20
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	22
	Lähteet	24

1 Johdanto

Suomen pinta-alasta metsiä on yli 75 %, ja ne kasvavat vuosittain noin 104 miljoonaa kuutiometriä [1]. Puuston vuotuinen poistuma vuonna 2023 oli noin 86,8 miljoonaa kuutiometriä, josta hakkuukertymä, eli käyttöön hakattua runkopuuta, oli noin 72,7 miljoonaa kuutiometriä. Loput 14,1 miljoonaa kuutiometriä puuston poistumasta on metsään jäävää kuollutta runkopuuta (Kuva 1). Vuonna 2023 puuston kokonaistilavuus kasvoi noin 17 miljoonalla kuutiometrillä [2]. Metsät ovat siis kestävästi käytettynä tärkeä ja merkittävä luonnonvara Suomessa.

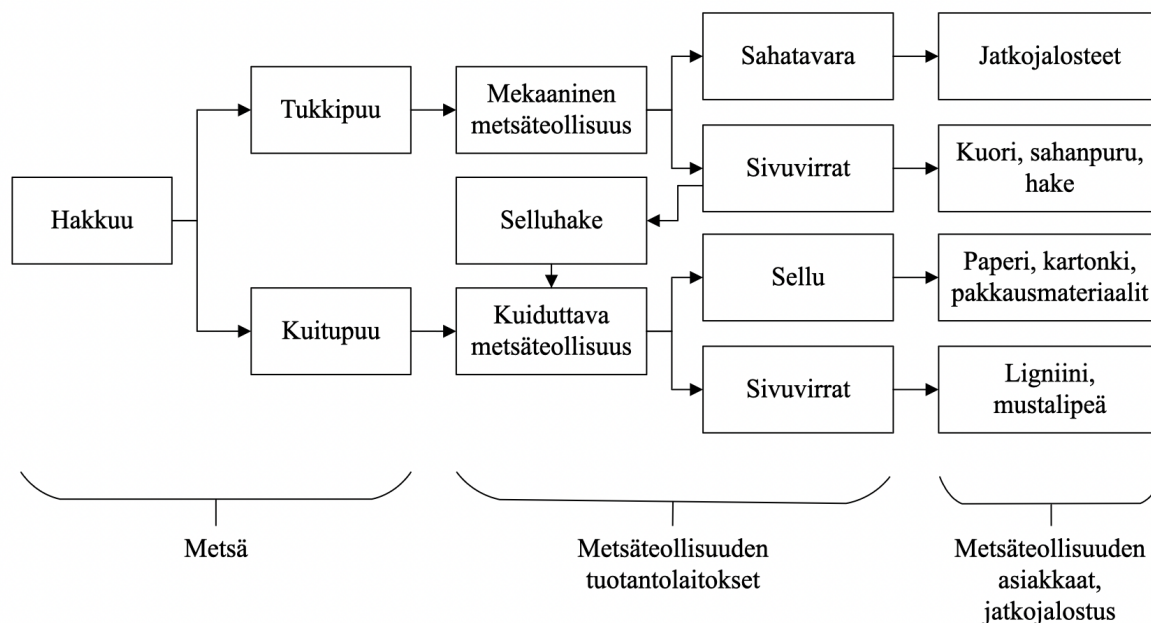


Kuva 1. Puuston poistuman ja hakkuiden runkopuu 2023 (milj. m³). Kuva: Luonnonvarakeskus (2024) [2]

Metsäteollisuuden rooli on Suomessa sekä kansantaloudellisesti että työllistäjänä merkittävä [3]. Suomessa metsäteollisuuden tuotantolaitoksia on yhteensä 134, ja metsäteollisuus työllistää suoraan tai välillisesti yli 80 000 henkilöä. Metsäteollisuus on Suomessa myös merkittävä vientiala, sillä sen osuus Suomen tavaraviennistä on noin 15,9 % [4].

Metsäteollisuus käsitteenä sisältää sekä kuiduttavan teollisuuden että mekaanisen metsäteollisuuden tai sahateollisuuden yritykset. Kuiduttava metsäteollisuus nimensä mukaisesti keskittyy puun kuidun jalostukseen, ja kuiduttava metsäteollisuus onkin pääasiallisesti selluteollisuutta, joka sisältää kemiallisen prosessin sellukuidun erottamiseksi puusta. Mekaaninen metsäteollisuus tai sahateollisuus jalostaa tukkipuuta mekaanisesti sahatavaraksi ja sahatavaran jatkojalosteiksi, kuten höylätuotteiksi [5]. Metsäteollisuuden

yritykset ovat siis toiminnaltaan ja tuotannoltaan keskenään hyvinkin erilaisia. Metsäteollisuuden sektorit sekä sen yleisimmät raaka-ainevirrat ovat kuvattuna Kuvassa 2.



Kuva 2. Metsäteollisuuden sektorit sekä pääasialliset raaka-ainevirrat.

Sivuvirroilla tarkoitetaan yleisesti tuotannossa syntyviä materiaalivirtoja, jotka syntyvät varsinaisen päätuotteen ohessa eikä niiden syntymistä voi estää, mutta jotka eivät myöskään päädy päätuotteeseen [6]. Metsäteollisuudessa tällaisia sivuvirtoja on esimerkiksi metsähake ja -jäte, eli hakkuusta johtuvat puubiomassat, kuten puiden kannot ja oksat, kuori, sahanpuru, hake sekä ligniini tai mustalipeä, joka on sellunkeiton sivussa syntyvä tuotannon sivuvirta [7]. Yleisesti metsäteollisuudessa sivuvirtojen määrä on merkittävä, mutta sivuvirtojen jalostusarvo on suhteellisen matala, sillä metsäteollisuuden puuraaka-aineesta noin yksi viidesosa menee suoraan energian raaka-aineeksi, eli polttoon [8]. Nykyisellään siis sahateollisuuden sivuvirtojen käyttö ei ole linjassa Euroopan unionin energiadirektiivin (RED III) kanssa, sillä direktiivillä pyritään edesauttamaan puubiomassan käyttöä kaskadikäyttöpöerusteen mukaan, eli korkeimman taloudellisen ja ekologisen lisäarvon mukaan [9].

Suomen biotalousstrategian tavoite on kaksinkertaistaa Suomen metsäbiotalouden arvonnä vuoteen 2035 mennessä [3]. Tavoitteen saavuttamiseksi metsäsektorin tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnalle on kysyntää. Tutkimus- ja kehityshankkeiden lisäksi innovaatioiden kaupallistaminen ja markkinoille saattaminen on tärkeää. Tämän kandidaatintutkielman tarkoitus on käsitellä ja koota yhteen viimeisimpiä sahateollisuuden sivuvirtojen

hyödyntämisen tutkimus- ja kehityshankkeita sekä nostaa esille sektorin tulevaisuuden näkymiä. Tutkielma keskittyy sahateollisuuden sivuvirtoihin ja niiden hyötykäyttöön, ja sen vuoksi kuiduttava metsäteollisuus tai selluteollisuus on rajattu työn aihealueen ulkopuolelle.

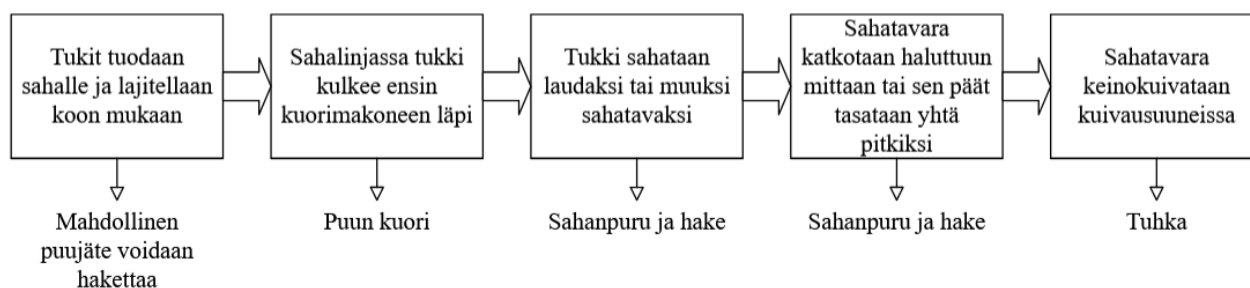
Työn toisessa kappaleessa tarkastellaan suomalaista sahateollisuutta ja sen tuottamia sivuvirtoja, sekä sivuvirtojen tämänhetkisiä yleisimpiä käyttökohteita. Kolmannessa kappaleessa käsitellään sahateollisuuden sivuvirtojen tutkimuksen nykytilaa, ja neljäs kappale nostaa esille sivuvirtojen hyödyntämisen haasteita. Viidennessä kappaleessa tarkastellaan sahateollisuuden sivuvirtojen hyötykäytön tulevaisuuden näkymiä, kuudennessa ja viimeisessä osiossa esitellään tutkielman yhteenveto ja johtopäätökset. Tässä kandidaatintutkielmassa on käytetty ChatGPT-tekoälysovellusta alkuperäisten lähteiden kääntämiseen suomeksi.

2 Sahateollisuus ja sen sivuvirrat

2.1 Sahateollisuus

Suomalainen sahateollisuus jalostaa lähinnä havutukkipuuta (mänty ja kuusi) sahatavaraksi. Suomessa toimii noin 80 teollista sahalaitosta, joiden sahatavaratuotannon vuosittainen kapasiteetti on 12 miljoonaa kuutiometriä. Sahatavara on Suomen viidenneksi suurin vientituote, ja suomalaista sahatavaraa viedään tällä hetkellä noin 60 maahan [10]. Sahatavaran tavaraviennin arvo vuonna 2023 oli 1,8 miljardia euroa [11].

Sahausprosessissa tukit ajetaan ensin kuorimakoneen läpi, mikä irrottaa kuoren tukista. Tämän jälkeen tukki kulkee sahauslinjan läpi, jossa tukki sahataan sahatavaraksi [7]. Sahausten jälkeen sahatavarat lajitellaan koon ja/tai laadun mukaan sekä kuivataan ja paketoitetaan. Sahan tuotantoprosessi on kuvattu Kuvassa 3.



Kuva 3. Sahan tuotantoprosessi ja sivuvirtojen syntyminen.

2.2 Sahateollisuuden sivuvirrat ja niiden hyödyntäminen

Teollisuuden sivuvirrat koostuvat yleisesti raaka-aineista saatavista sivutuotteista sekä tuotannon prosessijätteistä. Sahateollisuudessa niitä ovat puun kuori, sahanpuru, hake ja tuhka. Keskimääräisesti yhteen sahatavarakuutiometriin tarvitaan noin 2,2 m³ tukkipuuta, eli eri sivuvirtoja muodostuu noin 55 % koko sahatavaruuteen käytetystä raakapuumäärästä [12]. Vuonna 2023 sahatavaran tuotantomäärä Suomessa oli noin 10,4 miljoonaa kuutiometriä [13]. Raakapuuta (tukkipuuta) käytettiin sahatavaran tuotantoon 23,8 miljoonaa kuutiometriä, ja sahatavaruuden sivuvirtoja toimitettiin muulle metsäteollisuudelle noin 8,5 miljoonaa kuutiometriä [14]. Muulle metsäteollisuudelle toimitettuihin sivuvirtoihin ei yleisesti sisälly sahalaitosten omaan energiantuotantoon käyttämät sivuvirrat, sillä ne ovat tuotantolaitosten tai

laitossymbioosien sisäisiä tuotevirtoja. Kertomalla sahateollisuuden käyttämä kokonaisraakapuumäärä sivuvirtojen muodostumisprosentilla, kokonaissivuvirtojen määräksi saadaan noin 13,1 miljoonaa kuutiometriä. Sivuvirtojen suuren määrän takia niiden hyödyntäminen on erityisen tärkeää sekä yrityksen jätevirtojen että kansatalouden kannalta [15]. Yleisimpien sivuvirtojen syntyminen on eritelty Taulukossa 1.

Taulukko 1. Sahateollisuuden sivuvirrat ja niiden syntyminen sahausprosessissa [7, p. 268]

Sivuvirta	Sivuvirran syntyminen sahausprosessissa
Hake	Tukkien sahaus sahauslinjassa
Sahanpuru	Tukkien sahaus sahauslinjassa
Kuori	Tukkien kuoriminen kuorimakoneessa
Puun palaset ja katkonat	Sahatavaran katkonta, reunojen tasaus, jatkojalostus (haketetaan sahakkeeksi)
Tuhka	Puutavaran keinokuivaus kuivausuuneissa

Tuhkan kertyminen sahateollisuudessa on pienimuotoista muihin sivuvirtoihin verrattuna [7], minkä vuoksi tuhkaa ja sen hyötykäyttöä ei tarkastella tässä kandidaatintyössä tarkemmin.

2.2.1 Kuori

Sahateollisuudessa puun kuori poistetaan tukista kuorimakoneella. Kuoren määrä tukissa on keskimäärin noin 9 %. Kuorella on suhteellisen korkea lämpöarvo [16], ja sen pääasiallinen käyttökohde onkin energian tuotanto, jolloin kuori poltetaan kaukolämmöksi [12, 10]. Lisäksi kuoresta tehdään kuorikatetta puutarhojen ja viheralueiden hoitoon sekä maisemointiin [7]. Havupuun kuorella on tyypillisesti matala hiilihydraattipitoisuus ja korkea ligniinipitoisuus. Tämän lisäksi kuori sisältää huomattavan määrän erilaisia uutteita, kuten tanniineja, joiden pääasiallinen tarkoitus on puun suojeleminen [16].

2.2.2 Hake

Haketta syntyy sahauksen sivutuotteena noin 32 %. Hake, kuten puuaineesi yleisesti, koostuu ligniinistä, hemiselluloosasta ja selluloosasta [17]. Hake syntyy pääosin nuoresta pintapuusta, eli tukin uloimmista kerroksista ja sen pääasiallinen käyttökohde on toimia sellumassan raaka-aineena [12]. Sahakkeen rakenne on pitkäkuituinen, jolloin se tarjoaa sellumassaan sopivat lujuusominaisuudet [10]. Hakkeen jalostusarvo on siis suhteellisen korkea muihin sahateollisuuden sivuvirtoihin verrattuna.

2.2.3 Sahanpuru

Sahanpuru syntyy sahausprosessissa noin 9 % raaka-aineesta. Kuten hake, sahanpuru sisältää myös ligniiniä, hemiselluloosaa ja selluloosaa, mutta sen rakenne on huomattavasti lyhytkuituisempi kuin hakkeen. Sahanpurun yleisimmät käyttökohteet ovat lastu- ja kuitulevyjen valmistus (levyteollisuus) sekä pellettien valmistus energiantuotannon raaka-aineeksi [12, 7]. Sahanpuru soveltuu myös sellaisenaan esimerkiksi kaukolämmön tuotantoon, ja monet sahat käyttävät sahanpuruja omaan energiantuotantoon tai muihin sisäisiin symbiooseihin [7]. Tämän lisäksi esimerkiksi osa sellutehtaista hyödyntää myös sahanpuruja sellumassan raaka-aineena [10].

2.3 Biomassan kaskadiperusteinen hyötykäyttö

Nykyisellään sahatteollisuuden sivuvirrat ohjautuvat lähes kokonaisuudessaan joko energiaksi tai selluteollisuuteen. Euroopan unionin energiadirektiivillä (RED III) pyritään edistämään puubiomassan käyttöä kaskadikäyttöperusteen mukaan, eli korkeimman taloudellisen ja ekologisen lisäarvon mukaan. Direktiivin puubiomassan käytön prioriteettijärjestys on seuraava: (1) puupohjaiset tuotteet, (2) puuperäisten tuotteiden käyttöä jatkaminen, (3) uudelleenkäyttö, (4) kierrätys, (5) bioenergia ja (6) loppukäsittely (hävittäminen/kaatopaikka) [9].

Selluteollisuus, ja siten hakkeen yleisin hyötykäyttö, sijoittuu ensimmäiseen prioriteettiin (puupohjaiset tuotteet). Kuoren ja sahanpurun energiakäyttö kuitenkin sijoittuu prioriteettijärjestyksessä vasta toiseksi viimeisimmälle sijalle (bioenergia) (Taulukko 2), luoden markkinoille kannustimia juuri kuoren ja sahanpurun hyötykäytön edistämiseksi ja kehittämiseksi korkeamman jalostusarvon tuotteissa ja sovellutuksissa. Jalostusarvon kasvattaminen on myös linjassa Suomen biotalousstrategian kanssa, jonka tavoitteena on kaksinkertaistaa biopohjaisten tuotteiden arvonlisä vuoteen 2035 mennessä [3]. Sahanpuruun liittyvien sivuvirtojen yleisimmät hyödyntämiskohteet ja kyseisen biomassan hyödyntämiskohteen ensisijaisuus kaskadikäyttöperusteen mukaan ovat listattuna Taulukossa 2.

Taulukko 2. Sahateollisuuden sivuvirrat ja niiden nykyiset käyttökohteet sekä biomassan käyttökohteen ensisijaisuus kaskadikäyttöperusteen mukaan. [7, 9]

Sivuvirta	Yleinen käyttökohde	Ensisijaisuus (RED III)
Kuori	Poltto, energia	Bioenergia (5)
	Katemateriaali, maisemointi	Puupohjaiset tuotteet (1)
Sahanpuru	Pelletit, energia	Bioenergia (5)
	Poltto, energia	Bioenergia (5)
	Levytuotteet	Puupohjaiset tuotteet (1)
	Selluteollisuus	Puupohjaiset tuotteet (1)
Hake	Selluteollisuus	Puupohjaiset tuotteet (1)

Suomessa puunkäytön odotetaan kasvavan vuoteen 2040 mennessä skenaariosta riippuen 7,5–43 % [18]. Vaikka 7,5 % kasvun olettaisi olevan skenaarioista realistisin, se silti tarkoittaisi nykyisten puunkäyttötasojen mukaan lähes 1,8 miljoonan kuutiometrin kasvua sahatteollisuuden raakapuun käyttöön sekä 0,98 miljoonan kuutiometrin kasvua sahatteollisuuden sivuvirtoihin [14]. Sahateollisuuden sivuvirrat tarjoavat siis runsaan raaka-ainelähteen tuotteille ja sovellutuksille, joissa niitä voitaisi hyödyntää. Sivuvirtojen hyödyntäminen korkeamman jalostusarvon tuotteissa nostaisi myös sahojen kokonaistuotannon arvoa sekä toisi lisää työpaikkoja [15].

3 Sahateollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisen tutkimus ja kehitys

Sahateollisuuden sivuvirtojen volyymi on merkittävä ja sen odotetaan yhä kasvavan tulevaisuudessa. Vastaavasti, sivuvirtojen käytöstä on myös paljon sekä aikaisempia että käynnissä olevia tutkimushankkeita. Tutkimus- ja kehitystyötä sahojen sivuvirtojen hyödyntämisestä tehdään sekä korkeakouluissa että yrityksissä, kuitenkin usein yhteistyössä sekä monialaisissa tutkimus- ja projektiryhmissä [19].

Sahauksen yhteydessä syntyvää puuhaketta käytetään yleisimmin selluteollisuuden raaka-aineena [10]. Koska selluhakkeelle on kysyntää, ja sivuvirtana sen jalostusarvo on jo verrattain korkea, alan tutkimus- ja kehityshankkeet keskittyvät lähinnä sahanpurun ja kuoren hyödyntämiseen. Tämä kappale käsittelee sekä käynnissä olevia että aikaisempia kehityshankkeita sahanpurun ja kuoren hyödyntämisestä suuremman jalostusarvon sovellutuksissa. Käsiteltävät tutkimus- ja kehityshankkeet on valittu hankkeiden julkaisujen sekä relevanttiuden perusteella käyttämällä harkinnanvaraista otantaa. Osa hankkeista jäi otannan ulkopuolelle tai niiden tutkimuksia käsitellään vain rajallisesti, sillä julkaistuja tuloksia ei ollut saatavilla johtuen yritys yhteistyöstä.

3.1 Tutkimus- ja kehityshankkeita kuoren hyödyntämiseksi

Sahojen sivuvirtana kuorelle ei tällä hetkellä ole juuri muita vartenotettavia käyttökohteita kuin energian tuotanto [20]. Kuorta tulee sivuaineena sahoilta keskimäärin noin 9 % koko raaka-aineena käytetystä tukkipuusta, vuonna 2023 käytetyllä raakapuun määrällä sivuvirtana tulleen kuoren määrä oli siis noin 2,14 miljoonaa kuutiometriä. Kuori tarjoaa siis runsaan raaka-ainelähteen sitä hyödyntäviin tuotteisiin ja sovellutuksiin.

Kuten puuainekin, puun kuori sisältää hiilihydraatteja ja ligniiniä, mutta niiden lisäksi kuoressa on myös huomattavia määriä erilaisia ja arvokkaita uuteaineita ja komponentteja, joita voitaisi hyödyntää entistä enemmän ja parantaa siten suomalaisen biotalouden kannattavuutta [21, 18]. Lisäksi, markkinoilla on kysyntää uusiutuvista raaka-aineista valmistetuille kemikaaleille, sillä kemikaaliyhtiöt etsivät aktiivisesti uusia kestäviä ja myrkyttömiä kemikaaleja [21].

3.1.1 Tanniinin uutto

Tanniinit ovat vesiliukoisia polymeerisiä yhdisteitä, joita löytyy suomalaisen havupuun kuoresta runsaasti – noin 10 % kuiva-aineesta [21]. Tanniineja on käytetty esimerkiksi

nahkatuotteissa jo vuosisatojen ajan [16]. Kuitenkin havupuiden tanniinien uutto ja hyötykäyttö on ollut vähäistä, johtuen korkeista tuotantokustannuksista sekä saannon arvioidusta vähäisyydestä [21].

SusBinders -projektissa (2017–2020) Rahikainen ym. (2020) tutkivat tanniinin uuttoa pohjoisten havupuiden, eli kuusen ja männyn, kuoresta. Projektin tutkimuksessa todettiin, että kuusen ja männyn kuoresta voidaan uutaa tanniineja kuumavesiuutolla. Kuumavesiuutetta, eli raakatanniinia, voitaisiin käyttää esimerkiksi korvaamaan 20–50 % fenolista fenolihartsien valmistuksessa. Projektissa tanniinin saanto oli melko alhainen, 8,7–14 %, ja korkeiden tuotantokustannusten takia vain suuren mittakaavan tuotanto (7300 tonnia/vuosi) olisi kannattavaa [21]. Projektin kuumavesiuutossa haasteellisinta oli saannon kasvattaminen sekä raakatanniinin puhdistus hiilihydraateista. Tämän takia suosituksena olisi käyttää raakatanniinia (kuumavesiuutetta ennen hiilihydraattien poistoa) nestemäisessä muodossa hartsien valmistukseen [21]. Muita tanniinin tutkittuja ja lupaavimpia käyttökohteita ovat esimerkiksi puuliimat ja eristeinä hyödynnettävät vaahtomateriaalit [16].

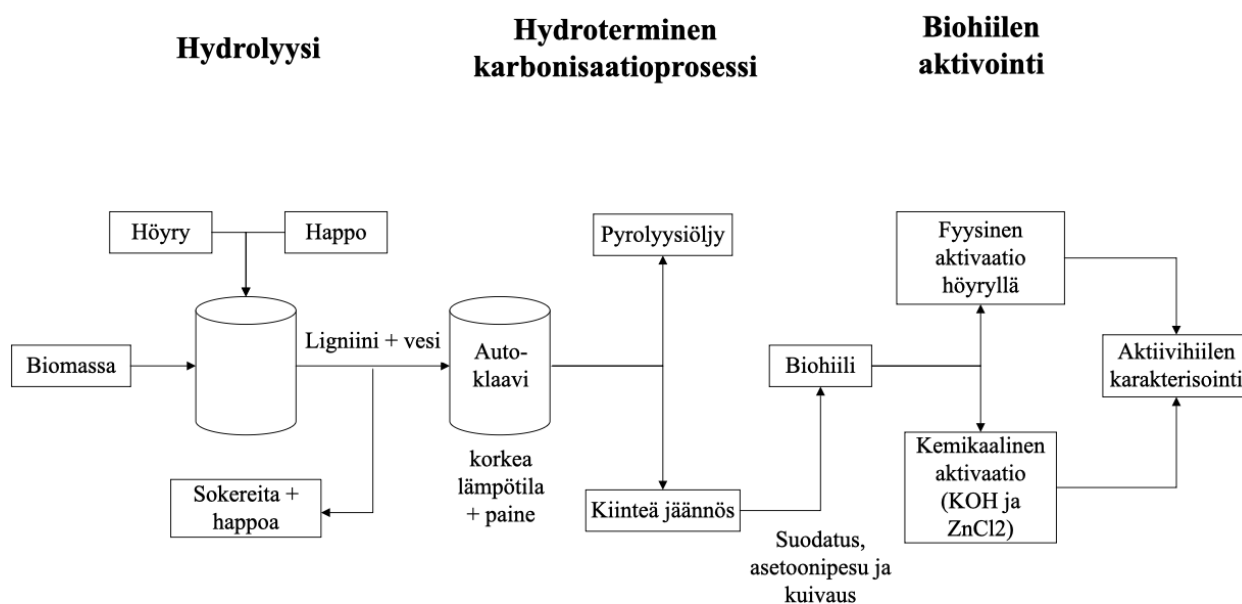
Tanniinien uutto ei tutkimusten mukaan vaikuta kuoren lämpöarvoon ja sitä kautta sen käyttöön energian tuotannossa. Kuoresta on siis mahdollista ensin uutaa sen sisältämiä tanniineja, ja sen jälkeen käyttää loppu kuoriaines energiaksi [21].

3.1.2 Biohiili ja aktiivihiili

Havupuun kuorta voidaan hyödyntää biohiilen raaka-aineena [20]. Biohiili on biomassasta pyrolyysissä valmistettu hiilipitoinen kiinteä aine, jota kutsutaan myös tekniseksi hiileksi. Sen valmistusmenetelmässä kuoresta uutetaan ensin tanniinia, ja sen jälkeen jäljelle jääneestä biomassasta valmistetaan biohiiltä tai teknistä hiiltä. Biohiili sitoo tehokkaasti esimerkiksi fosforia ja typpeä, ja sitä voidaankin siksi käyttää esimerkiksi karjan kuivikkeena tai kuivikkeen osana [20]. Biohiili on myös niin sanotusti välituote, josta voidaan jatkojalostaa esimerkiksi aktiivihiiltä, hiilimustaa tai hiilikuitua [22].

Biomassasta valmistettua teknistä hiiltä kutsutaan myös biohiileksi, jota voidaan edelleen aktivoida aktiivihiileksi. Aktiivihiilen ominaisuuksia ovat erittäin huokoinen rakenne ja siitä johtuva suuri kokonaispinta-ala. Näistä ominaisuuksista johtuen aktiivihiiltä hyödynnetään yleisesti esimerkiksi puhdistussovelluksissa, kuten jätevedenpuhdistuksessa ja kaasujen puhdistusprosesseissa, sillä suurempi pinta-ala sekä huokosmäärä edesauttavat aktiivihiilen absorptiokykyä [23].

Biohiilen aktivointi voidaan tehdä joko fysikaalisella tai kemiallisella aktivoinnilla [16]. Fysikaalisessa aktivoinnissa käytetään aktivointiaineena joko höyryä tai hiilidioksidia korkeassa lämpötilassa (750–900 °C), kun taas kemialliseen aktivointiin käytetään aktivointiainetta, kuten kaliumhydroksidia (KOH), sinkkikloridia ($ZnCl_2$) tai fosforihappoa (H_3PO_4) [24]. Näistä $ZnCl_2$:n käytön aktivointiaineena on todettu johtavan suurimpaan kokonaispinta-alaan [16]. Biomassan valmistusprosessi biohiileksi ja edelleen aktivointi aktiivihiileksi on esitetty Kuvassa 4.



Kuva 4. Aktiivihiilen valmistus biomassasta [16, p. 21]

Biohiilen aktivointia erilaisilla menetelmillä tutkittiin osana Bioraff Botnia -hanketta (2015–2018 [16]. Hankkeen tulokset osoittivat, että sinkkikloridin ($ZnCl_2$) käyttö aktivointiaineena tuotti suurimman pinta-alaan ($1660 \text{ m}^2/\text{g}$), saannon (48,2 %) sekä huokosmäärän ($1,19 \text{ cm}^3/\text{g}$) aktiivihiilessä. Suurin osa $ZnCl_2$ -aktivoituneen biomassan huokoskoosta oli mikrohuokoista (75,6 %). Huokoskokoa oli mahdollista muuttaa mikrohuokoisesta mesohuokoiseen vaihtamalla aktivointiainetta kaliumhydroksidiin (KOH) [16, p. 23].

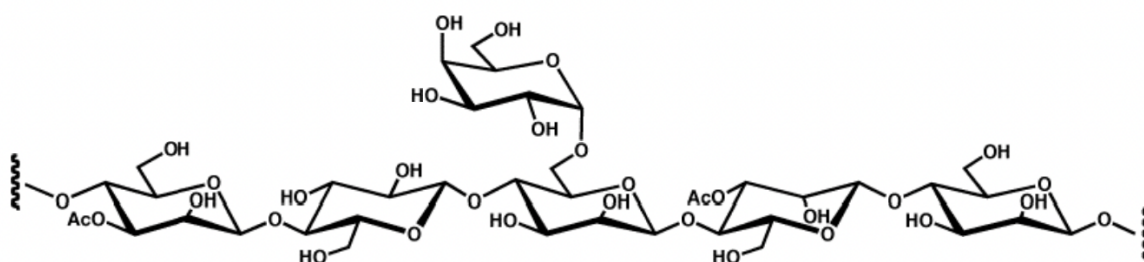
3.2 Tutkimus- ja kehityshankkeita sahanpurun hyödyntämiseksi

Sahanpurusta osa hyödynnetään tällä hetkellä levyteollisuuden tai sellutehtaiden raaka-aineena. Tästä huolimatta valtaosa sahatteellisuuden sivuvirtana tulevasta sahanpurusta päätyy energiaksi, joko pelletteinä tai suoraan poltettuna tuotantolaitoksissa [7]. Sahanpurua tulee sivuaineena sahoilta keskimäärin 9 % koko raaka-aineena käytetystä tukkipuusta, vuonna 2023

käytetyllä raakapuun määrällä sivuvirtana syntyneen sahanpurun määrä oli siis noin 2,14 miljoonaa kuutiometriä, eli saman verran kuin kuorta. Sahanpuru on hienoksi sahattua puuainesta, joka koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä [17].

3.2.1 Hemiselluloosa ja kuusikumi

Hemiselluloosat koostuvat polysakkarideista, ja ne sijaitsevat kasvien soluseinissä vahvistamassa kasvien rakennetta [25]. Havupuiden pääasiallinen hemiselluloosa on galaktoglukomannaani (GGM), jota esiintyy runsaasti havupuissa. Galaktoglukomannaanin kemiallinen rakenne on kuvattuna Kuvassa 5.



Kuva 5. Galaktoglukomannaanin (GGM) kemiallinen rakenne [25, p. 12]

Galaktoglukomannaania voidaan ottaa talteen sahateollisuuden sivutuotteista, etenkin kuusisahanpurusta, ja sitä kutsutaankin myös nimellä kuusikumi [26]. Kuusikumia saadaan erotettua kuusisahanpurusta paineistetulla kuumavesiuitolla [27, 28]. Kuusikumilla voidaan korvata esimerkiksi lähinnä Intiassa tuotetun guarkumin käyttöä elintarvikkeiden sakeuttamisaineena, ja luoda siten tuotantoa sekä korkeampaa jalostusastetta Suomeen [20]. Elintarvikkeiden lisäksi kuusikumia voi hyödyntää myös esimerkiksi kosmetiikassa emulgaattorina ja stabilointiaineena [28, 29].

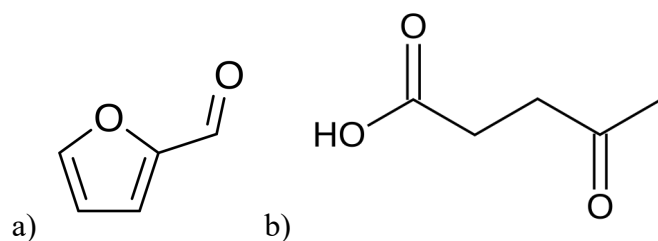
Kuusikumin talteenottoa ja tuotantoa on jo kehitetty Suomessa pitkälle, ja ensimmäinen teollinen jalostuslaitos on tulossa Suomeen vuonna 2026 [29]. Kuusikumin tutkimusta ja teollista tuotantoa on kehitetty muun muassa osana Suomen ympäristökeskuksen CIRCWASTE-hanketta (2016–2023) yhteistyössä useiden teollisuusyritysten kanssa [20].

3.2.2 Furfuraali ja levuliinihappo

Furfuraali ($C_5H_4O_2$), tai 2-furaanikarboksialdehydi, on orgaaninen yhdiste, jota voidaan johtaa biomassasta ja se syntyy monomeeristen sokerien hajoamistuotteena [30]. Sahanpurun hemiselluloosa sisältää monomeerisiä sokereita kuten ksyloosia sekä arabinoosia, jotka

hajoavat pääosin furfuraaliksi korkeissa lämpötiloissa [31]. Furfuraalia ja sen johdannaisia käytetään useissa sovelluksissa, kuten liuottimina, bensiinin lisäaineina, hartseina, biopohjaisina muoveina ja voiteluaineina sekä lääke-, muovi- ja maatalouskemikaaliteollisuudessa [32]. Furfuraali toimii myös alustakemikaalina biokemikaalien ja biopolttoaineiden tuottamiseksi [30].

Levuliinihappo ($C_5H_8O_3$) on myös hemiselluloosan ja selluloosan sisältämien monomeeristen sokerien hajoamistuote [31]. Kuten furfuraalia, levuliinihappoa saadaan myös johdettua biomassasta happokatalysoidun hydrotermisen muuntoprosessin avulla [21]. Levuliinihappoa voidaan myös hyödyntää alustakemikaalina erilaisten kemikaalien valmistuksessa [21]. Tämän lisäksi levuliinihappoa ja sen johdannaisia käytetään lähtöaineina esimerkiksi pehmittimien, lääkkeiden, useanlaisten lisäaineiden sekä hajusteiden ja hajuvesien valmistuksessa [33]. Furfuraalin ja levuliinihapon kemialliset rakenteet on esitetty Kuvassa 6.



Kuva 6. (a) Furfuraalin ja (b) levuliinihapon kemialliset rakenteet

Bioraff Botnia -hankkeessa (2015–2018) muunnettiin havupuiden sahanpurua furfuraaliksi ja levuliinihapoksi yksi- ja kaksivaiheisilla hydrotermisillä muuntoprosesseilla. Yksivaiheisella muuntoprosessilla saavutettiin jopa 43 % levuliinihapposaanto kuusisahanpurusta ja 33 % saanto mäntysahanpurusta. Kaksivaiheisen muuntoprosessin ensimmäinen vaihe oli rikkihapolla katalysoitu mekaaninen depolymerointi. Toisessa vaiheessa materiaali muunnettiin levuliinihapoksi ja furfuraaliksi kaksifaasijärjestelmässä. Kaksivaiheisessa muuntoprosessissa tutkittiin vain mäntysahanpurua, josta levuliinihapon saanto oli noin 35 % ja furfuraalin saanto oli noin 75 %. Varsinkin furfuraalin saanto kaksivaiheisessa prosessissa oli siis erittäin hyvä [16].

4 Sahateollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisen haasteet

Yleisesti Suomessa ja muissa pohjoismaissa edistetään laadukasta ja laaja-alaista metsäsektorin tutkimus- ja kehitystyötä, jota tehdään usein yhteistyössä useamman korkeakoulun sekä yrityssektorin kanssa. Sahateollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisestä on paljon ja kattavaa tutkimusta, ja materiaalien ominaisuudet tunnetaan hyvin. Vaikka sahteollisuuden sivuvirroille (kuori ja sahanpuru) olisi merkittäviä käyttökohteita, niiden hyödyntämisessä korkeamman jalostusarvon sovelluksissa on kuitenkin haasteita. Näistä merkittäviä ovat esimerkiksi teknologian kypsyys ja yritysten toimintaympäristön vakaus.

4.1 Teknologian kypsyys (TRL)

Teknologian kypsyys (technology readiness level, TRL) on mittari, jolla havainnoidaan uusien tuotteiden ja tutkimusten kaupallistamisen ja markkinoille tuomisen vaihetta [34]. Yleisesti TRL:t voidaan jaotella kolmeen vaiheeseen: (1) tutkimus, (2) kehitys ja (3) käyttöönotto, sekä yhdeksään eri kypsyyskategoriaan: (1) ideointi, (2) määritelty konsepti, (3) demonstroitu sovellettavuus, (4) kokeellinen prototyyppi, (5) teknisesti edustava prototyyppi, (6) teollinen prototyyppi, (7) tuotantoprototyyppi, (8) demolaitos ja (9) teollinen laitos ja kaupallinen sovellettavuus [35]. TRL:n jaottelu on kuvattuna tarkemmin Taulukossa 3.

Taulukko 3. Teknologian kypsyyden (technology readiness level, TRL) vaiheet sekä kategoriat. [35, p. 53, 34]

Vaihe	TRL	Kuvaus
Tutkimus	1	Ideointi, peruseriaatteiden havainnointi
	2	Määritelty konsepti
	3	Demonstroitu sovelttavuus
Kehitys	4	Kokeellinen prototyyppi laboratorioympäristössä
	5	Teknisesti edustava prototyyppi
	6	Teollinen prototyyppi
Käyttöönotto	7	Tuotantoprototyyppi teollisuusympäristössä
	8	Demolaitos teollisuusympäristössä
	9	Teollinen laitos ja kaupallinen sovellettavuus

Sahateollisuus ry:n vuonna 2024 tekemän selvityksen mukaan teknologioiden kypsyys uusille sivuvirtatuotteille on melko korkea, sillä moni hanke on lähellä demolaitosta (TRL-kategoria

8). Yleisimpiä haasteita tuotantoteknologioiden käyttöönotossa on kuitenkin teollisen mittakaavan laitosten toimivuus käytännössä teollisuusympäristössä [35]. Tässä kandidaatintyössä käsitellyt sivuvirtatuotteet sekä niiden teknologian tämänhetkinen kypsyys ovat eriteltyinä Taulukossa 4.

Taulukko 4. Sivuvirtatuotteet ja niiden teknologian kypsyys [35].

Tuote	TRL	Kehitysvaiheeseen vaikuttavia tekijöitä
Tanniini	4–9	Korkeat investointikustannukset, monimutkainen valmistusprosessi
Biohiili ja aktiivihiili	7–9	Teollisia tuotantolaitoksia on tällä hetkellä jo Suomessakin, mutta keskeisiä haasteita teknologioiden skaalaaminen, kaupallistaminen, korkeat investointikustannukset
Kuusikumi	7–9	Korkeat investointikustannukset, monimutkainen valmistusprosessi, ensimmäinen teollinen tuotantolaitos valmistumassa 2026
Furfuraali	5–6	Valmistetaan tällä hetkellä kustannustehokkaasti oljesta, havupuun sivuvirtojen käyttö ei niin kustannustehokasta
Levuliinihappo	4–9	Suhteellisen uusi tuote, korkeat investointikustannukset, monimutkainen valmistusprosessi

Tanniinin teknologian kypsyys on arvioitu kategoriaan 4–9 (kokeellinen prototyyppi laboratorioympäristössä – teollinen laitos ja kaupallinen sovellettavuus), sillä sen uutto ja valmistus ei itsessään ole teknologiana uusi ja teollista teknologiaa on globaalisti olemassa, mutta havupuun kuoren käyttö raaka-aineena on vielä kokeellisella tasolla [21]. Biohiilen ja aktiivihiilen teollisen tuotannon haasteita ovat kaupallistaminen ja tuotannon skaalautuvuus. Molemmille tuotteille on kuitenkin jo teollista tuotantoa, joten teknologian kypsyys on tasolla 7–9 (tuotantoprototyyppi teollisuusympäristössä – teollinen laitos ja kaupallinen sovellettavuus) [35]. Myös kuusikumin teknologian valmius on suhteellisen hyvä, ja sillä onkin varteenotettavia kaupallisia sovelluksia. Kuitenkin ensimmäinen kuusikumin teollinen tuotantolaitos on vasta valmistumassa. Tästä johtuen kuusikumilla arvioitu teknologian valmiuden taso on 7–9 (tuotantoprototyyppi teollisuusympäristössä – teollinen laitos ja

kaupallinen sovellettavuus) [27, 35]. Furfuraalin sekä levuliinihapon tuotannon teknologian kypsyys ovat vielä alhaisempia, 5–6 (teknisesti edustava prototyyppi – teollinen prototyyppi) ja 4–9 (kokeellinen prototyyppi laboratorioympäristössä – teollinen laitos ja kaupallinen sovellettavuus), tässä järjestyksessä, johtuen korkeista investointi- ja tuotantokustannuksista [35].

Koska useat tutkitut hyötykäytön sovellukset vaativat jonkinlaista kemiallista käsittelyä, raaka-aineen tasalaatuisuus voi muodostaa haasteen jatkojalostukselle ja jatkojalostuksessa käytettäville teknologioille. Sivuvirtojen (kuori ja sahapuru) laatu saattaa vaihdella paljonkin, esimerkiksi palakoon sekä kosteuden osalta [21]. Lisäksi, vaikka tukki kuoritaankin ennen sahausprosessissa, sahanpurun joukkoon saattaa siitä huolimatta päätyä pieniä määriä kuorta, mikä taas saattaa aiheuttaa ongelmia sahanpurun jatkojalostuksessa, varsinkin, jos kyseinen teknologia on kehitetty nimenomaisesti vain sahanpurun jatkojalostukseen ja prosessointiin [36]. Teollisesti käytössä olevan teknologian tulee siis olla toimivaa, vaikka raaka-aineen tasalaatuisuus olisikin vaihtelevaa. Tämä on keskeinen haaste käytännössä toimivan teollisen mittakaavan teknologian kehitykselle.

4.2 Toimintaympäristön vakaus

Teollisuuden toimintaympäristön vakauteen vaikuttavat merkittävästi esimerkiksi sääntelyn ennustettavuus, investointien kannustimet, teollisuuden kilpailukyky sekä uusien tuotteiden kysynnän vakaus. Vakaampi toimintaympäristö edesauttaa yritysten investointihalukkuutta sekä uusien teknologioiden ja sovellusten käyttöönottoa [37].

Sääntely ja sen ennustettavuus on merkittävä tekijä toimintaympäristön vakaudessa. Sääntelyn jatkuvat muutokset voivat muodostaa investointien esteen, jos esimerkiksi markkinoille pääsyn vaativuudesta ei ole pidemmän aikavälin ennustettavaa tietoa. Suomessa sahateollisuuden sivuvirtojen teolliseen hyötykäyttöön suoraan vaikuttavia lakeja ja säädöksiä ovat esimerkiksi ympäristölainsäädäntö, joka säätelee teollisuuden päästöjä, jätteiden käsittelyä ja kemikaalien käyttöä. Kemikaalilainsäädäntö, sekä esimerkiksi REACH-asetus (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), asettavat vaatimuksia kemikaalien käytölle sekä edellyttävät turvallista ja dokumentoitua kemikaalien käyttöä tuotannossa. Lisäksi esimerkiksi teollisuuden päästöjä koskeva IED-direktiivi määrää rajat ilmaan, veteen ja maaperään päätyville päästöille [35]. Koska sivuvirrat syntyvät sivutuotteina varsinaisessa sahateollisuuden tuotannossa, osaa sivuvirroista ja niiden jatkojalostuksesta saattaa koskea

myös jätelaki. Lisäksi esimerkiksi elintarviketeollisuutta kiinnostava sakeuttamisaine kuusikumin tulee vastata elintarvikelainsäädännön vaatimuksiin [28].

Sahateollisuuden sivuvirtojen hyötykäyttöä koskevien direktiivien, lakien ja säädösten määrä on merkittävä, ja sen voidaankin katsoa muodostavan jopa esteen teollisen tuotannon aloittamiselle [28]. Säädösten tärkeä tarkoitus on varmistaa kestävä ja turvallinen tuotanto kaikessa teollisuudessa, mutta samalla ne lisäävät toimijoiden hallinnollisia kustannuksia, mikä puolestaan nostaa kynnystä uuden tuotannon aloittamiselle. Muutokset ympäristölainsäädännössä voivatkin siis joko kiihdyttää tai hidastaa tuotantolaitosten investointeja [35].

Sivuvirtojen hyötykäyttö korkeamman jalostusarvon tuotteissa on usein kallista korkeiden prosessointikustannusten takia [21]. Tästä johtuen sivuvirtoja raaka-aineenaan käyttäviä tuotteita tulisi tuottaa teollisesti, mikä puolestaan edellyttäisi suuria investointeja teollisiin tuotantolaitoksiin. Investointien tarve ja suuruus onkin usein merkittävä hidaste yksittäisten yritysten näkökulmasta. Taulukkoon 5 on eritelty tässä kandidaatintutkielmassa käsiteltyjen tutkimus- ja kehityshankkeiden arvioidut tarvittavat investoinnit yhteen tuotantolaitokseen teollisen valmistuksen aloittamiseksi.

Taulukko 5. Investoinnin suuruus teollisen tuotannon aloittamiseksi

Sivuvirta	Tuote	Investoinnin suuruus/tuotantolaitos, miljoonaa € [21, 35]
Kuori	Tanniini	30–40
	Biohiili	1–20
	Aktiivihiili	n. 30
Sahapuru	Kuusikumi	n. 20
	Furfuraali	5–20
	Levuliinihappo	50–100

Koska tarvittavat investoinnit ovat todella merkittäviä, teollisuuden toimintaympäristön vakaus ja ennustettavuus on tärkeää investointipäätöstä tekeväälle yritykselle. Lisäksi alan toimijat sekä esimerkiksi Luonnonvarakeskus ovat esittäneet investointien kannustimia tai suoria investointitukia uusien laitosten sekä teknologian harppauksen edistämiseksi, sillä tarvittavat investoinnit ovat useille alan toimijoille liian suuria [3, 37].

5 Tulevaisuuden näkymät sahateollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisessä

5.1 Suomen biotalousstrategia

Suomen biotalousstrategia tähtää Suomen metsäbioteollisuuden arvonlisän tuplaantumiseen vuoteen 2035 mennessä [3]. Tätä arvonlisän kasvua ei voida perustaa pelkästään hakkuiden lisäämiselle, sillä nykyiselläänkin hakkuutasot ovat jo melko korkeat [2]. Tähän perustuen arvonlisää tullaan hakemaan juurikin korkeamman arvonlisän jatkojalosteista, mikä tulee lisäämään kannustimia uusille sahateollisuuden sivuvirtoja hyödyntäville tuotteille. Vaikka korkeamman arvonlisän tuotteiden, kuten kuusikumin tai orgaanisten happojen, tuotantomäärät olisivat matalammat, niiden tuoma jalostusarvo ja arvonlisä olisi huomattavasti korkeampi kuin puubiomassan polttaminen energian tuotantoon ja sitä kautta edesauttaisi biotalousstrategian tavoitteisiin pääsemistä [7].

Biotalousstrategian tavoitteet vaativat kuitenkin toteutuakseen merkittäviä rakenteellisia muutoksia metsäteollisuuden arvoketjussa, jotta arvoketjuja ei pelkästään pidennetä, vaan myös laajennetaan. Tämän lisäksi vaaditaan suuria innovaatio- ja investointitukia uusien teknologioiden pilotointiin. Luonnonvarakeskus (2023) arvioi, että tavoiteltu arvonlisä on mahdollista saavuttaa, mutta se vaatisi kymmenien miljardien eurojen investointeja sekä teollisia ekosysteemejä tukevaa teollisuus- ja innovaatiopolitiikkaa [3]. Tulevaisuudessa Suomessa tulee siis olemaan ainakin poliittinen tahtotila sahateollisuuden sivuvirtojen hyödyntämiselle, mutta käytännön toteutuminen on merkittävästi riippuvainen taloudellisista kannustimista ja investointituista.

5.2 Kestävä kehitys ja vihreä siirtymä

Suomen metsä- ja sahateollisuus eivät toimi tyhjiössä, vaan uudet tuotteet ja markkinat kehittyvät globaalien megatrendien sekä murrosten seurauksena. Maailmanlaajuisista trendeistä merkittävimpiä ovat kestävä kehitys ja vihreä siirtymä, jotka nostavat biopohjaisten tuotteiden kulutusta ja kysyntää tulevaisuudessa, kun fossiilisten raaka-aineiden riippuvuutta pyritään pienentämään [3]. Kestävään kehitykseen kuuluu kolme keskeistä osa-aluetta: (1) ekologinen, (2) taloudellinen ja (3) sosiaalinen kestävä kehitys. Nämä osa-alueet muodostavat myös metsäteollisuudelle ja sen kestäväälle kehitykselle viitekehukset, jotka ovat yhteydessä globaaleihin megatrendeihin sekä sektorirajojen ylittäviin murroksiin. Tällaisia megatrendejä ja murroksia ovat esimerkiksi huoltovarmuus ja vihreä siirtymä, globaalit jännitteet ja politiikat,

väestön kasvu, ilmastonmuutos, luontokato ja luonnonvarojen niukkuus, energiamurros ja teknologian ja talouden murrokset [3, p. 7].

Varsinkin Euroopassa ja Yhdysvalloissa biopohjaisten ja ympäristöystävällisten ratkaisujen kysynnän odotetaan tulevaisuudessa nousevan tiukentuvan ympäristölainsäädännön sekä markkinoiden ja kuluttajien trendien takia [35]. Kestävä kehitys ja vihreä siirtymä tulevat siis muuttamaan puupohjaisten tuotteiden markkinaa tulevaisuudessa ja luomaan kaupallistettavia mahdollisuuksia myös sahateollisuuden sivuvirtojen hyötykäyttöön. Markkinoiden kehitys ja kysyntä sekä teknologioiden kehittyminen kulkevat käsi kädessä, sillä kun kysyntää alkaa muodostua markkinoille tarpeeksi, myös uudet investoinnit tarvittavan teknologian kehittämiseen tulevat taloudellisesti kannattavammiksi [38, 37]. Vaikka sahateollisuuden sivuvirtojen hyötykäyttö nykyisellään on melko alhaisella tasolla, tulevaisuudessa ne ovat varmasti arvokas raaka-ainelähde korkeamman jalostusarvon tuotteisiin.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Nykytilassa sahateollisuus hyödyntää sen käyttämän raakapuunaineksen tehokkaasti, joko sisäisesti omassa tuotannossa energiaksi tai myymällä ylimääräisen sivuvirtaraaka-aineen muille metsäteollisuuden toimijoille. Suuri osa sivuvirroista kuitenkin käytetään nykyisellään energiantuotannon raaka-aineena, minkä vuoksi sahateollisuuden sivuvirtojen hyötykäyttö kaskadiperusteen mukaan ei täyty. Sahateollisuuden sivuvirrat tarjoavat uusiin tuotteisiin ja sovellutuksiin runsaan ja edullisen raaka-aineen, ja sahateollisuuden sivuvirroista ja niiden hyötykäytöstä onkin tehty paljon tutkimusta. Sahateollisuuden sivuvirtojen, hakkeen, kuoren ja purun, ominaisuudet tunnetaan hyvin.

Tällä hetkellä sahateollisuuden sivuvirroista, kuoresta ja sahanpurusta, sekä niiden ominaisuuksista on paljon tutkimusta, ja usean lupaavaan tuotteet teknologiatkin ovat jo kehittyneellä tasolla [35]. Tämä kandidaatintutkielma esitteli kuusi erilaista tuotetta, jotka voidaan valmistaa sahateollisuuden sivuvirroista, tarkemmin suomalaisen havupuun kuoresta ja sahanpurusta. Kuoresta on mahdollista esimerkiksi uuttaa tanniinia tai käyttää kuorta biohiilen sekä aktiivihiilen raaka-aineena. Molemmille sovelluksille on jo olemassa kaupallista kysyntää sekä teollista teknologiaa, mutta tuotantomäärät varsinkin havupuun kuoresta ovat pieniä. Sahanpurua voi käyttää raaka-aineena esimerkiksi furfuraalin tai levuliinihapon tuotannossa. Lisäksi varsinkin kuusisahanpurussa olevalle kuusikumille on useita mahdollisia kaupallisia käyttökohteita esimerkiksi kosmetiikan ja elintarvikkeiden emulgointi- ja sakeuttamisaineena.

Uusien tuotteiden kehitys ja kaupallistaminen on kuitenkin hidasta ja kallista sekä usein liiketoiminnan kehitystä vaativaa [3]. Tutkimusta ja kehitystä on tehty laajastikin eri sivuvirroille, mutta se ei ainakaan vielä näy juuri markkinoilla. Siitä johtuen, alan konsensus on edelleen, ettei korkeamman lisäarvon tuotteille ole vielä riittävästi kaupallista kysyntää markkinoilla, ja tästä syystä myöskään sahateollisuuden toimijat eivät ole juuri aktivoituneet uusien innovaatioiden ja investointien edistämiseksi [38]. Alan toimijat ovatkin toivoneet puupohjaisille tuotteille kannustimia esimerkiksi lainsäädännöstä, sillä nykyisellään puupohjaisille korkeamman jalostusarvon tuotteille ei ole tarvittavaa kysyntää kaupallistamiseen. Vaikka sahateollisuus tavoittelee tuotteilleen mahdollisimman korkeaa jalostusarvoa, vain markkinoiden kysyntä ja tuotannon taloudellinen kannattavuus määrittävät lopulta sekä puun loppukäytön että myös sivutuotteiden hyötykäytön [39].

Nykyisellään sahateollisuuden sivuvirtojen huomattava ohjautuminen muualle kuin energiantuotantoon vaatisi sahoilta panostusta sekä uusien innovaatioiden ja investointien muodossa mutta myös muutosta ajatusmaailmassa ja käytännöissä. Toisaalta, sahateollisuuden sivuvirtojen hyötykäyttöön toivotaan myös poliittista tukea niin lainsäädännön kuin investointitukien ja -kannustimien kautta. Tulevaisuudessa on odotettavissa kasvavaa kysyntää ympäristöystävällisille ja fossiilittomille ratkaisuille kestävän kehityksen ja vihreän siirtymän seurauksena, joten panostukset kuoren ja sahanpurun hyötykäytön tutkimukseen, kehitykseen, tuotteistamiseen ja kaupallistamiseen jo ennakoivasti olisivat tärkeitä. Lintunen ym. (2023) kirjoittamaa Luonnonvarakeskuksen raporttia lainaten: ”Toivoa on, entä tahtoa?” [3, p. 21].

Lähteet

- [1] Maa- ja metsätalousministeriö, ”Suomen metsävarat,” [Online]. Available: <https://mmm.fi/metsat/suomen-metsavarat>. [Haettu 23 marraskuu 2024].
- [2] Luonnonvarakeskus, ”Suomen virallinen tilasto (SVT): Hakkuukertymä ja puuston poistuma alueittain 2023,” [Online]. Available: <https://www.luke.fi/fi/tilastot/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma-alueittain-2023>. [Haettu 23 marraskuu 2024].
- [3] J. Lintunen, J. Kohl, J. Buchert, A. Asikainen, T. Jyske, J. Maunuksela ja J. Lehto, ”Suomi elää metsästä myös 2035 – Keskustelunavaus metsäsektorin arvonlisän kaksinkertaistamiseen,” *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 14/2023*, p. 21, 2023.
- [4] Metsäteollisuus ry, ”Metsäteollisuus numeroina,” Metsäteollisuus ry, 26 elokuu 2022. [Online]. Available: <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/metsateollisuus-numeroina#tavaravienti>. [Haettu 5 lokakuu 2024].
- [5] Puutuoteteollisuus, ”Puutuoteteollisuuden toimialat ja tuotteet,” Puutuoteteollisuus, 23 helmikuu 2021. [Online]. Available: <https://puutuoteteollisuus.fi/faktoja-ja-ohjeita/puutuoteteollisuuden-alatoimialat>. [Haettu 5 lokakuu 2024].
- [6] Tieteen termipankki, ”Ympäristötieteet:Sivuvirta,” Tieteen termipankki, [Online]. Available: <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Ympäristötieteet:sivuvirta>. [Haettu 5 lokakuu 2024].
- [7] K. Hassan, A. Villa, S. Kuittinen, J. Jänis ja A. Pappinen, ”An assessment of side-stream generation from Finnish forest industry,” *Journal of Material Cycles and Waste Management*, nro 21, pp. 265-280, 2019.
- [8] T. Niinistö, ”Kysyntä ohjaa puuta polttoon,” Luonnonvarakeskus, Blogi, 30 marraskuu 2023. [Online]. Available: <https://www.luke.fi/fi/blogit/kysynta-ohjaa-puuta-polttoon>. [Haettu 11 lokakuu 2024].
- [9] Euroopan Unioni, ”Euroopan Parlamentin ja Neuvoston Direktiivi (EU) 2023/2413,” *Euroopan unionin virallinen lehti*, p. 3, 31 lokakuu 2023.
- [10] Sahateollisuus ry, ”Sahatoimiala,” Sahateollisuus ry, 2023. [Online]. Available: <https://sahateollisuus.com/toimiala/>. [Haettu 3 lokakuu 2024].
- [11] Luonnonvarakeskus, ”Metsäteollisuuden ulkomaankauppa maittain 2023 (ennakko),” Luonnonvarakeskus, 4 huhtikuu 2024. [Online]. Available: <https://www.luke.fi/fi/tilastot/metsateollisuuden-ulkomaankauppa/metsateollisuuden-ulkomaankauppa-maittain-2023-ennakko#:~:text=Sahatavaran%20viennin%20arvo%20oli%201,prosenttia%209%2C0%20miljardiin%20euroon..> [Haettu 2 lokakuu 2024].

- [12] Puutuoteteollisuus, ”Puutuoteteollisuuden puunkäyttö ja tuotanto,” Puutuoteteollisuus, 2023. [Online]. Available: <https://puutuoteteollisuus.fi/faktoja-ja-ohjeita/puunkaytto-ja-tuotanto>. [Haettu 18 heinäkuu 2024].
- [13] Metsäteollisuus ry, ”Metsäteollisuuden tuotantomäärät,” Metsäteollisuus ry, 2024. [Online]. Available: <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/metsateollisuuden-tuotantomaarat>. [Haettu 18 heinäkuu 2024].
- [14] Luonnonvarakeskus, ”Suomen virallinen tilasto (SVT): Metsäteollisuuden puunkäyttö 2023,” Luonnonvarakeskus, 2024. [Online]. Available: <https://www.luke.fi/fi/tilastot/puun-kaytto/metsateollisuuden-puunkaytto-2023>. [Haettu 18 heinäkuu 2024].
- [15] Etna, ”Tuore tutkimus julki: Metsäala merkittävien muutosten edessä jo lähivuosina – varautuminen aloitettava jo nyt,” Etna, 2022. [Online]. Available: <https://www.etla.fi/ajankohtaista/uutiset-ja-tiedotteet/tuore-tutkimus-julki-metsaala-merkittavien-muutosten-edessa-jo-lahivuosina-varautuminen-aloitettava-jo-nyt/>. [Haettu 18 heinäkuu 2024].
- [16] ”Project Final Report,” Bioraff Botnia, 2018.
- [17] M. Bhattarai, ”Associative behaviour of spruce galactoglucomannans in aqueous solutions and emulsions,” Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Väitöskirja, 2020.
- [18] B. Berg-Anderson, M. Kulvik, J. Lintunen, J. Kunttu ja T. Orfanidou, ”FutureForest2040 - Suomen metsäalan rakenteelliset muutokset sekä markkina- ja työllisyysnäköymät vuoteen 2040,” Etna Raportti No 131., 2022.
- [19] J. Liikanen, ”Diving deeper into side streams,” Puunvuoro, 26 maaliskuu 2024. [Online]. Available: <https://puunvuoro.fi/en/in-english/diving-deeper-into-side-streams/>. [Haettu 3 lokakuu 2024].
- [20] Suomen ympäristökeskus, ”Uusia tuotteita kotimaisen puuntuotannon sivuvirroista,” Suomen ympäristökeskus, Circwaste-hanke, 31 toukokuu 2019. [Online]. Available: [https://www.materiaalikiertoon.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiset/Uutisia_alueilta/Uusia_tuotteita_kotimaisen_puuntuotannon\(50442\)](https://www.materiaalikiertoon.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiset/Uutisia_alueilta/Uusia_tuotteita_kotimaisen_puuntuotannon(50442)). [Haettu 3 lokakuu 2024].
- [21] J. Rahikainen, M. Suomalainen, K. Behm, J. Heikkinen, H. Kyllönen, E. Hytönen, L. Pulkkinen, T. Tirri, J. Peura, P. Kilpeläinen ja P. Saranpää, ”Sustainable Binders from Bark (SusBinders): Final summarizing report,” VTT Technical Research Centre of Finland, 2020.
- [22] Forest News, ”Teknistä hiiltä turpeesta,” Forest News, 14 joulukuu 2016. [Online]. Available: <https://forest.fi/fi/tuotteet-palvelut/teknista-hiilta-turpeesta/>. [Haettu 11 lokakuu 2024].
- [23] J. Hayashi, A. Kazehaya, K. Muroyama ja A. P. Watkinson, ”Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation,” *Carbon*, osa/vuosik. 38, p. 1873–1878, 2000.

- [24] F. Caturla, M. Molina-Sabio ja F. Rodriguez-Reinoso, "Preparation of activated carbon by chemical activation with ZnCl₂," *Carbon*, osa/vuosik. 29, nro 9, p. 999–1007, 1991.
- [25] K. S. Mikkonen, "Mannans as film formers and emulsion stabilizers," Helsinki University Printing House, Helsinki, 2009.
- [26] T. Palokangas ja H. Pasanen, "Sahanpurusta voiteeseen – kuusikumi kosmetiikan raaka-aineena," Laurea-ammattikorkeakoulu, Opinnäytetyö, 2022.
- [27] Boreal Bioproducts, "Technology," Boreal Bioproducts, 2024. [Online]. Available: <https://www.borealbioproducts.com/technology>. [Haettu 5 lokakuu 2024].
- [28] F. Abik, C. Palasingh, M. Bhattarai, S. Leivers, A. Ström, B. Westereng, K. S. Mikkonen ja T. Nypelö, "Potential of Wood Hemicelluloses and Their Derivatives as Food Ingredients," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, osa/vuosik. 71, p. 2667–2783, 2023.
- [29] Boreal Bioproducts, "About us," Boreal Bioproducts, 2024. [Online]. Available: <https://www.borealbioproducts.com/about>. [Haettu 5 lokakuu 2024].
- [30] K. J. Yong, T. Y. Wu, C. B. T. L. Lee, Z. J. Lee, Q. Liu, J. M. Jahim, Q. Zhou ja L. Zhang, "Furfural production from biomass residues: Current technologies, challenges and future prospects," *Biomass and Bioenergy*, osa/vuosik. 161, p. 106458, 2022.
- [31] A. K. Chandel, S. S. da Silva ja O. V. Singh, "Detoxification of lignocellulosic hydrolysates for improved bioethanol production," tekijä: *Biofuel production—recent developments and prospects*, osa/vuosik. 10, InTech, 2011, p. 225–246.
- [32] A. E. Eseyin ja P. H. Steele, "An overview of the applications of furfural and its derivatives," *International Journal of Advanced Chemistry*, osa/vuosik. 3, nro 2, p. 42–47, 2015.
- [33] J. J. Bozell, L. Moens, D. C. Elliott, Y. Wang, G. G. Neuenschwander, S. W. Fitzpatrick, R. J. Bilski ja J. L. Jarnefeld, "Production of levulinic acid and use as a platform chemical for derived products," *Resources, conservation and recycling*, osa/vuosik. 28, nro 3–4, p. 227–239, 2000.
- [34] J. C. Mankins, "Technology readiness levels," *White Paper*, 6 April 1995.
- [35] Sahateollisuus ry, "Sahauksen sivuvirtojen hyödyntäminen -selvityshanke 2024," 2024.
- [36] T. Leppänen, J. Köpman, O. Rasila ja P. Tervonen, "Categorisation of Industrial Side Streams for Reuse Potential Evaluation," *International Journal of Management, Knowledge and Learning*, osa/vuosik. 10, p. 253–265, 2021.
- [37] Sahateollisuus ry, "Puupohjaisten uusien tuotteiden läpimurtoja joudutaan vielä odottamaan," 5 marraskuu 2024. [Online]. Available: <https://sahateollisuus.com/2024/11/05/puupohjaisten-uusien-tuotteiden-lapimurtoja-joudutaan-viela-odottamaan/>. [Haettu 23 marraskuu 2024].

- [38] T. Aalto, ”Puusta on moneksi, mutta onko tuotteilla ostajia?,” Kauppalehti, Mieli­pidekirjoitus, 19 kesäkuu 2024. [Online]. Available: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/puusta-on-moneksi-mutta-onko-tuotteilla-ostajia/9dc606b9-ad94-4880-8005-37cba4e20a3a>. [Haettu 23 marraskuu 2024].
- [39] A. Peltola ja T. Niinistö, ”Puuraaka-aine hyödynnetään tehokkaasti - ensin tuotteeksi, sitten energiaksi,” Luonnonvarakeskus, Blogi, 7 maaliskuu 2023. [Online]. Available: <https://www.luke.fi/fi/blogit/puuraakaaine-hyodynnetaan-tehokkaasti-ensin-tuotteeksi-sitten-energiaksi>. [Haettu 5 lokakuu 2024].
- [40] Puutuoteteollisuus, ”Puutuoteteollisuuden puunkäyttö ja tuotanto,” Puutuoteteollisuus, 2023. [Online]. Available: <https://puutuoteteollisuus.fi/faktoja-ja-ohjeita/puunkaytto-ja-tuotanto>. [Haettu 18 heinäkuu 2024].