HELSINGIN YLIOPISTO

Metsäteollisuuden energiamurros:

Katsaus puupohjaisten polttoaineiden korvaamiseen

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Metsätieteiden osasto

Maisterintutkielma

Metsäbiotalouden liiketoiminta ja politiikka

Laatija:

Niilo Valtteri Häkkinen

Ohjaajat:

Prof. Mirja Mikkilä

TkT Jukka Luhas

10.4.2025

Helsinki

Tiedekunta/Osasto	Laitos
Maatalous- ja metsätieteellinen tiedekunta	Metsätieteiden osasto

Tekijä
Niilo Valtteri Häkkinen

Työn nimi

Suomen metsäteollisuuden energiamurros: Katsaus puupohjaisten polttoaineiden korvaamiseen

Oppiaine

Metsäbiotalouden liiketoiminta ja politiikka

Työn laji	Aika	Sivumäärä
Maisterintutkielma	Huhtikuu 2025	47

Tiivistelmä

Metsäteollisuus on Suomen suurimpia teollisuudenaloja ja sen merkitys kansantaloudelle ja koko yhteiskunnalle on mittava. Suomen tavaraviennin arvosta noin 17 % tulee metsäteollisuustuotteista ja ala on suuri työllistäjä varsinkin harvaan asutuilla alueilla. Metsäteollisuus vaikuttaa koko Suomen energiankulutukseen lähes viidenneksen osuudellaan, ja siten myös sen merkitys ympäristötavoitteiden saavuttamisessa on suuri. Tällä hetkellä metsäteollisuus tuottaa suurimman osan tarvitsemastaan energiasta omissa voimalaitoksissaan. Tämä energia tuotetaan pääasiassa polttamalla muun tuotannon sivuvirtoina syntyviä puupohjaisia polttoaineita. Polttoaine on metsäteollisuudelle nykytilanteessa edullista. Nämä polttoaineet luokitellaan myös uusiutuviin energiantuotantomuotoihin EU-lainsäädännössä, ja siksi metsäteollisuuden hiilijalanjälki onkin alhainen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tarjota katsaus Suomen metsäteollisuuden energiankäytön nykytilanteeseen, sekä esitellä mahdollisia syitä sen muutoksille. Nykytilannetta tarkastellaan systeemiteorian kautta ja muutoksen mahdollisuuksiin perehdytään systeemiteorian näkökulmasta. Nämä teoriat tarjoavat viitekehyksen yhteiskunnallisesti merkittävän ja kokonaisvaltaisen teollisuudenalan nykytilanteen, ja siihen vaikuttavien muutostekijöiden tarkastelulle. Tutkimuksessa on laadittu PESTLE-analyysi, jossa analysoidaan kirjallisuutta, poliittisia raportteja sekä lainsäädäntöä etsien mahdollisia muutokseen vaikuttavia tekijöitä.

Tuloksien mukaan lyhyellä aikavälillä muutoksia ei ole nähtävissä, mutta niiden edellytykset kasvavat koko ajan sekä talouden, teknologian, että politiikan kautta. Mikäli sivuvirroille kehitettäisiin muita kannattavia käyttökohteita, voisi niiden riittävyys energiantuotantoon vähentyä, ja metsäteollisuus joutuisi siirtymään vaihtoehtoisin menetelmin tuotettuun energiaan. Muutokseen voi ilmetä myös poliittisia ja sitä myötä lainsäädännöllisiä ajureita, jolloin puupohjaisten polttoaineiden käyttö ei välttämättä enää olisikaan kannattavin tapa hankkia energiaa metsäteollisuuden tarpeisiin. Metsäteollisuudessa on herännyt huolenaiheita EU-politiikan ailahtelevaisuuteen, joka saattaa vaikuttaa negatiivisesti halukkuuteen investoida uuteen tuotantoon Euroopassa. Muutoksille on siis olemassa mahdollisuuksia, mutta tällä hetkellä metsäteollisuusyhtiöiden strategiat noudattavat voimassa olevaa lainsäädäntöä, eivätkä ole asian suhteen proaktiivisia.

Tutkimuksen tulosten pohjalta voidaan todeta, että muutokset ovat tulevaisuudessa mahdollisia, vaikka tämän hetken näkymät eivät osoita muutoksia lähivuosina. Metsäteollisuuden energiankäytön muutosta olisi syytä tutkia lisää, jotta siihen osataan valmistautua ja varautua, mikäli poliittinen ilmapiiri muuttuu vastustamaan biomassan polttoon perustuvaa energiantuotantoa.

Avainsanat

Metsäteollisuus, energia, transitio, murros,

Säilytyspaikka

Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) ethesis.helsinki.fi

Ohjaaja tai ohjaajat

Mirja Mikkilä, Jukka Luhas

Faculty	Department
Faculty of agriculture and forestry	Department of forest sciences

Author

Niilo Valtteri Häkkinen

Title

Energy transition in the forest industry: Overview of wood-based fuel substitution

Subject

Forest Economics, Business and Society

Level	Month and year	Number of pages
Master’s thesis	April 2025	47

Abstract

The forest industry is one of Finland's largest industries and its significance to the national economy and society as a whole is considerable. Forest industry products account for approximately 17 % of Finland's exports of goods, and the sector is a major employer, especially in sparsely populated areas. The forest industry accounts for almost a fifth of Finland's energy consumption, and thus its significance in achieving environmental goals is also great. Currently, the forest industry produces most of the needed energy in its own power plants. This energy is mainly produced by burning wood-based fuels that are generated as side streams from other production. Wood based fuels are currently inexpensive for the forest industry. These fuels are also classified as renewable forms of energy production in EU legislation, and therefore the forest industry's carbon footprint is low.

The aim of this study is to provide an overview of the current situation of energy use in the Finnish forest industry, and to present possible reasons for its changes. The current situation is examined through systems theory and the possibilities for change are examined from the perspective of systems theory. These theories provide a framework for examining the current situation of a socially significant and comprehensive industry and the factors affecting it. The study has prepared a PESTLE analysis, which analyzes literature, political reports and legislation in search of possible factors affecting change.

According to the results, no changes are visible in the short term, but the conditions for them are constantly increasing through economic, technologic and politic factors. If other profitable uses were developed for side streams, their sufficiency for energy production could decrease, and the forest industry would need to switch to alternative methods. Political and thus legislative drivers may also appear for the change, in which case the use of wood-based fuels would no longer necessarily be the most profitable way to obtain energy for the forest industry. Concerns have arisen in the forest industry about the volatility of EU policy, which may negatively affect the willingness to invest in new production in Europe. There is therefore potential for change, but currently the strategies of forest industry companies follow the current legislation and are not proactive in this regard.

Based on the results of the study, it can be stated that changes are possible in the future, although the current outlook does not indicate any changes in the coming years. The change in energy use in the forest industry should be studied further so that it can be prepared for if the political climate changes to oppose energy production based on wood-based fuels and biomass.

Keywords

Forest industry, energy, transition, change

Where deposited

Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) ethesis.helsinki.fi

Supervisor or supervisors

Mirja Mikkilä, Jukka Luhas

ALKUSANAT

Maisterintutkielman tekeminen on ollut itselleni opettavainen prosessi ja olenkin oppinut sen aikana paljon asioita, jotka eivät ole tulleet vastaan aiemmin opinnoissani. Aiheeni on valikoitunut oman kiinnostuksen mukaan ja sain kehittää sitä hyvin itsenäisesti, sillä se ei liity mihinkään tutkimusprojektiin, eikä minulla ole ollut sitä varten toimeksiantoa miltään instituutiolta. Tämä on sopinut minulle hyvin, sillä koko prosessi on pakon sanelemana jouduttu tekemään lähes täysipäiväisen työssäkäynnin ohessa.

Tahdonkin kiittää tutkielmani valmistumisesta ohjaajiani Professori Mirja Mikkilää, sekä TkT Jukka Luhasta, joiden apu on ollut korvaamatonta akateemisen polun löytämisessä aiheen lähestymiseen. Tahdon myös kiittää ystäviäni kannustuksesta tutkielman saattamiseksi loppuun. Erityisen kiitoksen ystävistäni ansaitsee Juho Äyräs, joka auttoi tutkielman oikolukemisessa ja hyvänä loppukirivastuksena sai minut työskentelemään lujemmin. Kiitos myös työnantajalleni siitä, että olen saanut työskennellä hieman kevennetyllä työtaakalla joinain ajanjaksoina.

Niilo Häkkinen,

10. huhtikuuta 2025, Helsingissä

Sisällysluettelo

1 Johdanto 6

1.1 Tutkimuksen tavoitteet 8

2 Teoreettinen viitekehys 9

2.1 Systeemiteoria 9

2.2 Muutosteoria 10

2.3 Viitekehyksen operationalisointi 10

3 Materiaalit ja menetelmä 14

3.1 Tutkimusympäristö 14

3.1.1 Suomen metsäteollisuuden energiankäyttö 15

3.1.2 Metsäteollisuusyhtiöiden energiankäyttö 18

3.2 Aineisto 19

3.3 PESTLE-analyysi 20

4 Tulokset 22

4.1 PESTLE-analyysi 22

4.1.1 Politiikan ulottuvuus 22

4.1.2 Taloudellinen ympäristö 25

4.1.3 Sosiaaliset tekijät 27

4.1.4 Teknologinen ympäristö 28

4.1.5 Oikeudellinen ulottuvuus 30

4.1.6 Ympäristötekijät 31

4.2 Synteesi 35

4.2.1 Mitkä tekijät tukevat puupohjaisten polttoaineiden käyttöä metsäteollisuudessa? 35

4.2.2 Mitkä tekijät voisivat ajaa muutosta metsäteollisuuden energiankäytössä? 35

4.2.3 Onko metsäteollisuuden energiankäytön nähtävissä muutosta? 35

5 Keskustelu 37

6 Johtopäätökset 41

Lähteet 43

1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen myötä energiankulutus on jatkuvasti tiukentuvan tarkastelun alla, ja Europan unioni onkin asettanut jäsenmailleen tavoitteet hiilidioksipäästöjen, sekä muiden ilmastovaikutusten osilta (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2018). Metsäteollisuus on perinteisesti ollut merkittävä toimiala Suomen kansantaloudelle ja samalla erittäin suuri energiankäyttäjä, joka kuluttaa energiaa sekä tuotannossa että hankintaorganisaatioiden logistiikan ja korjuun operaatioissa. Metsäteollisuuden käyttämä kokonaisenergiamäärä on tällä hetkellä yli 56 % Suomen teollisuuden ja noin 19 % koko Suomen energiankulutuksesta (Tilastokeskus 2024), joten sen käyttämä energiamäärä ja tuotantotapa vaikuttavat merkittävästi Suomen kokonaisvaikutukseen ilmastotavoitteiden suhteen. Metsäteollisuuden asema Suomessa on hyvin merkityksellinen myös yhteiskunnan kannalta ja sillä on sidoksia niin politiikkaan, kansantalouteen kuin sosiaaliseen hyvinvointiinkin. Tämän takia on tärkeää ymmärtää metsäteollisuuden moniulotteisuus, sekä eri sidosryhmien syy- ja seuraussuhteita. (Maa- ja metsätalousministeriö 2006). Metsäteollisuuden kokonaisuutta ja sen asemaa yhteiskunnassa voidaan tarkastella systeemiteorian kautta. Systeemiteorian mukaan järjestelmä, eli systeemi toimii kokonaisuutena, ollen enemmän kuin osiensa summa. Näitä osia ei voida irrottaa systeemistä ilman, että kokonaisuus kärsii (Skyttner 2006). Metsäteollisuuden osalta tätä voidaan soveltaa esimerkiksi eri tehdaskokonaisuuksien synergioiden tarkasteluun, tai puunhankinnan vaikutuksista sidosryhmiin ja paikallistalouksiin. Metsäteollisuuden kokonaisuus kärsisi, mikäli energiantuotantoon tulisi muutoksia. Muutokset eivät vaikuttaisi pelkästään energiantuotantoon, vaan niillä olisi kauaskantoisia vaikutuksia koko systeemiä ajatellen (Sokka ym. 2011).

Tuotannon energiantarpeiden suhteen metsäteollisuus on lähes omavarainen ja suuri osa saha-, sellu-, kartonki- ja paperiteollisuuden nykytuotannon raaka-aineeksi kelpaamattomasta puupohjaisesta aineksesta päätyykin poltettavaksi tuotantolaitosten omissa voimalaitoksissa. Suomen metsäteollisuuden tuotantolaitokset tuottavat noin 60 % tarvitsemastaan sähköenergiasta, joka perustuu lähes kokonaisuudessaan puupohjaisten polttoaineiden poltosta saatuun bioenergiaan (Tilastokeskus 2024). Bioenergialla tarkoitetaan eloperäistä biomassaa polttamalla saatavaa lämpöenergiaa, josta osa voidaan muuttaa sähköksi. Bioenergiaksi luetaan puupohjaisten polttoaineiden lisäksi muun muassa maanviljelystä saatava biomassa, biokaasu ja erilaiset jätteistä valmistettavat biodieselit (Reid ym. 2020). Metsäteollisuuden bioenergian tuotannossa käyttämä biomassa on pääosin peräisin tuotantolaitosten sivuvirroista, kuten selluteollisuuden jäteliemet,

kuori ja sahanpuru (Metsäteollisuus ry 2024). Energiantuotanto on ollut metsäteollisuudelle verrattain edullista, sillä polttoaine on syntynyt muun tuotannon sivutuotteina, eikä siitä ole tarvinnut maksaa käytännössä katsoen lainkaan (UPM-Kymmene Oyj 2024; Stora Enso Oyj 2024; Metsä Group 2024). Teknologisten innovaatioiden mahdollistamat uudet käyttökohteet metsäteollisuuden sivuvirroille, muun muassa ligniinille, tarkoittavat käytettävissä olevan polttoaineen määrän vähenemistä, mikäli näille uusille käyttökohteille löydetään taloudellisia perusteita (Toppinen ym. 2017). Toinen mahdollisuus siirtymälle liittyy energiapolitiikassa mahdollisesti tapahtuviin muutoksiin. Mikäli poliittinen paine puupohjaisista polttoaineista pois siirtymiseen kasvaisi, jonka seurauksena ne esimerkiksi luettaisiin uusiutumattomiksi energialähteiksi, olisi metsäyhtiöiden siirryttävä muihin vaihtoehtoihin (Kożuch ym. 2024).

Tutkimuksia Suomen metsäteollisuuden energiankäytön tulevaisuudesta ei ole juuri tehty 2020-luvulla. Aiempi tutkimus on keskittynyt lähinnä metsäteollisuuden energiankäytön optimointiin, energiatehokkuuden parantamiseen ja puupohjaisten polttoaineiden ympäristövaikutuksiin. Nykymallisen energiankäytön yhteiskunnallisia ajureita on tutkittu muun muassa Kożuch ym. (2024) toimesta. Metsäteollisuuden muutoksen mahdollisuuksia tulevaisuudessa on tutkittu Yhdysvaltojen osalta Dockry ym. (2020) tutkimuksessa, mutta tämä tutkimus käsittelee mahdollisuuksia lisätä metsäteollisuuden energiantuotantoa, eikä niinkään sen vähentämistä. Suomessa biomassan polttamisen muutosmahdollisuuksia on tutkittu energiaverotuksen näkökulmasta (Muilu ym. 2024), mutta ei muiden tekijöiden osalta. Verotus vaikuttaa kaikkien energiamuotojen kannattavuuteen, mutta ei yksinään selitä muutosta. Näistä tutkimuksista huolimatta sellaiset yhteiskunnalliset tekijät, jotka ohjaisivat pois metsäteollisuuden sivuvirtojen energiakäytöstä ovat jääneet vähemmälle huomiolle. Tämän vuoksi metsäteollisuuden energiankäytön muutostekijöiden tutkiminen olisi tarpeellista. Tutkimalla muutoksiin vaikuttavia tekijöitä pystytään niihin ajoissa varautumaan niin metsäteollisuusyhtiöiden parissa, kuin yhtiskunnallisestikin.

Metsäteollisuuden energiankäytön ja -tuotannon muuttaminen vaatisi suuria muutoksia itse metsäteollisuuden systeemiin, kuten tehdasympäristöihin, sekä muihin rakenteisiin metsäyhtiöiden organisaatioissa. Muutoksia voidaan ajaa monin eri keinoin. Mahdollisen muutoksen tekijöitä analysoidaan tässä tutkielmassa muutosteorian kautta, joiden avulla on helpompaa ymmärtää metsäteollisuuden kokonaisvaltaisuus yhteiskunnallisessa päätöksenteossa, sekä eri sidosryhmien syitä muutoksien ajamiselle, tai vastustamiselle (Reinholz ja Andrews 2020). Tämä tutkielma tuo näitä mahdollisia tekijöitä esiin ja esittelee niiden vaikutuksia metsäteollisuuden kokonaisuuteen systeemiteorian näkökulmasta.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää mahdollisia syitä energiankäytön muutoksille, sekä kartoittaa näiden taustalla vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksessa pyritään kartoittamaan metsäteollisuuden energiankäytön tulevaisuuden näkymiä, selvittää mahdollisten muutoksien mittakaavaa, sekä niiden vaikutuksia yhteiskunnallisesti merkittäviin energiaan liittyviin solmukohtiin.

Tutkimuskysymykset:

Mitkä tekijät tukevat puupohjaisten polttoaineiden käyttöä metsäteollisuudessa?

Mitkä tekijät voisivat ajaa muutosta metsäteollisuuden energiankäytössä?

Onko metsäteollisuuden energiankäytön nähtävissä muutosta?

2 Teoreettinen viitekehys

Tutkimuksessa on käytetty viitekehyksenä systeemiteoriaa ja muutosteoriaa. Käytetyt teoriat esitellään omissa kappaleissaan, minkä jälkeen niiden suhde metsäteollisuuteen ja tutkittavaan aiheeseen määritetään.

2.1 Systeemiteoria

Systeemiteoria on ajatusmalli, jolla on pyritty selittämään monimutkaisia ilmiöitä yhteiskunnassa ja luonnossa (Kast ja Rosenzweig 1972). Sen historia voidaan jäljittää aiempien organismeja ja organisaatioita käsittelevien teorioiden kautta aina luonnontieteiden tutkimiseen antiikin aikoina (Skyttner 2006). Systeemiteoriaa ja sitä edeltäneitä teorioita on käytetty muun muassa ihmiskehon toiminnan ja luonnon ekosysteemien selittämiseen, joissa eri elimillä – tai eläimillä, on oma roolinsa ja niiden poistaminen yhtälöstä voisi vaarantaa koko systeemin (Von Bertalanffy 1969). Systeemiteoria voidaan jakaa useisiin alakategorioihin, joilla kaikilla perusperiaate on sama: kokonaisuus on suurempi kuin osiensa summa, kokonaisuuden tarkastelulla voidaan selittää sen osien luonnetta, mutta niitä ei voida ymmärtää täysin ja systeemin osat ovat joko toisistaan riippuvaisia, tai vähintäänkin liittyvät toisiinsa joltain osin (Skyttner 2006; Von Bertalanffy 1969). Yleisen systeemiteorian mukaan ympäristöönsä sopeutuvat järjestelmät, eli systeemit, menestyvät ja selviytyvät (Kast ja Rosenzweig 1972). Tämän vuoksi ne eivät välttämättä toimi pelkästään omaksi parhaakseen, vaan ensisijaisesti ympäristönsä hyödyksi (Kast ja Rosenzweig 1972). Tämä ajatusmaailma auttaa tarkastelemaan monimutkaisia systeemejä ja ymmärtämään pitkäjänteistä toimintaa, jossa ei välttämättä ajatella pelkästään hetkellistä hyötyä (Van Assche ym. 2019).

Sosiaalisen systeemiteorian mukaan yritykset tai muut toimijat eivät voi ikinä täysin ymmärtää toimintaympäristönsä moninaisuutta, ja siksi niiden toiminta on epätäydellistä. Toimijat joutuvat jatkuvasti tarkastelemaan toimintaympäristöään ja parantamaan kykyään käsitellä sitä, ja toimia sen osana (Luhmann 2013). Aihetta voidaan tarkastella myös instrumentaalisen ja normatiivisten sidosryhmäteorioiden kautta, jotka lukeutuvat sosiaalisiin systeemiteorioihin. Instrumentaalisen teorian mukaan yritysten tulisi pitää huolta sidosryhmistään, sillä näin he saavuttavat pitkällä aikajänteellä parhaan taloudellisen hyödyn. Normatiivisen teorian mukaan taas yritysten tulisi pitää sidosryhmistään huolta sen vuoksi, että se on moraalisesti oikein ja näin kuuluu tehdä. Näitä ei voida kuitenkaan täysin irrottaa toisistaan, sillä yritykset toimivat osana laajempaa järjestelmää - yhteiskuntaa (Valentinov ja Hajdu 2021).

2.2 Muutosteoria

Muutosteoria on ajattelumalli, jota käytetään yhteiskunnallisia muutoksia selittäessä, arvioidessa ja suunnitellessa. Muutosteorian periaatteiden mukaan on tärkeää ymmärtää mitä muutoksia pyritään saavuttamaan, mitä niiden saavuttamiseksi vaaditaan ja mitkä ovat muutosten vaikutukset. Muutosteoriaa voidaan käyttää hyväksi muutoksen vaikuttavuuden mittausmenetelmien määrittämisessä (Reinholz ja Andrews 2020).

Muutosteorian historia ylettyy 1990-luvulle, jolloin alettiin puhua teoriaohjautuvasta arvioinnista. Tämän tarkoituksena oli siirtyä yksinkertaisesta syyseuraus-suhteiden tarkastelusta eteenpäin, ja keskittyä siihen, miten asioiden oletettiin ja haluttiin toimivan (Chen 1990). Muutosteoria tuli terminä käyttöön myöhemmin, kun C.H.Weiss (1995) kirjoitti siitä artikkelissaan". Muutosteorian perusajatuksena on muodostaa joukko hypoteeseja, joita sopeutetaan tilanteeseen muutoksen edetessä. Alkuperäiset hypoteesit voivat olla hyvinkin suurpiirteisiä ja epätarkkoja. Tämän takia muutosta on seurattava jatkuvasti ja kerättävä siitä kaikki mahdollinen data arvioinnin helpottamiseksi (Reinholz ja Andrews 2020).

Muuttujat, kuten sidosryhmät ovat muutosteorian keskiössä, ja niiden keskinäisiä suhteita on tärkeä oppia ymmärtämään muutosten mahdollisuuksia ja vaikutuksia arvioitaessa. On tärkeä tunnista mitkä muuttujat voivat edistää muutosta, ja mitkä puolestaan saattavat toimia muutoksen hidasteina. Sidosryhmien ja jopa yksittäisten ihmisten asenteet ja käytös voivat olla selittäviä tekijöitä moneen muutosta ajavaan tekijään (Hussain ja Hafeez 2008).

2.3 Viitekehyksen operationalisointi

Systeemiteoriaa voidaan käyttää metsäteollisuuden yhteiskunnallisen kokonaisvaltaisuuden ja vaikuttavuuden tarkasteluun ja arviointiin. Metsäteollisuutta voidaan käsitellä yleisen systeemiteorian mukaisesti avoimena systeeminä. Avoin systeemi on organismi, joka saa syötettä ympäristöstään, mukauttaa omaa toimintaansa näiden perusteella ja luo ulosantina tuotteita sen mukaan, miten parhaaksi näkee näiden sidosryhmiensä ja liiketoimintansa kannalta (Kast ym. 1972). Tätä voidaan hyvin soveltaa metsäteollisuuden toiminnan tutkimiseen. Metsäteollisuusyritykset toimivat yhteistyössä metsänomistajien (yksityiset metsänomistajat, yhteismetsät, instituutiot) kanssa, joilta metsäteollisuuden hankintaorganisaatiot ostavat puutavaraa korjuuyritysten korjattavaksi ja kuljetusyritysten kuljetettavaksi tehtaille (Palander ja Vainikka 2006). Tehtaat valmistavat näistä tuotteita tilausten ja yleisen tarpeen mukaan ja siirtävät sivuvirtoina syntyvät tuotteet ketjussa eteenpäin jatkojalostettavaksi, tai energiantuotantoon. Tämän

tapahtumaketjun aikana metsäteollisuudessa tehtävät toimenpiteet vaikuttavat suoraan metsäyhtiöiden palveluksessa työskentelevien henkilöiden lisäksi metsänomistajiin, korjuu- ja kuljetusyrityksiin ja niiden työntekijöihin, sekä tuotteita ostaviin tahoihin. Välilliset vaikutukset ovat sen sijaan huomattavasti laajemmat. Metsäteollisuuden tuotantolaitokset eivät toimi eristyksissä, vaan niillä on monimutkaisia suhteita ympäröivään yhteiskuntaan, talouteen ja ympäristöön (Pihlainen ja Karhinen 2025). Yhteiskunnallisista toimijoista hyviä esimerkkejä ovat edunvalvontajärjestöt kuten Metsäteollisuus ry, Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto ry (MTK), sekä metsänhoitoyhdistykset.

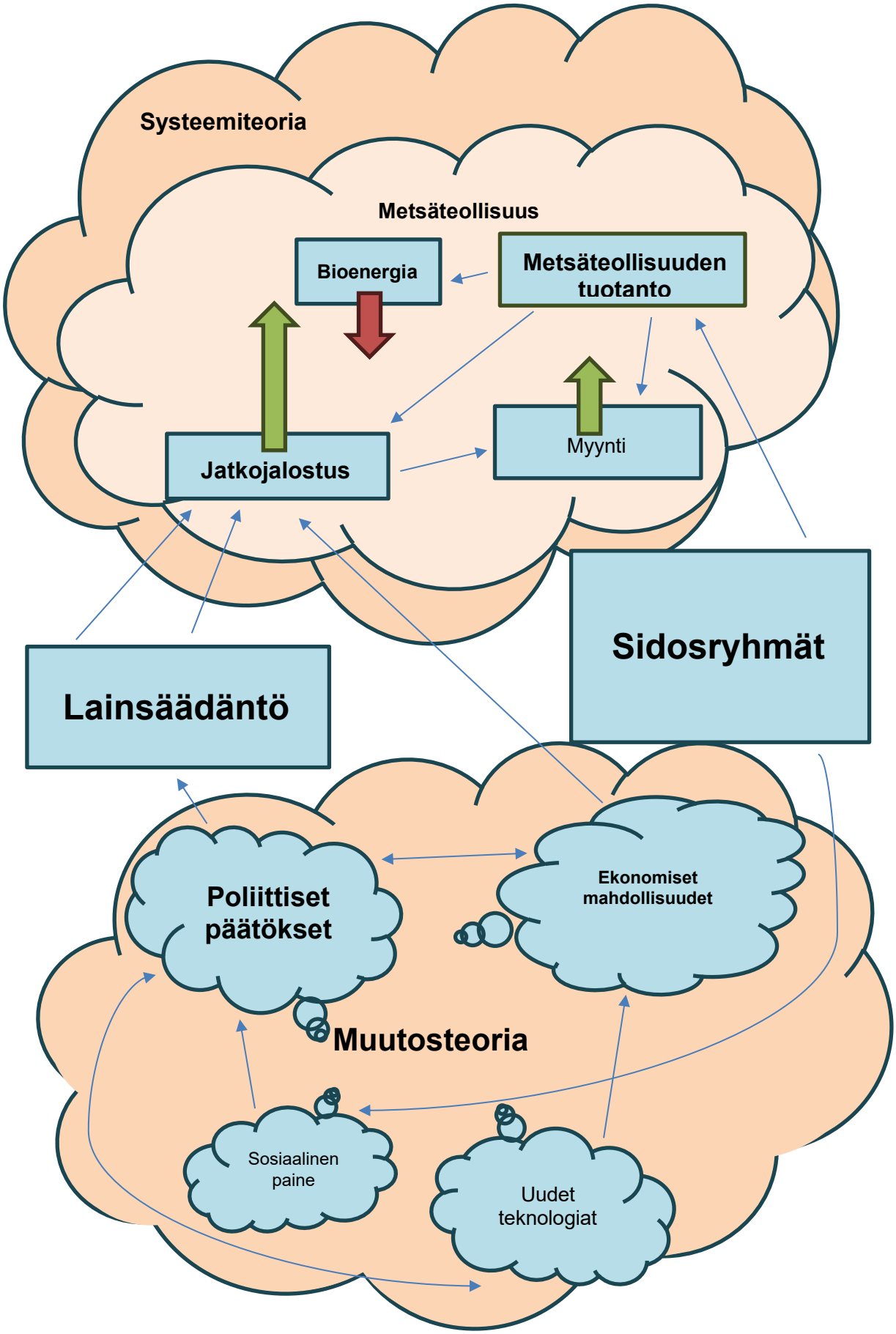
Systeemiteorian avulla voidaan tarkastella metsäteollisuuden nykytilaa ja toimintaympäristöä, sekä sen energialähteiden muutosta osana laajempaa ekosysteemiä ja vuorovaikutuksia muiden järjestelmien kanssa. Esimerkiksi metsäteollisuuden energiankäytön muutokset voivat vaikuttaa metsäbiomassan kysyntään ja tarjontaan, mikä puolestaan voi vaikuttaa metsäteollisuuden raaka-aineiden saatavuuteen ja hintoihin. Lisäksi metsäteollisuuden energiankäytön muutokset vaikuttavat alueelliseen työllisyyteen ja talouteen, mikä puolestaan voi vaikuttaa paikallisyhteisöjen hyvinvointiin ja metsäteollisuuden sosiaaliseen hyväksyttävyyteen (Pihlainen ja Karhinen 2025).

Muutosteorian avulla voidaan tarkastella metsäteollisuuden energialähteiden nykytilannetta ja tunnistaa niitä ajavia voimia, jotka ovat vaikuttaneet nykytilanteen syntymiseen ja voisivat tulevaisuudessa vaikuttaa mahdollisiin muutoksiin. Perinteisesti metsäteollisuus on ollut riippuvainen fossiilisista, sekä puupohjaisista polttoaineista energiantuotannossaan, mutta ympäristöön liittyvät huolenaiheet ja nykyinen EU-politiikka ovat ajaneet fossiilisten osuuden laskuun (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2018; Tilastokeskus 2024). Esimerkiksi kasvava sosiaalinen paine, ilmastonmuutoksen torjuntaponnistelusta johtuvat tiukentuvat päästönormit ja uusiutuvan energian tukipolitiikat voivat toimia muutoksen ajureina metsäteollisuuden energialähteissä. Suomessa metsäenergiaan liittyvä politiikka on vaihdellut vuosikymmenien aikana useaan kertaan (Rytteri ja Lukkarinen 2014).

Toppinen ym. (2017) toteavat tutkimuksessaan, että muutoksia on tehtävä, mikäli Euroopan metsäteollisuus aikoo pärjätä jatkossa muilta markkinoilta nousevaan kilpailuun. Muiden markkinoiden nopeampi teknologinen kehitys on mahdollistanut sen, että ne ovat kuroneet Euroopan vuosikymmenien etumatkan kiinni ja uhkaavat mennä ohi. Mikäli metsäteollisuus tahtoo siirtyä kohti korkeampaa jalostusastetta ja tuottoisampaa liiketoimintaa, tulisi sen olla valmis muuttamaan niin tuotantoaan kuin liiketoimintamallejaankin. Kilpailutilanteeseen vastaaminen

ohjaa metsäteollisuutta muuttamaan toimintaansa sisäisesti, jotta tilanteesta voidaan hyötyä taloudellisesti sen sijaan että hävitään kilpailussa muille toimijoille. On myös hyvin todennäköistä, että puun riittävyys sekä tuotantoon, että energiaksi nousee kynnyskysymykseksi metsäteollisuudessa. Näillä näkymin puuta ei tule riittämään sekä uusiutuvan energian tuotantoon ilman, että se aiheuttaa pulaa raaka-aineista metsätuoteteollisuudessa (Toppinen ym. 2017). Hiilidioksidin hinnoittelu tulee olemaan olennainen osa ilmastonmuutoksen torjumisessa ja samalla siitä voidaan saada kannusteita metsäbiotalouden investointeihin ja kehittämiseen (Hetemäki 2014).

Kuvasta 1 nähdään metsäteollisuuden järjestelmäkokonaisuus ja siihen vaikuttavat muutosvoimat sekä se, mihin ne ensisijaisesti vaikuttavat tarkasteltavan aiheen kannalta. Näiden tekijöiden ymmärtäminen auttaa hahmottamaan kuinka bioenergian osuuden väheneminen metsäteollisuudessa vaatisi jatkojalostuksen kasvattamista, ja siten suurempia myyntituloja kattamaan nousseita energiakustannuksia.



Kuva 1. Metsäteollisuuden energiankäytön muutos systeemi- ja muutosteorioiden näkökulmasta tarkasteltuna. Kuva: Niilo Häkkinen

3 Materiaalit ja menetelmä

Tutkielmassa tarkastellaan metsäteollisuuden energiankäyttöä ja sen tuotantotapoja nykytilanteessa, ja arvioidaan sen kohtaamia muutostarpeita ja niiden syitä. Alaluvussa 3.1 tarkastellaan nykytilannetta julkisesti saatavilla olevan tilastotiedon, metsäteollisuusyhtiöiden vuosikatsausten, sekä kirjallisuuden kautta. Alaluku 3.2 käsittelee käytettyä aineistoa, joka kattaa aiheeseen liittyvää tieteellistä kirjallisuutta, poliittisia raportteja sekä ajankohtaista lainsäädäntöä. Käytetty menetelmä, eli PESTLE-analyysi esitellään alaluvussa 3.3.

3.1 Tutkimusympäristö

Tutkimusympäristön esittelyssä tarkastellaan metsäteollisuuden energiankäytön nykytilaa. Tilannetta tarkastellaan julkisesti saatavilla olevaa Tilastokeskuksen, sekä Luonnonvarakeskuksen tilastotietoa, metsäteollisuusyritysten vuosikertomuksia, sekä muita julkisia aineistoja hyödyntäen. Tutkimusympäristön esittely on tärkeä osa tutkimuksen tutkittavan aiheen vaikuttavuuden arviointia. Metsäteollisuuden energiankäytön mittakaavan, ja mahdollisten muutosten laajuuden ymmärtäminen vaatii nykytilanteen hahmottamista.

Tarkastelun kohteena on 2010- ja 2020-luvut ja tilastot vuosilta 2010–2023. Ajanjakso on valikoitunut osittain aineiston saatavuuden ja sen vuoksi, että kyseessä on moderni aika, jolloin suurin osa nykyteknologiasta ja innovaatioista on ollut saatavilla. Tutkielmassa on otettu huomioon 2020-luvun alun turbulenttiset tapahtumat, jotka ovat vaikuttaneet tutkielmassa tarkasteltaviin muuttujiin niin paljon, että asia täytyy ottaa huomioon. Covid-19-pandemia, sekä Venäjän hyökkäys Ukrainaan ovat vaikuttaneet sekä puunhankintaan, että energiamarkkinoihin, joten ne on mainittava epävarmuustekijöinä (Eurooppa-neuvosto 2022; Houballah ym. 2024).

Tilastokeskuksen tehtävänä on tuottaa luotettavia ja puolueettomia tilastoja suomalaisesta yhteiskunnasta ja johtaa valtion tilastotoimea (Tilastokeskus 2024). Tilastokeskuksen tilastojen lisäksi tutkielmassa on käytetty Luonnonvarakeskuksen ja Metsäteollisuus ry:n tilastoja, jotka pohjautuvat Tilastokeskukselta saatuun tietoon, mutta ovat koostettu eri tarkoitusperiä varten. Tilastotiedon käyttäminen tutkielman laatimisessa on tärkeä osa sen vaikuttavuutta ja legitimiteettiä. Pörssiin listautuneet julkisesti noteeratut metsäyhtiöt raportoivat toiminnastaan vuositasolla, ja näitä raportteja voidaan käyttää esimerkkeinä metsäteollisuusyritysten toiminnasta. Metsäteollisuuden parissa toimivat yhtiöt kuitenkin eroavat toisistaan liiketoimintansa osalta, joten kaikilta osin niitä ei pystytä vertailemaan. Tutkielmaa tehdessä on valikoitu tarkasteltavaksi kolme suurinta Suomessa toimivaa metsäteollisuusyhtiötä: UPM-Kymmene Oyj, Stora Enso Oyj &

Metsäliitto Osuuskunta. Näiden kolmen yhtiön liiketoiminta ja raportointi on samankaltaista, joten niiden käyttäminen esimerkkeinä on luontevaa. Kaikki edellä mainitut metsäteollisuusyhtiöt harjoittavat sekä saha-, että massateollisuutta, joten niiden sivuvirrat ovat samankaltaisia ja siten vertailukelpoisia (UPM 2024; Stora Enso 2024; Metsä Group 2024).

3.1.1 Suomen metsäteollisuuden energiankäyttö

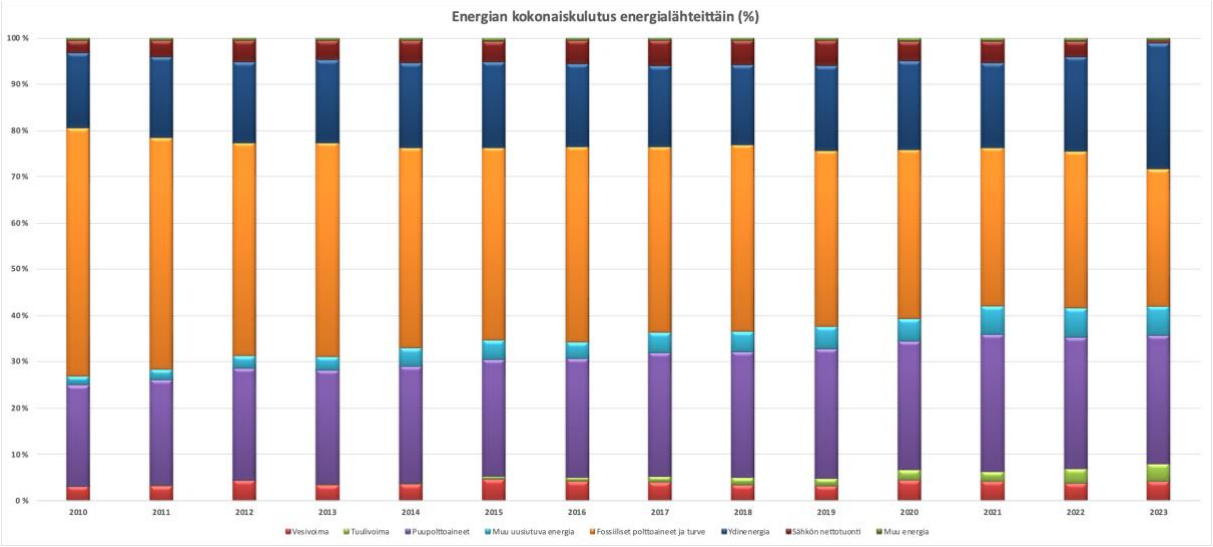
Tilastoista voidaan havaita, että metsäteollisuuden sähkönkulutus on vähentynyt 39,3 % vuoden 2010 tasosta. Vastaavasti kokonaisenergiankulutus on vähentynyt 20,5 % (Tilastokeskus 2024). Tämä sähkön- ja energiankulutuksen väheneminen on aiheutunut suurelta osin 2020-luvulla tapahtuneista tehtaiden alasajoista (UPM Kaipola 2020, Stora Enso Oulu 2020, Stora Enso Veitsiluoto 2022, Stora Enso Sunila 2023), mutta ennen näitäkin on havaittavissa puupolttoaineiden osuuden kasvua, sekä sähkön ja fossiilisten polttoaineiden osuuksien laskua. Taulukosta 1 voidaan nähdä eri energiantuotantomuotojen kehitys vuosina 2010–2023. Jos tarkastellaan eri energiamuotojen suhteellisia osuuksia metsäteollisuuden kokonaisenergiankulutuksesta, on puupolttoaineiden osuus kasvanut vuosi vuodelta. Vuonna 2010 puupolttoaineiden osuus oli 54 % ja vuonna 2023 se oli jo 72 %. Kasvu on ollut tasaista niin energiayksiköissä mitattuna, kuin prosentuaalisessa osuudessakin (Tilastokeskus 2024).

Taulukko 1. Metsäteollisuuden energiankäyttö (TWh)

Vuosi	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Puupolttoaineet	47,0	47,6	48,5	50,9	51,3	50,9	52,4	55,5	58,5	59,3	55,0	58,3	50,8	50,7
Fossiiliset	14,3	13,1	11,2	11,5	11,0	10,6	10,4	9,7	10,0	9,5	8,1	9,0	6,5	5,2
Sähkö	14,5	14,0	13,2	12,5	12,1	11,8	11,8	12,3	12,0	11,1	9,9	10,1	9,2	8,8
Kaikki	86,8	85,1	82,2	83,6	81,1	79,5	81,3	84,1	87,4	88,0	79,9	84,0	73,8	70,9

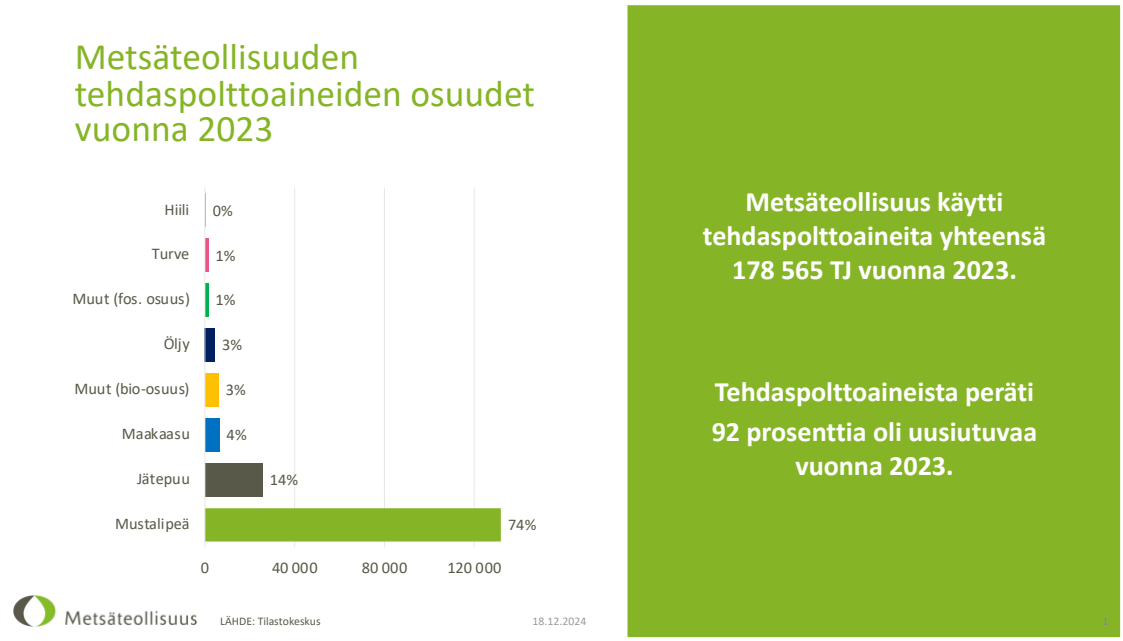
Saman tarkastelujakson aikana Suomen kokonaisenergiankulutus on vähentynyt 10,4 %. Tämä merkittävä energiasäästö selittyy pääosin fossiilisten polttoaineiden käytön huomattavalla vähenemisellä (-50,4 %). Fossiilisten polttoaineiden vähenemisen aiheuttamaa vajetta on korvattu uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla, sekä ydinvoimalla, joka luetaan päästöttömäksi energialähteeksi. Ydinenergian tuotanto on lisääntynyt 49,7 % ja uusiutuvan energian tuotanto sen sijaan lisääntynyt 40,1 % tarkastelujakson aikana (Tilastokeskus 2024). Puupohjaisten polttoaineiden lisäys on 13,1 % ja sen osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta on lisääntynyt 22 %:sta 28 %:iin. Kuvassa 2 nähtävää energiankulutuksen prosentuaalista jakaumaa tarkastelemalla voidaan havaita, että fossiilisten polttoaineiden osuus on pienentynyt

tarkastelujakson aikana merkittävästi (54 %:sta 30 %:iin) ja se on korvautunut uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla (27 %:sta 42 %:iin), kuten puupohjaisilla polttoaineilla ja tuulivoimalla, sekä ydinvoimalla. Suurin suhteellisen osuuden lisäys on ollut tuulivoimalla, joka on tarkastelujakson alussa ollut hyvin merkityksetön energiantuotantomuoto, mutta nykyään tuulivoimalla tuotetaan jopa 4 % Suomen kokonaisenergiankulutuksesta (Tilastokeskus 2024).



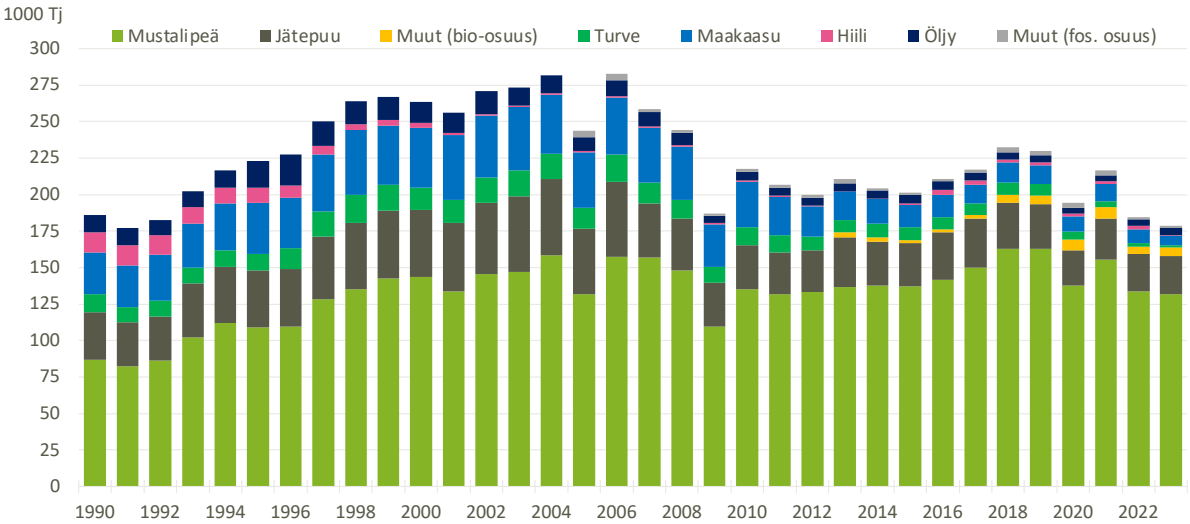
Kuva 2. Energiankulutus energialähteittäin vuosina 2010–2023 (%). Kuva: Tilastokeskus

Kuvassa 3 nähdään Suomen energian kokonaiskulutus vuonna 2023, ja se havainnollistaa hyvin, kuinka puupolttoaineilla tuotettu energia kattaa 28 % koko Suomen energiankulutuksesta, ollen näin suurin yksittäinen energiantuotantomuoto. Ydinvoima on puupolttoaineiden kanssa lähes tasavertainen 27 % osuudellaan ja seuraavaksi suurimpana on öljy 19 % osuudella. Mikäli fossiilisten polttoaineiden osuudet lasketaan yhteen, ovat ne edelleen tärkein yksittäinen energiantuotantomuoto 30 % osuudella (öljy 19 %, hiili 5 %, maakaasu 3 %, turve 2 %, muut 1 %) (Tilastokeskus 2024; Metsäteollisuus ry 2024). Metsäteollisuuden käyttämät tehdaspolttoaineet ovat pääosin puuperäisiä. Vuonna 2023 peräti 92 % metsäteollisuuden käyttämistä tehdaspolttoaineista oli uusiutuvia (mustalipeä 74 %, jätepuu 14 %, muut 3 %), joiden lisäksi turvetta käytettiin 1 % kaikesta tehdaspolttoaineesta. Turve lasketaan nykyään fossiiliseksi polttoaineeksi, sillä sen uusiutuminen on verrattain hidasta. Muita fossiilisia polttoaineita käytetään metsäteollisuuden tehdaspolttoaineina pieniä määriä, lähinnä maakaasua ja öljyä (Metsäteollisuus ry 2024).



Kuva 3. Metsäteollisuuden tehdaspolttoaineet vuonna 2023. Kuva: Metsäteollisuus ry

Kuvasta 4 voidaan havaita, että fossiilisten polttoaineiden osuus metsäteollisuuden käyttämissä tehdaspolttoaineissa on pienentynyt tasaisesti 2000-luvulla, mikä selittää myös polttoaineiden kokonaiskulutuksen vähenemistä (Metsäteollisuus ry 2024). Turpeenpoltto on samalla jäänyt marginaaliin, mihin on vaikuttanut turpeen siirtäminen uusiutuvista energiantuotantomuodoista fossiilisiin polttoaineisiin, sekä myös sen luopumisesta maksetut tuet. Turvetta kuitenkin tarvitaan tietyissä polttokattiloissa säätelemään pH-arvoa ja täten pidentämään niiden käyttöikää ja parantamaan hyötysuhdetta (Laanilan Voima Oy 2009).



Kuva 4. Metsäteollisuuden tehdaspolttoaineet Suomessa. Kuva: Metsäteollisuus ry

3.1.2 Metsäteollisuusyhtiöiden energiankäyttö

Nykytilanne metsäteollisuuden energiankäytössä nojaa vahvasti omaan sähköntuotantoon, sekä tuotannossa syntyvän lämpöenergian hyödyntämiseen muun energiatarpeen täyttämiseen. Tämä selviää kaikkien tarkasteltujen yhtiöiden vuosikatsauksista - painopisteet ovat erilaisia, ja oman energiantuotannon osuus vaihtelee, mutta ne ovat kuitenkin kaikilla yhtiöillä merkittävimpiä energianhankintamuotoja. Tehdaspolttoaineiden lisäksi yhtiöt ostavat sähköenergiaa ja osalla on myös omistusosuuksia energiayhtiöistä (UPM-Kymmene Oyj 2024; Stora Enso Oyj 2024; Metsä Group 2024). Kaikkia tarkasteltuja metsäyhtiöitä yhdistää se, että puupohjaisten biopolttoaineiden osuus energiantuotannosta on ollut kasvusuunnassa, ja niillä on korvattu fossiilisia polttoaineita. Tämä on vallitsevan lainsäädännön ja energiamuotojen uusiutuvuuden tulkinnan mukaista, sillä puupohjaiset polttoaineet luetaan uusiutuviin energiamuotoihin (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2018). Puupohjaisen polttoaineen ollessa metsäteollisuusyhtiöille käytännössä ilmaista ja energiantarpeen ollessa suurta ovat syyt selviä sille, miksi energiaa tuotetaan nimenomaan puupohjaisia polttoaineita hyödyntäen (. Nämä kolme metsäteollisuusyhtiötä muodostavat rungon koko Suomen metsäalalle ja sen rakenteelle. Käytännössä katsoen kaikki metsäteollisuuden parissa toimivat yritykset, oli kyseessä sitten saha- tai korjuu-urakointiyritys, ovat yhteistyössä useampien eri tahojen kanssa, ja kaikki yhdistyvät lopulta jonkun linkin kautta toisiinsa.

UPM-Kymmene Oyj on Suomen toiseksi suurin sähköntuottaja omien voimaloidensa, sekä energiayhtiöiden omistusosuuksiensa kautta. UPM omistaa osuudet Pohjolan Voimasta (PVO), Kemijoki Oy:stä, Länsi-Suomen Voima Oy:stä, sekä Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitoksesta (UPM-Kymmene Oyj 2024). Myös Stora Enso omistaa osuuksia energiayhtiöistä, kuten Pohjolan Voima Oyj (PVO), sekä Fortum Oyj. Stora Enson Oman sähköntuotannon osuus on kasvanut 2020-luvulla ja oli vuonna 2023 jopa 79 % koko yhtiön sähkönkulutuksesta (Stora Enso Oyj 2024). Metsä Group erottuu joukosta sillä, ettei se tuota merkittävästi omaa sähköä, vaan tukeutuu sähköenergiassa ostamiseen (Metsä Group 2024). Sähkön osuus yhtiön kokonaisenergiankulutuksesta on kuitenkin selvästi pienempi kuin kilpailijoillaan.

Metsä Group on ainoa kolmesta suuresta Suomessa toimivasta metsäteollisuusyhtiöstä, joka on viimevuosina investoinut nimenomaan Suomeen. Se on avannut kaksi isoa biotuotetehdasta, Äänekoskelle (2017), sekä Kemiin (2023). Nämä modernit tehtaat tuottavat myös mittavat määrät bioenergiaa polttamalla puupohjaisia polttoaineita (Metsä Group 2024). Sekä UPM, että Stora Enso ovat suunnanneet suuremmat investointinsa ulkomaille, kuten Etelä-Amerikkaan ja muualle Eurooppaan (UPM Fray Bentos, UPM Paso de los Toros, UPM Leuna, Stora Enso Langerbrugge).

Taulukosta 2 nähdään suomalaisten metsäteollisuusyhtiöiden energiankulutus vuoden 2023 aikana, mikä selviää yhtiöiden vuosikertomuksista. Kaikkien yhtiöiden energiankulutuksesta valtaosa tuotetaan puupohjaisia polttoaineita hyödyntäen, mutta sen osuus vaihtelee yhtiöittäin. Taulukossa 2 nähtävät luvut sisältävät suomalaisten tuotantolaitosten lisäksi ulkomailla sijaitsevat tehtaat.

Taulukko 2. Metsäteollisuusyhtiöiden energiankäyttö (TWh) 2023.

Yhtiö	UPM-Kymmene Oyj	Stora Enso Oyj	Metsä Group
Puupohjaiset polttoaineet	30,4 TWh	24,6 TWh	23,5 TWh
Fossiiliset polttoaineet	9,5 TWh	4,7 TWh	2,6 TWh
Sähköenergia	9,6 TWh	6,6 TWh	1,3 TWh
Oma sähköntuotanto	16,6 TWh	5,2 TWh	0,0 TWh
Kulutus yhteensä	49,5 TWh	35,9 TWh	27,4 TWh

3.2 Aineisto

Tutkielmaa laadittaessa on kerätty aiheen kannalta oleellista kirjallisuutta käyttäen Helsingin yliopiston kirjaston Helka-portaalia, ResearchGate sekä Google Scholar -palveluita, joiden avulla on voitu hankkia käytettävä kirjallisuus tutkielmaa varten. Kirjallisuuden etsimiseen on myös käytetty tekoälysovellus ChatGPT:tä, joskin sen osuus on ollut hyvin pieni huonojen tulosten takia. Tutkielmaa varten käytetty kirjallisuus käsittelee metsäteollisuuden energiankäyttöä nykymuodossaan, metsäteollisuutta kokonaisuutena, sen yhteiskunnallista merkittävyyttä sekä metsäteollisuuden sivuvirtojen jatkojalostusmahdollisuuksia. Kirjallisuuden etsinnässä on pyritty käyttämään mahdollisimman vähän määritteleviä, mutta samalla selkeitä hakusanoja, jotta kirjallisuutta löytyisi. Spesifin aiheen vuoksi kirjallisuuden löytäminen ei ollut helppoa, eikä aiheesta ollut ennestään kovin paljoa aiempaa tutkimusta.

Helka-portaalista on pyritty etsimään suomenkielistä kirjallisuutta hakusanoilla ”metsäteollisuus, energia”, ”metsäteollisuuden sivuvirrat”, ”politiikka ja metsäteollisuus”, mutta hyvin pian oli huomattavissa, ettei näin löytynyt soveltuvaa aineistoa juuri lainkaan. Englanninkieliset hakusanat ”forest energy”, ”forestry energy”, ”forestry sidestreams”, ”forest policy” ja ”forestry technology” alkoivat tuottaa toivomiani hakutuloksia. Google Scholar ja ResearchGate -hakupalvelujen avulla on pyritty löytämään ensisijaisesti ulkomaisia tutkimuksia metsäteollisuuden sivuvirtoihin liittyvistä teknologioista, ja niiden kehitystyöstä, sekä teoreettiseen viitekehykseen liittyvistä tutkimuksista koskien systeemiteoriaa, sekä muutosteoriaa. Tämä osoittautui hyväksi tavaksi löytää sopivia

tutkimuksia, ja muuta kirjallisuutta metsäteollisuuteen ja energiankäyttöön, sekä teknologiseen kehitykseen liittyen. Aineiston etsimisessä on käytetty edellisessä kappaleessa mainittujen hakusanojen lisäksi myös hakusanoja ”forestry energy Finland”, ”forest policy in EU”, “forest policy in Finland”, “forest energy lignin” ja “extraction of lignin”. Tarkemmat hakusanat toimivat paremmin näillä hakukoneilla kuin Helka-portaalista haettuna.

Aineistona on käytetty kirjallisuuden lisäksi kansallisten poliittisten toimijoiden, kuten Työ- ja elinkeinoministeriö ja Ympäristöministeriö raportteja, sekä Euroopan unionin, ja Yhdistyneiden kansakuntien poliittisista ohjelmia ja kestävän kehityksen linjauksia. Näiden etsimiseen on käytetty Google-hakukonetta, sekä ChatGPT-tekoälymallia. ChatGPT-tekoälyllä on etsitty kansainväliseen politiikkaan liittyvää aineistoa ohjeistamalla sitä etsimään lähteitä, jotka liittyvät metsäteollisuuteen ja energiapolitiikkaan, sekä niiden mahdollisiin muutoksiin.

Kansallisia raportteja on etsitty syöttämällä Google-hakukoneeseen hakusanoja ”energiapolitiikka, sähköistyminen”, ”metsäteollisuus, energia, tulevaisuus, raportti” ja ”metsäteollisuus sähköntuotanto”. Näiden lisäksi raportteja haettiin myös ministeriöiden (TEM & YM), sekä valtioneuvoston verkkosivuilta.

3.3 PESTLE-analyysi

PESTLE-analyysi on markkinoinnissa yleisesti käytetty viitekehys, joka auttaa ymmärtämään organisaatioon, yritykseen tai teollisuudenalaan vaikuttavia ulkoisia tekijöitä. Analyysissä ulkoiset tekijät jaotellaan kuuteen eri ryhmään: poliittiset, taloudelliset, sosiaaliset, teknologiset, oikeudelliset ja ympäristölliset tekijät (PESTLE = Political, Economical, Social, Techonological, Legal, Environmental). Näitä tekijöitä tarkastelemalla voidaan tunnistaa vahvuuksia ja heikkouksia, joiden perusteella voidaan jatkaa SWOT-analyysiin (Strenghts, weaknessess, opportunities, threats) (Washington state university 2025). PESTLE-analyysin osa-alueet eivät ole toisistaan irrallisia, vaan toimivat osana yhteiskunnallista kokonaisuutta ja vaikuttavat toisiinsa. PESTLE-analyysi ja sen variaatiot eivät ole kuitenkaan jääneet vaille kritiikkiä. Sitä on muun muassa arvosteltu eri osa-alueiden irrallisesta tarkastelusta, jolloin kokonaiskuva voi jäädä liian vähälle huomiolle (Dufva 2022).

PESTLE-analyysin historia voidaan jäljittää 1960-luvulle, jolloin strategisen suunnittelun tutkiminen alkoi kiinnostaa akateemista maailmaa. Francis J. Aguilar kehitti viitekehyksen, jolla voitiin analysoida taloudellisia, poliittisia, sosiaalisia ja teknologisia tekijöitä yritysten strategioissa. Näistä muodostui silloinen PEST-analyysi, jota jatkojalostettiin eteenpäin ja 1980-luvulla alettiin

puhua jo PESTLE-analyysistä, kun mukaan valikoitui oikeudelliset ja ympäristöllisetkin tekijät (Makos 2024a).

Ulkoisten tekijöiden ymmärtäminen on keskeistä, kun tutkitaan kokonaisvaltaista teollisuudenalaa, kuten metsäteollisuus. Tähän PESTLE tarjoaa hyvän työkalun, jonka avulla voidaan käsitellä analyysin eri osa-alueita toisista irrallaan. Alaan vaikuttavat tekijät ovat usein ristiriidassa keskenään, ja niiden käsittely yksitellen voi auttaa ymmärtämään eri näkökulmia aiheen lähestymiseen (Dufva 2022). Metsäteollisuus kokonaisuutena soveltuu hyvin tarkasteltavaksi PESTLE:n kautta, sillä se kattaa Suomen yhteiskunnassa kaikki nämä edellä mainitut tasot. Niiden painoarvo vaihtelee riippuen tarkasteltavasta metsäteollisuuden osa-alueesta, mutta kaikki ovat läsnä yhteiskunnallisessa keskustelussa (Makos 2024b).

PESTLE-analyysiä hyödynnetään tässä tutkielmassa tarkastelemalla analyysin eri osa-alueita metsäteollisuuteen vaikuttavien muuttujien kautta. Jokaista osa-aluetta tarkastellaan siihen liittyvän aineiston kautta. Mukana on tutkimuskirjallisuutta, tilastoja energiankäytöstä, lainsäädäntöä, sekä erilaisia raportteja aiheeseen liittyviltä toimijoilta. Poliittisen kentän analysoinnissa tutkitaan sekä kansallista, että kansainvälistä politiikkaa, joilla on suuri vaikutusvalta energiankäytön tulevaisuuteen. Ekonomisen osuuden tarkastelussa otetaan huomioon tämänhetkisen energiankäytön taloudelliset hyödyt, uudet teknologiset mahdollisuudet, sekä sähköistymisen vaikutukset metsäteollisuuden energiankäytön hintakehitykseen. Sosiaalisia vaikutustekijöitä tarkastellessa esitellään metsäteollisuuden sosiaalisesta hyväksyttävyydestä laadittuihin tutkimuksiin ja pyritään löytämään sieltä muutoksen ajureita, jotka voisivat vaikuttaa muihin muuttujiin. Teknologian osalta esitellään kehitteillä olevia uusia teknologioita, joilla voisi olla tulevaisuudessa suurempi osuus metsäteollisuuden sivuvirroista, ja sitä myötä energiakäyttöön jäävien polttoaineiden riittävyys voisi olla uhattuna energiantuotantoon. Lainsäädäntöä tarkastellaan vallalla olevien poliittisten instituutioiden kautta, jotka vaikuttavat sekä kansalliseen, että kansainväliseen lainsäädäntöön. Ympäristöaspektiin vaikuttavia tekijöitä esitellään metsäteollisuuden ympäristöohjelmien, puupohjaisten polttoaineiden ympäristövaikutusten, sekä ympäristövaikutusten luokittelun kautta. Nämä nidotaan yhteen keskustelussa luvussa 5.

4 Tulokset

Tulokset esitetään PESTLE-analyysin kautta alaluvussa 4.1, jonka jälkeen tutkimuskysymyksiin vastataan alaluvussa 4.2.

4.1 PESTLE-analyysi

Tuloksissa esitetään aineiston pohjalta tehdyn PESTLE-analyysin kautta metsäteollisuuden energiankäytön nykytilaa, mahdollisia syitä metsäteollisuuden energiankäytön muutoksille ja muutosten näkymiä lähitulevaisuudessa. Metsäteollisuus toimii yhteyskunnallisesti merkittävässä asemassa niin työllisyyden, talouden kuin energiantuotannonkin kannalta ja siksi siihen pyritäänkin vaikuttamaan eri sidosryhmien kautta aktiivisesti. PESTLE-analyysin tulokset esitellään osa-alue kerrallaan, ja lopuksi keskustellaan niiden liittymisestä toisiinsa keskustelussa, luvussa 5.

4.1.1 Politiikan ulottuvuus

Metsäteollisuuden asema Suomessa on hyvin poliittinen, ja sen vaikutukset ympäristöön ja kansantalouteen ohjaavat kansallista ja nykyään myös alueellista politiikkaa. Metsäteollisuuden taloudellinen asema on tunnustettu kansallisessa politiikassa ja sen toimintaedellytyksiä on tuettu poliittisin toimin. Metsäalan jatkuvuus on kansallisesti tärkeä asia, sillä se muodostaa merkittävän osan Suomen bruttokansantuotteesta ja työllistää satoja tuhansia ihmisiä. Tästä työllisyysvaikutuksesta ja tuotantoketjun arvosta suurin osa jää Suomeen (Maa- ja metsätalousministeriö 2006). Suomen sisäinen poliittinen kanta metsäenergiaa ja puupohjaisia polttoaineita kohtaan on historian aikana vaihdellut edistämistoimista vahvaan rajoittamiseen. Näitä päätöksiä on perusteltu muun muassa metsäteollisuuden kokonaisuuden merkityksellä vientiteollisuudelle, huoltovarmuuden edistämisellä ja teollisuuden kilpailukyvyn parantamisella. Nämä samat perustelut ovat välillä toimineet energiapuun puolesta ja välillä sitä vastaan, riippuen katselukulmasta ja tarkasteltavasta poliittisesta ohjauksesta (Rytteri ja Lukkarinen 2014). Kansainvälinen politiikka on kuitenkin tullut kasvavissa määrin osaksi metsäteollisuutta koskevia päätöksiä ja monet sidosryhmät ovatkin eri mieltä kansainvälisen politiikan suuntauksista (Berg-Andersson ym. 2021). EU:n ilmastopolitiikka ohjaa Suomen energiantuotantoa, ja sitä kautta myös metsäteollisuuden osuutta asiaan. Metsäteollisuus on ollut keskeisiä toimijoita Suomessa uusiutuvien polttoaineiden käyttöönotossa ja fossiilisista luopumisessa. EU:n ilmastopolitiikan ohjaus on nähtävissä kaikkien tarkasteltujen metsäteollisuusyhtiöiden raportoinnissa (UPM-Kymmene Oyj 2024; Stora Enso Oyj 2024; Metsä Group 2024). EU-politiikan tuki on avainasemassa Suomen metsäteollisuuden nykymuotoiselle energiankäytölle. Politiikan tulisi

kuitenkin olla vakaata, että voitaisiin luottaa puupohjaisten polttoaineiden käytön jatkuvuuteen (Kożuch ym. 2024).

Työ- ja elinkeinoministeriön raportissa (2019a) arvioidaan Suomen ja pohjoismaiden sähköntuotantoa ja -kulutusta vuosille 2020–2050. Raportin mukaan Suomen sähkönkulutuksen on arvioitu kasvavan noin 13 % vuoteen 2050 mennessä. Merkittävimmät vaikuttavat tekijät sähkönkulutuksen lisäyksessä ovat digitalisaatio ja sähköistyminen, joiden vuoksi mm. datakeskuskapasiteettia täytyy lisätä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019a). Tämä raportti olettaa hiilen käytön sähköntuotannossa loppuvan tarkastelujaksolla, mutta ei ota huomioon mm. Covid-19 pandemiaa, eikä Venäjän hyökkäyssotaa Ukrainassa. Näillä tapahtumilla on ollut valtavia vaikutuksia Euroopan energiapolitiikkaan 2020-luvulla, ja sen takia Euroopan unioni on sitoutunut uusiutuvan energian osuuden kasvattamiseen, sekä pyrkii riippumattomuuteen ulkopuolisista energialähteistä (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2023).

Kuvassa 5 esitetyn Työ- ja elinkeinoministeriön skenaarion mukaan CHP-sähkön (Combined Heat & Power) tuotanto vähenee hitaasti, ollen arviolta 18,2 TWh vuonna 2050. CHP-sähköä tuotetaan juuri polttamalla lämpöenergiaa tuottavien laitosten yhteydessä, eli mikäli fossiilisten ja puupohjaisten polttoaineiden polttamisesta luovuttaisiin, tulisi CHP-sähkön määrä romahtamaan lähelle nollaa. CHP-sähkön korvaaminen tulisi tapahtua siis muilla uusiutuvilla ja ei-fossiilisilla energiantuotantomuodoilla. Työ- ja elinkeinoministeriön raportissa (2019a) ilmaistu CHP-sähkön väheneminen ei sisällä skenaariota, jossa metsäteollisuuden tuotanto sähköistyisi merkittävästi nykyisestään, joten on oletettavaa, että CHP-sähkön väheneminen johtuu mahdollisista tehtaiden sulkemisista.

Base	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Polttoaineet ja päästöoikeus								
Kivihiili, $/t	82.0	82.0	82.0	82.7	86.0	89.0	91.5	94.0
Kaasu, €/MWh	17.3	20.6	18.9	20.5	21.5	23.4	24.0	26.0
Päästöoikeus, €/t	5.8	21.5	24.0	29.3	35.0	37.5	38.8	40.0
Sähkön kulutus								
Suomi, TWh	87.9	88.4	90.3	92.1	94.3	97.0	98.7	100.1
Pohjoismaat, TWh	391.3	407.5	424.4	436.3	442.6	450.0	455.2	459.7
Tuulivoiman tuotanto								
Suomi, TWh	4.7	8.5	14.0	18.7	22.2	27.1	32.7	37.0
Pohjoismaat, TWh	39.3	58.2	79.7	99.2	114.5	128.7	142.8	154.7
Aurinkovoiman tuotanto								
Suomi, TWh	0.1	0.1	0.3	1.1	2.1	3.2	4.5	6.0
Pohjoismaat, TWh	1.0	1.4	3.4	6.3	9.6	13.0	16.4	20.3
Ydinvoiman tuotanto								
Suomi, TWh	21.5	34.6	34.4	43.3	43.3	37.0	34.7	20.4
Pohjoismaat, TWh	84.3	87.1	86.0	94.2	93.6	75.7	48.9	29.9
CHP-sähkön tuotanto								
Suomi, TWh	20.7	21.6	19.9	20.0	19.5	18.9	18.5	18.2

Kuva 5. Base-skenaarion keskeisiä tunnuslukuja. Kuva: Työ- ja elinkeinoministeriö

Nykyisen EU-politiikan mukaisesti puupohjaiset polttoaineet luokitellaan uusiutuviksi, jolloin niistä ei jouduta maksamaan ylimääräisiä hiilimaksuja (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2018). Tälle vallitsevalle suuntaukselle ei ole lähitulevaisuudessa tulossa muutoksia. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisemassa kansallisessa ilmasto- ja energiastrategiassa todetaan, että puupohjaisten polttoaineiden osuus energiantuotannossa pysyy merkittävässä roolissa vielä ainakin 20–30 vuotta, sillä polttoon perustumattomien energiantuotantomuotojen kaupallistuminen on vasta aluillaan (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022). Euroopan komissio on kuitenkin vuonna 2021 ehdottanut, että kiinteät puupolttoaineet sisällytettäisiin energiaverotuksen piiriin (Muilu ym. 2024). Kiinteiden puupolttoaineiden osuus metsäteollisuuden energiantuotannossa on hyvin pieni, mutta sen hyväksyminen veron piiriin voisi avata keskustelun myös muun muassa mustalipeän verotuksesta.

Ilmastopolitiikan ja siihen liittyvien säädösten noudattamisen lisäksi on myös tukikeinoja, joilla voidaan ohjata energiantuotantoa tiettyyn suuntaan. Näillä tukitoimilla voitaisiin muun muassa luoda kannustimia metsäteollisuuden sivuvirtojen jatkojalostukselle, ja sitä myötä siirtymiselle pois niiden energiakäytöstä. Rakennerahaston tukitoimet sivuvirtojen jatkojalostustoiminnan kehittämiseen on yksi tällaisista keinoista, jotka tähtäävät kiertotalouskonseptin tehokkaampaan hyödyntämiseen tutkimustoiminnan ja koulutuksen kehittämisellä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2023).

Omavaraisuus ja huoltovarmuus ovat myös keskeisiä asioita kansallisessa energiapolitiikassa. Puupohjaisilla polttoaineilla tuotettu energia edistää Suomen huoltovarmuutta ja omavaraisuutta, sillä energia on nykyään lähes täysin kotimaisista raaka-aineista tuotettua (Auerma 2024). Energiapolitiikassa ei myöskään tahdota ajaa vain yhden energiantuotantomuodon etua, sillä näin ollen huoltovarmuus voisi vaarantua. Hajauttamalla energiantuotantomuotoja, ja lisäämällä kotimaassa tuotetun energian osuutta, vähennetään riippuvaisuutta ulkomaisista energialähteistä, sekä pienennetään riskiä kriisitilanteiden sattuessa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019b).

4.1.2 Taloudellinen ympäristö

Metsäteollisuuden energiankäytön nykytila perustuu metsäteollisuuden tuotantolaitosten ja prosessien integrointiin, jolloin polttoaineen hankinta tapahtuu muun materiaalin hankinnan sivussa, eikä aiheuta täten ylimääräisiä kustannuksia (Maa- ja metsätalousministeriö 2006). Energia on metsäteollisuudelle tällä hetkellä halpaa, sillä pääosa sen energiantuotannosta syntyy ydinliiketoimintojen sivutuotteina saatavasta puupohjaisesta polttoaineesta (UPM-Kymmene Oyj 2024; Stora Enso Oyj 2024; Metsä Group 2024). Tämä halvan ja uusiutuvan energiantuotannon yhdistelmä on suomalaisen metsäteollisuuden kannattavuuden ytimessä ja mikäli siihen haluttaisiin aikaansaada merkittäviä muutoksia ilman poliittista ohjausta, olisi vaihtoehtoisratkaisujen oltava vähintäänkin yhtä edullisia taloudellisessa mielessä (Valtioneuvoston kanslia 2017).

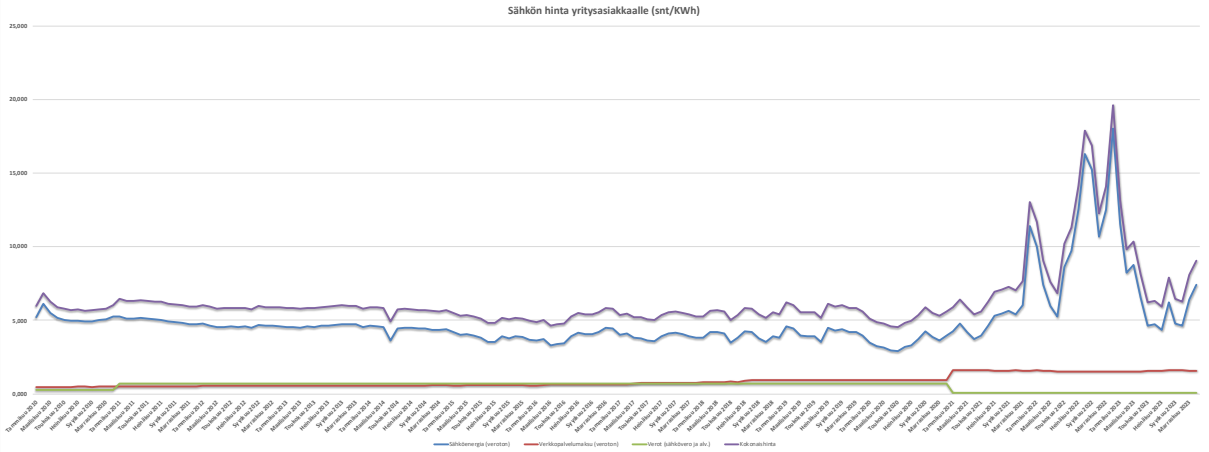
Metsäteollisuuden energiankäytön taloudellisuutta on tutkittu hyvin vähän, mutta saatavilla olevan kirjallisuuden mukaan tuotannon selluntuotannon sivuvirtoina syntyvien ligniinin ja mäntyöljyn myyminen on tuottavampaa kuin sen energiakäyttö, mutta biolietteen (biosludge) osalta taloudellista merkittävyyttä ei ole myynnin ja energiakäytön välisessä erossa (Miettinen ja Ollikainen 2022). Ligniinin ja mäntyöljyn markkinat ovat kuitenkin vielä toistaiseksi verrattain pieniä, eikä niiden myyminen ole validi vaihtoehto suuressa mittakaavassa. Taloudelliset kannusteet voisivat ohjata metsäteollisuutta kohti sivuvirtojen parempaa hyödyntämistä tuotannon raaka-aineena. Tämän hetken tutkimusten valossa sivuvirtojen vaihtoehtoisille kaupallisille ratkaisuille ei ole edellytyksiä suuressa mittakaavassa, mutta taloudelliset tukitoimet ja kannusteet voisivat muuttaa tilannetta. Tämä voisi tapahtua luomalla kannusteita kiertotaloudelle, joka vauhdittaisi korkeamman jalostusasteen tuotteiden kehitystyötä (Salvador ym. 2022). Suurimittaisille muutoksille ei vielä tällä hetkellä ole taloudellisia ajureita, mutta sekin voi muuttua, mikäli raaka-aineesta tulee pulaa. Raaka-aineen, eli puun saatavuus on metsäteollisuuden toiminnan ytimessä, ja kilpailukyvyn parantamiseksi rajallisesta raaka-aineesta on otettava kaikki mahdollinen hyöty irti. Mikäli raaka-aineen, eli tässä tapauksessa puun saatavuudelle tapahtuu merkittäviä muutoksia joko

kysynnän kasvun, tai tarjonnan rajoittamisen vuoksi, on metsäteollisuusyhtiöiden tarkasteltava raaka-aineen käyttö- ja jalostusastetta maksimoidakseen taloudellinen hyöty (Toppinen ym. 2017). Puun käytön maksimoiminen tuotannon raaka-aineena saattaisi vähentää energiaksi päätyvien sivuvirtojen määrää, joka pakottaisi metsäteollisuuden muuttamaan energianhankintaansa ja turvautumaan ulkopuolisiin energialähteisiin, eli käytännössä sähköön. Puupohjaisten polttoaineiden vaihtoehtoinen taloudellinen hyödyntäminen on kuitenkin vielä toistaiseksi vaikeaa, sillä sivuvirroista valmistetuille tuotteille ei ole markkinoilla riittävää kysyntää (Valtioneuvoston kanslia 2017). Toinen mahdollinen taloudellinen ajuri puupohjaisten polttoaineiden vähentämiselle ja sähköistymiselle voisi olla tuuli- ja aurinkovoiman kustannuksiin vaikuttavat helpotukset ja tuet. Nämä tuet ja kannusteet voisivat tehdä sivuvirtojen polttamisesta vähemmän ylivoimaisen vaihtoehdon metsäteollisuuden energiantarpeiden täyttämiseen, sekä auttaa sivuvirroista valmistettujen tuotteiden kaupallisessa hyödyntämisessä. Tällaisista tukitoimista on viimevuosilta lukuisia esimerkkejä (Valtioneuvosto 2024). Biomassan polttamisen energiantuotannossa voisi myös altistaa energiaverolle, kuten muutkin energiantuotantomuodot. Tällä olisi vähentävä vaikutus puupohjaisten polttoaineiden käytölle metsäteollisuuden energiankäytössä. Tällä hetkellä ainoastaan mäntyöljy lasketaan energiaveron piiriin, mutta Euroopan komissio on vuonna 2021 ehdottanut kiinteiden puupolttoaineiden laajamittaista energiakäyttöä sisällytettäväksi energiaveron piiriin (Muilu ym. 2024).

Sähköenergian hinta riippuu monista tekijöistä, kuten vallitsevista sääolosuhteista (tuuli- ja aurinkosähkö), sadekertymistä (vesivoima), polttoaineiden saatavuudesta (fossiiliset- ja puupohjaiset polttoaineet), sekä tietenkin kysynnästä. Sähkönkulutusta ja -hintakehitystä seuraamalla voimalaitosyhtiöt voivat säädellä tuotantoaan vastaamaan tarpeita. Sähkön hinnoittelu tapahtuu asiakasryhmittäin ja se perustuu erillisten asiakasryhmien erityispiirteisiin, kuten kokonaiskulutukseen sekä kulutuksen jakautumiseen vuosi- ja vuorokausitasolla. Yksityisten kotitalouksien kanssa solmituissa sähkösopimuksissa noudatetaan keskimääräisen kotitalouden laskennallista kulutusta ja sen vaihtelua, tai vaihtoehtoisesti solmitaan pörssisähkösopimus, jolloin asiakas pystyy vaikuttamaan itse paremmin käyttämänsä sähkön hintaan. Yritysasiakkaiden tapauksissa sopimukset tehdään usein niin isoille määrille, että ne neuvotellaan tapauskohtaisesti. Yritysasiakkaat, varsinkin teollisuusyritysten tapauksessa käyttävät niin merkittäviä määriä sähköä, että niiden hinnoittelu perustuu hieman eri asioihin kuin kotitalouksissa (Fingrid 2025).

Sähkön hinta yritysasiakkaille on ollut melko vakaa koko 2010-luvun, mutta tilastokeskuksen aineiston perusteella voidaan päätellä, että vuodesta 2014 alkaen keskimääräinen sähkön hinta on vaihdellut enemmän kuin vuosikymmenen alussa. Vuoden 2014 helmikuussa alkanut Krimin

niemimaan miehitys, ja siitä aiheutuneet pakotteet ovat vaikuttaneet energiamarkkinoille luoden epävakautta, ja sen takia sähkön hintakin on alkanut vaihtelemaan aiempaa enemmän (Auerma 2024). Myös säätilariippuvaisten tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetun sähkön osuus on kasvanut koko tarkastelujakson ajan, jolloin sääolojen vaikutus on voinut vaikuttaa hinnan vaihteluun aiempaa enemmän. Kuvasta 6 nähdään, että 2020-luvulla sähkön hinta on vaihdellut huomattavasti suuremmalla välillä kuin aiemmin. Covid-19-pandemia ja vuoden 2022 helmikuussa alkanut Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan ovat muuttaneet energiamarkkinoita ja aiheuttaneet epävarmuutta energian saatavuuteen. Voimistuneet pakotteet ovat merkittävästi vähentäneet Venäjältä tuotavan öljyn ja maakaasun virtaa Eurooppaan ja tämän vuoksi Euroopan valtiot, ja niissä toimivat yritykset ovat joutuneet kääntämään katseensa muilla keinoin tuotettuun sähköön (Eurooppa-neuvosto 2022, Houballah ym. 2024).



Kuva 6. Sähkön hinta yritysasiakkaille vuosina 2010–2023. Kuva: Tilastokeskus

4.1.3 Sosiaaliset tekijät

Metsäteollisuuden asema Suomessa nojaa vahvasti sen hyväksyttävyyteen paikallisyhteisöjen parissa, joka johtuu sen yhteiskunnallisesta merkityksestä ja taipumuksesta luoda työpaikkoja ja vaurautta muuallekin kuin kasvukeskuksiin, sekä tehdaspaikkakunnille (Halonen ym. 2019). Tämän merkityksen metsäteollisuusyhtiöt ja muut alalla toimivat tahot ovat ymmärtäneet, ja ne pyrkivätkin aktiivisesti tuomaan merkityksellisyyttään esiin. Tämä on tärkeä osa metsäteollisuuden toimintaa, jossa toimijoiden on pystyttävä parantamaan toimintaansa, sekä viestintää siitä, kun ulkopuolinen kritiikki kasvaa.

Sosiaalinen paine ajaa kaikkia teollisuudenaloja vastuullisempaan suuntaan, eikä metsäteollisuus ole jäänyt vaille kritiikkiä. Metsäteollisuuden osalta kritiikki kohdistuu pääosin puunkorjuumenetelmiin ja niiden aiheuttamiin ristiriitaisuuksiin hiilitasapainon ja biodiversiteetin suhteen. Metsäteollisuuden energiankäyttö ja -tuotanto eivät ole kuitenkaan jääneet vaille kritiikkiä. Varsinkin kevään 2022 aikana nähtiin kasvanut tarve kotimaiselle energiantuotannolle, sillä Venäjän Ukrainaan kohdistaman hyökkäyssodan jäljiltä ei venäläistä energiapuuta ole virrannut Suomeen (Auerma 2024). Tämä on johtanut energiapuukorjuun kasvaneeseen määrään Suomessa, joka taasen aiheuttaa huolta puunkäytön tulevaisuudesta ja ympäristöasioista. Viime aikoina metsäteollisuuden puunkäytöstä on uutisoitu kriittisesti nimenomaan polttoon päätyvän puuaineksen osalta (Greenpeace 2020).

Metsäteollisuuden asema Suomessa on monin paikoin ennen kaikkea sosiaalinen. Sosiaaliseen aspektiin vaikuttaa etujen ristiriidat, jotka korostuvat, kun metsäteollisuutta tarkastellaan alueellisesti tai kansallisesti. Metsäteollisuuden hyödyt nähdään usein vain paikallisina, mutta haitat suuremmassa mittakaavassa jopa kansainvälisinä. Metsätalous ja -teollisuus tuo työllisyyttä muusta teollisuudesta tyhjille alueille ja tätä kautta vaurautta maaseudulle. Tämä vaikuttaa merkittävästi metsäteollisuuden hyväksyntään harvaan asutuilla alueilla (Halonen ym. 2019). Metsäteollisuuden sosiaalinen hyväksyttävyys on Suomessa edelleen korkealla tasolla, ja varsinkin maaseudulla se on yksi tärkeimmistä työllistäjistä niin suoraan kuin välillisestikin. Kaupungeissa metsätalouden ja -teollisuuden sosiaalisia hyötyjä on vaikeampi hahmottaa yhtä suoraan, mutta yleisesti suomalaiset kuitenkin pitävät metsäteollisuutta kestävänä tapana käyttää luonnonvaroja (Pynnönen ym. 2024).

4.1.4 Teknologinen ympäristö

Metsäbiotalouden tutkimuksissa on keskitytty pääasiassa biopolttoaineiden kehittämiseen, joka ei pohjimmiltaan eroa merkittävästi sivuvirtojen suorasta polttamisesta tehdaspolttoaineina. Teknologista kehitystyötä tehdään kuitenkin myös biomateriaalien parissa, jotta näitä voitaisiin käyttää korvaamaan fossiilisia raaka-aineita erilaisten tuotteiden valmistuksessa. Nämä teknologiset kehitysaskeleet eivät kuitenkaan vielä poista kuilua valmiiden tuotteiden ja taloudellisen kannattavuuden välillä, sillä valtaosa biotalouteen liittyvästä lainsäädännöstä ja politiikasta keskittyy biopolttoaineisiin ja niiden tukitoimiin (Bauer ym. 2017).

Metsäteollisuuden energiankäytön muutosten teknologiset esteet ja hidasteet löytyvät sivuvirtojen jatkokäsittelystä. Metsäteollisuudessa tapahtuneet uudet teknologiset innovaatiot ovat mahdollistaneet näiden aiemmin raaka-aineeksi kelpaamattomien sivuvirtojen hyödyntämisen muutenkin kuin energiakäyttöön. Nämä käyttökohteet ovat olleet vielä toistaiseksi kokeiluluontoisia

ja toteutettu pienessä mittakaavassa, mutta mikäli näistä uusista käyttökohteista löytyy taloudellista potentiaalia, on mahdollista, että volyymin kasvaessa energiakäyttöön jäävän materiaalin määrä pienenee, jolloin korvaavaa energiaa joudutaan tuottamaan muilla keinoilla (Toppinen ym. 2017).

Metsäteollisuuden tehdaspolttoaineina käyttämät puuperäiset polttoaineet koostuvat pääasiassa mustalipeästä ja jätepuusta. Mustalipeä on näistä selkeästi tärkeämpi polttoaine tehtaille ja se käsittääkin n. 74 % Suomen metsäteollisuuden tehdaspolttoaineista (Metsäteollisuus ry 2024). Suurin osa mustalipeän energiasisällöstä on peräisin ligniinistä, mutta ligniinillä on kuitenkin muitakin käyttökohteita kuin pelkkä energia (Alen ym. 1989). Ligniini on luonnossa yleisenä esiintyvä polymeeri, joka on erittäin stabiili ja siksi vaikeasti eristettävissä. Vain n. 1,2 % käytetään hyödyksi mm. sideaineiden ja pinnoitteiden valmistuksessa. Loput käytetään energiaksi (Fatemeh ym. 2021).

Ligniinin erottaminen mustalipeästä on vaikea ja kallis prosessi, joka lisäksi tuottaa omat ympäristöhaasteensa käytettyjen kemikaalien vuoksi. Teknologista kehitystä tapahtuu jatkuvasti, mutta se on hidasta ja uudet ratkaisut saattavat olla aiempia kalliimpia toteuttaa suuressa mittakaavassa (Khan ym. 2022).

Ligniiniä pystytään erottamaan mustalipeästä erilaisilla tekniikoilla, mutta niiden taloudellinen kannattavuus tai pikemminkin sen puute on ollut jatkojalostuksen esteenä. Uusia tekniikoita ligniinin erotteluksi kehitetään jatkuvasti, ja lupaavimpia tuloksia on saatu ionisten nesteiden (Ionic liquids, IL) käytöstä erottelussa. Ionisten nesteiden käytössä on paljon etuja perinteisemmissä menetelmissä käytettyihin kemikaaleihin. Ne lasketaan niin kutsuttuihin vihreisiin liuottimiin, jotka ovat ympäristön kannalta vähemmän haitallisia kuin perinteiset liuottimet. Vihreitä liuottimia käytettäessä voidaan käyttää matalampia lämpötiloja, pienempiä paineita eikä niiden käytössä synny haitallisia kaasuja. Tämän lisäksi ne voidaan vielä kierrättää käytön jälkeen. Ionisten nesteiden haittapuolena on niiden korkeampi hinta, joka heikentää ligniinin kilpailukykyä markkinoilla. Korkean hinnan vuoksi on alettu kokeilemaan muita vaihtoehtoja, kuten proottisia ionisia nesteitä. Proottisten ionisten nesteiden (Protic ionic liquids, PIL) käytöstä on hyviä koetuloksia, mutta kokeet ovat vielä kesken (Fatemeh ym. 2021).

Tutkimusten valossa ligniinin erottaminen mustalipeästä voidaan tehdä entistä tehokkaammin käyttämällä uusia menetelmiä ja liuoksia. Näiden menetelmien etuna on käytettyjen kemikaalien ja prosessien pienempi kuormitus ympäristölle ja jätevesijärjestelmille, mutta haittapuolena on samalla korkeampi hinta. Ioniset, sekä proottiset ioniset nesteet ovat viimeisimpien tutkimusten valossa

tehokkaita erottelumenetelmiä ligniinille. Proottisten ionisten nesteiden etuna on menetelmän edullisuus aiempiin käytettyihin menetelmiin verrattuna (Khan ym. 2022).

Mikäli ligniinin erottelusta saadaan taloudellisesti kannattavaa, voi sillä olla valoisa tulevaisuus erilaisten uusien käyttökohteiden suhteen. Ligniinin suuri hiilipitoisuus ja aromaattisesta kehärakenteesta johtuva termostabiilisuus tekevät siitä potentiaalisen materiaalin moneen käyttöön. Ligniinin huokoinen rakenne ja hyvä sähkönjohtavuus ovat avanneet ovia sen käytölle superkondensaattoreissa ja litium-ioni-akuissa (Zhang ym. 2020). Ligniinistä voidaan valmistaa myös biomuovikomposiitteja, joissa ligniinin rooli on toimia mekaanisfyysisiä ominaisuuksia parantavana lisäaineena lopputuotteessa. Näissä komposiiteissa käytetyt biomuovit ovat tyypillisesti 2–5 kertaa kalliimpia kuin öljypohjaiset muovivalmisteet. Ligniinillä on siis suuri potentiaali, mikäli sen valmistus saadaan kustannuksiltaan kilpailukykyiseksi. Toistaiseksi ligniini itsessään on vielä hyvin arvokasta, ja puhdistetun materiaalin markkinahinta voi olla jopa yli 100 $ / 100 g (Nadányi ym. 2021).

Lisäksi metsäteollisuuden suurempaa sähköistymistä rajoittaa nykyhetkessä puhtaasti olemassa oleva energiainfrastruktuuri. Mikäli kaikki fossiilisilla ja puupohjaisilla polttoaineilla tuotettu energia korvattaisiin vielä ympäristöystävällisemmin tuotetulla sähköllä, jouduttaisiin sähköntuotantomäärää kasvattamaan merkittävästi, sekä investoimaan mittavia määriä sähkönsiirtoverkostoon. Näiden investointien hinta tulisi olemaan väkisinkin miljardiluokkaa (Fingrid 2025). Teknologinen osaaminen on kuitenkin tälle olemassa, kyse on sen jälkeen enää taloudellisesta kannattavuudesta.

4.1.5 Oikeudellinen ulottuvuus

Kansallinen ja EU-lainsäädäntö tukevat metsäteollisuuden nykyistä energiantuotantomuotojen kehitystä, joka on nojannut vahvasti puupohjaisten polttoaineiden osuuden lisäämiseen (Työ- ja elinkeinoministeriö 2023). Puupohjaiset polttoaineet luetaan tällä hetkellä biopolttoaineena uusiutuviin energiantuotantomuotoihin, jolloin niistä ei jouduta maksamaan päästöoikeuksia EU:n päästökauppajärjestelmässä (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2018). Tämä edesauttaa metsäteollisuutta käyttämään jo ennestäänkin edullisia puupohjaisia polttoaineita fossiilisten sijaan.

EU-lainsäädäntöä ja poliittista linjaa tarkastelemalla ei ole havaittavissa viitteitä muutoksista. LULUCF (Land Use, Land-Use Change, and Forestry) ja RED II (Renewable Energy Directive) tukevat nykyistä bioenergiamallia, jossa puupohjaiset polttoaineet luetaan uusiutuvaksi energiaksi (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2018). Näitä lainsäädäntöjä kuitenkin muutetaan kulloisenkin

poliittisen ilmapiirin mukaan, ja ne ovatkin saaneet kritiikkiä siitä, etteivät ne sitoudu pitkäaikaisiksi ohjeiksi ja täten teollisuuden on vaikea suunnitella investointeja niiden pohjalta (Berg-Andersson ym. 2021; Järvensivu ym. 2023).

Tämänhetkisen lainsäädännön mukaan Euroopan unioni on sitoutunut uusiutuvan energian tavoitteissaan 32 % osuuteen vuoteen 2030 mennessä, mutta tavoite olisi nostaa tämän osuutta jopa 42,5 %:iin. Biopolttoaineiden osuutta olisi myös kasvatettava liikenteessä 29 %:iin (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2023). Lisäksi kiertotalouden nostaminen EU-lainsäädännössä entistä suurempaan asemaan voisi antaa viitteitä siitä, että tulevaisuudessa myös raaka-aineista pyritään saamaan mahdollisimman paljon pitkäikäisiä tuotteita markkinoille (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2024).

4.1.6 Ympäristötekijät

Muutokset metsäteollisuuden energiankäytössä vaikuttaisivat sen ympäristövaikutuksiinkin, mutta vaikutukset eivät välttämättä ole niin suuria kuin voisi olettaa. Boiger ym. (2024) toteavat simulaatiotutkimuksessaan, että energiakäytöstä raaka-ainekäyttöön siirretyn puuaineksen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin on pienempi kuin monilla muilla valmistavan teollisuuden aloilla. Metsäteollisuus on kuitenkin jatkuvan tarkastelun alla ympäristövaikutuksistaan, eikä energiankäyttö ole ainoa kritiikin kohde. Julkisessa keskustelussa korostuvat hiilipäästöjen lisäksi biodiversiteetti ja metsätalouden vaikutus vesistöihin. Metsätalouden vaikutus eläimistöön ja elinympäristöihin on valtava, mutta tutkijatkaan eivät ole täydessä yhteisymmärryksessä siitä, kuinka paljon negatiivista vaikutusta sillä on. Varsinkin metsäenergian, eli metsästä kerettävän biomassan korjuu on usein kritiikin kohteena, sillä sen on huomattu lisäävän vesistökuormitusta lisääntyneen humuksen liukenemisen myötä (Asikainen ym. 2014). Tutkimukset metsätalouden vesistö- ja biodiversiteettivaikutuksista ovat kasvava trendi ja niiden tulosten pohjalta menetelmiä parannetaan proaktiivisesti, sekä lainsäädännön kautta (UPM-Kymmene Oyj 2024; Stora Enso Oyj 2024; Metsä Group 2024).

Metsäteollisuuden sivuvirroista valmistettujen puupohjaisten polttoaineiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia arvioidessa täytyy ottaa huomioon metsänkasvatus ja metsänhoidolliset toimenpiteet, sekä jyvittää vaikutus muodostuneille metsä- ja puutuoteteollisuuden tuotteille, eikä pelkästään sivuvirtoina syntyville polttoaineille (Sokka ym. 2016). Puupohjaisten polttoaineiden osalta tärkeää on ymmärtää, että niitä valmistuu nykyisiä määriä käytännössä ainoastaan, mikäli metsäteollisuuttakin harjoitetaan nykymuodossaan. Muuhun tuotantoon kelpaavan ainespuun

polttaminen sellaisenaan ei ole toivottavaa, vaikka se täyttäisikin uusiutuvan polttoaineen määritelmät (Greenpeace 2020).

Metsäteollisuuden sivuvirroista tuotetut puupohjaiset polttoaineet käyttäytyvät poltettuna kuten kaikki muutkin polttoaineet, ja aiheuttavat päästöjä. Kyseiset päästöt ovat pääasiassa hiilidioksidin ja pienhiukkasten muodossa. Ilmaston ja ympäristön kannalta on käytännössä yhdentekevää millä keinoin hiilidioksidipäästöt muodostuvat, mutta tärkeää on se, kuinka polttoon päätynyt hiili on muodostunut ja millä tavalla se uusiutuu (Sokka ym. 2016).

Tilastokeskuksen tilastoja tarkastelemalla havaitaan selkeä trendi puupohjaisten polttoaineiden osuuden kasvulle Suomen energiantuotannossa. Puupohjaisilla polttoaineilla on saatu osittain korvattua fossiilisten polttoaineiden vähenemisestä johtuvaa vajetta. Tämän trendin jatkuessa Suomelle asetettujen ympäristötavoitteiden saavuttaminen on helpompaa, sillä puupohjaiset polttoaineet luetaan EU-lainsäädännössä uusiutuviksi energialähteiksi (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2018).

Nämä ympäristövaikutukset niin hiilipäästöjen, kuin muidenkin vaikutusten osalta syntyvät joka tapauksessa, kun puuta korjataan raaka-aineeksi. Sivuvirtojen käyttökohde määrittää hiilipäästöjen aikajänteen. Mikäli puupohjaisiin metsäteollisuuden sivuvirtoihin sitoutunut hiili vapautetaan nopeasti polttamalla, on se huomattavasti haitallisempaa ympäristölle kuin pitkäikäisiin tuotteisiin sidottuna (Sokka ym. 2016). Puupohjaisten sivuvirtojen jatkokäsittely muuhun kuin polttoon aiheuttaa myös ympäristökuormitusta. Sivuvirrat koostuvat pääosin mustalipeästä, josta ligniinin erottaminen muun tuotannon raaka-aineeksi on kemikaali-intensiivinen prosessi (Fatemeh ym. 2021). Prosessissa syntyy kemikaalijätteitä, joiden jatkokäsittely tulee ottaa huomioon ympäristövaikutuksia arvioitaessa.

Taulukko 3. PESTLE-analyysin yhteenveto

PESTLE	Nykytilanne	Mahdollisen muutoksen ajurit	Onko muutoksia nähtävissä?
Poliittinen	• Metsäteollisuuden asema on kansallisesti merkittävä. • Poliittisilla tahoilla vaihtelua suhtautumisessa energiapolitiikkaan.	• EU-ilmastopolitiikka ohjaa Suomen metsien käyttöä • Uusiutuvan energian määrittely oleellista.	• Ei suoria viitteitä muutoksiin politiikassa. • Kiinteitä puupolttoaineita on ehdotettu verolle.
Taloudellinen	• Puupohjainen polttoaine on metsäteollisuudelle halpa energianlähde. • Vaihtoehtoiset käyttökohteet ei vielä kaupallisesti kannattavia.	• Uudet sivuvirroista valmistetut tuotteet, joille löytyisikin markkinoita. • Taloudelliset tuet kiertotalouden edistämiselle voisivat toimia muutoksen ajurina.	• Raaka-aineen saatavuus voi muuttaa sen käyttökohteita ja taloudellista kannattavuutta.
Sosiaalinen	• Metsätalouden korkea hyväksyttävyys korostuu etenkin maaseudulla. • Sosiaaliset hyödyt, kuten työllisyys ovat paikallisia. • Metsäteollisuuden toiminnan haitat huomataan laajemmin ja kritiikki tulee kaupungeista.	• Sosiaalinen paine toiminnan parantamiseen kovaa. • Kritiikki kohdistuu erityisesti biodiversiteettiin ja hiilitasapainoon.	• Paine politiikan suuntaan on jatkuvaa, mutta ei kovin voimakasta. • Kaupungistuminen ja luonnonvarojen käytöstä irtaantuminen voi muuttaa tilannetta.
Teknologinen	• Metsäteollisuuden energiankäytön nykyinen malli toimii hyvin. • Toimitusketjut ja infrastruktuuri puupohjaisten polttoaineiden käytölle on olemassa.	• Teknologiset kehitysaskeleet ligniinin käyttökohteissa voisivat tuoda uusia sovelluksia ja tuotteistus saattaisi monipuolistua. • Ligniinin erottelu on kemiallisesti intensiivistä ja ympäristöongelmiakaan ei ole täysin ratkaistu.	• Ei lähiaikoina. • Haasteet ovat nykytuotteiden kaupallistamisessa. • Uusia teknologioita sivuvirtojen jatkojalostukselle on jo, ja lisää kehitetään.
Oikeudellinen	• Nykyinen kansallinen ja EU-lainsäädäntö tukee puupohjaisia polttoaineita ja niiden käytön lisäämistä. • LULUCF, RED II ja RED III tukevat bioenergiahankkeita tällä hetkellä.	• Muutokset EU-lainsäädännössä saattavat muuttaa merkittävästi puupohjaisten polttoaineiden energiakäytön kannattavuutta. • Metsäteollisuudella ja suomalaisilla poliitikoilla on huoli mahdollisista lakimuutoksista.	• Ei ole nähtävillä muutoksia lähitulevaisuudessa • Maankäyttösektori kritisoi EU:ta lainsäädännön vaihtelevuutta, sillä se vaikeuttaa pitkän aikavälin investointeja Eurooppaan.
Ympäristöllinen	• Puupohjaiset polttoaineet käyttäytyvät poltettaessa kuin fossiilisetkin. • Nykymalli tukee ympäristötavoitteiden saavuttamista, sillä puupohjaiset polttoaineet luetaan uusiutuvaksi energiaksi.	• Puupohjaisten polttoaineiden luokittelun muuttuminen uusiutuvista polttoaineista pois, esimerkiksi fossiilisiksi. • Puupohjaisten polttoaineiden sisällyttäminen päästöoikeuskauppaan. • Lisäksi muut metsätalouden ympäristövaikutukset saattavat vaikuttaa energiakäyttöön.	• Suhtautuminen on vaihtelevaa, mutta muutoksia tulkintaan ei ole nähtävissä lähitulevaisuudessa.

4.2 Synteesi

Tässä osiossa vastataan tutkimuskysymyksiin tulosten pohjalta.

4.2.1 Mitkä tekijät tukevat puupohjaisten polttoaineiden käyttöä metsäteollisuudessa?

Metsäteollisuuden nykytilanteeseen, ja puupohjaisten polttoaineiden laajamittaiseen käyttöön energiantuotannossa on ajanut sekä kansallinen politiikka (Rytteri ja Lukkarinen 2014), että kansainväliset sopimukset ilmastotavoitteista ja energiankäytöstä. Näiden poliittisten tekijöiden lisäksi puupohjaisten polttoaineiden edullisuus metsäteollisuudelle (Salvador ym. 2022), sekä vaihtoehtoisten käyttökohteiden vielä toistaiseksi vaatimaton kaupallinen menestys tukevat niiden käyttöä energiantuotannossa (Toppinen ym. 2017).

4.2.2 Mitkä tekijät voisivat ajaa muutosta metsäteollisuuden energiankäytössä?

Metsäteollisuuden energiankäytön muutoksia voisivat tulevaisuudessa ajaa taloudelliset, teknologiset ja poliittiset tekijät. Poliittisilla päätöksillä voidaan joko luoda kannusteita puupohjaisista polttoaineista pois siirtymiseen ja korkeamman jalostusasteen tuotteiden kehittämiseen (Hetemäki 2014), tai luoda vastaavasti rakenteita, jotka hinnoittelevat puupohjaisilla tuotetun energian epäedullisempaan asemaan markkinoilla, kuten altistaminen energiaverolle (Muilu ym. 2024). Teknologinen kehitys vaikuttaa sivuvirtojen vaihtoehtoisten käyttökohteiden mahdollisuuksiin ja kannattavuuteen (Toppinen ym. 2017). Ne voivat puolestaan luoda metsäteollisuuden sisäistä motivaatiota siirtyä pois puupohjaisten polttoaineiden energiakäytöstä, sekä avata keskustelun politiikassa mahdollisista kannusteista ja tuista.

4.2.3 Onko metsäteollisuuden energiankäytön nähtävissä muutosta?

Lyhyellä aikavälillä ei ole nähtävissä merkittäviä muutoksia metsäteollisuuden energiankäytössä. Poliittinen ja lainsäädännöllinen sektori tukee toistaiseksi puupohjaisten polttoaineiden käyttöä energiaksi, eikä sivuvirtojen kaupallinen hyödyntäminen muilla keinoin ole vielä suurta (Toppinen ym. 2017). Metsäteollisuus kokee kuitenkin jatkuvaa painetta ympäristövastuullisuuden parantamiseen ja tämä aiheuttaa tarvetta korottaa sivuvirtojen jalostusastetta ja vähentää puupohjaisten polttoaineiden energiakäyttöä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2023). Tämän lisäksi politiikassa keskustellaan mahdollisuuksista lisätä kiinteät puupohjaiset polttoaineet energiaveron alaisiksi, jolloin niiden kilpailukyky laskisi muihin energiamuotoihin nähden

(Muilu ym. 2024). Tämä on kuitenkin vasta Euroopan komission ehdotus, jota ei ole viety pidemmälle. Tämäkään suunnitelma ei koskisi vielä nestemäisiä polttoaineita, kuten mustalipeää, mutta avaa keskustelun senkin sisällyttämiseksi veronalaisiin energiamuotoihin.

5 Keskustelu

Kun tarkastellaan metsäteollisuuden energiankäyttöä, ja sen mahdollisia muutostekijöitä, voidaan todeta, että nykytilanne tukeutuu vahvasti vakiintuneisiin rakenteisiin metsäteollisuuden systeemissä, sekä vallalla olevassa politiikassa ja lainsäädännössä. Metsäteollisuusyhtiöiden toimintaan ja päätöksiin vaikuttavat ennen kaikkea taloudelliset, poliittiset ja sosiaaliset ajurit, mutta näiden taustalla vaikuttaa lisäksi muun muassa teknologinen kehitystilanne, sekä ympäristöarvot (Dockry ym. 2020). Poliittisilla päätöksillä voidaan vaikuttaa lainsäädäntöön, sekä pystytään luomaan erilaisia kannustimia, jotka voivat ohjata yritysten ja teollisuuden käyttäytymistä (Campbell 2007). Poliittisella tasolla metsäteollisuuden asema on Suomessa edelleen vahva, eikä viitteitä energiapolitiikan muutoksesta ole havaittavissa nykypolitiikassa Työ- ja elinkeinoministeriö (2019a). Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikka ohjaa kuitenkin Suomenkin poliittisia päätöksiä, ja uusiutuvan energian määritelmän muutokset voisivat jatkossa vaikuttaa Suomen metsäteollisuuden energiankäyttöön. Puupohjaisten polttoaineiden siirtäminen päästökaupan alaiseksi, tai jopa fossiiliksi polttoaineiksi muuttaisi tilanteen täysin. Tästä ei kuitenkaan tällä hetkellä ole lainkaan viitteitä. Mikäli kiinteät puupolttoaineet luettaisiin energiaveron piiriin, kuten Euroopan komissio on ehdottanut vuonna 2021 (Muilu ym. 2024), voisi se vaikuttaa myös tulevaisuudessa muiden sivuvirtojen verotukseen.

Taloudelliselta näkökannalta tarkasteltuna puupohjaiset polttoaineet ovat edelleen metsäteollisuudelle kustannustehokkain energianlähde (Salvador ym. 2022). Mahdollisia muutoksia voisi tapahtua, mikäli sivuvirtoihin perustuvien uusien tuotteiden markkinat kehittyisivät otollisesti, ja niitä pystyttäisiin hyödyntämään kaupallisesti nykyistä laajamittaisemmin (Toppinen ym. 2017). Näitä uusia tuotteita kehitetään jatkuvasti, ja muun muassa ligniinistä valmistetuille biopolymeereille on jo orastavaa kysyntää. Tätä kysyntää voisi edesauttaa kiertotalouteen ja biotaloustuotteisiin kohdennetut taloudelliset tuet. Raaka-aineen riittävyys voisi tässä tapauksessa tulla esteeksi energiankäytön nykytilanteen jatkuvuudelle, ja vaihtoehtoisia ratkaisuja olisi ryhdyttävä etsimään aktiivisesti (Hetemäki 2014).

Sosiaalisella puolella keskustelu metsäteollisuudesta on aktiivista ja siinä voidaankin havaita mielenkiintoinen ristiriita: metsäteollisuus nauttii paikallista hyväksyntää lähes koko maassa, mutta varsinkin kaupungeissa kritiikki on lisääntynyt (Halonen ym. 2022). Kritiikki kohdistuu erityisesti biodiversiteetti- ja hiilivarastokysymyksiin. Sosiaalinen paine ei toistaiseksi ole vielä kuitenkaan näkynyt merkittävänä muutoksena poliittisessa päätöksenteossa, on kaupungistumisen myötä siinä piilevä riski (Pynnönen ym. 2024). Ihmisten muuttaessa kasvavissa määrin kaupunkiympäristöihin,

on mahdollista, että metsästä tulee yhä vieraampi asia, eikä sen hyödyntämistä ymmärretä ja hyväksytä. Tämän yhdistyessä keskusteluun puun polttamisesta energiaksi, saattaa sosiaalinen paine alkaa näkymään kansallisessa politiikassa.

Metsäteollisuuden nykyinen malli, joka on rakentunut raaka-aineen kokonaisvaltaiseen hyödyntämiseen omassa tuotannossa niin myyntiin päätyvien tuotteiden, kuin energiankin osalta on toimiva ja tehokas. Sitä tukee koko metsäteollisuuden systeemi toimitusketjuineen ja tehdasintegraatteineen (Pihlainen ja Karhinen 2025). Puu, ja sivuvirrat liikkuvat myös yhtiöiden välillä, mikäli se on kaupallisessa mielessä kannattavinta. Tämä voi johtua esimerkiksi pienistä hakkuumääristä jonkin tietyn puutavaralajin osalta, eikä omia tuotantolaitoksia sen käsittelyyn ole riittävän lähellä. Teknologinen kehitys sivuvirtojen hyödyntämisessä on jatkuvaa, mutta toistaiseksi sivuvirroista valmistetut tuotteet eivät ole vielä tarpeeksi kannattavia taloudellisessa mielessä. Oleellista muutoksien mahdollistamisen kannalta on teknologisen kehityksen skaalautuminen laajempaan tuotantoon, ja näillä uusilla teknologioilla mahdollistettujen tuotteiden kaupallistaminen. Mikäli metsäteollisuus tulisi sähköistymään, tarkoittaisi se kymmenien tuhansien gigawattituntien lisäystä Suomen sähkönkulutukseen. Tällaisen sähkömäärän vaatima infrastruktuuri niin energiantuotannossa, kuin jakeluverkossakin olisi mittasuhteiltaan niin merkittävä, että toteuttaminen tulisi olemaan vuosikymmenten projekti (Fingrid 2022). Tietenkään puupohjaisten polttoaineiden käytöstä luopumistakaan ei voitaisi tehdä hetkessä, vaan siirtymäajan tulisi olla sellainen, että vaadittava lisäinfrastruktuuri sähköntuotantoon voitaisiin järkevästi rakennuttaa.

Lainsäädäntö sekä Suomessa, että EU:ssa tukee puupohjaisten polttoaineiden käyttöä uusiutuvana energianlähteenä. Puupohjaisten polttoaineiden luokitteleminen uusiutuviksi energialähteiksi helpottaa tällä hetkellä metsäyhtiöiden vastuullisuustavoitteiden saavuttamista (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022). EU:n nykyiset direktiivit LULUCF, RED II ja RED III eivät sisällä viitteitä tämän luokittelun muuttumisesta, mutta poliittisen suunnan muuttuessa kaikki on mahdollista myös lainsäädännön osalta (Berg-Andersson ym. 2021). Poliittinen kenttä on aiempaa polarisoituneempi, mikä aiheuttaa epävarmuutta lainsäädännön pitkäjänteisyyteen Järvensivu ym. 2023). Mikäli teollisuuden parissa toimivilla yrityksillä ei ole uskoa politiikan vakauteen ja lainsäädännön muuttumattomuuteen, voivat suuret investoinnit valua Euroopan ulkopuolelle maihin, joissa lainsäädännön oletetaan olevan vakaampaa.

Puupohjaisten polttoaineiden ympäristövaikutuksia tarkastellessa tullaan jälleen ristiriitaiseen tilanteeseen. Niiden luokittelu lainsäädännöllisesti uusiutuviksi energialähteiksi antaa tukea

energiakäytölle, mutta poltettuna voimalaitoksissa ne käyttäytyvät kuitenkin kuten fossiilisetkin polttoaineet: aiheuttavat kasvihuonekaasu-, sekä pienhiukkaspäästöjä. Ympäristön kannalta on yhdentekevää, kuinka nämä päästöt muodostuvat (Sokka ym. 2016). Mikäli metsäteollisuuden sivuvirroista tuotetut puupohjaiset polttoaineet luokiteltaisiin ympäristöllisistä syistä jatkossa ei-uusiutuviksi energialähteiksi, olisi se hyvin todennäköistä, että ne luettaisiin päästöoikeuskaupan alaisiksi polttoaineiksi ja niiden käytöstä joutuisi maksamaan päästöjen mukaisia maksuja. Tämä vaikuttaisi varmasti niiden kannattavuuteen energiantuotannossa verrattuna muihin energiantuotantomuotoihin.

Yhteenvetona voidaan todeta, että metsäteollisuuden energiankäytön nykytilanne on nykyisten ympäristötavoitteiden ja lainsäädännön mukainen, sekä taloudellisesti ja teknologisesti kannattava tapa tuottaa energiaa. Tilanteeseen ei ole näkyvissä muutosta lähitulevaisuudessa, mutta mahdollisuuksia muutoksiin on kuitenkin havaittavissa. Sivuvirtojen käyttäminen tuotannon raaka-aineena ja muuttuva ympäristöpolitiikka ovat todennäköisimpiä ajureita metsäteollisuuden energiankäytön muutoksille tulevaisuudessa. Muihin energiamuotoihin siirtyminen tarkoittaisi käytännössä sähköistymistä, sillä ilmasto- ja ympäristötavoitteiden saavuttamiseksi fossiilisista energialähteistä on luovuttava asteittain joka tapauksessa, joten puupohjaisten polttoaineiden korvaaminen fossiilisilla ei tule kyseeseen. Yhdistyneiden kansakuntien kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamiseksi kasvihuonekaasupäästöt on puolitettava vuoteen 2030 mennessä, ja tämän tavoitteen saavuttamiseksi puupohjaisten polttoaineiden käyttöä tulisi nykyisen lainsäädännön puitteissa pikemminkin lisätä, kuin vähentää (United Nations 2025). Nykyiset tutkimukset eivät vastaa riittävän tarkasti kysymyksiin tulevaisuuden haasteista energiantuotannossa, mikäli sähköistyminen olisi nykyistä laajamittaisempaa. Työ- ja elinkeinoministeriön raportissa (2019a) arvioidaan sähkönkulutuksen kasvavan Suomessa n. 13 % vuoteen 2050 mennessä, mutta tämä ei ota huomioon mahdollisia nykypolitiikan ulkopuolisia skenaarioita, eikä 2020-luvun energiapolitiikkaan vaikuttaneita tapahtumia. Mikäli sähkönkulutuksen laskennalliseen kasvuun lisätään vielä metsäteollisuuden sähköistymisen aiheuttama lisäys, tulee energiainfrastruktuurin rakentamisesta vuosikymmenien projekti.

Tämän tutkielman laatimisessa käytetty aineisto on pyritty valikoimaan mahdollisimman laaja-alaisesti keräten kirjallisuutta niin kotimaisilta, kuin ulkomaisiltakin kirjoittajilta. Tämän lisäksi kansallisen ja EU-politiikan viitteitä on etsitty niin virallisista lausunnoista ja raporteista, kuin verkkosivujen kirjoituksistakin. Tutkielmassa käytettyä aineistoa voidaan pitää hyvin luotettavana, sillä kyseessä on pääasiassa vertaisarvioitua ja laajalti viitattua tutkimuskirjallisuutta, Euroopan unionin virallisia raportteja ja lainsäädäntöä, sekä kotimaisen politiikan korkeimpien asteiden ja

ministeriöiden tuottamia raportteja ja selvityksiä. Laajan hakuaineiston ja aiheen moniulotteisuuden vuoksi jotain on kuitenkin saattanut jäädä huomioimatta PESTLE-analyysiä laatiessa. Aiheen tulevaisuuspainottuneisuuden vuoksi tulosten validiteetti voi myös olla kyseenalainen, tuloksissa jo esitettyjen epävarmuustekijöiden takia. Tulokset ovat kuitenkin pyritty esittämään parhaiden mahdollisten tietojen valossa, joita tällä hetkellä on saatavilla.

6 Johtopäätökset

Metsäteollisuuden käyttämät puupohjaiset polttoaineet ovat tämänhetkisessä tilanteessa käytännöllisin ja halvin keino metsäteollisuuden energiantarpeen tyydyttämiseen. Nähtävissä olevan aikahorisontin sisällä ei todennäköisesti tapahdu suuria muutoksia metsäteollisuuden energiankäytölle, sillä se vaatisi mittavia muutoksia metsäteollisuuden järjestelmään. Tarkastellessa metsäteollisuutta systeemiteorian silmin, se on muodostunut hyvin tehokkaaksi ja omavaraiseksi järjestelmäksi, jonka ytimessä on päätoimisen raaka-aineen käyttö sekä ydinliiketoimintojen tuotantoon, että energiaksi. Systeemiteorian näkökulmasta metsäteollisuuden eri osa-alueiden integraatio toisiinsa ja yhteistoiminta ympäröivän toiminnan ja yhteiskunnan kanssa on keskeistä, ja parantaa yhtiöiden kannattavuutta huomattavasti.

Energiankäytön muuttaminen metsäteollisuuden sisältä vaatisi vahvaa taloudellista kannustetta joko uusien teknologioiden kaupallistumisen, tai poliittisen ohjauksen kautta. Eri sidosryhmien tahtotilat voivat kuitenkin vaikuttaa sosiaaliseen, poliittiseen ja lainsäädännölliseen kenttään niin vahvasti, että teknologisia ja taloudellisia ratkaisuja on lähdettävä hakemaan aktiivisemmin. Kasvanut sosiaalinen paine esimerkiksi puupohjaisten polttoaineiden käytön vähentämiseen voi johtaa poliittisiin päätöksiin, joka jalkautuu käytäntöihin. Puupohjaisten polttoaineiden luokittelu uusiutuvaksi energiamuodoksi vaikuttaa suoraan sen kannattavuuteen energiantuotannossa. Mikäli luokittelu muuttuisi, ja sitä kautta lainsäädäntö niiden käyttöön vaihtuisi, olisi sillä suuri vaikutus metsäteollisuuden energiankäytön tulevaisuudelle. Poliittisten linjausten muuttumiselle ei kuitenkaan ole tällä hetkellä vahvoja viitteitä, vaan pikemminkin vaikuttaa siltä, että bioenergia ja -talous kasvattavat osuuttaan EU:n tavoitteissa. Metsäteollisuuden sivuvirtojen tehokkaampaan kaupalliseen hyödyntämiseen on olemassa edellytykset, mikäli poliittinen tahtotila ja siten kannusteet järjestellään niin, että uusien tuotteiden kaupallistaminen on kannattavaa. Sivuvirtojen hyödyntämiseen liittyvän teknologian nopea kehittyminen voisi myös edesauttaa puupohjaisista polttoaineista luopumista, sillä se saattaisi laskea jatkojalostuksen kustannuksia ja saada korkeamman jalostusasteen tuotteet kilpailukykyisemmiksi vallalla olevien vaihtoehtojen kanssa.

Lisätutkimus olisi tarpeellista metsäteollisuuden energiankäyttöön vaikuttavien tekijöiden kehittymisestä, kuten sosiaalisen ja poliittisen ilmapiirin muutoksista. Näiden kehittyminen on jatkuvaa ja varsinkin Suomen väestörakenteen vuoksi poliittinen kenttä voi muuttua lähivuosikymmeninä merkittävästi. Lisätutkimusta tarvitaan myös metsäteollisuuden sähköistymisen seurauksista niin tehdasympäristöjen, energiainfrastruktuurin kuin sidosryhmienkin

näkökulmista. Mikäli metsäteollisuus sähköistyisi, olisi lisääntyneen sähköenergian käytön luoma tarve niin suuri, että sen kokonaisvaltaisia vaikutuksia olisi syytä kartoittaa.

Lähteet

Alen, R., Noopila, T., & Hupa, M. (1989). Mustalipeän kemiallinen koostumus ja poltto-ominaisuudet. VTT Technical Research Centre of Finland. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia - Research Reports No. 642

Asikainen, A., Ilvesniemi, H., & Muhonen, T. (2014). Bioenergiaa metsistä – Tutkimus- ja kehittämisohjelman keskeiset tulokset. Metlan työraportteja 289: 10–12. Metsäntutkimuslaitos. http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2468-9

Auerma, J. (2024). Venäjän maariskin realisoituminen Euroopan energiamarkkinoilla (Pro-gradu tutkielma). Tampereen yliopisto, Johtamisen ja talouden tiedekunta.

Bauer, F., Coenen, L., Hansen, T., McCormick, K., and Palgan, Y.V. 2017. Tech- nological innovation systems for biorefineries: a review of the literature. Biofuels, Bioprod. Bioref. 11: 534–548. doi:10.1002/bbb.1767.

Berg-Andersson, B., Kaitila, V., Kulvik, M., & Lintunen, J. (2021). Suomen metsäteollisuuden näkymiä vuoteen 2025. ETLA Report, No. 112. The Research Institute of the Finnish Economy (ETLA), Helsinki. https://hdl.handle.net/10419/251080

Boiger, T., Mair-Bauernfeind, C., Asada, R., & Stern, T. (2024). Shifting wood between material and energy use: Modeling the effects of substitution. Journal of Industrial Ecology, 28(5), 1198–1211. https://doi.org/10.1111/jiec.13530

Campbell, J. L. (2007). Why would corporations behave in socially responsible ways? an institutional theory of corporate social responsibility. The Academy of Management Review, 32(3), 946–967. https://doi.org/10.5465/amr.2007.25275684

Chen, H. T. (1990). Theory-driven evaluations. Thousand Oaks, CA: Sage

Dockry, M., Bengston, D. & Westphal, L. (2020). Drivers of change in U.S. forests and forestry over the next 20 years. Gen. Tech. Rep. NRS-P-197. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 99 p. https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-P-197.

Dufva, M. (2022). Toimintaympäristön analyysi: PESTE ja sen variaatiot. Tulevaisuusvaliokunta. Saatavilla osoitteessa https://tulevaisuus.fi/wp-content/uploads/2022/03/tva-1-2022-dufva-peste.pdf

Euroopan parlamentti ja neuvosto. (2018). Asetus (EU) 2018/841, annettu 30. toukokuuta 2018, maankäytöstä, maankäytön muutoksesta ja metsätaloudesta aiheutuvien kasvihuonekaasujen päästöjen ja poistumien sisällyttämisestä vuoteen 2030 ulottuviin ilmasto- ja energiapolitiikan puitteisiin sekä asetuksen (EU) N:o 525/2013 ja päätöksen N:o

529/2013/EU muuttamisesta. CELEX: 32018R0841. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02018R0841-20230511

Euroopan parlamentti ja neuvosto. (2023). Asetus (EU) 2023/2413, annettu 31. lokakuuta 2023, direktiivin (EU) 2018/2001, asetuksen (EU) ja direktiivin 98/70/EY muuttamisesta uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisen osalta sekä neuvoston direktiivin (EU) 2015/652 kumoamisesta. http://data.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj

Euroopan parlamentti ja neuvosto. (2024). Asetus (EU) 2024/1781, annettu 28. kesäkuuta 2024, kestävien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteista, direktiivin (EU) 2020/1828 ja asetuksen (EU) 2023/1542 muuttamisesta sekä direktiivin 2009/125/EY kumoamisesta http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj

Fatemeh, S., Ghareh B., Srimanta R., & Rajesh S. (2021). Characteristics of acetate and lactate protic ionic liquids and their suitability to extract lignin from black liquor. Journal of Ionic Liquids, 1(1). https://doi.org/10.1016/j.jil.2021.100005

Fingrid. (2022). Fingridin sähköjärjestelmävisio 2022 – tulevaisuuden järjestelmän skenaarioluonnokset.

Greenpeace. (2020). Greenpeacen metsäkampanjajohtaja: Suomen vähennettävä hakkuita, luovuttava puun energiakäytöstä ja lisättävä puurakentamista [Lehdistötiedote]. STT Info. https://www.sttinfo.fi/tiedote/69880429/greenpeacen-metsakampanjajohtaja-suomen-vahennettava-hakkuita-luovuttava-puun-energiakaytosta-ja-lisattava-puurakentamista?publisherId=4627873

Halonen, M., Näyhä, A., & Kuhmonen, I. (2022). Regional sustainability transition through forest-based bioeconomy? Development actors' perspectives on related policies, power, and justice. Forest Policy and Economics, 142, 102775. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102775

Hetemäki, L. 2014 (ed.). Future of the European Forest-Based Sector: Structural Changes Towards Bioeconomy. EFI What Science Can Tell Us, No. 6, 108 p.

Houballah, M., Courtonne, J., Cuny, H., Colin, A., Fortin, M., Pichancourt, J., & Colin, F. (2024). The aftermath of the covid pandemic in the forest sector: new opportunities for emerging wood products. https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.07195

Hussain, Z., & Hafeez, K. (2008). Changing Attitudes and Behavior of Stakeholders During an Information Systems-Led Organizational Change. The Journal of Applied Behavioral Science, 44(4), 490–513. https://doi.org/10.1177/0021886308326564

Järvensivu, P., Toivanen, T., Vadén, T., Lähde, V., Majava, A., Ahokas, J., Hakala, E., & Eronen, J. T. (2023). Teollisen kestävyyssiirtymän tiedevetoinen suunnittelu. Poliittinen talous, 11(1), 8–47. https://doi.org/10.51810/pt.124766

Kast, F. & Rosenzweig, J. (1972). General Systems Theory: Applications for Organization and Management. The Academy of Management Journal, 15(4), 447-465. https://doi.org/10.2307/255141

Khan, S., Rauber, D., Shanmugam, S., Kay, C. W. M., Konist, A., & Kikas, T. (2022). Efficient lignin fractionation from Scots Pine (Pinus sylvestris) using ammonium-based protic ionic liquid: Process optimization and characterization of recovered lignin. Polymers, 14, 4637. https://doi.org/10.3390/polym14214637

Kożuch, A., Cywicka, D., & Górna, A. (2024). Forest Biomass in Bioenergy Production in the Changing Geopolitical Environment of the EU. Energies, 17(3), 554. https://doi.org/10.3390/en17030554

Laanilan Voima Oy. (2009). Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Voimalaitoshanke, lokakuu 2009.

Luhmann, N. (2013), Introduction to Systems Theory, Polity Press, Cambridge.

Maa- ja metsätalousministeriö (2006). Metsäsektorin tulevaisuuskatsaus –Metsäneuvoston linjaukset metsäsektorin painopisteiksi ja tavoitteiksi. Maa- ja metsätalousministeriö.

Makos, J. (2024) PEST Analysis: Examples and meaning in business. Pestleanalysis.com https://pestleanalysis.com/pest-analysis/

Makos, J. (2024) What is PESTLE Analysis? Pestleanalysis.com https://pestleanalysis.com/what-is-pestle-analysis/

Metsäliitto Osuuskunta (2024). Vuosikertomus 2023.

Miettinen, J., & Ollikainen, M. (2022). Economics of forest bioeconomy: New results. Canadian Journal of Forest Research, 52(3), 426–438. https://doi.org/10.1139/cjfr-2021-0178

Muilu, I., Patronen, J., Armila, N., Lehtoranta, I. & Rautalin, J. (2024) Biomassan verotuksen laajentamisen mahdollisuudet ja haasteet. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2024:7. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-184-1

Näyhä, A. (2019). Transition in the Finnish forest-based sector: Company perspectives on the bioeconomy, circular economy, and sustainability. Journal of Cleaner Production, 209, 1294–1306. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.260

Nadányi, R., Ház, A., Lisý, A., Jablonský, M., Šurina, I., Majová, V., & Baco, A. (2022). Lignin modifications, applications, and possible market prices. Energies, 15(18), 6520. https://doi.org/10.3390/en15186520

Palander, T. & Vainikka, M. (2006). Puutavaran toimittajien ja asiakkaiden yhteistyömahdollisuudet laajavastuisessa urakoinnissa. Metsätieteen aikakauskirja 3/2006: 369–381. http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2016111528671

Pihlainen, S. & Karhinen, S. (2025). Oikeudenmukainen siirtymä metsäalalla. Kalevi Sorsa -säätiö, Oikeudenmukainen siirtymä Suomessa 2025. 79–105. https://sorsafoundation.fi/wp-content/uploads/oikeudenmukainen-siirtyma-suomessa-2025-raportti.pdf

Pynnönen, S., Häyrinen, L., Lähtinen, K., Tani, S., & Berghäll, S. (2024). Suomalaisten aikuisten metsäsuhde: tuloksia tiedosta, kokemuksista ja toiminnasta. Metsätieteen aikakauskirja, 2024–23017. Tutkimusartikkeli. 25 s. https://doi.org/10.14214/ma.23017

Reid, W. V., Ali, M. K., & Field, C. B. (2020). The future of bioenergy. Global Change Biology, 26(1), 274–286. https://doi.org/10.1111/gcb.14883

Reinholz, D. L., & Andrews, T. C. (2020). Change theory and theory of change: What's the difference anyway? International Journal of STEM Education, 7(1), 1–12. https://doi.org/10.1186/s40594-020-0202-3

Rytteri, T., & Lukkarinen, J. (2014). Puun energiakäytön yhteiskunnallinen ohjaus Suomessa. Metsätieteen aikakauskirja, 3(2014), 163–182.

Salvador, R., Barros, M. V., Donner, M., Brito, P., Halog, A., & De Francisco, A. C. (2022). How to advance regional circular bioeconomy systems? Identifying barriers, challenges, drivers, and opportunities. Sustainable Production and Consumption, 32, 248–269. https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.04.025

Skyttner, L. (2006). General systems theory: Problems, perspectives, practice (2nd ed.). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. https://doi.org/10.1142/5871

Sokka, L., Pakarinen, S., & Melanen, M. (2011). Industrial symbiosis contributing to more sustainable energy use – an example from the forest industry in Kymenlaakso, Finland. Journal of Cleaner Production, 19(4), 285–293. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.08.014

Sokka, L., Sinkko, T., Holma, A., Manninen, K., Pasanen, K., Rantala, M., & Leskinen, P. (2016). Environmental impacts of the national renewable energy targets – A case study from Finland. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 59, 1599–1610. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.005

Stora Enso Oyj. (2024). Vuosikertomus 2023.

Toppinen, A., Pätäri, S., Tuppura, A., & Jantunen, A. (2017). The European pulp and paper industry in transition to a bio-economy. Futures, 88, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.02.002

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2019a). Sähköntuotannon skenaariolaskelmat vuoteen 2050 – selvitys

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2019b). Kohti vähähiilistä yhteiskuntaa: Uusiutuvan energian toimialaraportti (TEM 2019:65).

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2022). Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-811-0

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2023). Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027.

United Nations. (Viitattu 26. maaliskuuta 2025). Climate change. United Nations. https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change/

UPM-Kymmene Oyj. (2024). Vuosikertomus 2023.

Valentinov, V., & Hajdu, A. (2021). Integrating instrumental and normative stakeholder theories: a systems theory approach. Journal of Organizational Change Management, 34(4), 699–712. https://doi.org/10.1108/JOCM-07-2019-0219

Valtioneuvosto. (2024). Seisemmälle aurinkopuistohankkeelle Luxemburgin rahoittamaa tukea yhteensä 27,5 miljoonaa euroa. Valtioneuvosto. https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/seisemalle-aurinkopuistohankkeelle-luxemburgin-rahoittamaa-tukea-yhteensa-27-5-miljoonaa-euroa

Valtioneuvoston kanslia. (2017). Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 23/2017.

Van Assche, K., Verschraegen, G., Valentinov, V., & Gruezmacher, M. (2019). The social, the ecological, and the adaptive. Von Bertalanffy's general systems theory and the adaptive governance of social-ecological systems. Systems Research and Behavioral Science, 36(3), 308–321. https://doi.org/10.1002/sres.2587

Von Bertalanffy, L. (1969). General systems theory: Foundations, developments, applications. ISBN-10: 0807604534

Zhang, G., Yao, Y., Zhao, T., Wang, M., & Chen, R. (2020). From black liquor to green energy resource: Positive electrode materials for Li−O2 battery with high capacity and long cycle life. ACS Applied Materials & Interfaces, 12(2020), 16521–16530. https://dx.doi.org/10.1021/acsami.0c01520