



Suomen Soodakattilayhdistys ry

YMPÄRISTÖTYÖRYHMÄN KOKOUS 2/2023

AIKA 23.3.2023, klo 09:30 – 12:00

PAIKKA MS Teams

LÄSNÄ (vihreä) / POISSA (punainen)

Anna Riikka Nickull	Metsä Fibre Oy
Tiina Keipi	Valmet Technologies Oy, Tampere
Jokke Jantunen	ANDRITZ Oy, Varkaus
Teemu Klemetti	Stora Enso Oyj, Imatra
Mia Bredenberg	AFRY Finland Oy, Vantaa
Kari Saari	UPM Oyj, Pietarsaari
Miia Perälä	Eurofins Nab Labs Oy, Kärämäki
Kasper Heikkilä (osan aikaa)	LUT
Emma Kärkkäinen	AFRY Finland Oy, Vantaa, sihteeri
Sakari Vuorinen	AFRY Finland Oy, Vantaa, sihteeri



1 KOKOUKSEN AVAUS JA LÄSNÄOLIJAT

Kokous avattiin klo 9:30 ja läsnäolijat kirjattiin.

2 MUISTUTUS KILPAILULAINSÄÄDÄNNÖSTÄ

Sihteeri muistutti kokouksen osallistujia kilpailulainsäädännöstä hallituksen kanssa sovitulla tavalla.

Huomio Suomen Soodakattilayhdistys ry:n toimintaan osallistuville. Suomen Soodakattilayhdistys ry noudattaa kaikessa toiminnassaan kilpailulainsäädäntöä, joka asettaa rajoitukset järjestön toimintaan. Yhdistyksen järjestämissä kokouksissa tai muissa tapahtumissa ei keskustella aiheista, joilla voi olla vaikutusta yritysten kilpailukäyttäytymiseen. *Toiminnan arvioinnissa käytetään kilpailulain 5 § säännöstä: sellaiset elinkeinonharjoittajien väliset sopimukset, elinkeinonharjoittajien yhteenliittymien päätökset sekä elinkeinonharjoittajien yhdenmukaistetut menettelytavat, joiden tarkoituksena on merkittävästi estää, rajoittaa tai vaikeuttaa kilpailua tai joista seuraa, että kilpailu merkittävästi estyy, rajoittuu tai vääristyy, ovat kiellettyjä.*

Tee seuraavia asioita: Jokaisella toimintaan osallistuvalla on velvollisuus puuttua saman tien asiaan, mikäli havaitsee lainvastaista toimintaa. Pidä kirjaa kokouksen kulusta ja huolehdi pöytäkirjojen oikeellisuudesta.

Älä tee seuraavia asioita: Älä keskustele missään yhdistyksen toimintaan liittyvässä yhteydessä kilpailullisesti arkaluontoisista asioista tai vaihda niistä tietoja. Tällaisia asioita ovat mm. hinnat, asiakkaat, tuotantomäärät, investointisuunnitelmat ja seisakkiajankohdat. Älä luo käytäntöjä, sääntöjä tai ohjeistuksia, jotka vaikuttavat jäsenten mahdollisuuksiin kilpailla toisten yritysten kanssa.

3 ASIALISTA

Asialista oli lähetty etukäteen työryhmälle.

1. KOKOUKSEN AVAUS & LÄSNÄOLIJAT
2. KILPAILULAINSÄÄDÄNTÖ
3. ASIALISTA
4. YMPÄRISTÖTYÖRYHMÄN KOKOONPANO
5. EDELLISEN KOKOUKSEN PÖYTÄKIRJA
6. PROJEKTIT
7. MUIDEN TYÖRYHMIEN KUULUMISET
8. MUUT ASIAT
9. SEURAAVA KOKOUS

Työryhmä hyväksyi esitetyn asialistan



4 YTR KOKOONPANO 2/2023

Anna Riikka Nickull	Metsä Fibre Oy, Puheenjohtaja
Tiina Keipi	Valmet Technologies Oy, Tampere, Varapuheenjohtaja
Jokke Jantunen	ANDRITZ Oy, Varkaus
Teemu Klemetti	Stora Enso Oyj, Imatra
Mia Bredenberg	AFRY Finland Oy, Vantaa
Kari Saari	UPM Oyj, Pietarsaari
Miia Perälä	Eurofins Nab Labs Oy, Kärämäki
Emma Kärkkäinen	AFRY Finland Oy, Vantaa, Sihteeri
Sakari Vuorinen	AFRY Finland Oy, Vantaa, Sihteeri (tuuraus)

Soodakattilayhdistyksen vuosikokousta silmällä pitäen, sihteeri kartoitti ympäristötyöryhmäläisten halukkuutta jatkaa työryhmän toiminnassa. Vihreällä värillä on korostettuna ne työryhmän jäsenet jotka ovat valmiita jatkamaan aktiivisena työryhmän jäsenenä myös jatkossa. Keltaisella värillä korostettuna ne joilta täytyy vielä saada vahvistus jatkoa ajatellen. Sihteeristö sopii keskenään työryhmien vetovastuista ennen vuosikokousta. Sakari tuuraa Emmaa todennäköisesti toukokuun loppuun asti.

5 EDELLISEN KOKOUKSEN PÖYTÄKIRJA

Katsottiin läpi pöytäkirja 1/2023. Pöytäkirja hyväksyttiin muutoksitta.

6 PROJEKTIT

6.1 Käynnissä olevat projektit

Hajukaasujen polttosuosituksen päivitys, käännöstyö

Työ on edelleen kesken koska kaikilta työryhmän jäseniltä ei ole saatu kommentteja. Keneltä mahtaa uupua kommentit? Jokaiselle annettiin osuus jota kommentoida. Emmalla on lista keneltä uupuu kommentit. Päätettiin että olisi aika viedä projekti jo loppuun tuli kommentteja tai ei. Sihteeri selvittää tilanteen ja järjestää vaikka erillisen palaverin aiheeseen liittyen. Käydään suositus vielä kerran läpi työryhmän kanssa ja julkaistaan se mahdollisimman pian yhdistyksen sivuilla.

CCUS-diplomityö

Kasper Heikkilä esitti keskeneräisen diplomityön tuloksia (liite 1). Työn valmiusaste on arviolta noin 70% ja näyttää siltä että työ valmistuu aikataulussa huhtikuun loppuun



mennessä. Kasperin esitti työryhmälle laskelmia kuvitteellisesta laitoksesta joka on kokoluokaltaan sama kuin Äänekoski. Laskelmia on tehty IPSEpro simulointiohjelmalla. Tämän hetken laskelmissa pelkästään soodakattilan savukaasuista otetaan talteen hiilidioksidia. Meesauunin savukaasuissa olisi korkeampi hiilidioksidipitoisuus, joten se olisi teoriassa parempi kohde hiilidioksidin talteenottoon kuin soodakattila. Sihteeri pyysi Kasperia päivittämään esityksen taulukkoa hieman selkeämmäksi. Original setupilla tarkoitetaan soodakattilan ja voimakattilan yhteenlaskettua tilannetta.

Teoriaosuus työstä on lähes valmis (liite 2). Työryhmä antaa kommentit seuraavaan kokoukseen mennessä. Teorian mukaan hiilidioksidi irtoaa amiinista suunnilleen 150°C:n lämpötilassa. Monoetanoliamiinia käytetty laskuissa. Työryhmä pohti että millaisia päästöjä amiinista mahdollisesti vapautuu. Amiinin vapautumista on kuulemma myös mitattu maailmalla. Kasperin arvion mukaan amiini kiertää järjestelmässä, joten sitä ei pitäisi vapautua kovin paljoa. Kasperin myös mainitsi että amiiniliuoksen lämpötilan tulisi olla noin 40°C, jolloin sen kyky sitoa hiilidioksidia on riittävä.

Opinnäytetyökoonti

Mia Bredenberg esitteli työn tuloksia ja excel-listausta työryhmälle (liitteet 3&4). Aiemmasta suunnitelmasta poiketen, myös väitöstyöt otettiin mukaan listaukseen. Työssä listattiin Suomessa tehdyt opinnäytetyöt ja väitöstyöt 2000-luvun alusta alkaen.

Työn tavoitteiden mukaisesti tiedonhaku internetistä on tehty ja materiaali on toimitettu sihteeristölle, joka tallentaa sen yhdistyksen tietokantaan. Suunnitelma materiaalin viemisestä yhdistyksen nettisivuille on myös tehty. Sihteeristö käy keskusteluja nettisivujen ylläpitäjän kanssa aineiston julkaisusta Suomen Soodakattilayhdistyksen nettisivuille. Huomioitavaa on että tämä on oma erillinen projektinsa joka saadaan toivottavasti suoritettua tämän kevään aikana.

Excel-listauksen mukaisesti töitä löytyi yhteensä 265 kappaletta. Suunnitelmana on että nettisivuilla olisi mahdollisuus suodattaa aineistoja Excel-listauksen pääotsikoiden mukaisesti. Lisäksi toiveissa olisi hakutoiminto, jossa Excel-listauksen mukainen sisältö toimii hakusanoina. Linkkien takana oleva sisältö ei valitettavasti ole mahdollista sisällyttää hakutoimintoon. Lisäksi pohdittiin myös sitä että opinnäytetöitä tulee kokoajan lisää ja jonkun tulee pitää listausta yllä myös tulevaisuudessa. Ajatuksena olisi että sihteeristöllä on tulevaisuudessa mahdollisuus itse viedä tietoa nettisivuille, eli nettisivujen ylläpitäjän tulee luoda raamit tällaiselle mahdollisuudelle. Sihteeristö pitää yllä listausta ja päivittää sitä vähintään vuosittain. Sihteerin tulee myös merkitä nettisivuille koska listaus on viimeksi päivitetty. Listauksen ylläpito ei sisälly sihteeristön vuosittaiseen tuntibudjettiin, vaan on ns. ylimääräistä työtä. Sihteeristö pohtii vielä päivityksille sopivaa vuosittaista ajankohtaa, laatii sisäisen ohjeen päivitystyölle jatkossa ja ilmoittaa suunnitelman työryhmälle.



Työryhmä totesi yksimielisesti että AFRYlta tilatun työn tavoitteet ovat täyttyneet ja projekti voidaan julistaa päättyneeksi. Jos aineistossa huomataan jotain virheitä yms., niin korjauksia voidaan tietysti tehdä vielä.

Viherlipeäsakan POP-yhdisteet

Työn tavoitteena on selvittää onko sellutehtain viherlipeäsakka POP-jäte vai ei.

Eurofins totesi että kahdeksalle (8) näytteelle on tehty lisäksittely, josta aiheutuu lisäkustannuksia. Hyväksyntä näille on saatu 10.2.2023 sähköpostilla. Eurofins, eikä sihteeristö ollut ehtinyt valmistella taulukoita, raporttia, eikä yhteenvedoja tähän palaveriin.

Kari totesi että toiveissa olisi taulukointi yksittäisten tehtaiden jokaisesta näytteestä. Tehtaat olisivat piilotettu kirjainkoodin taakse. Eli tuloksissa olisi ”tehdas A”, ”tehdas B”, jne., ei siis tehtaiden oikeita nimiä. Analyysien tuloksista voisi olla luotuna esimerkiksi seuraavat asiat (mutta ei rajoittuen): keskiarvo, vaihteluvälit, virhemarginaalit, ynnä muut tilastolliset standardianalyysit.

Tulosten raportoinnissa olisi mielenkiintoista vetää yhteen ainakin seuraavat asiat:

- Ovatko kaikki näytteet alle POP-jäte raja-arvon?
- Meneekö yksittäinen näyte raja-arvon yli vai kaikki?
- Mitä viherlipeäsakalle voi tulevaisuudessa tehdä?

Ympäristöministeriö on julkaissut POP-jätteen [tunnistusoppaan](#) vuoden 2023 tammikuussa. Sivulta 17 löytyy mm. raja-arvoja. Lisäksi, Kari mainitsi että SYKE olisi tehnyt POP-jäteoppaan, mutta sihteeristö ei löytänyt kuvaukseen soveltuvaa materiaalia internetistä. Tästä oppaasta löytyy kaikki POP-jätteiden raja-arvot ja jos raja-arvoa ei löydy, niin se tarkoittaa sitä että aine ei ole POP-jäte. Jokaisen aiheesta kiinnostuneen kannattaa perehtyä vielä [POP-asetukseen](#). Työryhmä muistutti että asia on tehtaiden näkökulmasta hyvinkin kiireellinen ja että sihteeristölle on varattu tunteja projektille.

Projektin seuraavat toimenpiteet:

- Eurofinsiltä taulukot mahdollisimman nopeasti sihteerille (Sakarille)
- Sihteerin selvitys siitä saako viherlipeäsakkoja viedä kaatopaikoille vai ei (vertailu POP-asetuksen raja-arvoihin)
- Sihteeristö kirjoittaa loppuraportin johtopäätöksineen ja esittää työryhmälle

6.2 Projektiehdotukset

Sulfaattisuolojen hyötykäyttömahdollisuudet

Karin mukaan sulfaatille ollaan asettamassa ympäristölaatumnormia. Se mitä tehtailla tehdään suolojen käsittelyyn tällä hetkellä, ei välttämättä ole mahdollista jatkossa.

Työtä pitäisi alkaa jo valmistelemaan että se saadaan aloitettua sitten kun projektille on tarvetta. Tehdäänkö opinnäytetyönä? Kuka voisi tehdä ja milloin? Työ vaatii selkeät



rajaukset. Soodakattilatuhkan hyötykäyttö? Mitä muuta voidaan tehdä kuin dumpata? Mitä jos vesistöön ei saa laittaa ollenkaan? Oulun Yliopiston kanssa on keskusteltu jo aiheesta jonkin verran. Sihteeri selvittää vielä tarkemmat kuviot Oulun Yliopiston kanssa. Jos yliopistolta löytyy hyvä näkökulma viedä asioita eteenpäin, niin työ voidaan varmasti toteuttaa myös pelkästään yhdistyksen varoilla. Aiheesta löytyy varmasti opinnäytetöitä joihin voisi tutustua. Pyörää ei kannata keksiä uudestaan, joten sihteeri voisi selvittää aiheeseen liittyviä töitä seuraavaan kokoukseen mennessä.

NOx-aihe

Kuinka alas NOx:ssa pääsee normaaliolosuhteissa ilman että tarvitsisi laittaa savukaasupesuria? BAT-rajat tiukkenevat erittäin todennäköisesti. Ensimmäinen vaihe voisi olla tilanteen ”benchmarkkaus”. Toisin sanoen kerättäisiin tehtailta dataa päästöistä muutaman vuoden ajalta. Onko tehdaskohtaisia eroja? Johtuuko puulajista vai jostain muusta? Mistä erot voisivat johtua? Mitä tehtailta on tehty? Ilmajakojen merkitys? Yhteenveto löydöksistä. Bonuksena jos löytyy tehdas jossa on kiinnostusta lähteä kokeilemaan uusia ilmajakoja. Opinnäytetyölistauksesta voi löytyä myös tähän aiheeseen jotain mielenkiintoista.

6.3 Muita aiheita

Muut mahdolliset aiheet pidettiin mukana materiaaleissa, mutta niistä ei tällä kertaa keskusteltu pidemmin kokouksessa.

- Kaliuminpoisto talteenottokierrosta (lipeätyöryhmälle sopivampi aihe?): miten saataisiin lannoitteeksi?
- Lipeäkiertojen sulkeminen (valkaisun suodokset talteenottokiertoon tms.), NPE, kloridi
- Vihreä sähkö –aihe: Ensimmäisen sukupolven korkeapaine- ja lämpötilakattilat. Jos nostaisi p ja T vielä ylemmäs, mitä edellyttäisi? Rauta, lipeän ominaisuudet yms. Päästöjenhallinnan energiantensiivisyys, esim. onko vaihtoehtoja sähkösuotimille?
- Hiukkasmittaus kosteista savukaasuista pesurin jälkeen?: Onko mahdollista mitata jatkuvatoimisesti? Vuoden päästöt lasketaan yksi mittaus vuodessa, häiriöitä ja epämääräisyyttä usein mittaushetkellä, olisi kiva jos olisi jatkuvatoiminen mittaus.
- Dioksiinien ja furaanin muodostumisen ehkäisy soodakattilassa. Onko mittautulokset luotettavia (kontaminaatiota vai mittaustuloksia)?
- E-PRTR uudistuu: mitä haasteita?
- N2O soodakattilalta, häkä (muut kuin CO2 kasvihuonekaasut)

7 MUIDEN TYÖRYHMIEN KUULUMISET

Käytiin läpi muiden työryhmien projekteja, projektiehdotuksia ja kuulumisia. Lisäksi sihteeri esitti tulevia tapahtumia.

- Vuosikokous
 - 20.4.2023, Hotelli Ilves, Tampere
- Soodakattilapäivä



- 2.11.2023, Paasitorni, Helsinki
- 60-vuotisjuhlaseminaari
 - 5.-7.6.2024
 - Laivaseminaari (Helsinki – Tukholma – Helsinki), Tallink Silja

8 MUUT ASIAT

Keskusteltiin työryhmien yhteisestä workshop-/verkostoitumistapahtumasta, jota kaavailaan loppukeväälle tai alkukesään. Sihteeri ilmoitti että on hyvinkin todennäköistä että kyseinen tapahtuma siirretään syksylle. Keväällä on ollut paljon tapahtumia ja myös projektirintamalla on ollut erittäin aktiivista toimintaa.

Edellisessä työryhmän palaverissa oltiin keskusteltu BAT-tilannekatsauksesta Metryn kanssa. Johanna Vainiomäki oli viime vuonna pitämässä vastaavan katsauksen työryhmälle. Häneltä voitaisiin kysyä, koska olisi sopiva hetki pitää uusi katsaus työryhmän kokouksen yhteydessä. Sihteeri selvittää asiaa.

Lisäksi sihteeri esitteli työryhmälle Emman AF&PA:n reissuun liittyviä kuulumisia ja reissusta poikineita yhteydenottoja, sekä materiaaleja.

9 SEURAAVA KOKOUS

Seuraava kokous	YTR, 3/2023
- Aika:	to 25.5.2023, klo 10:00 – 14:30 (lounas välissä)
- Paikka:	Jaakontalo, Vantaa / MS Teams

Vakuudeksi

Sakari Vuorinen



LIITTEET

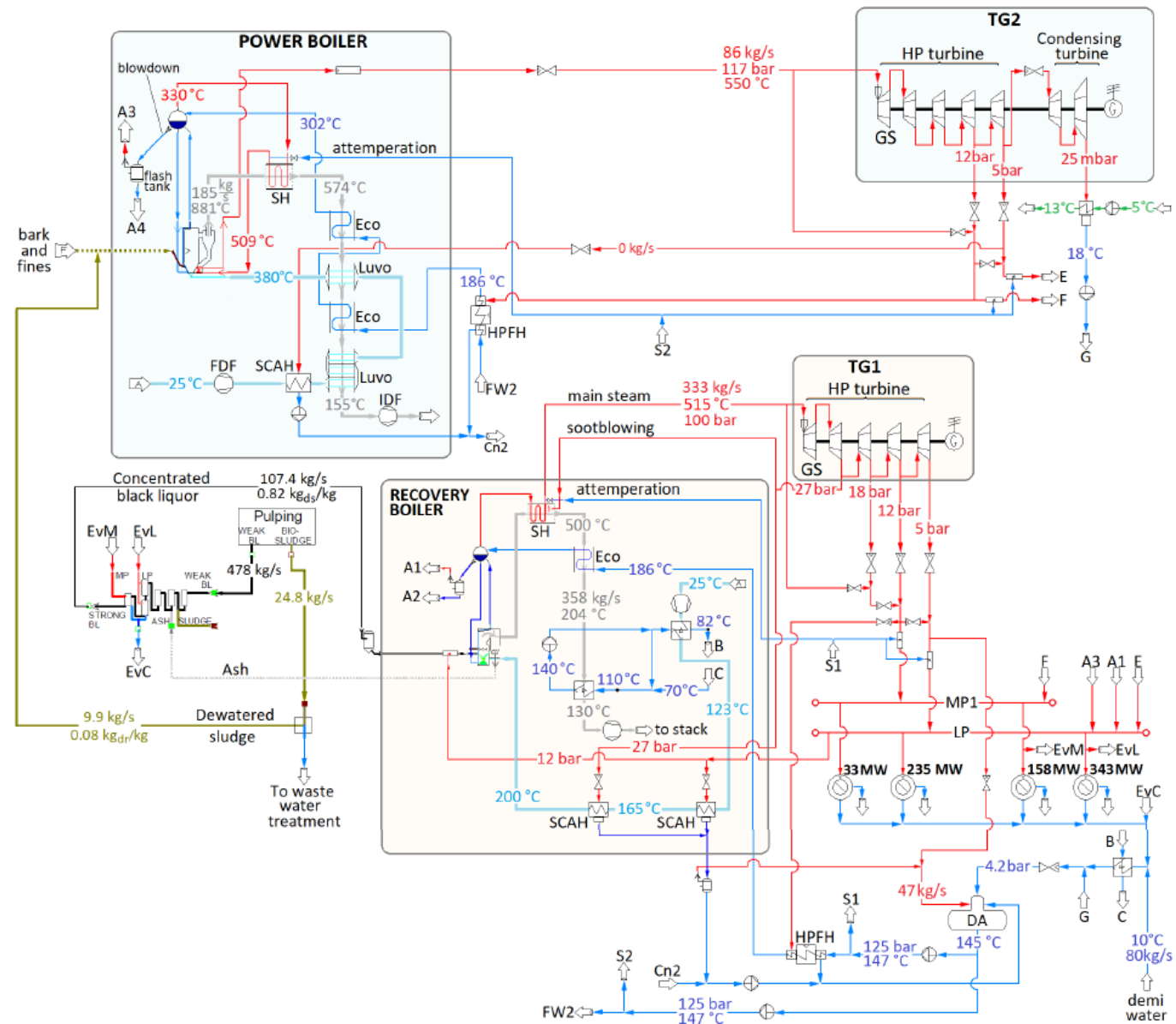
CCUS Diplomityön väliesittely

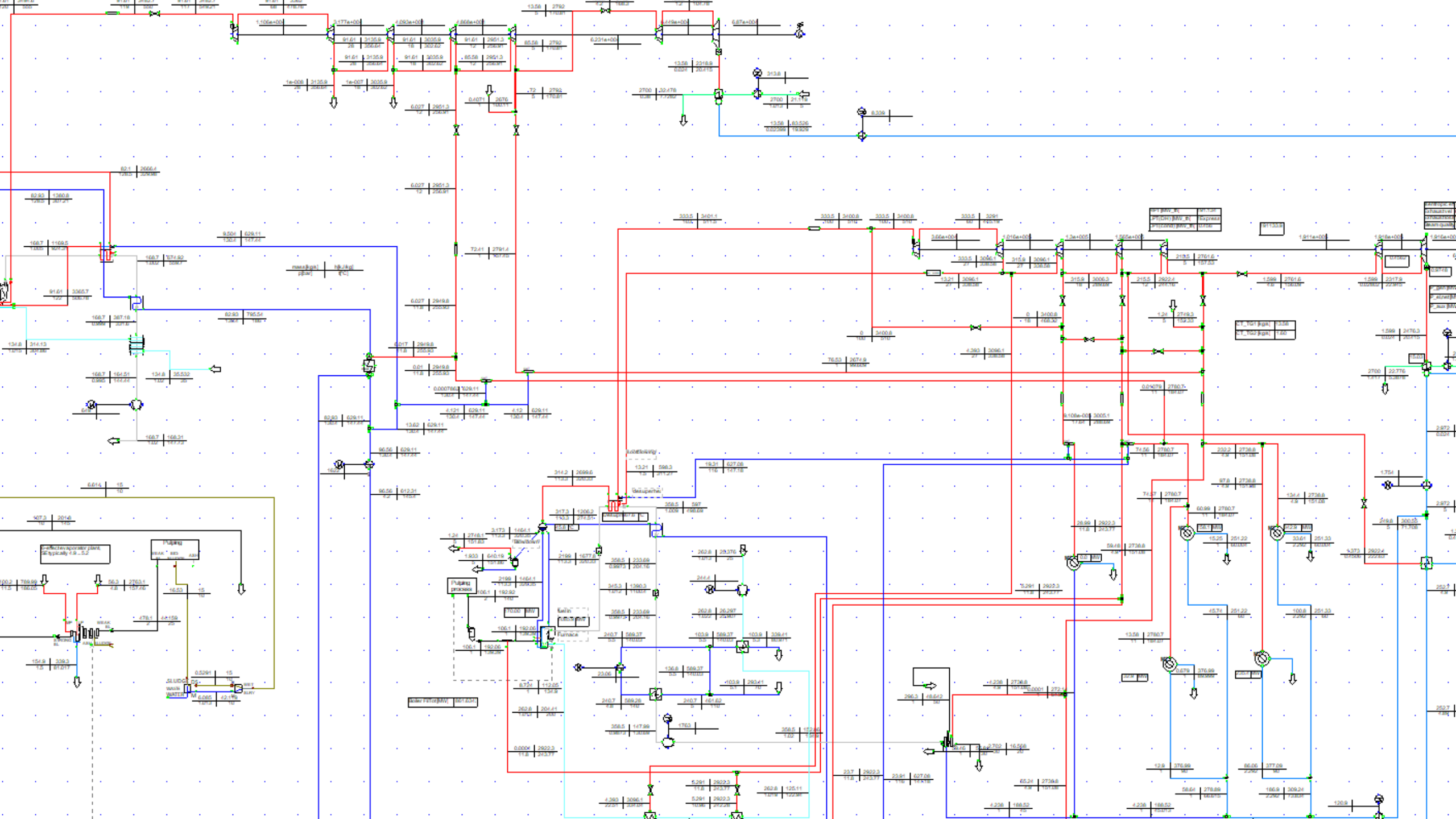


 SOODAKATTILAYHDISTYKSEN YTR:N KOKOUS, 23.3.2023

DIPLOMITYÖN VÄLIESITTELY

Kasper Heikkilä

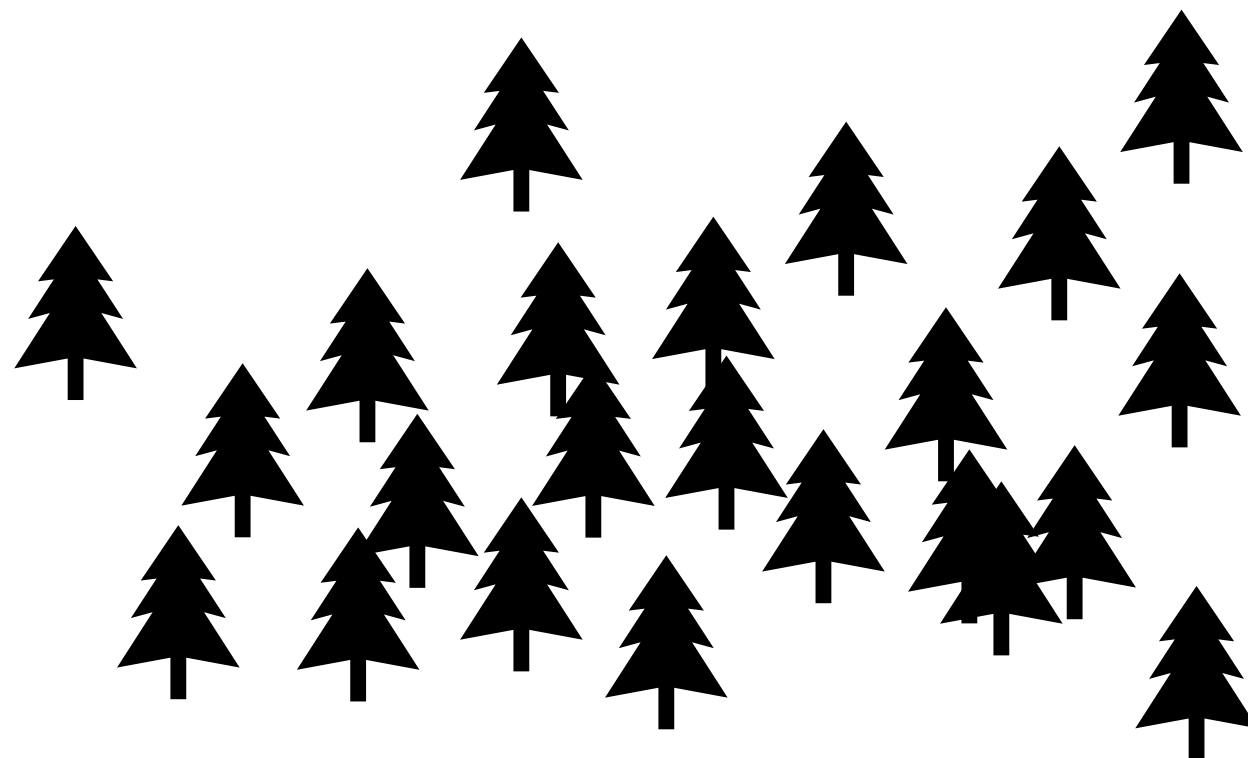




	Fuel Power [MW]	Thermal Power [MW]	Generator power [MW]	Papermill MP-steam energy consumption [MW]	Papermill LP-steam energy consumption [MW]	Capture rate with consumption of 4000 J/kgCO2	Additional fuel	Annual capture amount [t]
Recovery boiler	1053,7	881,7	127,9					
Original setup	1329,6	1135,8	194,5	32,9	235,4			
Original setup + capture	1329,6	1135,8	194,5	32,9	235,4	0,03		
Withouth paper mill	1329,6	1135,8	195,7			0,75		2043
Withouth paper mill, with additional wood chips	1394,3	1193,9	207,8			0,87	23,4 %	2369
Original setup with carbon capture and additional wood chips	1394,3	1193,9	206,1	32,9	235,4	0,13	23,4 %	354



SEURAAVAKSI





LÄHTEET

- » Saari, J., Sermyagina, E., Kuparinen, K., Lipiäinen, S., Kaikko, J., Hamaguchi, M., Mendoza-Martinez, C. (2022) Improving Kraft Pulp Mill Energy Efficiency through Low-Temperature Hydrothermal Carbonization of Biological Sludge. *Energies (Basel)* 15(17): 6188



CCUS Diplomityön kirjallisuusosa



TOWARDS CARBON NEGATIVE FUTURE OF THE FOREST INDUSTRY

Possibilities of BECCUS in Finnish pulp and paper industry

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

Master's Programme in Energy Technology, Master's thesis

2023

Kasper Heikkilä

Examiner(s): Professor Esa Vakkilainen

Katja Kuparinen, D.Sc. (Tech.)

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

Your school: LUT School of Business and Management / LUT School of Energy Systems /
LUT School of Engineering Science

Your degree programme: Energy Technology / Business Administration / Chemical
Engineering / Mechanical Engineering / Computational Engineering / Electrical Engineering
/ Software Engineering / Industrial Engineering and Management / Environmental
Technology

Author's name

Thesis title in English in bold type (possible subtitle included)

Master's/Bachelor's thesis

Year of completion of the thesis

xx pages, xx figures, xx tables and xx appendices

Examiner(s): Title First name Last name and Title First name Last name (Example: Professor
John Smith and Jane Smith, D.Sc. (Tech.))

Keywords: CCS

Use single line spacing in your abstract and justify the text as you would the rest of your thesis text body. The abstract and its identifying information must fit on one A4 page. The abstract is a public document, and therefore, you need to exclude any confidential information from it.

The abstract is an independent summary of the thesis and should be intelligible as such, without the original document.

A good abstract is written in complete and concise sentences. Do not express personal opinions in the abstract – describe the thesis as an outside reporter would. Do not make detailed references to the original text. Present the key results of the research.

If you have not received your basic education in Finnish or Swedish and are writing your final thesis in English, write your abstract only in English.

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Oma schoolisi: LUT-kauppakorkeakoulu/LUT Energiajärjestelmät/LUT Teknis-luonnontieteellinen

Oma koulutusohjelmasi: Energiatekniikka / Kauppatieteet / Kemianteekniikka / Konetekniikka / Laskennallinen tekniikka / Sähkötekniikka / Tietotekniikka / Tuotantotalous / Ympäristötekniikka

Tekijän nimi

Työn suomenkielinen nimi lihavoituna (myös mahdollinen alaotsikko)

Koulutusohjelmasi ja tutkielmasi: esim. Kauppatieteiden pro gradu -tutkielma / Konetekniikan kandidaatintyö

Vuosiluku

xx sivua, xx kuvaa, xx taulukkoa ja xx liitettä

Tarkastaja(t): Titteli Etunimi Sukunimi ja Titteli Etunimi Sukunimi

Avainsanat: Listaa tähän avainsanat, joiden perusteella tutkielma voi haettaessa löytyä

Tiivistelmätekstin riviväli on 1, ja se tasataan molempiin reunoihin, kuten muukin opinnäytetyön leipäteksti. Tiivistelmätekstin tunnistetietoineen on mahdollista yhdelle A4-arkille. Tiivistelmään ei voi sisällyttää salassa pidettäviä tietoja, vaan se on aina laadittava julkiseksi.

Tiivistelmä on itsenäinen esitys DI-työstä/pro gradu -tutkielmasta, ja sen tulee olla ymmärrettävissä sellaisenaan. Hyvässä tiivistelmässä virkkeet ovat täydellisiä, lyhyitä ja ytimekkäitä. Tekijän mielipiteet eivät näy, vaan hän kuvaa työtään kuin ulkopuolinen

raportoi. Tiivistelmässä ei viitata yksityiskohtaisesti alkuperäistekstiin. Tutkimuksen keskeisimmät tulokset sisältyvät tiivistelmään.

Opiskelijat, joiden koulusivistyskieli ei ole suomi tai ruotsi ja jotka kirjoittavat opinnäytteensä englanniksi, kirjoittavat tiivistelmän ainoastaan englanniksi.

ACKNOWLEDGEMENTS

(Optional)

You may thank people who have supported you in your work on the thesis.

SYMBOLS AND ABBREVIATIONS (may be included, but not relevant for all theses)

Roman characters

p	pressure	[bar, Pa]
qm	mass flow rate	[kg/s]
R	gas constant	[J/kg K]
T	temperature	[°C, K]
U	voltage	[V]
V	volume	[m ³]
v	specific volume	[m ³ /kg]
x	vapour content	

Greek characters

α	incidence angle	[°]
λ	thermal conductivity	[W/mK]

Constants

g	gravitational acceleration	9,81 m/s ²
-----	----------------------------	-----------------------

Dimensionless quantities

Re	Reynolds number	
----	-----------------	--

Subscripts

1	inflow	
---	--------	--

2	outflow
kr	critical
mit	measured

Superscripts

'	stator
"	rotor

Abbreviations

CFD	Computational Fluid Dynamics
ORC	Organic Rankine Cycle

Table of contents

Abstract

(Acknowledgements)

(Symbols and abbreviations)

1	Introduction	11
2	Terminology	11
3	Carbon dioxide emissions of pulp mills	12
3.1	Recovery boiler	13
3.2	Lime kiln	14
3.3	Biomass boiler.....	16
3.4	Odorous gases disposal	17
3.5	Flue gas properties and carbon circulation.....	18
4	Finnish pulp industry in numbers	19
5	Driving forces of technology harnessing.....	24
5.1	Environmental aspects	24
5.2	Economical aspects	27
5.2.1	Emission trading	28
5.2.2	Investment costs of CCS systems	30
5.2.3	Electricity and energy consumption	31
5.2.4	Value of CO ₂ and CO ₂ -based products	31
5.2.5	Competition of carbon	32
5.3	Political aspects.....	32
6	Carbon capture technologies	34
6.1	Capturing from flue gas	36
6.2	Amine method.....	36
6.3	Membrane method	38
7	Possibilities of utilizing the captured CO ₂	39
7.1	Storage possibilities	39

7.2	Power to X.....	41
7.2.1	Outcomes	41
7.2.2	Processes and their efficiencies	43
7.3	Carbon dioxide usage at the site.....	45
8	Viability studies of harnessing CCS in Finnish pulp and paper industry	46
8.1	Pulp mill	46
8.2	Integrated pulp mill	46
9	Interesting projects in 2023	Error! Bookmark not defined.
10	Conclusions.....	47
	Bibliography	48

Appendices

1 Introduction

The introduction explains the reasons for the research and what it aims to achieve. It also gives a brief overview of the methodology used and key results. The first paragraph should answer the following questions: What is your thesis about? Why is this topic important to study right now? Why is it important in general? The first paragraph entices people to read your thesis.

The second paragraph briefly presents the key findings of previous studies, and the third one explains what previous research has not taken into consideration or examined. In other words, it explains why your study is necessary. Conclude your introduction by relating the objectives, research problem, research questions, limitations and thesis structure briefly.

2 Terminology

What is BECCUS? It is shortened from **bioenergy** with **carbon capture**, **utilization** and **storage**. The basic idea is explained with carbon circulation schematics in Figure 1.

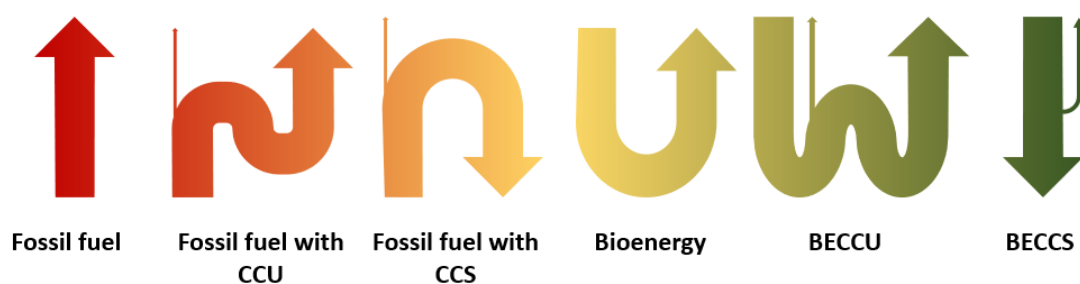


Figure 1 Carbon circulation schematics for different options

The thought behind bioenergy usage is that the biomass has absorbed the carbon it needs to assimilate and grow. The same carbon is then released back to the atmosphere when the biomass is combusted. It can be said that this is a plus minus zero -situation. This is quite similar situation to using fossil fuel with CCS, carbon circulation-wise. The carbon is taken

from underneath the ground as a fossil fuel, and later the carbon is captured and stored back underground. However, some extra carbon is added to the atmosphere, since 100% of the carbon dioxide cannot be captured. (IEA 2022; Fajardy & Pour 2022)

In the applications where carbon capture and utilization are adapted, almost always the carbon dioxide is released to the atmosphere. The thought behind the arrangement still is that it decreases the amount of released carbon dioxide: when fossil fuel is burned, the carbon dioxide is captured, and new fuel is produced based on the captured carbon dioxide, only little bit more than half of the carbon dioxide is released to the air compared to a situation where all the fuel was fossil. The same thing applies with carbon capture and utilization combined with bioenergy: the synthetic fuel produced from the carbon dioxide captured from biomass combustion can be used to replace fossil fuel usage. (IEA 2022; Fajardy & Pour 2022)

With BECCS, the idea is that carbon dioxide can be captured from the combustion gases and stored underground. This is a situation, where the carbon dioxide is removed from the atmosphere; when the biomass is growing, it absorbs the carbon dioxide from air and when the biomass is combusted, the carbon is captured and then injected under the ground. (IEA 2022; Fajardy & Pour 2022)

3 Carbon dioxide emissions of pulp mills

There are several sources of carbon dioxide in a typical pulp mill. These sources vary on several important factors to consider, what comes to potential of carbon capture. In this paragraph the characteristics of different CO₂ sources are presented and explained.

3.1 Recovery boiler

Recovery boiler is the largest CO₂ source in a pulp mill, producing more than two thirds of the total carbon dioxide emissions (Kuparinen et al. 2019). Recovery boiler generates most of the energy generated in a pulp mill and hence the name, it enables the reusage of the pulping chemicals.

In a kraft pulping process, wood chips are cooked in a hot mixture, called white liquor, containing sodium sulfide (Na₂S), sodium hydroxide (NaOH), sodium carbonate (Na₂CO₃) and sodium sulphate (Na₂SO₃) mixed with water (Biermann 1996). The wood chips react with sodium sulfide and sodium hydroxide, and this causes lignin bonds to break apart from the rest of the solid, which consist of fibrous cellulose and hemicellulose. (Tikka 2008; Prowledge Oy 2022)

Next, the fiber mass, pulp, is separated from the solution and washed. The excess cooking liquid, black liquor, goes through an evaporation process increasing the dry solid content to even +80%. During the evaporation process also methanol, turpentine and soap is separated from the black liquor. This prevents fouling in the recovery boiler and tall soap can then be processed to tall oil, which can be used for example as a raw material for bio-based transport fuels. (Tikka 2008; Prowledge Oy 2022)

After evaporation, the black liquor is fed to the recovery boiler, where the organic compounds, consisting mostly of lignin, burn and generate heat. This heat is used for the two main tasks of a recovery boiler: generating steam and making the chemical recovery reactions possible. In the recovery boiler, most of the cooking chemical, roughly two thirds, turn into sodium carbonate (Na₂CO₃) Rest of the cooking chemical turn into a smaller amount, roughly 20-30 %, depending on the wood, of sodium sulfide (Na₂S) and also some non-reacted sodium sulfate (Na₂SO₄) is left. This mixture of chemicals is removed as smelt in the bottom of the recovery boiler. (Vakkilainen 2005; Alakangas et al. 2016; Prowledge Oy 2022)

Black liquor has relatively low calorific value, as well much different elemental composition, compared to other wood-based fuels. The lower calorific value of black liquor is only between 12 and 15 MJ/kg, where other wood-based fuels are often close to 20 MJ/kg. This is because of the low amount of combustibles and the energy required by the chemical reactions in the recovery boiler: about one third of the dry solids is carbon and half of the dry solids is ash. (Vakkilainen 2005; Alakangas et al. 2016; Prowledge Oy 2022)

3.2 Lime kiln

The smelt removed from the recovery boiler is called green liquor. After being removed from the recovery boiler, the green liquor is threated by mixing it with water or weak white liquor, removing dregs and other impurities and cooling. Next, the green liquor is mixed with calcium oxide (CaO), which becomes calcium hydroxide (Ca(OH)_2), also known as slaked lime, when reacting with water (H_2O) in the solution. Calcium hydroxide and sodium carbonate react, resulting in sodium hydroxide (NaOH) and calcium carbonate (CaCO_3). The calcium carbonate, now called lime mud, is separated from the sodium hydroxide and other chemicals that didn't react in re-causticizing and is prepared to be put back to the lime kiln, when the rest of the solution go back to cooking. (Vakkilainen 2017; Prowledge Oy 2022)

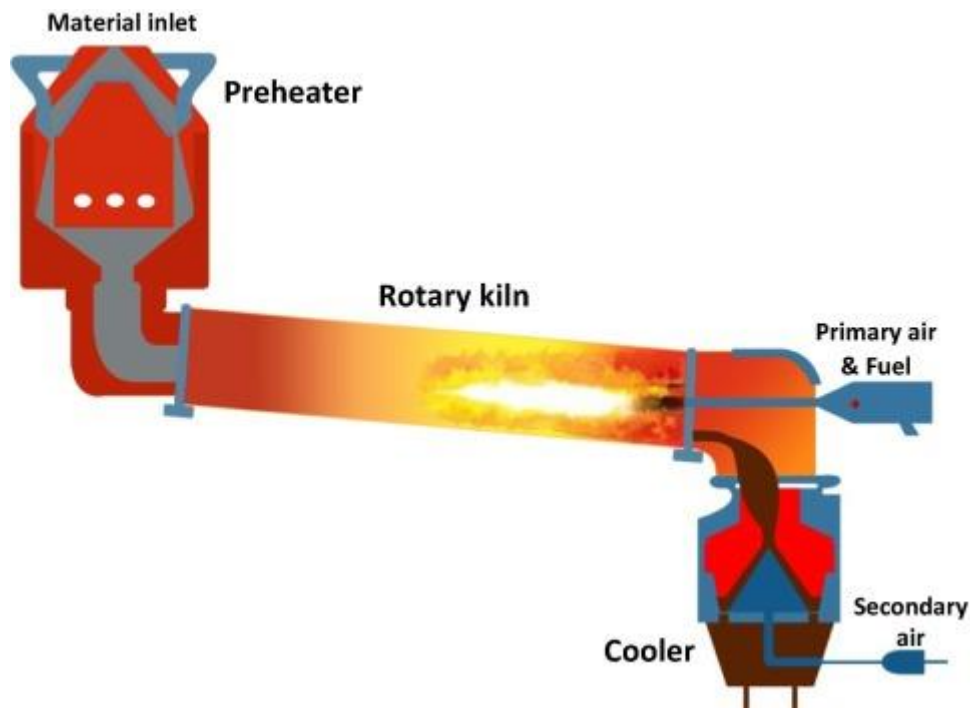


Figure 2 Lime kiln (Shahin et al. 2016)

Before being inserted to the lime kiln, which is presented in Figure 2, the lime mud is filtered and dried. After being dried to almost 100 % dry solids, lime mud is heated in the lime kiln for about 1.5 to 4 hours in about 1100 °C. The reaction of calcium carbonate breaking into calcium oxide (CaO) and carbon dioxide (CO₂) starts at about 800-850 °C (Smook 2016; Prowledge Oy 2022). Higher temperatures fasten the reaction, and the hotter end of the lime kiln can be at 1250 °C (Smook 2016). The carbon dioxide from the process is currently released to the air, but it can also be captured. The amount of biogenic carbon dioxide is a little bit under 200 kg per tonne of pulp (Miner & Upton 2002). (Prowledge Oy 2022)

This process is very energy-intensive, and the needed energy is about 3000 kJ/kg CaO (Theliander 2009). This energy is often produced by natural gas or oil, but nowadays there are also several renewable options: syngas from bark gasifier, tall oil pitch or pulverized biofuels. Renewable fuels in Finnish lime kilns are presented in Table 1, and it seems that renewable fuels are the future fuels for lime kiln usage. (Berglin & Von Schenck 2022)

Table 1 Renewable fuels used in Finnish lime kilns (Berglin & Von Schenck 2022)

Mill	Lime kiln fuel
Metsä Joutseno	syngas (bark)
Metsä Kemi (starting in 2023)	syngas (bark)
Metsä Äänekoski	syngas (bark), tall oil pitch as secondary
Stora Enso Oulu	tall oil pitch
Stora Enso Sunila	lignin powder
Stora Enso Varkaus	syngas (bark, sawdust)
UPM Pietarsaari	tall oil pitch

In the pulp mills that use fossil fuels in the lime kiln, lime kiln is the largest fossil carbon dioxide emission source of the pulp mill itself, since otherwise fossil fuels are used as start-up fuel and auxiliary fuel, and also some integrated pulp mills use natural gas to generate extra steam to power for example paper and cardboard manufacturing and sawmill usage. Also, the mills that use renewable fuels as the primary lime kiln fuel, often use fossil fuels as secondary fuel. In the mills that fire natural gas as the primary fuel in the lime kiln, the median fossil carbon emissions are about 100 kg per tonne of unbleached pulp (Miner & Upton 2002). (Miner & Upton 2002; Kuparinen et al. 2019; Kotkamills 2020; Berglin & Von Schenck 2022)

3.3 Biomass boiler

A biomass boiler, a multi-fuel boiler or sometimes referring to the most combusted fuel, bark, a bark boiler is a boiler that burns the residue that is built up outside the pulping process and generates extra steam for the processes. Often it is a bubbling fluidised bed boiler, because the used fuel is moist and heterogeneous. As said, the main fuel of a biomass boiler is bark, but it also burns wood chips and many types of organic residues, for example residues from the water treatment plant. Biomass boiler also combusts the start-up fuel, meaning that in some cases it also uses fossil fuel. (Kuparinen et al. 2019) (Prowledge Oy 2022)

3.4 Odorous gases disposal

From each process in containing any type of liquor in a pulp mill odorous gases, for example methane and are released. These gases can be divided in two categories: dilute non-condensable gases (DNCG) are not dangerous, but unpleasant smelling, while concentrated non-condensable gases (CNCG) are not only bad smelling, but also poisonous and explosive. In the pulping process larger amount of DNCG is formed and a smaller amount of CNCG. Sulphur-based odorous gases are known also as TRS (total reduced sulphur), and they are the ones causing the characteristic smell of pulp-producing cities. (Prowledge Oy 2022)

Since the 1990's, the amount of sulphur emissions, and also TRS emissions, have been decreased, as presented in Figure 3, due to tightened emission regulations. Mostly, and especially in modern technologies, the burning of odorous gases is done in the recovery boiler. However, an older technology to get rid of odorous gases is to burn them in a separate incinerator. The incinerator uses for example collected methanol and natural gas or oil to fuel the burning. Also, in the pulp mills that burn the odorous gases in the recovery boiler, there is also a separate burner in case of an interruption of the normal process. (Prowledge Oy 2022).

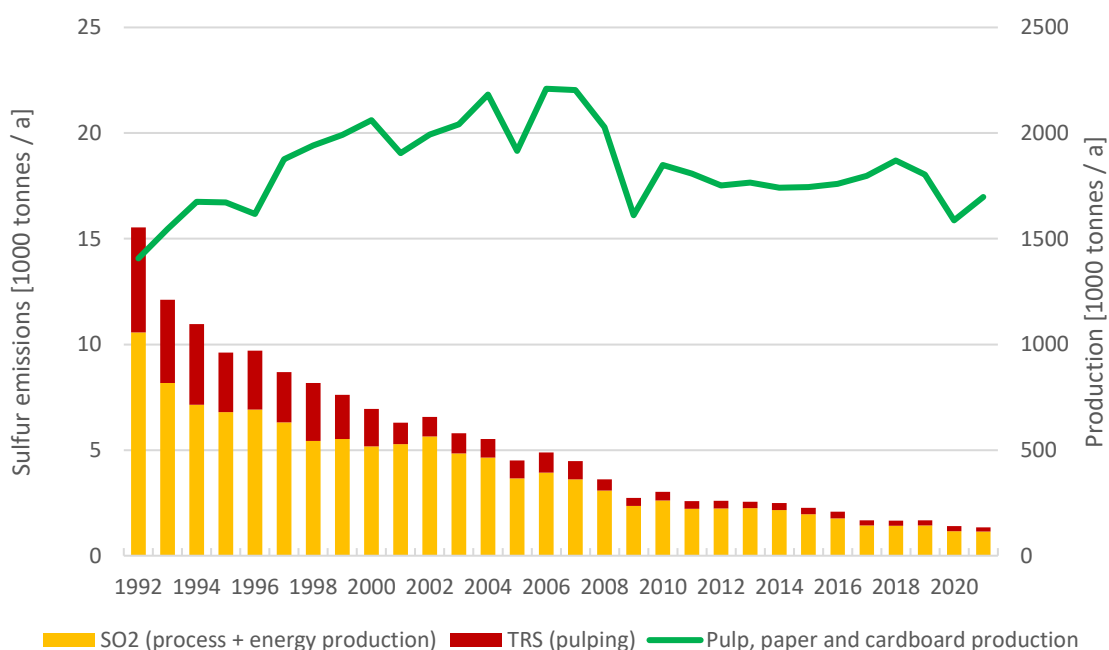


Figure 3 Sulphur emissions of Finnish industry (Metsäteollisuus)

3.5 Flue gas properties and carbon circulation

What comes to carbon capture, the most interesting characteristics of flue gases are amount of flue gas and its carbon dioxide and its carbon content. Also, what comes to developing the technology, moisture and sulphur content need to be considered to be aware the possibilities of low temperature corrosion (Zuo et al. 2020). (Teir et al. 2011)

Table 2 Estimations of flue gas properties in a pulp mill

	Share of total CO ₂ emissions	Flue gas CO ₂ content (wet)	Flue gas water content
Recovery boiler	68.0 %	15.7 %	22.9 %
Bark Boiler (47.5 %)	23.4 %	19.7 %	15.1 %
Bark Boiler (20 %)	23.4 %	22.1 %	9.1 %
Lime Kiln	8.6 %	33.2 %	9.6 %

In the Table 2 an example of flue gas distribution and properties is presented. The share of total CO₂-emissions is based on the Mill A (presented in Figure 4), a modern softwood kraft pulp mill located in Northern Europe, presented in publication Biomass-based carbon capture and utilization in kraft pulp mills by Kuparinen et al. 2019. In the publication Kraft recovery boilers – Principles and practise from 2005 by Esa K. Vakkilainen, measured values for recovery boiler flue gases are presented. Values for bark boiler and lime kiln are calculated with typical values. Combusted bark is presented in two moisture contents: natural 47.5% and press-dried estimation 20% (Routa et al. 2021). The bark is combusted in 20% of excess air (Vakkilainen 2017). The amount of sootblowing steam is 5 w-% of dry fuel (Vakkilainen 2017). Since the natural gas available in Finland is almost completely methane, the calculations have been done for pure methane and with 2% leftover oxygen (Maakaasun käsikirja p. 6).

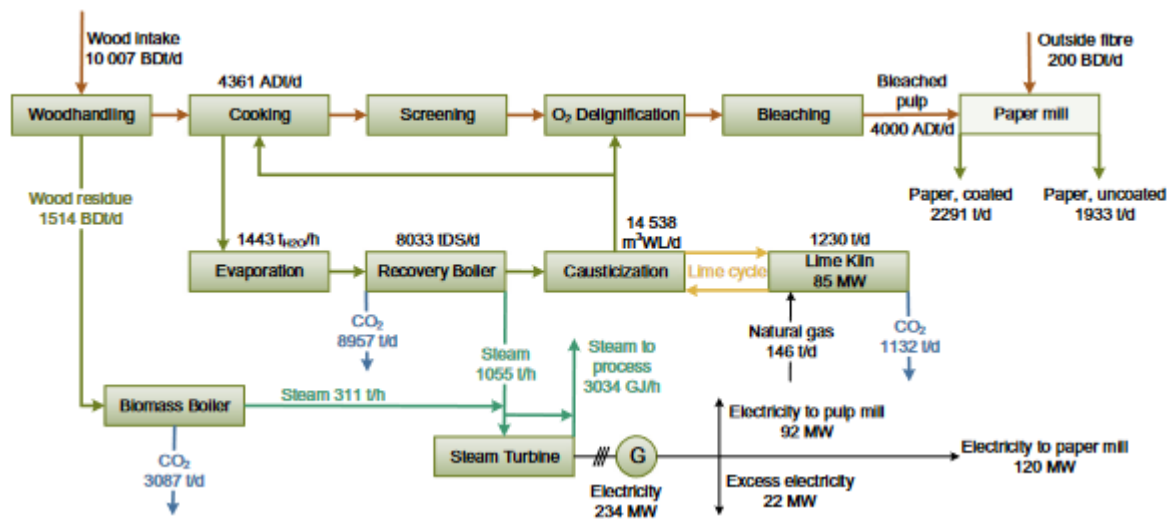


Figure 4 Mill A (Kuparinen et al. 2019)

The numbers presented in Table 2 wake up the questions of how do the carbon capture technologies match with the wanted amount of capturing. In case the desire is that all the carbon is captured, is it better or even possible to do the capturing from all of the flue gas flows with one capturing system or is there a need to have individual systems for each type of flue gas flow. On the other hand, if only a part of the carbon is captured, is it better to capture the big amount of carbon from the recovery boiler flue gases or is the high-carbon lime kiln flue gas a more desirable source of capturing.

4 Finnish pulp industry in numbers

There are four companies in Finnish Recovery Boiler Association having total of 14 mills. As presented in Figure 5, the mills are widely spread all over Finland, excluding very northern Finland.

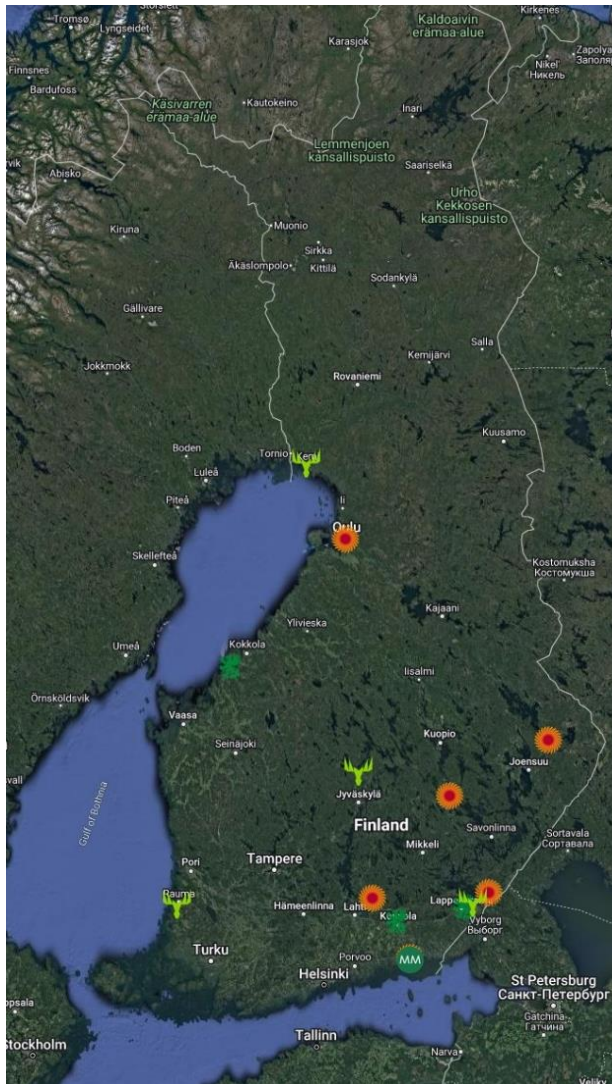


Figure 5 Finnish pulp mills

In average, the total annual carbon dioxide emissions of these plants between years 2018 and 2020 have been approximately 21 000 000 tonnes. The fossil-based carbon emissions are about one-twelfth of the total carbon emissions, them being approximately 1 760 tonnes (EEA 2022a). In Figure 6 the carbon emission values of seven Finnish pulp mills are presented.

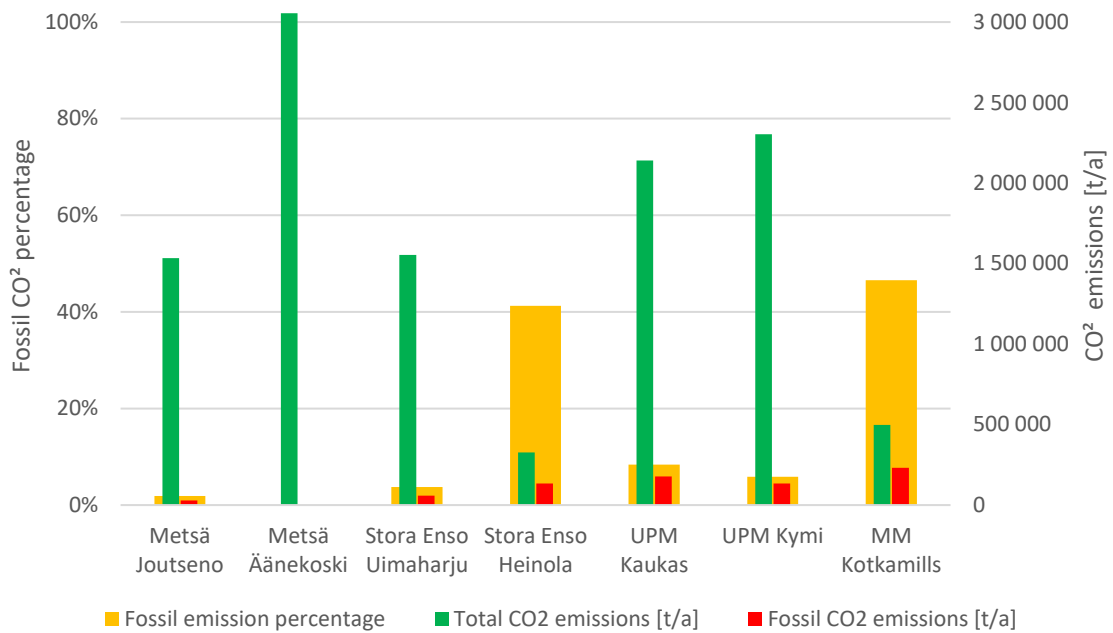


Figure 6 Key figures of seven Finnish pulp mills (EEA 2022a)

The total carbon dioxide emissions are roughly twice the amount of local fossil carbon dioxide emissions from Finnish traffic and transportation sector (LVM 2020). This being said, it is unquestionable that quantitatively there is a great potential for forest industry to be the vanguard of large-scale carbon negativity.

The yearly wood consumption of Finnish forest industry is roughly 70 000 000 cubic meters per year, of which roughly 60 000 000 cubic meters are harvested from Finland. Roughly 40 000 000 cubic meters are used for mass production, and 30 000 000 cubic meters of this to pulp making. The yearly wood usage numbers are presented in Figure 7 and Figure 8. (Luke 2022)

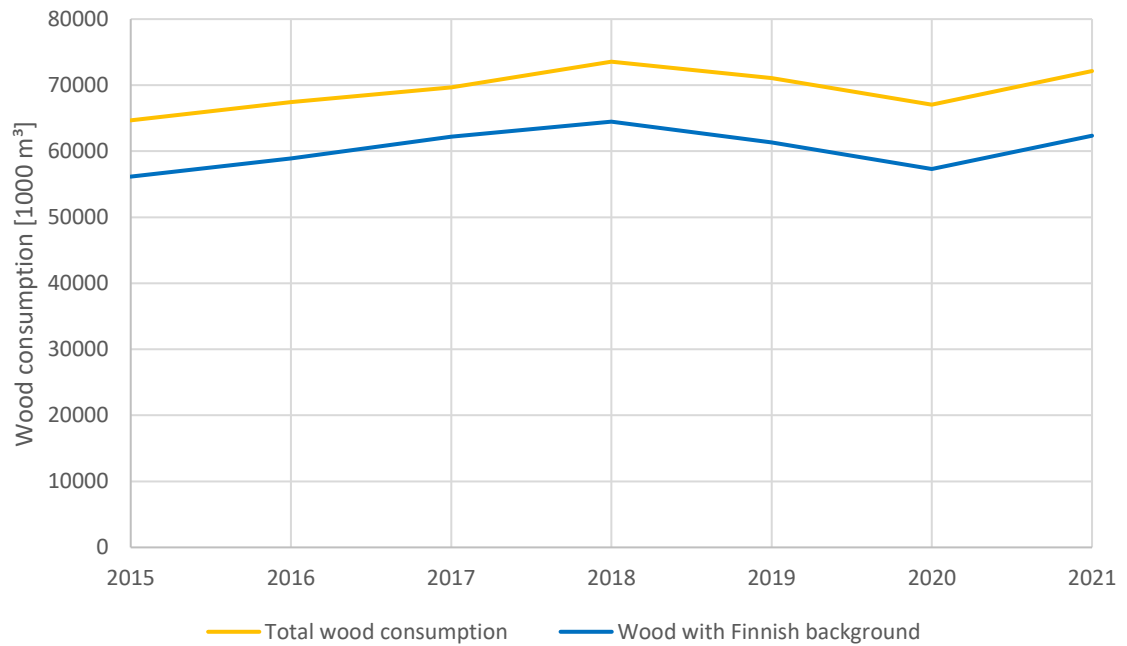


Figure 7 Wood usage of the Finnish forest industry (Luke 2022)

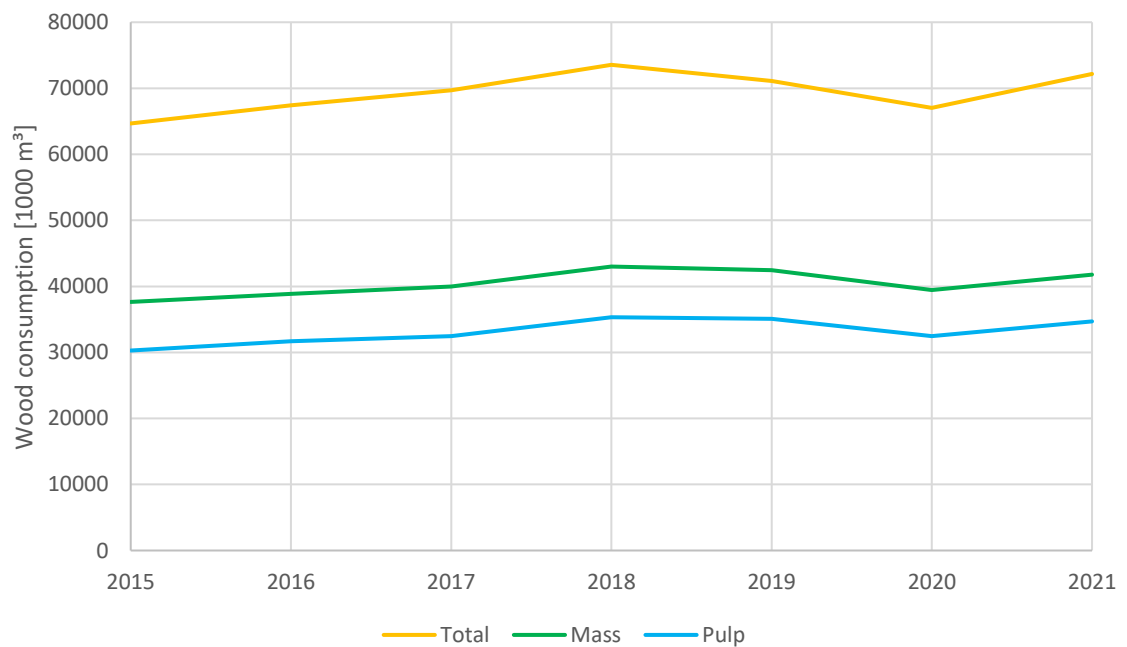


Figure 8 Segmentation of wood usage (Luke 2022)

The figures of wood usage are important, when the total CO₂ numbers of a country are calculated, since growing forest is seen as a carbon sink. Now, the questions are, does CCS

increase the need of used wood or, on the other hand, would forest industry get an absolution of extra wood usage, if the carbon is captured.

In Figure 9 the annual production numbers of Finnish pulp, paper and cardboard are presented. These numbers show clearly the development of digitalization and internet shopping (Vaara 2021; Tiseo 2022)

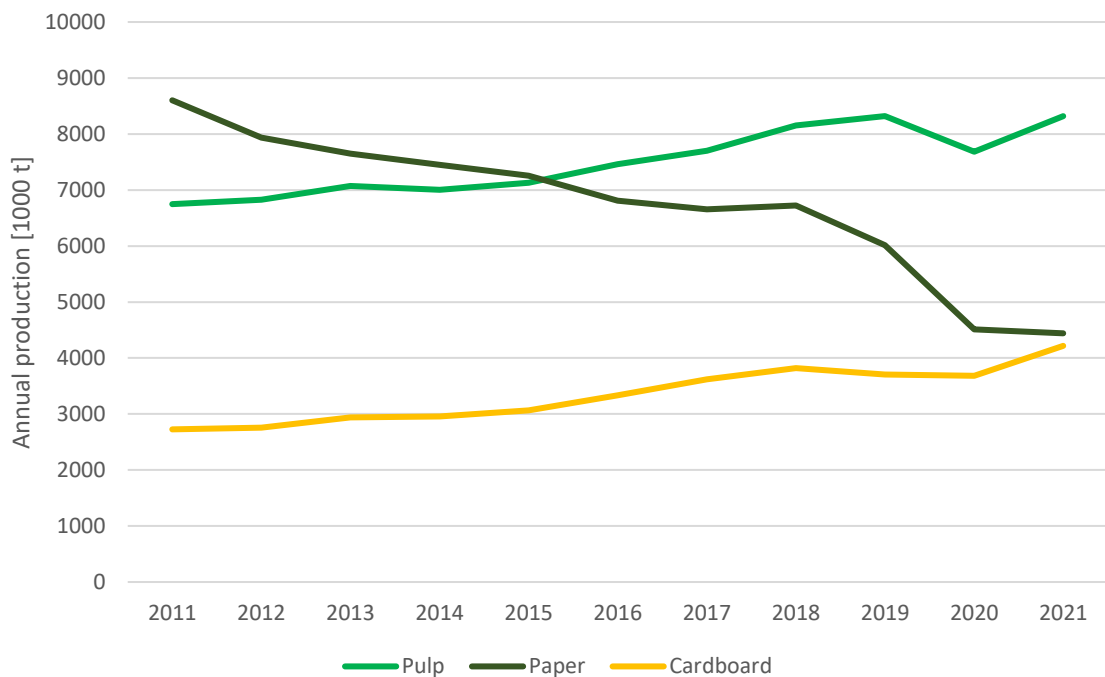


Figure 9 Annual production numbers of Finnish pulp, paper and cardboard (Luke 2023)

5 Driving forces of technology harnessing

There is motivation of many aspects for reducing the carbon dioxide emissions, but also several retardants of technology harnessing.

5.1 Environmental aspects

The clearest environmental thought behind CCS is to prevent carbon dioxide of being released to the atmosphere. When CCS is connected to a power plant that uses bio-based fuels, the idea is that carbon dioxide is removed from the atmosphere. The trees capture the carbon dioxide from the atmosphere when growing and when the wood is burned and the carbon dioxide is captured, the carbon dioxide is removed from the atmosphere. The idea of CCU is that in places where capturing carbon dioxide is more difficult and less cost-effective, carbon released already somewhere else can be reused and harnessed as a fuel. (Onarheim & Arasto 2018)

There are also questions about BECCUS with negative tone to them. Does it require more wood to be chopped? How is the extra energy for the capture systems generated? What are the environmental effects of the carbon storage?

In general, it can be said that usage of BECCUS doesn't necessary mean that more forest needs to be chopped, since the energy in the pulp mills is generated from the residue of the production. However, the system does need energy and harnessing carbon capture may mean that the production of some other product needs to be lowered down, which can mean that it then needs to be replaced with something else. On the other hand, one of the most energy consuming part in an integrated pulp mill is the paper production, and since the paper production amounts have gone down on the past couple of years, there might be extra energy freeing to be used in some of the plants in the next years. In case the energy, especially electricity, is bought from outside, the question is time-sensitive and depends on the general electricity production of Finland.

Carbon storage is often done by injecting carbon dioxide back to old natural gas sources. This also enables more natural gas to be able to be collected from the natural gas well. This can be considered to be both negative and positive thing: on the other hand, fossil fuel is burned, but on the other hand, if otherwise the same energy would be produced with coal or oil, it is the less bad option. (Teir et al. 2011)

In case a big amount of extra electricity is decided to be used for manufacturing products, it is necessary to realize that there is also a limit for harnessing solar and wind power. Most of the best places to harness wind power in Finland have already been harnessed, as presented in Figure 10 and Figure 11, and there can also be other types of obstacles, for example related to national defence that can be in front of harnessing new energy production (Ilmatieteen laitos 2009; Pohtila 2022; Finnish Wind Power Association 2022) .

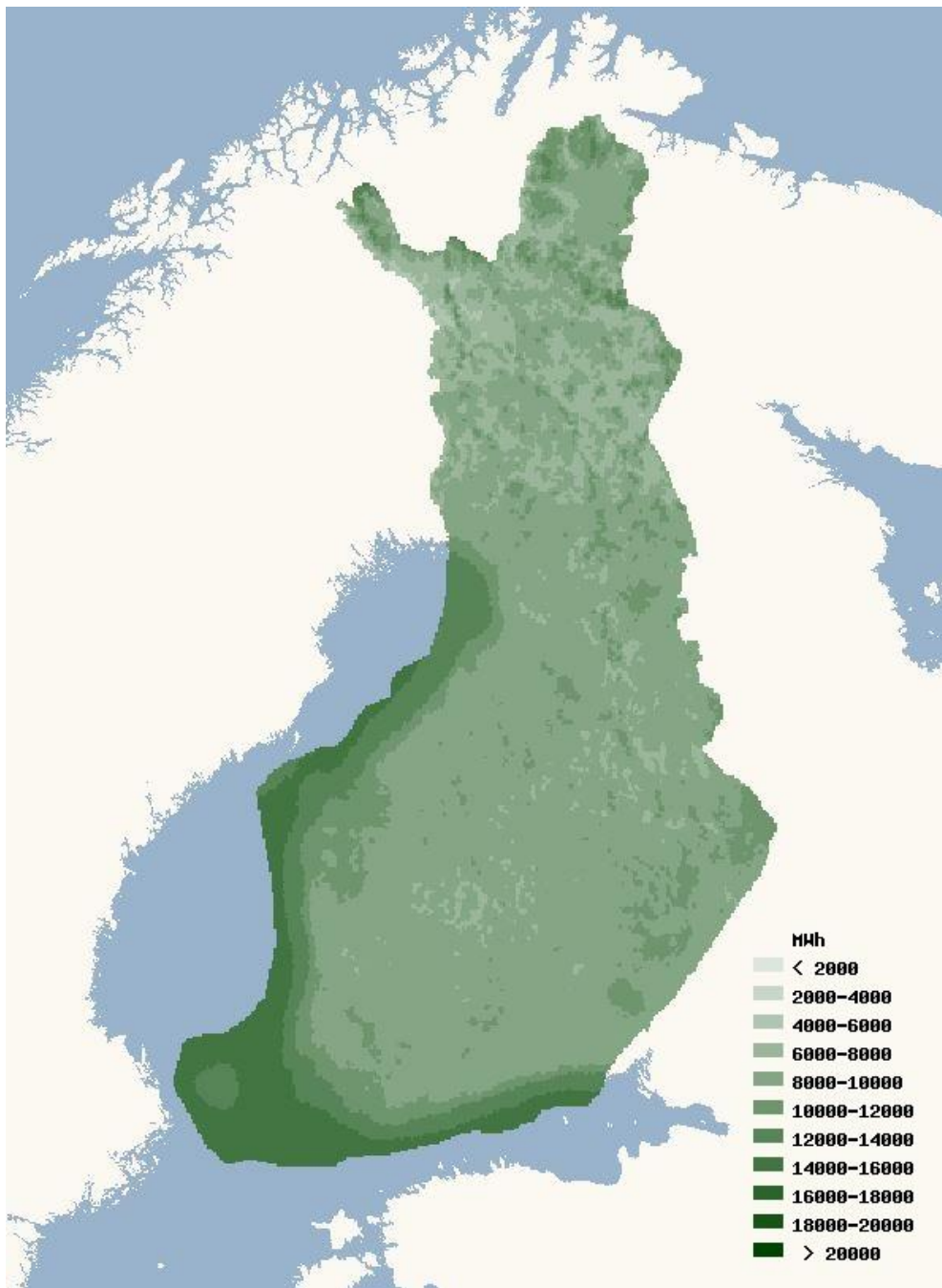


Figure 10 Potential annual energy production of a 3 MW wind turbine at 200 metres (Ilmatieteen laitos 2009)

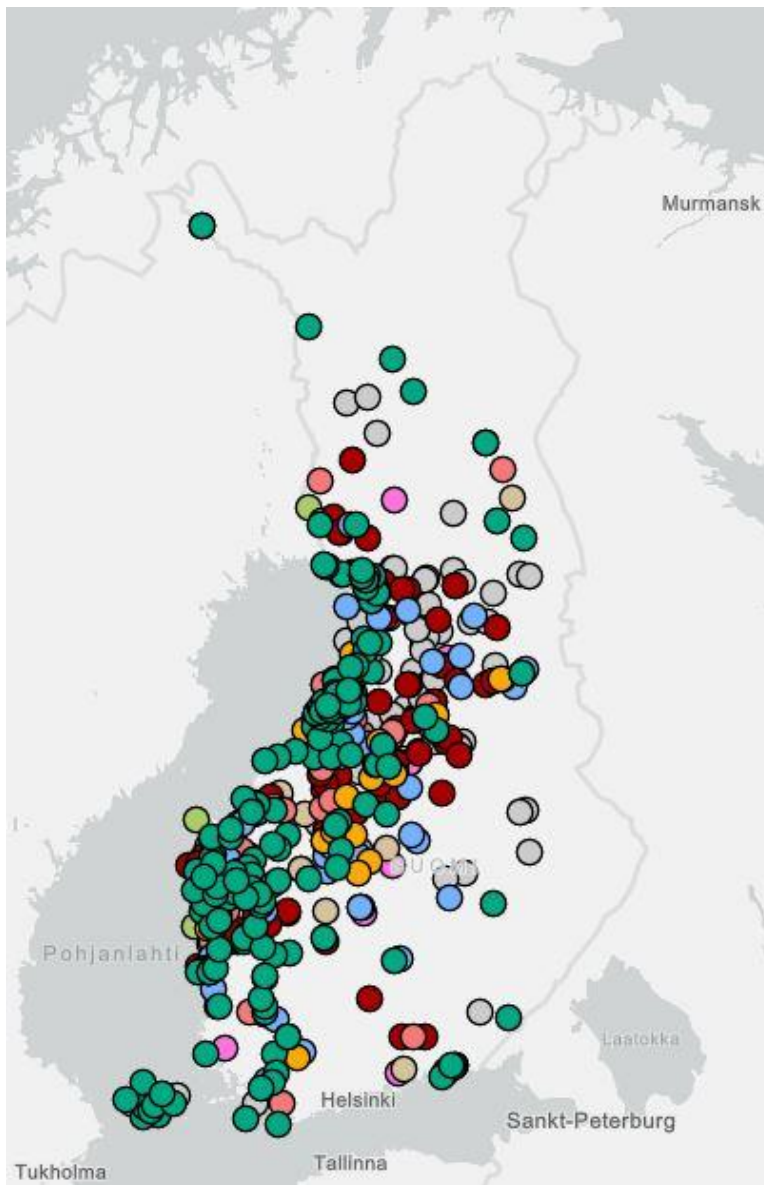


Figure 11 Wind power projects in Finland (Finnish Wind Power Association 2022)

5.2 Economical aspects

Since business is what industry is all about, the costs of changes always need to be deliberated. These costs often vary depending on several things. There are bigger, more obvious, often politically driven factors that will be calculated when the price of CCS-system is evaluated, as speculated later. However, there can also be other, at least in the beginning smaller, aspects that cannot be valued clearly. For example, there might be a possibility

that in the future there is a new market for CO₂-negative end products, like there is, for example, for chlorine-free pulp.

5.2.1 Emission trading

According to the European Union, *“The EU ETS (European Union Emission Trading System) is a cornerstone of the EU's policy to combat climate change and its key tool for reducing greenhouse gas emissions cost-effectively. It is the world's first major carbon market and remains the biggest one.”* The principle behind the EU ETS is simple: polluter pays. (EC 2022a)

Basically, the way the EU ETS works is that EU releases yearly a limit for greenhouse gas emissions for heavy industry, energy production and aviation inside the European Economic Area (EEA). The European Union divides 90 % of this amount between the participant countries according to the emissions of the country of the year 2005 or the average of emissions of the years 2005-2007, whichever is greater. The rest 10 % is divided for the countries with GDP of 90 % or less of EU average to promote solidarity, growth and interconnections within the EU. (EU Directive 2018/410)

Inside the EU countries, the main way of distributing the emission allowances is auctioning, and in 2021, 57% of the general allowances were auctioned, and the rest were given free, as explained later. One emission allowance means a permit to emit one tonne of carbon dioxide. The countries need to use at least half of the money from auctioning to decrease greenhouse gas emissions. The general platform for the auction, located in Leipzig, Germany, is called EEX (European Energy Exchange), where most of the auctioning is done. EEX auctions two types of emission allowances: the general allowances, called EUA (EU Allowance), and allowances for aviation, called EUAA (EU Aviation Allowance). Companies can also buy emission allowances from other companies, as well can allowances be bought from the other market. Roughly half of the needed allowances of the aviation sector were bought from the EUA-market in 2019 (EEA 2022b). (EU Directive 2018/410; EC 2022b)

100% of the emission allowances for sectors that are counted to belong to the carbon leakage risk sectors are given free (EC 2022c). This means basically that to prevent companies from moving to countries with less carbon emission regulations, emission allowances are given free for companies working in international markets. Also, for example, the production of district heating gets most of its emission allowances for free until 2026, when the amount drops significantly. On the other hand, electricity production must buy all its emission allowances in countries with GDP higher than 60 % of the EU average. (EU Directive 2018/410)

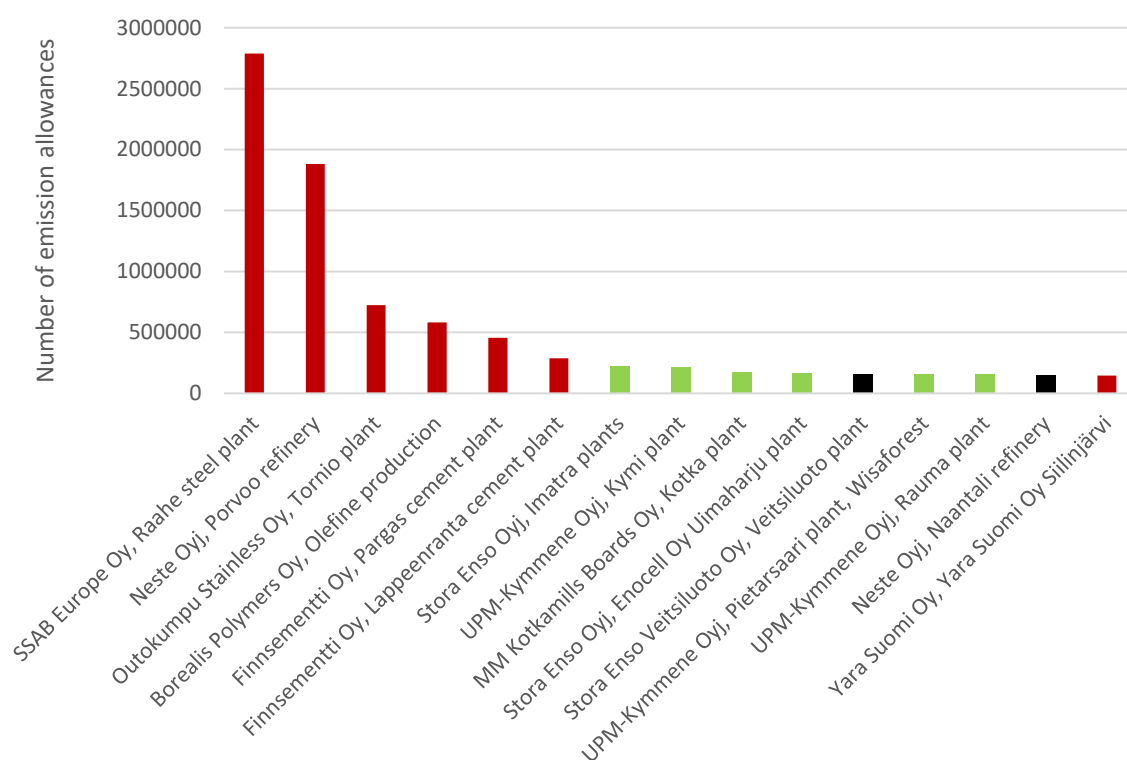


Figure 12 Emission allowances given for Finnish factories in 2021 (Energiavirasto 2023)

In Figure 12 the top 15 receivers of free emission allowances in Finland are presented; in green are presented working plants of forest industry and in red other types of industry. The colour black presents closed factories. As it can be seen, pulp mills that use also fossil fuel get their emission allowances for free, until 2030 (EU Directive 2018/410).

The most interesting and game changing question would be taking negative carbon emissions into account in emission trading. This would increase the profitability of BECCUS significantly: in 2022 the average price of carbon emission allowance was a little bit over 80 € (Ember 2023). However, harnessing a large amount of carbon removal technologies could also decrease the price of emission allowances, if the market stability reserve can't control the market as supposed (EC 2022d). Also, since half of the money from auctioning needs to be used for lowering the greenhouse gas emissions, BECCUS could be a good target for that.

5.2.2 Investment costs of CCS systems

Investment costs are a big question, what comes to carbon capture and storage systems. In general, until this day CCS has been typically utilized in oil and gas production, when the carbon dioxide has been pumped back to the source to get more product out of the source, while applications to firing biomass are under development (Rassool 2019; Department of Energy 2022). In September 2022, there were 30 operational, 11 in construction and 153 under development being facilities with CCS. (Steyn et al. 2022)

The baseline of different pulp mills size-wise is quite different, as presented earlier in Figure 6. The choice between utility or storage as well as the location of the site have a significant effect on the size of the investment (Kjärstad et al. 2016). These factors combined with the fact that there isn't any well-applicable data from the previous projects, the investment cost of harnessing CCUS to a pulp mill can be difficult, and that's why it also probably takes some courage from the investors to jump into the project. As an example, Drax Group has planned to invest £40 million for the first phase of a BECCS project to capture annually 8 million tons of CO₂ (Drax 2021).

5.2.3 Electricity and energy consumption

In general, the fact that pulp mills have excess heat available, makes them an interesting target to harness CCUS. Depending mostly on the integration degree of the pulp mill, there is a different amount of excess heat and electricity available. Amount of excess energy also reflects to the price of carbon capture and utilizing, and also, the other way around, the price of the end products of the pulp mill might change due to changes in carbon capturing rates (Kuparinen 2023, pp 657). What comes to electricity, the idea often is that the generated electricity can be used for capturing systems, but in case of utilizing the carbon, there will be a great amount of wind or solar energy to be used for the systems. (Onarheim et al. 2017)

Another question is, what is the future of, for example, paper production. The trend presented earlier in Figure 9 shows that the production of paper is going down, and since paper production is very energy intensive, this could mean that in the future there is excess energy being freed for different use (Koreneff et al. 2019). Also, in general, it seems like the electricity need of forest industry has gone down (ET 2023).

5.2.4 Value of CO₂ and CO₂-based products

An interesting economical question is the value of the end product. Even though carbon dioxide itself has a big market, the quantities used nearby are most likely relatively low compared to the amount of CO₂ that can be captured from Finnish pulp mills: the worldwide CO₂ usage more than ten times the CO₂ amount released from Finnish pulp mills, but the usage is far away from Finland (IEA 2019). However, using the captured carbon dioxide in another process nearby might be possible for some of the pulp mills, if there is big need nearby (Pirhonen 2022).

With excess electricity, refining the captured CO₂ to create a valuable is an option worth considering. A common thought is that with green electricity and captured carbon for example transportation can be released from the need of fossil fuels. The most basic compound that can be created by synthesizing carbon dioxide is methane, and recent studies

show that methanol might be a profitable fuel to be made by a P2X-project (Blanco et al. 2018; Liquid Wind 2022). Also, many different types of fuel can be produced, as well as carbon-based precursors for chemical industry, but the complexity of the carbon chain also increases the amount of electricity needed for the synthesis. (Dahiru et al. 2022)

5.2.5 Competition of carbon

The basic idea of BECCUS is that carbon dioxide is released when burning lignin. However, there are also other types of projects going on to prevent CO₂ releasing to the air. For example, since 2015 Stora Enso has recovered lignin in Sunila pulp mill (Pisto 2018). These projects can decrease the CO₂ emissions and excess energy of pulp mills; however, the chemical recovery still needs to be done. Even though there are other projects, it seems likely that the main characteristics of pulp mills will stay the same, since pulp itself has a bright future (Kalliokoski 2022).

5.3 Political aspects

The Paris Agreement, which the EU ratified on 5th of October in 2016, can be said to be the biggest political act towards harnessing BECCUS. According to the EU, “The Paris Agreement sets out a global framework to avoid dangerous climate change by limiting global warming to well below 2°C and pursuing efforts to limit it to 1.5°C. It also aims to strengthen countries’ ability to deal with the impacts of climate change and support them in their efforts.” Countries being part of the agreement are feverishly looking for ways to decrease the amount of carbon emissions, and carbon capturing is seen as one of the great possibilities. (EC 2022e)

In the EU, carbon capture is considered. Legislatively it is taken into account by approving a directive about geological storage of carbon dioxide (Directive 2009/31/EC). The potential of carbon capture and also BECCUS has also been acknowledged, but at the moment the usage of carbon capturing technologies would be paid by the user, as described in the paragraph 5.2.1, since negative emissions are not recognized in the ETS (Erbach & Victoria

2021). A thing that might be questionable during starting processes in forest industry is the EU's opinion on the sustainability of wood usage. In the EU, forest conservation has raised its head lately, meaning that there might be less from which to take, CO₂ or energy (Schönberg 2021). On the other hand, if the interpretation of the combustion of wood gets even tighter and the free emission allowances are no longer issued, BECCS might be a way to go (Toivonen 2022).

The European Union has generally been quite strict with the thought that in electrolysis-based green hydrogen production the electricity used for it must be additional, meaning that green electricity production must be built especially for it (Directive (EU) 2018/2001). However, these regulations have been loosened lately (Parkes 2022). The thought behind this is that in electricity network there always needs to be balance, and it wouldn't make sense to produce electricity with fossil fuels for other consumption because the renewable electricity is used for capturing carbon dioxide.

In Finland, the political institutions have acknowledged CCS as a possibility in the energy system development. At the moment in early 2023 the objectives are mostly elsewhere than in forest industry, projects about capturing the carbon dioxide from hydrogen production are taking wing and also more research is done on BECCUS. Neste Oyj has gotten funding from the EU for their project to capture CO₂ in hydrogen production and Tampereen Sähkölaitos Oy together with Nordic Ren-Gas Oy are having a project on capturing CO₂ from waste combustion flue gases (Sieppi 2021; Tampereen Sähkölaitos 2023).

There are also big growth plans for green hydrogen production in Finland and several hydrogen plant projects have started in Finland. To produce products with higher degree of processing carbon dioxide from pulp mills could be used. On the other hand, these projects often also have different plants for using the produced hydrogen. For example, carbon dioxide emissions of humankind could be decreased by producing synthetic protein and this way reducing the need for meat production. (Mäntylä 2023)

6 Carbon capture technologies

Carbon can be captured in different ways from combustion processes. Each of these techniques have their pros and cons. As presented in Figure 13, Figure 14 and Figure 15, there are three main ways of capturing carbon.

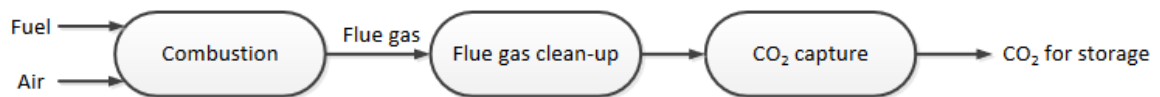


Figure 13 Post-combustion carbon capture (IEAGHG 2019)

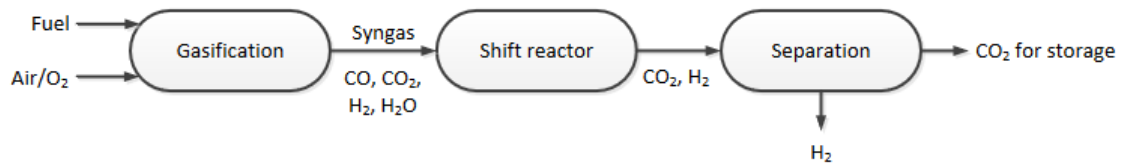


Figure 14 Pre-combustion carbon capture with gasification (IEAGHG 2019)

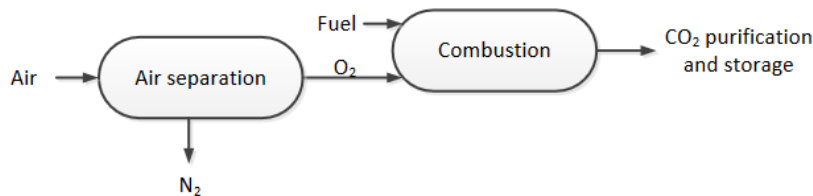


Figure 15 Oxyfuel carbon capture (IEAGHG 2019)

Post-combustion carbon capture means that the carbon dioxide is removed from the flue gases of some sort of combustion process. Post-combustion carbon capture system requires the smallest amount of modification to generic combustion systems, and that's why it is easiest to retrofit to existing plants. However, for example as presented in Table 2, the concentration of CO₂ in flue gases is relatively low, mostly because of high nitrogen amount in combustion air, and it needs relatively big amount of energy to operate. (Teir et al. 2011; IEAGHG 2019)

Pre-combustion carbon capture means that the carbon is separated from the fuel before combustion and the fuel is mostly hydrogen. This means that the fuel needs to be gaseous; the system can be used in for example gas-fired power plants and when solid fuel is gasified. Pre-combustion can be applied in a pulp mill for the bark gasification if there is enough hydrogen left to power the lime kiln. (Teir et al. 2011; IEAGHG 2019)

Black liquor gasification (BLG) has been researched since the 1950s as a substitute for combustion in a recovery boiler. Gasification has been seen as a solution for problems like low power-to-heat ratio and thermal efficiency as well as corrosion and fouling. Black liquor gasification has been harnessed in small commercial scale; BLG has been tested for example in New Bern, North Carolina, USA and in Piteå, Sweden, both based on technology developed by a Swedish company called Chemrec AB, and the basic system is presented in Figure 16 (Brown et al. 2008; Gebart et al. 2011). (Onarheim et al. 2015)

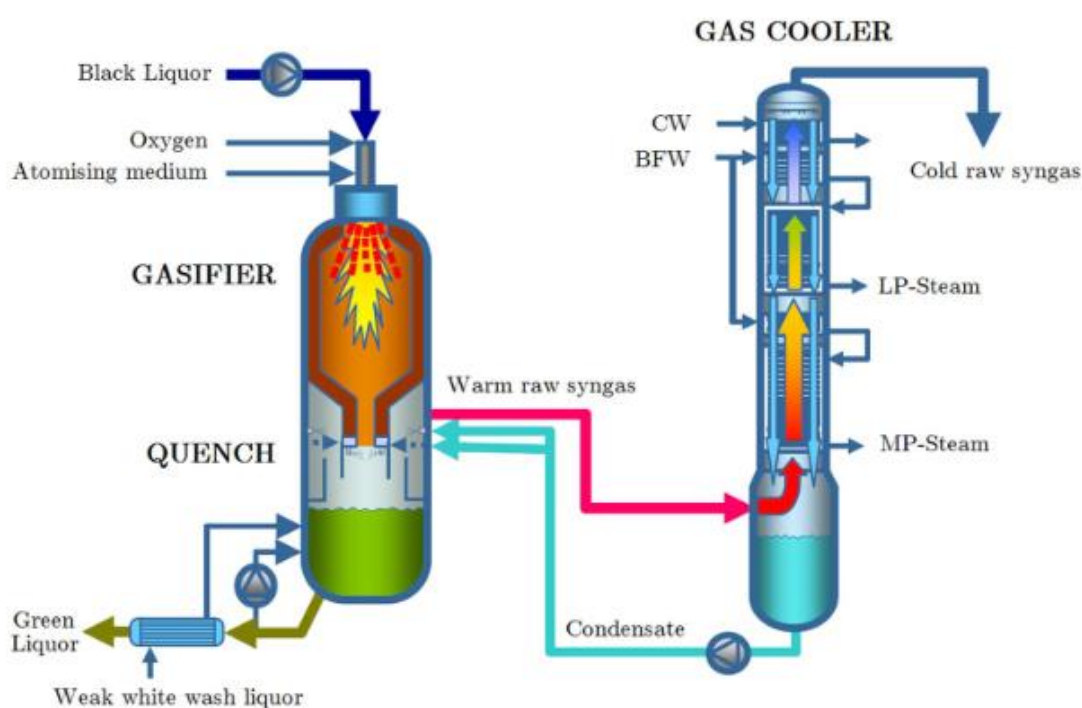


Figure 16 The pressurized, oxygen-blown BLG technology (Onarheim et al. 2015)

Oxyfuel carbon capture means basically that the combustion air is pure oxygen. This way the flue gases have much higher carbon dioxide content, and it is easier to process. However, oxyfuel combustion needs an extra production of oxygen, which is energy consuming. Also,

to keep the combustion temperatures reasonable flue gas circulation needs to be harnessed. One thing that can be seen as an advantage is that in the pulp mills there already is oxygen manufacturing facilities, however, the dimensioning has not been done for the amounts oxyfuel carbon capture needs. (Teir et al. 2011; IEAGHG 2019; Kuparinen et al. 2019)

6.1 Capturing from flue gas

Some post-combustion carbon capture methods are based on commercial applications that have been used in carbon dioxide and natural gas production for decades, however, they need upscaling for carbon capture in industrial scale. In general, the flue gas needs to be purified before carbon is captured. This means that for example sour components, like NO_x and SO_x , and particles need to be removed and the flue gas needs to be dried. (Teir et al. 2011)

6.2 Amine method

The most researched and widely spread method for carbon capture from flue gases is called the amine method. The method is based on chemical solvents absorbing and later releasing the carbon dioxide. Different types of solvents are monoethanolamine (MEA), diethanolamine (DEA), methylethanolamine (MDEA) and ammonia, and the solvent can also be a mixture of these. A typical layout of an amine-method-based carbon capture system is presented in Figure 17. (Teir et al. 2011)

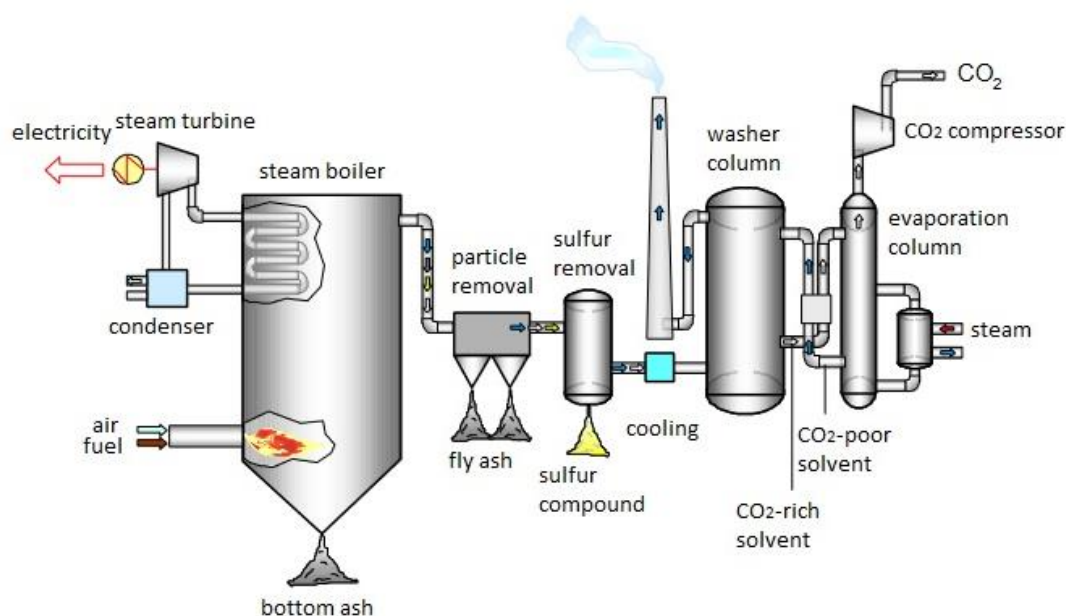


Figure 17 Amine carbon capture from flue gas (Teir et al. 2011)

The amine method is commercially available, and several companies offer carbon capture solutions based on amine method. The method is also applicable for pre-combustion carbon capture. In Table 3 key values for commercial carbon capture systems are presented. What comes to applying the technologies to existing plants is not only the energy amount needed, but also the needed temperature levels. The desorption happens, depending on the solvent, somewhere between 100 °C and 160 °C, and the energy, transferred via steam or water, needs to be a little bit higher than the desorption temperature used in the specific system. (Rochelle 2012; Onarheim et al. 2015; Kuparinen et al. 2019)

Table 3 Comparative overview of amine-based technologies (IEAGHG 2019)

Technology Supplier	Reboiler Duty [GJ/tCO ₂]	Absorption liquid [m ³ /tCO ₂]	Electricity consumption [kWh/tCO ₂]	Amine/ammonia in exhaust [ppm]	Amine consumption [kg/tCO ₂]
Mitsubishi Heavy Industries	2.6 (coal)	10 (coal)	77 (coal)	Amine: 0.7–3 Ammonia 0.3–2.0	0.35
Shell Cansolv	2.2–2.8 (coal) 2.3–2.9 (gas)	10–16	70 (coal) 100 (goal)	Not found	0.1

Fluor	3.2 (coal) 3.6 (gas)	17	38–40 (coal) 53–125 (gas)	Amine: 0.1–1.0 Ammonia: 1.3–2.2	1.6
Aker Solutions	2.8 (9 % CO ₂) 3.4 (gas)	11.4–14.2	Not found	Amine 0.02 Ammonia 0.1	0.2–0.6
BASF-Linde	2.7 (coal)	Not found	22	Amine: 0.3–0.5	0.3
Toshiba	2.4–2.6 (coal)	17	Not found	Not found	Not found
Hitachi	2.4 (coal)	Not found	Not found	Not found	Not found

There are also other notable companies that have industrial scale amine-based carbon capturing systems available in their production, for example Air Liquide. Companies offering amine-based carbon capturing systems usually offer systems for pre- and post-combustion capturing with different carbon dioxide levels, and also, for example, for natural gas purification and carbon capturing from industrial gases. The scale of the systems the companies offer are not often as big as there is emission from a big pulp mill, however, it is mentioned that the capacity can be changed by installing the systems parallel. (Mirza & Kearns 2022)

6.3 Membrane method

Membrane method means that the separation of gases is done with a permeable film, a membrane. The idea is that carbon dioxide and nitrogen having different size of molecule correctly made membrane is selective enough to separate the gases. The first generation of commercialized membranes for CO₂-selection were cellulose-based, and the next generation membranes are polyimide-based. Also, a big variety of different polymeric materials for membranes have been presented in the literature, as well as carbon-based membrane research (Peters 2023). (He 2016; Scholes 2016; Ji & Zhao 2017)

There are two things why membrane method is developed to take over amine method: even though it is not supposed to capture as big percentage of the carbon dioxide as amine method is capable of, it is seen that it can be developed to be more energy efficient, and it also enabled a continuous process, whereas amine method is used in batch-based systems. However, membrane systems can be said to further from being commercially used, since they have not reached an energy-efficient state of usage. This is because in general the

membrane method needs a significant temperature difference to work, and this combined with the low CO₂-percentage in the flue gas, it takes a large amount of power to operate the fluid machinery to create the needed pressure difference for large flue gas flows. Also, the size of the membrane would be very large in the big power plants and pulp mills. (Merkel et al. 2010; He 2016; Ji & Zhao 2017)

7 Possibilities of utilizing the captured CO₂

After carbon is captured, something needs to be done with it. To remove the carbon dioxide from the atmosphere, it needs to be stored somewhere permanently. However, the carbon can also be utilized with green electricity to create substitutive fuels for fossil fuels.

7.1 Storage possibilities

If the total carbon dioxide circulating in the atmosphere is wanted to be removed, it needs to be stored so that it doesn't get back to the atmosphere. There are different types of choices of storing carbon dioxide, either underground or under the sea, and research on alternative methods has been done. It is also to be noticed that for example carbon storage into the water column has been researched and is believed to be a possible method, it is banned in the EU due to its negative environmental effects (Directive 2009/31/EC). (Teir et al. 2011)

Carbon dioxide storage originates to enhanced oil recovery (EOR), when it was harnessed purely for economical reason. It can still be used; it means that carbon is injected back to the oil well to increase the level of oil that can be reached. Similar method can be used for natural gas. Also, the empty oil and gas fields are a potential place to store carbon dioxide. (IPCC 2005)

A large possibility for carbon dioxide storage is saline formations. They are large, widespread formations of deep sedimentary rocks, filled with formation waters and brines with high salt concentration. Also, coal seams are suitable for carbon storage, since coal, especially immature coal types, like lignite, can absorb gases quite well. However, in coal

seams there is often methane, which needs to be then captured. This process is called enhanced coal bed methane (ECBM) recovery. (IPCC 2005)

When carbon dioxide is stored, it needs to be purified and transported to the storage spot. In general, the transportation can be done by ship or in a pipe. The price of the transportation also is a major economical aspect about the total profitability of the whole project, in case carbon storage is harnessed. Research has been done to find out whether pipe or ship transportation is more cost effectively at different quantities of CO₂ and different distances, and also the reality that there is a limited amount of suitable vessels to carry big amounts of CO₂, as well as the fact that many pulp mills are not easily accessible by waterways, needs to be taken into account. (Kjärstad et al. 2016)

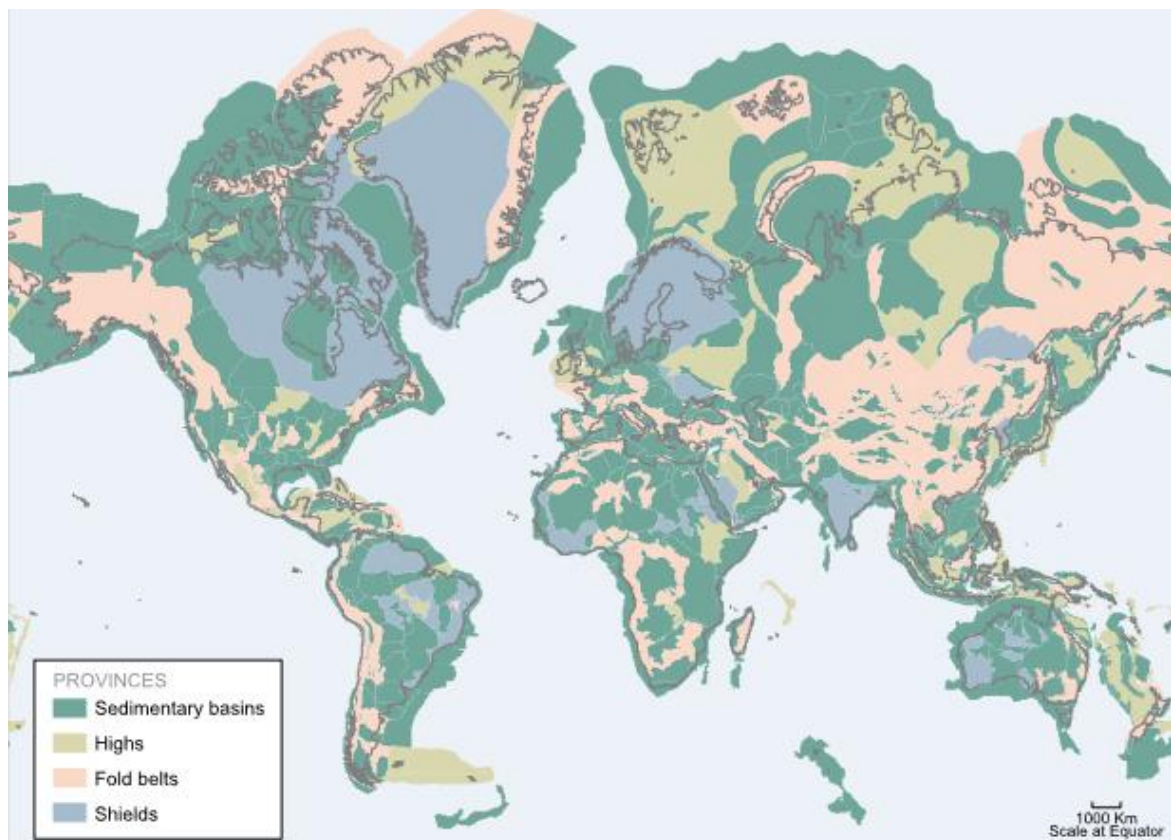


Figure 18 Distribution of sedimentary basins, highs, fold belts and shields (IPCC 2005)

Since most of the plausible CO₂ storages are located in sedimentary basin areas and at shield areas CO₂ can't be stored, Figure 18 makes it clear that CO₂ can't be stored in Finland and needs to be transported. For example, in the research done by Kjärstad et al, ship transport

from Finland could be reasonable to the Faludden storage site east of the island of Gotland, Sweden (Kjärstad et al. 2016).

7.2 Power to X

Power-to-X, often P2X, means that power (electricity) is used to create some kind of a product, and the processing starts most of the time with electrolysis: electricity is used to separate hydrogen (H_2) and oxygen (O_2) molecules from water (H_2O), as presented in Figure 19.

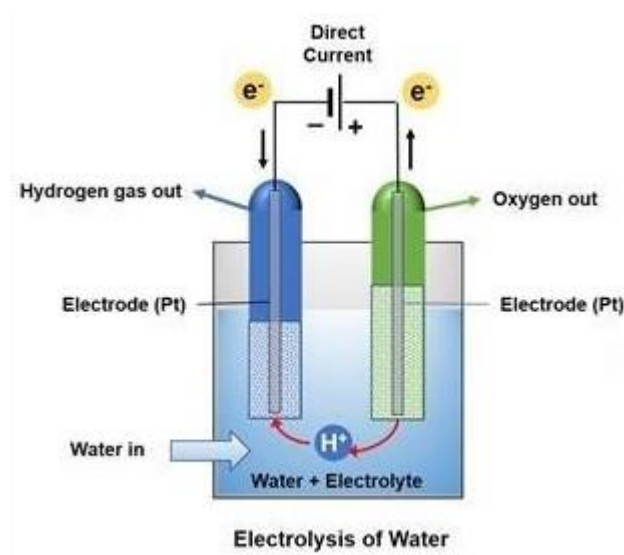


Figure 19 Electrolysis principles (Render & Steyn 2020)

The term P2X can be also more descriptive, referring to the product. The most common ones are P2G (power-to-gas), P2L (power-to-liquid) and P2C (power-to-chemical). (Dahiru et al. 2022)

7.2.1 Outcomes

A P2G system produces gaseous fuel. Most times this fuel is methane (CH_4) and even though there is also the term P2M (power-to-methane), P2G is often understood to mean methane production with electricity. A P2G system can also produce hydrogen and not to process it further. A system producing hydrogen from electricity to be used as a fuel is also sometimes called a P2H₂ system. (Dahiru et al. 2022)

Different types of liquid fuels can be produced in a P2L-process. The most common fuel to be produced is methanol (CH_3OH), but also traffic and aviation fuels can be produced. Methanol is also occasionally considered as a chemical instead of a fuel, and other common chemicals to be produced in a P2C-process are for example ammonia (NH_3) and formic acid (HCOOH). (Dahiru et al. 2022)

There are several questions that need to be considered when choosing the system for the fuel production. It needs to be considered, which fuels have large markets, what are the suitable distribution channels and is it better to develop the technology at the production site of the fuel or at the usage point, for example, is it better to produce petrol or modify some cars to run on methanol.

Even though the synthetic fuels can be substitute conventional fuels, often they cannot replace them completely, at least used in today's vehicles, due to their slightly different chemical composition and thus, different combustion properties. However, it is often thought that the final fuel will be a mixture of conventional fuel and synthetic fuel. In the same way, for example methanol can be mixed to conventional fuels to reduce the fossil CO_2 emissions. (Schmidt et al. 2016)

The existing infrastructure might be a game changer, when it is decided that what will be the final destiny of the carbon dioxide. As presented in Figure 20, there is an existing network for natural gas transmission, which could be most likely used in the pulp mills located nearby, in case methane is produced. Electricity can be transferred already, but for example,

for carbon dioxide transportation there isn't any large-scale infrastructure. On the other hand, ship transportation is plausible for the plants that are close to the Baltic Sea.

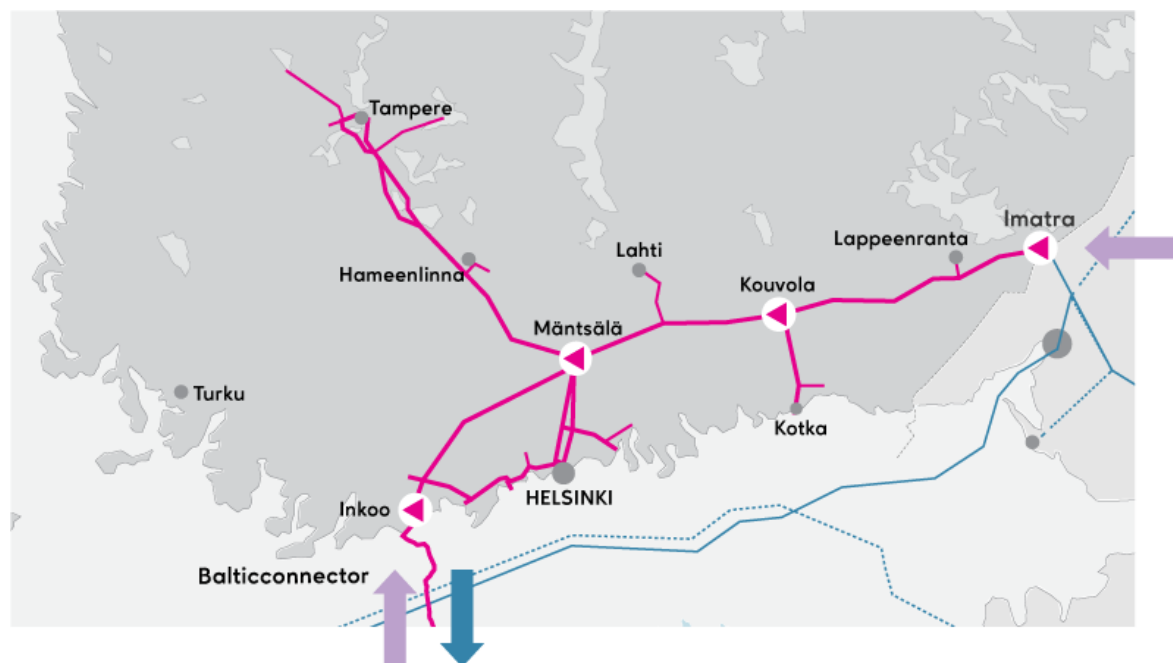


Figure 20 Natural gas transmission network in Finland (Gasgrid 2023)

7.2.2 Processes and their efficiencies

The thing that is essential according to the processes being used with carbon capture is that the process itself needs to produce something including carbon. The main question regarding CCU and synthetic fuels in general is the efficiency of the process, and how much electricity is it okay to use to get a needed amount of energy in the fuel.

The creation of synthetic fuels starts from producing hydrogen. Typically, the highest reached electrolysis efficiencies are from about 75% to 80%, but efficiencies well over 80% have been reached, and new technologies are being developed to reach even higher efficiency (Enkhardt 2015; Hodges et al. 2022). On top of the traditional electrolysis, also known as alkaline water electrolysis (AWE), there are also more advanced electrolysis techniques, polymer electrolyte membrane (PEM) electrolysis being the most common, and PEM electrolyzers are starting to reach big industrial scale (Diermann 2023). (Shiva Kumar & Himabindu 2019)

Then, if the hydrogen is not used as that as a fuel, next process is needed. This is when the captured CO₂ is needed. Depending on the wanted fuel, a suitable process is used. In general, it can be said that the further the fuel is processed, the more energy is needed and the lower is also the total efficiency.

To produce methane, often methanation of carbon dioxide and hydrogen is used. This process is also known as Sabatier reaction or Sabatier process. The process typically is operated with catalysts in temperatures between 200 °C and 500 °C, and in pressures between 10 bar and 30 bar. A typical efficiency of methanation is roughly 80%, and the efficiency of the whole process of turning carbon dioxide and water into methane would be around 64%. (Schaaf et al. 2014; Stangeland et al. 2017)

Methanol is often seen as a promising synthetic fuel, since it is a relatively good compromise: it is chemically simple fuel that doesn't have the downsides of gaseous fuel, and methanol is also an important feedstock in the chemical industry. Traditionally, methanol is produced by steam-reforming natural gas into syngas and then using a copper-based catalyst converting the syngas into methanol. (Rego de Vasconcelos & Lavoie 2019)

To produce methanol from CO₂, a catalytic hydrogenation can be used with the hydrogen produced in the electrolysis of water. The process is operated in temperatures between 250 °C and 300 °C, and in pressures between 50 bar and 100 bar. In research for large scale CO₂-capture with methanol production in Germany, an energy need of little bit less than 10 MWh per tonne of methanol produced was reached (Koytsoumpa et al. 2018). The HHV of methanol being 6.39 MWh/tonne and LHV being 5.54 MWh/tonne, it can be said that the efficiency is quite close to what can be reached when producing methane (Engineering ToolBox 2003). (Rego de Vasconcelos & Lavoie 2019)

Methane and methanol, as well as formic acid, can also be produced with electrochemical reduction. It has been seen as a promising technology to develop a high-efficiency process to utilize carbon dioxide, and even though already it has been proven to be a working technology, it still is under development and for example new catalysts have been researched. (Rego de Vasconcelos & Lavoie 2019; Zeng et al. 2022)

Possibility of producing transport fuels is always a big question of interest, when talking about P2X. There are two common ways to produce long hydrocarbons: with Fischer-Tropsch or from methanol. When Fischer-Tropsch process, created by German scientists Franz Fischer and Hans Tropsch back in 1922, the carbon dioxide needs to be converted into carbon monoxide in a reverse water-gas shift reaction (RWGS). Then, the carbon monoxide and hydrogen are processed into hydrocarbons that can then be upgraded into fuels containing longer hydrocarbons, such as petrol, diesel and jet fuel. (Schmidt et al. 2016; Rego de Vasconcelos & Lavoie 2019; Chong & Ng 2021)

Both hydrocarbons and methanol can be upgraded with processes that are already used widely in chemical industry: for example, hydrocracking, isomerization and distillation can be used to upgrade hydrocarbons and DME synthesis, olefin synthesis, oligomerization, and hydrotreating can be used to upgrade methanol, the used methods depending on the wanted outcome. Both hydrocarbons and methanol can be upgraded into fuels with longer hydrocarbons with efficiencies at roughly 90%. (Schmidt et al. 2016; EASE 2021)

7.3 Carbon dioxide usage at the site

Nowadays, a relatively small amount, compared to the amount released from the stack, of carbon dioxide is used in the pulp mills. Its main usage is in the tall oil production at pulp mills including tall oil production. The carbon dioxide can be used for pre-neutralizing resin soap. However, later this CO₂ is also released from the process. (Prowledge Oy 2022)

8 Viability studies of harnessing CCS in Finnish pulp and paper industry

The main goal of the calculation task is to see, if it is possible to retrofit a carbon capture system to an existing pulp mill in terms of energy usage and availability. The calculations are done with IPSEpro heat balance and process modelling software and the pulp mill model used in the calculations is based on the model created by Dr. Jussi Saari that has been used already in a couple of scientific publications (Saari et al. 2020; Saari et al. 2022). The setup is based on a pulp mill integrated with a paper mill, and since the balances will be calculated for both a pulp-only mill and a pulp and paper integrate, to simulate the pulp-only mill the paper mill will be discarded from the integrate.

Initially, the pulp producing capacity of the mill is 1 600 000 ADt/a while operating 350 days (8400 hours) per year, and with the same number of operating hours the paper production capacity is 1 312 500 t/a. The steam is generated by a recovery boiler and a CFB-boiler combusting mostly bark. The fuel power of the recovery boiler is 1054 MW (LHW), and the thermal power of the recovery boiler is 882 MW. The corresponding values for the CFB-boiler are 276 MW (LHW) and 254 MW. Both boilers are connected to an individual turbogenerator; the power of the turbogenerator that is fed by the recovery boiler is 128 MWe and the power of the turbogenerator that is fed by the CFB-boiler is 67 MWe.

8.1 Pulp mill

8.2 Integrated pulp mill

9 Conclusions

The conclusions explain how well your research achieved its objectives, what its findings were and what they mean in a wider perspective and for the future. The conclusions should examine how your findings differ from or coincide with those of previous studies. Analyse the impact of your research: its theoretical or practical contribution and wider societal importance. In addition, mention possible limitations of your study and research topics that should be dealt with in the future.

Remember that if or when someone other than your supervisor reads your thesis, they will most likely read the introduction and conclusions first.

Bibliography

VNS 6/2022 vp Hiilineutraali Suomi 2035 - kansallinen ilmasto- ja energiasstrategia. (2022a)
Available at:
https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/KasittelytiedotValtiopaivaasia/Sivut/VNS_6+2022.aspx

VNS 4/2022 vp Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma - Kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa 2035. (2022b) Available at:
https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/KasittelytiedotValtiopaivaasia/Sivut/VNS_4+2022.aspx

Directive 2009/31/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the geological storage of carbon dioxide and amending Council Directive 85/337/EEC, European Parliament and Council Directives 2000/60/EC, 2001/80/EC, 2004/35/EC, 2006/12/EC, 2008/1/EC and Regulation (EC) No 1013/2006. (2019) Available at:
<http://data.europa.eu/eli/dir/2009/31/oj>

Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (2018a) Available at:
<http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>

Directive (EU) 2018/410 of the European Parliament and of the Council of 14 March 2018 amending Directive 2003/87/EC to enhance cost-effective emission reductions and low-carbon investments, and Decision (EU) 2015/1814. (2018b) Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/410/oj?locale=en>

Directive 2009/31/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the geological storage of carbon dioxide and amending Council Directive 85/337/EEC, European Parliament and Council Directives 2000/60/EC, 2001/80/EC, 2004/35/EC,

2006/12/EC, 2008/1/EC and Regulation (EC) No 1013/2006. (2009) Available at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/31/oj>

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. , Korhonen, J., (2016) Suomessa Käytettävien Polttoaineiden Ominaisuuksia. VTT Technology 258. Espoo: VTT. ISBN: 9789513884192

Berglin, N. and Von Schenck, A., (2022) Biofuels in Lime Kilns - Operating Experience in the Nordic Pulp and Paper Industry. Stockholm, Sweden: Energiforsk AB. ISBN: 9789176738474

Biermann, C. J. (1996) Handbook of Pulping and Papermaking. San Diego: Academic Press. ISBN: 1281118869

Blanco, H., Nijs, W., Ruf, J., Faaij, A. (2018) Potential of Power-to-Methane in the EU energy transition to a low carbon system using cost optimization. Applied Energy 232: 323-340

Brown, C., Landälv, I., Stare, R., Yuan, J., DeMartini, N., Ashgriz, N., (2008) Advancement of High Temperature Black Liquor Gasification Technology. Federal Way, Washington, USA: Weyerhaeuser Company

Chong, C. T. and Ng, J., (2021) Chapter 2 - Biojet fuel production pathways. In: Chong CT and Ng J (eds) Biojet Fuel in Aviation Applications. : Elsevier, 81-141

Dahiru, A. R., Vuokila, A., Huuhtanen, M. (2022) Recent development in Power-to-X: Part I - A review on techno-economic analysis. Journal of Energy Storage 56: 105861

Department of Energy (2022) Enhanced Oil Recovery. Retrieved [Dec 12, 2022] Available at: <https://www.energy.gov/fecm/science-innovation/oil-gas-research/enhanced-oil-recovery>

Diermann, R. (2023) RWE bestellt bei Linde zwei 100-Megawatt-Elektrolyseure für Projekt im Emsland. [pv magazine Deutschland] Retrieved [Feb 10, 2023] Available at: <https://www.pv-magazine.de/2023/01/31/rwe-bestellt-bei-linde-zwei-100-megawatt-elektrolyseure-fuer-projekt-im-emsland/>

Drax (2021) Drax to invest £40M in next stage of BECCS project. [Biomass Magazine] Retrieved [Jan 13, 2023] Available at: <https://biomassmagazine.com/articles/18574/drax-to-invest-l40m-in-next-stage-of-beccs-project>

EASE (2021) Power to Methanol/Power to Gasoline

– Methanol/Gasoline Synthesis from H₂

and CO₂ by using Water Electrolysis and

Post-Combustion Capture. Brussels, Belgium: European Association for Storage of Energy

EC (2022a) Paris Agreement. [European Commission] Retrieved [16.1., 2023] Available at: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en

EC (2022b) EU Emissions Trading System (EU ETS). [European Commission] Retrieved [Jan 10, 2023] Available at: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en

EC (2022c) Auctioning. [European Commission] Retrieved [Jan 11, 2023] Available at: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/auctioning_en

EC (2022d) Market Stability Reserve. [European Commission] Retrieved [Jan 11, 2023] Available at: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/market-stability-reserve_en

EC (2022e) Carbon leakage. [European Commission] Retrieved [Jan 11, 2023] Available at: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/carbon-leakage_en

EEA (2022a) European Industrial Emissions Portal. [European Environmental Agency] Retrieved [Nov 9, 2022] Available at: <https://industry.eea.europa.eu/>

EEA (2022b) EU Emissions Trading System (ETS) data viewer. [European Environment Agency] Retrieved [9.1., 2023] Available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>

Ember (2023) EU Carbon Price Tracker. Retrieved [Jan 13, 2023] Available at: <https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/>

Energiavirasto (2023) Päästöoikeuksien ilmaisjako. Retrieved [Jan 11, 2023] Available at: https://energiavirasto.fi/paastooikeuksien-ilmaisjako#vuodelle_2021_jaetut_paastooikeudet

Engineering ToolBox (2003) Fuels - Higher and Lower Calorific Values. Retrieved [Feb 23, 2023] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html

Enkhardt, S. (2015) Germany: RWE launches power-to-gas plant. [pv magazine International] Retrieved [Feb 10, 2023] Available at: https://www.pv-magazine.com/2015/08/17/germany-rwe-launches-power-to-gas-plant_100020624/

Erbach, G., Victoria, G. A., (2021) Carbon Dioxide Removal

- Nature-Based and Technological Solutions. European Parliament: European Parliamentary Research Service. : European Parliament: European Parliamentary Research Service; European Union

ET (2023) Energiavuosi 2022 - Sähkö. [Energiateollisuus ry] Retrieved [Jan 17, 2023] Available at: https://energia.fi/files/4428/Sahkovuosi_2022.pdf

Fajardy, M., Pour, N., (2022) Bioenergy with Carbon Capture and Storage. IEA. Paris, France: International Energy Agency

Finnish Wind Power Association (2022) Tuulivoimakartta. [Suomen Tuulivoimayhdistys ry] Retrieved [Jan 19, 2023] Available at: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/kartta>

Fridahl, M., Lehtveer, M. (2018) Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS): Global potential, investment preferences, and deployment barriers. Energy Research & Social Science 42: 155-165

Gasgrid (2023) Kaasun siirtoverkosto. [Gasgrid Finland Oy] Retrieved [Feb 27, 2023] Available at: <https://gasgrid.fi/kaasuverkosto/kaasun-siirtoverkosto/>

Gebart, R., Wiinikka, H., Marklund, M., Carlsson, P., Grönberg, C., Weiland, F., Johansson, A., Öhrman, O. G. W. (2011) Recent advances in the understanding of pressurized black liquor gasification. *Cellulose Chemistry and Technology* 45: 521-526

Google, 2022. [Self-created map of the member plants of the Finnish Recovery Boiler Committee]. Retrieved [Nov 18, 2022]. Available at: <https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1cU6jSm0-iTXG59157Mb-VyWW-awP6A0&usp=sharing>

He, X. (2016) Membranes for CO₂ Capture from Flue Gas. In: Drioli E and Giorno L (eds) *Encyclopedia of Membranes*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1264-1266

Hodges, A., Hoang, A. L., Tsekouras, G., Wagner, K., Lee, C., Swiegers, G. F., Wallace, G. G. (2022) A high-performance capillary-fed electrolysis cell promises more cost-competitive renewable hydrogen. *Nature Communications* 13(1): 1304

IEA (2022) Carbon capture, utilisation and storage. [International Energy Agency] Retrieved [Jan 20, 2023] Available at: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/carbon-capture-utilisation-and-storage>

IEA (2019) Putting CO₂ to use: Creating Value from Emissions. Paris, France: International Energy Agency

IEAGHG (2019) Further Assessment of Emerging CO₂ Capture Technologies for the Power Sector and their Potential to Reduce Costs. IEA Greenhouse Gas R&D Programme. Cheltenham, UK: IEA Environmental Projects Ltd.

Ilmatieteen laitos (2009) Suomen Tuuliatlas. Retrieved [Jan 19, 2023] Available at: <http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/#>

IPCC (2005) IPCC Special Report on

Carbon Dioxide Capture and Storage. In: Metz B, Davidson O, de Coninck H, Loos M and Meys L (eds) Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press

Ji, G. and Zhao, M., (2017) Membrane Separation Technology in Carbon Capture. In: Yongseung Yun (ed) Recent Advances in Carbon Capture and Storage. Rijeka: IntechOpen, Ch. 3

Kalliokoski, J. (2022) "Suomalaisen sellun tulevaisuus on valoisa". Fibre 2021-2022: 66-67

Kjärstad, J., Skagestad, R., Eldrup, N. H., Johnsson, F. (2016) Ship transport—A low cost and low risk CO₂ transport option in the Nordic countries. International Journal of Greenhouse Gas Control 54: 168-184

Koreneff, G., Suojanen, J., Huotari, P., (2019) Energy Efficiency of Finnish Pulp and Paper Sector. VTT-R-01205-19VTT. Espoo: VTT

Kotkamills (2020) Kotkamills Sustainability Report 2019.

Kouri, S., Tsupari, E., Kärki, J., Teir, S., Sormunen, R., Arponen, T., Tuomaala, M. (2017) The Potential for CCUS in Selected Industrial Sectors – Summary of Concept Evaluations in Finland. Energy Procedia 114: 6418-6431

Koytsoumpa, E. I., Bergins, C., Kakaras, E. (2018) The CO₂ economy: Review of CO₂ capture and reuse technologies. *The Journal of Supercritical Fluids* 132: 3-16

Kuparinen, K., Vakkilainen, E., Tynjälä, T. (2019) Biomass-based carbon capture and utilization in kraft pulpmills. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 24(7): 1213-1230

Kuparinen, K., Lipiäinen, S., Vakkilainen, E., Laukkanen, T. (2023) Effect of biomass-based carbon capture on the sustainability and economics of pulp and paper production in the Nordic mills. *Environment, Development and Sustainability* 25(1): 648-668

Liquid Wind (2022) FlagshipONE säkrar miljö tillstånd för Europas största elektrobränsleanläggning. Retrieved [Jan 16, 2023] Available at: <https://www.liquidwind.se/news/flagshipone-sakrar-miljotillstand-elektrobransleanlaggning>

Luke (2023) Puumassan sekä paperin ja kartongin tuotanto (1000 t) 1955-2021. [Luonnonvarakeskus] Retrieved [Jan 13, 2023] Available at: https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__04%20Metsa__08%20Muut__Metsateollisuus/10.01_Sahatavaran_ja_puulevyjen_tuotanto_1955.px/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db

Luke (2022) Metsäteollisuuden kotimaisen ja tuontiraakapuun käyttö päätoimialoittain 1860-. [Luonnonvarakeskus] Retrieved [Nov 21, 2022] Available at: http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__04%20Metsa__04%20Talous__08%20Metsateollisuuden%20puunkaytto/05_metsateol_puunk_toimialoittain_1860.px/?rxid=d711a9e-de6d-454b-82c2-74ff79a3a5e0

LVM (2020) Emissions from road transport declining in the 2020s – new measures still needed. [Ministry of Transport and Communications] Retrieved [Nov 21, 2022] Available at: <https://www.lvm.fi/en/-/emissions-from-road-transport-declining-in-the-2020s-new-measures-still-needed-1167397>

Mäntylä, J. (2023) Suomessa on tapahtumassa kaikessa hiljaisuudessa vetyvallankumous – katso kartalta, yltääkö vihreä siirtymä kotikuntaasi. [Yle] Retrieved [Jan 31, 2023] Available at: <https://yle.fi/a/74-20014811>

Merkel, T. C., Lin, H., Wei, X., Baker, R. (2010) Power plant post-combustion carbon dioxide capture: An opportunity for membranes. *Journal of Membrane Science* 359(1): 126-139

Miner, R., Upton, B. (2002) Methods for estimating greenhouse gas emissions from lime kilns at kraft pulp mills. *Energy* 27(8): 729-738

Mirza, N., Kearns, D., (2022) State of the Art: CCS Technologies 2022. Global CCS Institute.

Onarheim, K., Arasto, A. (2018) Bio-CCS and Bio-CCU - Climate change mitigation and extended use of biomass raw material. *IEA Bioenergy* 41(05)

Onarheim, K., Garðarsdóttir, S. Ò, Mathisen, A., Nord, L. O., (2015) Industrial Implementation of Carbon Capture in Nordic Industry Sectors. : Nordic CCS Competence Centre NORDICCS

Onarheim, K., Santos, S., Kangas, P., Hankalin, V. (2017a) Performance and cost of CCS in the pulp and paper industry part 2: Economic feasibility of amine-based post-combustion CO₂ capture. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 66: 60-75

Onarheim, K., Santos, S., Kangas, P., Hankalin, V. (2017b) Performance and costs of CCS in the pulp and paper industry part 1: Performance of amine-based post-combustion CO₂ capture. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 59: 58-73

Parkes, R. (2022) Scrapped | EU's controversial 'additionality' rules for green hydrogen are history after European Parliament vote. [Recharge] Retrieved [Jan 19, 2023] Available at: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/scrapped-eus-controversial-additionality-rules-for-green-hydrogen-are-history-after-european-parliament-vote/2-1-1299195>

Peters, T. (2023) CO₂ capture with membranes. [SINTEF] Retrieved [Feb 8, 2023] Available at: <https://www.sintef.no/en/expertise/sintef-industry/sustainable-energy/co2-capture-with-membranes/>

Pirhonen, L. (2022) Hiilensidonnain markkinat kehittyvät ja kysyntä kasvaa – miten BECCS auttaa saavuttamaan ilmastoneutraaliustavoitteesi? [Sweco] Retrieved [Jan 16, 2023] Available at: <https://blogs.sweco.fi/kestava-teollisuus/hiilensidonnain-markkinat-kehittyvat-ja-kysynta-kasvaa-miten-beccs-auttaa-saavuttamaan-ilmastoneutraaliustavoitteesi/>

Pisto, V. (2018) Suomessa muhii jättipotti – tehdas eristi puusta aineen, josta voi tehdä ympäristöystävällisiä maaleja ja liimoja. [Yle] Retrieved [Jan 16, 2023] Available at: <https://yle.fi/a/3-10098485>

Pohtila, T. (2022) Uudet tuulivoimaluvat tiukassa itäisessä Lapissa – Puolustus-voimat ei puolla uusia hankkeita alueelle. [Koti-Lappi] Retrieved [Jan 19, 2023] Available at:

<https://www.kotilappi.fi/artikkeli/uudet-tuulivoimaluvat-tiukassa-ita-lapissa-puolustusvoimat-ei-puolla-alueelle-uusia-hankkeita-213832979/>

Prowledge Oy (2022) KnowPulp: Learning Environment for Chemical Pulping and Automation. Espoo: Prowledge Oy, VTT Industrial Systems

Rassool, D. (2019) Investing in CCS: What do financiers need? -. [Global CCS Institute] Retrieved [Jan 13, 2023] Available at: <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/14285/>

Rego de Vasconcelos, B., Lavoie, J. (2019a) Recent Advances in Power-to-X Technology for the Production of Fuels and Chemicals. *Frontiers in Chemistry* 7(392)

Rego de Vasconcelos, B., Lavoie, J. (2019b) Recent Advances in Power-to-X Technology for the Production of Fuels and Chemicals. *Frontiers in Chemistry* 7(392)

Render, C. and Steyn, J., (2020) Hydrogen as Energy Carrier. [OTC] Retrieved [Feb 9, 2023] Available at: <https://www.ownerteamconsult.com/hydrogen-as-energy-carrier/>

Rochelle, G. T. (2012) Thermal degradation of amines for CO₂ capture. *Current Opinion in Chemical Engineering* 1(2): 183-190

Routa, J., Brännström, H., Hellström, J., Laitila, J. (2021) Influence of storage on the physical and chemical properties of Scots pine bark. *BioEnergy Research* 14(2): 575-587

Saari, J., Peltola, P., Tynjälä, T., Hyppänen, T., Kaikko, J., Vakkilainen, E. (2020) High-Efficiency Bioenergy Carbon Capture Integrating Chemical Looping Combustion with Oxygen Uncoupling and a Large Cogeneration Plant. *Energies* 13(12): 3075

Saari, J., Sermyagina, E., Kuparinen, K., Lipiäinen, S., Kaikko, J., Hamaguchi, M., Mendoza-Martinez, C. (2022) Improving Kraft Pulp Mill Energy Efficiency through Low-Temperature Hydrothermal Carbonization of Biological Sludge. *Energies (Basel)* 15(17): 6188

Schaaf, T., Grünig, J., Schuster, M. R., Rothenfluh, T., Orth, A. (2014) Methanation of CO₂ - storage of renewable energy in a gas distribution system. *Energy, Sustainability and Society* 4(1): 2

Schmidt, P., Weindorf, W., Roth, A., Batteiger, V., Riegel, F., (2016) Power-to-Liquids: Potentials and Perspectives for the Future Supply of Renewable Aviation Fuel. Dessau-Roßlau, Germany: German Environment Agency

Scholes, C. A. (2016) Carbon Dioxide (CO₂) Separation by Membranes. In: Drioli E and Giorno L (eds) *Encyclopedia of Membranes*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 299

Schönberg, K. (2021) EU:n suojeleluvaatimus voi iskeä raskaasti Suomen metsäteollisuuteen: uhkana puupula. [YLE] Retrieved [Jan 18, 2023] Available at: <https://yle.fi/a/3-12231175>

Shahin, H., Hassanpour, S., Saboonchi, A. (2016) Thermal energy analysis of a lime production process: Rotary kiln, preheater and cooler. *Energy Conversion and Management* 114: 110-121

Shiva Kumar, S., Himabindu, V. (2019) Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies* 2(3): 442-454

Sieppi, S. (2021) Neste to receive funding from the EU Innovation Fund to develop its Porvoo refinery through green hydrogen production and carbon capture & storage. [NESTE] Retrieved [Jan 18, 2023] Available at: <https://www.neste.com/releases-and-news/innovation/neste-receive-funding-eu-innovation-fund-develop-its-porvoo-refinery-through-green-hydrogen>

Smook, G. A. (2016) *Handbook for Pulp & Paper Technologists* (4th Edition). Peachtree Corners, Georgia, USA: TAPPI. ISBN: 9781595102454

Stangeland, K., Kalai, D., Li, H., Yu, Z. (2017) CO₂ Methanation: The Effect of Catalysts and Reaction Conditions. *Energy Procedia* 105: 2022-2027

Steyn, M., Oglesby, J., Turan, G., Pinto, E., Rassool, D., Williams, E., Consoli, C., Minervini, J., Zapantis, A., Gebremedhin, R., Al Amer, N., Havercroft, I., Ivory-Moore, R., Xiaoliang, Y., Abu Zahra, M., (2022) *Global Status of CCS 2022* Global CCS Institute. Melbourne, Australia: Global CCS Institute

Tampereen Sähkölaitos (2023) Hiilidioksidin talteenotto. Retrieved [Jan 18, 2023] Available at: <https://www.sahkolaitos.fi/yrityksille-ja-taloyhtioille/lamporatkaisut/hiilidioksidin-talteenotto-ja-hyodyntaminen/>

Teir, S., Pikkarainen, T., Kujanpää, L., Tsupari, E., Kärki, J., Arasto, A., Aatos, S., (2011) *Hiilidioksidin Talteenotto Ja Varastointi (CCS) - Teknologia katsaus*. VTT Working Papers 161. Espoo: VTT. ISBN: 978-951-38-7503-9

Theliander, H. (2009) The Recovery of Cooking Chemicals: the White Liquor Preparation Plant. *Pulping Chemistry and Technology* 2(13): 335-362

Tikka, P. (2008) *Papermaking Science and Technology. Book 6, Chemical Pulping. Part 2, Recovery of Chemicals and Energy.* Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association. ISBN: 978-952-5216-26-4

Tiseo, I. (2022) Global consumption of paper and cardboard 1961-2021. [Statista] Retrieved [Jan 13, 2023] Available at: <https://www.statista.com/statistics/270319/consumption-of-paper-and-cardboard-since-2006/>

Toivonen, J. (2022) EU ei kiellä metsän hakkaamista lämmitysenergiaksi, mutta uusiutuvan energian tuet saattavat kadota – uusi direktiivi on täynnä eturistiriitoja. [YLE] Retrieved [Jan 18, 2023] Available at: <https://yle.fi/a/3-12625042>

Vaara, K. (2021) Paperin kulutus kasvaa, mutta Suomen tehtaat eivät pääse siihen kiinni – viennin lähitulevaisuus on alhaisen jalostusasteen sellun varassa. [YLE] Retrieved [13.1., 2023] Available at: <https://yle.fi/a/3-11818464>

Vakkilainen, E. K. (2017) *Steam Generation from Biomass - Construction and Design of Large Boilers.* Oxford: Elsevier. ISBN: 012804389X

Vakkilainen, E. K. (2005) *Kraft Recovery Boilers – Principles and Practice.* Helsinki: Suomen Soodakattilayhdistys r.y.

Yaws Carl, L. (2009) *Yaws' Handbook of Thermodynamic Properties for Hydrocarbons and Chemicals.* : Knovel. ISBN: 9781601197979

Zeng, J., Castellino, M., Fontana, M., Sacco, A., Monti, N. B. D., Chiodoni, A., Pirri, C. F. (2022) Electrochemical Reduction of CO₂ With Good Efficiency on a Nanostructured Cu-Al Catalyst. *Frontiers in Chemistry* 10

Zuo, W., Zhang, X., Li, Y. (2020) Review of flue gas acid dew-point and related low temperature corrosion. *Journal of the Energy Institute* 93(4): 1666-1677

Google, 2022. [Self-created map of the member plants of the Finnish Recovery Boiler Committee]. Retrieved [Nov 18, 2022]. Available at: <https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1cU6jSm0-iTXG59157Mb-VyWW-awP6A0&usp=sharing>

Opinnäytetyölistaus projektiyhteenvedo

Soodakattilayhdistys ry Opinnäytetyölistaus

PROJEKTIYHTEENVETO 23.3.2023

Sisältö

- Työn sisältö ja laajuus
- Työmenetelmät: tietokannat ja hakusanat
- Tulokset
 - Yhteenveto tuloksista
 - Opinnäytetyölista (Excel)
- Töiden tallentaminen Soodakattilayhdistyksen nettisivuille



Työn sisältö ja laajuus

Työn tarkoituksena oli kerätä soodakattiloihin liittyviä opinnäytetöitä, diplomitöitä ja väitöstöitä Suomen Soodakattilayhdistyksen nettisivuille.

Työ rajattiin Suomessa vuodesta 2000 alkaen tehtyihin opinnäyte-, diplomi-, ja väitöstöihin.

Työ sisältää:

1. Tiedon hakua internetistä, mm. eri koulujen tietokannat (Aalto, TAU, LUT, ÅA, OY, AMK)
2. Diplomi/Opinnäyte/väitöstöiden tallentaminen yhdistyksen nettisivuille yhteisesti sovittuun paikkaan

Työmenetelmät

Opinnäyte-, diplomi-, ja väitöstitä haettiin seuraavista tietokannoista

- Aalto-yliopisto (ja ent. TKK): Aaltodoc
- LUT-yliopisto: LUTpub
- Tampereen yliopisto (ja ent. TTY): Trepo
- Oulun Yliopisto: Jultika, SoleCRIS
- Åbo Akademi: Doria, Alma
- AMK opinnäytetyöt: Thesus

Haussa käytetyt avainsanat:

- Recovery boiler, Kraft recovery, Soodakattila, Sodapanna
- Green liquor, Viherlipeät, Grönlut
- Chemical cycle, kemikaalikierto
- Black liquor, mustalipeä
- haihduttamo/evaporation plant, kaustistamo/causticizing plant, hajukaasut, meesauuni/lime kiln, sulfiditeetti, Ligniini*, Lignin*, lignoboost*, Nox*, Sox*, tulipesä, tulistin*, keittopinta*, ekonomaiseri*, sularänni*, sulakouru*, kloori,*kalium*, tuhka*

*kokeiltuja avainsanoja, joista ei saatu uusia tuloksia/uudet tulokset eivät liittyneet soodakattiloihin tai kemikaalikiertoon

Opinnäytetyölistaus: Tuloksien yhteenveto

Listatut työt, yhteensä 265 kpl

Opinnäytetyöt (AMK)

- 40 soodakattilaan liittyvää työtä
- 20 Soodakattilaan osittaisesti liittyvää työtä
- 12 Voimalaitoksiin/kattiloihin liittyvää työtä (rajattu haku)

Diplomityöt

- 82 Soodakattilaan liittyvää työtä
- 33 Soodakattilaan osittaisesti liittyvää työtä
- 36 Kemikaalien talteenottoon liittyvää työtä
- 23 Voimalaitoksiin/kattiloihin liittyvää työtä (rajattu haku)

Väitöstyöt

- 3 Soodakattilaan liittyvää työtä
- 2 Kemikaalien talteenottoon liittyvää työtä
- 7 Soodakattilaan tai soodakattilaan osittaisesti
- 7 Voimalaitoksiin/kattiloihin liittyvää työtä (rajattu haku)

Opinnäytetyölistaus: Tuloksien yhteenveto

Yleisimmät aiheet:

- Soodakattilaprosessien kehitys/optimointi (mm. vesi-höyrykierto, ilmansyöttö)
- Soodakattilan energiatehokkuus
- Ilmapäästöjen hallinta (NO_x, SO_x, hajukaasut, pölypäästöt)
- Soodakattilan elinkaarianalyysi
- Soodakattilan likaantuminen/tukkiutuminen
- Soodakattilan kunnon valvonta ja huolto (ajo- ja kunnossapito-ohjeet)
- Soodakattilan huolto ja kunnossapito (mm. nuohous)
- Vierasaineet kemikaalikierrrossa
- Sivuvirtojen (soodasakan ja tuhkan) hyödyntäminen
- Mäntyöljyprosessin kehitys/optimointi
- Haihduttamo-, kaustisointi- ja meesauuniprosessin kehitys/optimointi

Opinnäytetöiden listaaminen tietyn aihe-alueen alle on haastavaa, koska töissä käsitellään yleensä useita aiheita (esim, energiatehokkuus, päästöt, kehitys/optimointi jne.).

Töiden tallentaminen Soodakattilayhdistyksen nettisivuille

Ehdotus: Tiedot tehdyistä
opinnäyte/diplomi/väitöstöistä esitetään
Soodakattilayhdistyksen jäsensivuilla
"tutkimusraportit" palkin alla. Opinnäytetöille
tehdään omat sivut, joissa on mahdollista
hakea töitä työn aihealueen (soodakattila,
kemikaalikierto, voimalaitos) ja
laajuuden(opinnäyte/diplomi/väitöstyö)
perusteella. Töitä voi lisäksi hakea
avainsanojen avulla.

Opinnäytetyölistausta taulukko

Laajuus	Aihepiiri	Vuosi	Työn nimi	Työn nimi (toisella kielellä)	Tekijä	Oppilaitos	Saatavilla sähköisesti	Pysyvä linkki
AMK	Soodakattila	2023	Soodakattiloiden toimintopaikkojen kriittisyysluokittelun päivitys: Stora Enso Oyj Imatran tehtaat		Peltonen, Rene	LAB-AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202302062052
DI	Soodakattila	2022	Soodakattilan tukkeutumisen hallinta	Controlling fouling in recovery boiler	Heikkilä, Aleks	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022030321779
DI	Soodakattila	2022	Soodakattilalaitoksen huollettavuuden kehittäminen	The development of recovery boiler plant maintenance	Klementtilä, Markus	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022053141077
DI	Soodakattila	2022	Soodakattilan liuotinhönkäjärjestelmän mittaukset, säädöt ja toiminnan tarkastelu	Measurements and controls of the dissolving tank vent system of the recovery boiler	Tolvanen, Tarja	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022061747383
DI	Soodakattila	2022	Hybrid flue gas cleaning equipment in a modern kraft recovery boiler : feasibility to reduce recovery boiler dust emissions		Jantunen, Jokke	LUT	Kyllä	https://lutpub.lut.fi/handle/10024/164462
DI	Soodakattila	2022	Recovery boiler hanger rod arrangement	Soodakattilan kannatustankojen asettelu	Paananen, Nikoteemu	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022120569382
DI	Soodakattila	2022	Cooling procedure of the modern kraft recovery boiler		Wahlman, Toni	LUT	ei	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022111065088
DI	Soodakattila	2022	Modelling of kraft recovery boiler flue gas temperature with auxiliary fuels		Shemeikka, Venla	TTY	Ei	https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202203102449
DI	Soodakattila	2022	Effect of recovery boiler plant electricity production increase on sustainability : Modelling and optimization approach	Soodakattilalaitoksen sähköntuotannon lisäämisen vaikutukset kestävyYTEEN	Sivonen, Aleks	TTY	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202212149170
AMK	Soodakattila	2022	Korvakkeen mitoitus ja suunnittelu Eurocode 3 -standardin mukaan		Nenonen, Ari	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205179754
AMK	Soodakattila	2022	Tarkastukset ja valvonta soodakattilan ilma-aukkojen vaihdon tukena		Lehtinen, Miikka	XAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205067631
AMK	Soodakattila	2022	Sooth blower maintenance on recovery boiler	Soodakattilan nuohomien kunnossapito : Joutsenon sellutehdas	Lensu, Janne	LAB-AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022060816704
AMK	Soodakattila	2022	Soodakattilan carryover-mittauslaitteiston automatisointi		Räsänen, Jani	XAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202204054580
AMK	Soodakattila	2022	Recovery boiler carryover		Sikanen, Sini	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022121830748
AMK	Soodakattila	2022	Tarkastukset ja valvonta soodakattilan ilma-aukkojen vaihdon tukena		Lahtinen, Miikka	XAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205067631
AMK	Soodakattila	2022	FTIR-mittalaitteiston esivalmistelu sellutehtaan päästömittauksiin	Preparation of FTIR Measuring Equipment for Emission Measurement at a Pulp Mill	Kettunen, Markus	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205118586
DI	Soodakattila	2021	Talteenoton ajomallien ja työohjeistuksen yhtenäistäminen laadun ja käytettävyyden parantamiseksi	Optimization of operating models and instructions to improve quality and usability in the recovery line	Vainikka, Tuomas	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202101111412
DI	Soodakattila	2021	Soodakattiloiden elinkaari	Recovery boilers life cycle	Kinnunen, Santeri	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021100549355
DI	Soodakattila	2021	Development of a boiler water leak detection method for recovery boilers utilizing all-volatile treatment of boiler water	Kattilaveden vuodonvalvontamenetelmän kehitys haihtuvien alkaliEN kattilavesikemialla operoitaville soodakattiloille	Toivakka, Vili	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021080542140
DI	Soodakattila	2021	Benefits of visual analysis tools in recovery boiler operation	Visuaaliseen analyysiin perustuvien työkalujen hyödyt soodakattilan operoinnissa	Tikka, Veli-Pekka	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021101851401
DI	Soodakattila	2021	Reclamation handling process in smelt spout damage cases and mechanism behind the damages	Reklamaatiprosessi sulakourujen vauriotapauksissa ja mekanismit vaurioidEN takana	Aalto, Hannareetta	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202101081346
DI	Soodakattila	2021	Kustannuslaskennan kehittäminen leiju- ja soodakattiloidEN sähköistyksessä ja instrumentoinnissa		Kauranen, Aki	TTY	Ei	https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202101221632
DI	Soodakattila	2021	Black liquor spray simulation : Estimating droplet size distribution with Eulerian to Lagrangian hybrid model		Kuosmanen, Nea	TTY		https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202112209400
DI	Soodakattila	2021	Effect of Dust Sintering on Fouling of Recovery Boiler Flue Gas Ducting		Kronqvist, Jacob	ÅA	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202101071252
DI	Soodakattila	2021	The effect of black liquor droplet in-flight time on kraft recovery boiler dust formation		Brink, Johanna	ÅA	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021121560745

DI	Soodakattila	2021	Alkali chloride induced superheater corrosion – Impact of percentage of molten phase		Malm, Ebba	ÅA	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021052731924
AMK	Soodakattila	2021	The Impact of COVID-19 from a Perspective of a Recovery Boiler Manufacturer on Workshop Inspections Worldwide		Lappalainen, Tuomas	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202101281627
AMK	Soodakattila	2021	Soodakattilan nuohouksen modernisointi		Sahlman, Iiro	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202104276041
AMK	Soodakattila	2021	Utilization of the simulation in testing the program for recovery boiler	Simuloinnin hyödyntäminen soodakattilan ohjelman testaamisessa	Matarainen, Ville	JAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021121325628
AMK	Soodakattila	2021	Soodakattilan pääkomponenttien kuljetuslohkokoon määrittäminen		Tillonen, Iina	JAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021092318018
AMK	Soodakattila	2021	Production of renewable CO2 neutral energy as a byproduct from kraft black liquor in recovery boilers: recovery boilers of new generation with improved energy production		Shipilova, Elena	Karelia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021090117336
DI	Soodakattila	2020	Soodakattilan savukaasujen jäähdyttimen suorituskyvyn arviointi	Performance evaluation for flue gas cooler in recovery boiler	Hiltunen, Juho	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020083164682
DI	Soodakattila	2020	Soodakattilan painerungon kunnonvalvonnan suunnittelun/seurannan kehittäminen	Recovery boiler pressure part condition control plan development	Seppänen, Satu	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020061644637
DI	Soodakattila	2020	Soodakattilan elinkaarianalyysi	Recovery boiler life cycle analysis	Cay, Gunilla	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020043023459
DI	Soodakattila	2020	Soodakattilan sulakourujen jäähdytysjärjestelmät	Recovery boiler smelt spout cooling systems	Kolari, Mari	LUT	Kyllä	https://lutpub.lut.fi/handle/10024/161071
DI	Soodakattila	2020	Soodakattilan pölypäästöjen hallinta savukaasupesurilla	Recovery boiler particulate matter emission control with flue gas scrubber	Saastamoinen, Juho	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020052238708
AMK	Soodakattila	2020	HEWI		Pärnänen, Teemi	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202005067531
AMK	Soodakattila	2020	Dokumenttien hallintajärjestelmän suunnittelu ja toteutus		Hannukainen, Topi	LAB-AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020112323771
DI	Soodakattila	2019	Soodakattilan palamisen optimointi	Optimization of the combustion process in recovery boiler	Kukka, Tuure	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019061420588
DI	Soodakattila	2019	Keittolipeän sulfiditeetin hallinnan parantaminen	Improving management of sulfidity of cooking liquor	Härkönen, Henrik	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019052416976
DI	Soodakattila	2019	Advanced leak detection system for recovery boilers	Kehittynyt tiiveydenvalvontajärjestelmä soodakattiloihin	Kouvo, Lauri	LUT	Kyllä	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/159294
DI	Soodakattila	2019	Water circulation modeling of a recovery boiler undergoing a power blackout		Kivelä, Juho	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019082325265
DI	Soodakattila	2019	Utilization of visual analysis in recovery boilers	Visuaalisen analyysin hyödyntäminen soodakattiloissa	Lahtinen, Markus	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019110737098
DI	Soodakattila	2019	Integrated computational fluid dynamics and 1D process modelling for superheater region in recovery boiler		Kumar, Kunal	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201906234001
DI	Soodakattila	2019	Recovery Boiler Superheater Region Temperature Measurements for Fouling Prediction Development		Peltola, Santeri	TTY	Ei	https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/27388
AMK	Soodakattila	2019	Vaihtoehtoiset materiaalit soodakattilan prosessiputkistolle		Röpelinen, Aku	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019052311508
AMK	Soodakattila	2019	Soodakattilan ilma-aukkojen valusuuttimien suunnittelu		Teittinen, Lauri	Saimaan AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201901251573
AMK	Soodakattila	2019	Soodakattilan reduktion määrittäminen visuaalisella analyysillä		Nurmi, Juho	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019052611990
AMK	Soodakattila	2019	Soodakattilan sekundääri- ja tertiääri-ilmarekisterien tuotteistaminen		Kampuri, Henri	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019052712115
AMK	Soodakattila	2019	Nuohouksen käytettävyyden parantaminen		Vähätupa, Petteri	SAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019082918055
AMK	Soodakattila	2019	Selvitys erään lipeäruiskutelinetyypin soveltuvuudesta Andritz Oy:n standarditelineeksi		Kainu, Jyri	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019070217611
AMK	Soodakattila	2019	Ilmarekisterijärjestelmän Päivitys		Tiihonen, Lauri	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019060514918
AMK	Soodakattila	2019	Turva-automaatiokaapin suunnittelu soodakattilalle		Karvonen, Santeri	Metropolia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201904104727
Väitös	Soodakattila	2019	The efficiency and damage control of a recovery boiler		Pöllänen, Ilkka	LUT	kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-477-7
DI	Soodakattila	2018	Asennushitsauksen laadunhallinta sooda- ja voimakattiloissa	Quality management of site welding in recovery and power boilers	Maarnela, Raine	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018060125134

DI	Soodakattila	2018	Soodakattilan tukkeutuminen	Plugging of the recovery boiler	Penttinen, Kimmo	LUT	Kyllä	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/154957
DI	Soodakattila	2018	Verifying the pulp mill atmospheric emissions from the recovery boiler	Sellutehtaiden soodakattiloiden ilmapäästöjen tarkistus	Repo, Samuli	LUT	ei	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018100937897
DI	Soodakattila	2017	Sellutehtaan höyrytase ja vastapaineturbiini tuotannon kasvaessa	Pulp mill production growth's effects on steam balance and back pressure steam turbine	Tapalinen, Ville	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201710028847
DI	Soodakattila	2017	Soodakattilan sulakourujen toimintaolosuhteet: lämpörasitukset ja sulavirtaukset	Operational environment of recovery boiler's smelt spouts: heat loads and smelt flows	Rantanen, Eetu	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2017103050379
DI	Soodakattila	2017	Feasibility of fabric filters in reducing dust emissions from kraft recovery boilers	Genomförbarhetsstudie av användning av spärfilter i stoftavskiljning från sodapannor	Sjögård, Pauliina	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201702242630
DI	Soodakattila	2017	The influence of potassium on the melting properties of kraft recovery boiler smelt		Koivunen, Niklas	ÅA	Ei	ÅA kirjasto, ei pysyvää linkkiä
AMK	Soodakattila	2017	Savukaasupesurista saatavan sekundäärilämmön käyttökohteet		Jokelainen, Ville	OAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201705025899
AMK	Soodakattila	2017	Compound-putkien pituuden optimointi		Vänttinen, Lari	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201703273737
DI	Soodakattila	2016	Automatization of feeding the heat flux data to water circulation simulations of recovery boilers	Lämpövuojakauman syöttämisen automatisointi soodakattilan vesikiertolaskentaan	Sirainen, Antti	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2016080322590
DI	Soodakattila	2016	Kraft recovery boiler dissolving tank mass and energy balance	Soodakattilan liuotinhölkäjärjestelmän massa- ja energiatase	Laitinen, Minna	LUT	Kyllä	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/129920
DI	Soodakattila	2016	Reactive leaching of recovery boiler fly ash	Reaktiivinen uuttomenetelmä soodakattilan lentotuhkan käsittelemiseksi	Frigård, Antti	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201605262232
DI	Soodakattila	2016	Optimization of a Recovery Boiler Economizer		Pirttiniemi, Mikko	TTY	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201611244786
AMK	Soodakattila	2016	Soodakattiloiden kunnonvalvonta		Turtiainen, Joonas	XAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016110215639
AMK	Soodakattila	2016	Ilmansäätölaitteen mekanismin kehittäminen		Määttä, Tommi	Kajaanin AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201605106859
DI	Soodakattila	2015	Korkeasti kuormitetun soodakattilan likaantumisen ja päästöjen vähentäminen	Reduction of emissions and fouling in heavily loaded recovery boilers	Koso, Tommi	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201504222773
DI	Soodakattila	2015	Soodakattilan nuohouksen optimointi ja sen vaikutukset kunnossapitokustannuksiin	Optimization of recovery boilers soot blowing and its impact on maintenance costs	Hietanen, Henna	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201509184373
DI	Soodakattila	2014	□ Influence of kraft recovery boiler's main control parameters on reduction degree		Kokkonen, Antti	OY	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-201404091251
DI	Soodakattila	2014	Soodakattilan ilmajaon optimointi ja väkevien hajukaasujen polton vaikutukset prosessiolosuhteisiin	The optimization of the recovery boiler's air distribution and the influence of concentrated non-condensable gases combustion on the recovery boiler furnace process	Nurmi, Aleks	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201411223044
AMK	Soodakattila	2014	Soodakattilan liotinsäiliön hölkäjärjestelmän laskentaohjelman kehittäminen		Ukkonen Miikka	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014102815024
DI	Soodakattila	2013	Soodakattilalaitosten energiantuotannon lisääminen	Increasing the energy production of recovery boilers	Kipinoinen, Mikko	LUT	Kyllä	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/93936
DI	Soodakattila	2013	Soodakattilan dimensioiden monitavoiteoptimointi laskennallisen virtausmekaniikan avulla	Multi-objective optimization of recovery boiler dimensions using computational fluid dynamics	Maakala, Viljami	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201306146492
AMK	Soodakattila	2013	Selvitys soodakattilan pohjan tarkastuksesta seisokissa		Liimatainen, Seppo	XAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201303022829
AMK	Soodakattila	2013	Soodakattilan ilmansyöttöjärjestelmän suuttimen tutkiminen ja uusiminen		Molonen, Miikka	XAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013120219366
DI	Soodakattila	2012	Soodakattiloiden ilmanavien hyödyntäminen jäykistävänä rakenteena	Exploitation of recovery boiler air ducts as stiffening structure	Ryynänen, Timo	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201209208128
DI	Soodakattila	2012	Soodakattilan hyötysuhteen määrittäminen mittauksiin perustuvalla laskentamallilla	Determining the efficiency of kraft recovery boilers with measurement based calculation model	Reiman, Lauri	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020122859212
DI	Soodakattila	2012	Impact of furnace dimensions on recovery boiler performance and cost	Tulipesän rakenteen vaikutus soodakattilan toimintaan ja hintaan	Kontula, Mikko	TTY	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201205151116

AMK	Soodakattila	2012	Soodakattilan nuohouksen tehostaminen		Tuononen, Jonne	XAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205198859
AMK	Soodakattila	2012	Soodakattilan ilma- ja savukanavien suunnitteluohje		Hiekkala, Lasse	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205137911
AMK	Soodakattila	2012	Soodakattilan pölypäästöjen alentaminen prosessiteknisin menetelmin		Vanhala, Jyri	XAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201201051072
AMK	Soodakattila	2012	Soodakattilan käynnistyspolttimien käynnistys- ja toimintavarmuuden kehittäminen		Vuorinen, Ilkka	OAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012111215130
AMK	Soodakattila	2012	Sooda- ja voimakattilan kehyspalkkirakenteen FE-analyysi		Hankilanoja, Teppo	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205086913
DI	Soodakattila	2011	Soodakattilan lentotuhkan uudentyyppisen analysaattorin arviointi	Evaluation of novel recovery boiler dust analyzer	Sinkkonen, Anssi	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/74638
AMK	Soodakattila	2011	Organisatoristen onnettomuuksien hallinta : Soodakattila SK1, Oy Metsä-Botnia Ab Kemin tehtaat	Managing the Risks of Organizational Accidents	Kaniin, Anu	Lapin AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011110214156
DI	Soodakattila	2010	Soodakattilalaitoksen lisäveden orgaanisen aineen vähentäminen		Luukkonen, Tero	OY	Ei	https://solecris.oulu.fi/crisyp/disp/_/en/cr_redir_all/fet/fet/sea?direction=2&id=33112745
DI	Soodakattila	2010	Decomposition kinetics of sodium cyanate in smelt from kraft recovery boilers		Zhu, Weizhen	ÅA	Ei	ÅA kirjasto, ei pysyvää linkkiä
DI	Soodakattila	2009	Liottajasäiliön hönkien käsittely täytekappalepesurilla	Dissolving tank vent gas conditioning by packed bed scrubber	Kaksonen, Kari	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/47412
DI	Soodakattila	2009	Muutosilmiöt soodakattilakeossa	Muutosilmiöt soodakattilakeossa	Pentinsaari, Tanja	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/46809
DI	Soodakattila	2009	Modern recovery boiler design criteria		Pentinsaari, Veli-Matti	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/46816
DI	Soodakattila	2009	Mätning av gassammansättningen i eldstaden i en stor sodapanna	Mätning av gassammansättningen i eldstaden i en stor sodapanna	Vainio, Emil	ÅA	Ei	ÅA kirjasto, ei pysyvää linkkiä
DI	Soodakattila	2009	Utveckling och användning av en korttidssond vid mätningar av överbäring i sodapannor	Utveckling och användning av en korttidssond vid mätningar av överbäring i sodapannor	Vähä-Savo, Niklas	ÅA	Ei	ÅA kirjasto, ei pysyvää linkkiä
DI	Soodakattila	2008	Supplier Energy Audits in Thermal Power Plants		Kortelainen, Juha	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/41965
DI	Soodakattila	2008	Piv-menetelmä ja sovellus soodakattilamallin virtausnopeuskenttien määrittämiseen	PIV technique and application for measuring the velocity fields inside a pulp recovery boiler model	Tanskalainen, Reko	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120554443
AMK	Soodakattila	2008	Hönkäpesurin lämmönvaihtimen optimointi	OPTIMIZING THE HEAT EXCHANGERS IN A RELIEF GAS SCRUBBER	Eeva, Marko	SAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200811274147
DI	Soodakattila	2007	Soodakattilan vesi-höyryjärjestelmän vuodonvalvonta	Soodakattilan vesi-höyryjärjestelmän vuodonvalvonta	Vaaljoki, Tomi	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/30304
DI	Soodakattila	2007	Soodakattilan kompond-putkien terminen väsyminen	Thermal fatigue of recovery boiler compound tubes	Kiesi, Timo	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120553807
DI	Soodakattila	2007	Sintringstendenser av syntetiska sodapannastoft	Sintringstendenser av syntetiska sodapannastoft	Mikander, Johan	ÅA	Ei	ÅA kirjasto, ei pysyvää linkkiä
DI	Soodakattila	2006	Kattilaveden kulkeutuminen höyryyn soodakattilassa	Boilerwater carry over to steam in recovery boiler	Paananen, Jouko	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/30463
DI	Soodakattila	2005	Soodakattilan energiatehokkuuden ja -taseen laskenta	Calculation of the energy efficiency and energy balance of a recovery boiler	Inkinen, Otto	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/35422
AMK	Soodakattila	2005	Liutinsäiliön suunnittelun kehitys	Developing of Dissolving Tank Design	Kellokoski, Petri	TAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201003063669
DI	Soodakattila	2004	Jäähdytykseen ja täyssuolanpoistoon perustuva lauhteen puhdistus soodakattilalaitoksella	Utilising cooling and demineralisation for condensate polishing at soda recovery boiler plant	Mikkela, Ari	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/30248
DI	Soodakattila	2004	Mustalipeän polttomenetelmät Suomen soodakattiloissa	Black liquor combustion practices in Finnish kraft recovery boilers	Juvonen, Tuukka	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120450631
DI	Soodakattila	2003	Soodakattilalaitoksen ohjeiston kehittäminen ja tuotteistaminen	Recovery boiler manual research and product development	Porri, Ossi	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/35142
DI	Soodakattila	2003	Soodakattilan vesi-höyrykierron simulointi	Dynamic simulation of kraft recovery boiler water-steam circulation	Ijäs, Niko	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/34457
DI	Soodakattila	2003	Trace metals in the black liquor recovery boiler and the recovery cycle of a kraft pulp mill		Wikstedt, Henrik	ÅA	Ei	ÅA kirjasto, ei pysyvää linkkiä
DI	Soodakattila	2003	Borate autocatasticizing during black liquor droplet combustion		Sand, Anders	ÅA	Ei	ÅA kirjasto, ei pysyvää linkkiä
DI	Soodakattila	2003	Char bed processes in a kraft recovery boiler : a CFD based study		Bergroth, Nici	ÅA	Ei	ÅA kirjasto, ei pysyvää linkkiä

DI	Soodakattila	2003	Combustion of kraft black liquor with sodium metaborate additions		Zhu, Xiangbin	ÅA	Ei	ÅA kirjasto, ei pysyvää linkkiä
DI	Soodakattila	2002	Vertikaalisen ilmansyöttöjärjestelmän vaikutukset soodakattilan polttotapahtuman hallintaan		Nyman, Minna	OY	Ei	https://solecris.oulu.fi/crisyp/disp/_/en/cr_redir_all/fet/fet/sea?direction=2&id=-41044
DI	Soodakattila	2002	Evaluation of Commercial Use of the RBD-analyser in Kraft Recovery Units	RBD-analysaattorin kaupallisen käytön arviointi soodakattilalaitoksissa	Harja, Lasse	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120448504
DI	Soodakattila	2001	Sulfaattiselluloosatehtaan haihduttamon soodakattilan kehittämisvaihtoehdot		Mattelmäki, Antti	OY	Ei	https://solecris.oulu.fi/crisyp/disp/_/en/cr_redir_all/fet/fet/sea?direction=2&id=-36481
DI	Soodakattila	2001	Soodakattilan liuottajan jäähdytys valuva kalvo-tyyppisellä hönkäpesurijäähdyttimellä	Cboiling of the dissolving tank of black liquor recovery boiler with a falling film type of vent gas scrubber - heat exchanger	Laukka, Juha	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120448039
DI	Soodakattila	2000	Prediction of heat transfer on kraft recovery boiler	Soodakattilan lämmönsiirron ennustaminen.	Ryymin, Olli	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/35017
DI	Soodakattila	2000	Soodakattilalaitoksen integroitu prosessimalli	Integrated process model of recovery boiler plant	Ollikainen, Toni	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120446818
DI	Soodakattila	2000	Soodakattilaprosessin mallintaminen	Modelling of recovery boiler process	Virtanen, Joni	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120446892
DI	Soodakattila	2000	Soodakattilan liuotussäiliön energiataloudellinen tarkastelu	Energy Economical Study of the Smelt Dissolving Tank of the Kraft Recovery Boiler	Kettunen, Kirsi	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120447232
DI	Soodakattila osittain	2022	PAUT-tarkastusmenetelmän soveltaminen soodakattilan lieriön ja painerungon valmistuksessa	Application of the PAUT inspection method in manufacturing of a recovery boiler steam drum and boiler pressure parts	Kuvaja, Mika	OY	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-202206152848
DI	Soodakattila osittain	2022	Biological Resource (Energy & Sulfur) Recovery from Pulp and Paper Mill Streams		Fardoust, Fariborz	TTY	Ei	https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202211118340
AMK	Soodakattila osittain	2022	Alrec-talteenotto prosessin nuohouksen optimointi		Kormano, Leevi	TAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202204135145
AMK	Soodakattila osittain	2022	Sellutehtaan höyrytaseen kartoitus		Nevalainen, Joel	Karelia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202204135107
AMK	Soodakattila osittain	2022	Stora Enso Oulun tehtaan höyrynkulutus ja lauhteiden palautus		Tolppi, Samuli	Ei tietoa	Ei	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205128856
DI	Soodakattila osittain	2021	Hajukaasujärjestelmän tarkastelu ja hajapäästölähteiden käsittely tulevaisuudessa	Inspection of odorous gases handling system and fugitive emissions’ treatment in future	Turtiainen, Joonas	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202104099984
DI	Soodakattila osittain	2021	Process gas formation and utilization at pulp mill		Lamminen, Vilma	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021062139106
Väitös	Kemikaalien talteenotto	2021	Synthesis and optimization of Kraft process evaporator plants		Neto, Márcio R. V.	LUT	kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-635-1
AMK	Soodakattila osittain	2021	Lauhdeturbiinin jäähdytyksen optimointi		Salminen, Esko	Karelia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021060714709
AMK	Soodakattila osittain	2021	Black liquor in pulp mill and its treatment		Hao, Yuanchuan	Centria university of applied sciences	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021062416637
DI	Soodakattila osittain	2020	Pulp mill non-condensable gases to condensable bioproducts	Sellutehtaan hajukaasuista uusi biotuote	Larkimo, Oskari	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202008235065
AMK	Soodakattila osittain	2020	Sähkösuodattimen suurjännitelaitteiden modernisointi	ESP HIGH VOLTAGE DEVICE MODERNIZATION	Nilsson, Henrik	SAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202002172492
AMK	Soodakattila osittain	2020	Kattilalaitoksen putkiston massan ja määrän ennakoiva arviointi : Valmet Technologies Oy		Myllymäki, Heidi	Turku AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202004064536
AMK	Soodakattila osittain	2020	Mäntyöljykeittämön tuotannon optimointi		Haakana, Mika	TAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020120826741
AMK	Soodakattila osittain	2020	Tiedonkeruumenetelmän Kehittäminen Soodakattilan Laitteiden Kunnossapito- Ja Voiteluainetietojen Koontiin : Andritz Oy, KRP-Divisioona, Varkaus		Hämäläinen, Eemi	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020051912185
DI	Soodakattila osittain	2019	Keittoliipeän sulfiditeetin hallinnan parantaminen	Improving management of sulfidity of cooking liquor	Härkönen, Henrik	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019052416976
DI	Soodakattila osittain	2019	Kaliumin ja kloorin pitoisuuksien hallinta modernilla sellutehtaalla	Control of potassium and chlorine levels in modern pulp mill	Nousiainen, Marko	LUT	Kyllä	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/159769
DI	Soodakattila osittain	2019	Operational efficiency of black liquor concentrators	Mustalipeähaihduttimien tehokas toiminta	Lehtimäki, Anna-Liina	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201908254944

DI	Soodakattila osittain	2019	Reduction of sulfate emissions in bleached softwood kraft pulp mill	Sulfaattipäästöjen vähentäminen valkaistua havusellua tuottavalla sulfaattiselutehtaalla	Kilpi, Oskari	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201905122983
Väitös	Soodakattila osittain	2019	Transforming the chemical pulp industry : From an emitter to a source of negative CO2 emissions		Kuparinen, Katja	LUT	kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-423-4
Väitös	Soodakattila osittain	2019	Computational Fluid Dynamics Modeling and Mathematical Optimization of Recovery Boilers	Soodakattiloiden numeerinen virtausmallinnus ja matemaattinen optimointi	Maakala, Viljami	TKK/Aalto	kyllä	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-8438-1
DI	Soodakattila osittain	2018	Removal of lignin from tall oil pitch	Ligniinin erottaminen mäntyöljyistä	Volanen, Tanja	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018112749298
DI	Soodakattila osittain	2018	Tall oil depitching in kraft pulp mill	Mäntyöljyjen erotus sulfaattiselutehtaalla	Niemeläinen, Mikko	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201809034801
DI	Soodakattila osittain	2018	Modelling of the chemical recovery cycle of black liquor in a pulp mill using Aspen Plus		Bravo Muñoz, Víctor	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201809034888
Väitös	Kemikaalien talteenotto	2018	Novel treatment methods for green liquor dregs and enhancing circular economy in kraft pulp mills		Golmaei, Seyedmohammad	LUT	kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-323-7
Väitös	Soodakattila	2018	The Effect of Flashing and Spraying Conditions on Black Liquor Droplet Formation	Ruiskutusolosuhteiden ja kiehumisen vaikutus mustalipeän pisaranmuodostukseen	Kankkunen, Ari	TKK/Aalto	kyllä	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-8049-9
AMK	Soodakattila osittain	2018	5S-Menetelmän käyttöönotto talteenottolinjalla	Implementation of the 5S concept on the recovery line	Sillanpää, Jesse	Lapin AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201805087091
DI	Soodakattila osittain	2017	□ Soodakattilan painerungon kuljetuskehysten optimointi		Impiö, Jesse-Petteri	OY	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-201706012338
Väitös	Soodakattila osittain	2017	Evaluation of two pulping-based biorefinery concepts		Kautto, Jesse	LUT	kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-119-6
AMK	Soodakattila	2017	Soodakattilan prosessiputkistojen estimointityökalu		Markkanen, Tommi	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201703243677
AMK	Soodakattila	2017	Soodakattilan tuotepuu : Nimikkeistön käytön yhtenäistäminen tuotemallin avulla		Kotro, Tuomas	Saimaan AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017120319444
DI	Soodakattila osittain	2016	Mäntyöljyn tislauksen esikäsittely	Pretreatment of Tall Oil Distillation	Hiltunen, Roosa	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201603218864
DI	Soodakattila osittain	2016	Sulfaattiselutehtaan hajukaasujen keräily ja käsittely	Collection and handling of kraft pulp mill's odorous gases	Lipponen, Torsti	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2016051212111
DI	Soodakattila osittain	2016	Feasibility of Carbon Capture in Kraft Pulp Mills	Hiilidioksidin talteenoton sovellettavuus sulfaattiselutehtaisiin	Kouri, Sampo	TTY	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201602243559
AMK	Soodakattila osittain	2016	Talteenottolinjan varaosaluotettavuuden parantaminen		Reijonen, Jyri	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016102715477
AMK	Soodakattila osittain	2016	Lauhdeverkoston uudelleen arviointi ja kunnostusohjelmaehdotuksen laadinta		Olli, Sami	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016060111410
AMK	Soodakattila osittain	2016	Energia raportin kehittäminen		Keskitalo, Mira	OAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201603303664
AMK	Soodakattila osittain	2016	Laskentatyökalun Kehitys Talteenoton Prosesseille		Malava, Matias	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016060311804
DI	Soodakattila osittain	2015	Selvitys erilaisten mäntyöljynkeittoprosessien toiminnasta		Södervik, Jussi	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201505228892
Väitös	Soodakattila osittain	2015	Modeling Fume Particle Dynamics and Deposition with Alkali Metal Chemistry in Kraft Recovery Boilers		Leppänen, Aino	TTY	kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3436-2
AMK	Soodakattila osittain	2015	Ylijäämälämmön käytön tehostaminen tehdasintegraatissa		Mäkinen, Outi	JAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015060412391
DI	Soodakattila osittain	2014	Selutehtaan TRS-hajapäästöjen hallinta		Immonen, Milja	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014101445190
DI	Soodakattila	2014	Black liquor spray model validation with particle image velocimetry measurements	Mustalipeäruiskumallin validointi particle image velocimetry mittauksilla	Virtanen, Roy	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201410312964
AMK	Soodakattila osittain	2014	Talteenottolaitoksen voitelutöiden hallinta	Lubrication Maintenance Management of a Recovery Plant	Spets, Niko	XAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201405086670
DI	Soodakattila osittain	2013	Jäännösalkalin ja ligniinin pitoisuuksien määrittäminen mustalipeäprosessissa	Determination of effective alkali and lignin content in black liquors	Leinonen, Arttu	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201310167707
DI	Soodakattila osittain	2013	Estimation and modelling of black liquor heat content		Jafri, Yawer	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020122859747
Väitös	Soodakattila osittain	2013	Additional revenue opportunities in pulp mills and their impacts on the kraft process		Hamaguchi, Marcelo	LUT	kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-265-541-7

Väitös	Soodakattila osittain	2013	Utilisation aspects of ashes and green liquor dregs from an integrated semichemical pulp and board mill	Puolikemiallisen sellu- ja kartonkitehtaan tuhkan ja soodasakan hyötykäytön näkökulmia	Manskinen, Kati	TKK/Aalto	kyllä	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-5221-2
AMK	Soodakattila osittain	2013	Suunnittelun lähtötiedot		Hakkarainen, Antti	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013052711017
Väitös	Soodakattila osittain	2012	Utilization of non ferrous metals in boiler combustion environment		Gordyushenkov, Egor	LUT	kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2012121210286
AMK	Soodakattila osittain	2012	Voimalaitoksen energiatalouden optimointi		Palovaara, Virve	XAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201203303956
DI	Soodakattila osittain	2011	Methanol production possibilities in kraft pulp mill		Elashmi, Syed Farhan	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020122358592
AMK	Soodakattila osittain	2011	Sellutehtaan keittokemikaalien regenerointi		Korhonen, Pauli	SAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011052710010
AMK	Soodakattila osittain	2011	Putkiston painon jakautuminen erikokoisissa soodakattiloissa osaprosesseihin ja materiaaliryhmiin		Sikanen, Tuomas	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201103243537
DI	Soodakattila osittain	2010	Kattilalaitoksen piirikohtaisten toimintakuvausten generointi	Generation of loop-specific functional description of boiler plants	Seppälä, Jarmo	TTY	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201008201298
DI	Soodakattila osittain	2009	Sellutehtaan sekundäärilämmön käytön tehostaminen	Development of Secondary Heat System at Pulp Mill	Tapanen, Risto	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe200911122335
DI	Soodakattila osittain	2009	Soodakattilalaitoksen savukaasupuhallinhuoneen teräsrakenteiden suunnittelu		Busk, Antti	OY	Ei	https://solecris oulu.fi/crisyp/disp/ /en/cr_redir_all /fet/fet/sea?direction=2&id=-74339
DI	Soodakattila osittain	2009	Sulfaattisellutehtaan hajukaasujärjestelmien kehittäminen	Development of non-condensable gas systems of a kraft pulp mill	Smolander, Eevi	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120555594
DI	Soodakattila osittain	2008	Ilmaan johdettavien päästöjen tarkkailun luotettavuus	Quality assurance of air emission monitoring at pulp mill	Naukkarinen, Minna	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/42653
DI	Soodakattila osittain	2008	Oxidation of high volume low concentration odorous gases with flare incinerator	Laihojen hajukaasujen hapettaminen soihtupolttimella	Tuominen, Lauri	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120554421
DI	Soodakattila osittain	2007	Energy Utilisation in Kraft Pulp Mills	Sellutehtaan energiankulutus	Nieminen, Markus	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120553342
Väitös	Soodakattila	2006	Spray formation of high dry solids black liquor in recovery boiler furnaces	Korkeakuiva-aineisen mustalipeän pisaroituminen soodakattilan tulipesässä	Miikkulainen, Pasi	TKK/Aalto	kyllä	http://urn.fi/urn:nbn:fi:tkk-008545
DI	Soodakattila osittain	2005	Lignosulfonaattien vaikutus mäntyöljyn erottumiseen palstoitusprosessissa	Effect of lignosulphonates on the separation of tall oil in acidulation process	Juhana Viitala	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120451887
DI	Soodakattila osittain	2005	Simulation of a recrystallization process	Kiteytymisen mallinnus	Vanhanen, Tuomas	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120451106
DI	Soodakattila osittain	2002	Nitrogen Oxides Reduction Possibilities at Pulp Mill and Power Plant	Typenoksidipäästöjen vähentämismahdollisuudet sellutehtaalla ja voimalaitoksella	Kianto, Inka	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/34454
DI	Soodakattila osittain	2002	Odour abatement system of the kraft pulp mill and its impact assessment with a dispersion model	Sulfaattisellutehtaan hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmä sekä sen vaikutusten arviointi leviämismallin avulla	Lehtinen, Tuomas	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120449090
DI	Voimalaitos / kattila	2023	Kuumaöljykattilan palaminen ja hyötysuhde	Combustion and boiler efficiency of hot oil boiler	Tiittanen, Teemu	LUT	Ei	https://lutpub.lut.fi/handle/10024/165183
DI	Voimalaitos / kattila	2022	Agglomeraation hallinta kiertoileijukattilassa		Kasvi, Roope	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022080252504
AMK	Voimalaitos / kattila	2022	Paksuusmittaukset höyrykattiloiden käyttöiän ennustamisen apuna		Tullinen, Aleks	JAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022051810193
Väitös	Voimalaitos / kattila	2022	Analysis and design of carbon dioxide utilization systems and infrastructures		Karjunen, Hannu	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-873-7
Väitös	Voimalaitos / kattila	2022	Experimental and Modeling Studies of Pulverized Biomass Combustion : Analysis of Flames, Superheaters, and Gaseous and Particulate Emissions		Niemelä, Niko P.	TTY	Kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2348-6
AMK	Voimalaitos / kattila	2021	Kenttälaitteiden käytettävyyys turva-automaatiojärjestelmässä		Noronkoski, Teemu	TAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202104084442
AMK	Voimalaitos / kattila	2021	Kattila 7:n säilöntä		Puustinen, Aleks	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021052511175
DI	Voimalaitos / kattila	2020	Development of a bubbling fluidised bed furnace model	Leijukerroskattilan mallin kehitystyö	Secomandi, Markus	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020062946161
DI	Voimalaitos / kattila	2020	Kattilalaitetekonaisuuden vaatimustenmukaisuuden arviointi painelaitedirektiivin mukaisesti		Uski, Juho	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020052539117

DI	Voimalaitos / kattila	2020	Tulistimen mitoitus, mallinnus ja loppulämpötilan säätö	Design, modeling and final temperature control of a superheater	Impppola, Ari	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020040310330
AMK	Voimalaitos / kattila	2020	Poltinohjaukset		Huttunen, Kimmo	Savonia AMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202002011897
Väitös	Voimalaitos / kattila	2020	Fluidized bed combustion and humidified gas turbines as thermal energy conversion processes of the future		Mankonen, Aleksi	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-607-8
DI	Voimalaitos / kattila	2019	70 MWth kuplapetikattilan typenoksidipäästöjen vähentäminen	Reduction of nitrogen oxides in a 70 MWth bubbling fluidized bed boiler	Ketonen, Eetu	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201901283309
DI	Voimalaitos / kattila	2019	Polttoaineseoksen vaikutus savukaasupäästöihin leijukerroskattilassa	The effect of fuel mix on flue gas emissions in fluidized bed combustion	Hirvonen, Toni	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201903057101
DI	Voimalaitos / kattila	2019	Kaasukattilan elinikäselvitys ja tehtaan höyrytuotannon turvaaminen uudella kattilalla		Niemi, Sami	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019040310912
AMK	Voimalaitos / kattila	2019	Voimakattila K3:n korjaus- ja tarkastushistoriaselvitys		Väänänen, Ari-Kalle	OAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019053113709
Väitös	Voimalaitos / kattila	2019	Effects of Temperature Gradient on Ash Deposit Aging and Heat Exchanger Corrosion		Niemi, Jonne	ÅA	Kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-12-3866-6
DI	Voimalaitos / kattila	2018	Metsä Board Simpele, kattila K6 ajettavuus ja päästöjen hallinta	Metsä Board Simpele, boiler K6 runnability and flue gas emission control	Hanski, Tuomas	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201804046335
AMK	Voimalaitos / kattila	2018	Tarkastustoiminnan markkina-analyysi		Vilpas, Juuso	TAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804174818
Väitös	Voimalaitos / kattila	2018	From Boiler to Atmosphere: Effect of Fuel Choices on Particle Emissions from Real-Scale Power Plants		Mylläri, Fanni	TTY	Kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-4214-5
Väitös	Voimalaitos / kattila	2018	Influence of biomass pre-treatments on the formation of NO and NO-precursors in the different combustion stages		Schmid, Daniel	ÅA	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018112348910
AMK	Voimalaitos / kattila	2017	Simulointijärjestelmä tehdaspolttimien koeajoon		Järvinen, Artti	TAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017053010963
AMK	Voimalaitos / kattila	2017	Tulistinleikkurin suunnittelu		Kananoja, Eeti	TAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201702252698
AMK	Voimalaitos / kattila	2016	Leijukerroskattila K3:n minimikuorma : ilmajako ja kiertokaasun käytön vaikutukset NOx-päästöihin		Kuuppa, Mika	OAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201603032829
DI	Voimalaitos / kattila	2015	Kiertoleijupetikattilateknologia ja sen matemaattinen mallinnus energiantuotantoprosessissa		Mankonen, Aleksi	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015102615047
DI	Voimalaitos / kattila	2015	Biomassakattilan simulointi	Simulation of Biomass Boiler	Lamberg, Kari	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015111217150
DI	Voimalaitos / kattila	2015	Leijukerroslämmönsiirtimien tukkeutuminen biovoimalaitoksessa	Fouling and slagging problems in bio power plant fluidized bed heat exchangers	Rytkönen, Mikael	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201505228795
DI	Voimalaitos / kattila	2014	Biovoimalaitoksen energiatehokkuuden parantaminen ja osakuorma-ajon optimointi	Improving energy efficiency of biomass power plant and optimizing partial-load operation	Ikonen, Ossi	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201401271285
Väitös	Voimalaitos / kattila	2014	Fate of fuel-bound nitrogen and sulfur in biomass-fired Industrial boilers		Vainio, Emil	ÅA	Kyllä	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-12-3010-3
DI	Voimalaitos / kattila	2011	Vaativien kanavien vaatimusten mukainen mitoitus kattilalaitoksessa	Structural Sizing of Demanding Ducts for Power Stations	Toropainen, Lauri	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201106101727
DI	Voimalaitos / kattila	2010	Bubbling fluidized bed combustion furnace modelling	Kuplapetipolttokattilan tulipesän mallintaminen	Rossi, Antti	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020122357883
DI	Voimalaitos / kattila	2009	A three dimensional study of heat transfer in a supercritical circulating fluidized bed combustor	A three dimensional study of heat transfer in a supercritical circulating fluidized bed combustor	Nikku, Markku	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/46937
DI	Voimalaitos / kattila	2009	Heat transfer in superheaters of the bubbling fluidized bed boiler conversions	Kerrosleijukattilamuutosten tulistimien lämmönsiirto	Romppanen, Petri	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/45416
AMK	Voimalaitos / kattila	2009	HYBEX-kattilalaitoksen rungon perussuunnittelun ja 3D-mallintamisen kehittäminen		Salo, Pekka	TAMK		https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201003064314
DI	Voimalaitos / kattila	2008	Radiative Heat Transfer in Boiler Furnaces	Säteilylämmönsiirto kattiloiden tulipesissä	Maximov, Alexander	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe200808041751
DI	Voimalaitos / kattila	2008	Polttoainekoostumuksen vaikutus lentotuhkan laatuun ja hyötykäyttömahdollisuuksiin UPM-Kymmene Oyj:n Kaukaan tehtailla		Anttila, Hanna-Kaisa	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe200805151395
DI	Voimalaitos / kattila	2007	Monipolttoainekattilan päästöjen tarkkailu ja raportointi		Hannola, Mikko	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20042029

AMK	Voimalaitos / kattila	2007	Membraneseinän ohituspiirustusten ohjeistus		Lahtinen, Onni	TAMK		https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201003063582
AMK	Voimalaitos / kattila	2006	Kattilan kanavistojen rakennemitoitusten kehittäminen		Niskanen, Janne	TAMK	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201003063683
DI	Voimalaitos / kattila	2002	Kiertoleijukattilan tulipesän lämmönsiirtoprofiilien määrittäminen ja mallinnus	The definition and modeling of heat transfer profiles in furnace of the circulating fluidized bed boiler	Parkkonen, Riku	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/34929
DI	Voimalaitos / kattila	2001	Advanced control methods for reducing nitrogen oxides in a fluidized bed boiler	Kehittyneet säätömenetelmät erään leijukerroskattilan typen oksidien vähentämisessä	Lintunen, Teija	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20011267
DI	Voimalaitos / kattila	2001	Kerrosleijukattilan polttoaineensyötön ja ilmasäätöjen tutkiminen	Research of the fuel feeding system and air settings in the fluidized bed boiler	Matilainen, Mikko	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/35367
DI	Kemikaalien talteenotto	2021	Vierasaineiden käyttäytyminen sulfaattisellutehtaan kalkkikierrossa	Behavior of non-process elements in lime cycle of kraft pulp mill	Metakorpi, Aatu	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202103117191
DI	Kemikaalien talteenotto	2021	Lime kiln fuel options and effects on the pulp mill energy balance	Meesauunin polttoainevaihtoehdot ja niiden vaikutukset sellutehtaan energiataseeseen	Tiitta, Paavo	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021100449279
DI	Kemikaalien talteenotto	2021	Modelling of a lime kiln using renewable fuels and study of oxyfuel combustion	Meesauunin mallintaminen uusiutuvilla polttoaineilla sekä happipolton käytön tutkinta	Vainikainen, Olli	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202106207546
DI	Kemikaalien talteenotto	2020	Seisokkivälit sulfaattisellutehtaan kemikaalien talteenotossa	Shutdown intervals in kraft pulp mill's chemical recovery	Hasanen, Miikka	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20201216100926
DI	Kemikaalien talteenotto	2020	Meesauunin ongelmallinen renkaan muodostuminen		Lyytinen, Simo	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202002206013
DI	Kemikaalien talteenotto	2020	Techno-economic study of bioethanol production as a carbon capture and utilization process	Teknoekonominen analyysi bioetanolin tuotannosta hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttöprosessina	Kosonen, Paula	TTY	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202011057831
DI	Kemikaalien talteenotto	2019	The quality optimization of pulp and paper industry side streams for further utilization	Paperi- ja selluteollisuuden sivuvirtojen laadun optimointi jatkokäyttöä varten	Halonen, Hanna	LUT	ei	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019121748460
DI	Kemikaalien talteenotto	2019	Non-process elements in the recovery cycle of six Finnish Kraft pulp mills		Karlemo, Camilla	ÅA	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019060418412
DI	Kemikaalien talteenotto	2019	Nitrogen oxide reduction in lime kiln gas burning	Typpioksidien vähennys mesauunin kaasun poltossa	Särkkä, Jaana	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019111438202
DI	Kemikaalien talteenotto	2019	Meesauunin fossiilivapaat polttoaineet	Lime kiln fossil free fuels	Mäkelä, Janne	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019123049443
DI	Kemikaalien talteenotto	2019	Päästökaupan vaikutukset mesauunin biopolttoaineinvestointiin sulfaattisellutehtaalla		Lonka, Emma	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019061720664
DI	Kemikaalien talteenotto	2018	Meesauunin turva-automaatiojärjestelmän eheyden tason tarkastelu ja määräaikaistestausvälin määrittäminen		Suikkanen, Marko	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019120545850
DI	Soodakattila osittain	2016	Feasibility of Carbon Capture in Kraft Pulp Mills	Hiilidioksidin talteenoton sovellettavuus sulfaattisellutehtaisiin	Kouri, Sampo	TTY	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201602243559
DI	Kemikaalien talteenotto	2015	Waste to product - Improving the utilization potential of green liquor dregs by using froth flotation	Jätteestä tuotteeksi- Viherlipeäsakan käsittely vaahdotustekniikalla hyötykäyttöä varten	Bredenberg, Mia	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201502191897
DI	Kemikaalien talteenotto	2015	Meesauunin vaipan konepajavalmistus ja laaduntarkastus		Turunen, Perttu	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015091813556
DI	Kemikaalien talteenotto	2014	Reduction of nitrogen oxide emissions in lime kiln		Hakkarainen, Timo	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014120452132
DI	Kemikaalien talteenotto	2014	Biohiilen teknillistaloudelliset käyttömahdollisuudet mesauuneissa	Technical and economical usage possibilities of biocoal in lime recovery kilns	Kukkonen, Olli	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014120146718
DI	Kemikaalien talteenotto	2014	Optimization of the evaporation plant capacity	Haihduuttamon kapasiteetin optimointi	Korhonen, Ville	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201408212441
DI	Kemikaalien talteenotto	2013	Literature study of present and new methods for reducing non-process elements in the lime circulation of a kraft pulp mill		Mehtonen, Niko	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201310167711
DI	Kemikaalien talteenotto	2013	Methanol balance of digestion and evaporation plant and methanol utilization possibilities for a kraft pulp mill	Keittämön ja haihduttamon metanolitase ja metanolin hyödyntäminen eräällä sellutehtaalla	Ukonaho, Kalle-Valtteri	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201401101110
DI	Kemikaalien talteenotto	2012	Kadmium viherlipeäsakassa ja viherlipeäsakan uudelleenkiteytyminen		Saukkonen, Leena	OY	Ei	https://solecris.oulu.fi/crisyp/dispatch/en/cr_redir_all/fet/fet/sea?direction=2&id=132572498

DI	Kemikaalien talteenotto	2012	Kaustistamon toiminnan kehittäminen	Development of a causticizing plant	Röykkä, Erik	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020122859177
DI	Kemikaalien talteenotto	2011	Optimizing pulp mill's energy efficiency	Sellutehtaan energiatehokkuuden optimointi	Tiirikainen, Petteri	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020122358358
DI	Kemikaalien talteenotto	2010	Sodium and sulfur balance of a kraft pulp mill	Sulfaattisellutehtaan rikki- ja natriumtase	Kontu, Timo	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020122356641
DI	Kemikaalien talteenotto	2009	Deposit formation and heat transfer in a recovery lime kiln cooler		Linden, Isak	ÅA	Ei	ÅA kirjasto, ei pysyvää linkkiä
DI	Kemikaalien talteenotto	2008	Viherlipeäsakan ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät Metsä-Botnian Kemin sellutehtaalla		Kankaanpää, Mikko	OY	Ei	https://solecris.oulu.fi/crisyp/dispatch/en/cr_redir_all/fet/fet/sea?direction=2&id=-69765
DI	Kemikaalien talteenotto	2007	Keittolipeän koostumuksen vaikutus viherlipeämassan ominaisuuksiin	Effect of Cooking Liquor's Composition on the Quality of Green Liquor Pulp	Eronen, Tommi	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120553887
DI	Kemikaalien talteenotto	2007	Bark product gas as a lime kiln fuel		Mykrä, Ville	ÅA	Ei	ÅA kirjasto, ei pysyvää linkkiä
DI	Kemikaalien talteenotto	2006	Optimizing chemical recovery and power plant	Kemikaalikierron ja voimalaitoksen optimointi	Hirvonen, Liisa	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120552717
DI	Kemikaalien talteenotto	2006	Identification of causticizing and its control by model predictive control	Kaustisoinnin identifiointi ja sen ohjaus malliprediktivisellä säädöllä	Kauvosaari, Sakari	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120552615
DI	Kemikaalien talteenotto	2005	Virtaavien aineiden asettamat suunnitteluvaatimukset haihduttamon putkisto- ja laitesuunnittelussa	Designing requirements for evaporation plant piping and equipment designing set forth by running mediums	Ålander, Antti	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/30264
DI	Kemikaalien talteenotto	2003	Kemikaalitaseen hallinta sellutehtaassa	Chemical balance in a pulp mill	Heinonen, Timo	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/34441
DI	Kemikaalien talteenotto	2003	Meesauunin polttovyöhykkeen lämmönsiirron ja palamisen mallinnus	Modelling of heat transfer and combustion in the combustion zone of the lime kiln	Toropainen, Teemu	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/35204
DI	Kemikaalien talteenotto	2002	Uuttoprosessin suunnittelu	Design of a Leaching Process	Brown, Tarja	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/35466
DI	Kemikaalien talteenotto	2002	Viherlipeäsakan suotautuvuuden tutkiminen	Filterability of green liquor dregs	Niinivaara, Irina	TKK/Aalto	Ei	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020120450203
DI	Kemikaalien talteenotto	2002	Meesauunin mekaniikan simulointi	Simulation of Lime Kiln Mechanics	Nousiainen, Kimmo	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/34299
DI	Kemikaalien talteenotto	2000	Sulfaattisellutehtaan kemikaalikierron vierasainetasot ja kalkkikierron aukaisu.	The Levels of Non-Process Elements in a Kraft Mill Chemical Recovery System and the Opening of the Lime Cycle.	Holamo, Sami	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/34486
DI	Ligniini	2023	Recognizing measures to reduce environmental impacts of lignin-derived hard carbon production		Han, Xiaoning	LUT	Ei	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2023021527318
DI	Ligniini	2019	Curing characteristics of lignin-phenol-formaldehyde resins for OSB panel	OSB-levyissä käytettyjen ligniini-fenoli-formaldehydiartsien kovettumisen karakterisointi	Ruohola, Pia	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019062021455
DI	Ligniini	2016	The effect of liquor heat treatment on the lignin carbohydrate content	Lipeän lämpökäsittelyn vaikutus ligniinin hiilihydraattipitoisuuteen	Tiainen, Jussi	TKK/Aalto	Kyllä	http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201605262220
DI	Ligniini	2015	Lignin oxidation by PCD technology		Ylitalo, Laura	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015092313872
DI	Ligniini	2015	Separation of lignin in Pulp Mill process and its effect on sodium sulphur balance		Partanen, Venla	LUT	Kyllä	https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015110916220
DI	Ligniini	2012	Purified lignin for demanding applications		Sundberg, Rauna	LUT	Ei	http://lutpub.lut.fi/handle/10024/77075
DI	Ligniini	2012	Catalytic hydrogenolysis of kraft lignin		Keränen, Hilikka	OY	Ei	https://solecris.oulu.fi/crisyp/dispatch/en/cr_redir_all/fet/fet/sea?direction=2&id=130369223