

LAPPEENRANNAN–LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT

LUT School of Energy Systems

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH60A4001 Ympäristötekniikan kandidaatintyö

**METSÄTEOLLISUUSLAITOSTEN JÄTE- JA JÄÄHDYTYSVEDEN  
LÄMPÖKUORMAN MÄÄRITTÄMINEN JA VALVONTA**

**Determination and monitoring of the thermal load of waste and cooling water in fo-  
rest industries**

Työn tarkastaja: professori, TkT Risto Soukka

Työn ohjaaja: laboratorioinsinööri, TkL Simo Hammo

Työn ohjaaja: yli-insinööri, FT, DI Timo Ålander

Työn ohjaaja: kehitysinsinööri, DI Mika Toikka

Lappeenrannassa 20.1.2020

Siiri Kasurinen

# TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto

LUT School of Energy Systems

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Siiri Kasurinen

## **Metsäteollisuuslaitosten jäte- ja jäähdytysveden lämpökuorman määrittäminen ja valvonta**

Kandidaatintyö

2020

43 sivua, 3 taulukkoa ja 5 kuvaa

Työn tarkastaja: professori, TkT Risto Soukka

Työn ohjaaja: laboratorioinsinööri, TkL Simo Hammo

Työn ohjaaja: yli-insinööri, FT, DI Timo Ålander

Työn ohjaaja: kehitysinsinööri, DI Mika Toikka

Hakusanat: lämpökuorma, vesitase, energiatase, metsäteollisuus

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää Suomen kemiallisen puunjalostusteollisuuden toiminasta muodostuvan lämpökuorman syntyperä vesi- ja energiataseiden avulla sekä tarkastella lämpökuormaan liittyviä valvontavelvoitteita. Lisäksi työssä on eritelty lämpökuorman vesistövaikutukset biologisiin, kemiallisiin ja fysikaalisiin riskitekijöihin. Työ on suoritettu kirjallisuuskatsauksena ja lämpökuormaa tarkastellaan sekä viranomaisten että toiminnanharjoittajien näkökulmasta. Eri näkökulmien huomioiminen koostaa kokonaiskuvan lämpökuorman mittaamisesta ja valvonnasta.

Metsäteollisuuslaitoksen päästämä lämpökuorma syntyy pääasiallisesti turbiinien ja haihduttamon lauhduttimissa sekä eri prosesseissa käytetystä lämmitetystä vedestä. Työssä läpikäytyjen asiakirjojen pohjalta vaikuttaa, että lämpökuorman määrittäminen ei ole yksikäsitteistä. Ongelman aiheuttaa veden kiertäminen metsäteollisuuslaitoksen prosesseissa useaan kertaan, jolloin veden lämpötilamuutoksen laskeminen vaikeutuu. Lämpökuorman valvontaan liittyy tiettyjä epäselvyyksiä, jotka vaikeuttavat toiminnanharjoittajien ja viranomaisten yhteistyötä. Raja-arvojen määrittäminen ja mittausvelvoitteiden selventäminen yhtenäistäisivät käytäntöjä eri laitosten välillä, jolloin lämpökuorman tarkkailu selkeytyisi. Päästetyn lämpökuorman suuruuden kohtuullisuuteen vaikuttavat aiheutuvien ympäristövaikutusten laajuus, suuruusluokka ja pysyvyys.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
LUT School of Energy Systems  
Degree Programme in Environmental Technology

Siiri Kasurinen

### **Determination and monitoring of the thermal load of waste and cooling water in forest industries**

Bachelor's thesis

2020

43 pages, 3 charts and 5 pictures

Examiner: Professor Risto Soukka

Instructor: Laboratory Engineer Simo Hammo

Instructor: Senior Engineer Timo Ålander

Instructor: Development Engineer Mika Toikka

Keywords: thermal load, water balance, energy balance, forest industry

The goal of this Bachelor's thesis is to figure out the origin of the thermal load from the Finnish chemical wood processing industry and how it has been monitored. Water and energy balances of industrial plant demonstrate the flow of thermal load in the process. This thesis also classifies the environmental effects of thermal load on biological, chemical and physical risk factors. This thesis is a literature review and there is used two perspectives: operators and authorities. With this two perspectives this thesis is a good general view of the determination and monitoring of the thermal load.

The emitted thermal load by the forest industry is mainly generated in the condensers of turbines and evaporators. The pulp industry also needs hot water in its process, which increases the temperature of the water to be discharged. The results of the thesis showed that the determination of the thermal load is not clear. The problem is to find the reference temperature for the calculation, because the water cycle is complex. There is some confusions at the monitoring of the thermal load which makes cooperation between operators and authorities more difficult. The defining of limit values and the clarification of measurement obligations would harmonize practices between different installations. With limit values the monitoring of the thermal load would be easier. The temperance of the thermal load discharged is influenced by the range, extent and persistence of the environmental effects caused.

# SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO .....	6
1. JOHDANTO .....	7
2. JÄTE- JA JÄÄHDYTYSVEDEN SISÄLTÄMÄ LÄMPÖKUORMA.....	9
2.1. Vesitase .....	10
2.2. Energiatase .....	13
2.2.1. Tuotantolaitoksen tarvitsema ja tuottama energia .....	14
2.2.2. Lämpökuorman syntyminen .....	16
2.3. Purkupaikan sijainti.....	18
2.4. Lämpökuorman ympäristövaikutukset.....	20
2.4.1. Biologiset riskitekijät.....	20
2.4.2. Kemialliset riskitekijät.....	22
2.4.3. Fysikaaliset riskitekijät .....	23
3. LÄMPÖKUORMAN VALVONTA.....	24
3.1. VALVONTAVELVOITTEET .....	24
3.1.1. Lainsäädäntö .....	24
3.1.2. BAT-päätelmät.....	25
3.1.3. BAT-vertailuasiakirjat .....	26
3.2. Lämpökuorman määrittäminen .....	27
3.3. Toimintatavat ja -menetelmät .....	28
4. LÄMPÖKUORMA METSÄTEOLLISUUSLAITOSTEN TOIMINNASSA .....	30
4.1. Ympäristövaikutusten arviointi.....	30
4.2. Ympäristöluvut.....	31
4.3. Päästötarkkailu .....	33
4.4. Vaikutustarkkailu .....	34

5. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	35
6. YHTEENVETO.....	37
LÄHTEET .....	40

## SYMBOLILUETTELO

### Lyhenteet

BAT	Best Available Technology, paras mahdollinen tekniikka
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
BREF	BAT Reference Document, BAT- vertailuasiakirjat
YSA	Ympäristönsuojeluasetus
YSL	Ympäristönsuojelulaki
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
BOD	Biological Oxygen Demand, biologinen hapenkulutus
COD	Chemical Oxygen Demand, kemiallinen hapenkulutus
AOX	Adsorbable Organic Halogen, orgaanisesti sitoutuneen kloorin määrä

### Yksiköt

MJ	megajoule
kWh	kilowattitunti
MWh	megawattitunti
TWh	terawattitunti
ADt	air dry metric tonne of pulp: sellumassa, jonka kuiva-ainepitoisuus on 90 %
m <sup>3</sup>	kuutiometri

## 1. JOHDANTO

Aiemmin tuotantolaitosten pääsääntöisenä päästömuotona on pidetty erilaisia aineita, kuten typpeä ja fosforia. Tällöin ympäristöön päästettyjen aineiden pitoisuudet ovat olleet yksikäsitteisesti analysoitavissa ja niiden seuranta on ollut helppoa laadittujen raja-arvojen takia. Nykyään päästöksi luokitellaan myös tuotantolaitosten ympäristöön päästämä energia. Tämä energia voidaan havaita säteilyinä, valona, lämpönä, meluna tai värinänä. Ympäristöön pääsyt energia on yleensä paikallista ja muokkaa vaikutusalueen ympäristön tilaa.

Metsäteollisuuslaitokset päästävät ympäristöön energiaa pääosin lämpönä. Syntynyt lämpö voidaan osittain hyödyntää prosessissa, mutta jäljelle jäänyt hukkalämpö johdetaan yleensä jäte- ja jäähdytysveden mukana vesistöihin. Metsäteollisuuslaitokset ovat pyrkineet tehostamaan vedenkäyttöään ja vähentämään käytetyn veden määrää, jolloin lämpö tulee sitoa pienempään vesimäärään (Metsäteollisuus ry 2019). Tuotantolaitosten vesistöihin päästämää lämpöä kutsutaan lämpökuormaksi, jonka suuruus määräytyy tuotantolaitoksen energiatehokkuuden mukaan. Lämpökuorma aiheuttaa vesistöissä typpi- ja fosforipäästöjen tapaan muutoksia vesistöjen ekologiaan, ja lämpökuorman ympäristövaikutukset voidaan jakaa biologisiin, kemiallisiin ja fysikaalisiin riskitekijöihin. (Kettunen et al. 2009, 17-19.)

Ympäristönsuojelulain (2014/527) 27 §:n mukaan toiminnalle, joka aiheuttaa ympäristön pilaantumisen vaaraa, tarvitaan ympäristölupa. Ympäristöluvassa määritetään toiminnan laajuus, syntyvien päästöjen raja-arvot ja arvoihin liittyvä seuranta (Ympäristönsuojelulaki 2014/527). Ympäristölupapäätös perustuu BAT-päätelmissä (Best Available Technique) annettuihin lupamääräyksiin ja raja-arvoihin (Suomen ympäristökeskus 2018). Metsäteollisuuslaitosten uusissa ympäristöluvuissa on otettu huomioon myös lämpökuormien aiheuttamat ympäristövaikutukset sekä niiden seuranta (Suomen ympäristökeskus 2019). Lämpökuormien ympäristövaikutukset ovat sidonnaisia vuodenaikaan, koska lämmön vaikutukset vesistön tilaan vaihtelevat ympäristön lämpötilan mukaan. Tällöin myös ympäristöluvassa täytyy olla eriteltyinä erikseen vuodenaikaan sidonnaiset ympäristövaikutukset.

Lämpökuorman määrittelyyn ja seurantaan liittyy epäselvyyksiä, koska lämpökuorman määrittäminen päästökseen on uutta, joten ongelmana on lämpökuorman ja sen ympäristövaikutusten yksikäsitteinen selvittäminen. Kuitenkin ympäristölupaehdot velvoittavat toiminnanharjoittajana seuraamaan ja raportoimaan sekä lämpökuorman suuruutta että lämpökuormasta aiheutuvia paikallisia ympäristövaikutuksia. Tämä kandidaatintyö tehdään yhteistyössä Kaakkois-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY-keskus) kanssa. ELY-keskus toimii valvontaviranomaisena tuotantolaitosten ympäristöasioissa ja hoitaa myös lämpökuorman määrittämiseen ja raportointiin liittyvää valvontaa.

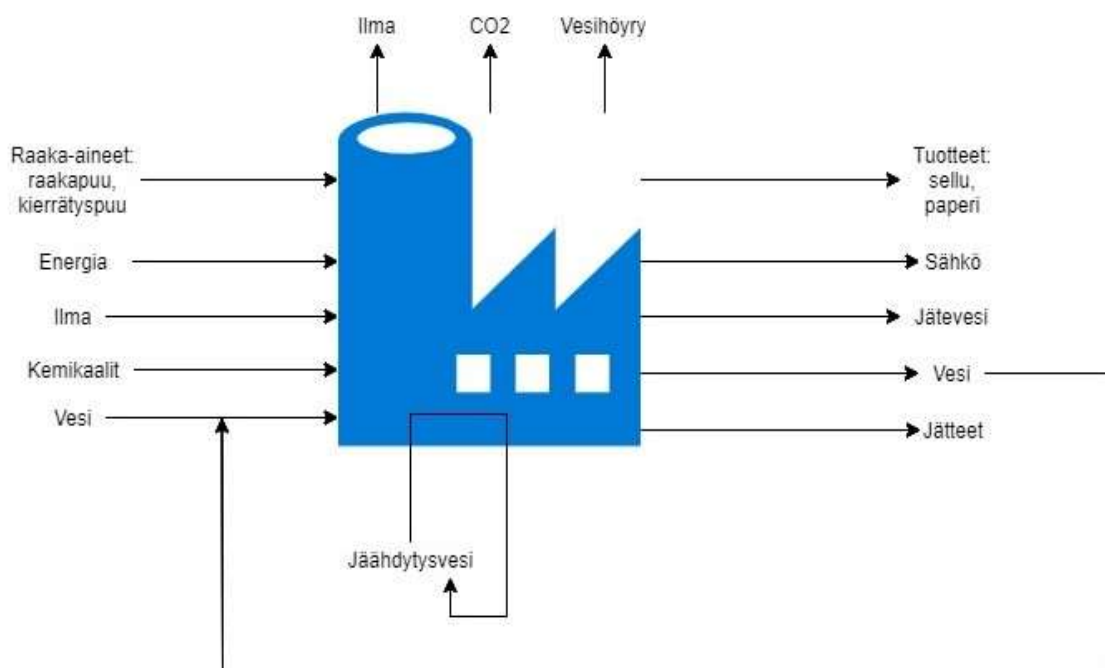
Kandidaatintyössä keskitytään Suomen kemiallisen puunjalostusteollisuuden tuotantolaitosten jäte- ja jäähdytysvesipäästöihin. Työn tavoitteena on selvittää Suomen kemiallisen puunjalostusteollisuuden vesi- ja energiataseet ja tarkastella toiminnanharjoittajien valvontamenetelmiä lämpökuorman tarkkailussa. Lisäksi työssä kootaan lämpökuorman aiheuttamat vesistövaikutukset. Työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat: Mistä metsäteollisuuslaitoksen lämpökuorma on peräisin, ja miten lämpökuormaa käsitellään laitosten ympäristöluissa? Työn tutkimusmenetelmät pohjautuvat metsäteollisuuslaitosten voimassa oleviin ympäristöluksiin sekä niiden valvontaan liittyviin julkisiin raportteihin.

Teoriaosassa keskitytään vedenkäyttökohteisiin kemiallisella puunjalostamolla. Vedenkäyttöä ja sen lämpötilan kasvua kuvataan vesi- ja energiataseiden avulla. Lisäksi työn alkuosassa käsitellään lämpökuorman aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Työ etenee tarkastelemaan lämpökuormaa ja sen valvontaa lainsäädännön ja viranomaisnäkökulman perusteella. Sen jälkeen käsitellään, miten lämpökuorma on otettu huomioon tuotantolaitosten ympäristöluissa ja tarkkailusuunnitelmissa. Lopuksi pohditaan lämpökuorman määrittämisen ja valvonnan riittävyyttä.



## 2. JÄTE- JA JÄÄHDYTYSVEDEN SISÄLTÄMÄ LÄMPÖKUORMA

Kuva 1 esittää metsäteollisuuslaitoksen toimintaan liittyviä aine- ja energiavirtoja. Metsäteollisuuslaitokset ovat usein tehdaskokonaisuuksia eli integraatteja, joissa tuotetaan perinteisen sellun lisäksi esimerkiksi paperia, kartonkia ja sähköä. Kuvassa 1 esitetyt aine- ja energiavirrat liittyvät vain selluntuotantoon. Yleisimmät selluntuotantoprosesseihin tarvittavat aineet ovat raakapuu, ilma, erilaiset kemikaalit ja vesi sekä energia, joka voi olla joko tuotantolaitoksella tuotettua tai ostettua lämpöä ja sähköä. Näistä raaka-aineista laitoksella saadaan tuotettua lopputuotetta eli sellua sekä sähköä. Tuotantoprosessissa syntyy myös jättevettä, jätettä sekä hukkalämpöä, joka on sitoutunut ilmaan ja veteen. Tuotantolaitoksen toiminnasta syntyy päästöjä myös ilmaan (kuva 1).



Kuva 1. Metsäteollisuuslaitoksen tasekuva tuotantoprosessissa tarvittavista ja syntyvistä aineista ja energiasta (Bajpaj 2018, 534).

Metsäteollisuuslaitosta voidaan kuvailla huonolla hyötysuhteella toimivaksi voimalaitokseksi, koska laitokselle tuodun puun sisältämästä energiasta saadaan hyödynnettyä vain pieni osa. Hyötysuhde on olennainen osa lämpökuorman suuruuden selvittämistä, koska ylimääräinen energia johdetaan ympäristöön lämpönä. Metsäteollisuuslaitoksen päästämän

lämpökuorman määrittämiseen vaikuttaa käytetyn veden määrä ja siihen johdettu lämpöenergia. Kuvaan 1 merkityt tuleva ja lähtevä vesi, jätevesi sekä jäähdytysvesi ovat kiinnostavia komponentteja lämpökuormaa käsiteltäessä. Seuraavissa kappaleissa käsitellään tuotantolaitoksen vesi- ja energiataseita, jotka selkeyttävät veden kiertoa tuotantolaitoksella, lämmön syntyperää ja sen kulkeutumista vesistöön.

## 2.1. Vesitase

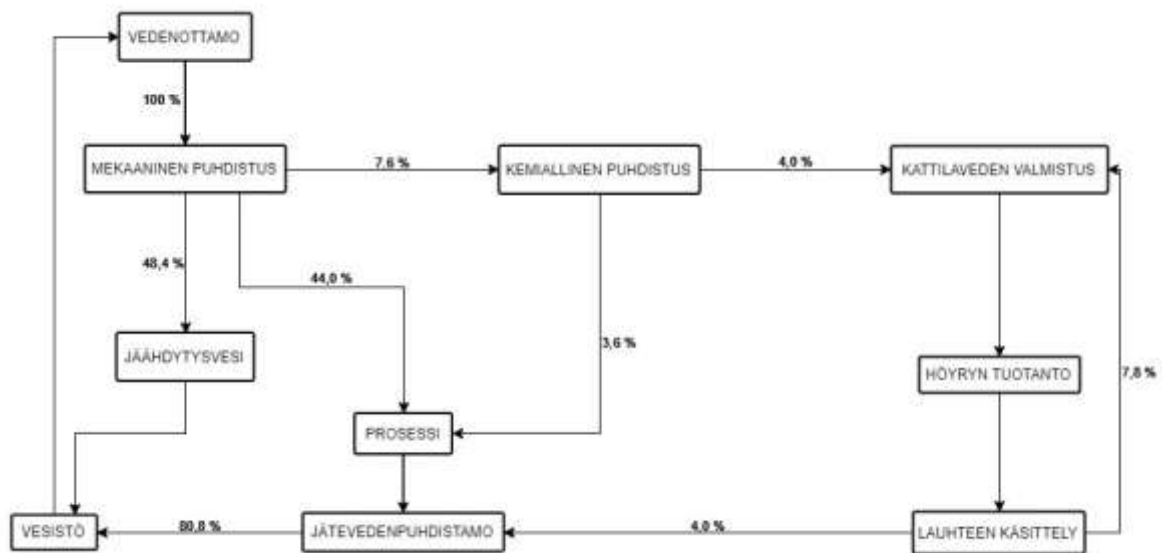
Vesi on puunjalostusteollisuudelle tärkeä komponentti ja prosessien toiminnan edellytys. Vettä käytetään tuotantoprosesseissa raaka-aineena sekä energian ja puukuitujen kuljetusväliaineena (Metsäteollisuus ry 2019). Vettä tarvitaan myös kemikaalien liuottamiseen, puukuitujen pesuun sekä laitteiden puhdistukseen (KnowPulp 2019). Riittävän veden takaamiseksi metsäteollisuuslaitokset sijaitsevat usein vesistön äärellä. Tyypillisesti tuotantoprosesseissa tarvittava vesi otetaan läheisestä vesistöstä pintavetenä ja vesi palautetaan samaan vesistöön prosessikierron jälkeen (KnowPulp 2019). Vesistön kokonaisvesimassa pysyy siis samana, vaikka sitä hyödynnetäänkin selluntuotannossa.

Aikaisemmin metsäteollisuuslaitoksilla on käytetty runsaasti vettä, jolloin runsas vesimassa pystyi sitomaan tarvittavan määrän lämpöä ilman, että veden lämpötila olisi noussut turhan korkeaksi. Nykyään metsäteollisuudella on pyrkimys tehosta vedenkäyttöä. 50 vuoden aikana sellutonnin valmistukseen tarvittava vesimäärä on vähentynyt 250 kuutiosta 5–50 kuutiioon (Metsäteollisuus ry 2019). Veden vähentäminen on kasvattanut laitokselta ulostulevan veden lämpötilaa, mikä on aiheuttanut ongelman veden biologisen puhdistuksen toiminnassa. Vettä puhdistavat bakteerit kuolevat lämpötilan kohotessa liian suureksi, jolloin puhdistusteho heikkenee (Vakkilainen 2019).

Vedenkiertoa tuotantolaitoksella voidaan kuvata vesitaseella. Vesitase määrittelee voimalaitoksen käyttämän veden määrän ja erittelee sen jakautumisen eri kulutuskohteiden välillä (Dahl et al. 2013, 166). Yleensä tuotantolaitoksen vesitase sisältää prosessi- ja jäähdytysveden, vaikka se ei erittelekään välttämättä jäähdytysveden kulutuskohteita. Vesitase

määritetään otetusta raakavedestä, veden virtauksesta eri kulutuskohteilla sekä poistutetun jäte- ja jäähdytysveden virtauksesta. Jätevesi puhdistetaan tuotantolaitoksella, minkä jälkeen puhdistettu vesi ja puhdas jäähdytysvesi johdetaan takaisin läheiseen vesistöön.

Kuva 2 esittää tyypillisen metsäteollisuuslaitoksen vesitasekaaviota. Kaavion vesivirtaukset on esitetty prosenttiosuuskina veden kokonaisvirtaamasta. Kuvassa 2 on huomioitu sekä prosessi- että jäähdytysveden virtaukset. Tuotantolaitoksien vesitaseet ovat hyvin laitoskohtaisia ja vedenkäyttö laitoksien välillä vaihtelee suuresti. Myös jäähdytysvedentarpeessa on suuria eroja. Näin ollen kuva 2 on suuntaa antava yleistys metsäteollisuuslaitoksen vesitaseesta. Metsäteollisuuslaitokset ovat myös usein integraatteja ja niiden tuotanto-osat vaihtelevat, jolloin vedenkulua laitoksella ja käytetyn veden määrää ei voida määrittää yksikäsitteisesti. Metsäteollisuus ry (2019) on arvioinut, että sellutonnin valmistukseen tarvitaan yhteensä 5–50 kuutiota raakavettä. Haarukka on suuri, mikä kuvastaa tuotantolaitosten prosessien eroavaisuuksista.



Kuva 2. Tuotantolaitoksen vesitasekaavio. Veden virtausmäärät esitetty prosenttiosuuskina kokonaisvedenkulutuksesta. (Marttila 2019)

Kuvan 2 mukaan kaikki tuotantolaitokselle otettava raakavesi kulkeutuu vedenottamon kautta vedenkäsittelyyn. Raakaveden puhdistustarpeeseen ja määrään vaikuttavat

raakaveden laatu sekä tuotannossa käytettävän veden laatuvaatimukset. Myös vuodenaikat määrittelevät vedentarvetta, koska raakaveden laatu ja täten puhdistustarve vaihtelevat sekä jäähditysvedentarve pienenee talvella. Tuotantolaitoksella kiertävä vesi voidaan jakaa karkeasti vedenlaadun mukaan kolmeen eri osaan: mekaanisesti ja kemiallisesti käsiteltyyn veteen sekä kattilaveteen (KnowPulp 2019). Seuraavana on esitelty eri laatuisten veden valmistustapoja ja kulutuskohteita.

Kaikki raakavesi käsitellään ensimmäiseksi mekaanisesti, jolloin siitä poistetaan suodattamalla ja selkeyttämällä suurimmat kiinteät partikkelit. Vesi voidaan myös desinfioida putkistojen leväkasvustojen vähentämiseksi. Raakaveden kirkkaus määrittelee mekaanisesti käsitellyn veden kulutuskohteet. Jos raakavetenä käytetty vesi on tarpeeksi kirkasta, sitä käytetään mekaanisesti käsiteltynä jäähditys- sekä prosessivetenä. Mekaanisesti puhdistetun prosessiveden käyttökohteita ovat jäähditysvettä tarvitsevien kohteiden lisäksi erilaiset pesut ja laimennukset. Mekaanisesti puhdistettua vettä käytetään muun muassa savukaasujen ja ruskean massa pesuissa sekä kaustisoinnin laimennuksissa ja pesuissa. Kaustisoinnissa viherlipeä reagoi poltetun kalkin kanssa, jolloin muodostuu valkoliipeää ja syntyneet kemikaalit saatetaan kiertoon uudelleen. (KnowPulp 2019.)

Osa raakavedestä puhdistetaan mekaanisen käsittelyn jälkeen kemiallisesti. Kemiallisen puhdistuksen tarve riippuu raakaveden laadusta. Samea raakavesi tulee puhdistaa, jotta tuotettu sellu olisi vaaleaa. Kemiallinen käsittely poistaa vedestä pienet partikkelit flokkauskemikaalien ja selkeytyksen avulla. Kemiallisesti käsitelty vesi soveltuu kattilaveden valmistukseen sekä korkealaatuista vettä vaativiin prosesseihin, kuten valkaisulinjan viimeisen vaiheen pesuihin ja kuivatuskoneen lisävedeksi. (KnowPulp 2019.)

Kattilavettä valmistetaan kemiallisesti puhdistetusta vedestä poistamalla siitä suolaa, metalleja ja happea. Suolanpoisto sisältää ioninvaihdon, käänteisosmoosin ja veden tislauksen. Lisäksi vedestä poistetaan happi suolanpoiston jälkeen termisellä kaasunpoistolla. Kattilaveden laatuvaatimus on korkea, koska kattilan laitteiden tulee kestää korroosiota. (KnowPulp 2019.)

Metsäteollisuuslaitoksella syntyy jätevettä eniten puun valkaisuissa, koska valkaisuissa käytettyä vettä ei voida käyttää hyödyksi muissa prosesseissa sen sisältämien kemikaalien takia. Jätevettä muodostuu myös puunkäsittelyn yhteydessä, sooda- ja voimakattilan toiminnassa sekä muissa laitoksen osaprosesseissa. Jätevesi koostuu happamasta ja alkalista vedestä. Jätevesi puhdistetaan jätevedenpuhdistamolla, jonka jälkeen vesi palautetaan läheiseen vesistöön. Prosessiveden puhdistukseen käytetään biologista aktiivilietemenetelmää. Puhdistus poistaa vedessä olevasta kuormituksesta 98 %. Loput päätyvät jäteveden mukana vesistöihin. Jätevesi sisältää muun muassa tyyppeä, COD-päästöjä, fosforia, kiintoaineita ja AOX-päästöjä. Tyypillinen jäteveden virtaus on tuotettua sellutonnia kohden 20–40 m<sup>3</sup> (Seppälä et. al. 2001). (KnowPulp 2019.)

Tuotantolaitokset tarvitsevat vettä myös koneiden jäähdyttämiseen. Jäähdytysvesi on mekaanisesti puhdistettua vettä ja se kulkee tuotantoprosesseissa omassa järjestelmässään, joten sitä ei tarvitse puhdistaa kierron jälkeen. Jäähdytysveden käyttökohteita on avattu lisää seuraavassa luvussa 2.2. Energiatase.

## **2.2. Energiatase**

Termodynamiikan ensimmäinen laki määrittelee energian häviämättömyyden (Dahl). Järjestelmään tulevan ja sieltä poistuvan energian tulee olla tasapainotilassa yhtä suuret. Lisäksi aineen häviämättömyyden lain mukaan järjestelmään tulevan ja sieltä poistuvan massan on oltava yhtä suuret (Dahl). Näiden lakien nojalla energia tai aine eivät voi hävitä prosessin aikana, vaan ne muuttuvat vain toiseen muotoon.

Termodynamiikan toinen laki toteaa suljetun systeemin pyrkivän suurimman todennäköisyyden tilaan eli sen entropia kasvaa. Entropian kasvu tarkoittaa epäjärjestyksen kasvua, jolloin systeemin kyky tehdä työtä vähenee. Systeemissä oleva vapaa siis energia vähenee. Suljetun systeemin entropian kasvun vuoksi lämpöenergiaa ei voida koskaan muuttaa täysin työksi, jolloin ylimääräinen lämpö on johdettava ympäristöön. (Dahl.)

Termodynamiikan lakien toteutuminen metsäteollisuuslaitoksella kuvataan energiataseen avulla. Energiatase selventää energiavirtojen syntyä ja kulkua. Energiataseeseen merkityt lämpöhäviöt kuvaavat laitokselta syntyvää hukkaenergiaa ja näiden summa kuvaa samalla laitoksen hyötysuhdetta. Energiatase voidaan määrittää koko laitokselle tai yhdelle sen osalle, jolloin pystytään havainnoimaan tarkemmin yhden osan käyttämää ja tuottamaa energiamäärää.

Aiemmin esitetystä kuvassa 1 on yksinkertaistettu metsäteollisuuslaitoksen aine- ja energiatase. Yleensä metsäteollisuuslaitos tuottaa tarvitsevanaan energian selluntuotannon sivuvirroista. Perustuen edellä selitetyjen termodynamiikan lakeihin laitokselle tuotu ja poistuva energia ja massa ovat saman suuruisia, mutta ne ovat vain muuttaneet muotoaan tuotantolaitoksen prosesseissa lämmöksi ja sähköksi sekä lopputuotteeksi ja jätteeksi. Vaikka syntynyt lämpö pystytään nykyään hyötykäyttämään prosesseissa aiempaa paremmin, hukkaenergiaa syntyy kasvavan entropian takia aina jonkin verran, jolloin lämpökuorman syntyminen on välttämätöntä.

### **2.2.1. Tuotantolaitoksen tarvitsema ja tuottama energia**

Taulukossa 1 on esitetty metsäteollisuuslaitoksen energiavirtojen jakautuminen sähkön ja lämmön välillä sekä niiden arvot tuotettua sellutonta (90 %:sti kuivaa, ADt) kohden. Metsäteollisuuslaitos käyttää yhden sellutonnin tuottamiseen noin 5,5 kiintokuutiota sekapuuta (Ympäristöministeriö 1997, 107). Tyypillisesti yhden sellutonnin tuottamiseen tarvittavan puumäärän energiasisältö on yhteensä 23 000–28 000 MJ (KnowPulp 2019). Puun energiasisältö pystytään määrittämään puun lämpöarvon avulla ja se vaihtelee puun kosteuden mukaan.

Taulukko 1. Tuotantolaitoksen energiavirtojen määrät tuotettua sellutonnia kohden. (KnowPulp 2019)

	Tarve [MJ/ADt]	Tuotanto [MJ/ADt]	Ylimäärä [MJ/ADt]
Sähkö	1800–2500	5000–6100	2500–4300
Lämpö	8000–14000	18000–22000	8000–10000
Yhteensä	9800–16500	23000–28000	10500–12300

Taulukon 1 mukaan yhden sellutonnin tuottamiseen tarvitaan yhteensä energiaa 9800–16500 MJ:a, joka jakautuu lämmöksi 8000–14 000 MJ/ADt ja sähköksi 1800–2500 MJ/ADt (KnowPulp 2019). Selluntuotannossa lämpöenergiaa tarvitaan erilaisten prosessien osavaiheissa, kuten nesteiden lämmityksessä, haihduttamisessa ja kemiallisten reaktioiden onnistumisessa. Lämmön suurimmat kuluttajat ovat sellun valkaisu prosessi ja haihduttamo (Dahl). Sähköä kulutetaan tasaisemmin eri osaprosessien välillä, mutta suurimmat sähkönkuluttajat ovat valkaisu, talteenotto ja massan kuivaus (Dahl).

Puun sisältämä energia muutetaan metsäteollisuuslaitoksen prosesseissa sähköksi ja lämmöksi. Taulukon 1 mukaan metsäteollisuuslaitos tuottaa energiaa yhteensä 23000–28000 MJ/ADt. Tuotettu energia syntyy laitoksen kuori- ja soodakattiloissa, joissa poltetaan sellun valmistuksessa syntyneitä sivuvirtoja. Näin saadaan hyötykäytettyä sivuvirtojen sisältämä energia mahdollisimman hyvin. Sähköntuotanto jakautuu soodakattilan (4000–4700 MJ/ADt) ja kuorikattilan (1000–1400 MJ/ADt) välille. Lisäksi tuotantolaitoksella tuotetaan lämpöä 18000–22000 MJ tuotettua sellutonnia kohden.

Taulukon 1 mukaan metsäteollisuuslaitokset tuottavat sähköä ja lämpöä yli omien tarpeidensa. Sähköä jää käyttämättä sellutonnia kohden 2500–4300 MJ, jolloin ylimääräsähkö voidaan myydä valtakunnan verkkoon. Ylijäänyttä lämpöä ei pystytä hyödyntämään kokonaan prosesseissa vaan se johdetaan hukkalämpönä ympäristöön; pääosin vesistöön ja osittain ilmaan. Yhden sellutonnin valmistuksesta syntyy lämpöhäviötä 8 000–10 000 MJ. Hukkalämmön päädyttyä vesistöön se aiheuttaa lämpöhäviön suuruisen lämpökuorman.

Taulukossa 1 on kuvattuna vain energiavirtojen määrät yhtä sellutonna kohden. Metsäteollisuuslaitosten tuottamat sellumäärät ovat hyvin eri suuruisia, jolloin kokonaisenergiatarpeen ja -tuotannon yleistys koskemaan esimerkiksi vuoden tuotantomääriä on vaativaa. Vuonna 2018 Suomessa on tuotettu sellua yhteensä 8 150 000 tonnia (Suorsa 2019). Taulukossa 1 esitetyn arvon perusteella lämpökuormaa on siis syntynyt kaikilta tuotantolaitoksilta yhteensä 65 200–81 500 miljoonaa tonnia vuodessa.

### **2.2.2. Lämpökuorman syntyminen**

Vesi sitoo lämpöenergiaa tehokkaasti, koska sen lämpökapasiteetti ja höyrystymislämmön arvot ovat suuret (Dahl et al. 2013, 165). Vesi on myös halpaa ja sen saatavuus helppoa. Edellä mainitut ovat pääsyitä, miksi vettä hyödynnetään lämmönsiirrossa. Termodynamiikan lakien perusteella kaikkea ylimääräistä lämpöä ei pystytä hyödyntämään kokonaisuudessaan prosessissa, vaan osa lämmöstä on johdettava vesistöön tai ilmaan. Taulukossa 1 esitetyn energiataseen mukaan metsäteollisuuslaitoksen toiminnassa syntyy 8 000–10 000 MJ hukkalämpöä tuotettua sellutonna kohden (KnowPulp 2019). Pääsääntöisesti tämä lämpö syntyy jäähdytysvesikierron aikana. Lisäksi laitokselta syntyvät jätevedet ovat noin 40 °C:tta lämpimiä, mutta uusissa kemiallisissa puunjalostamoissa jätevettä syntyy vähän suhteessa jäähdytysveten (Manivasakam 2016, 48).

Metsäteollisuuslaitos tarvitsee toimintaansa lämmintä ja kuumaa vettä. Lämmin vesi valmistetaan mekaanisesti tai kemiallisesti puhdistetusta vedestä haihduttamon pintalauhduttimessa. Lämmin vesi lämpenee noin 45 °C:ksi ja sitä käytetään kuivatuskoneen lisävetenä. Osa lämpimästä vedestä johdetaan keittämölle, jossa se kuumennetaan noin 75 °C:ksi kuumaksi vedeksi. Kuumaa vettä hyödynnetään valkolipeän valmistuksessa sekä eri prosessien pesuvedenä. Veteen sitoutunut lämpö pystytään hyödyntämään vain 20–50 %:sti ja kierron jälkeen lämmin vesi poistetaan jäähdytysveden mukana vesistöön. (KnowPulp 2019.)

Taulukossa 2 on esitettyä tuotantolaitokselta poistettavan jäähdytys- ja jäteveden virtaus sekä lämpötilat. Metsäteollisuuslaitoksessa jäähdytysveden pääkäyttökohteita ovat turbiinin



sekä haihduttamon lauhduttimet. Jäähdytysvettä tarvitaan myös hydrauliiikan jäähdyttämiseen, kemikaalien valmistukseen sekä hajukaasujen käsittelyyn (KnowPulp 2019). Jäähdytysvedentarve on sellutehtaissa tuotettua sellutonnaa kohden 40–60 m<sup>3</sup> (Seppälä et al. 2001, 171). Jäähdytysvedenkulutus vaihtelee ympäristön lämpötilan mukaan. Kesällä tuotantolaitokselle tulevan jäähdytysveden sekä koneiden lämpötila on suurempi kuin talvella, minkä takia tarvittavan jäähdytysveden tarve on suurempi kesällä. Jäähdytysvesi lämpenee kierron aikana 15 astetta, jolloin jäähdytysveden lämpötila vaihtelee 20–35 °C välillä (Aluehallintovirasto 2018).

Taulukko 2. Tuotantolaitokselta poistettavan jäähdytys- ja jäteveden virtaus ja lämpötila. (Seppälä et al. 2001, 171).

	Virtaus [m <sup>3</sup> /ADt]	Lämpötila [°C]
Jäähdytysvesi	40–60	20–35
Jätevesi	20–40	40

Taulukon 2 mukaan tuotantolaitosten jäteveden virtaus tuotettua sellutonnaa kohden on yleensä noin 20–40 m<sup>3</sup> (Seppälä et al. 2001). Jätevesi kiertää tuotantoprosessissa useaan kertaan ja lämpenee vähitellen noin 40 °C:een. Lämmintä jäähdytysvettä voidaan osittain hyödyntää prosessivetenä, jolloin se yhdistetään systeemistä poistettaessa prosessista tuleviin jätevesiin (Suhr et al. 2015). Jäähdytysveden hyödyntäminen prosessivetenä parantaa energiatehokkuutta, koska siten pystytään vähentämään prosessiveden lämmitystarvetta.

Suljetulla jäähdytysvesikierrolla tarkoitetaan jäähdytysveden kiertoa omassa järjestelmässään ilman, että se sekoittuu prosessiveden kanssa. Suljettu jäähdytysvesikierron avulla vältytään vedenpuhdistustarpeelta, koska vesi ei kontaminoidu ja se voidaan palauttaa kierron jälkeen puhdistamattomana vastaanottavaan vesistöön (Suhr et al. 2015). Jäähdytysveden lämpötilaeron lauhduttimiin nähden on oltava riittävän suuri, jolloin jäähdytysteho täyttää tarvittavat vaatimukset. Lisäksi jäähdytyksen suuruutta voi säätää laskemalla tai nostamalla virtausta.

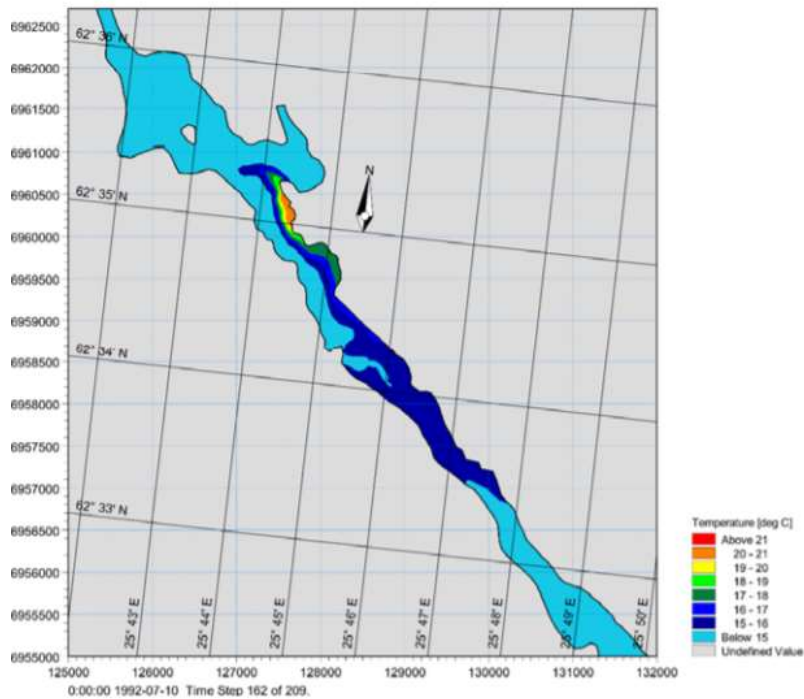
Jäähdytysveden määrään voidaan vaikuttaa jäähdytystornin avulla. Jäähdytystornissa oleva vesi viilenee ympäristön lämpötilaan, jolloin vesi osittain haihtuu höyryksi ja jäähtynyt haihtumaton vesi kulkeutuu tornin pohjalle (Käyhkö 2003). Jäähdytystorni pienentää tarvittavan jäähdytysveden määrää, koska tornissa jäähtynyttä vettä voidaan käyttää uudestaan. Kuitenkin voimakas vesihöyryn muodostus saattaa haitata ympäristön turvallisuutta ja viihtyvyyttä.

### **2.3. Purkupaikan sijainti**

Metsäteollisuuslaitokset purkavat jäte- ja jäähdytysveden läheiseen vesistöön. Purettavan veden virtauksia on usein rajoitettu purkuaukolla, jotta minimoitaisiin lämpimän veden aiheuttama haitta. Veden pääsyä suoraan vesistöön estetään erilaisten altaiden ja patojen avulla, jolloin veden lämpötila mahdollisesti ehtii viiletä ympäristön lämpötilaan ja lopulta sekoittua vähitellen veden kanssa (Mykkänen, Rasmus 2019, 20).

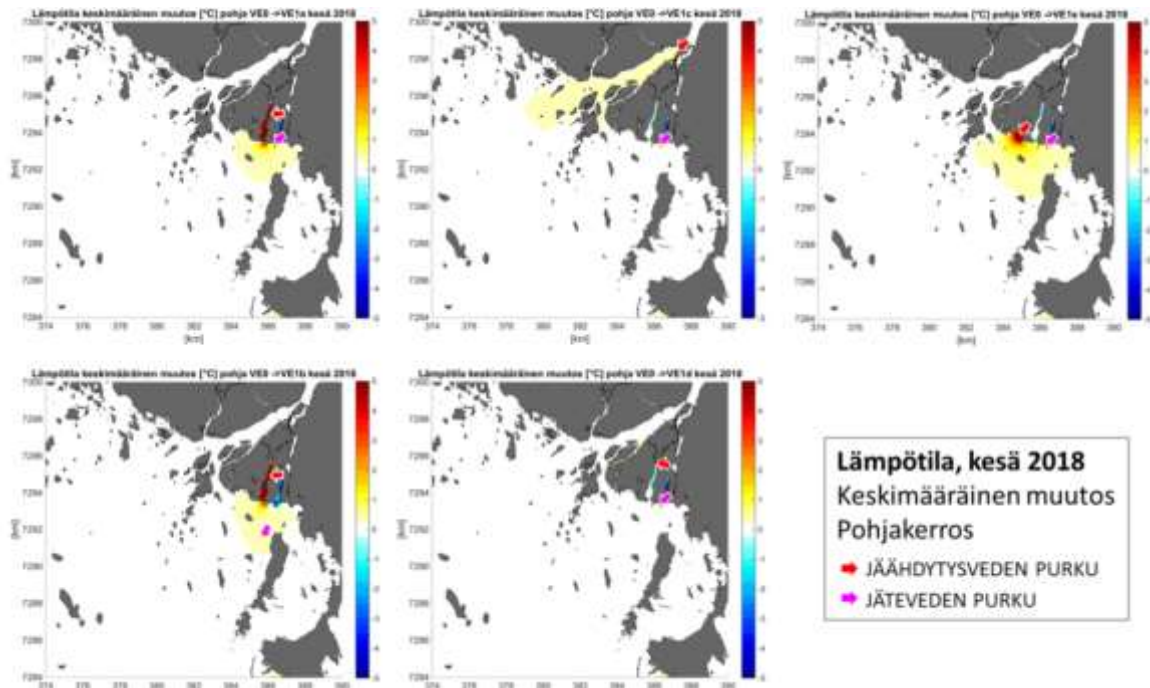
Vesistön koko, malli, syvyys ja sisäiset virtausolosuhteet vaikuttavat lämpökuorman jakautumiseen vesistössä ja lämpökuorman ympäristövaikutusten suuruuteen. Suomessa metsäteollisuuslaitokset sijaitsevat Itämeren äärellä, jokien varrella ja eri suuruisten järvien reunoilla (Ohtonen 2018). Vaihtuva vesimassa vähentää lämpötilan nousun paikallisia vaikutuksia. Joessa veden virtaus sekoittaa lämmön suureen vesimassaan, jolloin kokonaisvaltainen lämpötilan nousu jää pieneksi. Myös suurien vesistöjen hyvät virtausolosuhteet sekoittavat lämpöä hyvin suurempaa vesimassaan, jolloin veden lämpötilan nousu on vähäisempi kuin pienissä, virtaamaltaan heikoissa vesistöissä.

Kuva 3 esittää Äänekosken biotuotelaitoksen lämpökuorman leviämistä Kuhnamon järvessä. Jäte- ja jäähdytysveden purkupaikka on kohdassa, jossa lämpötila on suurin (oranssi alue: 20–21 °C). Kuvasta huomataan, että vesistön lämpötila on noussut lämpökuorman takia 1–5 °C:tta. Kuvasta on myös huomattavissa lämmön jakautuminen vesistöön: virtaus kuljettaa lämpöä kauemmas purkupaikalta ja lämpö jakautuu vesistöön virtausolosuhteiden mukaisesti.



Kuva 3. Äänekosken tuotantolaitoksen lämpökuorman leviämismalli (WPS Environmental Oy 2010).

Kuvassa 4 on esitetty eri vaihtoehtoja Kemin uuden tuotantolaitoksen jäte- ja jäähdytysveden purkupaikoiksi. Kuvaan on mallinnettu syntyvät lämpötilanmuutokset vesistön pohjassa ja sen perusteella purkuaukon sijainti vaikuttaa, kuinka laajalle jäte- ja jäähdytysvesi kulkeutuu vesistössä ja kuinka suuri on lisätyn veden aiheuttama lämpötilanmuutos. Purkuaukon sijainnin virtausolosuhteiden tulisi taata veden vaihtuvuus ja virtauksen olla suunnaltaan sopiva (Mykkänen, Rasmus 2019, 33–36).



Kuva 4. Kemin biotuotetehtaan mallinnus lämpökuorman leviämisestä eri purkupaikoilla (Mykkänen, Rasmus 2019, 33).

## 2.4. Lämpökuorman ympäristövaikutukset

Lämpökuorma aiheuttaa vesistössä paikallista lämpötilan nousua, jonka ympäristövaikutukset ovat samankaltaisia rehevöitymisen kanssa (Pöyry 2016, 29). Yleensä mahdolliset ympäristövaikutukset johtuvat jätevedessä olevien aineiden sekä lämmön yhteisvaikutuksesta, jolloin ne muokkaavat vesistön ekologista tilaa. Ympäristövaikutukset voidaan jakaa biologisiin, kemiallisiin ja fysikaalisiin riskitekijöihin, joiden tyypillisimpiä tekijöitä on lueteltu seuraavien alaotsikoiden alla.

### 2.4.1. Biologiset riskitekijät

Paikallinen lämpötilan nousu vaikuttaa vesistössä oleviin biologisiin organismeihin. Lämpökuorma pidentää paikallisesti alueen kasvukautta, mikä näkyy perustuotannon lisääntymisenä (Perälä 2019, 55). Perustuotannon voimistuminen saattaa kasvattaa kasviplanktonin, rihmalevien ja vesikasvillisuuden määrää sekä muuttaa vedessä elävää lajistoa (Perälä 2019, 55). Lämpötilan kohoaminen vesistössä nopeuttaa erilaisten vesieliöiden kuten levien

kasvunopeutta ja voi täten lisätä rehevöitymisen riskiä. Jäähdytysveden purkualueen läheisyydessä on usein havaittu ranta- ja vesikasvillisuuden runsastumista (Pöyry 2016, 28).

Veden biologista laatua voidaan kuvata klorofyllipitoisuudella. Veden a-klorofylli-pitoisuudella tarkoitetaan kasviplanktonin kokonaismäärää eli biomassaa (Mitikka 2013, 5). Perustuotannon kiihtyminen lämpökuorman seurauksena lisää veden kasviplanktonin määrää eli kasvattaa sen klorofyllipitoisuutta (Perälä 2019, 55). Suuri klorofyllipitoisuus havaitaan vesistössä runsaana levämassana.

Lämpökuorma vaikuttaa todennäköisesti myös pohjaeläinyhteisöjen lajikoostumukseen. Muutokset veden happi- ja lämpötilaolosuhteissa saattavat vähentää pohjaeläinten määrää (Fortum Power and Heat Oy 2015, 16-18). Pohjaeläinten määrä vaihtelee myös pohja-aineksen laadun mukaan. Jäte- ja jäähdytysveden purkualueen virtausolosuhteet muokkaavat pohjaa siirtäen pehmeää maa-ainesta, jolloin kova pohja tulee näkyviin (Raunio 2015, 9). Maa-aineksen siirtyminen voi vähentää ja muuttaa pohjaeläinlajistoa sekä ekosysteemiä.

Lämpökuorman paikallinen vaikutus kalakantoihin riippuu alueen kalojen elinolosuhteista. Luonnonvarakeskus on arvioinut, että kasvukauden piteneminen hyödyttää kevät- ja kesäkutuisia kaloja ja haittaa kylmän veden kaloja. Lämpötilan nousun haittavaikutuksia voivat olla kalojen lisääntynyt stressi, ongelmat lisääntymisessä ja kalojen poikasvaiheen häiriintyminen (Luonnonvarakeskus). Luonnollista tilaa korkeampi lämpötila aiheuttaa häiriötä kalojen vuorokausirytmiiin, minkä seurauksen kalat voivat kutea ravinnonhankinnan kannalta väärään aikaan (Dahl et al. 2013, 180). Lämpimälle paikalle voi tulla myös uusia lajeja tai vieraslajeja, jotka sopeutuvat muita paremmin lämmenneeseen veteen. Kalakantojen mahdolliset muutokset muokkaavat vesistöjen luontaista tilaa.

### 2.4.2. Kemialliset riskitekijät

Kemialliset riskitekijät aiheutuvat pääsääntöisesti kuormittavien aineiden ja lämpökuorman yhteisvaikutuksesta. Kuormittavia aineita ovat jäteveden sisältämät orgaaniset aineet, typpi, fosfori sekä kiintoaineet. Jäte- ja jäähdytysveden aiheuttama lämpökuorma voimistaa tyypillisesti näiden aineiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia.

Vesistön happitilanteen muutoksiin vaikuttavat veteen lienneet orgaaniset aineet, joita kuvataan BOD- ja COD- arvoilla. BOD tarkoittaa biologista hapenkulutusta ja sen arvo ilmaisee vedessä olevien mikrobien hapenkulutuksen (Hiltunen 2019, 45). COD tarkoittaa kemiallista hapenkulutusta ja sen arvo kuvaa vedessä olevien kemiallisesti hapettuvien orgaanisten aineiden määrää (Hiltunen 2019, 50). Yhdessä BOD ja COD- arvot siis kuvaavat vesistön happitilannetta. Orgaanisten aineiden paikallinen kuormitus lisää biologista ja kemiallista hapenkulutusta ja heikentää vesistön happitilannetta, koska vesistössä olevat mikrobit hajottavat orgaanista ainetta vedessä olevan hapen avulla. Veteen johdetulla lämpökuormalla voi olla kiihdyttävä vaikutus happea kuluttavaan biologiseen hajotustoimintaan (Dahl et al. 2013, 180). Samalla lämpötilan nousu pienentää hapen liukenemista veteen (Heinonen et al. 2019, 20). Tällöin veden lämpeneminen voi johtaa happivajaukseen.

Jätevesi sisältää fosforia ja typpeä, jotka rehevöittävät vesistöjä suurina pitoisuuksina. Fosfori on sisävesissä ja typpi merialueilla perustuotannon kasvua rajoittava minimitekijä (KnowPulp 2019). Lämpökuorma lisää jäteveden fosforin ja typen aiheuttamaa rehevöitymistä, koska lämpökuorma vaikuttaa perustuotannon lisääntymiseen. Rehevöitymisestä aiheutunut kasvimassan lisääntyminen johtaa vesistön happitalouden häiriöihin, sillä kasvimassan hajoaminen sitoo itseensä entistä enemmän happea (Suomen ympäristökeskus 2019).

### 2.4.3. Fysikaaliset riskitekijät

Lämpökuorman fysikaaliset riskitekijät vaikuttavat vesistön hydrologiseen kiertoon. Vesistöissä oleva vesi on luontaisesti kerrostunutta, koska veden tiheys on riippuvainen lämpötilasta. Kesällä vesistön yläosa lämpenee, jolloin pintakerroksen ja syväveden tiheusero kasvaa. Neliasteinen vesi on tiheintä ja painuu vesistön pohjalle, kun taas lämpimämpi vesi siirtyy pinnan puolelle. Talvella tilanne on lämpötilojen osalta päinvastainen ja lämpötila kasvaa syvyyden lisääntyessä. Neliasteinen vesi pysyy pohjalla, mutta sen päällä on kylmempää vettä. (Heinonen et al. 2019, 17-19.)

Paikallinen lämpökuorma aiheuttaa vesistöön virtauksia ja muuttaa vesistön luontaista lämpökerrostuneisuutta. Jo yhden asteen lämpötilan nousu saa aikaan tiheuseron eri lämpöisten vesien välille (Heinonen et al. 2019, 18). Lämmin tuotantolaitokselta purettu vesi sekoittuu hitaasti purkualueen veteen, koska sen lämpötila ja siten tiheys poikkeavat purkualueen veden yleisestä tasosta (Dahl et al. 2013, 180). Jätevedestä lämmennyt pintavesi pyrkii asettumaan kerrokseksi kylmemmän syväveden päälle, jolloin lämpimän veden lisäys vesistöön muodostaa siihen paikallisia syvyysuuntaisia virtauksia. Avoveden aikaan myös tuuli sekoittaa vesistön lämpökerrostuneisuutta, joten lämpökuorman vaikutus lämpökerrostuneisuuden muutokseen on havaittavissa parhaiten talvisin, kun jääpeite on muodostunut (Heinonen et al. 2019, 17).

Talvella lämpökuorman paikallinen vaikutus jäteveden ulostuloaukon ympärillä havaitaan heikkona jäätilanteena. Lämpökuorma vähentää paikallisesti kiintojään määrää sekä lyhentää jääpeitteen kestoa verrattuna lämpökuorman vaikutusalueen ulkopuolelle (Mykkänen, Rasmus 2019, 20–22). Heikko jäätilanne vähentää vesistön virkistyskäyttömahdollisuuksia talvisin.

### **3. LÄMPÖKUORMAN VALVONTA**

#### **3.1. VALVONTAVELVOITTEET**

Lainsäädäntö velvoittaa viranomaisia valvomaan teollisuudesta aiheutuvia päästöjä, joiden päästörajat ja tuotantolaitosten parhaat tekniikat on esitetty toimialoittain BAT-päätelmissä. Valvontavelvoitteiden avulla pyritään vähentämään ympäristöriskejä ja yhtenäistämään valvontaan liittyviä käytäntöjä.

##### **3.1.1. Lainsäädäntö**

EU:n ja Suomen lainsäädännöt säätelevät yhdessä ympäristönsuojelun tarvetta ja siihen liittyviä käytäntöjä. EU:n lainsäädäntö vaikuttaa Suomen ympäristölainsäädäntöön ja se pyrkii direktiivien avulla yhtenäistämään ja tarkentamaan jäsenvaltioiden teollisuudesta aiheutuvien ympäristövaikutusten vähentämiskeinoja (Melolinna 2019, 6–7). EU-lainsäädäntö yhdessä direktiivien kanssa asettavat pohjan Suomen lainsäädännölle. Ympäristöministeriön raportissa (Dahl et al. 2011) prosessi- ja energiateollisuuden ympäristönsuojeluun vaikuttaa EU:n asettama teollisuuspäästädirektiivi eli IE-direktiivi (Industrial Emissions Directive). Teollisuuspäästädirektiivi yhtenäistää teollisuuden direktiivit yhdeksi kokonaisuudeksi ja sen päätavoitteena on parantaa ympäristönsuojelun tasoa jäsenvaltioissa (Dahl et al. 2011, 18). Direktiivi velvoittaa teollisuuslaitosten ympäristövaatimukset parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) mukaisiksi.

Ympäristölainsäädäntö on hyvin kattava ja siihen liittyy monia eri säädöksiä, joiden avulla ohjataan muun muassa teollisuuden päästöjä. Kansallisella tasolla Suomen ympäristölainsäädäntöön liittyy ympäristönsuojelulaki, ympäristönsuojeluasetus, mittauslaitelaki ja -asetus (Melolinna 2019, 9–12). Lisäksi vesilaki säätelee vesistöön liittyvistä toimista (Melolinna 2019). Näillä laeilla ja asetuksilla on olennainen merkitys ympäristönsuojelun toteutumiseen, ja ne vaikuttavat erilaisten päästöjen vähentämistavoitteisiin sekä päästöjen mittausmenetelmiin.



Ympäristösuojelulain §:ssä 21 säädetään valtionviranomaisten vastuut valvontatehtävien huolehtimisesta. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksella (ELY-keskus) on vastuu ohjata ja edistää laissa vaadittuja asioita ympäristösuojelulaissa ja sen nojalla annetuissa säännöksissä tarkoitettujen tehtävien hoitamista alueellaan. Lisäksi YSL:n 167 § velvoittaa valvontaviranomaisen huolehtimaan laadukkaasta, säännöllisestä, tehokkaasta ja ympäristöriskien arviointiin perustuvasta valvonnasta. Lainsäädännössä esitetyt valvontavelvoitteet määrittelevät vain, millaista valvonnan tulee olla, eivätkä erittele, kuinka valvontaa tulee suorittaa. Vastuu valvonnan toteutuksesta jää ELY-keskuksen ja toiminnanharjoittajan väliseksi.

Ympäristönsuojeluasetus käsittelee ympäristölupakäytäntöjä. Asetuksen 5 §:ssä eritellään ympäristöhakemukseen vaadittavat lisätiedot vesistö päästöistä. Vaatimuksia ovat muun muassa vesistön yleiskuvaus (virtaamat, laatu, kalasto), toiminnan sekä päästöjen vaikutukset vesistöön ja mahdolliset korvaukset aiheutuvasta haitasta. Ympäristönsuojeluasetuksen liitteessä 1 tarkennetaan tärkeimpiä vesistö päästöjä aiheuttavia aineita, joille tulisi asettaa raja-arvot ympäristöluvassa. Tyypillisten haitta-aineiden lisäksi on listattu myös happitasapainoon epäedullisesti vaikuttavat aineet, joihin lämpökuorman voisi mahdollisesti laskea mukaan.

Vesilain (587/2011) kolmannen momentin 2 §:ssä säädetään vesitaloushankkeen luvanvaraisuudesta. Yksinkertaistettuna vesitaloushakkeelle tarvitaan lupaviranomaisen lupa, jos hanke saattaa aiheuttaa muutoksia vesistön normaalitilaan. Tarvittaessa luvassa veloitetaan toiminnanharjoittajaa tarkkailemaan vesitaloushankkeen toteutumista ja valvontaa yhteistarkkailun tai oman tarkkailusuunnitelman avulla (Vesilaki 3 luku § 11).

### **3.1.2. BAT-päätelmät**

Ympäristönsuojelulain 5 §:n mukaan paras käyttökelpoinen tekniikka määrittelee tuotanto- ja toimintatapojen mallin, joka perustuu tehokkaimpaan ja edistyneimpään toteuttamiskelpoiseen tuotantotapaan. Paras käyttökelpoinen tekniikka antaa toiminnanharjoittajalle ja

viranomaiselle raamit ympäristölupamääräysten perustaksi sekä asettaa raja-arvot toiminnasta aiheutuville päästöille.

Sellu-, paperi- ja kartonkitehtaiden BAT-päätöksessä eritellään tehtaiden eri toiminnoissa aiheutuvia päästöjä ja keinoja niiden vähentämiseksi (Suhr 2015). Lämpökuorman osalta kyseisessä päätöksessä todetaan, että hukkalämpöä tulee hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti tehtaalla muun muassa rakennusten, kattilan syöttöveden ja prosessiveden lämmittämisessä. Päätöksessä on myös annettu 9–16 m<sup>3</sup>:n raja-arvo jäteveden virtaukselle tuotettua sellutonnia kohden ja määritetty jäteveden jatkuvatoimiset mittaukset jäteveden virtaukselle, lämpötilalle ja pH-arvolle (Suhr 2015, 785–787). Toiminnasta aiheutuvalle lämpökuormalle ei ole kuitenkaan määritetty raja-arvoa. Kuitenkin BAT-päätelmä siis velvoittaa toiminnanharjoittajaa ottamaan jäte- ja jäähdytysveden lämpötilan ja virtauksen huomioon, jolloin myös lämpökuorman tarkkailu onnistuu.

### **3.1.3. BAT-vertailuasiakirjat**

BAT-vertailuasiakirjat eli BREF:it (BAT Reference Document) ovat Euroopan komission julkaisemia BAT-selvityksiin perustuvia asiakirjoja, jotka sisältävät eri teollisuuden toimialoille määräyksiä yleisesti sovitusta tekniikoista ja päästötasoista (Suomen ympäristökeskus 2018). Euroopan komission alainen IPPC-toimisto (Integrated Pollution Prevention and Control) on julkaissut vuonna 2001 BREF-asiakirjan liittyen parhaiden käytettävissä olevien tekniikoiden soveltamiseen teollisuuden jäähdytysjärjestelmissä. Asiakirjassa eritellään erilaisten teollisuuslaitosten jäähdytystarvetta vastaavia jäähdytysjärjestelmiä ja niiden ympäristövaikutuksia.

Hukkalämmön määrä on tärkeä mittari valittaessa tuotantolaitoksen jäähdytysjärjestelmää. BREF-asiakirjan (IPPC 2001) mukaan selluintegraatin tulee käyttää suurta jäähdytysjärjestelmää, joka on suunnattu yli 60 °C lämpötilan päästäville tuotantolaitoksille. Suuri jäähdytysjärjestelmä voidaan toteuttaa suoralla tai epäsuoralla jäähdytysvesijärjestelmällä, jäähdytystorneilla tai ilmajäähdytteisillä nestejäähdyttimillä tai -lauhduttimilla (IPPC 2001, 17).

Suurin osa Suomen metsäteollisuuslaitoksista käyttää jäähdytykseen epäsuoraa eli suljettua jäähdytysvesijärjestelmää (KnowPulp 2019).

BREF-asiakirja jäähdytysjärjestelmille asettaa vaatimuksia, jotka tulisi ottaa huomioon laitojen ympäristöluvuissa. Pintaveden lämpöpäästöjen sääntely riippuu vastaanottavan vesistön ekologisista olosuhteista, herkkyydestä, paikallisista ilmasto-olosuhteista ja vastaanottimen kapasiteetista mukautua lämpökuormiin, vallitseviin virtauksiin sekä aaltoihin (IPPC 2001, 78). Lämpöpäästöjen suhteuttaminen vastaanottavaan vesistön pintaveden jäähdytyskapasiteettiin helpottaa jäähdytysveden maksimilämpötilan ja vastaanottavan vesistön maksimilämpökuorman määrittämistä.

### 3.2. Lämpökuorman määrittäminen

Metsäteollisuuslaitoksen lämpökuorma voidaan määrittää kahdella tavalla: prosessin kautta tai purkuaukosta tulevan veden lämpöhäviön kautta. Yleisempää on laskea lämpökuorma entalpiaerojen kautta, jolloin määritetään purkuaukosta tulevan veden lämpötilan erotus otto- veteen. Lämpötilaerotuksen avulla lämpökuorma voidaan määrittää kaavalla

$$\Phi_{lk} = q_{mjv} * c_v * \Delta T, \quad (1)$$

jossa  $\Phi_{lk}$  tarkoittaa lämpökuormaa,  $q_{mjv}$  veden massavirtaa,  $c_v$  veden ominaislämpökapasiteetti ja  $\Delta T$  lämpötilanmuutos, joka on tapahtunut tuotantolaitoksen kierron aikana (Mäkelä et al. 2015, 107). Lämpökuorman määrittäminen entalpiaerojen kautta esittää ainoastaan, kuinka paljon lämpöhäviötä syntyy koko prosessin aikana aikayksikköä kohden, mutta ei erittele lämmön syntyperää.

Metsäteollisuuslaitosten jäte- ja jäähdytysvesivirran lämpöenergian selvittäminen on haastavampaa voimalaitoksiin verrattuna, koska metsäteollisuuslaitoksilla käytetty vesi kiertää prosessissa useaan kertaan enne sen päästämistä vesistöön (Ålander 2019). Prosessikierron aikana veden lämpötila vaihtelee ja lämmentyään tarpeeksi se poistetaan kierrosta takaisin

vesistöön. Näin ollen kaavassa 1 olevan referenssilämpötilan yksikäsitteinen määrittäminen on hankalaa.

Toinen tapa selvittää tuotantolaitoksen vesistöön aiheuttama lämpökuorma on määrittää se tuotantoprosessien sisällä. Jos lämpökuorma määritetään prosessin kautta, tulee tietää prosesseissa tapahtuvat lämpöhäviöt sisäisten massa- ja energiataseiden avulla, prosessiin tulevan ja lähtevän energian erotuksena. Lämpökuorman määrittäminen prosessien kautta selvittää paremmin lämpökuorman syntyä, mutta on monimutkaisempi ja vaatii useampia laskuja eri prosessien määrän mukaan.

### **3.3. Toimintatavat ja -menetelmät**

Ympäristölupa sisältää toiminnanharjoittajalle määrätyt mittausvelvoitteet, joiden avulla määritetään toiminnasta aiheutuvaa päästötasoa. Ympäristöluvan pohjalta tehdään erillinen tarkkailusuunnitelma, jonka tarkoitus on määrätä toiminnanharjoittaja seuraamaan toiminnasta aiheutuvaa ympäristöhaittaa (Melolinna 2019, 11). Tarkkailuohjelma laaditaan yhteistyössä viranomaisten kanssa ja se käsittelee laitteiden käytön ja hoidon sekä kuormituksen määrän ja vesistövaikutukset. Tarkkailusuunnitelmaan kirjataan mitattavat suureet päästölähteittäin, mittauspaikat, -ajankohdat sekä mittalaitteet. Lisäksi tarkkailussa tulee ottaa huomioon ympäristöluvassa määrätyt raja-arvot kullekin päästölle. Tarkkailuohjelman sisältöä voidaan tarvittaessa muokata ympäristöluvan aikana (KnowPulp 2019).

Metsäteollisuuslaitoksen tarkkailuohjelmaa suorittaa sekä laitoksen henkilökunta että ulkopuolinen taho. Näin taataan tarkkailun laatu ja oikeudenmukaisuus. Vastuu kuormitustarkkailusta voi olla joko toiminnanharjoittajalla tai ulkopuolisella taholla. Vesistötarkkailua puolestaan suorittaa ulkopuolinen tutkimuslaitos, joka toimii julkisen valvonnan alaisena. (KnowPulp 2019)

Lainsäädäntö velvoittaa vastuun metsäteollisuuslaitosten toiminnasta aiheutuvien päästöjen valvonnan alueellisen Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle. Toiminnanharjoittaja välittää tarkkailusuunnitelman perusteella tehdyt kuormitus- ja vesistötarkkailun vuosiraportit valvontaviranomaiselle, joka suorittaa valvontaa toimitettujen raporttien pohjalta.

Päästetyn lämpökuorman laskemiseen tarvitaan tietoa veden virtauksesta ja lämpötilamuutoksesta prosessin aikana (kaava 1). Kuvassa 1 on esitettyä yleistys voimalaitoksen vesitaseesta. Lämpökuorman selvittämiseen tarvitaan vesivirtauksen ja lämpötilan mittaukset raakaveden ottamolta sekä jätevedestä että purettavasta jäähdytysvedestä. Laitokselle otettavan vesimassan lämpötilan perusteella voidaan laskea, kuinka paljon vesi lämpenee prosessikierroksen aikana. Aineiden jätevesipäästöt mitataan ensiksi kuukausitasolla, josta voidaan laskea päivittäin ja vuosittain päästetyt määrät (Stora Enso Oyj 2015, 39). Raportoinnissa vesistöön päästetty lämpömäärä ilmoitetaan valvontaviranomaisille vuositasolla (TJ/a) (Ålander 2019).

## **4. LÄMPÖKUORMA METSÄTEOLLISUUSLAITOSTEN TOIMINNASSA**

Metsäteollisuuslaitoksen toiminnasta aiheutuvan lämpökuorman seurantavelvoitteita asettavat EU:n komission BAT-päätelmät ja BREF-vertailuasiakirjat, joiden tavoitteena on yhtenäistää metsäteollisuuslaitosten toimintaa ja säättää raja-arvot toiminnasta aiheutuville päästöille. Näiden asiakirjojen ja ympäristölainsäädännön perusteella toiminnanharjoittaja laatii ympäristölupahakemuksen sekä erillisen asiakirjan, jossa arvioidaan toiminnasta aiheutuvat ympäristövaikutukset. Viranomaisen hyväksymän ympäristöluvan perusteella toiminnanharjoittaja suunnittelee tarkkailuohjelman, jonka perusteella se seuraa ympäristöön aiheutuvien päästöjen suuruutta ja ympäristölupaehtojen toteutumista.

### **4.1. Ympäristövaikutusten arviointi**

Ympäristövaikutusten arviointi (YVA) on osa ympäristölupahakemuksen perustaa. Ympäristöministeriön mukaan (2018) YVA-menettelyn avulla pyritään minimoimaan toiminnasta aiheutuvien haittojen ympäristövaikutukset. Toiminnanharjoittaja vastaa YVA:n toteuttamisesta ja sen sisältöön pystyvät vaikuttamaan vaikutusalueen asukkaat ja viranomaiset (Ympäristöministeriö 2018). YVA:n tukena on yleensä erilaisia selvityksiä päästöjen vaikutuksista eri lähiympäristöön kuten vesistöön ja ilmaan. Kokonaisuudessaan YVA-selostus kattaa mahdollisten riskitekijöiden tunnistamisen ja arvioimisen.

Ympäristövaikutusten arvioinnissa on otettu huomioon lämpökuorma ja sen leviäminen kohdevesistössä. Purettavasta jäähdytys- ja jätevedestä on esitetty teoreettinen virtaama ja lämpötilan nousu prosessikierron aikana (Metsä Fibre Oy 2018). Teoreettisen virtauksen ja purettavan lämpötilan avulla pystytään mallintamaan purettavan lämpimän veden leviämistä vastaanottavassa vesistössä. Mallinukseen käytetään yleisesti käytettyä simulointiohjelmaa, jonka avulla voidaan ennustaa vesistön hydrologiaa annettujen alkuarvojen perusteella (Mykkänen, Rasmus 2019, 6). Mallinnuksessa voidaan huomioida eri vaihtoehtoja jäte- ja jäähdytysveden purkupaikoille, jolloin pystytään valitsemaan pienimmät lämpökuormasta

aiheutuvat haittavaikutukset (kuva 4). Kattava mallinnus tehdään myös kesä- sekä talviolosuhteille ja siihen otetaan huomioon niin veden laadulliset muutokset kuin vaikutusalueen suuruus. Muutokset jääpeitteen kestossa ja paksuudessa ovat tärkeitä mallintaa, koska ne liittyvät suuresti vesistön virkistyskäyttöarvoon talvisin.

Jäähdytys- ja jäteveden leviämismallinnus on perusta siitä aiheutuvien vesistövaikutusten selvittämiseen (Mykkänen, Rasmus 2019). Leviämismallinnuksen perusteella voidaan arvioida mahdolliset ympäristövaikutukset ja niiden suuruudet. Jos haittavaikutukset aiheuttaisivat vesistölle turhan suurta riskiä, toimintaa pystytään muuttamaan ennen sen alkamista. Lisäksi YVA-selostus voi sisältää tietoa ympäristön nykytilasta, jolloin toiminnasta aiheutuvien haittavaikutusten toteaminen on helpommin verrattavissa referenssiaineistoon.

## **4.2. Ympäristöluvut**

Lämpökuorma on otettu huomioon uusimpien metsäteollisuuslaitosten ympäristöluvista, jotka koskevat suuria selluintegraatteja. Ympäristöluvut käsittelevät lämpökuormaa varovaisuusperiaatteen mukaisesti (Aluehallintovirasto 2015, 87). Tämä tarkoittaa mahdollisten ympäristöön aiheutuvien riskitekijöiden ehkäisyn aloittamista, vaikka niiden luonne tai laajuus ei olisi täysin selvitettyjä. Varovaisuusperiaate perustuu ympäristönsuojelulain 20 §:ään ja lisäksi ympäristönsuojelulain 15 §:ssä säädetään ennaltavarautumisvelvollisuudesta. Ennaltavarautuminen liittyy ympäristölupahakemusprosessiin, jota edeltää ympäristövaikutusten arviointi. Ennaltavarautuminen kartoittaa mahdolliset toiminnasta aiheutuvat riskitekijät, joihin pystytään varautumaan jo luvanhakuprosessin aikana.

Ympäristöluvut käsittelevät kutakin ympäristövaikutusta vastaanottavan vesistön kunnan ja virtauksen suunnan pohjalta. Lämpökuorman leviämistä ja sen aiheuttamia ympäristövaikutuksia on selvitetty tarkemmin YVA-ohjelmassa, joten ympäristöluvassa kuvataan pääasialliset ympäristövaikutukset ja niiden suuruudet. Myös lupapäätöksessä kuvaillaan muutokset vastaanottavan vesistön hydrologiassa ja lämpötilassa (Aluehallintovirasto 2015, 86).

Arvioiden pohjalta ympäristöluvut velvoittavat toiminnanharjoittajaa seuraamaan jäte- ja jäähdytysvesipäästöjä sekä käytetyn raakaveden määrää. Ympäristölupa sisältää arvion raakaveden vuotuisesta käytöstä, ja otetun raakaveden määrää tulee mitata jatkuvatoimisesti (Aluehallintovirasto 2017, 25, 255). Arviot on tehty erikseen talven ja kesän olosuhteille, koska jäähdytysveden tarve ja sen lämpötilanmuutos kierron aikaa vaihtelu riippuu vuodenaikasta. Ympäristöluvista on merkitty jatkuvatoimiset mittaukset myös jäte- ja jäähdytysveden määrälle sekä laadulle (Aluehallintovirasto 2015, 73). Vedestä tulee mitata jatkuvatoimisesti johtokyky, lämpötila ja pH-arvo (Aluehallintovirasto 2015, 73). Velvoitteet otto- ja purkuveden mittauksille mahdollistavat tuotantolaitoksen toiminnasta aiheutuvan lämpökuorman laskentaperusteet.

Ympäristöluvista huomioidaan lämpökuorman ja jäteveden sisältämien aineiden yhteiset ympäristövaikutukset. Yhteisvaikutukset määrittävät vastaanottavaan vesistöön aiheuttavan kuormituksen ja muutoksen sen normaalitilaan. Ympäristönsuojelulain 54 §:n mukaan ympäristöluvassa toiminnanharjoittajaa voidaan velvoittaa tekemään erityinen selvitys koskien ympäristön pilaantumisen tai sen vaaran selvittämisestä. Jos ympäristölupahakemuksessa ei ole määritetty yksityiskohtaisia tietoja lämpökuorman ja jätevesipäästöjen aiheuttamista yhteisvaikutuksista, lupaviranomainen voi erityisellä selvityksellä pyytää täsmentämään vesistön pilaumisvaaraa (Ympäristönsuojelulaki §54). Näin voidaan tarkentaa jätevedenpäästöä kokevia määräyksiä vastaamaan oikeaa tilannetta. Ympäristöluvista on muun muassa vaadittu selvitys lämpökuorman vaikutuksesta kalojen vaellukseen, jos lämpötilan nousulla epäillä olevan haittaa purkuvesistön kalakannan käyttäytymiseen (Aluehallintovirasto 2015, 137). Erityinen selvitys kalojen vaelluksesta selventää vaeltavien kalojen kulkureittiä ja muutosherkkyyttä.

Vesistöön kohdistuvan päästöjen yhteisvaikutuksen suuruus määrittää mahdollisia korvauksia, joita maksetaan toiminnasta aiheutuvasta haitasta. Kemiallisen puunjalostusteollisuuden ympäristöluvista käsitellään kalatalousmaksuja, joilla korvataan kalakannan muutoksesta johtuvia haittoja elinkeinonharjoittajille (Aluehallintovirasto 2015, 80). Osa kaloista on erityisen herkkiä lämpötilojen muutoksille, joten lämpökuorman suuruus vaikuttaa suoraan kalakantojen muutoksiin ja on näin ollen merkittävä haitta alueen kalastajien elinkeinolle.



Kalatalousmaksujen suuruuteen vaikuttaa alueen kalasto ja siihen kohdistuvan muutoksen suuruus.

Lämpökuorma vaikuttaa myös jääpeitteeseen, jolloin ympäristöluvuissa huomioidaan myös jääpeitteen keston ja paksuuden muutokset. Luvuissa määrätään merkitsemään näkyvästi heikon jään alue, ja tiedottamaan siitä paikallisesti (Aluehallintovirasto 2015, 137)

### **4.3. Päästötarkkailu**

Tarkkailusuunnitelmat ovat tuotannonharjoittajien laatimia suunnitelmia toiminnastaan aiheutuvien päästöjen tarkkailusta ympäristölupapäätöksen perusteella. Tarkkailusuunnitelmat hyväksyy valvontaviranomainen, joka valvoo tarkkailuohjelmissa määritettyjen päästömittausten päästötasoa verrattuna lupapäätöksen raja-arvoihin (Aluehallintovirasto 2015, 146). Tarkkailusuunnitelmassa määritettyjen mittausten perusteella pystytään laskemaan virtaamasta ja analyysituloksista laitoksen päästömäärät, jotka raportoidaan viranomaiselle vuosiraportin yhteydessä.

Lämpökuorman tarkkailuun liittyen kemiallisen puunjalostuksen tuotantolaitoksella mitataan viemäreittäin jätevesien tilavuusvirtaa ja lämpötilaa jatkuvatoimisesti automaattisen mittausjärjestelyn avulla. Virtausmittausmenetelmät riippuvat halutusta tarkkuudesta ja mittauspaikasta. Mahdollisia virtausmittareita ovat muun muassa venturikanava ja magneettis-induktiivinen virtausmittaus. Viemäreiden lukumäärä riippuu tuotantolaitoksesta, mutta vesistöön johdetaan veden puhdistamoiden viemäreistä ja puhdasvesiviemäreistä, joihin ohjataan prosessien puhtaat jäähdytys-, tiiviste- ja lauhdevedet. Viemäriin sijoitetuilla mittauspisteillä saadaan huomioitua sekä jäähdytys- että jäteveden vaikutus lämpökuorman muodostumiseen ja suoritettujen mittausten tuloksista voidaan laskea kaavalla 1 toiminnasta syntyneen lämpökuorman suuruus. Vesistönpäästöt voidaan laskea erikseen päiville ja kuukausille, mutta lämpökuorma ilmoitetaan vuosiraportissa, joka sisältyy vuosittain tehtävään ympäristönsuojelun velvoiteraporttiin. (Stora Enso Oyj 2015.)

#### 4.4. Vaikutustarkkailu

Ympäristölupa velvoittaa toiminnanharjoittajan tarkkailemaan lämpökuorman vaikutuksia vastaanottavassa vesistössä (Aluehallintovirasto 2015, 146). Lämpökuorman määrittäminen tuotantolaitokselta puretusta vedestä asettaa rajan, kuinka paljon ylimääräistä lämpöä vesistöön johdetaan. Päästetyn lämpökuorman lisäksi tuotantolaitoksella tarkkaillaan sen aiheuttamia ympäristövaikutuksia (Perälä 2019). Vaikutustarkkailun avulla selvitetään lämpökuorman todellinen leviämialue ja vaikutus ympäristöön ja se voidaan toteuttaa muiden alueen toimijoiden kanssa yhteistarkkailuna.

Ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä on laadittu selvitys lämpökuorman teoreettisesta leviämialueesta ja laitoksen toiminnasta syntyvistä ympäristövaikutuksista. Teoreettisen leviämialueen perusteella voidaan valita seurantalinjat, joilla vaikutustarkkailua tehdään (Fortum Power and Heat Oy 2015, 11). Seurantalinjojen tulisi vastata mahdollisimman monipuolisesti teoreettista leviämialuetta ja olla tarpeeksi kattavat, jotta todellinen lämpökuorman leviämisen laajuus pystyttäisiin selvittämään. Valituilla seurantalinjoilla tulisi myös suorittaa mittauksia useista eri syvyyksistä, jolloin pystytään selvittämään lämpökuorman mahdollinen vaikutus vesistön lämpökerrostuneisuuteen. Jotta mahdolliset lämpötilamuutokset voitaisiin todeta, vesistön lämpötilan ja kerrostuneisuuden mittaukset täytyisi suorittaa myös vaikutusalueen ulkopuolella. Saadun referenssilämpötilan avulla lämpökuorman levinneisyyttä ja lämpötilanmuutosta on helppoa vertailla.

Vaikutustarkkailuun liittyy lämpötilamittausten lisäksi lämpökuorman aiheuttamien vesistövaikutusten selvittäminen (Aluehallintovirasto 2015, 146). Kuormittavien aineiden ja lämpökuorman yhteisvaikutus muuttaa vesistön paikallista ekosysteemiä. Vesistön pohjan tilasta tulisi olla tietoa jo ennen toiminnan aloittamista, jolloin toiminnan ajalta saatuja tuloksia pystyttäisiin vertailemaan ja näin toteamaan toiminnasta aiheutuneet ympäristövaikutukset. Vesistön pohjan tilan tarkastelu voidaan toteuttaa sukelluksin seurantalinjoilla, joiden ulottuvuus kattaisi laajasti koko vaikutusalueen (Fortum Power and Heat Oy 2015, 13). Sukellusten avulla pystyttäisiin seuraamaan alueella tapahtuvaa muutosta ja sen suuruutta.

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Metsäteollisuuslaitosten tarkkailusuunnitelmista ei yksikäsitteisesti selviä, kuinka jäte- ja jäähdytysveden lämpökuorma lasketaan vuosiraportointia varten. Jos lämpökuorma lasketaan entalpiaeroista, tarvitaan tietoa sekä tulevan että purettavan veden lämpötilasta. Mittauspisteet on eritelty purettavalle vedelle, mutta tulevan veden lämpötilan mittauspisteitä ei ole määritetty. Tuotantolaitoksilla vesi kiertää useaan kertaan prosesseissa, jolloin haasteena on referenssilämpötilan yksikäsitteinen määrittäminen. Mittauspisteiden määrittäminen tarkkailusuunnitelmaan toisi läpinäkyvyyttä tuotantolaitoksen toimintaan.

Lämpökuorman on todettu lisäävän perustuotantoa, joka puolestaan lisää vesistön rehevöitymistä. Rehevöitymisen seurauksena vesistöön voi muodostua happikatoa, joka todennäköisesti vähentää pohjaeliöiden ja vesikasvillisuuden määrää. Ympäristönsuojeluasetuksen liitteessä 1 on määritetty vesistö päästöjä aiheuttavia aineita, joille tulisi asettaa raja-arvo ympäristöluvassa. Yhdeksi aineeksi on luokiteltu happitasapainoon epäedullisesti vaikuttavat aineet (Ympäristönsuojeluasetus liite 1). Koska lämpökuorma heikentää vesistön happitasapainoa, ympäristönsuojeluasetusta voidaan tulkita, että ympäristöluvassa tulisi määrittää lämpökuomalle jokin raja-arvo. Toisaalta asetuksessa puhutaan vain aineesta eikä energiasta, joten asetuksen määräys jää tulkinnanvaraiseksi.

Metsäteollisuuslaitosten ympäristöluvuissa ei ole asetettu maksimilämpötilaa purettavalle vedelle. Sen lisääminen ympäristölupa-estäisi lämpöpiikkien muodostumisen, koska purettavan veden lämpötilan noustessa voidaan nostaa virtausnopeutta, jolloin lämpö johtuu suurempaan vesimassaan. Lisäksi tuotantolaitoksilla seurataan jo jatkuvatoimisesti purettavan veden virtausta ja lämpötilaa, joten tietyn raja-arvon asettaminen ei lisäisi mittausvelvoitteita. Maksimilämpötilan määrittämiseen vaikuttaa vastaanottavan vesistön virtaus ja herkkyys sekä purettavan veden tyyppillinen virtaus.

Tuotantolaitoksen vesistöön päästämän lämpökuorman kohtuullisuutta on hankala arvioida. Kohtuullisuuteen vaikuttavat ainakin vesistövaikutusten laajuus ja suuruus, sekä kuinka

suuri lämpökuorman aiheuttama muutos on vastaanottavassa vesistössä. Lämpökuorman kohtuullisuutta voidaan tarkastella sekä ympäristövaikutusten että ihmisille aiheutuvan haitan näkökulmasta. Ympäristövaikutusten kannalta on otettava huomioon muutosten laajuus ja pysyvyys: Voiko lämpökuorman aiheuttamat muutokset palautua alkuperäisiksi toiminnan ja lämpöpäästön loputtua? Lämpökuormasta johtuvien vesistövaikutusten kohtuullisuutta tulee myös tarkastella vesistön ekologisen tilan muutoksen ja mahdollisten lajimuu-  
tosten perusteella.

Lämpökuorman kohtuullisuuden tarkastelu onnistuu myös ihmisille aiheutuvan haitan näkökulmasta. Lämpökuorman vesistövaikutusalueella on todennäköisesti rantakiinteistöjä, joiden käyttäjille lämpökuorman vaikutukset aiheuttavat mahdollista haittaa. Rehevöitymisen lisääntyminen vähentää viihtyvyyttä rantakiinteistöllä ja haittaa vesistön virkistyskäyttöä. Veden lämpeneminen saattaa myös muuttaa kalakantaa, mikä voi haitata elinkeinonharjoittajia ja virkistyskalastajia. Lisäksi vesistön virkistyskäyttö talvella vähenee, koska lämpökuorman vaikutus heikentää syntyynyttä jääkerrosta. Metsäteollisuuslaitoksen toiminnasta ihmisille aiheutuneesta haitasta maksetaan joissain tilanteissa korvausta.

Kun vanhaa tuotantolaitoksen toimintaa on laajennettu, uudessa ympäristöluvassa lämpökuorman suuruutta on saatettu arvioida vanhan tuotantolaitoksen perusteella. Tämä on hie-  
man kyseenalaista, koska uudessa ja vanhassa laitoksessa käytetyt tekniikat voivat poiketa toisistaan. Lisäksi uudet tuotantolaitokset ovat yleensä integraatteja, jolloin muun muassa lämpöä voidaan hyödyntää uudelleen erilaisissa prosesseissa. Uuden tuotantolaitoksen lämpökuorman määrittämiseen tulisi tietää uudet vesi- ja energiataseet, joiden avulla voitaisiin määrittää muodostunut lämpökuorma. Lämpökuorman laskenta taseiden kautta on varma tapa arvioida uuden tuotannon lämpöpäästöjä sekä saada selvyys, mistä prosessivaiheesta lämpö syntyy.

## 6. YHTEENVETO

Metsäteollisuuslaitokset käyttävät tuotannossaan paljon vettä. Yhden sellutonnin tuottamiseen kuluu 5–50 kuutiota vettä. Vesimäärään vaikuttavat raakaveden laatu ja lämpötila sekä halutun lopputuotteen laatuvaatimukset. Tarvittava raakavesi otetaan pintaotona laitoksen läheisestä vesistöstä. Selluntuotannossa tarvitaan vettä raaka-aineeksi, energian ja puukuitujen kuljetusväliaineeksi sekä kemikaalien liuottimeksi, puukuitujen pesuun ja laitteiden puhdistukseen.

Metsäteollisuuslaitoksilla raakavesi jakautuu jäähdytys- ja prosessivedeksi. Jäähdytysvesi kiertää omassa suljetussa kierrossaan, jolloin se voidaan kierron jälkeen palauttaa ilman puhdistusta vesistöön. Jäähdytysvettä käytetään pääasiassa turbiinin ja haihduttaman lauhduttimilla. Jäähdytysveden tarve on sellutehtaissa tuotettua sellutonnia kohden 40–60 m<sup>3</sup> ja se lämpenee kierron aikana 15 astetta, jolloin puretun jäähdytysveden lämpötila vaihtelee 20–35 °C välillä vuodenajan mukaan. Prosessivesi kiertää useaan otteeseen tuotantolaitoksella ja se puhdistetaan ennen sen purkua takaisin vesistöön. Selluntuotannossa tarvitaan lämmintä ja kuumaa vettä valkolipeän valmistukseen ja eri käyttökohteiden puhdistukseen. Tuotantolaitosten jäteveden virtaus tuotettua sellutonnia kohden on 20–40 m<sup>3</sup> ja se on lämmentynyt prosessin aikana noin 40 °C:een.

Metsäteollisuuslaitoksen energiatase (MJ/ADt) on esitetty kuvassa 5. Sellutonnin tuotantoon tarvitaan noin 2300 kg puuta, jonka energiasisältö on 23000–28000 MJ:a. Puun sisältämä energia hyödynnetään lämmöksi ja sähköksi kuori- ja soodakattilassa. Sähköä sellutonnin tuotannosta syntyy 6000–6100 MJ:a ja sen tuotantoon tarvitaan 1800–2500 MJ:a. Ylijäänyt sähkö (2500–4300 MJ) myydään valtakunnanverkkoon. Metsäteollisuuslaitos tarvitsee tuotannossaan runsaasti lämpöä, jota tuotetaan soodakattilan yhteydessä 18000–22000 MJ:a. Sellutonnin tuotannossa käytetään 8000–14000 MJ:a lämpöä, jolloin lämpöä jää yli 8000–10000 MJ:a. Ylijäänyt lämpö johdetaan vesistöön, jossa se aiheuttaa paikallisen lämpökuorman.



Kuva 5. Metsäteollisuuslaitoksen energiatase.

Lämpökuorman vesistövaikutukset voidaan jakaa biologisiin, kemiallisiin ja fysikaalisiin riskitekijöihin. Lämpökuorman ympäristövaikutukset ovat paikallisia ja niiden suuruus vaihtelee vastaanottavan vesistön virtausolosuhteiden, herkkyuden ja mallin mukaan. Lämpökuorman aiheuttama vesistön lämpötilannousu on yleensä muutaman asteen. Jo näin pieni lämpötilan nousu voimistaa perustuotantoa, mikä puolestaan lisää rehevöitymistä. Lisääntynyt rehevöityminen aiheuttaa muutoksia vesistön happitasapainossa ja johtaa pahimmillaan happikatoon. Muutokset vesistön happitasapainossa heikentävät kasvien ja eliöiden elinolosuhteita. Lämpökuorman aiheuttamat vesistövaikutukset muuttavat siis paikallisia olosuhteita ja muuttavat sen takia ekosysteemiä. Lisäksi lämpökuorma vähentää jään muodostumista talvella ja heikentää vesistön virkistyskäyttöä.

Euroopan Unionin ja Suomen lainsäädännöt velvoittavat sekä viranomaisia että toiminnanharjoittajia asettamalla ehdot ympäristöluvan sisältöön ja sen valvontaan. Lainsäädännön lisäksi BAT-päätökset ja BREF-vertailuasiakirjat yhtenäistävät teollisuuden toimialojen toimintaa ja päästötasoja. Metsäteollisuuslaitoksen toimintaa valvoo alueen ELY-keskus. Valvonta perustuu koottuun vuosiraporttiin, johon sisältyy muun muassa tarkkailusuunnitelmassa ja ympäristöluvassa veloitettujen mittausten tulokset. Tuotantolaitoksen päästöjen tulee alittaa ympäristöluvassa määrätyt päästöraja-arvot.

Taulukkoon 3 on koottu, miten lämpökuormaa käsitellään eri asiakirjoissa. BAT-päätelmissä ja BREF-asiakirjoissa keskitytään hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksiin ja jäähdytysjärjestelmän toimivuuteen. BAT-päätelmissä on myös annettu jätevesivirtauksen raja-arvo. Ympäristövaikutusten arviointi -selostuksessa keskitytään lämpökuorman leviämismallinukseen ja sen mahdollisten ympäristövaikutusten suuruuteen ja levinneisyyteen. Ympäristöluvassa arvioidaan jäte- ja jäähdytysveden purkulämpötila sekä päästetyn lämpökuorman suuruus. Ympäristölupa asettaa myös mittausvelvoitteet, joiden toteutuminen suunnitellaan tarkkailusuunnitelmassa. Lämpökuorman määrittämiseen tulee mitata otettavan ja purettavan veden lämpötilaa ja virtausta jatkuvatoimisesti. Lisäksi toiminnanharjoittajan tulee tarkkailla vesistön tilaa vähintään yhteistarkkailuna alueen toimijoiden kanssa.

Taulukko 3. Lämpökuorman käsittely eri asiakirjoissa.

Asiakirja	Lämpökuorma
BAT	Hukkalämmön hyödyntäminen Jätevesivirtaus
BREF	Jäähdytysjärjestelmän määrittäminen
YVA	Lämpökuorman leviämismallinnus Lämpökuormasta aiheutuvien ympäristövaikutusten määrittäminen ja suuruusluokan arvioiminen
Ympäristölupa	Arvio lämpökuorman suuruudesta Mittausvelvoitteet Korvaukset
Tarkkailusuunnitelma	Mittausjärjestelyt Vesistövaikutukset

Metsäteollisuuslaitosten ympäristöluvista ja tarkkailusuunnitelmista ei yksikäsitteisesti käy ilmi lämpökuorman määrittämisen ja laskennan perusteet. Lisäksi lämpökuormalle ei ole määritetty raja-arvoa, vaikka se koetaankin nykyään päästöksi, joille yleensä on lupamennettelyissä asetettu raja-arvot. Lämpökuorman mittausvelvoitteiden ja raja-arvojen selvittäminen vähentäisivät toiminnanharjoittajien ja valvontaviranomaisten välisiä epäselvyyksiä ja yhtenäistäisivät käytäntöjä.

## LÄHTEET

Aluehallintovirasto. 2017. Kuopion biotuotetehtaan ympäristölupa ja toiminnanaloittamislupa sekä vesitalouslupa ja valmistelulupa, Kuopio. Päätös. Dnro ISAVI/1171/2016. [Viitattu 14.11.2019]

Aluehallintovirasto. 2015. Metsä Fibre Oy:n biotuotetehtaan, kuoren kuivauksen ja kaasutuslaitoksen, mädättämön, integraatissa syntyvien jätevesien ja Äänekosken kaupungin yhdyskuntajätevesien yhteiskäsittelyn sekä Metsä Board Oy:n jätevedenpuhdistamon ympäristölupa, sekä toiminnan aloittaminen mahdollisesta muutoksenhausta huolimatta, Äänekoski. Päätös. Dnro LSSAVI/4652/2014. [Viitattu 14.11.2019]

Bajpai, P. 2018. Biermann's Handbook of Pulp and Paper: Volume 1, Raw Material and Pulp Making, Amsterdam, Netherlands: Elsevier [2018]. [Viitattu 28.10.2019]

Dahl O. Aine- energia- ja rahataseet. [Viitattu 12.12.2019] Saatavissa: <https://docplayer.fi/8798340-Aine-energia-ja-rahataaset-prof-olli-dahl.html>

Dahl O, Ekroos A, Harju-Oksanen M-L, Puheloinen E-M, Warsta M, Watkins G. 2011. Teollisuuden päästödirektiivin (IED) voimaansaattaminen ja muita ympäristönsuojelulain kehittämisaikatuksia. [Viitattu 2.12.2019] Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41377/YMra\\_6\\_2011.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41377/YMra_6_2011.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Dahl O, Laukkanen T, Martikka M. 2013. Teollisuuden ympäristöasioiden hallinta. Espoo: Aalto yliopisto, Kemianteeniikan korkeakoulu, Puunjalostustekniikan laitos, Puhtaat teknologiat 2013.

European Commission IPPC. 2001. Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems. [Viitattu 13.11.2019] Saatavissa: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/cvs\\_bref\\_1201.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/cvs_bref_1201.pdf)

Fortum Power and Heat Oy. 2015. Loviisan voimalaitos: Jäähdytys- ja jätevesien tarkkailu vuonna 2014. [Viitattu 2.11.2019]

Hiltunen Reetta. 2019. Vesistön tilan seurannassa käytettävät analyysimenetelmät ja jätevesimittaukset. Oppimateriaali osa 2 : Ympäristöluvat ja -mittaukset. [Viitattu 31.10.2019]



- Kettunen I, Mäkelä A, Heinonen P. 2008. Vesistötietoa näytteenottajille. ISBN 978-952-11-3238-4. [Viitattu 28.10.2019]
- Käyhkö T. 2003. Jäähdytystornit ratkaisu lauhdevesipulmaan. [Viitattu 5.11.2019] Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/jaahdytystornit-ratkaisu-lauhdevesipulmaan/74df5ed2-aeffa-3b20-aa78-165919165b54>
- Luonnonvarakeskus. Kalat, kalastus ja ilmastonmuutos. [Viitattu 31.10.2019] Saatavissa: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/kalat-ja-kalatalous/kalat-ja-muuttuva-ymparisto/kalat-kalastus-ilmastonmuutos/>
- Manivasakam N. 2016. Industrial effluents : origin, characteristics, effects, analysis & treatment. Chemical Publishing Company, U.S.A. ISBN978-08206-0414-5. [Viitattu 18.11.2019]
- Marttila M. 2019. Metsäteollisuusintegraatin vesitase nyt ja tulevaisuudessa. Diplomityö. Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT. LUTPub. [Viitattu 18.10.2019] Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/159779>
- Melolinna N. 2019. Ympäristömittauksia säätelevä lainsäädäntö ja ympäristölupakäytäntö. Kurssimateriaali: Ympäristöluvut ja -mittaukset. [Viitattu 2.12.2019]
- Metsä Fibre Oy. 2019. Kemin biotuotetehtaan ympäristövaikutusten arviointiselostus. [Viitattu 15.11.2019] Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/keminbiotuotetehdasYVA>
- Metsäteollisuus ry. 2019. Vesi on metsäteollisuudelle elintärkeää. [Viitattu 2.11.2019] Saatavissa: <https://www.metsateollisuus.fi/edunvalvonta/ymparisto-ja-vastuullisuus/tehtaiden-ymparistoasiat/vesi-metsateollisuudelle-elintarkeaa/>
- Mitikka S. 2013. Järvien vedenlaadun vertailu [Viitattu 31.10.2019]
- Mykkänen J, Rasmus K. 2019. Kemin uudelta biotuotetehtaalta purettavien jäte- ja jäähdytysvesien vaikutuksien mallinnus. [Viitattu 15.11.2019] Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/keminbiotuotetehdasYVA>
- Mäkelä M, Soininen L, Tuomola S, Öistämö J. 2015. Tekniikan kaavastot. 15. painos. Amk-kustannus Oy Tammertekniikka.
- Ohtonen R. 2018. Suomen paperi-, kartonki- ja massatehtaat. [Viitattu 12.12.2019] Saatavissa: <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/massa-ja-paperiteollisuus/>

Perälä H. 2019. Metsä Fibre Oy:n Kemian biotuotetehtaan YVA-selostus, jäte- ja jäähdytysvesien vesistövaikutukset. [Viitattu 15.11.2019] Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/keminbiotuotetehtasYVA>

Raunio J. 2015. Pohjanlaadun ja uposvesikasvillisuuden kartoitus kaikuluotaamalla Loviisan voimalan edustalla vuonna 2015.

Suhr M, Klein G, Sancho Delgado L, Roudier S, Giner Santonja G, Rodirigo Gonzalo M, Kourti I. 2015. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. ISBN 978-92-79-48167-3. [Viitattu 30.10.2019]

Stora Enso Oyj. 2015. Ehdotus Ympäristönsuojelun velvoitetarkkailuohjelmaksi. [Viitattu 13.11.2019]

Suomen Ympäristökeskus. 2019. Miten ympäristölupa haetaan – ohjeet ja lomakkeet. [Viitattu 28.10.2019] Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi\\_luvat\\_ja\\_ymparisto-vaikutusten\\_arviointi/Luvat\\_ilmoitukset\\_ja\\_rekisterointi/Ymparistolupa/Miten\\_ymparistolupa\\_haetaan\\_\\_ohjeet\\_ja\\_lomakkeet](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparisto-vaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Miten_ymparistolupa_haetaan__ohjeet_ja_lomakkeet)

Suorsa J. 2019. Metsäteollisuuden tuotanto ja vienti. [Viitattu 14.1.2020] Saatavissa: <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/metsateollisuus/>

Suomen ympäristökeskus. 2019. Järven rehevöityminen. [Viitattu 3.11.2019] Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistojen\\_kunnostus/Jarvien\\_kunnostus/Kunnostus-tarvetta\\_aiheuttavia\\_tekijoita/Rehevoityminen](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistojen_kunnostus/Jarvien_kunnostus/Kunnostus-tarvetta_aiheuttavia_tekijoita/Rehevoityminen)

Suomen ympäristökeskus. 2018. Paras käyttökelpoinen tekniikka BAT. [Viitattu 2.11.2019] Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Paras\\_tekniikka\\_BAT](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Paras_tekniikka_BAT)

Seppälä M, Klementti U, Kortelainen V, Lyytikäinen J, Siitonen H, Sironen R. 2001. Paperimassan valmistus. Helsinki: Opetushallitus 2001. Kemiallinen metsäteollisuus, 1.

Tana J. 2019. Arvioita Metsä-Fibren uuden biotuotetehtaan jätevesien vesistövaikutuksista. [Viitattu 15.11.2019]

Tikka P. 2008. Chemical Pulping Part 2, Recovery of Chemicals and Energy. Paperi ja Puu Oy. ISBN 978-952-5216-00-4

Vakkilainen E. 2019. Haastattelu 12.11.2019

Vesilaki 27.5.2011/587. Finlex. [Viitattu 10.11.2019] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587>

WPS Environmental Oy. 2010. Biodiesellaitoksen jäähdytysvesien leviämismallinnus, Äänecoski. [Viitattu 17.1.2020]

Ympäristöministeriö. 1997. The Finnish Background Report for the EC Documentation of Best Available Techniques for Pulp and Paper Industry. ISBN 952-11-0123-7

Ympäristöministeriö. 2018. Ympäristövaikutusten arviointi. [Viitattu 12.11.2019] Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi\\_luvat\\_ja\\_ymparistovaikutusten\\_arviointi/Ymparistovaikutusten\\_arviointi](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi)

Ympäristönsuojeluasetus 4.9.2014/713. Finlex. [Viitattu 10.11.2019] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140713>

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527. Finlex. [Viitattu 10.11.2019] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

Ålander T. 2019. Sähköpostikeskustelu