



KIRKKO HELSINGISSÄ
KYRKAN | HELSINGFORS

Vähähiilisen krematorion hankintaselvitys

Helsingin seurakuntayhtymän
toimeksiannosta kirjoittanut
Macon Oy

macon

Sisältö

Yhteenveto	5
1. Johdanto	6
1.1 Selvityksen tausta ja tavoitteet.....	6
1.2 Selvityksen tarkoitus ja käyttötarkoitus	7
1.3 Hankkeen rajaukset ja tavoitteet.....	8
1.4 Selvityksen kohderyhmät.....	9
1.5 Lyhenneluettelo	11
2. Markkinakartoitus ja teknologiat	12
2.1 Perinteiset krematoriot	12
2.1.1 Polttoainevaihtoehdot ja niiden saatavuus.....	15
2.1.2 Sähkökäyttöiset krematoriot.....	17
2.2 Uudet ja kehitteillä olevat krematorioteknologiat.....	18
2.2.1 Vesituhkaus.....	18
2.2.2 Kylmäkuivaus.....	20
2.2.3 Kompostointi.....	21
3. Savukaasunpuhdistus- ja lämmöntalteenotto-järjestelmät	24
3.1 Lämmöntalteenoton mahdollisuudet ja hyödyt	25
3.2 Nykyiset ja kehitteillä olevat savukaasunpuhdistusteknologiat	26
3.3 Puhdistus- ja talteenottolaitteistojen vaikutukset päästöihin	27
3.4. Markkinoilla olevat tuhkausuunit ja ratkaisut	28
4. Uusiutuvan energian hyödyntämismahdollisuudet	30
4.1 Uusiutuvat polttoaineet tuhkausuunissa	30
4.1.1 Sähkö	30
4.1.2 Bioöljy	30
4.1.3. Biokaasu.....	31
4.2 Uusiutuvan energian rooli krematoriotoiminnassa sekä esimerkkikohteet	32
5. Valtakunnallinen kyselytutkimus	33
5.1 Öljykäyttöisten krematorioiden vastaukset	33
5.2 Kaasukäyttöisten krematorioiden vastaukset	34
5.3 Kyselytutkimuksen lyhyt yhteenveto.....	35
6. Krematorioiden ympäristö- ja päästö-laskelmat	36
6.1 Krematorioiden elinkaaripäästöt.....	36
6.2 Käytönaikaiset päästöt ja niiden vähentämisen mahdollisuudet.....	36
6.3 Muodostuvat ympäristöpäästöt ja ilmasto vaikutusten vähentämisen mahdollisuudet ..	42
7. Taloudellinen tarkastelu	45
7.1 Hankinta-, käyttö- ja huoltokustannukset.....	45
7.1.1 Hankintakustannukset	45
7.2. Elinkaarikustannukset eri polttoaineilla.....	47
7.2.1 Tuhkausten määrä.....	47
7.2.2 Muuttuvat kulut.....	47

7.2.3 Investointikulut	48
7.2.4 Elinkaarikustannukset eri polttoainevaihtoehdoilla.....	48
7.2.5 ORC turbiini	49
7.3 Yhtiöittäminen, rahoitus ja avustukset	49
8. Kulttuuriset, teologiset ja sosiaaliset näkökulmat	53
8.1 Hautausmaiden ja krematorioiden kulttuuri-historiallinen merkitys.....	55
8.2 Hautauskulttuurin moninaisuus ja sen huomioiminen	56
9. Lainsäädännölliset vaatimukset	58
9.1 EU-lainsäädännön nykyiset ja tulevat vaatimukset.....	58
9.2 Suomen hautaustoimilain määräykset	59
9.3 Ympäristölupaprosessien vaatimukset	60
9.4 Lainsäädännön muutostarpeet.....	62
10. Kestävän kehityksen näkökulmat	66
10.1 Yritysvastuun raportointi.....	66
10.2 VSME	66
10.3 Kompensointijärjestelmät	67
10.4 Helsingin seurakuntayhtymän hiilineutraaliuden tavoitteet	67
11. Yhteenvedo ja johtopäätökset.....	69
11.2 Suositukset vähähiilisen krematorion hankintaan	70
12. Loppuraportin hyödyntäminen	71
13. Liitteet	72
13.1 Kyselytutkimuksen vastauksien tiivistelmä	72
14. Kiitokset ja selvityksen tekijät	73
14.1 Yhteistyökumppanit ja asiantuntijat.....	73
14.2 Konsulttiryhmän esittely	73
15. Julkaisutiedot ja jatkokäyttö.....	74
15.1 Raportin kieliversiot ja julkaisu	74
15.2 Tiedotus ja jakelukanavat	74
15.3 Webinaarit ja tiedotustilaisuudet.....	74
Lainatut lähteet	75
Liite 1: Kyselytutkimuksessa esitettyjen kysymyksien sisältö	82
Liite 2: Kyselytutkimuksen vastaukset (öljykäyttöiset krematoriot)	83
Liite 3: Kyselytutkimuksen vastaukset (kaasukäyttöiset krematoriot).....	88
Liite 4: DFW:n Letter of Equivalence esimerkki	90

Hankkeemme Vähähiilisen krematorion hankintaselvitys on saanut tukea ympäristöministeriöltä Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelmasta, jonka rahoitus tulee EU:n kertaluonteisesta elpymisvälineestä (RRF). Tämä selvitys on laadittu osana hanketta, joka on saanut tukea ympäristöministeriöltä Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelmasta, jota Euroopan unionin NextGenerationEU rahoittaa osana Suomen kestävän kasvun ohjelmaa.



Yhteenveto

Selvitys tarkastelee monipuolisesti krematoriotoiminnan kehittämismahdollisuuksia seurakuntayhtymien tarpeiden osalta. Perinteisistä krematoriotekniikoista siirtyminen vähähiilisiin vaihtoehtoihin on realistista ja teknologisesti mahdollista. Eri energialähteiden ja savukaasujen puhdistusratkaisujen vaikutuksia on arvioitu yksityiskohtaisesti sekä päästöjen että kustannusten näkökulmasta. Esimerkiksi sähkökäyttöinen krematorio tai biopolttoaineisiin siirtyminen voi vähentää päästöjä huomattavasti, erityisesti jos sähkö on uusiutuvaa ja päästökompensoitua.

Markkinakatsauksen mukaan vaihtoehtoja on tarjolla niin sähkökäyttöisistä uuneista kuin kaasulaitteistoista. Lämmöntalteenottoa ja savukaasujen puhdistusta voidaan hyödyntää ympäristötehokkuuden parantamiseksi. Uudet hautausmenetelmät kuten vesituhkaus ja kompostointi voivat tulevaisuudessa laajentaa mahdollisuuksia, mikäli Suomen hautaustoimilaisissa toteutetaan muutoksia. Kulttuuristen, sosiaalisten ja teologisten reunaehtojen arviointi osoittaa, että tuhkaus voidaan sovittaa osaksi moniarvoista hautauskulttuuria.

Selvitys suosittelee investoinnin huolellista suunnittelua ja vertailua eri teknologioiden ja käyttötapojen välillä. Erityisesti huomionarvoista on, että toimintatavan valinnalla ja käyttöasteen optimoinnilla voidaan merkittävästi vaikuttaa sekä päästöihin että käyttökustannuksiin. Selvitys toimii tukena Helsingin seurakuntayhtymän päätöksenteolle ja laajemmin koko alan kehittämiseksi kohti ilmastokestävämpää hautaustoimea.

1. Johdanto

Helsingin seurakuntayhtymä on käynnistänyt vähähiilisen krematorion hankintaselvityksen vastatakseen sekä ilmastotavoitteisiin että kasvavaan krematointikysyntään. Hanke on saanut rahoitusta ympäristöministeriön Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelmasta EU:n RRF-rahoituksella, mikä korostaa sen ajankohtaisuutta kansallisen ilmastopolitiikan näkökulmasta. Ilmastomuutoksen hillitseminen edellyttää päästövähennyksiä kaikilla sektoreilla, myös hautaus- ja krematoriotoiminnassa. Samalla hautauskulttuuri on muutoksessa: yhä suurempi osa vainajista tuhkataan, ja Suomessa krematointien osuus hautauksista on jo yli 65 %.

Krematorioiden on siten vastattava sekä yhteiskunnan ilmasto-odotuksiin että muuttuvan hautaustavan tarpeisiin. Vähähiilisen krematorion hankintaselvitys on Helsingin seurakuntayhtymän aloite, jonka tavoitteena on löytää kestäviä ratkaisuja uuteen krematoriohankkeeseen ja saavuttaa kirkon asettamia päästövähennystavoitteita. Hankkeessa laaditaan kattava tekninen, taloudellinen, lainsäädännöllinen ja kulttuurinen analyysi vähähiilisen krematorion hankinnasta.

Tavoitteena on tuottaa tietopohja, jonka avulla päätöksentekijät voivat arvioida eri vaihtoehtoja ja varmistaa, että tuleva krematorio täyttää tiukentuvat ympäristövaatimukset sekä palvelee kaupunkilaisten tarpeita kestävällä tavalla. Johdantoluvussa esitellään ensin selvityksen tausta ja tavoitteet, sen jälkeen tarkoitus ja käyttötarkoitus, hankkeen rajaukset ja tavoitteet tarkemmin sekä lopuksi selvityksen kohderyhmät. Nämä johdannon alaluvut muodostavat kokonaisuuden, joka taustoittaa selvitystä ja sen merkitystä ennen teknisten osioiden esittelyä.

1.1 Selvityksen tausta ja tavoitteet

Helsingin seurakuntayhtymä on Suomen suurin evankelis-luterilainen seurakuntatalous, joka

vastaa hautaustoimista Helsingissä. Seurakuntayhtymällä on kaksi krematoriota: Malmin krematoriossa on yksi uuni ja Honkanummen krematoriossa Vantaalla on kaksi uunia. Nykyisillä kolmella uunilla tuhkataan vuosittain reilu 4 000 vainajaa.

Tuhkausten määrän odotetaan kasvavan tulevina vuosina, ja nykyinen kapasiteetti on arvioitu riittämättömäksi tulevaisuuden tarpeisiin. Malmin hautausmaalle onkin suunnitella joko uuden krematoriuunin hankinta tai kokonaan uuden krematoriorakennuksen rakentaminen uuneineen.

Samanaikaisesti ympäristövaatimukset ja ilmastotavoitteet kiristyvät. Helsingin seurakuntayhtymä on sitoutunut kirkon ympäristöjärjestelmään (ns. Kirkon ympäristödiplomi) sekä Hiilineutraali kirkko 2030-strategiaan. Tämä tarkoittaa, että seurakuntayhtymä pyrkii vähentämään toiminnastaan aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä ja saavuttamaan hiilineutraaliuden vuoteen 2030 mennessä. Krematorioiden toiminta tuottaa kasvihuonekaasupäästöjä pääasiassa polttoaineen kulutuksesta sekä mahdollisesti sähkön käytöstä ja jätehuollosta. Myös savukaasupäästöihin, kuten hiukkasiin ja elohopeaan, kohdistuu tiukentuvia ympäristösäädöksiä. Ympäristötietoisuuden kasvu ja kansalliset ilmastotavoitteet mm. hiilineutraalius 2035 mennessä (Finlex, 2022) luovat painetta etsiä nykyistä vähäpäästöisempiä ratkaisuja jopa hautaustoimen kaltaisilla erikoistuneilla aloilla.

Hautaustavat ja -kulttuuri ovat myös murroksessa. Suomessa tuhkaus on yleistynyt merkittävästi viime vuosikymmeninä: kaupungeissa valtaosa vainajista tuhkataan, ja valtakunnallisesti tuhkausten osuus on ylittämässä perinteisen arkkuhautauksen osuuden. Tilan puute hautausmailla, kustannustekijät sekä asenteiden muuttuminen ovat lisänneet tuhkausten suosiot. Samaan aikaan vainajien omaiset ja yleisö kiinnittävät kasvavaa huomiota hautajaisten ympäristövaikutuksiin. Esimerkiksi hautaustavasta aiheutuva hiilijalanjälki ja eettisyys (esim. savukaasujen puhdistus, uusiutuvan energian käyttö, mahdolliset uudet teknologiat

kuten biohajoavat arkut tai vaihtoehtoiset käsittelemenetelmät) nousevat esille julkisessa keskustelussa. Seurakuntayhtymä haluaa vastata tähän kehitykseen proaktiivisesti.

Edellä kuvatusta taustasta nousee päätavoite: selvittää, miten Helsingin seurakuntayhtymä voi toteuttaa uuden krematorion tai krematoriuunun hankinnan mahdollisimman vähähiilisesti. Tämä päätavoite jakaantuu useisiin alatavoitteisiin. Ensinnäkin hankkeessa pyritään kartoittamaan ja arvioimaan erilaiset tekniset ratkaisut tulevaa krematoriota varten – mukaan lukien uudet uunitekniikat, polttoainevaihtoehdot (esimerkiksi sähkö, biokaasu, vety tai muut uusiutuvat energialähteet) sekä savukaasujen puhdistus- ja lämmöntalteenottojärjestelmät. Toiseksi tavoitteena on arvioida kunkin ratkaisuvaihtoehdon ympäristövaikutukset, erityisesti kasvihuonekaasupäästöt ja mahdolliset paikalliset päästöt (kuten ilmasaasteet) elinkaarinäkökulmasta. Kolmanneksi selvitetään taloudelliset vaikutukset: investointikustannukset, käyttökustannukset sekä mahdolliset säästöt tai hyödyt elinkaaren aikana (esim. energiatehokkuudesta saatavat säästöt tai lämmöntalteenoton tuomat hyödyt). Neljänneksi tavoitteena on varmistaa, että valittavat ratkaisut ovat yhteensopivia voimassa olevan lainsäädännön kanssa ja tuleva sääntelyn kehittyminen otetaan huomioon. Viidenneksi selvityksessä tarkastellaan hankkeen kulttuurista ulottuvuutta – kuinka hautauskulttuurin arvot ja perinteet voidaan sovittaa yhteen uusien vähähiilisten ratkaisujen kanssa, ja miten muutos vastaanotetaan seurakunnissa ja yhteiskunnassa laajemmin.

Yhteenvedona voidaan todeta, että selvitys kytkeytyy Helsingin seurakuntayhtymän käytännön tarpeeseen lisätä tuhkauskapasiteettia sekä strategiseen tavoitteeseen pienentää toiminnan hiilijalanjälkeä. Selvityksen tavoitteet on asetettu siten, että lopputuloksena syntyy kokonaiskuva vähähiilisen krematorion toteutusmahdollisuuksista Helsingissä. Tämä palvelee sekä paikallista päätöksentekoa että laajemmin kirkon ja ympäristöviranomaisten pyrkimyksiä edistää kestävästä kehityksestä.

1.2 Selvityksen tarkoitus ja käyttötarkoitus

Vähähiilisen krematorion hankintaselvityksen tarkoituksena on tuottaa luotettavaa ja puolueetonta tietoa, jonka pohjalta Helsingin seurakuntayhtymä voi tehdä perusteltuja päätöksiä uuden krematorion hankinnasta. Käytännössä tämä tarkoittaa, että selvityksen avulla tunnistetaan parhaat mahdolliset käytettävissä olevat teknologiat ja toimintamallit, joilla krematorioiden päästöjä voidaan minimoida. Selvitys kokoaa yhteen nykytilanteen analyysin, vaihtoehtoisten ratkaisujen vertailun ja suositukset etenemisestä. Tarkoituksena ei ole vielä tehdä lopullisia teknisiä suunnitelmia tai investointipäätöksiä, vaan luoda vankka tietoperusta ja esiselvitys, jonka pohjalta varsinainen hankesuunnittelu ja kilpailutus voidaan käynnistää. Selvitys on myös osa laajempaa pyrkimystä integroida ilmastonäkökulma hautaustoimenpidettä koskevaan päätöksentekoon. Se toimii esimerkkinä siitä, kuinka perinteisiä palveluja voidaan kehittää ympäristön kannalta kestävämpään suuntaan tinkimättä ydintehtävistä. Helsingin seurakuntayhtymän hankkeella on piloteille tyypillinen tarkoitus: kokeilla ja arvioida innovatiivisia ratkaisuja siten, että myös muille toimijoille syntyy hyödynnettävää tietoa. Tämä tarkoitus heijastuu hankkeen saamaan valtion rahoitukseen – ympäristöministeriön vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelma tukee hankkeita, joilla on mallinnusarvoa ja jotka voivat edistää vähähiilisyttä laajemmin rakennetussa ympäristössä. Näin ollen selvityksen tarkoituksena on palvella Helsingin seurakuntayhtymän omia tarpeita ja tuottaa yleistettävää tietoa krematorioiden vähähiilisistä ratkaisuista koko alalle.

Selvityksen ensisijaisena käyttötarkoituksena on toimia Helsingin seurakuntayhtymän uuden krematoriohankkeen tukena. Loppuraportti toimii päätöksenteon tukena, kun arvioidaan eri toteutusvaihtoehtoja Malmin hautausmaan krematorion laajentamiseksi tai uudisrakentamiseksi. Käytännössä raportti auttaa määrittelemään hankinnan vaatimuksia ja kriteereitä: esimerkiksi minkälaista teknologiaa tarjouspyynnöissä tulisi edellyttää, millaisiin päästö-

tasoihin pyritään, ja mitä taloudellisia reuna-ehjoja hankkeella on. Raportin laskelmat ja vertailut tarjoavat pohjatietoja investointisuunnitteluun (kuten elinkaarikustannuslaskentaan) ja ympäristölupahakemusten valmisteluun. Lisäksi selvityksen oikeudellinen osuus auttaa tunnistamaan, onko lainsäädännössä esteitä tai erityisvaatimuksia tietyille teknologioille (esimerkiksi sähkökrematorioiden lupakäytännöt tai vaihtoehtoisten krematointimenetelmien laillisuus Suomessa).

Koska hanke on julkisrahoitteinen ja tulokset julkaistaan, selvityksen käyttötarkoitus ulottuu myös Helsingin seurakuntayhtymän ulkopuolelle. Loppuraportti tullaan jakamaan laajasti kirkon ja alan toimijoiden keskuudessa. Sitä voivat hyödyntää muut seurakunnat ja kaupunkien toimijat, jotka suunnittelevat omia krematoriahankintojaan tai päivittävät olemassa olevia laitoksiaan. Raportin tietoja voidaan käyttää esimerkiksi määriteltäessä vähähiilisyttä tukevia toimenpiteitä hautausmaiden alalla tai pohdittaessa kansallisen tason linjauksia kuten pitäisikö hautausmaailainsäädäntöä päivittää vastaamaan uusien teknologioiden tuomia mahdollisuuksia. Myös ympäristöministeriö ja muut julkishallinnon tahot voivat hyödyntää selvitystä arvioidessaan, millaisia keinoja on käytettävissä erikoisalojen ilmastopäästöjen vähentämiseen. Yhteenvedona, selvityksen tarkoitus on tuottaa tietoa päätöksenteon pohjaksi ja luoda edellytykset onnistuneelle vähähiilisen krematorion hankinnalle. Sen käyttötarkoitus on kaksijakoinen: toisaalta konkreettinen (Helsingin seurakuntayhtymän oman investointihankkeen valmistelu) ja toisaalta strateginen (mallin tarjoaminen muille vastaaville hankkeille ja tietopohjan vahvistaminen hautausalan ilmastotyössä).

1.3 Hankkeen rajaukset ja tavoitteet

Vähähiilisen krematorion hankintaselvityksen laajuus on huolellisesti määritelty, jotta selvitys pysyy keskittyneenä olennaisiin kysymyksiin ja tuottaa käyttökelpoista tietoa. Ensinnäkin maantieteellisesti ja toiminnallisesti hanke on rajattu

Helsingin seurakuntayhtymän tarpeisiin, erityisesti Malmin hautausmaan uuteen krematorioon liittyviin ratkaisuihin. Tämä ei kuitenkaan sulje pois tiedonkeruuta ja vertailua myös muualta: selvityksessä hyödynnetään kokemuksia ja tietoja muistakin krematorioista, mutta johtopäätökset sovelletaan Helsingin olosuhteisiin.

Toiseksi teknologian osalta rajaus kattaa krematorion ja tuhkausuunien ydinprosessit sekä niihin liittyvät järjestelmät (polttoaineen tuotanto ja syöttö, palamisprosessi, savukaasujen puhdistus, lämmöntalteenotto, tuhkan käsittely). Sen sijaan esimerkiksi hautausmaiden maankäyttö tai hautausapojen vertailu yleisellä tasolla ei syvällisesti käsitellä, ellei niillä ole suoraa vaikutusta krematorioratkaisuihin.

Kolmanneksi ympäristövaikutusten arviointi keskittyy ilmastopäästöihin (hiilidioksidi, muut kasvihuonekaasut) ja ilmanlaatuun vaikuttaviin päästöihin, sillä nämä ovat olennaisimmat vähähiilisyyden ja lupaehtojen kannalta. Muita ympäristönäkökohtia, kuten melu, jätevedet tai jätteiden käsittely, käsitellään tarvittaessa, mutta ne eivät ole selvityksen painopisteenä, elleivät ne muodostu merkittäviksi valintakriteereiksi tekniikoiden välillä.

Hanke on ajallisesti rajattu siten, että se valmistuu syksyyn 2025 mennessä. Tämä aikataulu tarkoittaa, että selvityksen on otettava huomioon tiedossa oleva teknologian kehitystaso ja lainsäädäntö sellaisena kuin ne ovat tarkasteluhetkellä. Hyvin pitkän aikavälin teknologiat, joiden käyttöönotto on epävarmaa tai ajoittuu vasta 2030-luvun loppupuolelle, rajataan pääosin tarkastelun ulkopuolelle. Samoin lainsäädäntöä tarkastellaan ensisijaisesti nykyisen oikeustilan pohjalta, kuitenkin unohtamatta vireillä olevia muutoksia – esimerkiksi mahdollisia EU-tason tiukennuksia krematorioiden päästörajoihin.

Sisällöllisesti hankkeella on useita toisiinsa kytkeytyviä erillisiä tavoitteita, jotka perustuvat aiemmin kuvattuihin päätavoitteisiin. Selvityksessä tarkastellaan erityisesti seuraavia osa-alueita ja kysymyksiä:

Tekniset ratkaisut: Mitkä ovat saatavilla olevat teknologiat uuden krematorion toteuttamiseksi vähähiilisesti? Tarkasteluun kuuluvat esimerkiksi sähkötoimiset krematoriuunit, biokaasua tai synteettistä metaania hyödyntävät kaasukrematoriot, hybridimallit sekä uudet innovaatiot (kuten mahdollinen plasmapoltto tai täysin uudet tuhkausmenetelmät). Myös savukaasujen puhdistustekniikat (suodattimet, katalysaattorit) ja lämmöntalteenoton hyödyntäminen (esim. hautausmaan rakennusten tai kaukolämmön tarpeisiin) kuuluvat tähän osioon. Teknisen tarkastelun tavoitteena on tunnistaa ne ratkaisut, jotka tarjoavat suurimmat päästövähennykset säilyttäen silti toimintavarmuuden ja turvallisuuden korkealla tasolla.

Taloudellinen analyysi: Mitkä ovat eri vaihtoehtojen kustannusvaikutukset sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä? Arvioinnissa huomioidaan investointikustannukset (laitteiden ja rakennusten hankinta ja asennus) sekä käyttökustannukset (esim. polttoaineen tai sähköön kulutus, huollot, henkilöstö). Lisäksi otetaan huomioon mahdolliset tulolähteet, kuten säästöt energian talteenotosta tai hiilikrediitit. Tavoitteena on selvittää, mikä ratkaisu on elinkaarikustannuksiltaan edullisin suhteessa saavutettaviin ympäristöhyötyihin. Tarkastelussa huomioidaan myös mahdolliset tuet ja kannustimet sekä riskit, kuten energian hinnan vaihtelut.

Lainsäädännölliset edellytykset: Mitkä lait, asetukset ja lupakäytännöt säätelevät krematorion suunnittelua, rakentamista ja käyttöä, ja miten ne vaikuttavat vaihtoehtoihin? Tässä osuudessa käydään läpi ympäristölainsäädäntö (päästörajat, ympäristölupaprosessi), hautaus-toimilainsäädäntö (hyväksytyt krematointimenetelmät), rakennuslainsäädäntö (rakennus- ja paloturvallisuusmääräykset polttolaitoksille) sekä mahdolliset EU-tason direktiivit. Tavoitteena on varmistaa, että suositellut ratkaisut ovat toteutuskelpoisia nykyisen säädöspohjan puitteissa ja tunnistaa, onko tarvetta lakimuutoksille uusien teknologioiden käyttöönoton mahdollistamiseksi.

Kulttuuriset ja sosiaaliset näkökulmat: Miten vähähiilinen krematoriohanke soveltuu suomalaiseen hautauskulttuuriin ja millaisia

reaktioita tai odotuksia siihen voi liittyä? Tässä osuudessa tarkastellaan niin uskontokuntiin kuuluvien kuin uskonottomien näkemyksiä tuhkauksesta sekä hautausperinteiden vaikutusta. Tavoitteena on varmistaa, että teknisesti ja taloudellisesti lupaavat ratkaisut ovat myös sosiaalisesti hyväksyttäviä ja kulttuurisesti kestäviä.

Edellä mainitut osa-alueet muodostavat hankkeen selvityksen rungon. Rajauksista huolimatta pyritään siihen, että selvitys on riittävän laaja tarjoamaan päätöksentekijöille kaikki olennaiset tiedot mutta riittävän konkreettinen keskittyäkseen juuri uuden vähähiilisen krematorion hankinnan kannalta keskeisiin kysymyksiin. Tavoitteena on tuottaa julkinen loppuraportti, joka sisältää laskelmat ja analyysit ja toimii pohjatietona myös muiden toimijoiden vähähiilisiä krematorio- ja tuhkausuunihankintoja varten. Hankkeen onnistumista mitataan sillä, kuinka hyvin raportti antaa vastauksia asetettuihin kysymyksiin ja tukee käytännön hankintapäätöstä. Lyhyesti sanottuna: hankkeen rajaus on tarkka, jotta selvitystyö pysyy hallittavana, ja tavoitteet ovat kunnianhimoiset, jotta lopputulos olisi mahdollisimman hyödyllinen ja vaikuttava sekä Helsingin seurakuntayhtymälle että laajemmin koko yhteiskunnalle.

1.4 Selvityksen kohderyhmät

Selvityksen kohderyhmiä ovat ne tahot ja sidosryhmät, joita vähähiilisen krematorion hankinnan tulokset ja johtopäätökset hyödyttävät tai jotka voivat hyödyntää selvityksen tuottamaa tietoa. Keskeisimmät kohderyhmät ovat seuraavat:

Helsingin seurakuntayhtymän päätöksentekijät ja asiantuntijat: Ensisijaisesti raportti palvelee Helsingin seurakuntayhtymän luottamushenkilöitä (esimerkiksi yhteistä kirkkovaltuustoa ja -neuvostoa) sekä viranhaltijoita, jotka vastaavat hautaus- ja kiinteistötoimesta. Selvitys tarjoaa heille faktapohjan tulevan krematorioinvestoinnin suunnitteluun ja päätöksentekoon. Myös hankkeen ohjausryhmä ja projektihenkilöstö kuuluvat tähän ryhmään; he käyttävät selvitystä työkalunaan hankkeen edistämisessä.

Evankelis-luterilaisen kirkon muut seurakunnat ja kirkollinen hallinto: Koska krematorioita ylläpitävät Suomessa pääasiassa seurakunnat, raportin tulokset kiinnostavat laajasti kirkon piirissä. Muut suuret seurakuntayhtymät tai seurakunnat, joilla on omia krematorioita tai jotka harkitsevat sellaisen perustamista, voivat hyödyntää Helsingin selvityksen tuloksia omassa toiminnassaan. Kirkkohallitus ja kirkon ympäristötyöstä vastaavat elimet (kuten Kirkon ympäristödiplomin asiantuntijat) kuuluvat myös kohderyhmään: selvitys antaa heille ajantasaista tietoa, jota voidaan käyttää ohjeistuksessa, strategiatyössä ja koulutuksessa. Kirkkohallitus on mukana hankkeessa kommentoijana ja tiedonlevittäjänä, mikä korostaa raportin merkitystä koko kirkolle.

Hautaustoimen ja krematoriotoiminnan ammattilaiset: Tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi krematorioiden johtajat, hautaustoimiston ammattilaiset, hautausmaiden ylläpidosta vastaavat sekä alan järjestöt kuten Suomen Krematoriosäätiö ja Suomen hautaustoiminnan keskusliitto ry. Selvityksen tulokset tarjoavat heille käytännön vertailutietoa eri teknologioiden toimivuudesta ja kustannuksista. Krematoriosäätiö, joka ylläpitää Helsingin Hietaniemen krematoriota, on ollut mukana hankkeen tietojen keruussa ja kommentoinnissa, joten se tulee myös hyödyntämään lopputuloksia omassa kehittämistyössään. Lisäksi hautaustoimialan koulutusorganisaatiot ja yhdistykset voivat hyödyntää raporttia koulutusmateriaalina ja keskustelun pohjana hautauskulttuurin tulevaisuudesta ja ympäristönäkökohdista.

Ympäristö- ja energia-alan viranomaiset ja asiantuntijat: Koska hanke on osa valtakunnallista Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelmaa, sen tuloksia seuraavat myös julkisen hallinnon toimijat. Ympäristöministeriön asiantuntijat, kuntien ympäristönsuojeluviranomaiset, sekä energiayhtiöiden edustajat ovat kiinnostuneita valituista ratkaisuista ja saavutettavista päästövähennyksistä. Selvitys voi tarjota heille dataa ja johtopäätöksiä esimerkiksi kaupunkien ilmastotyön raportointiin tai lupa- viranomaisten harkintaan. Uusien krematorioiden luvituksessa voidaan hyödyntää selvityksen

tietoa parhaista käytännöistä. Myös tutkimuslaitokset ja alan kehittäjät (kuten yliopistot tai insinööri-toimistot) voivat nähdä raportissa lähtötietoja omille jatkotutkimushankkeilleen.

Kansalaiset ja median edustajat: Vaikka raportti on teknisluonteinen, sen yhteiskunnallinen merkitys tekee siitä kiinnostavan myös laajemmalle yleisölle. Ilmastonmuutos ja kestävä kehitys ovat ajankohtaisia teemoja, ja vähähiilinen krematoriohanke on konkreettinen esimerkki ilmastotyöstä arjen palveluissa. Sidoryhmistä esimerkiksi vainajien omaiset, joita uudet ratkaisut mahdollisesti koskettavat, sekä ympäristöasioista huolestuneet kansalaiset voivat löytää raportista vastauksia kysymyksiinsä, kuten siihen, miten krematoriotoimintaa kehitetään vähäpäästöisemmäksi. Media voi nostaa esiin hankkeen tuloksia osaksi vihreää siirtymää koskevaa keskustelua: selvitys tarjoaa faktapohjaa julkiseen keskusteluun hautauskulttuurin ja ilmastopolitiikan yhdistämisestä. Raportin kieli ja esitystapa pyritäänkin pitämään sellaisena, että keskeiset havainnot ovat ymmärrettäviä myös maallikoille tinkimättä teknisestä tarkkuudesta.

Yhteenvedona voidaan todeta, että selvityksen kohderyhmät ulottuvat projektin omistajasta aina koko kirkon organisaatioon ja hautaustoimialaan sekä viranomaisiin ja suureen yleisöön. Tämä laaja kohderyhmä heijastaa hankkeen moniulotteisuutta: kyse ei ole vain yhden krematorion hankinnasta, vaan laajemmasta yhteiskunnallisesta avauksesta. Raportin laatimisessa on alusta lähtien huomioitu eri kohderyhmien tarpeet – esimerkiksi tekniset laskelmat on tehty huolellisesti päätöksenteon tueksi, mutta niiden tuloksia tullaan myös popularisoimaan hankkeen viestinnässä. Kohderyhmälähtöisyys varmistaa, että selvityksen tulokset eivät jää vain raportin sivuille, vaan ne leviävät käytäntöön ja keskusteluun edistäen vähähiilisiä ratkaisuja hautaus- ja krematoriotoimessa laajemminkin.

1.5 Lyhenneluettelo

Listaus selvityksessä käytetyistä lyhenteistä:

BAT	Best Available Technique, paras käyttökelpoinen tekniikka
BREF	Best available techniques Reference document, parhaan käyttökelpoisen tekniikan vertailuasiakirjat
ECN	European Cremation Network, Euroopan krematorioverkosto
HELCOM	Helsinki Commission, Itämeren merellisen ympäristön suojelukomissio
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil-tekniologialla valmistettu uusiutuva polttoöljy
IRR	Internal Rate of Return, sisäinen kannattavuusaste
LTO	Lämmön talteenotto
NOR	Natural Organic Reduction, ruumiin kompostointiprosessi
ORC	Organic Rankine Cycle, sähköntuotanto lämpövirroista, jotka ovat liian viileitä perinteiselle höyryturbiinitekniologialle
POP	Persistent Organic Pollutants, pysyvät orgaaniset ympäristömyrkyt
UFP	Ultrafine Particles, ultrapieni hiukkanen
VOC	Volatile Organic Compounds, haihtuvat orgaaniset yhdisteet
VSME	Voluntary Sustainability Reporting Standard, vapaaehtoinen kestävyysraportointistandardi, joka on suunnattu erityisesti pk-yrityksille

2. Markkinakartoitus ja teknologiat

2.1 Perinteiset krematoriot

Tuhkausprosessi

Krematorioissa käytössä olevat tuhkausuunit koostuvat Euroopan alueella tyypillisesti kahdesta pääosasta: varsinaisesta tuhkausuunista, jossa vainaja ja arkku tuhkataan, sekä jälkipolttokammioista, jossa savukaasut poltetaan mahdollisimman täydellisesti päästöjen vähentämiseksi. Aasiassa jälkipolttokammio ei välttämättä ole erillinen osa uunia, vaan sen toiminnot voivat sisältyä osaksi savukaasujen käsittelyjärjestelmää. Euroopassa nämä komponentit ovat pitkälti standardoituja ja selkeästi erillisiä tiukkojen ympäristö- ja turvallisuusvaatimusten vuoksi. Tässä selvityksessä tarkastellaan eurooppalaisten standardien mukaisia tuhkausuuneja ja -järjestelmiä.

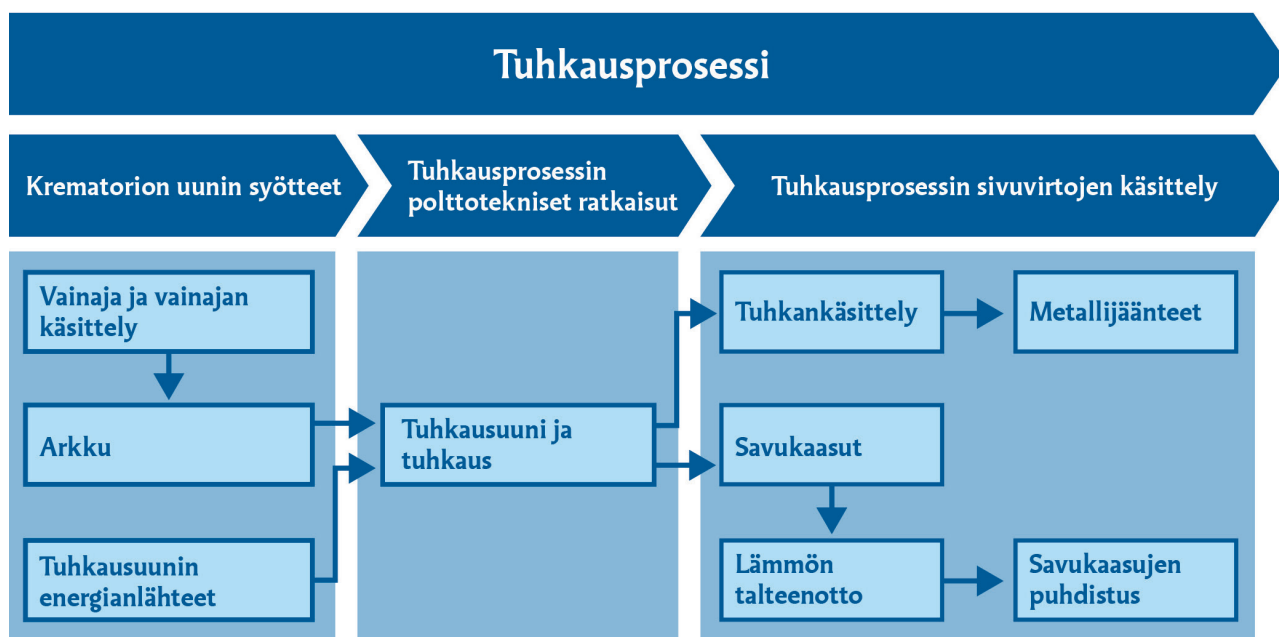
Tuhkausuunin syötteet koostuvat tuhkattavista materiaaleista: vainajasta, arkusta sekä polttoaineista ja niiden palamiseen tarvittavasta polttoilmasta. Perinteisesti polttoaineina on käytetty erilaisia polttoöljyjä ja kaasumaisia polttoaineita. Moderneissa järjestelmissä

energialähteenä voidaan käyttää myös sähköä, jolloin tuhkausuuniin ei syötetä palavaa polttoainetta vaan pelkästään palamisen vaatimaa lämpöenergiaa.

Tuhkauksen jälkeen palamaton materiaali jäädytetään yleensä uunin alaosassa sijaitsevassa keräyslokerossa. Tuhkankäsittelyvaiheessa siitä erotellaan muun muassa metallit ja muut palamattomat materiaalit esimerkiksi magneettien tai mekaanisten seulontamenetelmien avulla. Kierrätyskelpoiset metallit poistetaan, ja loput palamattomat jäänteet, jotka koostuvat pääasiassa luomassan osista, jauhetaan ja sekoitetaan muun tuhkan joukkoon ja siirretään uurna.

Tuhkausprosessin yhteydessä muodostuu myös savukaasuja. Perinteisissä krematorioissa nämä johdetaan suoraan ulkoilmaan savupiipun kautta ilman erillistä käsittelyä. Uudemmat laitteistot sisältävät savukaasujen lämmöntalteenottojärjestelmiä sekä suodatinlaitteistoja ja -menetelmiä, joiden avulla lämpöenergia voidaan ottaa talteen ja vähentää ympäristökuormitusta.

Tuhkausprosessin yleinen kuvaus esitetään kuvassa 1. Lämmöntalteenottoa sekä savukaasujen erottelu- ja suodatusmenetelmiä käsitellään erikseen raportin myöhemmissä vaiheissa.



Kuva 1. Tuhkausprosessin kuvaus.

Tuhkattavat materiaalit

Lainsäädäntö edellyttää käyttämään arkkuja vainajan säilytyksessä ja hautaamisessa. Terveystieteiden tutkimuskeskuksen (1280/1994) 40 §:n mukaan vainajan ruumis on haudattava viivytyksettä tiiviissä, asianmukaisessa arkussa tai vastaavassa tai tuhkattava krematoriossa. Lisäksi 41 § täsmentää, että muualla kuin sairaalan tiloissa vainaja on säilytettävä arkussa tai vastaavassa ennen hautaamista (Finlex, 1994). Käytännössä tämä tarkoittaa, että vainaja toimitetaan krematorioon aina arkussa, ja myös hautauksessa arku seuraa vainajaa maahan laskettavaksi.

Tuhkauksessa tuhkataan sekä vainaja että arku. Esimerkiksi 70-kiloinen vainaja sisältää noin 23 kilogrammaa palavia aineita, kuten rasvaa ja valkuaisaineita, 43 kilogrammaa vettä ja 4 kilogrammaa tuhkaa (Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2006). Vainajan vaatetus saattaa sisältää synteettisiä materiaaleja, kuten nylonia tai muovipohjaisia tekstiilejä, jotka eivät ole luonnossa hajoavia ja voivat aiheuttaa ympäristöhaittoja. Näiden palaessa savukaasuihin voi muodostua haitallisia yhdisteitä, kuten dioksiineja (Montse & Domingo, 2010; Lee, et al., 2022).

Ennen tuhkausprosessia vainaja valmistellaan tuhkaukseen poistamalla mahdolliset ongelmalliset apulaitteet, kuten sydämentahdistimet, jotka voivat aiheuttaa mahdollisia vaaratilanteita tai häiriöitä polttoprosessin aikana (Kuopion kaupungin ympäristölautakunta, 2021; Espoon kaupungin ympäristölautakunta, 2015; Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2010; Oulun seudun ympäristölautakunta, 2018; Keijzer, 2015). Joissakin tapauksissa arkkuun voi päätyä myös omaisten asettamana vainajalle kuuluvia esineitä, kuten matkapuhelimia, jotka sisältävät esimerkiksi paristoja tai akkuja (Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2006; Espoon kaupungin ympäristölautakunta, 2015; Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2010; Kuopion kaupungin alueellinen ympäristönsuojelu, 2021). Näistä voi muodostua elohopeapäästöjä, häiriöitä tai jopa vaaratilanteita polttoprosessin aikana (Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2006; Espoon kaupungin ympäristölautakunta, 2015; Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2015; Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2015).

kuunta, 2010; Kuopion kaupungin alueellinen ympäristönsuojelu, 2021). Muita haitallisia materiaaleja ovat sairaaloiden muoviset siirtolakanat, jotka saattavat jäädä arkkuun (Palo, 2025). Muovia sisältävien materiaalien käyttöä on toivottu rajoitettavan esimerkiksi THL:n ohjeistuksissa, mutta muutoksia ei ole toistaiseksi tehty. Tuhkattavien materiaalien hyväksyttävyydestä vastaa lopulta krematoriotoiminnan harjoittaja, ympäristöluvan ehtojen mukaisesti.

Suomessa arkkumateriaalien hyväksyttävät vaatimukset määritellään seurakuntien hautaus-toimen ohjesäännöissä. EU-tason sääntely arkkumateriaaleista on rajallista, mutta European Federation of Funeral Services (EFFS, 2007) on linjannut, että kansainvälisessä kuljetuksessa käytettävien arkkujen tulee olla kokonaisuudessaan biohajoavia ja soveltuvia polttotuhkaukseen.

Hyväksytyt arkkumateriaalit koostuvat puupohjaisista osista, metallikiinnikkeistä, liimoista ja pintakäsittelyaineista sekä sisustuksessa käytettävistä tekstiileistä (Suomen hautaus-toiminnan keskusliitto, 2025). Nykyisin hyväksytyt materiaalit eivät sisällä muovikoristeita tai keinokuitukankaita, ja modernit liimat eivät muodosta palaessaan dioksiinipäästöjä (Lehto, 2024; Suomen hautaus-toiminnan keskusliitto, 2025; Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2010; Kajaanin ympäristötekniikan lautakunnan lupajasto, 2018). Arkkujen paino voi vaihdella noin 30–100 kilogramman välillä. Pohjat ja tyynyt täytetään tyypillisesti puuhakkeella (Kivimaa, 2025). Ekoarkuissa ei välttämättä käytetä metalliosia lainkaan, vaan kaikki materiaalit ovat polttokelpoisia tai biohajoavia (Kivimaa, 2025).

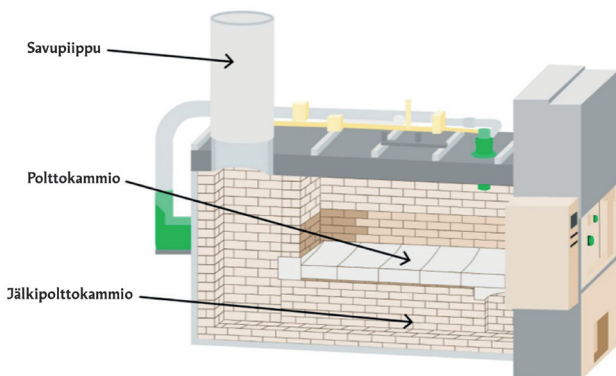
Käytössä olevat arkkumallit vaihtelevat sekä koostumukseltaan että kooltaan. Suomessa yleisin arkkumalli on verhoiltu puuvilla-arkku ja sen eri variaatiot (Kivimaa, 2025). Näissä käytettyjä puupohjaisia materiaaleja ovat muun muassa mäntylauta, mäntyliimalevy, lastulevy ja puulastuvilla (Kivimaa, 2025). Männen tiheyttä (479 kg/m³) ja lastulevyn tiheyttä (630 kg/m³) käyttäen kokonaisuutena voidaan arvioida noin 33 kg Ecoinvent-tietokannassa olevien tuotemerkintöjen mukaisesti. Metalliosia arkussa on noin 50 kg, tekstiilejä 2 kg. Muita

materiaaleja ovat 0,2 kg katepaperia sekä 0,08 kg bioska-kalvoa kosteudensulkuna pohjassa (Kivimaa, 2025), jotka lasketaan muiksi palaviksi materiaaleiksi. Arkun kokonaismassaksi muodostuu keskimäärin noin 35 kg.

Tuhkausuuni

Krematoriotoiminnassa voidaan käyttää kylmätai kuumakäynnistysuuneja. Kylmäkäynnistysuuneissa esilämmityslämpötila on noin 400 °C. Näitä uunimalleja käytetään esimerkiksi Alan-komaissa, jossa niiden käyttöaste on noin 30 % (Lee, et al., 2022; OSPAR Commission, 2003). Suurin osa muualla käytössä olevista uuneista on kuitenkin kuumakäynnistysuuneja, minkä vuoksi tässä selvityksessä keskitytään pääasiassa niihin (Lee, et al., 2022; OSPAR Commission, 2003). Kylmäkäynnistysuunien haittapuolena on korkeampi elohopeapäästöjen määrä, mikä johtaa merkittävästi suurempiin puhdistuskustannuksiin (OSPAR Commission, 2003). Kuumakäynnistysuunit ovat operointikustannuksiltaan edullisempia ja ympäristön kannalta kestävämpiä vaihtoehtoja (OSPAR Commission, 2003).

Tuhkausuunit ovat perusrakenteeltaan teräksisiä, muurattuja ja lämpöeristettyjä kokonaisuuksia (Kuopion kaupungin ympäristölautakunta, 2021; Lee, et al., 2022; NSW Government, 2024).



Kuva 2. Krematorion tuhkausuunin rakenne (NSW Government, 2024).

Uunin perusrakenteiden ympärille asennetaan polttoprosessiin tarvittavat laitteistot, jotka valmistetaan ruostumattomasta teräksestä (Kuopion kaupungin ympäristölautakunta, 2021; Lee, et al., 2022). Esimerkki tuhkausuunista on esitetty kuvassa 2. Kuvassa näkyy polttokammio ja jälkipolttokammio. Modernissa teknologiasa savukaasut johdetaan jälkipolttokammion kautta savukaasujen käsittelyjärjestelmiin, kun taas perinteisissä järjestelmissä ne ohjataan suoraan ulkoilmaan.

Tuhkausuunin käyttöikä on yleensä arviolta 25 000 tuhkausta (Lee, et al., 2022). Uunin nuohous tehdään tyypillisesti 3–4 kertaa vuodessa, mikäli uunin käyttömäärä on tasainen (Hienonen & Kylmäkoski, Ohjausryhmäpalaveri, 2025).

Tuhkausuunien käyttö

Yksittäisen tuhkauksen kesto on keskimäärin noin 1,5 tuntia polttoainekäyttöisissä uuneissa ja noin 2 tuntia sähkökäyttöisissä vaihtoehtoisissa (DFW Europe, 2025). Tavanomaisen kahdeksantuntisen työvuoron aikana voidaan suorittaa keskimäärin kuusi tuhkausta (Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2006; Espoon kaupungin ympäristölautakunta, 2015). Tämän perusteella päivittäinen tuhkauskapasiteetti on noin kuusi vainajaa polttoainekäyttöisellä uunilla ja noin viisi vainajaa sähkökäyttöisellä. Tuhkauskapasiteetti voi olla tätä suurempi erityisesti silloin, kun uunia käytetään yhtäjaksoisesti, jolloin sen varaama lämpöenergia voidaan hyödyntää tehokkaammin. Vuotuinen tuhkauskapasiteetti on noin 1 600 vainajaa, kun toimitaan arkipäivisin yhdessä vuorossa (Kuopion kaupungin alueellinen ympäristönsuojelu, 2021; Lahden seudun ympäristölautakunta, 2015).

Kahdessa vuorossa toimittaessa yksittäisen uunin kapasiteetti voi nousta 3 000 vainajaan vuodessa (Lahden seudun ympäristölautakunta, 2015), mikä vastaa noin 12 vainajaa vuorokaudessa. Kolmivuorotyössä arkipäivisin kapasiteetti voi nousta 18 vainajaan vuorokaudessa eli noin 4 600 tuhkaukseen vuodessa. Kolmivuorokäytössä uunien esilämmitystarve pienenee, mikä lisää energiatehokkuutta, mutta toisaalta huollon tarve voi kasvaa käytön tehostuessa.

Tuhkausuunin käyttö käynnistyy esilämmityksellä, jossa uuni lämmitetään käytettävällä energialähteellä 700–800 °C lämpötilaan. Mikäli uuni on ollut käytössä edellisenä päivänä, sen lämpötila voi olla edelleen noin 600 °C, jolloin lämmitys vaatii vähemmän energiaa ja voi kestää vain 10–12 minuuttia (Korkiakangas, 2025). Tämän vuoksi toiminta on energiatehokkainta, kun tuhkausta tehdään peräkkäisinä päivinä tai pidemmissä yhtenäisissä jaksoissa. Tavanomaisesti arkun ja vainajan sisältämä energiamäärä riittää täydelliseen palamiseen ja asetuslämpötilan ylläpitoon. Joissakin tilanteissa, esimerkiksi jos arkun massa on hyvin pieni tai sen lämpöarvo alhainen, voidaan täydellinen palaminen varmistaa lisäämällä polttoainetta uunin lämpötilan säilyttämiseksi (Espoon kaupungin ympäristölautakunta, 2015; Kuopion kaupungin ympäristölautakunta, 2021; Hämeenlinnan kaupungin ympäristö- ja rakennuslautakunta, 2012; Lahden seudun ympäristölautakunta, 2015; Lee, et al., 2022; Hausjärven ympäristölautakunta, 2017).

Tuhkausprosessin ohjaus on nykyisin pitkälti automatisoitu myös vanhemmissa krematoriolaitoksissa. Automaattiset järjestelmät säätelevät esimerkiksi palamiseen tarvittavan hapen syöttöä. Ilmaa voidaan syöttää sekä uunin ylä- että alaosaan palamisen optimoimiseksi (Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2006; Oulun seudun ympäristölautakunta, 2018). Polttoainetta syötetään, kunnes tarvittava lämpötila saavutetaan, ja sen jälkeen lisäpolttoainetta käytetään vain tarpeen mukaan. Savukaasut kuumennetaan jälkipolttokammiossa vähintään 850 °C lämpötilaan vähintään kahden sekunnin ajaksi palamisen täydentämiseksi ja päästöjen vähentämiseksi.

2.1.1 Polttoainevaihtoehdot ja niiden saatavuus

Energialähteen valinta on keskeinen tekijä, joka vaikuttaa polttoprosessin tehokkuuteen ja sen ympäristövaikutuksiin. Energialähteiden käyttö ja saatavuus voivat vaihdella paikallisten olosuhteiden ja taloudellisten resurssien mukaan. Suomessa krematorioissa käytettävät energialähteet määräytyvät ympäristölupien ehtojen mukaisesti. Tällä hetkellä käytössä ovat pääasiassa fossiiliset polttoaineet, kuten kevyt polttoöljy ja maakaasu, sekä niiden biopohjaiset vastineet bioöljy ja biokaasu. Energialähteen valinnalla on suora vaikutus polttoprosessin hiilijalanjälkeen, savukaasujen koostumukseen ja kustannustehokkuuteen. Biopohjaisten ja uusiutuvien energialähteiden merkitys kasvaa jatkuvasti hiilineutraaliustavoitteiden edetessä. Sähkökäytön tapauksessa prosessin ympäristövaikutukset määräytyvät sähköverkon tuotantorakenteen perusteella.

Kevyt polttoöljy on yleinen polttoainevalinta erityisesti vanhemmissa krematorioissa. Uudemmissa laitoksissa suositaan ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja, kuten bioöljyä tai kaasumaisia polttoaineita. Suomessa myös polttoöljyjen rikkipitoisuutta säädellään ympäristölupien kautta. Kevyen polttoöljyn kulutuksen arvioidaan olevan noin 22–40 litraa yhtä tuhkausta kohden (Lehto, 2024; Heikkilä, 2018; Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2010). Energiasisällöltään kevyt polttoöljy vastaa keskimäärin 42,6 MJ/kg, kun taas bioöljyillä energiasisältö vaihtelee noin 36–39 MJ/kg riippuen raaka-aineista ja tislauksen menetelmästä (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama, & Korhonen, 2016).

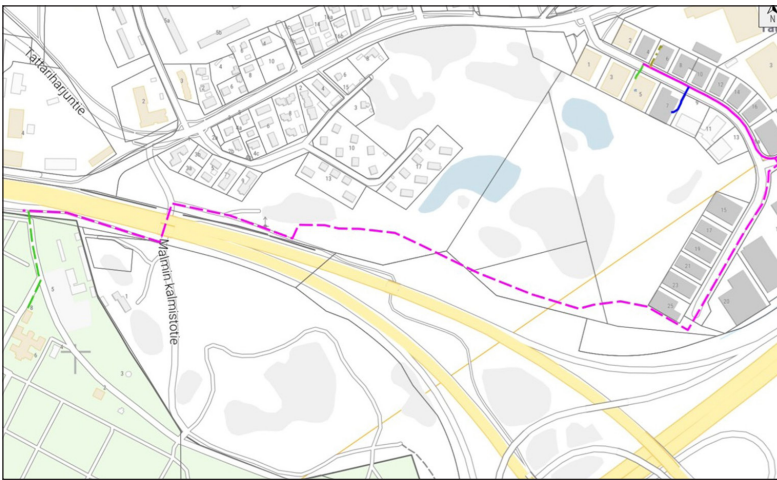
Kaasumaisista polttoaineista yleisimpiä ovat maakaasu ja nestekaasu. Maakaasu koostuu pääosin metaanista, mutta sisältää myös pieniä määriä etaania, propaania ja butaania (Lehtinen, 2016). Nestekaasu puolestaan koostuu pääasiassa propaanista ja noin 2 % butaanista. Esimerkiksi Kokkolan krematoriossa käytetään nestekaasua, jonka kulutus on noin 23–25 kg per tuhkaus (Korkiakangas, 2025). Uudempi vaihtoehto on metaanikaasu, joka voidaan

tuottaa myös biopohjaisesti puhdistamalla bio-kaasua. Käytettäessä metaania tai biometaania kulutus vaihtelee lähtestä riippuen noin 15–50 Nm³ per tuhkaus (Keijzer, 2015).

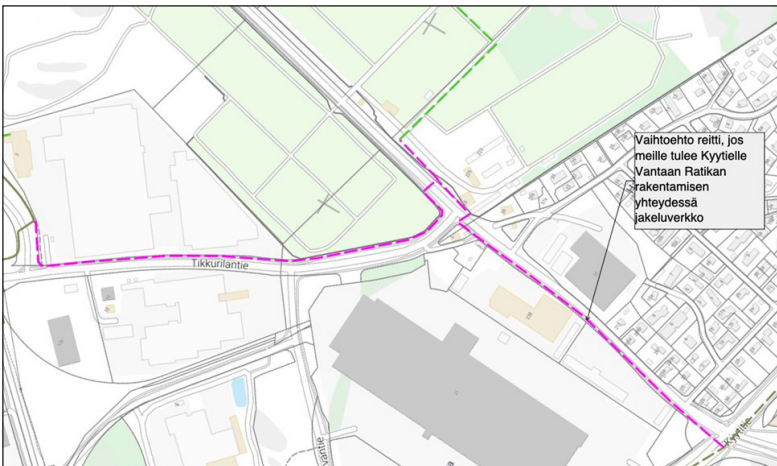
Metaani on hajuton sekä väritön hiilivety, jonka tehollinen lämpöarvo on 49,9 MJ/kg tai 39,5 MJ/Nm³ eli noin 10 kWh/Nm³ (Motiva Oy, 2018; Motiva Oy, 2013). Kaasuun lisätään hajustetta turvallisuussyistä, ja metaani määritellään rikittömäksi, kun rikkipitoisuus on alle 100 mg/Nm³ (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama, & Korhonen, 2016). Suomessa toimii tällä hetkellä kahdeksan kaasukäyttöistä krematoriota, ja kaasun käyttö näyttäisi olevan yleistymässä alalla. Hiilineutraaliustavoitteiden näkökulmasta metaanikaasulla viitataan puhdistettuun biometaaniin, kun taas raakabio-kaasu sisältää tyypillisesti noin 60 % metaania ja loput hiilidioksidia, rikkiyhdisteitä, vesihöyryä sekä pieniä määriä typpeä, vetyä, ammoniakkia ja VOC-yhdisteitä (Motiva Oy, 2018). Biometaania saadaan suodattamalla biopohjainen metaani raakakaasusta (Motiva Oy, 2018).

Kevyt polttoöljy ja nestekaasu ovat laajasti saatavilla eri puolilla Suomea, ja niiden toimitusvarmuus on hyvä. Maakaasua on saatavilla maakaasuverkon alueella. Maakaasun saatavuus Suomessa on parantunut merkittävästi viime vuosina. Vuonna 2020 otettiin käyttöön Suomen ja Viron välinen Balticconnector-kaasu-putki, joka monipuolisti maakaasun tuontireittejä. Lisäksi vuoden 2023 alussa Inkoossa aloitti toimintansa kelluva LNG-terminaali, joka mahdollistaa nesteytetyn maakaasun (LNG) tuonnin meriteitse. Tämä infrastruktuuri parantaa toimitusvarmuutta myös mahdollisten häiriötilanteiden aikana (Energiavirasto, 2023).

Malmin ja Honkanummen krematorioiden osalta on selvitetty maakaasuverkkoon liittämisen mahdollisuuksia yhteistyössä Auris Energia Oy:n kanssa. Mahdolliset liittäntäreitit on esitetty kuvissa 3 ja 4, joissa nykyinen kaasuverkko on merkitty vaaleanpunaisella viivalla ja mahdollinen maakaasuverkon liittäntäreitti katkoviivalla.



Kuva 3. Malmin krematorion liittäminen kaasuverkkoon (Uimonen, 2025).



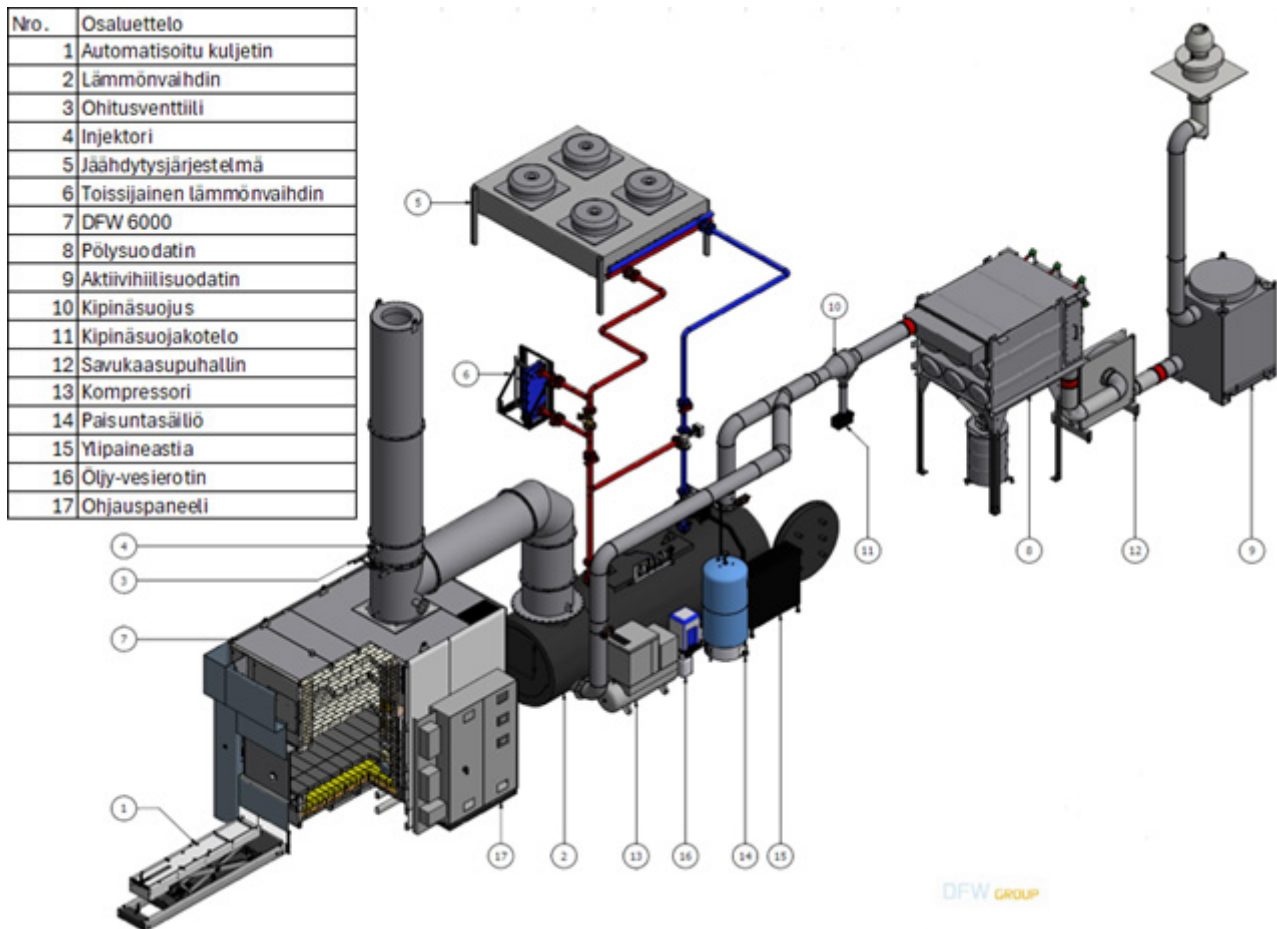
Kuva 4. Honkanummen krematorion liittäminen kaasuverkkoon (Uimonen, 2025).

2.1.2 Sähkökäyttöiset krematoriot

Tuhkausuunien valmistajien tarjonnasta löytyy myös sähkökäyttöisiä ratkaisuja vaihtoehtona perinteisille öljy- ja kaasukäyttöisille tuhkausuuneille (DFW Europe, 2025). Sähkökäyttöinen tuhkausuuni (kuvassa 5) on toiminnaltaan yksinkertainen: toimittajan esittelemässä mallissa sekä täyttö että tyhjennys tapahtuvat samalta puolelta. Toisin kuin polttopolttoaineisiin perustuvissa ratkaisuissa, sähköuunissa ei tarvita ylimääräistä polttoilmaa polttoaineen palamiseen, vaan ilmaa syötetään ainoastaan tuhkaavien materiaalien palamista varten. Tällöin paloprosessi on hallitumpi ja mekaanisesti yksinkertaisempi. Sähkökäyttöisen tuhkausuunin hiilijalanjälki määräytyy ensisijaisesti käytettävän sähkön tuotantotavan mukaan. Varsinaisessa tuhkausprosessissa savukaasujen määrä on alhaisempi kuin polttopohjaisissa ratkaisuissa, mutta sähköntuotanto itsessään voi

aiheuttaa merkittäviä hiilidioksidipäästöjä riippuen energijärjestelmän kokonaissisällöstä.

Sähkökäyttöisten tuhkausuunien etuihin voidaan lukea erityisesti sähköverkon matalat hiilidioksidipäästöt sekä päästöintensiteetin aleneminen pitkällä aikavälillä. Energiategokkuus on tässä ratkaisussa merkittävä etu: koska polttoilman tarve on vähäisempi, myös kokonaisenergiankulutus jää pienemmäksi verrattuna polttopolttoaineisiin perustuviin uuneihin. Sähkökäyttöisillä laitteistoilla voidaan lisäksi välttää polttoaineisiin liittyvät logistiset ja tekniset järjestelyt, kuten polttoainetoimitukset ja säiliöiden ylläpito. Näiden järjestelmien poistaminen yksinkertaistaa toimintaa ja vähentää huollon tarvetta. Sähkökäyttöinen ratkaisu tarjoaa korkean energiategokkuuden ja matalamman kokonaiskulutuksen verrattuna perinteisiin polttoainekäyttöisiin uuneihin.



Kuva 5. Alankomaalaisen laitetoimittaja DFW European sähköinen tuhkausuuniratkaisu suodatus- ja lämmöntalteenottojärjestelmällä.

2.2 Uudet ja kehitteillä olevat krematorioteknologiat

Useissa Euroopan maissa ja Pohjois-Amerikassa on otettu käyttöön uusia, perinteisistä poikkeavia hautausmenetelmiä. Tuhkauksen tavoin vesituhkaus, kylmäkuivaus ja kompostointi ovat pelkistämisprosesseja, eivätkä ne itsessään muodosta lopullista hautaustapaa. Tämän vuoksi vainajan jäännökset edellyttävät edelleen pysyvää loppusijoitusratkaisua, kuten uurnahautaus, tuhkan sirottelu tai muuta sijoituspaikkaa (Harvey, 2023).

Suomessa uusien menetelmien käyttöönottoa hidastaa nykyinen hautaustoimilaki, joka sallii hautaustavoiksi ainoastaan arkkuhautauksen ja polttotuhkauksen (Finlex, 2003). Lain päivittämistä on ajanut mm. Suomen luontohautausliitto ry, joka on jättänyt kansalaisaloitteen vesituhkauksen ja kompostoinnin sisällyttämisestä hyväksyttäviin hautausmenetelmiin (Kansalaisaloite, 2024). Poliittisia aloitteita hautaustoimilain uudistamisesta hautausmenetelmien osalta ovat tehneet mm. Kokoomusnuoret vuonna 2022 (Kokoomusnuoret, 2022) ja vasemmiston kansanedustaja Anna Kontula helmikuussa 2025 (Valkama, 2025). Lisäksi Suomen Luonnonvarakeskus LUKE suunnittelee aloittavansa vuoden 2025 aikana Vihreä kuolema -hankkeen, jossa tarkastellaan mm. ekologisesti kestävämpiä hautaustapoja (Weckroth, 2025).

Vaihtoehtoiset hautausmenetelmät perustuvat joko luonnollisen maatumisprosessin kiihdyttämiseen – kuten NOR-kompostointi tai sienipuku – tai teknologioihin, jotka hyödyntävät liuotus- tai jäädytysmenetelmiä. Osa näistä teknologioista vaatii merkittävästi vähemmän infrastruktuuria kuin perinteiset krematoriot, ja niiden hiilijalanjälki voi olla pienempi verrattuna tavanomaisiin hautaustapoihin.

Vuonna 2024 alankomaalainen Hedgehog Company toteutti vertailevan elinkaariarvioinnin eri hautausmenetelmien ympäristövaikutuksista. Arvion mukaan perinteinen arkkuhautaus ja maakaasupohjaisen tuhkauksen hiilijalanjälki olivat suurimmat. Sen sijaan tuhkauksen suorit-

taminen uusiutuvalla sähköllä pienensi päästöjä merkittävästi.

- Tuhkaus (maakaasu): 181 kg CO₂-ekv.
- Perinteinen arkkuhautaus (hautakivellä): 120 kg CO₂-ekv.
- Vesituhkaus: 118 kg CO₂-ekv.
- Kompostointi: 47 kg CO₂-ekv.
- Tuhkaus (sähkö): 45 kg CO₂-ekv.
- Luontohautaus: 40 kg CO₂-ekv. (HHC earth, 2024).

2.2.1 Vesituhkaus

Vesituhkaus, joka tunnetaan myös nimillä alkalinen hydrolyysi ja liekitön kremointi, on menetelmä, jota kutsutaan englanniksi usein kaupallisten laitevalmistajien mukaan termeillä Aquamation ja Resomation. Menetelmää on aiemmin hyödynnetty muun muassa koe-eläinten turvalliseen hävittämiseen, mutta 1990-luvun alusta alkaen sitä on ryhdytty käyttämään myös vainajien tuhkaukseen erityisesti Yhdysvalloissa (Robinson, 2021).

Prosessi

Vesituhkauksessa vainaja asetetaan ruostumattomasta teräksestä valmistettuun säiliöön, joka sisältää noin 1 500 litraa vettä ja noin 5 % kaliumhydroksidia ja/tai natriumhydroksidia liukenemisen nopeuttamiseksi (Robinson, 2021). Alkalinen hydrolyysi vaikuttaa ainoastaan proteiineihin, minkä vuoksi vainajan vaatetuksessa ei voida käyttää selluloosapohjaisia materiaaleja, kuten puuvillaa, polyesteriä tai pellavaa. Prosessi toteutetaan ilman arkkua, ja vainaja puetaan silkki- tai villakääreeseen. Säiliö paineistetaan ja lämmitetään noin 150 °C lämpötilaan 4–6 tunnin ajaksi. Tänä aikana ruumiin orgaaniset aineet pelkistyvät perusmolekyyleiksi sekä luihin. Menetelmän tuloksena syntyvät jäännökset, luut ja neste, ns. hydrolysaatti, ovat steriilejä. Hydrolysaatti ei sisällä DNA:ta ja sen johtaminen kunnalliseen viemäriverkkoon on mahdollista tietyin ehdoin. Hydrolysaatin on arvioitu toimivan myös ravinteena jätevedenpuhdistuksessa käytettäville bakteereille (National Agricultural Biosecurity Center, 2004). Jäljelle jääneet luut huuhdellaan, kuivataan ja

niistä poistetaan mahdolliset metallit, kuten amalgaamipaikat. Tämän jälkeen luut jauheetaan hienojakoiseksi pulveriksi kremulaattorilla, kuten perinteisessä krematointiprosessissa. Vesituhkauksessa syntyvä tuhka on kemialliselta koostumukseltaan emäksisempää (pH 9–11) kuin polttotuhkauksessa syntyvä tuhka (pH 7–8) (Scarre, 2025). Prosessissa muodostuvan hydrolysaatin pH on noin 11, ja se neutraloidaan happolisäyksellä ennen sen ohjaamista viemäriverkostoon, jolloin pH tasoitetaan arvoon 7. Koko prosessi, mukaan lukien kuivaus, kestää noin viisi tuntia (Clifton Scannell Emerson Associates, 2018).

Vesituhkaus on tällä hetkellä sallittu muun muassa Irlannissa, Etelä-Afrikassa, Australiassa, useissa Kanadan ja Yhdysvaltojen osavaltioissa sekä Meksikossa (Scarre, 2025). Norjassa hautauslakia muutettiin vuonna 2022, ja nykyinen sääntely sallii uusien hautausmenetelmien kokeilun. Trondheimin seurakunta on ollut ensimmäinen, joka on pyrkinyt edistämään vesituhkauksen käyttöönottoa, mutta hanke on tällä hetkellä keskeytyksissä viemärointivaatimukseen ja yleiseen hyväksyttävyyteen liittyvien kysymysten vuoksi. Belgiassa, Alankomaissa ja Isossa-Britanniassa vesituhkauksen soveltuvuutta hautausmuotona selvitetään mm. lainsäädännön kannalta (Sinclair-Lappi, Ekologinen vesituhkaus, 2023; Law Commission).

Vesituhkauksessa syntyvä jäännösvesi on herättänyt keskustelua. Menetelmän ympäristövaikutuksia tutkittiin Isossa-Britanniassa vuonna 2019, ja tutkimuksen mukaan hydrolysaatti ei aiheuta haittaa viemäriverkostolle, jätevedenpuhdistamoille tai niihin liittyville toiminnoille (Robinson, 2021). Laitetoimitajan ilmoittamat keskimääräiset pitoisuusarvot ovat seuraavat: kemiallinen hapenkulutus (COD) 20 000 mg/l, biologinen hapenkulutus (BOD) 13 000 mg/l, kokonaiskiintoaineet (TSS) 2 500 mg/l ja rasvat ja öljyt (FOG) enintään 5 000 mg/l (Clifton Scannell Emerson Associates, 2018). Vaikka vesituhkaus eroaa merkittävästi polttotuhkauksesta teknisen toteutuksen osalta, molemmat menetelmät tuottavat hienojakoista tuhkaa, joka luovutetaan omaisille haudattavaksi tai siroteltavaksi.

Näkökannat eettisyydestä

Yhdysvalloissa, jossa vesituhkaus on ollut käytössä pisimpään, on menetelmä herättänyt erityisesti katolisen kirkon piirissä eettistä keskustelua. Paikalliset katoliset johtajat ovat olleet aktiivisia aiheeseen liittyvässä kannanmuodostuksessa. Vesituhkausta on toisaalta pidetty moraalisesti neutraalina menettelynä, mutta toisaalta sen on katsottu olevan ongelmallinen, koska liuennut pehmytkudos johdetaan viemäriverkostoon. Tämän on nähty vähentävän vainajan kohteluun liittyvää symbolista kunnioitusta. Polttohautauksen katolinen kirkko hyväksyi hautausmuotona vasta 1966 (Oster, 2022).

Vaikka vesituhkaus muistuttaa monin tavoin teknisesti polttotuhkausta, se ei välttämättä sovi kaikille uskontokunnille, jotka suhtautuvat polttotuhkaukseen myönteisesti. Esimerkiksi buddhalaisuudessa, hindulaisuudessa ja sikhiläisyydessä polttotuhkaus nähdään usein sielun vapautumisen väylänä. Näissä uskonnoissa vesituhkaus ei välttämättä täytä tätä symbolista funktiota, sillä siinä ei tapahdu ”ilmaan vapautumisen” rituaalista vaihetta samassa merkityksessä kuin polttotuhkauksessa. Teologinen näkemys ja hautausmenetelmän valinta ovat monille uskontokunnille syvällisesti toisiinsa kytkeytyviä. Hautausrituaalit eivät ole vain käytännöllisiä toimenpiteitä, vaan ne voivat toimia keskeisinä uskonilmauksina ja yhteisöllisen merkityksen kantajina. Uskonnollisten traditioiden rituaalikirjo on laaja, ja mikäli vesituhkausta harkitaan osaksi hautauskäytäntöjä, tulee eri uskontojen näkökulmat ja hyväksyttävyyden arvioida huolellisesti (Robinson, 2021).

Energiankulutus ja ympäristövaikutukset

Infrastruktuuri- ja maarakennusalan yritys Clifton Scannell Emerson on tehnyt vesituhkaukseen liittyvän selvityksen Irlannissa, Dun Laoghaire-Rathdown Countyn viranomaisten toimeksiannosta. Raportin mukaan yksi vesituhkausprosessi kuluttaa noin 12 kuutiometriä maakaasua (noin 8,64 kg tai 95 kWh), 11 kWh sähköä sekä 1 500–2 000 litraa vettä (Clifton Scannell Emerson Associates, 2018).

Kokonaisuudessaan vesituhkaus kuluttaa vähemmän energiaa kuin perinteinen polttotuhkaus eikä tuota ilmakehään haitallisia kaasuja. Prosessissa syntyvä neste on ravinteikasta ja se voidaan hyödyntää esimerkiksi kastelutarkoituksiin (Sinclair-Lappi, Ekologinen vesituhkaus, 2023).

Alankomaalaisen Hedgehog Companyn toteuttaman vertailevan elinkaariarvioinnin (LCA) mukaan vesituhkauksen ympäristövaikutus on keskimäärin 118 kg CO₂-ekvivalenttia. Arvioinnissa havaittiin, että erityisesti villakäärinliina kasvattaa prosessin ympäristökuormitusta merkittävästi. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää polylaktidista (PLA) valmistettua käärinliinaa, joka hajoaa vesituhkauksen aikana ja aiheuttaa huomattavasti pienemmän ympäristövaikutuksen (HHC earth, 2024).

2.2.2 Kylmäkuivaus

Kylmäkuivaus (cryomation, Promession) on innovatiivinen mutta edelleen kehitysvaiheessa oleva hautausteknologia. Menetelmässä ruumis jäädytetään nestemäisessä työssä -196 °C lämpötilaan, jolloin kudokset muuttuvat hauraiksi ja ne voidaan mekaanisesti hajottaa hienojakoiseksi jauheeksi. Jauheesta voidaan erotella mahdolliset metallit. Lopputuote voidaan siirtää maaperään biohajoavassa säiliössä, jolloin se palautuu osaksi ravinnekiertoa ilman merkittäviä ilmastopäästöjä (Lee, et al., 2022); Carubia, 2013).

Kylmäkuivaus muistuttaa toimintaperiaatteeltaan ruotsalaisen Promessa Organic AB:n kehittämää Promession-menetelmää, jossa vainaja ensin pakastetaan ja murskataan, minkä jälkeen se kompostoituu luonnonmukaisesti (Promessa Organic AB). Vaikka menetelmien välillä on teknisiä eroja, molempien tavoitteena on mahdollisimman ympäristöystävällinen ja eettisesti kestävä hautausratkaisu.

Käyttöönotto ja hyväksyttävyyys

Kylmäkuivausta ei ole toistaiseksi otettu kaupalliseen käyttöön missään maassa, eikä yhtään toimivaa laitosta ole rakennettu. Iso-Britannias-

sa Cryomation Ltd on kehittänyt menetelmään perustuvaa teknologiaa, mutta menetelmä ei ole vielä käytössä (Cryomation Ltd.). Myöskään Promessa Organic AB:n kehittämä Promession-menetelmää ei ole otettu käyttöön. Menetelmän kehittäjä, ruotsalainen biologi Susanne Wiigh-Mäsak, perusti Promessa-yrityksen vuonna 2001. Hänen kuolemansa jälkeen toimintaa on jatkanut hänen puolisonsa, ja yritys etsii parhaillaan rahoitusta ja yhteistyökumppaneita konseptin jatkokehittämiseksi ja kaupallistamiseksi (Sinclair-Lappi, 2025).

Kylmäkuivaus nähtiin vielä 2010-luvun lopulla kompostoinnin ohella yhtenä lupaavista uusista hautausmenetelmistä. Teknologian ja kaupallistamisen kehitys ei kuitenkaan ole edennyt toivotulla tavalla. Vuonna 2020 Alankomaiden terveysneuvosto (Health Council of the Netherlands) arvioi, että kylmäkuivaus on edelleen konseptivaiheessa, eikä sen teknistä toteutavuutta ole osoitettu riittävällä varmuudella (Health Council of the Netherlands, 2020).

Teknologisten haasteiden lisäksi myös uusien hautausapojen yhteiskunnallinen hyväksyntä, lainsäädäntö sekä uskonnolliset ja kulttuuriset asenteet voivat muodostaa käyttöönoton esteitä. Aivan kuten aikanaan polttotuhkaus, vesituhkaus tai kompostointi, myös kylmäkuivaus voi kohdata epäluuloa tai vastustusta erityisesti käyttöönoton alkuvaiheessa (Carubia, 2013; Robinson, 2021).

Ympäristövaikutusten arviointi

Kylmäkuivaus on alustavien tutkimusten mukaan hyvin energiatehokas ja vähäpäästöinen hautaus tapa. Menetelmä ei vaadi polttoaineita eikä tuota savukaasupäästöjä, joten sen hiilijalanjälki on pienempi kuin perinteisessä tuhkaussessa tai arkkuhautauksessa (Lee, et al., 2022). Kylmäkuivauksen käyttöönotto voisi vähentää hiilidioksidipäästöjä jopa 75–90 % verrattuna polttotuhkaukseen (emt.). Prosessissa muodostuvat metalliset implanttijäännökset voidaan ottaa talteen ja kierrättää (Carubia, 2013).

Myös maankäytön näkökulmasta kylmäkuivaus voisi olla hyvä vaihtoehto. Koska jäljelle jäävä biomassa on pienivolyyminen ja biohajoava, se voidaan palauttaa maaperään hyvin pienellä

tilantarpeella. Tämä saattaa tehdä kylmäkuivauksesta potentiaalisesti houkuttelevan vaihtoehdon tiiviisti rakennetuissa kaupunkiympäristöissä (Urban Death Project Research Team, 2017).

Eettiset näkökulmat

Kylmäkuivaus herättää myös eettisiä pohdintoja. Menetelmän mekaaninen luonne – ruumiin jäädyttäminen ja murskaaminen – voidaan kokea vainajan epäkunnioittavana kohteluna. Toisaalta menetelmä mahdollistaisi ekologisesti kestävä ja luonnon kiertokulkuun palaavan hautaustavan ilman merkittäviä ympäristövaikutuksia (Health Council of the Netherlands, 2020; Urban Death Project Research Team, 2017).

Uskonnollisista näkökulmista tarkasteltuna kylmäkuivaus ei välttämättä sovellu perinteisiin hautauspuihin, mutta se voisi tarjota ympäristötietoisille mielekkään vaihtoehdon (Robinson, 2021).

2.2.3 Kompostointi

Kompostointi on suhteellisen uusi hautausmenetelmä, joka laillistettiin ensimmäisenä Yhdysvaltojen Washingtonin osavaltiossa vuonna 2019. Sittemmin menetelmä on hyväksytty käyttöön yhteensä 12 osavaltiossa, mutta sen käyttö on toistaiseksi rajoittunut Yhdysvaltoihin (Slominski, 2023). Samoin kuin vesituhkausta, myös kompostointia on hyödynnetty jo aiemmin eläinruhojen käsittelyssä, erityisesti maataloudessa. Ihmisruumiille soveltuvan kompostointitekniikan kehitys onkin perustunut pitkälti näihin kokemuksiin ja tutkimustietoon (Cassidy, 2025).

Kompostointiprosessissa vainaja kääretään puuvillakankaaseen ja peitetään orgaanisilla materiaaleilla, kuten puuhakkeella, oljella ja sinimailasella. Näin valmisteltu kokonaisuus sijoitetaan ilmastoituun kompostorisäiliöön. Kuivikemateriaalien määrä on suuri, sillä tehokas kompostointi vaatii 30 kertaa enemmän hiiltä kuin typpeä (Cassidy, 2025). Prosessia tehostetaan mikrobien avulla, jotka nopeuttavat ruumiin biologista hajoamista. Aktiivinen ha-

joamisvaihe kestää palveluntarjoajasta riippuen 4–7 viikkoa, minkä jälkeen seuraa 2–6 viikkoa kestävä jälkikypsytysvaihe. Prosessin aikana vainaja muuttuu ravinteikkaaksi mullaksi noin 1–2 kuukaudessa (Do, 2024). Hajoamisen jälkeen luut murskataan hienoksi jauheeksi, ja henkilökunta poistaa ei-orgaaniset materiaalit, kuten implantit ja tekonivelet, jotka kierrätetään aina kun mahdollista. Jauhetta luu lisätään takaisin kompostiin, jotta multa saadaan riittävä kivennäistasapaino kasvien ravinteiksi. Kompostin tyypillinen pH on 6,5–7 (Recompose, 2025). Lopputuloksena muodostuu vajaat 800 litraa eli noin 450 kg ravinnerikasta multa. Läheiset voivat pyytää osan tästä itselleen, ja osa palveluntarjoajista tarjoaa mahdollisuuden lahjoittaa multa uudelleenmetsitykseen tai luonnontilan palauttamishankkeisiin (Recompose, 2025).

Kompostoinnissa syntyneen mullan ominaisuuksia on tutkittu oikeuslääketieteellisesti. NOR-prosessissa tuotettu multa vastaa morfologisesti ja osteologisesti 20–50 vuoden perinteisen hautaamisen aikaansaamia jäännöksiä. Tutkimuksessa, jossa prosessi kesti 40 päivää, havaittiin, ettei näytteistä ollut enää mahdollista tunnistaa ihmisperäistä DNA:ta sen jälkeen, kun jäännökset oli haudattu ja hajoaminen jatkunut maaperässä. DNA-tunnistaminen ei siis ole enää mahdollista tässä vaiheessa (Beck, 2024). Kompostointia ei silti suositella tuberkuloosia tai Creutzfeldt-Jakobin tautia sairastaneille, sillä prionit ja tietyt taudinaiheuttajat eivät välttämättä tuhoutu prosessissa.

Eettisyys

Kompostointiin hautausmenetelmänä liittyy myös eettisiä näkökulmia, jotka ovat herättäneet keskustelua erityisesti Yhdysvalloissa. Kritiikkiä on esittänyt muun muassa katolisen kirkon edustajia, joiden mukaan menetelmä ei kunnioita ihmisruumiin pyhyyttä ja arvoa samalla tavoin kuin perinteiset hautaustavat. Kompostoinnin puolustajien mukaan menetelmä tarjoaa kuitenkin mahdollisuuden valita hautaustapa, joka on sekä ekologisesti kestävä että eettisesti perusteltavissa. Tämä korostuu erityisesti tiheästi asutuissa kaupunkiympäristöissä, joissa tilan ja resurssien rajallisuus nos-

taa esiin uudenlaisia tarpeita hautauskäytäntöjen kehittämiseksi.

Energiankulutus ja ympäristövaikutukset

Kompostoinnin suhteellisen pitkän keston vuoksi (6–13 viikkoa) palveluntarjoajilla on käytössä useita kymmeniä kompostorisäiliötä. Säiliöt on usein sijoitettu teollisuushalleihin, kuten alan ensimmäisen palveluntarjoajan, Recompose-yhtiön, tiloihin Seattlessa, joissa käytössä on noin 1 860 neliömetrin laajuinen toimitila. Varsinaisen kompostointiprosessin energiankulutus on alhainen: energiaa tarvitaan lähinnä prosessin ohjaukseen käytettävään tietojärjestelmään sekä ilmanvaihtoon. Tilojen lämmitysratkaisut eivät sisälly näihin lukuihin. Washingtonin osavaltiossa vainajien kompostointia, säädellään tarkasti terveys- ja turvallisuusmääräysten mukaisesti. Osavaltion terveyslautakunta (Washington State Board of Health) on laatinut määräykset NOR-prosessin kautta syntyvien jäännösten käsittelystä ja testaamisesta. Säädösten mukaan jokaisesta kompostointiprosessista on otettava edustava näyte, joka analysoidaan fysikaalisten epäpuhtauksien, kuten luiden, hammaspaikkojen ja lääketieteellisten implanttien, osalta. Näiden epäpuhtauksien määrä ei saa ylittää arvoa 0,01 mg/kg kuivapainosta. Lisäksi jokaisesta prosessista syntyneet jäännökset on analysoitava kolmannen osapuolen laboratoriossa raskasmetallien (arseeni, kadmium, lyijy, elohopea ja seleeni) sekä mikrobien (salmonella ja E. coli) osalta. Tulosten on alitettava säädöksissä määritellyt raja-arvot, ennen kuin lopputuote voidaan luovuttaa eteenpäin. NOR-laitosten on pidettävä vuosittaista raporttia, joka sisältää tiedot laitoksen toiminnasta, analyysituloksista ja kompostoitujen jäännösten määrästä. Raportti on toimitettava pyynnöstä paikalliselle terveysviranomaiselle (Washington State Legislature, 2020).

Linnée yliopiston ympäristötekniikan opettaja Eva Pohl tutki hautausmenetelmien kokonaisympäristövaikutuksia raportissaan vuonna 2023.

Elinkaarianalyysin (ReCiPe-menetelmä) perusteella kompostointi, kremointi ja arkkuhautaukset aiheuttavat suunnilleen samankaltaisen ympäristökuormituksen, kun kaikki merkittävät vaikutustekijät otetaan huomioon. Kompostoinnin merkittävin ympäristöhaitta liittyy kuivikemateriaalin käyttöön, jota kuluu noin 210 kg kompostoitavaa kohden. Toisaalta krematorioiden ympäristökuorma on pienentynyt merkittävästi siirryttäessä fossiilisista polttoaineista biopohjaisiin ja uusiutuviin energialähteisiin sekä hyödyntämällä lämmöntalteenottojärjestelmiä. Ilmastovaikutusten näkökulmasta kompostointi on edelleen selvästi vähäpäästöisempi kuin muut hautaustavat: CO₂-ekvivalenttilaskelmien mukaan kompostoinnin ilmastovaikutus on vain noin 9 % kremoinnista, koska energiaintensiivistä tuhkausprosessia ei tarvita, eikä arkkua käytetä. Arkun valmistus on puolestaan merkittävä yksittäinen ympäristökuormittava tekijä (taulukko 1). Jätehierarkian näkökulmasta kompostointi on kestävämpi vaihtoehto kuin poltto- tai arkkuhautaukset, sillä se palauttaa ravinteet ekosysteemiin helposti hyödynnettävässä muodossa (Pohl, 2023). Lisäksi menetelmä mahdollistaisi jäännöksistä syntyvien haitta-aineiden hallitun käsittelyn. Esimerkiksi hammasamalgaami, joka voi sisältää jopa 50 % elohopeaa, päättyy perinteisessä arkkuhautauksessa maaperään yhdessä muiden implanttien ja tekonivelten kanssa. Koska arkkuhautauksessa hajoaminen tapahtuu hallitsemattomasti vuosikymmenten kuluessa, sen ympäristövaikutuksia ei voida tehokkaasti mitata tai ohjata. Tämä voi johtaa raskasmetallien, kuten elohopean, kulkeutumiseen maaperään ja pohjaveteen.

Kompostointi on puolestaan hallitusti ohjattu prosessi, jossa implantit poistetaan ennen lopputuotteen syntymistä, eikä arkkua tarvita. Näin myös arkkumateriaalien mahdollisesti sisältämät kemikaalit jäävät kokonaan prosessin ulkopuolelle. Yhdysvaltojen osavaltioissa, joissa menetelmä on käytössä, kompostin laatu testataan tarkasti ja lopputuotteen on täytettävä Yhdysvaltain ympäristönsuojeluviraston (US EPA) maaperälaatustandardit ennen sen käyttöä.

Taulukko 1. Vertailu kompostoinnin ja tuhkauksen ympäristökuormituksesta (Pohl, 2023).

Toimenpide	Ympäristövaikutus- pisteet ReCiPe (Pt)	Ilmastovaikutus (kg CO ₂ -ekv.)
Kompostointi	17,2	8,59
Tuhkaus (ilman arkkuja)	2,84	17,0
Arkun valmistus (6 m ² MDF-levyä, 1 kg puuvillatekstiiliä, 4 kg polyuretaanivaahtoa) ja jakelu	12,8	91,9
Tuhkaus ja lämpöenergian talteenotto	- 0,18	- 3,17
Vainajan kuljetus 90 km (keskimäärin Ruotsissa)	3,46	35,3
Arkkuhautaus 3m ² 25 vuotta	3,43	0

3. Savukaasunpuhdistus- ja lämmöntalteenottojärjestelmät

Savukaasuilla tarkoitetaan polttoprosessista muodostuvia kaasumaisia yhdisteitä, jotka on ohjattu jälkipoltinkammion läpi tavoitteena poistaa tuhkausprosessissa muodostuneita epäpuhtauksia. Savukaasujen happipitoisuus on noin 6–12 % (NSW Government, 2024; Turun kaupungin kaupunkiympäristötoimiala, 2018; Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2006; Rovaniemen kaupunki, ympäristölautakunta, 2019; UNEP, 2012). Korkea happipitoisuus on tärkeä erityisesti tuhkaoksen käynnistyessä, jotta varmistetaan täydellinen palaminen.

Tuhkausuunilta poistuvien savukaasujen lämpötila on noin 600–700 °C. Savukaasupuhallin siirtää kaasut kohti piippua ja ylläpitää järjestelmässä tarvittavaa alipainetta (Heikkilä, 2018; Häkkinä, 2023). Suomessa myönnettyä ympäristöluvista ilmenee, että savukaasut jäähtyvät 110–315 °C:een riippuen käytössä olevista lämmöntalteenotto-, suodatus- ja puhdistusmenetelmistä (Espoon kaupungin ympäristölautakunta, 2015; Hämeenlinnan kaupungin ympäristö- ja rakennuslautakunta, 2012; Kokkolan kaupungin Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2019; Lahden seudun ympäristölautakunta, 2015; Turun kaupungin kaupunkiympäristötoimiala, 2018).

Tuhkausprosessin savukaasujen ympäristölle haitalliset yhdisteet ovat pääosin raskasmetalleja (erityisesti elohopeaa), typpi- ja rikkioksideja, hiilimonoksidia, hiukkaspäästöjä sekä pysyviä orgaanisia yhdisteitä (POP-yhdisteet) ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC-yhdisteet) (Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2010; Kokkolan kaupungin Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2019; Lee, et al., 2022; NSW Government, 2024; Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2010; Hämeenlinnan kaupungin ympäristö- ja rakennuslautakunta, 2012; Kokkolan kaupungin Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2019). Epäpuhtauksia muo-

dostuu varsinkin silloin, jos palamisolosuhteet tai lämpötilat eivät ole optimaaliset (Montse & Domingo, 2010; Xue, Cheng, Chen, & al, 2018; Keijzer, 2015). Ympäristölle vaarallisimpia epäpuhtauksia ovat POP-yhdisteet kuten PCDD:t, PCB:t, furaanit (Fs), HCB:t sekä raskasmetalleista elohopea (Montse & Domingo, 2010; Lee, et al., 2022; UNEP, 2012).

Elohopeapäästöistä suurin osa on peräisin vainajien amalgaamipaikoista, mutta pieniä määriä voi syntyä myös ravinnon jäänteistä tai arkkuihin kuulumattomista esineistä, kuten paristoista ja akuista (Espoon kaupungin ympäristölautakunta, 2015; Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2006; Montse & Domingo, 2010; Lehto, 2024; Kokkolan kaupungin Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2019; Imatran kaupungin ympäristö- ja rakennusvalvonta, 2002; Kajaanin ympäristöteknisen lautakunnan lupajaosto, 2018). Hammasamalgaami on edelleen merkittävin tarkoituksellisesti lisätyn elohopean käyttökohde EU:ssa (Mykkänen & Toikka, 2023). Ruotsissa vuoden 2003 tilastojen mukaan 65 002 tuhkausta 71 krematoriossa tuotti noin 122 kg elohopeapäästöjä (OSPAR Commission, 2003).

Tulevaisuudessa elohopeapäästöjen odotetaan vähenevän merkittävästi amalgaamipaikkojen käytön vähentyessä (Lehto, 2024; Kokkolan kaupungin Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2019; Kokkolan kaupungin Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2019). Tähän liittyen EU:ssa on ehdotettu helpotuksia velvoitteisiin asentaa puhdistuslaitteistoja, ja komission vaikutusarvioinnin mukaan nykyiset puhdistusvaatimukset eivät kaikilta osin vastaa suhteellisuusperiaatetta (Lehto, 2024; Mykkänen & Toikka, 2023). Suomessa valtioneuvoston kirjelmässä on esitetty, että amalgaamin käyttö kielletään kokonaan, mikä vähentäisi tulevia krematorioiden elohopeapäästöjä (Lehto, 2024; Mykkänen & Toikka, 2023). Ehdotuksen mukaan hammasamalgaamia saisi käyttää ainoastaan, jos sen käyttö olisi lääketieteellisesti välttämätöntä (Mykkänen & Toikka, 2023).

Krematorioiden savukaasujen elohopeapäästöt ovat olleet nousussa tuhkaoksen yleistyessä

EU:n alueella, mutta amalgaamipaikkojen vähentyessä päästöjen arvioidaan vähentyvän viiveellä (Mykkänen & Toikka, 2023). Suomessa krematorioiden elohopeapäästöjen on arvioitu laskevan jopa alle kilogrammaan vuoteen 2030 mennessä (Mykkänen & Toikka, 2023).

Dioksiinipäästöistä suurin osa poistuu jälkipolttokammiossa, jossa lämpötila on noin 800 °C (Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2006; Espoon kaupungin ympäristölautakunta, 2015). Suomessa arkkujen ja uurnien materiaaleista on annettu laatusuosituksia, joiden tarkoituksena on ehkäistä dioksiinipäästöjä (Suomen hautaus toiminnan keskusliitto, 2025; Espoon kaupungin ympäristölautakunta, 2015). Euroopassa tuhkausuuniin sisältyvä jälkipolttokammio vähentää dioksiinipäästöjä niin tehokkaasti, ettei erilliselle suodatukselle yleensä nähdä tarvetta. Suomen säädännön mukaan jälkipolttokammion lämpötila on oltava vähintään 850 °C ja savukaasujen viipymäaika yli kaksi sekuntia.

Hiilimonoksidia (CO) eli häkää muodostuu epätäydellisestä palamisesta erityisesti tuhkauprosessin alussa, mikäli uunin lämpötila ei ole riittävä (Xue, Cheng, Chen, & al, 2018). Prosessin optimoinnilla voidaan vähentää CO-päästöjä, ja jäähdyttämällä osa häkääkaasusta voidaan muuntaa vähemmän haitalliseksi hiilidioksidiksi (CO₂).

Epätäydellisen palamisen seurauksena muodostuu myös rikkidioksidia (SO₂) ja typpioksidia (NO_x). Rikkidioksidipäästöt johtuvat pääasiassa polttoaineen rikkipitoisuudesta (Xue, Cheng, Chen, & al, 2018). Savukaasujen käsittelyjärjestelmän käyttöönotto vaatii korkeampia lämpötiloja, jotka edesauttavat muiden yhdisteiden hajoamista, mutta voivat samalla lisätä typpioksidien muodostumista (Xue, Cheng, Chen, & al, 2018).

Hiukkaspäästöjen määrää voidaan vähentää tehokkaalla palamisprosessin ohjauksella (Hämeenlinnan kaupungin ympäristö- ja rakennuslautakunta, 2012; Kokkolan kaupungin Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2019). Hiukkaset luokitellaan kokoluokan mukaan PM₁₀-hiukkasiin (alle 10 µm), PM_{2.5}-hiukkasiin (alle 2,5 µm) ja ultrahienojakeisiin (UFP, alle 0,1 µm).

Pääosa hiukkasista (97–99 %) voidaan poistaa jäähdytyksen ja mekaanisen suodatuksen avulla (Xue, Cheng, Chen, & al, 2018).

3.1 Lämmöntalteenoton mahdollisuudet ja hyödyt

Savukaasujen käsittelyprosessi käynnistyy tavanomaisesti lämmöntalteenotolla ja savukaasujen jäähdytyksellä. Jäähdytyksen aikana osa savukaasujen sisältämistä yhdisteistä kondensoituu kaasumaisesta kiinteään muotoon, ja pienhiukkaset kasautuvat suuremmiksi ja raskaammiksi hiukkasiksi, joita on helpompi erottaa suodatuksen avulla.

Vuorokauden ensimmäistä tuhkausta lukuun ottamatta krematorion polttoprosessi on energiaylijäämäinen (Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2006). Tuhkausuunista poistuvien savukaasujen sisältämä lämpöenergia voidaan hyödyntää lämmöntalteenottojärjestelmillä, samalla jäähdyttäen savukaasut sopiviksi jatkokäsittelyä varten (Hämeenlinnan kaupungin ympäristö- ja rakennuslautakunta, 2012; Espoon kaupungin ympäristölautakunta, 2015; Turun kaupungin kaupunkiympäristötoimiala, 2018; Kangasalan kunta, Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2012). Lämmöntalteenotto perustuu siihen, että savukaasujen lämpöenergia siirretään lämmönsiirtonesteeseen lämmönsiirtimien avulla, minkä jälkeen lämpöä voidaan hyödyntää kiinteistön energiatarpeissa tai siirtää kaukolämpöverkkoon (Kuopion kaupungin ympäristölautakunta, 2021; Espoon kaupungin ympäristölautakunta, 2015; Kokkolan kaupungin Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2019; Turun kaupungin kaupunkiympäristötoimiala, 2018).

Koko polttoprosessin ylijäämä voi vaihdella 200–400 kW:n välillä riippuen laitoksen teknisestä kokonaisuudesta (Lagoeiro, Davies, Solomon, Elmes, & Maidment, 2024). Yksittäinen tuhkauprosessissa syntyvä lämpöenergia on arvioitu olevan noin 170 kWh (Korkiakangas, 2025). Savukaasut jäähdytetään yleensä alle 200 °C lämpötilaan ennen puhdistusjärjestelmien käsittelyvaiheita. Liian korkea lämpötila voi vaurioittaa suodattimia tai aiheuttaa syttymis-

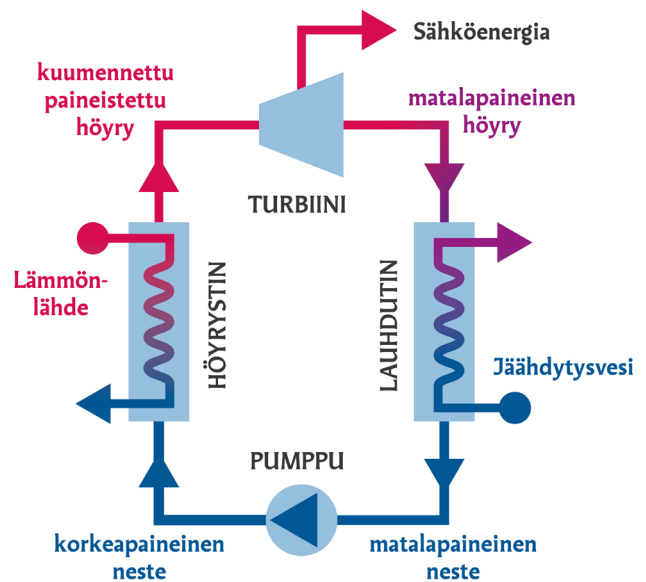
riskin esimerkiksi kangassuodatuksessa (Häkki-
lä, 2023; Kokkolan kaupungin Rakennus- ja
ympäristölautakunta, 2019; Heikkilä, 2018).
Savukaasujen lämpötilan tulee ennen piippuun
ohjaamista olla vähintään 110 °C, ja energian
hyödyntämisen näkökulmasta lämpötila pyri-
tään jäähdyttämään mahdollisimman lähelle
tätä rajaa (Häkki-
lä, 2023; Heikkilä, 2018).

Talteen otettua lämpöenergiaa voidaan lau-
duttaa ulkoilmaan, jolloin sitä ei hyödynnetä
muuhun käyttöön kuin puhdistusjärjestel-
män toiminnan mahdollistamiseen. Toisaalta
energia voidaan hyödyntää paikallisesti ra-
kennuksen lämmityksessä tai käyttöveden
tuotannossa, ja se voidaan myös myydä kau-
kolämpöverkkoon, mikäli kiinteistö on liitetty
verkkoon. Lämpöä voidaan käyttää lisäksi esi-
merkiksi maalämpöjärjestelmien regeneroin-
tiin kesäaikaan tai tuottaa sillä kaukokylmää
kylmiöiden jäähdytykseen, mikä pienentää
kylmäkoneiston sähkönkulutusta.

Matalalämpöisten hukkalämpöjen hyödyntä-
minen on ollut perinteisesti haastavaa matalan
lämpötilatason ja alhaisen hyötysuhteen vuoksi.
Organic Rankine Cycle (ORC) -teknologia on
tuonut tähän haasteeseen uudenlaisen ratkai-
sun. ORC mahdollistaa sähköntuotannon myös
sellaisista lämpövirroista, joiden lämpötila on
liian alhainen perinteiselle höyryturbiinitekni-
kalle (Quoilin, 2013).

ORC-prosessi toimii klassisen Rankine-syklin
tavoin, mutta veden sijasta käytetään orgaanista
työainetta, joka höyrystyy alemmassa lämpötilas-
sa. Tämä tekee ORC:stä erityisen soveltuvan
alle 150 °C lämpötiloissa toimivien hukkaläm-
pökohteiden, kuten savukaasujen lämmön-
talteenoton, hyödyntämiseen. Järjestelmiä
voidaan mitoittaa pienillekin lämpövirroille ja
skaalata teholtaan muutamasta kymmenestä ki-
lowatista useisiin megawatteihin (Vaja, 2010).

Krematoriossa ORC mahdollistaa savukaasu-
jen hukkalämmön muuttamisen sähköksi, jota
voidaan hyödyntää esimerkiksi kylmiöiden
tai muiden sähköisten järjestelmien käyt-
töön. Kuvassa 6 on esitetty yksinkertaistettu
ORC-prosessin toimintaperiaate.



Kuva 6. Yksinkertaistettu periaatekuva ORC-prosessin toiminnasta (Energy Education)

3.2 Nykyiset ja kehitteillä olevat savukaasunpuhdistusteknologiat

Savukaasujen puhdistus perustuu useisiin pe-
räräkkäisiin käsittelyvaiheisiin, joiden tarkoi-
tuksena on vähentää ilmapäästöjä sitomalla
haitalliset yhdisteet kiinteään muotoon. Eri
suodatinyhdistelmillä ja puhdistusmenetel-
millä voidaan saavuttaa erilaisia puhdistustu-
loksia, mutta useimmat teknologiat kohdistu-
vat useampaan kuin yhteen päästötyyppiin.

Jäähdytyksen jälkeen savukaasujen puhdistus al-
kaa usein syklonisuodattimilla, joiden tehtävänä
on poistaa kuumimmat ja raskaimmat hiukkaset.
Syklonisuodattimet ovat kestäviä ja soveltuvat
hyvin esisuodatukseen ennen tarkempia suoda-
tustekniikoita, kuten aktiivihiili- ja kuitusuoda-
tusta (Hämeenlinnan kaupungin ympäristö- ja
rakennuslautakunta, 2012; Helsingin kaupungin
ympäristölautakunta, 2010; Kokkolan kaupun-
gin Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2019;
Kangasalan kunta, Rakennus- ja ympäristölaui-
takunta, 2012; Espoon kaupungin ympäristö-
lautakunta, 2015). Syklonisuodattimilla voidaan
tehokkaasti vähentää erityisesti hiukas- ja elo-
hopeapäästöjä. Lisäksi ne suojaavat jälkisuodat-
timia ylikuumenemiselta ja paloriskeiltä (Heik-
kilä, 2018; Häkki-
lä, 2023).

Elohopean poistossa hyödynnetään useimpien syklonisuodatuksen lisäksi adsorptiomateriaaleja, kuten aktiivihiiltä, koksi- tai zeoliittipohjaisia aineita (OSPAR Commission, 2003). Näitä voidaan ruiskuttaa suoraan savukaasuvirtaan, jolloin elohopea sitoutuu adsorbenttiin, joka suodattuu myöhemmin kuitu- tai kangassuodattimien avulla. Myös kiintopetisuodattimia ja kaasupesureita voidaan käyttää osana puhdistusprosessia. Näillä menetelmillä saavutetaan tavallisesti elohopeapitoisuudet 0,1–0,2 mg/Nm³ (OSPAR Commission, 2003). Harvinaisempia menetelmiä ovat seleenin lisääminen arkkuun, keraamisten suodattimien käyttö sekä jalometalleihin perustuvat katalyyttiset adsorberit, joita valmistetaan esimerkiksi kullasta tai platinasta. Näillä voidaan päästä erittäin mataliin elohopeapitoisuuksiin (0,001–0,5 mg/Nm³) standardin EN 13211 mukaisesti (OSPAR Commission, 2003). Kaikki tekniikat eivät kuitenkaan sovellu tuhkaasuunihin. Esimerkiksi kuumentamalla regeneroitavat kultasuodattimet toimivat vain noin 60 °C lämpötilassa, mikä on liian matala tuhkaasuunien savukaasuille (OSPAR Commission, 2003).

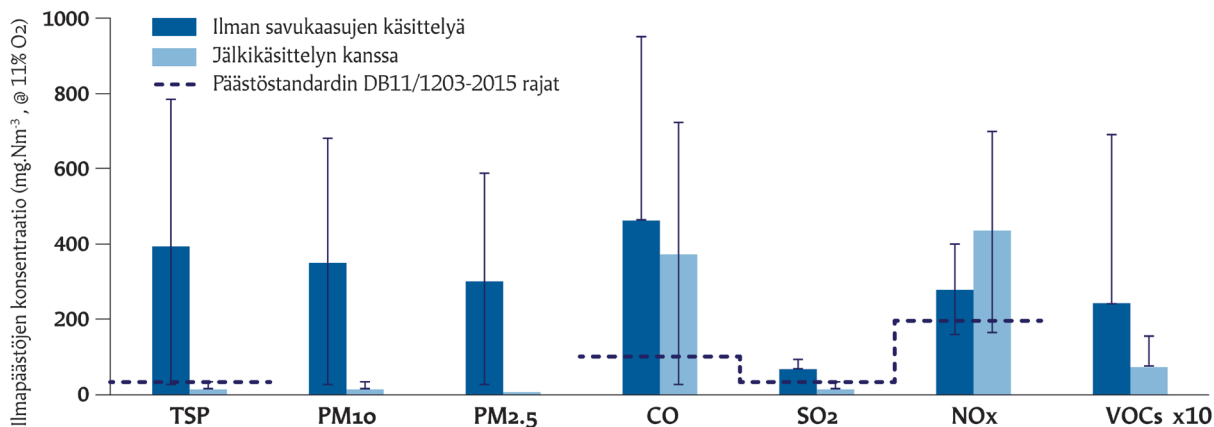
Vaikka tuhkausten kokonaismäärän kasvu on lisännyt kokonaiselohopeapäästöjä, yksittäistä tuhkausta kohden päästömäärän odotetaan vähenevän amalgaamipaikkojen vähenemisen myötä. Tämän vuoksi elohopea ei välttämättä ole tulevaisuudessa merkittävin yksittäinen huolenaihe. Elohopean talteenotto on usein integroitavissa muihin savukaasujen käsittelymenetelmiin. Yleisimmin käytetyt menetelmät – jäähdytys, syklonisuodatus, aktiivihiili- ja kangassuodatus sekä adsorptio – vaikuttavat

myös muihin päästökomponeentteihin, mikä tekee niistä monipuolisia ja kustannustehokkaita ratkaisuja. Tämän vuoksi keskitytään erityisesti näiden vaihtoehtojen käsittelyyn.

Jäähdytyksen ja syklonisuodatuksen jälkeen yleisimmin käytetyt menetelmät ovat aktiivihiili- ja kangassuodatus. Aktiivihiili sitoo erityisesti rikkidioksidia (SO₂) ja VOC-yhdisteitä, kun taas kuitusuodattimet poistavat pienhiukkasia savukaasuista. Yhdistämällä jäähdytys, syklonisuodatus, aktiivihiili ja kuitusuodatus voidaan tehokkaasti vähentää valtaosa savukaasujen sisältämistä haitallisista yhdisteistä. Sen sijaan hiilimonoksidin (CO) ja typpioksidien (NO_x) vähentäminen edellyttää palamisprosessin optimointia ja hyvää automaattiohjausta, sillä ne syntyvät pääosin epätäydellisen palamisen seurauksena.

3.3 Puhdistus- ja talteenottolaitteistojen vaikutukset päästöihin

Euroopassa ja Suomessa suodattamattomia savukaasuja koskevaa kirjallista tutkimusta on toistaiseksi saatavilla vain rajallisesti. Tästä syystä selvityksessä hyödynnetään myös Kiinassa koottua tutkimusdataa. On kuitenkin huomioitava, että käytettävissä oleva aineisto ei erittele yksittäisten krematorioiden käyttämiä suodatinratkaisuja, vaan tarjoaa yleiskuvaa päästöjen määrästä (kuva 7). Data sisältää mitaustuloksia laitoksista, joissa ei ole puhdistusjärjestelmiä tai jälkipolttokammiota, ja sellaisista, joissa suodatinkokonaisuuksia on käytössä.



Kuva 7. Ilmapäästöjen konsentraatio haitallisten ilmaaasteiden osalta krematorioissa (Xue, Cheng, Chen, & al, 2018).

Kiinassa tehdyssä tutkimuksessa hiilimonoksidipitoisuudet (CO) tuhkaasuunien savukaasuisa vaihtelivat merkittävästi välillä 42–1379 mg/Nm³, keskiarvon ollessa noin 460 mg/Nm³. Öljykäyttöisissä uuneissa CO-pitoisuudet olivat tyypillisesti korkeampia kuin kaasukäyttöisissä (Xue, Cheng, Chen, & al, 2018). Suodatuksen vaikutukseksi on raportoitu noin 19,6 %:n vähennys CO-päästöissä.

Typpioksidien (NO_x) päästöjä havaittiin keskimäärin 280 mg/Nm³ niissä krematorioissa, joissa ei ollut savukaasujen käsittelyä. Jälkikäsitteilyn seurauksena päästöjen todettiin kuitenkin nousevan jopa 434 mg/Nm³, todennäköisesti korkeampien polttolämpötilojen seurauksena (Xue, Cheng, Chen, & al, 2018). Prosessin ohjauksella ja sopivilla suodatinratkaisuilla typpioksidien muodostumista voidaan kuitenkin vähentää. Alankomaissa toteutetussa tutkimuksessa typpioksidien keskimääräinen pitoisuus oli 410 mg/Nm³ (Keijzer, 2015), mikä viittaa hieman matalampiin arvoihin.

Elohopeapäästöjen määrä riippuu ensisijaisesti polttoon syötettävän elohopean määrästä. Kiinalaisessa tutkimuksessa ei ollut saatavilla vertailukelpoista dataa, mutta Alankomaissa suodatettujen savukaasujen elohopeapitoisuudeksi on raportoitu noin 0,005 mg/Nm³ (Keijzer, 2015). Toisessa lähteessä suodatuksen tehokkuuden on arvioitu ylittävän 98 %, jolloin lopulliseksi elohopeapitoisuudeksi jää 0,001–0,1 mg/Nm³ (OSPAR Commission, 2003). Oletuksella, että Suomessa keskimääräinen tuhka sisältää 1,5 g elohopeaa, yli 98 %:n poistoteholla yksittäisen tuhkaoksen päästöt jäisivät alle 30 mg:aan.

Rikkidioksidipitoisuudet (SO₂) ilman puhdistusjärjestelmää vaihtelivat 3,8–350 mg/Nm³, keskiarvon ollessa noin 65 mg/Nm³. Suodatuksen tehokkuudeksi on arvioitu noin 85,2 %, mikä vastaa myös Alankomaiden tutkimustuloksia, joissa SO₂-pitoisuus oli noin 32 mg/Nm³ (Xue, Cheng, Chen, & al, 2018; Keijzer, 2015).

Hiukkaspäästöjen osalta Kiinan tutkimuksessa PM₁₀-hiukkasten pitoisuus oli noin 350,6 mg/Nm³ ja PM_{2,5}-hiukkasten noin 300,9 mg/Nm³ (Xue, Cheng, Chen, & al, 2018). Tehokas

polttoprosessin ohjaus voi vähentää hiukkaspäästöjä myös ilman suodatinta (Hämeenlinnan kaupungin ympäristö- ja rakennuslautakunta, 2012; Kokkolan kaupungin Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2019). Mekaanisen jäähdytyksen ja suodatuksen avulla suurin osa hiukkasista, arviolta 97–99 %, saadaan talteen (Xue, Cheng, Chen, & al, 2018). Syklonisuodattimien käyttö ennen muita suodattimia vähentää myös laitteistojen vikaantumisriskiä ja palovaaraa (Heikkilä, 2018; Häkkinen, 2023).

Alankomaissa toteutetussa tutkimuksessa suodatettujen savukaasujen dioksiinipitoisuudeksi on mitattu noin 0,05 ng/Nm³ (Keijzer, 2015). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) määrä puolestaan väheni suodatuksen myötä noin 70,7 % (Xue, Cheng, Chen, & al, 2018). Alankomaissa VOC-yhdisteiden (ml. epäorgaaniset hiilivedyt) kokonaismäärä oli noin 2 mg/Nm³, mikä vastaa noin 80 %:n poistotehokkuutta automatisoidulla polttoprosessilla ja suodatinjärjestelmällä (Keijzer, 2015).

3.4. Markkinoilla olevat tuhkaasuunit ja ratkaisut

Tässä osiossa tarkastellaan markkinoilla olevia tuhkaasuuneja ja niihin liittyviä savukaasujen puhdistus- sekä lämmöntalteenottoratkaisuja. Vertailussa ovat mukana viisi merkittävää laite-toimittajaa: DFW Europe, ATI Industries, IFZW GmbH, Crematech ja Heinicke GmbH. Toimittajien valinnassa painotettiin erityisesti teknologista valmiutta, käytännön käyttökokemuksia sekä saatavilla olevia päästömittaustuloksia. Eri valmistajien ratkaisut eroavat toisistaan muun muassa energialähteiden, automaation tason, suodatusmenetelmien ja lämmöntalteenoton osalta.

ATI Industries (Ranska) tarjoaa mallia CR2000 XXL, jossa yhdistyvät nopea automaattinen arkkusyöttö (alle 20 sekuntia), täysin automatisoitu palamisprosessin ohjaus sekä tehokas jälkipolttovähintään 800 °C:ssa kahden sekunnin ajan. Mallin suorituskyky on 8–10 tuhkausta päivässä, ja keskimääräinen energiankulutus noin 240 kWh/tuhkaus. Savukaasujen puhdis-

tusratkaisu ATI EnviroControl perustuu kalkki- ja aktiivihiihlyttöön ja alittaa selvästi säädetty päästöarajat pölyn, hiilimonoksidin (CO), typen oksidien (NOx) ja raskasmetallien osalta. Etävalvonta, automaattinen lämpötilansäätö ja helposti huollettavat komponentit parantavat käytettävyyttä ja toimintavarmuutta (ATI Industries, 2025).

DFW Europe (Alankomaat) tarjoaa sekä sähkö- että kaasukäyttöisiä tuhkausuuneja, kuten mallit DFW 4000, DFW 6000 ja DFW Electric. Erityisesti Double End -sähkömalli mahdollistaa 6–8 tuhkausta päivässä tehokkaan energianhallinnan ja automaattisen syöttömekanismin (AIM) ansiosta. Mittaustulokset osoittavat poikkeuksellisen alhaiset päästöt: esimerkiksi hiukkaspitoisuudet 0,6 mg/Nm³ ja dioksiinit alle 0,01 ng/Nm³. Suodatus- ja lämmöntalteenottojärjestelmään kuuluvat muun muassa lämmöntalteenottokattila, hiukkassuodatin ja lämmönvaihdin. Referenssi kohteita on yli 35 Euroopassa, mm. Doncaster (UK), Almere (NL), Lugano (CH) ja Skövde (SE) (DFW Europe, 2025).

IFZW GmbH (Saksa) tarjoaa räätälöityjä krematorioratkaisuja, joiden tunnuspiirteitä ovat korkea rakenteellinen laatu, pitkä käyttöikä ja saksalainen insinööritaito. Mallit, kuten KE 400 ja KFX 500, ovat kaasukäyttöisiä ja suunniteltu tehokkaaseen, jatkuvaan käyttöön. Savukaasujen käsittelyratkaisut sisältävät mm. flat-bag -suodattimia, kondensointiroottoreita ja aktiivihiihlysuodatuksen. IFZW:n järjestelmät täyttävät Saksan tiukat BImSchV-päästöstan-

dardit, ja yritys tarjoaa kokonaisvaltaisia toimitusprojekteja suunnittelusta käyttöönottoon (IFZW International, 2025).

Crematech (Alankomaat) keskittyy sähkö- ja biopolttoainekäyttöisiin tuhkausuuneihin. Yrityksen erikoisosaamista ovat SCADA-pohjaiset ohjausjärjestelmät, joiden avulla palamisprosessin energiatehokkuus ja automaatio ovat pitkälle kehittyneet. Crematechin ratkaisut tukevat muun muassa sähköä, biopropaania, vetyä ja kaasua energialähteinä. Suodatus perustuu syklonien ja aktiivihiihlysuodattimien yhdistelmiin, jotka täyttävät Euroopan alhaisten päästöjen vaatimukset. Reaaliaikainen etävalvonta parantaa käytettävyyttä ja turvallisuutta operatiivisessa käytössä (Crematech, 2025).

Heinicke GmbH (Saksa) valmistaa tasouuniperiaatteella toimivia kaasukrematorioita. Näiden suunnittelussa korostuvat yksinkertainen rakenne, huollettavuus ja automatisoitu tuhkan käsittely. Heinicken ratkaisut on suunniteltu erityisesti Saksan ja Itä-Euroopan markkinoille, joissa vaaditaan käytännöllisiä ja muunneltavia käyttöliittymiä. Laitteet täyttävät Saksan 27. BImSchV -päästövaatimukset ja sisältävät automaattisen arkkulatauksen, integroidun suodatuksen sekä tuhkauspölyn hallinnan (Heinicke GmbH, 2025).

Eri laitetoimittajien vertailua voidaan esittää esimerkiksi uunityyppien ja energialähteiden osalta taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2 Vertailu eri laitevalmistajien välillä.

Valmistaja	Uunityypit	Energialähteet	Eriyispiirre	Puhdistusjärjestelmät
DFW Europe	DFW 4000, DFW 6000, DFW Electric	Kaasu, sähkö, vety	Korkea energiatehokkuus	Modulaarinen suodatus, aktiivihiihi
ATI Industries	CR-sarja, CR2000, HP-sarja	Kaasu, öljy	Modulaarinen, korkea käyttöaste	Kuiva, märkä ja keraaminen suodatus
IFZW GmbH	KE 400, KFX 500, SH4-SE	Kaasu	Turnkey-ratkaisut, integroitu puhdistus	Flat-bag, kemiallinen puhdistus
Crematech	Sähkö- ja kaasumallit	Sähkö, kaasu, bio, vety	SCADA-ohjaus, energiatehokkuus	Sykloni, pöly- ja aktiivihiihlysuodatus
Heinicke GmbH	Tasouunit (flachbettofen)	Kaasu	Automaattinen lataus ja tuhkan käsittely	Integroitu suodatus

4. Uusiutuvan energian hyödyntämismahdollisuudet

4.1 Uusiutuvat polttoaineet tuhkausuunissa

Tuhkausuunin energialähteenä voidaan käyttää vaihtoehtoisina, uusiutuvina energialähteinä esimerkiksi bioöljyä, biokaasua tai fossiilivapaata sähköä. Näiden avulla vältetään fossiilisten hiilidioksidipäästöjen muodostuminen, jolloin ilmakehään ei vapaudu maaperään sitoutunutta hiiltä. Nykyisiä polttoaineita on mahdollista korvata vähähiilisemmällä vaihtoehdoilla kohtalaisen pienin teknisin muutoksin. Esimerkiksi siirryttäessä maakaasusta biometaniiniin tai polttoöljystä bioöljyyn voidaan fossiiliset päästöt poistaa tuhkausuunin prosessista lähes kokonaan. Bioöljyn käytössä tämä edellyttää usein polttoainesuuttimien vaihtoa, kun taas kaasu- tai sähkökäyttöön siirryttäessä voidaan hankkia fossiilivapaata energiaa suoraan jakeluverkosta.

4.1.1 Sähkö

Sähkökäyttöisten tuhkausuunien ympäristövaikutukset määräytyvät pääosin sähkön tuotannon päästöjen mukaan. Sähköverkon kautta saatavan sähkön hiilijalanjälki voidaan määrittää tarkasti hyödyntämällä Fingridin julkaisemaa tilastotietoa. Lisäksi on mahdollista hankkia fossiilivapaata sähköä, jolloin energiantuotannosta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt voidaan käytännössä eliminoida.

4.1.2 Bioöljy

Uusiutuvaa bioöljyä tarjoavat Suomessa muun muassa Neste ja St1. Tuotenimiltään Nesteen uusiutuva polttoaine on *Neste MY Uusiutuva Polttoöljy*, ja St1:n vastaava tuote on nimeltään *St1 HVO - uusiutuva polttoöljy*. Molemmat tuotteet ovat korkealaatuisia, uusiutuvista raaka-aineista valmistettuja polttoöljyjä, jotka soveltuvat sekä lämmitys- että energiantuotantokäyttöön. Ominaisuuksiltaan tuotteet ovat keskenään hyvin samankaltaisia.

Neste MY Uusiutuva Polttoöljy valmistetaan 100-prosenttisesti jätteistä ja tähteistä. Polttoaine ei perustu fossiilisiin raaka-aineisiin, vaan sen tuotanto perustuu uusiutuviin jakeisiin, kuten kasviöljyihin ja elintarvike- sekä teollisuusperäisiin biojätteisiin. Valmistusmenetelmänä käytetään Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) -teknologiaa, jonka ansiosta lopputuote on laadultaan hyvin lähellä perinteistä kevyttä polttoöljyä (Neste Oyj, 2025). Vastaavasti St1:n tarjoama HVO-pohjainen uusiutuva polttoöljy valmistetaan jäte- ja tähderaaka-aineista vetykäsittelyprosessilla (ST1).

HVO-polttoöljyjen käytöllä voidaan saavuttaa jopa 90 % pienempi hiilijalanjälki verrattuna fossiiliseen kevyeen polttoöljyyn. Arvio perustuu elinkaaren aikaiseen päästölaskentaan, joka on tehty EU:n uusiutuvaa energiaa koskevan RED II -direktiivin (2018/2001/EU) mukaisesti (Neste Oyj, 2025) (ST1).

Neste MY Uusiutuva Polttoöljy on niin kutsuttu drop-in-ratkaisu, eli sitä voidaan käyttää olemassa olevissa polttimissa ilman merkittäviä teknisiä muutoksia. Polttoaine soveltuu muun muassa kiinteistöjen lämmitykseen, työkoneisiin ja energiantuotantoon, ja se täyttää EN 590 -dieselstandardin, minkä ansiosta se soveltuu myös moottorikäyttöön (Neste Oyj, 2025).

Siirryttäessä fossiilisesta polttoöljystä uusiutuvaan polttoöljyyn on kuitenkin huomioitava joitakin teknisiä yksityiskohtia. Neste MY -polttoöljy palaa puhtaasti, mutta sen liekin väri poikkeaa fossiilisesta polttoöljystä. Vanhemmissa polttimissa voi olla tarpeen vaihtaa liekintunnistin lämpötilaan perustuvaan infrapunasensoriin (IR-tunnistin), jonka hankintakustannus on tyypillisesti noin 300–400 euroa (Neste Oyj, 2025).

Polttoöljyn varastoinnissa voidaan käyttää samoja säiliöitä kuin fossiilisen polttoöljyn kanssa. Neste MY on saatavilla sekä kesälaatuina (−10 °C) että talvilaatuina (−32 °C). Tuotteen säilyvyys on hyvä, mutta kuten kaikkien polttoaineiden kohdalla, varastoinnissa on tärkeää estää veden kertyminen, sillä se voi aiheuttaa mikrobikasvustoa säiliössä (Neste Oyj, 2025).

Taulukko 3. Kevyen polttoöljyn ja Neste MY uusiutuvan polttoöljyn vertailua.

Ominaisuus	Fossiilinen Kevyt Polttoöljy	Neste MY Uusiutuva Polttoöljy
Raaka-aineet	Raakaöljypohjainen	100 % uusiutuvat jätteet ja tähteet
Hiilidioksidipäästöt	Korkeat päästöt	90 % pienemmät elinkaaren aikana
Soveltuvuus	Standardikäyttö	Drop-in, mutta liekintunnistin voi vaatia vaihdon
Kylmäominaisuudet	Samepiste -3 °C	Kesälaatu -10 °C, talvilaatu -32 °C
Varastointi	Soveltuu nykyisiin säiliöihin	Soveltuu nykyisiin säiliöihin
Ympäristövaikutus	Korkeammat päästöt ja suurempi ympäristövaikutus	Vähemmän päästöjä ja pienempi hiilijalanjälki

Biopolttoöljyn (HVO) päästökerroin on 71,6 tonnia CO₂/TJ, mutta tämä on kaikki bioperäistä. Tämän vuoksi biopolttoöljyn käytöstä ei muodostu fossiilisia CO₂ päästöjä lainkaan. (Tilastokeskus, 2025)

4.1.3. Biokaasu

Biokaasu on uusiutuva energianlähde, joka muodostuu orgaanisen materiaalin, kuten maatalousjätteiden, elintarvikejätteiden ja jätevesilietteen, anaerobisessa mädätysprosessissa. Tässä prosessissa mikro-organismit hajottavat biomassaa hapettomissa olosuhteissa, tuottaen biokaasua, joka koostuu pääasiassa metaanista (CH₄) ja hiilidioksidista (CO₂).

Biokaasun tuotanto perustuu orgaaniseen materiaaliin, kuten lantaan, kasvitähteisiin ja biojätteeseen. Materiaali esikäsitellään homogenisoimalla ja tarvittaessa lietetään, jotta se soveltuu mädätysreaktoriin. Ilmatiiviissä reaktoreissa mikrobit hajottavat biomassaa anaerobisesti muodostaen biokaasua. Tuotettu biokaasu puhdistetaan poistamalla epäpuhtaudet ja hiilidioksidi, jolloin saadaan korkealaatuista biometaania (Gasum, 2025).

Biokaasun energiasisältö riippuu sen metaanipitoisuudesta, joka vaihtelee tyypillisesti 50–70 % välillä. Mitä korkeampi metaanipitoisuus, sitä suurempi energiasisältö. Esimerkiksi 100-prosenttisen metaanin energiasisältö on

noin 10 kWh/m³, joten kuutiometri puhdasta metaania vastaa energiasisällöltään noin yhtä litraa kevyttä polttoöljyä (Luuru, 2021).

Biometaanin bioperäinen CO₂-päästökerroin on 54,6 t CO₂/TJ eli noin 196,6 kg CO₂/MWh. Koska kyseessä on bioperäinen CO₂, sitä ei tyypillisesti lasketa osaksi kokonaispäästöjä kasvihuonekaasulaskennassa. Tämä tekee biometaanista merkittävästi ilmastoystävällisemmän vaihtoehdon fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Esimerkiksi kevyen polttoöljyn hiilidioksidipäästökerroin on noin 263 kg CO₂/MWh (Tilastokeskus, 2025).

Biokaasuun siirtymistä arvioitaessa on huomioitava käytössä olevien tuhkausuunien polttimien soveltuvuus. Mikäli krematoriossa on käytössä maakaasupoltin, siirtyminen biokaasuun on usein mahdollista ilman muutoksia. Kevytöljykäyttöisissä järjestelmissä sen sijaan polttimet täytyy vaihtaa tai muokata biokaasukäyttöisiksi. Tarvittavat muutokset tulee aina varmistaa laitetoimittajalta.

Biokaasuun sovelletaan samaa lainsäädäntöä ja vaatimuksia kuin maakaasuun. Tämän mukaisesti biokaasuputkistolle on nimettävä käytönvalvoja ja tehtävä ilmoitus Tukesille. Maakaasun jakelu- ja käyttöputkiston, tankkausaseman tai varaston käytönvalvojalla sekä hänen sijaisellaan on oltava hyväksytysti suoritettu Turvallisuu- ja kemikaaliviraston (Tukes) järjestämä

käytönvalvojan koe (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes), 2025).

Malmin ja Honkanummen krematorioilla biokaasun käyttöönotto on teknisesti mahdollista hyödyntämällä olemassa olevaa maakaasuverkkoa. Mahdolliset liityntäreitit molemmille kohteille on esitetty kappaleessa *2.1.2 Polttoainevaihtoehdot ja niiden saatavuus*.

4.2 Uusiutuvan energian rooli krematoriotoiminnassa sekä esimerkkikohteet

Kyselytutkimuksen perusteella Suomessa uusiutuvaa energiaa hyödynnetään tuhkauskäytössä tällä hetkellä vain muutamissa krematorioissa. Lahden Levon krematoriossa tuhkausuunin energialähteenä käytetään biokaasua, ja Turun krematoriossa uusiutuvaa polttoöljyä. Lisäksi Rauman Monnan krematoriossa siirrytään uusiutuvan energian käyttöön 1.4.2025 alkaen. Useissa krematorioissa uusiutuvaa sähköä käytetään myös oheislaitteiden, kuten kylmiöiden ja valaistuksen, sähkönlähteenä (Macon Oy, 2025).

Lahden Levon krematorio toimii esimerkkinä fossiilittomasta ratkaisusta, jossa perinteinen maakaasu on korvattu biokaasulla. Tämä tukee Lahden kaupungin strategista tavoitetta saavuttaa hiilineutraalius, vaikkakin tavoiteajankohta on siirtynyt vuodesta 2025 vuoteen 2028 (Lahden kaupunki, 2025). Levon krematoriossa on käytössä biokaasulla toimiva tuhkausuuni, joka on varustettu savukaasujen puhdistuslaitteistolla ja lämmöntalteenottojärjestelmällä (Penttinen, 2025). Energiaratkaisu tukee myös paikallista kiertotaloutta, sillä biokaasua tuotetaan Lahden alueella muun muassa panimoteollisuuden jätevirroista (Lahden Kaupunki, 2022).

Levon krematorion uudistuksen kokonaiskustannus oli noin 3,6 miljoonaa euroa. Kokonaisuus sisältää laitteiston, rakennukset,

oheislaitteet sekä projektin suunnittelu- ja rakennuttamiskustannukset seuraavasti (Penttinen, 2025):

- krematoriolaitteet noin 1 100 000 €
- rakennus noin 2 100 000 €
- muut kalusteet mm. kylmiöt noin 100 000 €
- rakennuttaminen eli suunnittelu, kilpailutus ja valvonta noin 200 000 €
- muut viimeistelytyöt noin 100 000 €

Sähkökäyttöisiä krematorioita ei toistaiseksi ole Suomessa käytössä, mutta niiden käyttö yleistyy Euroopassa. Lähin käynnissä oleva esimerkkihanke sijaitsee Ruotsin Skövdessä, missä rakennetaan uusi sähkötoiminen krematorio, Skogskrematoriet. Hanke valmistuu vuoden 2025 aikana ja edustaa siirtymää fossiilivapaaseen sähköenergiaan ja energiatehokkaaseen lämmön hyödyntämiseen.

Skogskrematorietiin tulee kaksi sähkötoimista tuhkausuunia, jotka toimivat sekä aurinkopaneeleilla että yleisestä sähköverkosta saatavalla energialla. Rakennus on suunniteltu sulautumaan luontevasti ympäröivään mäntymetsämaisemaan, ja sen arkkitehtuuri on korkeatasoista. Tuhkausprosessissa syntyvä lämpö ohjataan kaukolämpöverkkoon, mikä parantaa energiatehokkuutta. Koko hankkeen kustannusarvio on noin 260 miljoonaa Ruotsin kruunua (n. 22,4 miljoonaa euroa), josta krematoriounien osuus on noin 25 miljoonaa kruunua (n. 2,15 miljoonaa euroa) (Skövde Kommun, 2025; Svenska Kyrkan, 2024).

Turun ja Kaarinan seurakuntayhtymä on ottanut käyttöön uusiutuvan polttoöljyn. Aluksi käytössä oli Neste MY Uusiutuva Polttoöljy, mutta nykyisin polttoaineena on ABC:n toimittama vastaava tuote. Polttoainemuutoksen yhteydessä vaihdettiin polttimien suuttimet ja asennettiin uudet polttoainepumput. Investoinnin kustannukset ovat olleet vain muutaman tuhannen euron luokkaa. Uusiutuva polttoöljy on toiminut Turussa ongelmitta (Sorri, 2025).

5. Valtakunnallinen kyselytutkimus

Keväällä 2025 toteutettiin kyselytutkimus Suomen 22 krematoriolle. Kysely laadittiin yhteistyössä Helsingin Seurakuntayhtymän kanssa, joka vastasi sen toimittamisesta edelleen vastaajille. Kysymysten painopiste oli erityisesti energiankäytössä sekä käytössä olevissa teknologiaratkaisuissa. Kyselyn tarkempi sisältö on esitetty liitteessä 1.

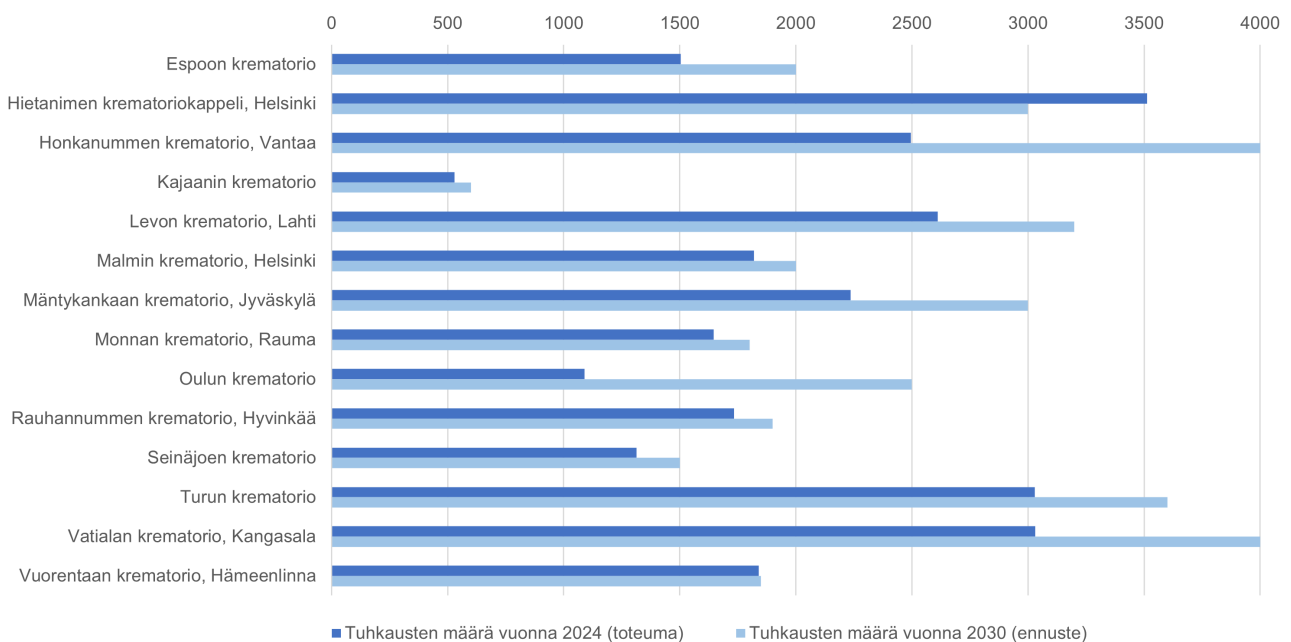
Kysymysten ja vastauksien koostetta, jossa öljy- ja kaasukäyttöiset krematoriot on tarkasteltu erikseen, on käsitelty liitteissä 2 ja 3. Vastaamatta jätetyt kohdat on poistettu analyysistä. Kyselyyn vastasi yhteensä 14 krematoriota, mikä kattaa valtaosan Suomessa toimivista yksiköistä. Vastaajista neljä ilmoitti käyttävänsä kaasumaisia ja kymmenen öljypohjaisia polttoaineita energialähteenä. Kyselyyn vastanneet krematoriot suorittivat yhteensä 28 388 tuhkausta vuonna 2024 (kuva 8). Vastaavana ajanjaksona tuhkausten kokonaismäärä Suomessa oli 37 941 vainajaa.

Seuraavissa osioissa esitellään kyselyn keskeiset tulokset öljy- ja kaasukäyttöisten krematorioiden osalta.

5.1 Öljykäyttöisten krematorioiden vastaukset

Vuonna 2024 öljykäyttöisissä krematorioissa suoritettiin yhteensä 17 393 tuhkausta, mikä vastaa noin 61 prosenttia kaikista kyselyyn vastanneiden yksiköiden ilmoittamista tuhkaustämääristä. Tuhkausten määrän arvioidaan kasvavan noin 24 000 tuhkaukseen vuoteen 2030 mennessä. Kajaanin krematoriossa noin 40 prosenttia öljystä käytetään lämmitykseen. Tämä osuus on rajattu pois krematorion arvioidusta öljyn kokonaiskulutuksesta, joka on noin 528 m³. Turussa käytössä on uusiutuva polttoöljy, ja Raumalla on tarkoitus siirtyä bioöljyn käyttöön keväällä 2025.

Sähkönkulutustiedot saatiin neljältä toimijalta, joista yksi ilmoitti kulutuksen vain yhdeltä kuukaudelta. Arvioiden perusteella 1500–1700 tuhkausta kuluttaa sähköä vuositasolla noin 50–85 MWh. Kaksi vastaajaa ilmoitti käyttävänsä uusiutuvaa sähköä. Sähkönkulutus vaihteli merkittävästi: noin 10 prosentin vaihtelulla tuhkausten määrässä sähkönkulutus saattoi poiketa jopa yli 50 prosenttia. Kaksi toimijaa käytti lisäksi kaukolämpöä, joista toinen myös myi krematorion ylijäämälämpöä kaukolämpöverkkoon.



Kuva 8. Krematorioiden ilmoittamat tuhkaustämäärät vuonna 2024 ja ennuste vuodelle 2030.

Neljässä krematoriossa on käytössä savukaasujen puhdistusjärjestelmä. Lisäksi yksi toimija ilmoitti ottavansa järjestelmän käyttöön vuoden 2025 aikana. Käytössä olevia tekniikoita olivat muun muassa sorbenttipohjainen pussisuodatus, aktiivihilisuodatus sekä laitetoimittajien tarjoamat suodatusratkaisut. Kaikki savukaasujen suodatusta hyödyntävät yksiköt ottavat talteen myös polttoprosessissa syntyvää lämpöenergiaa. Kajaanissa hyödynnetään lisäksi savukaasuanalysaattoria.

Päästömittaustietoa oli saatavilla vain rajoitusti, eikä aineisto ollut riittävän yhtenäinen luotettavien kokonaisarvioiden laatimiseksi. Krematorioiden vuosittainen käyttöpäivien määrä oli yleisesti 230–250 päivää. Jyväskylän krematorio erottui muista korkean käyttöasteensa vuoksi: vuoden aikana toteutettiin 2235 tuhkausta vain 116 käyttöpäivän aikana. Huoltotoimenpiteitä, kuten pohja-arinan uudelleenmuurauksia, tehtiin yleensä 1–2 vuoden välein, ja huoltopäiviä kertyi vuositason 5–20.

5.2 Kaasukäyttöisten krematorioiden vastaukset

Kaasukäyttöisissä krematorioissa käytetään useita erilaisia polttoaineita: Hietaniemi ja Hämeenlinna käyttävät maakaasua, Kangasala nestekaasua ja Lahti biokaasua. Näissä yksiköissä suoritettiin vuonna 2024 yhteensä 10 995 tuhkausta. Määrän ennustetaan nousevan 12 050:een vuoteen 2030 mennessä. Kyselyn toteuttamisen jälkeen Hietaniemen krematoriossa on tapahtunut muutoksia, joiden arvioidaan lisäävän tuhkaustmääriä tulevaisuudessa.

Sähkönkulutusta koskevat tiedot olivat hajanaisia ja kattoivat laajempia kokonaisuuksia kuin pelkän tuhkausuunin, kuten kylmiöitä ja kappelirakennuksia. Tämän vuoksi tietoja ei voitu hyödyntää luotettavasti yksittäisten uunien osalta. Hietaniemen krematorio ilmoitti käyttävänsä uusiutuvaa sähköä.

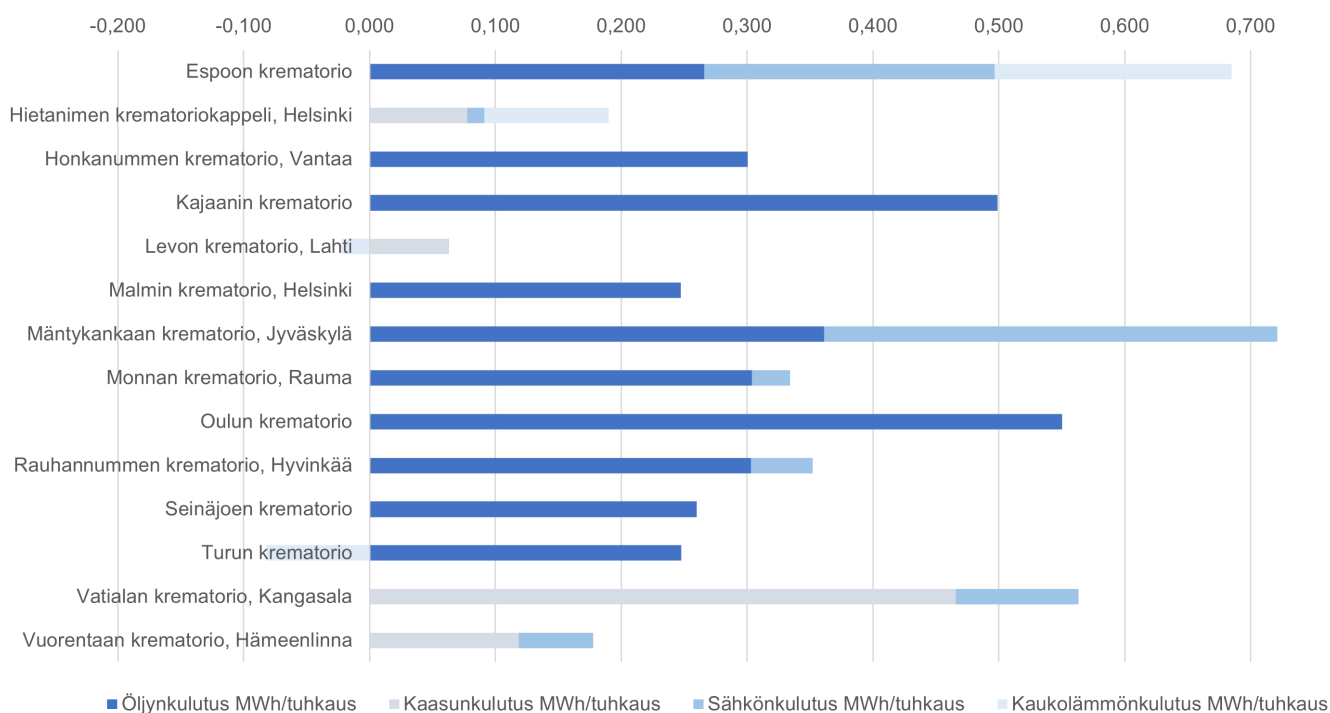
Kaikissa kaasukäyttöisissä krematorioissa oli käytössä savukaasujen puhdistusjärjestelmät

ja lämmöntalteenotto, mutta ratkaisut vaihtelivat laite- ja toimittajakohtaisesti. Esimerkiksi Hietaniemessä käytetään tietokoneohjattuja uuneja, joissa savukaasut johdetaan partikkel- ja aktiivihilisuodattimen kautta. Lahdessa ja Hämeenlinnassa puhdistusratkaisut perustuvat sykloni- ja pussisuodattimien yhdistelmiin, ja Hämeenlinnassa pussisuodatuksessa käytetään myös absorbenttimateriaalia. Kangasalan krematoriossa sovelletaan sorbaliittia hyödyntävää aktiivihilisuodatusta. Hietaniemessä on lisäksi käytössä absorptiojäähdytin, mutta sen toimintaan ei oltu tyytyväisiä, koska epätasainen lämmöntuotanto heikentää hyötysuhdetta.

Päästömittauksia oli saatavilla vain muutamilta yksiköiltä. Niistä saatiin hajanaisia tietoja, kuten elohopeapitoisuuksia (Lahti 0,001 mg/Nm³, Hämeenlinna 0,01 mg/Nm³), hiilimonoksidipitoisuuksia (Lahti 1,5 mg/Nm³, Hämeenlinna 4,9 mg/Nm³) ja hiukkaspäästöjä (Lahti ja Hämeenlinna 0,2–0,3 mg/Nm³). Hietaniemen typpi- ja rikkioksidimittaukset ovat vuodelta 2017, mutta tulokset eivät sisällyneet kyselyvastauksiin.

Kaasukäyttöisten krematorioiden käyttöajat vaihtelivat 9–14 tuntiin vuorokaudessa, mikä viittaa korkeampaan käyttöasteeseen kuin öljykäyttöisissä yksiköissä. Käyttöpäivien määrä oli Lahdessa ja Hämeenlinnassa samankaltainen öljykäyttöisten krematorioiden kanssa, mutta Hietaniemessä kertyi poikkeukselliset 307 käyttöpäivää vuodessa. Huoltojen osalta pohja-arinan uudelleenmuurauksia toteutetaan tavanomaisesti 1–2 vuoden välein, ja koko uuni 7–10 vuoden välein. Huoltoon kuluu vuodessa noin 5–20 päivää. Lahdessa ilmoitettiin vuosittain noin 10 huoltopäivää.

Energiakulutuksen osalta vastaajien antama tieto esitetään kuvassa 9, josta havaitaan selkeästi vaihtelua.



Kuva 9. Energiankulutus tuhkausta kohden. Tiedot suuntaa antavia, osa vastauksista on muunnettu MWh-muotoon. Joidenkin vastausten kertaluokkaa korjattu. Joidenkin vastausten kaukolämmönnettokulutus laskettu vähentämällä kaukolämmön kulutusmäärästä kaukolämmön myyntimäärä.

5.3 Kyselytutkimuksen lyhyt yhteenveto

Kyselytutkimuksen aineisto osoittautui osittain puutteelliseksi ja vaihtelevaksi, minkä vuoksi tulokset soveltuvat parhaiten yksittäisten krematorioiden tarkasteluun. Hyödyllisimmiksi ja vertailukelpoisimmiksi osoittautuivat tiedot käyttömäärästä, käyttöajoista, huoltoväleistä ja käyttöpäivien lukumäärästä. Käyttöajat ylittivät usein tavanomaisen kahdeksan tunnin työvuoron, mikä mahdollistaa joustoa esimerkiksi energiankulutuksen tai kapasiteetin laskennassa. Huoltotiheys ja käyttöpäivien määrä voivat puolestaan toimia lähtökohtina toiminnallisten arvojen tai päästöarvojen määrittämiselle.

6. Krematorioiden ympäristö- ja päästölaskelmat

6.1 Krematorioiden elinkaaripäästöt

Krematorion elinkaaripäästöt voidaan määrittää niiltä osin kuin aiheesta on vertailtavaa dataa saatavilla. Itse rakennuksen tai uunin valmistuksesta, rakennustyöstä, huolloista ja korjauksista muodostuvien elinkaaripäästöjen määrittämiseen tarvittaisiin tarkat tiedot sekä materiaaleista, niiden määrästä ja myös purkusuunnitelmasta sekä jätteiden käsittelystä. Tämän osilta kokonaisuudesta ei ole juurikaan dataa saatavilla mm. uunien materiaaleista ja näiden määristä, jonka vuoksi keskitytään tuhkausuunin käytön elinkaaripäästöihin.

Tuhkausuunien elinkaareksi määritetään 25 000 tuhkausta, jonka jälkeen oletetaan laitteiston olevan laajemman kunnostuksen tarpeessa. Korkeammalla ja tasaisemmalla käyttöasteella käyttöikä voi olla myös suurempi, sillä se vähentää esimerkiksi lämpötilavaihtelun määrää ja vähentää mm. muurauksien lohkeilua. Elinkaaripäästöjen tarkastelu aloitetaan rakentamalla laskentamallit yksittäiselle tuhkauskelle alkaen tuhkauksen energiakulutuksesta, energiankäytön fossiilisista CO₂-päästöistä ja skaalataan tämä vastaamaan käyttöikää. Polttoainekäyttöisillä tuhkausuuneilla tuhkauksia voidaan toteuttaa lyhyemmällä tuhkausajalla, jonka vuoksi myös vuosittainen tuhkausmäärä samalla työajalla on suurempi ja 25 000 tuhkauksen

käyttöikä täyttyy nopeammin. Energiakäytöstä muodostuvien päästöjen lisäksi arvioidaan piipusta ympäristöön vapautuvien savukaasujen päästömääriä ja niiden vaikutusta suodatettujen sekä suodattamattomien savukaasujen osalta.

6.2 Käytönaikaiset päästöt ja niiden vähentämisen mahdollisuudet

Energiakäytöstä muodostuvat päästöt

Tuhkausprosessin käytönaikaisia elinkaaripäästöjä voidaan arvioida polttoainevalintojen ja niiden vaikutusten perusteella. Tilastokeskuksen polttoaineluokituksen (Tilastokeskus, 2025) mukaisia arvoja hyödyntäen on mahdollista vertailla polttoaineiden päästöominaisuuksia maakaasun, biokaasun, kevyen rikitön polttoöljyn ja biopohjaisen polttoöljyn osalta sekä suhteessa sähköverkon päästöarvoihin Fingridin tilastojen pohjalta. Eri energiamuotojen vertailu on esitetty taulukossa 4.

Ympäristöä eniten kuormittavat fossiiliset energialähteet, kuten maakaasu ja kevyt polttoöljy, joiden poltosta syntyvästä hiilidioksidista jopa 94 % on fossiilista alkuperää. Sähköverkon päästöt ovat moninkertaisesti matalampia, ja lisäksi sähköä, jolloin päästövaikutus pienenee edelleen. Biopohjaisten uusiutuvien polttoaineiden, kuten biokaasun ja bioöljyn, palamisessa ei muodostu fossiilista hiilidioksidia lainkaan, vaan kaikki päästöt ovat biogeenistä hiilidioksidia. Biogeeninen hiilidioksidi sitoutuu uudel-

Taulukko 4. Energialähteiden CO₂-päästöt ja niiden eroavaisuudet.

Energialähde	t CO ₂ /TJ	g CO ₂ /kWh	CO ₂ :n alkuperä
Sähkö	10,6	38	Fossiilinen/fossiiliton
Maakaasu	55,5	200	Fossiilinen
Biometaani	54,6	197	Fossiiliton
Kevyt polttoöljy, rikitön	73,0	263	Fossiilinen (~94 %) Fossiiliton (~6 %)
Bioöljy (HVO)	71,6	258	Fossiiliton

leen biomassaan esimerkiksi kasvien kasvaessa, jolloin se ei lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta samalla tavoin kuin fossiilinen hiili.

Hiilidioksidipäästöjen tarkastelussa painopiste on fossiilisesta alkuperästä peräisin olevan hiilidioksidin määrässä, joka kertoo, kuinka paljon maaperään sitoutunutta hiiltä vapautuu ilmakehään.

Vertailuskenaarioissa tarkastellaan arkipäivisin yhdessä ja kahdessa työvuorossa käytetty-

jä tuhkausuuneja eri energialähteillä. Sähkökäyttöisessä uunissa tuhkausaika on pidempi, joten työpäivän aikana (yhdessä vuorossa) arvioidaan toteutuvan viisi tuhkausta, kun polttoainekäyttöisillä uuneilla määräksi oletetaan kuusi tuhkausta päivässä. Vuosittaisiksi käyttöpäiviksi arvioidaan 250, huomioiden huoltokatkokset, jolloin sähkökäyttöisellä uunilla tehtäisiin arviolta 1 250 ja polttoainekäyttöisellä 1 500 tuhkausta vuodessa.

Taulukko 5. Tuhkauksien vuosittainen määrä sekä tuhkausuunin sähkönkulutus tyypeittäin 1-vuoroisessa käytössä.

Käyttöaika ja sähkönkulutus	Yksikkö	Sähkö	Maakaasu	Biometaani	Kevyt polttoöljy, rikitön	Bioöljy (HVO)
Tuhkauksia käyttöpäivässä	kpl / vrk	5	6	6	6	6
Tuhkauksien määrä	kpl / v	1250	1500	1500	1500	1500
Sähkönkulutus käyttöpäivinä	kWh / vrk	240	134	134	134	134
Sähkönkulutus ylläpitopäivinä	kWh / vrk	240	42	42	42	42
Sähkönkulutus käyttöpäivinä	MWh / v	60	34	34	34	34
Sähkönkulutus ylläpitopäivinä	MWh / v	28	5	5	5	5
Sähkön vuosikulutus	MWh / v	88	38	38	38	38
Sähkönkulutus tuhkausta kohden	kWh / kpl	70,1	25,6	25,6	25,6	25,6

Taulukko 6. Tuhkauksien vuosittainen määrä sekä tuhkausuunin sähkönkulutus tyypeittäin 2-vuoroisessa käytössä.

Käyttöaika ja sähkönkulutus	Yksikkö	Sähkö	Maakaasu	Biometaani	Kevyt polttoöljy, rikitön	Bioöljy (HVO)
Tuhkauksia käyttöpäivässä	kpl / vrk	10	12	12	12	12
Tuhkauksien määrä	kpl / v	2500	3000	3000	3000	3000
Sähkönkulutus käyttöpäivinä	kWh / vrk	192	196	196	196	196
Sähkönkulutus ylläpitopäivinä	kWh / vrk	192	42	42	42	42
Sähkönkulutus käyttöpäivinä	MWh / v	48	49	49	49	49
Sähkönkulutus ylläpitopäivinä	MWh / v	22	5	5	5	5
Sähkön vuosikulutus	MWh / v	70	54	54	54	54
Sähkönkulutus tuhkausta kohden	kWh / kpl	28,0	17,9	17,9	17,9	17,9

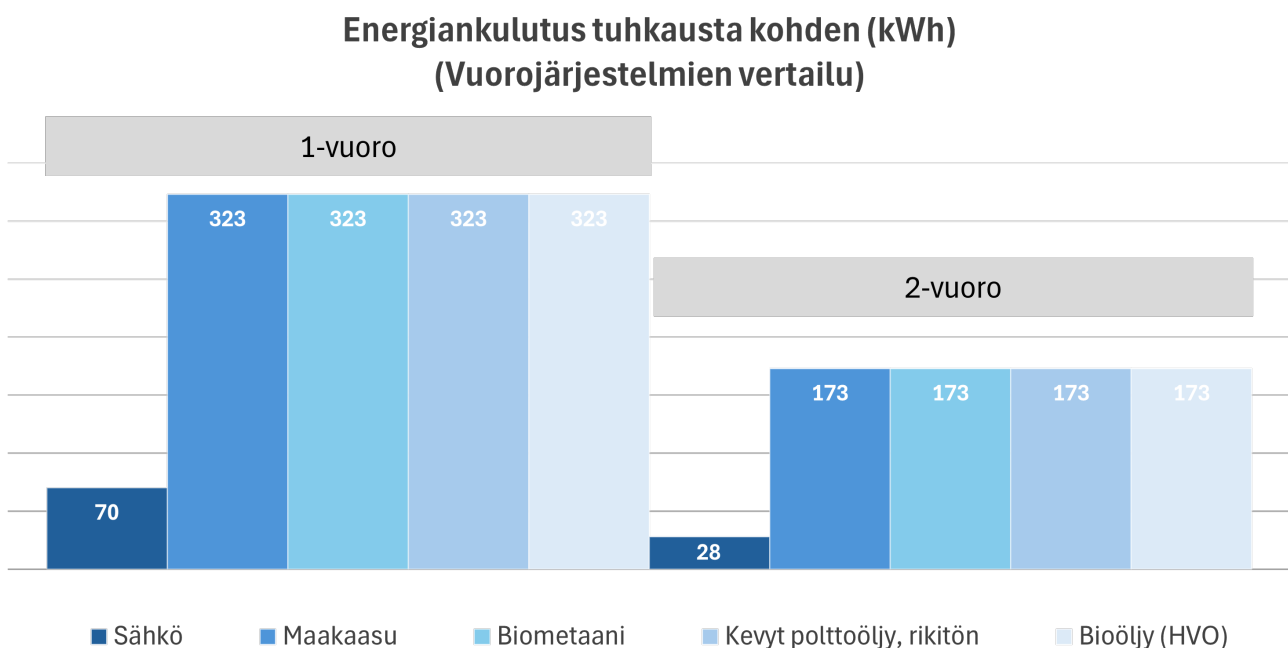
Vertailun pohjana käytetään DFW:n toimittamaa energiankulutustietoa moderneista sähkökäyttöisistä tuhkausuuneista. Tällä käyttömäärällä sähkökäyttöisen uunin energiankulutus on noin 240 kWh vuorokaudessa. Polttoainekäyttöisillä uuneilla sähköä kuluu noin 134 kWh vuorokaudessa, mikä muodostuu esimerkiksi ohjauslaitteiden, polttoilma- ja savukaasupuhaltimien sekä lämmöntalteenottojärjestelmien kulutuksesta. Näitä tietoja hyödynnetään taulukossa 5 esitettävässä vertailussa.

Sähkönkulutus on keskimäärin noin 26 kWh polttoainekäyttöisillä ja noin 70 kWh sähkökäyttöisillä tuhkausuuneilla yhtä tuhkausta kohden. Toiminnan siirtyessä kaksivuorotyöhön tuhkausten määrä kaksinkertaistuu, mutta sähkönkulutus suhteessa tuhkausmäärään pienenee molemmissa vaihtoehdoissa. Suurempi käyttöaste parantaa energiatehokkuutta, sillä uunin esilämmityksen ja jatkuvan toiminnan ansiosta lämpöenergiaa saadaan hyödynnettyä tehokkaammin. Yksityiskohdaiset luvut on esitetty taulukossa 6.

Sähkökäyttöisissä tuhkausuuneissa energiantarve on kokonaisuudessaan pienempi, sillä ne hyödyntävät tehokkaasti tuhkaavan materiaalin sisältämää lämpöenergiaa. Polttoainekäyttöisissä uuneissa energiantarpeen väheneminen selittyy ennen kaikkea pienemmällä polttoaineen kulutuksella ja vähäisemmällä paloilman tarpeella.

Vertailukohtana tarkasteltava kaasukäyttöinen laitteisto kuluttaa yksivuoroisessa toiminnassa noin 192 Nm³ ja kaksivuoroisessa toiminnassa noin 200 Nm³ kaasua vuorokaudessa. Puhdistetun, 95-prosenttisesti metaanista koostuvan biokaasun energiasisältö on noin 9,3 kWh/Nm³, mikä vastaa noin 1 786 kWh:n energiankulutusta yksivuoroisessa ja 1 860 kWh:ta kaksivuoroisessa toiminnassa. Yksittäistä tuhkausta kohden tämä tarkoittaa 298 kWh energiantarvetta yksivuoroisessa ja 155 kWh:ta kaksivuoroisessa toiminnassa. Tuhkauskohtainen energian kulutus siis pienenee merkittävästi käyttöasteen kasvaessa. Eri energialähteiden ja vuorojärjestelmien mukaiset kokonaiskulutukset on esitetty kuvassa 10.

Kun energiankulutus on määritetty, voidaan sen perusteella laskea syntyneen fossiilisen hiilidioksidin määrä ja arvioida kokonaispäästöt. Vainajasta, arkusta, biokaasusta ja biopohjaisista öljyistä syntyvät hiilidioksidipäästöt luokitellaan biogeenisiksi, eli ne kuuluvat luonnolliseen hiilen kiertoon eivätkä kasvata ilmakehän fossiilista hiilidioksidikuormaa. Sähkönkulutuksen osalta käytetään CO₂-päästökerrointa 38 g CO₂/kWh, Fingridin vuoden 2025 ilmoittaman arvon mukaisesti. Polttoaineiden fossiiliset päästöt lasketaan Tilastokeskuksen vuoden 2025 polttoaineluokituksen perusteella. Biometaanin ja bioöljyn osalta energiankäytön



Kuva 10. Vuorojärjestelmien ja energiamuotojen kokonaiskulutukset vertailu.

fossiiliset päästöt ovat nolla, kun taas kevyen polttoöljyn päästökertoimissa huomioidaan 6 % vähennys fossiiliseen hiileen perustuvan osuuden erottamiseksi. On myös huomioitava, että sähköverkosta voidaan hankkia fossiilivaapaata sähköntuotannon kapasiteettia, jolloin sähkön käytöstä aiheutuvat päästöt voidaan tarvittaessa laskea nolnaan. Näin muodostuvat skenaariokohtaiset päästökertoimet esitetään taulukossa 7.

Esitettyjen päästöarvojen ja määritetyn energiankulutuksen perusteella voidaan laskea yhdessä vuorossa käytettävän tuhkaasuunin fossiiliset CO₂-päästöt. Polttoaineiden ja sähkönkulutuksen muodostamat kokonaispäästöt eri tuhkaasuunivaihtoehdoissa on koottu taulukkoon 8. Vastaava vertailulaskelma voidaan

laatia myös kahdessa vuorossa toimiville vaihtoehdoille. Taulukko 9 osoittaa, että vaikka tuhkausten määrä kasvaa merkittävästi, päästömäärät eivät nouse samassa suhteessa. Tämä johtuu paremmasta energiatehokkuudesta suuremmalla käyttöasteella, mikä vähentää yksittäistä tuhkausta kohden syntyviä päästöjä.

Taulukko 7. Energiamuotojen fossiiliset CO₂-päästöt.

Päästöarvot	g CO ₂ /kWh
Sähkö	38
Maakaasu	200
Biometaani	0
Kevyt polttoöljy, rikitön	247
Bioöljy (HVO)	0

Taulukko 8. Yksivuoroisessa toiminnassa käytettävän tuhkaasuunin polttoainekäytön CO₂-päästöt.

Polttoaineen ja energiankäytön CO ₂ -päästöt	Yksikkö	Sähkö	Maakaasu	Biometaani	Kevyt polttoöljy, rikitön	Bioöljy (HVO)
Sähkön kulutuksen CO ₂	kg CO ₂ /v	3329	1457	1457	1457	1457
Polttoaineen CO ₂ -päästöt	kg CO ₂ /v	0	89223	87744	117314	115064
Polttoaineen fossiilinen CO ₂	%	0 %	100 %	0 %	94 %	0 %
Polttoaineen fossiilinen CO ₂	kg CO ₂ /v	0	89223	0	110275	0,00
Energialähteiden CO ₂ Yht.	kg CO ₂ /v	3329	90679	1457	111732	1457
CO ₂ energialähteistä	t CO ₂ /v	3,3	91	1	112	1
CO ₂ energialähteistä	kg CO ₂ /kpl	2,7	60,5	1,0	74,5	1,0

Taulukko 9. Kaksivuoroisessa toiminnassa käytettävän tuhkaasuunin polttoainekäytön CO₂-päästöt.

Polttoaineen ja energiankäytön CO ₂ -päästöt	Yksikkö	Sähkö	Maakaasu	Biometaani	Kevyt polttoöljy, rikitön	Bioöljy (HVO)
Sähkön kulutuksen CO ₂	kg CO ₂ /v	2663	2046	2046	2046	2046
Polttoaineen CO ₂ -päästöt	kg CO ₂ /v	0	92940	91400	122202	119858
Polttoaineen fossiilinen CO ₂	%	0 %	100 %	0 %	94 %	0 %
Polttoaineen fossiilinen CO ₂	kg CO ₂ /v	0	92940	0	114870	0,00
Energialähteiden CO ₂ Yht.	kg CO ₂ /v	2663	94986	2046	116915	2046
CO ₂ energialähteistä	t CO ₂ /v	2,7	95	2	117	2
CO ₂ energialähteistä	kg CO ₂ /kpl	1,1	32	0,7	39	0,7

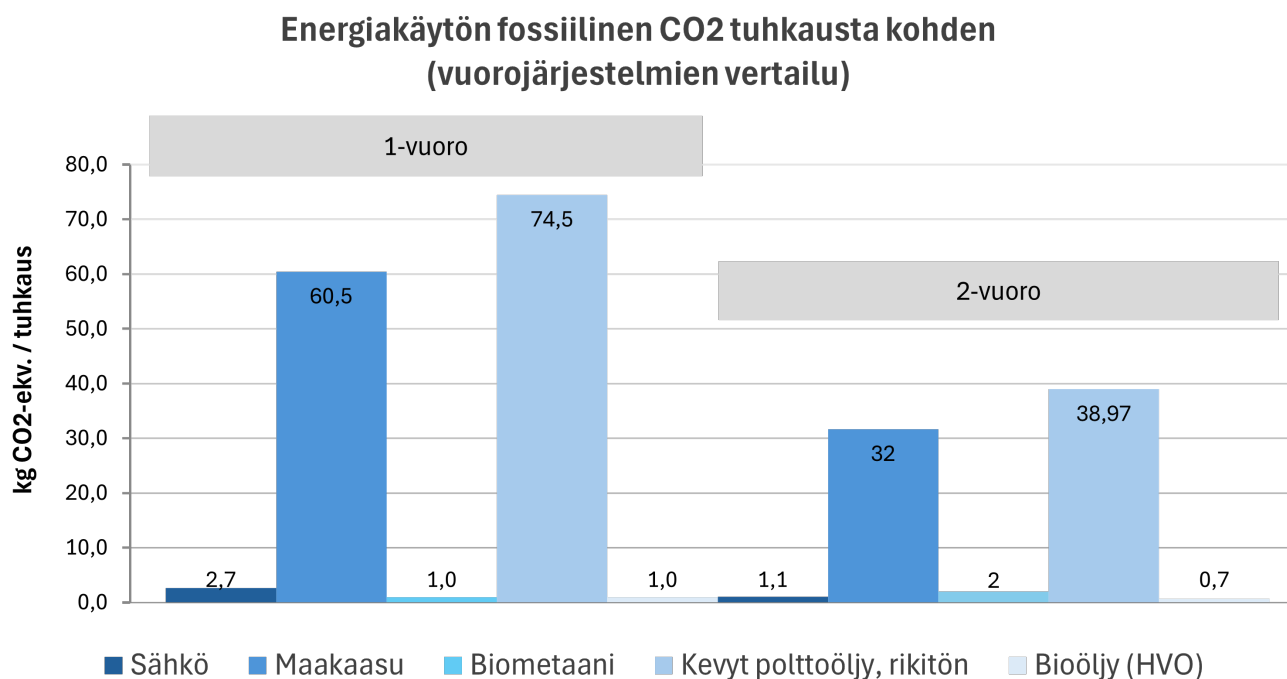
Kun tarkastelu perustuu eri energiamuotojen fossiilisiin päästöarvoihin, uusiutuvien energialähteiden käyttö aiheuttaa vain vähäisiä hiilidioksidipäästöjä, jotka liittyvät pääosin sähkönkulutukseen (kuva 11). Sähkökäyttöisessä vaihtoehdossa päästöt jäävät erittäin alhaisiksi verrattuna fossiilisia polttoaineita hyödyntäviin ratkaisuihin.

Aiemmin määritetyt energiankulutusarvot yksittäistä tuhkausta kohden voidaan elinkaari-tarkastelussa skaalata vastaamaan tuhkausuu-nin arvioitua käyttöikää, eli 25 000 tuhkausta. Tälle käyttömäärälle lasketut kokonaisenergi-ankulutukset esitetään kuvassa 12.

Kokonaisarvioinnissa havaitaan, että sähkö-käyttöisen tuhkausuurin energiankulutus on noin 6 000 MWh pienempi kuin polttoaine-käyttöisen vaihtoehdon vastaava kulutus koko käyttöiän (25 000 tuhkausta) aikana. Siirryt-täessä kaksivuoroiseen käyttöön energianku-lutus pienenee merkittävästi molemmissa ta-pauksissa, mikä pienentää myös kulutuseroa. Tällöin energiamäärien erot jäävät noin 3 600 MWh:iin. Fossiilisten hiilidioksidipäästöjen ko-konaismäärät esitetään kuvan 13 mukaisesti.

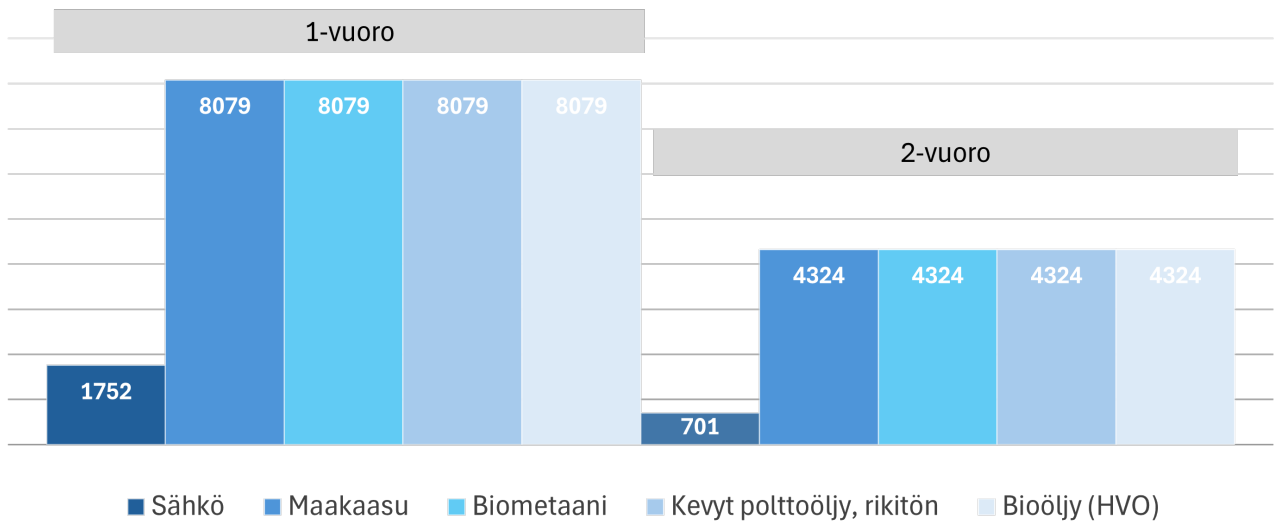
Kuvaajasta havaitaan, että yksittäisen tuh-kausuurin osalta polttoaineista aiheutuvi-en fossiilisten hiilidioksidipäästöjen ero voi koko elinkaaren aikana nousta jopa yli 1 800 tonniin yksivuoroisessa järjestelmässä. Siirty-mällä kaksivuoroiseen järjestelmään voidaan myös fossiilisia hiilidioksidipäästöjä vähentää lähes puoleen energiankulutuksen ja kustan-nusten lisäksi. Tarkastelussa on hyödynnetty sähkönkulutuksen osalta keskimääräisiä ver-kon päästökertoimia, mutta nämä voidaan nollata ostamalla vihreää sähköä. Esimerkiksi Helenin tarjoaman vihreän sähkön lisähinta on 5 €/kk ja 0,66 c/kWh. Tällä perusteella aiemmin esitettyjen skenaarioiden sähkön-käytön kokonaiskustannukset voidaan esit-tää taulukon 10 mukaisesti.

Nykytilanteessa vihreän sähkön lisäkustan-nus on noin 350 euroa vuodessa, mikä tar-koittaa, että yksittäistä tuhkausta kohden vihreän sähkön hinta on keskimäärin noin 0,30 euroa. Tällä investoinnilla voidaan säh-kökäytön fossiiliset hiilidioksidipäästöt pois-taa kokonaisuudessaan. Vastaavat fossiilisen hiilidioksidin päästöt eri energialähteiden osalta on esitetty kuvassa 14.



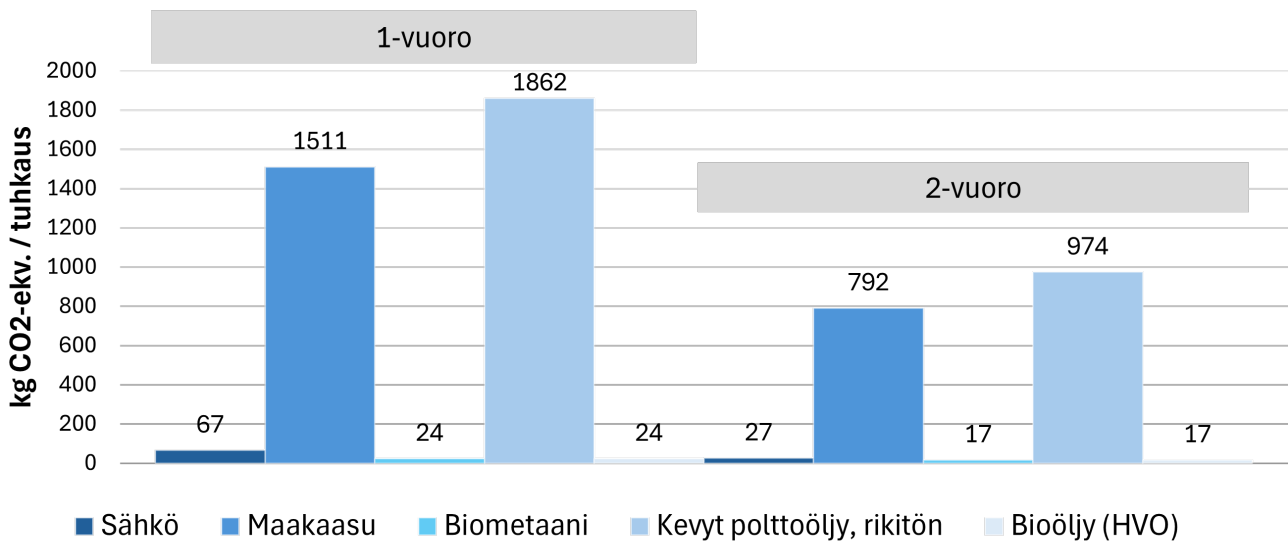
Kuva 11. Energiakäytön fossiilisen hiilidioksidin päästömäärät tuhkausta kohden eri polttoaineilla.

Energiakulutus 25 000 tuhkauxselle (MWh)



Kuva 12. Energiakulutuksen ja vuorojärjestelmien vertailu.

Fossiilisen CO₂:n määrät 25 000 tuhkauxselle (t CO₂)

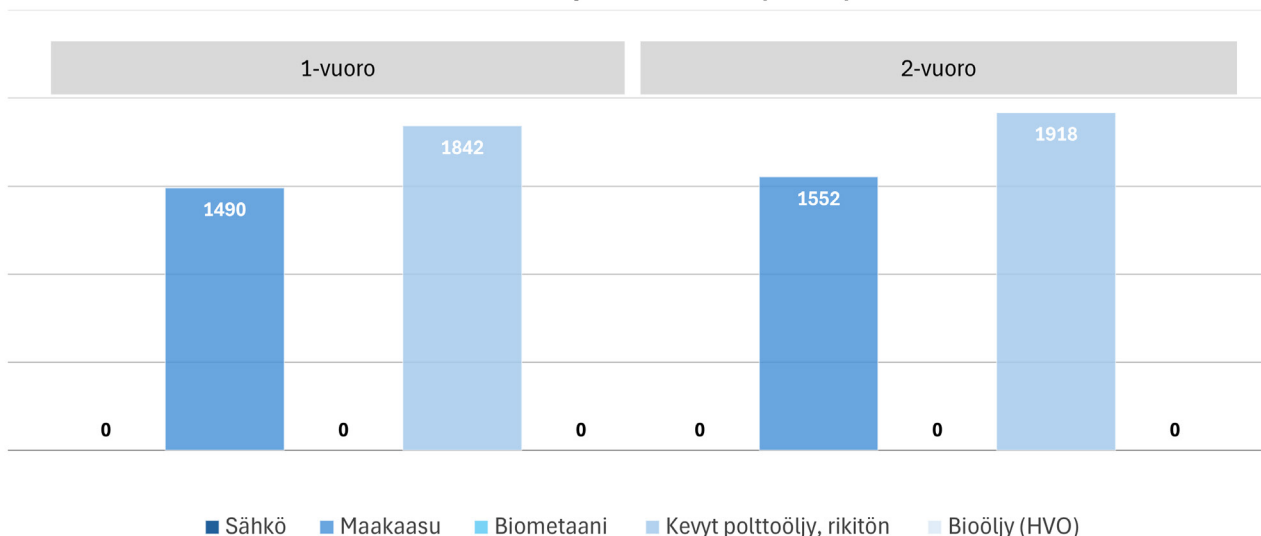


Kuva 13. Fossiilisen hiilidioksidin määrä koko käyttöiän aikana eri energiatyypeillä ja vuorojärjestelmillä.

Taulukko 10. Sähkönkulutus, vihreän sähkön kustannukset sekä CO₂-päästöjen vähennys ja kustannukset energiamuodoittain.

Polttoaineen ja energiakäytön kustannukset	Sähkönkulutus (MWh/v)	Vihreän sähkön kustannus (€/v)	CO ₂ -päästöjen vähennys (t CO ₂)	CO ₂ -vähennyksen kustannus (€/t CO ₂)
Sähkö (1-vuoro)	88	638	3,3	192
Maakaasu (1-vuoro)	38	313	1,5	215
Biometaani (1-vuoro)	38	313	1,5	215
POK (1-vuoro)	38	313	1,5	215
Bioöljy (HVO, (1-vuoro))	38	313	1,5	215
Sähkö (2-vuoro)	70	523	2,7	196
Maakaasu (2-vuoro)	54	415	2,0	203
Biometaani (2-vuoro)	54	415	2,0	203
POK (2-vuoro)	54	415	2,0	203
Bioöljy (HVO, (2-vuoro))	54	415	2,0	203

Fossiilisen CO₂:n määrät 25 000 tuhkaukselle käytettäessä fossiilivapaata sähköä (t CO₂)



Kuva 14. Muodostuvat hiilidioksidipäästöt eri polttoainevaihtoehdoille hyödynnettäessä fossiilivapaata sähköä.

Kaavioiden perusteella voidaan todeta, että vihreän sähkön hyödyntäminen vähentää hiilidioksidipäästöjä kaikissa energiamuodoissa useita tonneja vuodessa. Mikäli tavoitteena on hiilineutraali toiminta, sähkönkäytön kompensointi vihreällä sähköllä tarjoaa kustannustehokkaan ja helposti toteutettavan keinon päästöjen pienentämiseen. Sen vuosittaiset lisäkustannukset ovat maltillisia niin kokonaisuutena kuin yksittäistä tuhkausta kohden tarkasteltuna.

6.3 Muodostuvat ympäristöpäästöt ja ilmastovaikutusten vähentämisen mahdollisuudet

Muodostuvat ympäristöpäästöt

Ilmastovaikutusten lisäksi voidaan tarkastella tuhkauksessa syntyviä arvioituja ilmapäästöjä. Modernisoimattomassa, kevyttä polttoöljyä käyttävässä tuhkausuunissa ilman savukaasujen suodatuslaitteistoa tai lämmöntalteenottoa päästömäärät voidaan arvioida aiempien tutkimusten perusteella (luku 3.3). Näin saadaan viitteelliset arvot savukaasujen sisältämien epäpuhtauksien pitoisuuksille, jotka on esitetty taulukossa 11. On huomioitava, että mit-

taustuloksiin vaikuttavat muun muassa uunin rakenne, käytetty polttoaine, automaatiotaso sekä mittausten ajankohta.

Kirjallisuuskatsauksen avulla arvioituja suodattamattomien polttoainekäyttöisen tuhkausuunin ilmapäästöjen määriä voidaan verrata esimerkiksi Malmin krematorion mittaustuloksiin (Pöyry Oy, 2009). Malmilla hiilimonoksidipitoisuus on mitattu noin 205 mg/Nm³, mikä osoittaa palamisen olevan selvästi täydellisempää kuin vertailuaineistossa. Typpioksidipitoisuus on 346 mg/Nm³, eli noin 20 % alhaisempi kuin esimerkkidatassa, ja kiintoainepitoisuus noin 30 mg/Nm³, mikä on noin 80 % vähemmän. Elohopeapitoisuus on noin havaittu olevan noin 0,5 mg/Nm³, jota ei ole sisällytettyä suodattamattomien savukaasujen mittausdataan.

Lämmöntalteenottojärjestelmän ja suodatin-kokonaisuuden käyttöönoton myötä mitatut päästöarvot laskevat merkittävästi (taulukko 12). Koska tarkempaa tietoa käytetyistä suodatinratkaisuista ei ole saatavilla, kyse on laitteistojen keskimääräisestä suodatustehokkuudesta. Kun suodatettujen ja suodattamattomien savukaasujen keskimääräiset pitoisuudet tunnetaan, voidaan laskea suodatustehokkuus, mikäli sitä ei ole jo ilmoitettu (taulukko 13).

Taulukko 11. Suodattamattomien savukaasujen päästöarvot.

Savukaasujen pitoisuudet suodattamattomissa polttoainekäyttöisen tuhkausuunin ilmapäästöissä	mg/Nm ³	Lähde
Hiilimonoksidi (CO)	460,2	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Typpioksidit (Nox)	435,5	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Hiukkaset PM10	70,5	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Hiukkaset PM2,5	68,2	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	23,4	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Vetykloridit (HCl)	5	Keijzer, 2015, Schram, 2006
Dioksiinit (PCDD ja PCDF)	0,05	Keijzer, 2015, Schram, 2006
Rikkidioksidit (SO ₂)	32	Keijzer, 2015, Schram, 2006

Taulukko 12. Suodatettujen savukaasujen päästöarvoja.

Savukaasujen pitoisuudet suodattamattomissa polttoainekäyttöisen tuhkausuunin ilmapäästöissä	mg/Nm ³	Lähde
Biogeeninen hiilimonoksidi (CO)	40,0	Keijzer, 2015, Schram, 2006
Hiilimonoksidi (CO)	19,0	Keijzer, 2015, Schram, 2006
Typpioksidit (Nox)	410,0	Keijzer, 2015, Schram, 2006
Hiukkaset PM10	1,7	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Hiukkaset PM2,5	0,5	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	6,9	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Vetykloridit (HCl)	5	Keijzer, 2015, Schram, 2006
Dioksiinit (PCDD ja PCDF)	0,05	Keijzer, 2015, Schram, 2006
Rikkidioksidit (SO ₂)	32	Keijzer, 2015, Schram, 2006

Taulukko 13. Suodatettujen savukaasujen päästöarvoja.

Päästöjen vähennys	Suodatusteho	Lähde
Hiilimonoksidi (CO)	87,2 %	Laskettu erotuksesta
Typpioksidit (Nox)	5,9 %	Laskettu erotuksesta
Elohopea	98 %	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Hiukkaset PM10	98 %	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Hiukkaset PM2,5	99 %	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	71 %	Xue, Cheng, Chen, & al, 2018
Vetykloridit (HCl)	0,0 %	Oletetaan palamisen tapahtuvan jälkipoltinkammiossa
Dioksiinit (PCDD ja PCDF)	0,0 %	Oletetaan palamisen tapahtuvan jälkipoltinkammiossa

Suodatinjärjestelmällä ja lämmöntalteenotolla varustettu laitteisto edustaa modernisoitua kokonaisratkaisua, johon sisältyy usein myös päivitetty automatiikka. Tätä oletusta tukee se, että hiilimonoksidipitoisuus vähenee jopa 87 %. Koska hiilimonoksidia ei voida poistaa suodattamalla, vähennys viittaa suoraan polttoprosessin tehostumiseen, jolloin epätäydellisen palamisen seurauksena syntyvän hiilimonoksidin määrä pienenee ja hiilidioksidin osuus kasvaa.

Korkeammassa lämpötiloissa typpioksidien muodostuminen voi joissain tapauksissa lisääntyä. Hiukkaspäästöjen määrä kuitenkin laskee suodatuksen myötä lähes nollassa, mikä viittaa kangas- tai kuitusuodattimien käyttöön. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden poistoteho on korkea, ja elohopeapitoisuudet vähenevät lähes kokonaan, todennäköisesti aktiivihiilisuodatuksen ansiosta. Jäljelle jäävä elohopeamäärä on hyvin pieni, vaikka tutkimusaineisto ei koske yksinomaan uusimpia laitteistomalleja.

Vetykloridien ja dioksiinien osalta muutoksia ei voida arvioida, koska suodattamattomien savukaasujen vertailudataa ei ole saatavilla. Näiden yhdisteiden oletetaan kuitenkin palavan pääosin jälkipolttokammiossa, minkä seurauksena päästöt modernilla tai modernisoidulla laitteistolla ovat erittäin vähäisiä.

Sähkökäyttöisissä tuhkausuuneissa mitatut päästöarvot ovat erittäin alhaisia (taulukko 14). Koska sähköuunit tarvitsevat noin 30 % vä-

hemmän polttoilmaa, niiden kokonaispäästöt voidaan arvioida huomattavasti polttoainekäyttöisiä vaihtoehtoja pienemmiksi. Erityisesti vetykloridien, typpioksidien ja hiilimonoksidin pitoisuudet ovat selvästi matalampia. Pienempi polttoilmamäärä vähentää myös savukaasujen kokonaismäärää, mikä voi osaltaan laskea mitattuja pitoisuuksia, ellei tuloksia ole redusoitu vertailukelpoisiksi – laimennusvaikutus on tällöin pienempi kuin suuremman ilmamäärän prosesseissa.

Taulukko 14. Sähkökäyttöisen tuhkausuunin päästöarvoja.

Savukaasujen epäpuhtaudet tuhkausuunin savukaasuissa	Polttoainekäyttöisen tuhkausuunin käsittelemättömät savukaasut [mg/Nm ³]	Polttoaine-käyttöinen tuhkausuuni lämmön talteenotolla ja suodatuksella [mg/Nm ³]	Sähkökäyttöinen tuhkausuuni lämmön talteenotolla ja suodatuksella [mg/Nm ³]
Hiilimonoksidi (CO)	460,2	59,0	25,3
Typpioksidit (Nox)	435,5	410,0	126
Hiukkaset PM10	70,5	1,7	1,95
Hiukkaset PM2,5	68,2	0,5	0,65
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	23,4	6,9	5,6
Vetykloridit (HCl)	5	5	0,92
Dioksiinit (PCDD ja PCDF)	0,05	0,05	0,054
Rikkidioksidit (SO ₂)	32	32	N/A

7. Taloudellinen tarkastelu

7.1 Hankinta-, käyttö- ja huoltokustannukset

7.1.1 Hankintakustannukset

Krematorion hankintakustannukset muodostuvat pääosin krematoriolaitteiden hankinnasta sekä rakennuskustannuksista. Rakennuskustannusten arviointi ei sisälly tähän tarkasteluun, sillä ne vaihtelevat merkittävästi esimerkiksi arkkitehtonisten vaatimusten, perustusolosuhteiden ja rakennuksen muiden käyttötarkoitusten mukaan. Tämän vuoksi analyysi keskittyy ainoastaan tuhkaus- ja oheislaitteiden (krematoriolaitteiden) hankintahintoihin.

Kustannusten tarkastelussa erotellaan kaksi päävaihtoehtoa: kokonaan uuden laitteiston hankinta sekä nykyisen tuhkausuunin saneeraus. Saneerausvaihtoehdossa olemassa oleva uuni säilytetään, mutta siihen integroidaan savukaasujen lämmöntalteenotto ja BAT-tason mukainen savukaasujen puhdistusjärjestelmä. Rakennustekniset työt on rajattu tämän vaihtoehdon kustannusarvion ulkopuolelle. Eri polttoainevaihtoehtojen laitehankintakustannukset on esitetty taulukossa 15.

Taulukon 15 esitetyt hinnat kattavat kaikki tuhkausprosessiin, lämmöntalteenottoon ja savukaasujen puhdistukseen tarvittavat laitteet. Keskeiset komponentit ovat tuhkausuuni (sisältäen polttokammion ja jälkipolttokammion), lämmöntalteenottokattila pneumaattisilla nuohoimilla, savukaasujen puhdistusjärjestelmä li-

säsyöttölaitteineen, puhallin, lämpimän veden jäähdytin sekä kaikki tarvittavat putkistot asennettuna. Hintaan sisältyvät myös laitteiston edellyttämät sähkö- ja automaatiotyöt.

Helsingin seurakuntayhtymän krematorioiden (Malmi ja Honkanummi) osalta on lisäksi tarkasteltu vaihtoehtoa liittää yksiköt kaasuverkkoon, mikä mahdollistaisi siirtymisen maakaasun tai biokaasun käyttöön. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty arvio kaasuverkon liittymiskustannuksista molemmille kohteille. Kaasuverkon rakentamiskustannusten on arvioitu olevan Malmin krematoriossa noin 200 000–250 000 euroa ja Honkanummen krematoriossa noin 180 000–230 000 euroa (Uimonen, 2025).

7.1.2 Käyttökustannukset

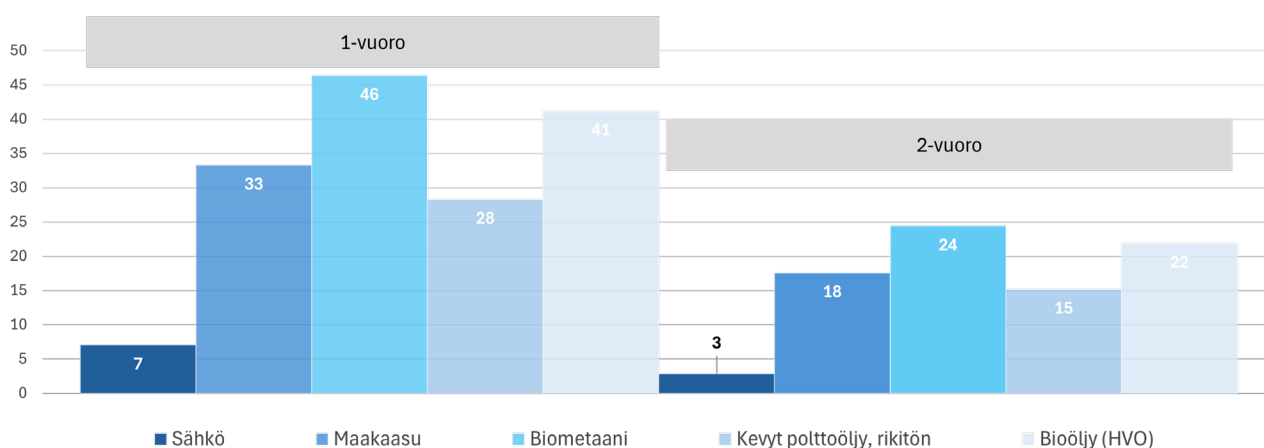
Aiemmin esitettyjen energian kulutusarvojen pohjalta on laskettu käyttökustannukset eri energiamuodoille. Sähkön hinnaksi on arvioitu noin 9,6 snt/kWh, mikä sisältää Helenin sähkönsiirtomaksut, sähköveroluokan 2 mukaisen sähköveron sekä 50 %:lla korotetun keskimääräisen pörssihinnan. Auris Energialta saatujen tietojen perusteella maakaasun hinnaksi muodostuu noin 102,7 €/MWh, ja biometaanin osalta tähän lisätään verkkolisä 44 €/MWh. Polttoöljyjen hintatietoina on käytetty Helsingin seurakuntayhtymän ilmoittamia arvoja: kevyt polttoöljy 0,831 €/l ja bioöljy 1,222 €/l.

Näiden hintojen ja aiemmin lasketun energiankulutuksen perusteella on määritetty energiakustannukset yksittäistä tuhkausta kohden. Tulokset on esitetty kuvassa 15.

Taulukko 15. Krematoriolaitteiden hankintahinta (DFW Europe).

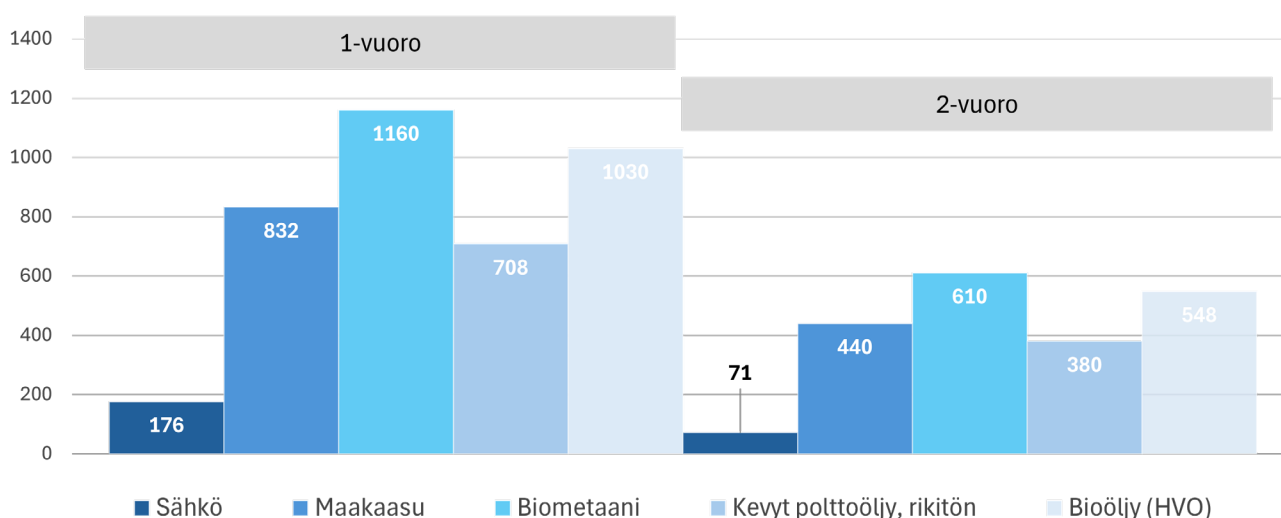
Vaihtoehto	Krematoriolaitteiden hinta (€)
Nykyisten laitteiden uudistus	560 000
Sähkökäyttöinen uunijärjestelmä	995 000
Kaasukäyttöinen uunijärjestelmä	895 000
Öljykäyttöinen uunijärjestelmä	895 000

Energiakäytön hinta yhtä tuhkausta kohden (1- ja 2-vuorojärjestelmä, €)



Kuva 15. Tuhkauksen hinta eri energiamuodoilla.

Energiakustannukset 25 000 tuhkaukselle (t€)



Kuva 16. Energiakustannukset tuhkausuunien elinkaaren (25 000 tuhkausten) aikana.

Kun energiakustannukset skaalataan tuhkausuunin koko käyttöiälle (25 000 tuhkausta), voidaan muodostaa kuvan 16 mukainen palkkikaavio, joka havainnollistaa elinkaaren aikaiset kustannuserot selkeästi. On kuitenkin huomioitava, että uunien käyttöiät eivät ole täysin samat: sähkökäyttöisellä tuhkausuunilla voidaan toteuttaa noin 1 250 tuhkausta vuodessa yhden vuoron toiminnassa, kun taas polttoainekäyttöisillä vastaava määrä on noin 1 500. Tämä tarkoittaa, että sähkökäyttöisen uunin käyttöikä on arviolta 20 vuotta ja polttoainekäyttöisen noin 16,7 vuotta. Koska tarkastelussa tuhkausmäärä on kuitenkin sama, ovat myös energiakustannukset, kulutus ja käyttöaika keskenään vertailukelpoisia.

Krematorion huoltokustannukset muodostuvat pääasiassa pohja-arinan ja uunirakenteiden muurauksista sekä nuohouksista. Muita huolto- toimia ovat esimerkiksi suodattimien vaihdot tarpeen mukaan sekä kuntotarkastuksissa havaittujen vikojen korjaus, kuten saumavuodot, polttoainejärjestelmän puhdistukset ja erilaisten järjestelmähäiriöiden poistot.

Laitetoimittajat tarjoavat usein myös kattavia huoltosopimuksia. Esimerkiksi DFW European "All-In" -huoltosopimus, joka on saatavilla myös Suomeen, perustuu tuhkausten määrään ja maksaa 60 € sähkökäyttöisellä sekä 66 € kaas- ja öljykäyttöisellä krematoriolaitteistolla

per tuhkaus. Tämä tarkoittaa 1 500 vuosituhkauksen käyttömäärällä noin 90 000 € vuosikustannusta sähkökäyttöisellä ja noin 99 000 € kaasu- ja öljykäyttöisellä uunilla. Sopimus kattaa kaikki tarvittavat huoltotoimet, mukaan lukien muurauksien uusinnan. Vastaavan suuruinen on myös Porin Metsämaan krematoriolle Matthews Environmental Solutionsin entisiltä työntekijöiltä saatu huoltosopimustarjous, jonka vuosihinta on 94 000 € (Satakunnan Kanssa, 2025).

Päästömittaukset tulee suorittaa ympäristöluvan edellyttämällä tavalla. Kolmen eri mittauksen perusteella niiden kustannukseksi voidaan arvioida noin 7 000 €. Mittauksissa analysoidaan muun muassa hiukkaspäästöt, elohopea, häkä, typen oksidit, happi, hiilidioksidi, kosteus, lämpötila ja tilavuusvirta (Outi Aitto-Oja, 2025).

Käyttökustannuksia voidaan merkittävästi pienentää siirtymällä monivuorokäyttöön, jolloin vaikutus on erityisen huomattava energiankulutuksen osalta (Kuva 5. Energiakulutuksen ja vuorojärjestelmien vertailu.)

7.2. Elinkaarikustannukset eri polttoaineilla

Helsingin seurakuntayhtymällä on kaksi päävaihtoehtoa edetä kohti hiilineutraalia toimintaa:

1. Modernisoida nykyiset krematoriot polttoaine- ja laitteistomuutoksilla, jotka täyttävät ympäristövaatimukset hyödyntäen BAT-teknologiaa, tai
2. Rakentaa kokonaan uusi krematorio.

Tässä luvussa vertaillaan elinkaarikustannuksia krematoriolaitteille, jotka käyttävät uusiutuvia polttoaineita – sähköä, biokaasua ja bioöljyä. Sähkön osalta oletuksena on, että se hankitaan kokonaan uusiutuvana sähköverkon kautta. Uusiutuvien energialähteiden käyttömahdollisuuksia on käsitelty tarkemmin luvussa 4 (Uusiutuvan energian hyödyntämismahdollisuudet).

Laskentamallin tarkoituksena on arvioida erityisesti energialähteen valinnan vaikutusta in-

vestoinnin elinkaarikustannuksiin. Tarkastelun lähtötiedot perustuvat laitetoimittajilta saatujen investointi- ja huoltotarjousten tietoihin. Polttoaineratkaisujen hinta- ja energiankulutustiedot puolestaan pohjautuvat kappaleen 6.1 laskelmiin.

7.2.1 Tuhkausten määrä

Laskenta perustuu yhden uunin krematoriolaitteistoon. Tuhkausaika riippuu käytetystä teknologiasta: DFW Europen toimittamien laitteiden mukaan keskimääräinen tuhkausaika on sähkökäyttöisellä uunilla noin 120 minuuttia ja öljy- tai kaasukäyttöisellä uunilla noin 90 minuuttia. Tämä vastaa käytännössä 4 tuhkausta sähkökäyttöisellä ja 5 tuhkausta öljy- tai kaasukäyttöisellä uunilla yhden työvuoron aikana. Jatkuvassa käytössä uunin korkea lämpötila voidaan kuitenkin säilyttää muurauksen lämpövarauksen ansiosta. Näin arvioidaan, että yhdessä vuorossa voidaan suorittaa noin 5 tuhkausta sähkökäyttöisellä ja 6 tuhkausta öljy- tai kaasukäyttöisellä uunilla.

Elinkaarikustannuslaskennassa tarkastellaan kahden vuoron toimintamallia, joka alentaa energiankulutusta tuhkausta kohden ja pidentää laitteiston käyttöikää vähentämällä ylös- ja alasajosyklejä. Vuotuinen työpäivien määrä on laskennassa 230, mikä huomioi neljän viikon huoltotauon. Tällä perusteella vuotuinen tuhkausmäärä on sähkökäyttöisellä laitteistolla noin 2 300 ja öljy- tai kaasukäyttöisellä laitteistolla noin 2 760.

7.2.2 Muuttuvat kulut

Henkilöstökulut on arvioitu 8 tunnin työvuoron ja tuntipalkkaperusteisen laskelman mukaan. Laskennassa työntekijän tuntipalkaksi on oletettu 17 €, ja sivukulut on huomioitu kertoimella 1,4. Tämä kerroin sisältää lakisääteiset sivukulut (n. 18 %), loma-ajan palkan ja lomarahat (n. 16 %) sekä arvion sairauspoissaolojen vaikutuksesta (n. 6 %).

Energiakustannukset tuhkausta kohden on esitetty kohdassa 7.1.2. Tässä laskelmassa käyteen eri polttoainevaihtoehtojen kustannuksia 2-työvuoron käyttömallin mukaan.

7.2.3 Investointikulut

Eri energialähteisiin perustuvien krematoriolaitteiden investointikustannukset on esitetty taulukossa 15. Laskelmissa on huomioitu lisäksi energialähdekohtaiset lisäkustannukset: kaasukäyttöiseen laitteistoon on lisätty kaasulinjaston liityntäkustannus (250 000 €) ja öljykäyttöiseen laitteistoon öljysäiliön hankinta- ja asennuskustannukset (100 000 €).

Investoinnin jäännösarvoa ei ole otettu huomioon, sillä sen oletetaan olevan sama kaikilla polttoainevaihtoehdoilla, eikä se näin ollen vaikuta elinkaarikustannusten vertailuun. Rakennusten ja muiden oheislaitteiden kustannuksia ei ole sisällytetty laskentaan, koska niiden arvioiminen tässä vaiheessa ei ole mahdollista ja ne pysyisivät käytännössä samoina polttoainevalinnasta riippumatta. Rakennuksen kustannuksiin vaikuttavat muun muassa sijainti, arkkitehtoniset vaatimukset ja perustusolosuhteet, mutta kaikki tarkasteltavat laitteistot vaativat samankokoisen rakennuksen.

Investointeihin on mahdollista saada avustusta ainakin krematoriolaitteiden osalta. Työ- ja elinkeinoministeriön sekä Business Finlandin kanssa käytyjen alustavien keskustelujen perusteella avustuksen suuruus voi olla prosessilaitteiden osalta 20 %, mikäli laitteisto ei perustu polttoon. Tällöin investointiavustus koskisi vain sähkökäyttöistä krematoriolaitteistoa. Jos Suomeen hankitaan täysin uutta teknologiaa, tuen määrä voisi olla jopa 30 %. Elinkaarikus-

tannuslaskelmassa on huomioitu sähkökäyttöisen krematoriolaitteiston kustannus sekä ilman investointiavustusta että sen kanssa.

7.2.4 Elinkaarikustannukset eri polttoainevaihtoehdoilla

Kun krematoriolaitteiden elinkaarikustannuksia vertaillaan eri polttoainevaihtoehdoilla, osoittautuu sähkökäyttöinen ratkaisu edullisimmaksi kolmesta tarkastellusta vaihtoehdosta. Laskennan perustana on käytetty 25 000 tuhkaoksen käyttöikä. Tämä on varovainen arvio – todellisuudessa laitteistot kestävät todennäköisesti moninkertaisen määrän tuhkausta, mutta tämän rajan jälkeen voidaan tarvita merkittävämpiä huolto-, korjaus- tai modernisointitoimia.

Biokaasu- ja bioöljykäyttöisten uunien investointikustannuksia nostavat kaasulinjaston ja öljysäiliön hankinta- ja asennuskustannukset. Mikäli investointi kattaa useamman uunin, nämä lisäkustannukset jakautuvat useamman yksikön kesken, mikä alentaa kustannusta uunia kohden.

Kahdessa vuorossa toimittaessa kustannukset voidaan esittää taulukon 16 mukaisesti kustannuksena per tuhkausta, mikä mahdollistaa polttoainevaihtoehtojen selkeän vertailun.

Taulukko 16. Elinkaarikustannukset eri polttoainevaihtoehdoilla, 25 000 tuhkausta, 2-vuoraa

	Sähkökäyttöinen	Sähkö 20% avustus	Biokaasukäyttöinen	Bioöljykäyttöinen
Investointi	39,80 €	31,84 €	45,80 €	39,80 €
Henkilöstö	38,08 €	38,08 €	31,73 €	31,73 €
Polttoaine + muu energia	2,85 €	2,85 €	24,41 €	25,30 €
Huolto	60,00 €	60,00 €	66,00 €	66,00 €
Yhteensä €/tuhkausta	140,73 €	132,77 €	167,95 €	162,84 €
Elinkaarikustannukset 25 000 tuhkausta	3 520 000 €	3 320 000 €	4 200 000 €	4 070 000 €

7.2.5 ORC-turbiini

Hukkalämmön hyödyntämisessä yksi vaihtoehto on ORC-turbiini (Organic Rankine Cycle), joka mahdollistaa krematorion lämmöntalteenotosta saatavan lämpimän veden muuntamisen sähköksi.

Ranskalainen Enogia on yhteistyössä oululaisen Norcla Oy:n kanssa tehnyt alustavan tarjouksen ratkaisusta, joka soveltuu kolmen tuhkausuunin lämpimien vesien jatkojalostamiseen ORC-prosessilla. Kuvassa 17 on esitetty prosessin toimintaperiaate, jossa lämpöenergia muunnetaan sähköksi orgaanista työainetta hyödyntävän kierron avulla.

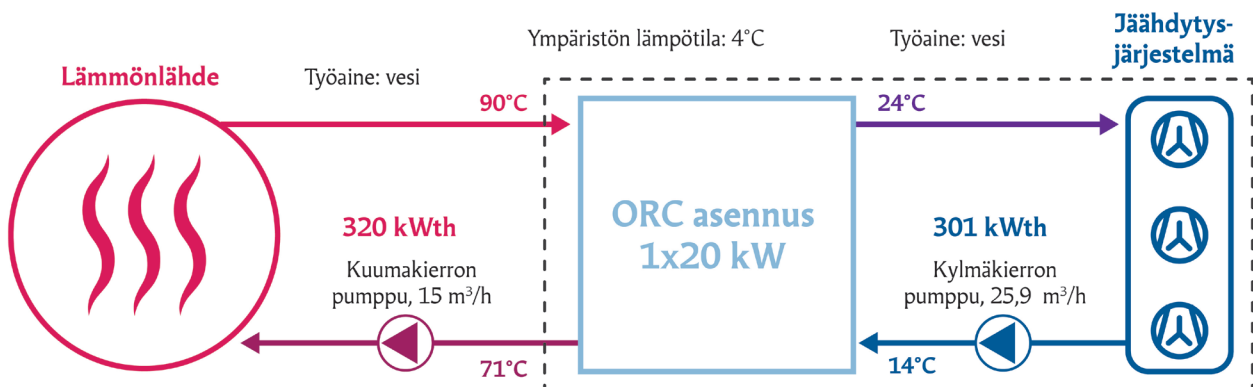
Mikäli ORC-prosessia hyödynnettäisiin kolmen sähkökäyttöisen krematorion yhteydessä, arvioidaan sen tuottavan vuosittain noin 78 MWh sähköä. Laskelma perustuu oletukseen, että tuhkauksia on vuodessa 5 000 kappaletta ja yhden tuhkauksen hukkalämpömäärä on 170 kWh. Käytettäessä sähkön yksikköhintana 0,096 €/kWh, vastaa tämä noin 7 460 euron vuotuista säästöä.

ORC-turbiinin investointikustannus on 138 900 €, ja se sisältää kaikki prosessilaitteet, konttirakennuksen, putkistot, sähköistyksen ja automaation, käyttöönoton sekä koulutuksen. Taloudellisesta näkökulmasta investointi ei ole kannattava, mutta savukaasujen jäädytyksessä syntyvä hukkalämpö on joka tapauksessa hyödynnettävä. ORC-prosessi tarjoaa tähän teknisesti varteenotettavan ratkaisun.

7.3 Yhtiöittäminen, rahoitus ja avustukset

Krematorion perustaminen, ylläpito ja rahoitus edellyttävät perehtymistä hautaustoimilakiin sekä muihin julkisoikeudellisiin ja yksityisoikeudellisiin säädöksiin. Toimintamallin valinnassa on huomioitava, että krematorio-toiminta sisältää osittain julkisen vallan käyttöä ja liittyy perusoikeuksiin, oikeusturvaan ja hyvään hallintoon.

Hautaustoimilain (Finlex, 2003) 17.1 §:n mukaan aluehallintovirasto voi myöntää 3 ja 7 §:ssä tarkoitetulle julkisyhteisölle ja 8 §:ssä tarkoitetulle yhteisölle tai säätiölle luvan ylläpitää krematoriota. Lain pykälän yksityiskohtaisten perusteluiden (Valtioneuvosto, 2002) mukaan krematorion voisi perustaa luvan saanut valtio, kunta, kuntayhtymä, evankelis-luterilaisen kirkon seurakunta tai seurakuntayhtymä, ortodoksisen kirkkokunnan seurakunnat, rekisteröity uskonnollinen yhdyskunta tai sen rekisteröity paikallisyhteisö taikka muu rekisteröity yhteisö tai säätiö. Lisäksi perusteluissa todetaan, että luvan myöntäminen edellyttäisi, että hakijalla on edellytykset ylläpitää asianmukaisesti krematoriota. Huomiota kiinnitettäisiin tämän arvioinnissa etenkin yhteisön- tai säätiön mahdollisuuksiin huolehtia julkisista hallintotehtävistä ja huomioita voitaisiin kiinnittää myös ammatillisiin ja taloudellisiin olosuhteisiin - kykyyn huolehtia rahoituksesta. Rekisteröityjä yhteisöjä ovat



Kuva 17. ORC-prosessin periaate kolmen tuhkausuunin lämmön hyödyntämisestä sähkön tuottamiseen

yritys- ja yhteisötietojärjestelmään yritystietolain (Finlex, 2001) 3 §:n mukaan rekisteröivät yksiköt kuten avoin yhtiö, kommandiittiyhtiö, osakeyhtiö, osuuskunta, yhdistys, säätiö ja muu yksityisoikeudellinen oikeushenkilö. Näin ollen lainsäädäntö ei lähtökohtaisesti rajoita yhtiöittämisen muodon valintaa.

Osakeyhtiön tarkoituksena on osakeyhtiölain (Finlex, 2006) 1:5 §:n mukaan tuottaa voittoa osakkeenomistajilleen, jollei yhtiöjärjestyksessä määrätä toisin. Osakeyhtiölain 9:1 §:n mukaan yhtiöjärjestyksellä osakkeenomistajat voivat määrätä yhtiön toiminnasta. Yhtiöjärjestyksessä voidaan huomioida hautaustoimilain erityiset vaatimukset krematoriotoiminnalla tuloksellisuudesta. Osakassopimuksella osakkeenomistajat, tässä tapauksessa seurakunnat, voivat sopia keskinäisistä suhteistaan, vastuista ja velvoitteista. Osakeyhtiö on osakeyhtiölain 1:2 §:n mukaan osakkeenomistajistaan erillinen oikeushenkilö, eivätkä osakkeenomistajat vastaa henkilökohtaisesti yhtiön velvoitteista, mutta yhtiöjärjestyksessä voidaan määrätä osakkeenomistajien velvollisuudesta suorittaa erityisiä maksuja yhtiölle. Maksut voivat liittyä esimerkiksi krematorion toiminnan rahoittamiseen. Osakkeenomistajat käyttävät päätösvaltaansa osakeyhtiölain 1:6 §:n mukaisesti yhtiökokouksessa ja päätökset tehdään annettujen äänten enemmistöllä, jollei laissa tai yhtiöjärjestyksessä säädetä toisin. Yhtiökokous valitsee yhtiölle hallituksen huolehtimaan yhtiön hallinnosta ja sen toiminnan asianmukaisesta järjestämisestä sekä vastaamaan yhtiön kirjanpidon ja varainhoidon valvonnan asianmukaisesta järjestämisestä osakeyhtiölain 6:2.1 §:n mukaan. Hallituksen valitseminen osakeyhtiölle on säädetty välttämättömäksi osakeyhtiölain 6:1 §:ssä. Lisäksi osakeyhtiölain 1:7 §:n mukaisesti jokainen osake tuottaa yhtiössä yhtäläiset oikeudet, jollei yhtiöjärjestyksessä toisin määrätä. Yhtiöjärjestykseen sisällytettävällä määräyksellä voidaan poiketa siitä pääsäännöstä, että osake voidaan luovuttaa ja hankkia rajoituksitta osakeyhtiölain 1:4 §:n mukaan. Osakkeen luovutettavuuteen voidaan puuttua osakeyhtiölain 3:7 §:n mukaisella lunastuslausekkeella tai 3:8 §:n mukaisella suostumuslausekkeella.

Rahoitusvaihtoehdot

Osakeyhtiömuodossa toimiva krematorioita voidaan rahoittaa osakkaiden maksamalla pääomallainalla. Osakeyhtiön pääomallainasta säädetään osakeyhtiölain 12 luvussa. Pääomallainan takaisin maksamiseen liittyy tiettyjä erityisiä huomioita otettavia seikkoja. Osakeyhtiölain 12:1§:n mukaan pääomallainan pääoma ja korko saadaan maksaa yhtiö selvitystilassa ja konkurssissa muita velkoja huonommalla etuoikeudella. Lisäksi pääoma saadaan palauttaa ja korkoa maksaa vain siltä osin kuin yhtiön vapaan oman pääoman ja kaikkien pääomallainojen määrä maksuhetkellä ylittää yhtiön viimeksi päättyneeltä tilikaudelta vahvistettavan tai sitä uudempaan tilinpäätökseen sisältyvän taseen mukaisen tappion määrän osakeyhtiölain 12:1.1.2 §:n mukaan. Lisäksi osakeyhtiölain OYL 12:1.1.3 §:n mukaan yhtiö eikä sen tytäryhteisö saa antaa vakuutta pääoman tai koron maksamisesta. Pääomallainan palauttaminen, koron maksu sekä vakuuden antaminen rajoitusten vastaisesti voidaan katsoa laittomaksi varojenjaoksi osakeyhtiölain 12:1.2 §:n mukaan. Tämän lisäksi pääomallainaa voidaan muuntaa sijoitetuksi vapaaksi pääomaksi tai käyttää yhtiön tappioiden kattamiseen pääomallainan vain velkojan suostumuksella osakeyhtiölain 12:1.3 §:n mukaan. Lisäksi takaisinmaksusta on huomioitava, että osakeyhtiölain 12:2.2 §:n mukaan, jos pääomallainalle tulevaa korkoa ei voida maksaa, se siirtyy maksettavaksi seuraavan tilinpäätöksen perusteella, joka mahdollistaa maksamisen. Pääomallainoilla on kuitenkin osakeyhtiölain 12:2.3 §:n mukaan keskenään yhtäläinen oikeus yhtiön varoihin, jollei muuta ole yhtiön ja pääomallainojen velkojien kesken sovittu.

Rahoitusvaihtoehdona on myös vieras pääoma eli osakkaiden omavelkaisesti takaama krematorioryhtiön hankkima pankkilaina. Takauslain (Finlex, 1999) 2.1.2 §:n mukaan omavelkaisella takauksella tarkoitetaan takausta, jonka takaaja vastaa päävelasta niin kuin henkilökohtaisesti vastuussa oleva velallinen. Velkoja saa vaatia omavelkaiselta takaajalta suoritusta heti, kun päävelka on erääntynyt takauslain 22 §:n mukaisesti.

Julkiset hallintotehtävät

Hautaustoimilain 17 §:n yksityiskohtaisissa perusteluissa (Valtioneuvosto, 2002) s.21–22 todetaan, että krematorion ylläpitäjälle ehdotetaan laissa julkisia hallintotehtäviä, joihin liittyy julkisen vallan käyttöä. Tehtävistä säädetään lain 18 §:ssä, joka koskee krematorion ylläpitäjän velvollisuutta olla luovuttamatta tuhkaa, jos on perusteltu syy epäillä, että tuhkaa tulnaisiin käsittelemään hautaustoimilain säännösten vastaisesti. Päätöksestä voi valittaa lain 27 §:n mukaisesti. Lisäksi julkista valtaa sisältyisi yksityiskohtaisten perusteluiden mukaan krematorion ylläpitäjän hautaustoimilain 20 §:n mukaiseen velvollisuuteen pitää rekisteriä tuhkaukista ja tuhkan sijoittamisesta. Julkisten hallintotehtävien antamisesta muille kuin viranomaisille säädetään perustuslain 124 §:ssä, jonka mukaan julkinen hallintotehtävä voidaan antaa muulle kuin viranomaiselle vain lailla tai lain nojalla ja vain, jos se on tarpeen tehtävän tarkoituksenmukaiseksi hoitamiseksi eikä vaaranna perusoikeuksia, oikeusturvaa tai muita hyvän hallinnon vaatimuksia. Merkittävää julkisen vallan käyttöä sisältäviä tehtäviä voidaan kuitenkin antaa vain viranomaiselle. Tarkoituksenmukaisuuden vaatimus on tapauskohtaista harkintaa ja sen arvioinnissa tulee kiinnittää huomiota esimerkiksi hallinnon tehokkuuteen sekä yksityisten ja yhteisöjen tarpeisiin (Oikeusministeriö, 2014). Krematorion ylläpitäjän julkisten hallintotehtävien vuoksi onkin kiinnitettävä huomiota siihen, että tarkoituksenmukaisuuden vaatimus täytyy eivätkä perusoikeudet, oikeusturva tai muut hyvän hallinnon vaatimukset vaarannu valitussa yhtiöittämisvaihtoehdossa.

Toiminnan rahoitus ja maksut

Krematorion toimintaan ei lähtökohtaisesti käytetä kirkollisveron keräämisestä saatavia varoja tai valtion rahoitusta, mutta se on mahdollista. Hautaustoimilain (Finlex, 2003) 22 §:n mukaan yleisten hautausmaiden ylläpidosta aiheutuviin kustannuksiin käytettävissä olevasta rahoituksesta on säädetty erikseen. Lain pykäläkohtaisten esitöiden (Valtioneuvosto, 2002) mukaan tarkoitettu rahoitus sisältyisi evanke-

lis-luterilaisten seurakuntien yhteisöveron tuotosta saamaan osuuteen. Perusteluna todettiin, että vaikka seurakuntien yhteisövero-oikeutta ei ole kytketty lainsäädännössä hautausmaiden ylläpidosta aiheutuviin kustannuksiin, on yhteisövero-oikeuden taustalla esitetty juuri kirkon hoitamat yhteiskunnalliset tehtävät, tärkeimpänä hautaus. Lisäksi muina julkisina rahoitusvaihtoehtoina on esitetty lakisääteistä valtion avustusta, jota ei välttämättä olisi sidottu suoraan hautaustoimen kustannuksiin sekä harkinnanvaraista valtionavustusta.

Krematorion toiminta ei saa hautaustoimilain (Finlex, 2003) 17.2 §:n mukaan ylläpitää taloudellisen voiton tavoittelemiseksi. Lain pykälän yksityiskohtaisissa perusteluissa (Valtioneuvosto, 2002) todetaan, että taloudellisen voiton tavoittelemisen krematorio toiminnalla ei ole sallittua toiminnan luonteen vuoksi. Lisäksi todetaan tämän käytännössä tarkoittavan, että esimerkiksi osakeyhtiömuotoinen krematorion ylläpitäjä ei saisi jakaa osinkoa omistajilleen. Tästä syystä krematoriot toiminnan pääasiallinen rahoitus tapahtuisi palvelumaksuilla, joiden maksusta huolehtii viime sijassa vainajan läheiset hautaustoimilain 23 §:n perusteella.

Hautaustoimilain 6.1 §:n mukaan evankelis-luterilaisen kirkon seurakunta tai seurakuntayhtymä voi periä maksuja muun muassa hautaamiseen liittyvistä palveluista. Maksut saavat olla enintään palvelun tuottamisesta aiheutuvien kustannusten suuruiset. Pykälän yksityiskohtaisten perusteluiden (Valtioneuvosto, 2002) mukaan hautaamiseen liittyvillä palveluilla tarkoitetaan muun ohessa tuhkausta. Palvelun tuottamisesta aiheutuvilla kustannuksilla tarkoitetaan hallituksen esityksen mukaan palvelun tuottamisesta aiheutuvia kokonaiskustannuksia, johon kuuluvat maksun aiheuttamien erilliskustannusten ohella maksun osuus hallinto-, toimitila- ja pääomakustannuksista sekä muista yhteiskustannuksista. Palvelumaksu olisi enintään omakustannusarvon suuruinen.

Lisäksi hautaustoimilain 6.2 §:n mukaan maksujen perusteiden tulee olla samat kaikille, joilla on oikeus tulla haudatuksi seurakunnan tai seurakuntayhtymän hautausmaalle.

Oikeus tulla haudatuksi seurakunnan tai seurakuntayhtymän hautausmaalle on liitetty hautausoimilain 4: §:n mukaan vainajan kotikuntaan, toissijaisesti vainajan kuolinhetken asuinkuntaan ja ulkomailla asuneen vainajan osalta viimeisimpään kotikuntaan. Yksityiskoh- taisten perusteluiden (Valtioneuvosto, 2002) mukaan maksut voisivat poiketa asianomai- sessa seurakunnassa yleisesti noudatettavista maksuperusteista, jos vainaja on halunnut tulla haudatuksi muualle kuin hautausoimilain 4 §:n mukaisen seurakunnan tai seurakuntayhtymän hautausmaalle. Säädosvalmistelun yhteydessä perustuslakivaliokunta lausunnossaan (Perus- tuslakivaliokunta, 2002) totesi, että valiokunta pitää hyväksyttävänä, että maksujen perustee- na otetaan huomioon jäsenyysaika kirkossa.

8. Kulttuuriset, teologiset ja sosiaaliset näkökulmat

Polttohaudaus on ollut yleinen hautausmuoto esikristillisellä ajalla. Kristinuskon leviämisen myötä se kiellettiin virallisesti vuonna 789, kun Kaarle Suuri määritteli käytännön pakannaiseksi. Kieltoa perusteltiin sillä, että tuhkaus nähtiin merkinä epäuskosta kristilliseen oppiin ruumiin ylösnousemuksesta. Menetelmä jäi pois käytöstä Euroopassa lähes tuhanen vuoden ajaksi (Rebay-Salisbury, 2012).

1700-luvun lopulla suhtautuminen muuttui valistuksen ja tieteellisen ajattelun myötä. Hygienia sekä kaupungistumisen aiheuttama hautausmaiden tilanpuute nousivat perusteluiksi tuhkausten uudelleen käyttöönotolle (Rebay-Salisbury, 2012). Euroopan ensimmäinen moderni krematorio otettiin käyttöön Milanossa vuonna 1876. Isossa-Britanniassa perustettiin Cremation Society vuonna 1874, mikä johti polttohaudauksen laillistamiseen vuonna 1884. Suomessa Kuolleenpolttoyhdistys perustettiin vuonna 1889.

Keski-Euroopassa 1800–1900-lukujen vaihteessa tuhkausten yleistyminen liittyi käytännöllisten syiden lisäksi poliittisiin ja uskonnollisiin kannanottoihin. Menetelmä liitettiin liberaaleihin liikkeisiin ja materialismiin, mikä herätti vastustusta erityisesti katolisissa maissa (Rebay-Salisbury, 2012). Protestanttiset kirkot hyväksyivät tuhkausten nopeammin, ja katolinen kirkko sallisen vuonna 1963. Ortodoksinen kirkko vastustaa menetelmää edelleen, ja esimerkiksi Kreikassa se laillistettiin vasta vuonna 2008.

Kristillisessä perinteessä ruumiin hautaaminen on symbolisesti keskeinen rituaali, joka liittyy ylösnousemususkoon Kristuksen paluun yhteydessä. Aiemmin haudat suunnattiin itä-länsiakselille, jotta vainajat ”kohtaisivat”

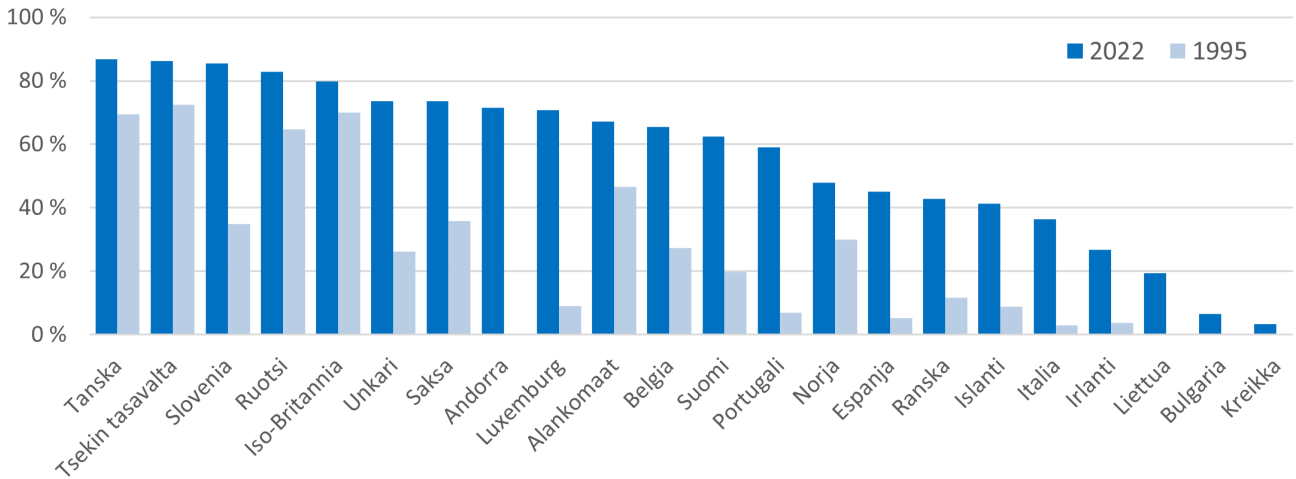
auringonnousun Tuomiopäivänä (Sørensen, 2012). Tuhkaus poikkeaa tästä perinteestä kahdella tavalla: se poistaa ruumiin fyysisen läsnäolon hautapaikalla ja voi katkaista ajallisen sekä symbolisen jatkumon siunaustilaisuuden ja tuhkan sijoittamisen välillä (Sørensen, 2012).

Nykyisin uskonnollisten ja symbolisten merkitysten rinnalle on noussut teknologisia, eettisiä ja ympäristönäkökulmia. Energiantuotantoon liittyvät ratkaisut, kuten lämmön talteenotto, ovat muuttaneet keskustelua tuhkauksesta. Ruotsissa 43 krematoriota hyödyntää syntyvää lämpöä joko omien tilojensa lämmityksessä tai kaukolämpöverkossa. 1990-luvulla Räckstan krematorion liittämistä kaukolämpöverkkoon viivästyttiin yleisen mielipiteen mahdollisen kielteisen reaktion vuoksi. Vuoteen 2006 mennessä asenteet olivat muuttuneet myönteisemmiksi ja ympäristöhyödyt nousivat keskiöön, minkä seurauksena Räcksta liitettiin verkkoon (Olofsson, 2022). Tapaus kuvastaa, kuinka ekologiset ja resurssiviisaat ratkaisut voivat nivoutua osaksi hautauskulttuuria.

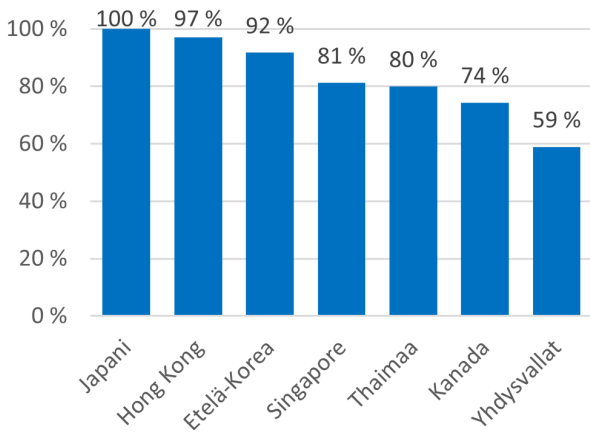
Tuhkausten yleistyminen

Euroopassa polttohaudauksen yleisyys vaihtelee huomattavasti (kuva 18). Vuonna 2023 Tanskassa tuhkattiin yli 86 % vainajista, kun taas katolisissa maissa, kuten Italiassa ja Espanjassa, osuus jäi alle 45 %:iin. Ortodoksikristillisissä maissa, kuten Kreikassa, osuus oli alle 5 %.

Kansainvälisesti tarkasteltuna korkeimmat tuhkausosuudet ovat Pohjoismaiden lisäksi useissa Aasian maissa. Japanissa tuhkaus kattoi käytännössä 100 % hautauksista vuonna 2023, Etelä-Koreassa osuus oli noin 92 % ja Hongkongissa sekä Taiwanissa yli 96 % (kuva 19) (The Cremation Society, n.d.)



Kuva 18: Tuhkausten osuus Euroopassa vuosina 1995 ja 2022 (The Cremation Society).



Kuva 19: Tilastot vuodelta 2022 (The Cremation Society).

Taulukko 17: Tuhkausten osuus Suomen suurimmissa kaupungeissa (Suomen evankelis-luterilainen kirkko, 2023).

Helsinki	87 %
Espoo	86 %
Tampere	87 %
Vantaa	77 %
Oulu	57 %
Turku	87 %
Jyväskylä	70 %
Lahti	83 %
Pori	77 %
Kuopio	58 %

Suomessa tuhkausten osuus on kolminkertais-
tunut vajaan 30 vuoden aikana. Vuonna 2024
Suomessa tuhkattiin 37 941 vainajaa, mikä
vastasi 65,4 % kaikista hautauksista (Suomen
hautaustoiminnan keskusliitto ry, 2025). Tuh-
kausten määrän arvioidaan kasvavan tulevai-
suudessa lähemmäs Ruotsin ja Tanskan tasoa.
Tilastokeskuksen ennusteen mukaan vuonna
2040 kuolee vuosittain noin 67 654 henkilöä,
mikä 85 %:n tuhkausasteella tarkoittaisi noin
57 505 tuhkausta vuodessa (Tilastokeskus,
2021). Tämä kehitys lisäisi kapasiteettitarvet-
ta Suomen krematorioverkostossa. Suomen
hautaustoiminnan keskusliiton pääsihteeri
Matti Halme on arvioinut vuonna 2024, että
Suomeen tarvittaisiin neljä uutta krematoriota
(Taura-Jokinen, 2024).

Maantieteellinen sijainti vaikuttaa hautausta-
pojen jakautumiseen. Arkkuhautausta on edel-
leen yleisin hautausmuoto Pohjois- ja Itä-Suo-
messä. Kirkon tilastojen mukaan vuonna 2023
tuhkausten osuus jäi alle 30 %:n osassa ruotsin-
kielistä Pohjanmaata (mm. Närpiö ja Pietarsaa-
ren seutukunnat) sekä pienissä seurakunnissa
Keski-Suomen, Kajaanin, Iisalmen ja Joen-
suun rovastikunnissa. Vastaava osuus havait-
tiin myös useissa Pohjois-Pohjanmaan pienissä
seurakunnissa (Limingan, Kalajoen, Kokkolan,
Kemi-Tornion ja Koillismaan rovastikunnat)
sekä joissakin Lapin ja Rovaniemen rovasti-
kunnissa. Suurimmissa kaupungeissa, Oulua
ja Kuopiota lukuun ottamatta, tuhkausosuus
ylitti 70 %. Alueellisiin eroihin voivat vaikut-

taa muun muassa paikalliset hautausperinteet sekä krematoriopalveluiden saatavuus (Suomen evankelis-luterilainen kirkko, 2023).

8.1 Hautausmaiden ja krematorioiden kulttuuri-historiallinen merkitys

Hautausmaat ja krematoriot ovat osa suomalaista kulttuuriympäristöä ja yhteiskunnallista muistirakennetta. Ne toimivat vainajien leposijoina, mutta samalla myös paikkoina, joissa ylläpidetään kollektiivista muistia ja kunnioitetaan menneitä sukupolvia. Hautausmaat heijastavat uskonnollisia käytäntöjä, paikallisyhteisöjen identiteettiä sekä maisemallista perintöä, ja ne muodostavat kulttuurihistoriallisesti kerroksellisen osan rakennetusta ympäristöstä (Rimpiläinen, 2024).

Suomessa on käytössä reilut 1 000 hautausmaata (Wikipedia, 2025), ja niiden hallinta ja ylläpito on pääosin evankelis-luterilaisten seurakuntien vastuulla. Lainsäädäntö korostaa hautausmaiden yleishyödyllisyyttä ja kieltää voitontavoittelun niiden toiminnassa.

Suomalainen hautaustapa on muuttunut ajan kuluessa. Ennen kristinuskon vakiintumista käytettiin sekä polttoa että arkkuhautauksia, ja hautapaikat sijoitettiin usein luonnonkauniisiin ympäristöihin. Kristinuskon myötä hautauskäytännöt yhdenmukaistuivat kirkon sääntöjen mukaisiksi. Evankelis-luterilaisella seurakunnalla on velvollisuus myöntää hautasija myös kirkkoon kuulumattomalle vainajalle, jos tällä on ollut kiinteä yhteys paikkakuntaan, esimerkiksi asuinpaikan kautta (Suomen evankelis-luterilainen kirkko, 2023). Hautaustoimilain 3 §:n mukaan, jos kunnassa ei ole muuta hautausmaata, seurakunnan on varattava hautasijoja myös muille kuin omille jäsenilleen.

Moderni krematoriotoiminta Suomessa käynnistyi 1900-luvun alkupuolella. Krematoriosäätiön rakennuttama Hietaniemen krematorio otettiin käyttöön vuonna 1925 ja on edelleen toiminnassa. Asenteet tuhkausta

kohtaan olivat pitkään varaukselliset, ja tuhkaus yleistyi hitaasti ennen toista maailmansotaa. Hietaniemen krematorio oli lähes 40 vuoden ajan maan ainoa krematorio, ja tuhkaus sai tuolloin eniten suosiota kaupunkien koulutetun väestön keskuudessa. Vuonna 1964 rakennettiin seuraavat krematoriot Karjaalle ja Espooseen (Seppälä, 2012), mikä osaltaan vastasi kaupunkialueiden hautapaikkapulaan (Rimpiläinen, 2024).

Hautaustoimilaissa (457/2003) ei velvoiteta evankelis-luterilaista kirkkoa tai muuta toimijaa järjestämään tai ylläpitämään krematoriopalveluita. Tuhkaus on lain näkökulmasta yksi hautaamistapa, mutta sen järjestäminen ei ole samalla tavoin julkisesti turvattua kuin hautasijan tarjoaminen. Suomessa lähes kaikki krematoriot ovat evankelis-luterilaisen kirkon hallinnoimia, poikkeuksena Hietaniemen krematorio, jota ylläpitää Krematoriosäätiö.

Krematorioiden käytännöt omaisten osallistumisesta vaihtelevat. Joissakin laitoksissa ulkopuolisilla ei ole pääsyä krematorion tiloihin, kun taas toiset, kuten Porin uusi metsähautauskrematorio, tarjoavat mahdollisuuden seurata tuhkausprosessia lasi-ikkunan läpi. Metsäkrematoriossa on myös tunnelmallinen ja hiljentymiseen sopiva tila uurnan luovutusta varten. Hautaus- ja tuhkausrituaalit mukautuvat ajan myötä, ja tämä näkyy myös rakennusten suunnittelussa ja toteutuksessa.

Marja Kurosen opinnäytetöissä (Kuronen, Funeral Service Development for Needs in the Near Future: Utilizing Design Thinking and a Future-oriented Approach in the Development of Finnish Funeral-related Services and Business, 2019; Kuronen, Systemic Design Approach to the Finnish Funeral Ecosystem, 2022) hautajaisia tarkastellaan palvelumuotoilun näkökulmasta. Historiallisesti kirkon yhteyteen rakennetut hautausmaat ja kappelit ovat tarjonneet tilan vainajan hyvästelylle ja yhteisön surutyölle. Kaupungistuneessa yhteiskunnassa nämä tilat voivat kuitenkin osalle väestöstä näyttäytyä etäisinä tai institutionaalisina, erityisesti tilanteessa, jossa uskonnollinen sitoutuneisuus on vähentynyt.

Krematorioiden merkitys on kasvanut sekä käytännön että kulttuuristen tekijöiden seurauksena. Erityisesti kaupunkialueilla, joissa tilaa perinteiselle hautaukselle on rajallisesti, krematoriot muodostavat keskeisen osan hautausinfrastruktuuria. Kurosen mukaan krematorioihin sijoitetut neutraalit seremonia- ja jäähyväistilat tarjoavat vaihtoehdon niille, jotka eivät halua tai voi käyttää kirkollisia tiloja. Tällaiset tilat tukevat yksilöllisiä ja kulttuurisesti monimuotoisia hyvästijättöjä, ja ne voivat vastata muuttuvan yhteiskunnan tarpeisiin hautaustapojen ja rituaalien järjestämisessä (Kuronen, Funeral Service Development for Needs in the Near Future: Utilizing Design Thinking and a Future-oriented Approach in the Development of Finnish Funeral-related Services and Business, 2019).

8.2 Hautauskulttuurin moninaisuus ja sen huomioiminen

Suomen hautaustoimilaki sallii vainajan arkuhautauksen ja tuhkauksen. Hautausmailla yleisimmät hautaustavat ovat arkuhautaukset, uurnahautaukset, muistolehdot, sirottelualueet sekä suuremmilla hautausmailla uurnaholvit eli kolumbaariot. Yhdellä hautausmaalla voi olla useita hautatyyppisiä, ja hautaustapojen jakauma voi vaihdella paikkakunnittain sekä hautausmaan koon mukaan. Tuhka voidaan sirotella esimerkiksi metsään, mereen tai järveen, mutta tämä edellyttää maanomistajan lupaa. Useat kunnat ja kaupungit ovat osoittaneet erityisiä paikkoja, joissa tuhkan sirottelu vesistöön on mahdollista (Rimpiläinen, 2024).

Eri uskontojen hautauskäytäntöjä Suomessa

Suomessa eri uskonnolliset yhteisöt noudattavat hautauksissa omia perinteitään, arvojaan ja käytäntöjään. Vaikka evankelis-luterilainen kirkko vastaa suurimmasta osasta hautausmaista, myös muiden uskontojen edustajille järjestetään hautauksia heidän tapojensa mukaisesti, ja osalla uskontokunnista on käytössään omia hautausmaita

Juutalainen hautaus perustuu yksinkertai-

suuden ja tasa-arvon periaatteisiin. Arkku on yleensä yksinkertainen, ilman metalliosia ja valmistettu luonnonmateriaaleista. Hautaus tapahtuu usein vuorokauden kuluessa kuolemasta. Suomessa juutalaiset haudataan Helsingissä sijaitsevalle juutalaiselle hautausmaalle (Helsingin juutalainen seurakunta).

Ortodoksinen hautaus sisältää useita liturgisia toimituksia, kuten muistopalveluksen ja hautauspalveluksen. Ruumis siunataan ja asetetaan haudattavaksi useimmissa arkussa, kasvot itään päin. Suomessa on 24 ortodoksisia hautausmaata (ortodoksi.net).

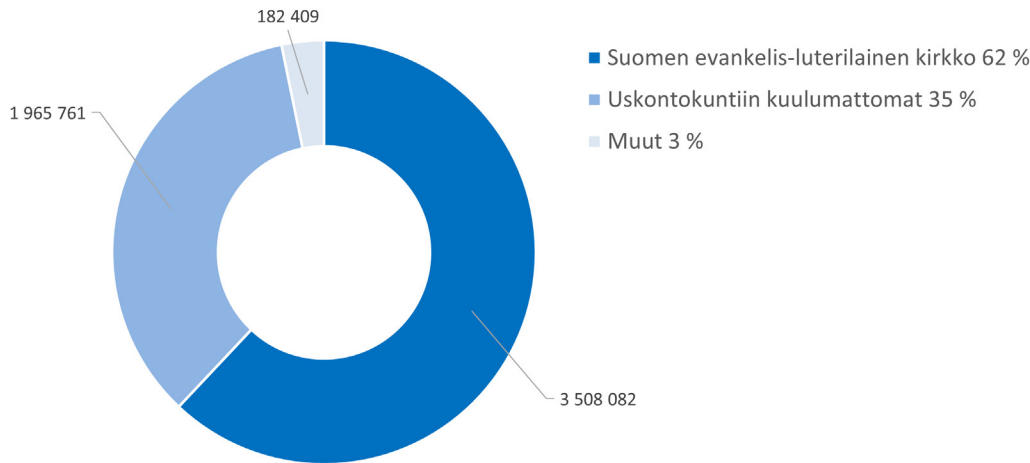
Islamilainen hautaus korostaa myös nopeaa hautaamista, usein saman vuorokauden aikana. Ruumis pestään rituaalisesti, kääritään valkoiseen kankaaseen ja haudataan ilman arkkua kasvot Mekkaa kohti. Suomessa hautaamiseen käytetään kuitenkin usein arkkua, ja islamilaisia hautausalueita on mm. Helsingin, Espoon ja Vantaan alueilla.

Buddhalaisessa ja hindulaisessa hautauksessa polttohautaus on yleinen. Tuhkaus tapahtuu Suomessa paikallisissa krematorioissa, ja rituaalit järjestetään usein temppelien yhteydessä tai kotona. Hindulaisessa perinteessä keho nähdään sielun tilapäisenä asuinsijana, ja polttohautaus mahdollistaa sielun vapautumisen uudelleensyntymää varten (Korpela, 2015).

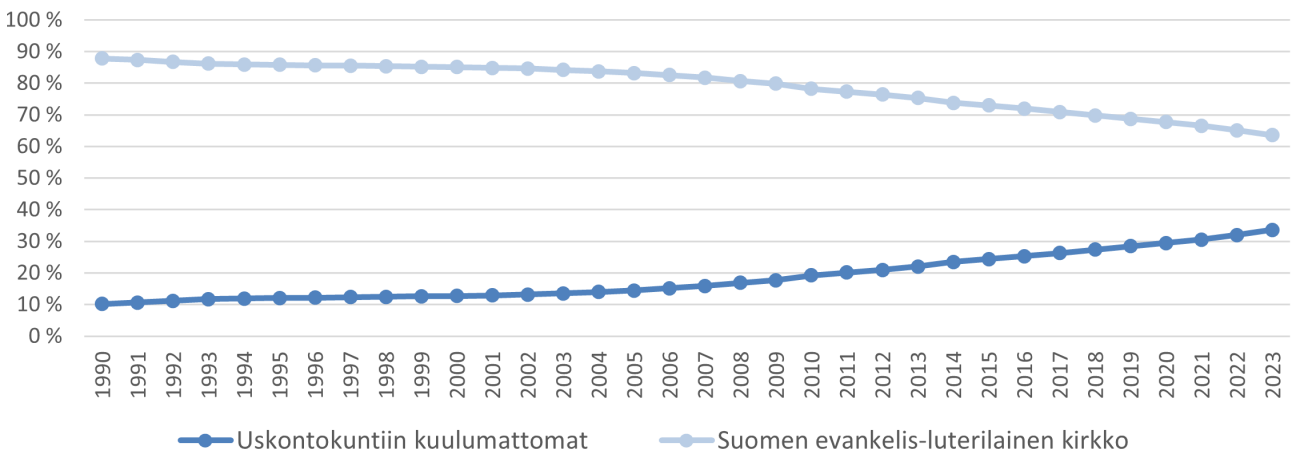
Monille vähemmistöuskontojen hautauskäytännöille on yhteistä tarve yksityisyydelle, kulttuurisesti turvalliselle tilalle ja mahdollisuudelle noudattaa omia rituaaleja. Suomessa hautaus-toimessa pyritään huomioimaan nämä tarpeet, mutta käytännöt voivat vaihdella alueellisesti.

Uskontokuntiin kuulumattomien hautauskäytännöt

Vuonna 2024 Suomen väestöstä 62 % kuului evankelis-luterilaiseen kirkkoon, 35 % ei kuullut mihinkään uskonnolliseen yhteisöön ja noin 3 % kuului muihin uskontokuntiin (kuva 23). Uskontokuntiin kuulumattomien osuus on kasvanut tasaisesti, ja kehityksen arvioidaan jatkuvan. Yhteiskunnan maallistuesssa tarve tunnustuksettomille hautausrituaaleille on lisääntynyt.



Kuva 20. Uskontokuntiin kuuluvat 2024 (Tilastokeskus, 2024).



Kuva 21. Suomen evankelis-luterilaiseen kirkkoon kuuluvien ja uskontokuntiin kuulumattomien osuus väestöstä 1990-2023 (Tilastokeskus).

Marja Kurosen opinnäytetyön (Kuronen, Funeral Service Development for Needs in the Near Future: Utilizing Design Thinking and a Future-oriented Approach in the Development of Finnish Funeral-related Services and Business, 2019) mukaan vaihtoehtoja kirkollisille hautajaisrituaaleille on edelleen rajallisesti. Monet uskonnollisiin yhteisöihin kuulumattomat päätyvät käyttämään kirkon tarjoamia palveluja, koska muita vaihtoehtoja ei ole helposti saatavilla. Haastattelu- ja kyselyaineiston perusteella osa vastaajista koki kirkolliset hautajaiskäytännöt itselleen vieraiksi ja toivoi mahdollisuutta yksilöllisempiin, ei-uskonnollisiin rituaaleihin. Tämä tarve korostuu erityisesti suurissa kaupungeissa ja nuoremman väestön keskuudessa.

Kirkkoon kuulumattomille vainajille järjestetään usein hautaan siunaaminen, eikä kaikilla omaisilla ole siihen liittyviä varauksia. Tunnetuksi muistotilaisuuden järjestäminen on kuitenkin käytännössä monin paikoin vaikeampaa ja edellyttää omaisilta enemmän valmistelutyötä. Helsingin yliopiston käytännöllisen teologian professori Auli Vähäkankaan mukaan hautauskulttuurissa voidaan nähdä merkittävä muutos jo 2030-luvun alkuun mennessä, mikäli siviilihautajaisten muoto ja sisältö kehittyvät. Jo nyt suora tuhkaus on yleistynyt, ja jäähyväis- tai sirottelutilaisuus voidaan järjestää monenlaisissa ympäristöissä omaisten toiveiden mukaisesti (Virtanen, 2025).

9. Lainsäädännölliset vaatimukset

9.1 EU-lainsäädännön nykyiset ja tulevat vaatimukset

Euroopan unionin lainsäädäntö ei tällä hetkellä sääntele krematorioiden ympäristövaatimuksia. Ne eivät kuulu teollisuuspäästödirektiivin (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2010) soveltamisalaan, eikä EU edellytä parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) käyttöönottoa (European Commission, 2023).

Sääntelyn puutteesta huolimatta EU:ssa on suunnitelmia vähentää tuhkauksesta syntyviä päästöjä muun muassa määrittelemällä EU:n yhteinen arkkustandardi, jolla pyritään vähentämään ongelmallisia päästöjä aiheuttavia materiaaleja (Helsingin kaupungin ympäristölautakunta, 2010; Kangasalan kunta, Rakennus- ja ympäristölautakunta, 2012).

Päästöraja-arvoja krematorioille ei ole asetettu, eikä niiden mittauksille ole olemassa EU-standardia. Elohopeapäästöjen osalta on kuitenkin käytössä kansainvälisiä, oikeudellisesti ei-sitovia OSPAR- ja HELCOM-suosituksia, joita on sovellettu myös Suomen ympäristöluvista (European Commission, 2023). Euroopan unioni ja osa sen jäsenmaista kuten Suomi ovat konventioiden jäseniä. Helcomin suositusta "Helcom Recommendation 29/1" krematorioiden päästöjen vähentämisestä on sovellettu aiemmin kotimaan krematorioiden ympäristöluvista (Turun kaupungin kaupunkiympäristötoimiala, 2018; Kuopion kaupungin alueellinen ympäristönsuojelu, 2021).

Elohopeaa koskevan asetuksen (2017/852/EU) muutoksen valmistelussa tarkasteltiin kahta sääntelyvaihtoehtoa: 1) EU:n ohjeistus päästöjen vähentämisteknologioista, hyödyntäen OSPAR- ja HELCOM-suosituksia, tai 2) velvoittava BAT-tekniikan käyttö kaikille tai vain suurille krematorioille (European Commission, 2023). Elohopeaa koskevan asetuksen 2024/1849/EU (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2024)

mukaan krematoriot ovat merkittävä elohopeapäästöjen lähde ilmakehässä. Hammasamalgamin käytön asteittaisesta lopettamisesta huolimatta päästöjä muodostuu edelleen, minkä vuoksi asetuksessa todetaan tarpeelliseksi laatia ohjeistus päästöjen vähentämistekniikoista sekä kerätä tietoa jäsenvaltioiden toteuttamista toimista päästöjen ehkäisemiseksi ja niiden terveys- ja ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Asetus ei aseta sitovia raja-arvoja, mutta velvoittaa komission julkaisemaan 31.12.2025 mennessä yhteiset suuntaviivat krematorioiden elohopea- ja elohopeayhdisteiden päästöjen vähentämisteknologioista. Lisäksi jäsenvaltioiden on raportoitava komissiolle toteuttamansa toimenpiteet näiden suuntaviivojen täytäntöönpanosta. Komissio antaa Euroopan parlamentille ja neuvostolle viimeistään 31.12.2029 kertomuksen suuntaviivojen toimeenpanosta ja vaikutuksista.

Euroopan krematorioverkosto (European Crematoria Network, ECN) on laatinut suosituksen yhtenäisistä päästöraja-arvoista krematorioiden savukaasuille. Suositus, joka julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 2008, on kohdistettu paikallisille, kansallisille ja EU-tason viranomaisille, ja sen tavoitteena on edistää päästöjen sääntelyä unionin tasolla.

Ehdotus sisältää ECN:n ja krematoriolaitteiden valmistajien yhdessä laatiman ympäristöstandardin, joka asettaa raja-arvot muun muassa pölylle, elohopealle (Hg), dioksiinille ja furaanille, hiilimonoksidille (CO), typpioksidoille (NO_x), vetykloridille (HCl), rikinoksidoille (SO_x) sekä haihtuville orgaanisille yhdisteille (total VOC) palamisolosuhteissa, joissa happipitoisuus on alle 11 % O₂ sekunnissa. Raja-arvot perustuvat oletukseen, että arkku ja sen sisältö täyttävät erilliset materiaalivaatimukset.

ECN suosittaa raja-arvojen käyttöönottoa vaiheittain jäsenmaiden olosuhteet huomioiden. Arvioinnissa tulisi ottaa huomioon krematorioiden käyttömäärät, maantieteelliset ja tekniset reunaehdot sekä julkisten palveluiden turvaaminen. Suosituksessa painotetaan, että olemassa olevien krematorioiden sulkemisesta tulisi välttää. Lisäksi se esittää muun muassa suodat-

timien käyttöä, arkkujen materiaalivaatimusten yhtenäistämistä, energiankeräys- ja kierrätysjärjestelmien kehittämistä sekä tuhkauksessa jäljelle jäävien materiaalien, kuten proteesien ja metallien, kierrättämistä (European Crematoria Network, 2008).

9.2 Suomen hautaustoimilain määräykset

Hautaustoimilaki (457/2003)

Hautaustoimilain (457/2003) mukaan Suomessa hyväksytyt hautaustavat ovat arkkuhautaus ja tuhkaus (§2). Krematorio kuuluu hautausmaatoimintaan ja hautausmaata voi ylläpitää ortodoksisen kirkkokunnan seurakunta, valtio, kunta tai kuntayhtymä (§7). Krematorion perustaminen edellyttää, että ylläpitäjällä on asianmukaiset valmiudet sen toimintaan (Finlex, 2003).

Tuhkaus on sallittua vain krematoriossa, ja tuhkat on sijoitettava hautausmaalle tai muulle alueelle, johon aluehallintovirasto on antanut luvan (Finlex, 2003). Hautaustoimilain 17 §:n yksityiskohtaisissa perusteluissa (Valtioneuvosto, 2002) krematorion ylläpitäjälle säädetään julkisia hallintotehtäviä, kuten velvollisuus olla luovuttamatta tuhkaa, jos on perusteltu syy epäillä, ettei sitä käsitellä lain mukaisesti, sekä velvollisuus ylläpitää rekisteriä tuhkauksista ja tuhkan sijoittamisesta. Taloudellisen voiton tavoittelu krematoriotoiminnassa on kielletty. Lain pykälän yksityiskohtaisissa perusteluissa (Valtioneuvosto, 2002) todetaan, että taloudellisen voiton tavoittelu krematorio toiminnalla ei ole sallittua toiminnan luonteen vuoksi.

Ympäristönsuojelulaki (527/2014)

Ympäristönsuojelulaki määrittelee krematoriotoiminnan ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaksi toiminnaksi (YSL 527/2014, 106 b §), joka edellyttää ympäristölupaa 27 § mukaan. Tämän vuoksi krematoriotoiminnalle on haettava ympäristölupa ja toiminnan tulee noudattaa parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) periaatteita (YSL 527/2014, 5 §, 6 §, 43

§, 75 §). BAT:n osalta mainitaan, että sen tulee olla mm. mahdollisimman tehokas käsittelytapa sekä taloudellisesti toteuttamiskelpoista silloin, kun se on saatavilla ja sitä voidaan soveltaa kohtuullisin kustannuksin. Käytännössä tämä velvoittaa krematorioita ottamaan käyttöön tehokkaimmat kohtuullisin kustannuksin saatavilla olevat savukaasujen puhdistusjärjestelmät (Finlex, 2014).

Ympäristönsuojelulain mukaan toiminnanharjoittajan on oltava selvillä toimintansa aiheuttamista ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja niiden hallinnasta sekä haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista (YSL 527/2014, 7 § ja 8 §). Ympäristönsuojelulain 52 §:n mukaan ympäristöluvassa on määrättävä päästöjen rajoittamisesta, jätteiden käsittelystä sekä toiminnan tarkkailusta ja sen raportoinnista viranomaisille. Toiminnanharjoittajan on huolehdittava, ettei toiminta aiheuta maaperän tai pohjaveden pilaantumista (YSL 16 §, 17 § ja 133 §). Lain 53 § tarkentaa BAT:n arvioinnissa huomioitavat tekijät, joihin kuuluvat esimerkiksi energia- ja materiaalitehokkuus (Finlex, 2014)

Jätelaki (646/2011) ja valtioneuvoston asetus jätteistä (978/2021)

Jätelaki 646/2011 säätelee jätehuoltoa Suomessa ja koskee myös krematoriotoimintaa. Krematorioiden osalta lain keskeiset velvoitteet liittyvät jätteiden lajitteluun (§15), vaarallisten jätteiden käsittelyyn (§29), hyödyntämiseen (§8) ja jäljitettävyyteen (§118–119). Laki velvoittaa toiminnanharjoittajan minimoimaan muodostuvien jätteiden määrän sekä lajittelemaan ne syntypaikalla (§12–13). Krematoriotoiminnassa näihin kuuluvat erityisesti metallijäte ja ongelmajätteet, kuten käytetyt suodattimet, aktiivihäili ja suodatinjäte (Finlex, 2011).

Muodostuneet jätteet on toimitettava asianmukaiseen käsittelyyn luvan saaneille toimijoille ja jätteiden kuljetus sekä käsittely on dokumentoitava (§15, §29). Lain olennaisiin tavoitteisiin kuuluu jätteiden hyödyntäminen materiaalina tai energiana (§8) sekä muodostuvien jätteiden määrän minimointi (§10) (Finlex, 2011).

Valtioneuvoston asetus jätteistä (179/2012) on korvattu vuonna 2021 uudemmalla säädöksellä (978/2021), jotka tarkentavat jätelain vaatimuksia (Finlex, 2011; Finlex, 2021). Tämä koskee krematoriotoiminnan osalta erityisesti vaarallisten jätteiden hallintaa. Asetus tarkentaa vaatimuksia mm. lajittelun (Vna 978/2021, luvut 2-4), laadittavien siirtoasiakirjojen ja kirjanpidon osalta (Vna 978/2021, luku 5). Mikäli jäte sisältää erityisen haitallisia aineita (esim. POP-yhdisteitä tai raskasmetalleja), sovelletaan erityisiä käsittelyvaatimuksia ja jäte on toimitettava luvan saaneelle käsittelijälle (Vna 978/2021, luku 5) (Finlex, 2021).

9.3 Ympäristölupaprosessien vaatimukset

Nykyiset ympäristölupavaatimukset perustuvat pääosin voimassa oleviin lupamääräyksiin. Luvista on havaittavissa, että vanhemmat tuhkausuunit ovat pääasiassa polttoöljykäyttöisiä, kun taas uusimmissa yksiköissä on yleistynyt kaasukäyttöisten uunien käyttö.

Tarkasteltaessa 14 polttoöljyä käyttävän krematorion ympäristölupia vaatimukset ovat pääosin samankaltaisia, joskin yksittäisissä luvissa on huomioitu tapauskohtaisia erityispiirteitä. Polttoöljyn käyttöön kohdistuvat keskeiset vaatimukset ovat:

- rikkipitoisuuden enimmäisraja 0,10 %,
- polttoöljyn säilytys kaksivaippaisessa tai suoja-altaalla varustetussa säiliössä vuotoriskin minimoimiseksi, mikä on erityise tärkeää pohjaveden suojelun kannalta.

Sähkönkulutukseen liittyviä vaatimuksia ei ympäristöluvista juuri esiinny. Niissä kuitenkin viitataan yleisesti BAT-periaatteeseen, jonka mukaisesti energia- ja materiaalitehokkuus tulee huomioida. Tähän velvoittaa myös Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU 2017/852) eli elohopea-asetus ja Suomen Ympäristönsuojelulaki (Finlex, 2014).

Piippuun menevien savukaasujen lämpötilan pitämisestä vähintään 110 celsiusasteessa Helsingin komission määritelmien mukaisesti on myös mainittu kaikissa uusista ympäristöluvista (Helsingin komissio, 2008). Pohjaveden suojeluun liittyvät vaatimukset koskevat pääosin polttoöljyn varastointia, eikä muita velvoitteita ole yleensä asetettu.

Päästöraja-arvojen osalta valtaosa luvista viittaa Helsingin komission (HELCOM) suositukseen 29/1 (2008) (Helsingin komissio, 2008), joka koskee krematorioita, joissa suoritetaan yli 500 tuhkausta vuodessa. Suositus edellyttää BAT-tekniikoiden soveltamista päästöjen vähentämiseksi ja painottaa erityisesti kokonaispölyn, hiilimonoksidin ja elohopean raja-arvoja (taulukko 18).

Suosituksen tekniset vaatimukset sisältävät muun muassa:

- jälkipolttokammion lämpötilan nostaminen yli 800 °C ennen tuhkausten aloittamista ja sen ylläpitäminen koko prosessin ajan
- savukaasujen lämpötilan pitäminen vähintään 110 °C:ssa ennen piippuun ohjaamista,
- polttoilman syötön säätö siten, että savukaasujen ilmapäästöt alittavat tavoitearvot (Helsingin komissio, 2008)

Taulukko 18: Tuhkausten osuus Suomen suurimmissa kaupungeissa (Suomen evankelis-luterilainen kirkko, 2023).

Päästökomponentti	Raja-arvo (mg/Nm ³) *
Kokonaispöly	10
Hiilimonoksidi (CO)	50 (enintään 500 mg/Nm ³ kahden minuutin ajan)
Elohopea (Hg)	0,1

*Raja-arvot on ilmoitettu kuiville savukaasuille normaalilämpötilassa (0 °C) ja paineessa (101,3 kPa), happipitoisuuden ollessa 11-15 %.

Ympäristölupien mukaan krematorioiden mittauslaitteiston tulee vähintään sisältää automaattinen mittaus hapen pitoisuudelle, hiilimonoksidille sekä jälkipolttokammion lämpötilalle. Lisäksi on mitattava piippuun johdettavien savukaasujen lämpötila. Mittaustiedot on säilytettävä, ja laitoksen käyttöönoton jälkeen, viimeistään kolmen kuukauden kuluessa, on suoritettava suorituskykytesti. Testi koostuu kolmesta yhden tuhkaoksen pituisesta mittauksesta, joiden tarkoituksena on osoittaa päästöarvojen täyttyminen HELCOMin suosituksen mukaisesti.

Ennakkotapauksena voidaan pitää Vaasan hallinto-oikeuden ratkaisua, jossa Turun Pyhän Ristin kappelin krematoriolle määrättiin HELCOMin tiukemmat raja-arvot, vaikka EU:n vähimmäisvaatimukset olisivat riittäneet. Päätös on sittemmin huomioitu myös muiden yli 500 tuhkausta vuodessa suorittavien krematorioiden lupamääräyksissä.

Ympäristöluvuissa yleisesti mainittuja asioita ovat:

- HELCOM:n asetuksen noudattaminen
- savukaasujen happipitoisuuden pitäminen 6–12 %:ssa
- arkuissa ei saa olla PVC-muoviyhdisteitä
- vainajista ja arkuista tulee poistaa mahdollisia ylimääräisiä päästöjä tai vaaratilanteita aiheuttavat tekijät, kuten tahdistimet tai muut elektroniset laitteet
- toiminnasta aiheutuva melutaso ei saa lähimmällä asumiseen tarkoitetuilla alueilla ylittää 55 dB:n keskiäänitasoa (L) eikä yöaikaan 50 dB:n keskiäänitasoa Aeq (L).
- säännölliset mittaukset tuhkauskien savukaasuista
- Vuosittainen raportointi seuraavista aiheista:
 - polttoaineen kulutus
 - polttoaineen rikki- ja hiilipitoisuus
 - uunin käyttöaika ja -jaksot
 - tuhkauskmäärät

- tuhkausklämpötilat
- happimittaukset
- häiriötilanteet
- mitatut päästöarvot elohopean, hiilimonoksidin sekä hiukkaspäästöjen osalta
- muodostuneet jätemäärät, jäteluokat sekä jätteiden toimituspaikat

- ympäristöluvan haltijan on hyvässä ajoin kirjallisesti ilmoitettava valvontaviranomaiselle toiminnan pitkäaikaisesta keskeyttämisestä tai muista laitoksen valvonnan kannalta merkittävistä muutoksista
- Laitteiden säännöllinen tarkkailu ja viivytyksettömät korjaustoimet poikkeamien havaitessa.

Uusimmissa ympäristöluvuissa on tarkempia vaatimuksia päästöarvojen osalta, kuten esimerkiksi:

- hengitettävien hiukkasten (PM10) vuorokausiarvioiden tulee olla alueella 50–70 µg/m³ (ohjearvo 70 µg/m³) ja vuosikeskiarvo 9–11 µg/m³ (raja-arvo 40 µg/m³)
- Pienhiukkasten (PM2,5) vuorokausiarvot alueella ovat 15–20 µg/m³ (ohjearvo 25 µg/m³) ja vuosikeskiarvo 5–7 µg/m³ (raja-arvo 25 µg/m³)
- Vastaavasti mallilaskelmien perusteella typpidioksidin (NO₂) vuorokausiarvot ovat alueella 40–60 µg/m³ (ohjearvo 70 µg/m³) ja vuosikeskiarvo 10–15 µg/m³ (raja-arvo 40 µg/m³).

Mittausmenetelmien vertailukelpoisuus on erityisesti moderneissa ja modernisoiduissa laitteistoissa ollut käytännön haaste. Esimerkiksi sähkökäyttöisten tuhkausuunien lämpötilamittausmenetelmät eroavat polttoainekäyttöisistä uuneista, mikä on joissakin tapauksissa edellyttänyt laitetoimittajan lausuntoja laitteiden vastaavuudesta ja mittaustekniikan soveltuvuudesta viranomaiskäyttöön (DFW Europe, 2025).

9.4 Lainsäädännön muutostarpeet

Ympäristölupien mahdolliset muutostarpeet

Ympäristölupien keskeisiä tavoitteita tulisi olla energiatehokkuuden parantaminen, ympäristöstävällisyyden edistäminen ja ympäristöhaittojen minimointi. Energiatehokkuus ei ole pelkästään suositus, vaan olennainen osa luvittettavan toiminnan arviointia. Viranomaisilla on mahdollisuus edellyttää konkreettisia toimenpiteitä energian käytön tehostamiseksi ja lämmön hyödyntämiseksi.

Savukaasupäästöjen hallinnassa sovelletaan parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) periaatetta, jonka tavoitteena on minimoida ympäristövaikutukset teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisilla menetelmillä. BAT on määritelty ympäristönsuojelulaissa 527/2014 (Finlex, 2014), ja sen soveltaminen perustuu EU:n teollisuuspäästädirektiiviin (IED, 2010/75/EU). Krematorioille ei ole erillistä EU:n BAT-vertailuasiakirjaa (BREF), mutta esimerkiksi HELCOMin suositus 29/1 tarjoaa viitekehysten parhaiden käytäntöjen soveltamiselle.

Krematoinnissa syntyvää lämpöenergiaa voidaan hyödyntää esimerkiksi rakennusten lämmityksessä. Lainsäädäntö ei tällä hetkellä velvoita lämmöntalteenottoon, mutta paikalliset ympäristönsuojeluviranomaiset voivat sisällyttää siihen liittyviä teknisiä ratkaisuja ympäristölupaehtoihin, mikäli niillä voidaan merkittävästi vähentää energiankulutusta tai päästöjä. Mahdollisia vaatimuksia ovat esimerkiksi automaattinen polttoaineen syöttö, savukaasujen lämmöntalteenotto ja energiankäytön optimoitijärjestelmät.

Nykyisissä luvissa energiatehokkuuteen liittyvät vaatimukset painottuvat kuitenkin pääosin savukaasujen pitoisuusarvoihin. Pienissäkin yksiköissä voidaan hyödyntää teollisen mitta-kaavan tehokkuusperiaatteita, ja lupamääräyksiä olisi mahdollista kehittää kannattavuus- ja käyttöasteperusteisesti. Esimerkiksi savukaasujen puhdistusmenetelmien ja -tasojen määrittely voisi perustua todellisiin käyttömaa-

riin ja ympäristövaikutuksiin, eikä ainoastaan HELCOMin vuoden 2008 suositukseen, joka koskee yli 500 tuhkausta vuodessa. Käytännössä monien laitosten käyttöaste on nykyisin 2–3 kertaa tätä korkeampi.

Mahdollisena muutostarpeena voidaan nähdä HELCOM:n suosituksen oikeudellisen aseman arviointi. Suositus on annettu vuonna 2008, ja sen päivittäminen olisi ajankohtaista. Mikäli se katsotaan lainvoimaisesti velvoittavaksi yli 500 tuhkaoksen vuosikäytöllä oleville krematorioille, olisi harkittava sen sisällyttämistä viralliseksi määräykseksi tai asetukseksi.

Nykyisissä ympäristöluissa huomio kiinnittyy ensisijaisesti savukaasujen pitoisuuksien laimentamiseen raja-arvojen tasolle. Energian- ja polttoaineenkulutusta ei käsitellä järjestelmällisesti, vaikka suuremmalla käyttöasteella eri energiamuotojen ja käyttökustannusten erot ovat merkittäviä. Lupakäytäntöön voitaisiin sisällyttää systemaattisempi tarkastelu energiatehokkuutta parantavista ratkaisuista, kuten lämmöntalteenoton ja suodatusratkaisujen hyödyistä ja kustannuksista.

Ruotsissa sähkökäyttöisten tuhkausuunien käyttöönottoon liittyväksi haasteeksi on tunnistettu mittausmenetelmien hyväksyntä ja standardointi. Ongelma liittyy erityisesti mittauspisteiden sijaintiin, mikä on aiheuttanut epäselvyyksiä mittaus tulosten vertailukelpoisuuden ja vaatimustenmukaisuuden arvioinnissa. Sähkökäyttöisessä tuhkausuunissa lämpötilaa ei kohota niinkään polttimen liekki vaan seinämille sijoitetut sähkövastukset, jolloin lämpötilan arviointi voi tuottaa hyväksynnän osalta erilaisia haasteita. HELCOM:n raportin mukaan lämpötilavaatimukset kohdistuvat ensisijaisesti jälkipolttokammioon. Tämä ei välttämättä vastaa Suomen kansallista vaatimustulkintaa, mikä voi aiheuttaa epäselvyyksiä. Vastaavassa tilanteessa Ruotsissa laitetoimittaja toimitti yhdenvertaisuuslausunnon (Letter of Equivalence), jonka perusteella menetelmä hyväksyttiin, vaikka lämpötilojen huiput sijaitsevatkin eri osissa tuhkausuunia. Mikäli jälkipolttokammion mittauspiste ja -menetelmät eivät ole tarkemmin määriteltyjä tämä ei välttämättä

tuota ongelmia Suomessa. Erilaisien sovellutuksien ja energiaratkaisujen yleistyessä olisi hyvä kiinnittää huomiota teknologianeutraaleihin valinta- ja hyväksyntäkriteereihin.

Käytössä olevien teknologioiden osalta eri komponenttien tehtävät ovat selkeästi eriytyneet. Jälkipolttokammion tarkoituksena on vähentää palamattomien yhdisteiden määrää savukaasuissa. Syklonisuodattimet poistavat raskaita ja kuumia hiukkasia, lämmöntalteenotto hyödyntää piipun kautta muutoin poistuvan lämpöenergian, aktiivihiilisuodattimet sitovat elohopeaa ja orgaanisia yhdisteitä, ja kangastai kuitusuodattimet vähentävät jäljellä olevia kiinteitä hiukkaspäästöjä. Monivaiheiset suodatinratkaisut voivat kuitenkin olla erityisen kuormittavia laitteistoille, joiden käyttömäärät ovat vähäisiä.

Ympäristölupaprosessissa tulisi arvioida realistinen siirtymäaika tavoiteltujen päästöarvojen saavuttamiseksi sekä toimenpiteiden taloudellinen kannattavuus. Vanhemmissa tuhkausuneissa suodatuslaitteiston käyttöönotto edellyttää yleensä lämmöntalteenottoa, mikä voi nostaa kustannukset useisiin satoihin tuhansiin euroihin. Mikäli laitteisto on lähellä käyttökänsä loppua, investointi ei välttämättä ole taloudellisesti perusteltu. Tällöin kustannustehokkaampi ratkaisu voi olla kokonaan uuden uunikokonaisuuden rakentaminen tai toimitilojen suunnittelu vastaamaan nykyisiä käyttö- ja tilatarpeita.

Siirtymäaika mahdollistaisi ympäristöluvan hakijalle eri vaihtoehtojen arvioinnin ja sopivimman toimintatavan valinnan ilman toiminnan keskeytymistä. Tämä on tärkeää, sillä yhdenkin krematorion poistuminen käytöstä voi lisätä kuljetusmatkoja, aiheuttaa tilankäytön haasteita, vähentää kylmäsäilytyskapasiteettia ja vaikeuttaa vainajien toiveiden toteuttamista.

Lämmöntalteenoton sekä suodatusvaihtoehtojen osalta olisi tarkoituksenmukaista esittää selkeää ohjausta ja suosituksia eri ratkaisumalleista. Samalla olisi hyödyllistä yhtenäistää raportointikäytäntöjä, sillä vuosittaiset raportit sisältävät pääosin samat tiedot. Valtakunnalli-

sen raportointipohjan käyttöönotto mahdollistaisi päästöjen ja niille asetettujen raja-arvojen esittämisen yhdenmukaisessa muodossa.

Ympäristöministeriö valmistelee parhaillaan lainsäädäntöhanketta, jonka tavoitteena on yhdistää keskeisten ympäristölakien mukaisten lupien käsittely yhdeksi yhtenäiseksi prosessiksi. Uudistuksen myötä esimerkiksi ympäristönsuojelulain, vesilain ja luonnonsuojelulain mukaiset luvat voitaisiin käsitellä samanaikaisesti, mikä johtaisi yhteen päätökseen ja valitusmahdollisuuteen. Tavoitteena on, että uusi lupa- ja valvontavirasto aloittaa toimintansa ja lainsäädäntö tulee voimaan 1.1.2026 (Ympäristöministeriö, 2025).

Lupaprosessien keskittämisen etuina voivat olla päätösten yhtenäistyminen, ennakoitavuuden parantuminen ja käsittelyaikojen lyheneminen erityisesti vihreän siirtymän hankkeissa. Mahdollisina haasteina voidaan nähdä paikallistuntemuksen puute, käsittelyruuhkien syntymisen riski, mikäli resursointi ei ole riittävää, sekä sidosryhmien kuulemisen väheneminen nopeutettujen menettelyiden ja paikallisten verkostojen puuttumisen vuoksi.

Investointitukien muutostarpeet

Nykyiset tukimuodot, kuten Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) ja Business Finlandin tarjoamat energiatehokkuus- ja uusiutuvan energian investointituet, ovat periaatteessa avoimia myös krematoriotoimijoille. Käytännössä tukien kohdentuminen on kuitenkin ollut rajallista. Yksi keskeinen syy on tukien painottuminen suuriin teollisiin hankkeisiin, joiden investointikustannukset ylittävät usein 5 miljoonaa euroa. Tällöin tukien hyödyntäminen voi käytännössä olla mahdollista vain useamman tuhkausuunin käyttöön suunnitelluissa ratkaisuisissa (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2025).

Krematoriotoimialan erityispiirteisiin kuuluvat suhteellisesti pienemmät investointikustannukset sekä toiminnan hajautunut luonne. Nämä eivät useimmiten täytä nykyisten tukiohjelmien kriteerejä. Tästä huolimatta esimerkiksi savukaasujen lämmön talteenottojärjestelmien tai energiatehokkaiden polttolaitteiden han-

kinta voisi merkittävästi vähentää päästöjä ja parantaa energiatehokkuutta. Erityisesti kokonaan kattavassa tarkastelussa näiden investointien vaikutus voisi olla huomattava, mutta nykyisin ne jäävät tukien ulkopuolelle pienemmän mittakaavansa vuoksi.

Elohopeapäästöt ja materiaalitehokkuus

Elohopea on tyypillisesti merkittävimpiä krematoriotoiminnan ympäristövaikutusten aiheuttajia, mutta päästöt ovat olleet tasaisessa laskussa. Tarkasteltaessa käytettävissä olevia mittaustietoja vuodesta 2006 alkaen on havaittavissa, että tuhkauskohdaiset elohopeapäästöt ovat vähentyneet selkeästi useissa mitatuissa kohteissa (taulukko 19).

Lukujen tarkastelun tueksi voidaan muodostaa eksponentiaalinen trenditaulukko, joka osoittaa päästömäärien selkeän laskevan kehityssuunnan (kuva 24). Mikäli vuosien 2019 ja 2024 välinen muutos jatkuu trendiviivan mukaisesti, arvioidaan vuoden 2024 päästömääräksi

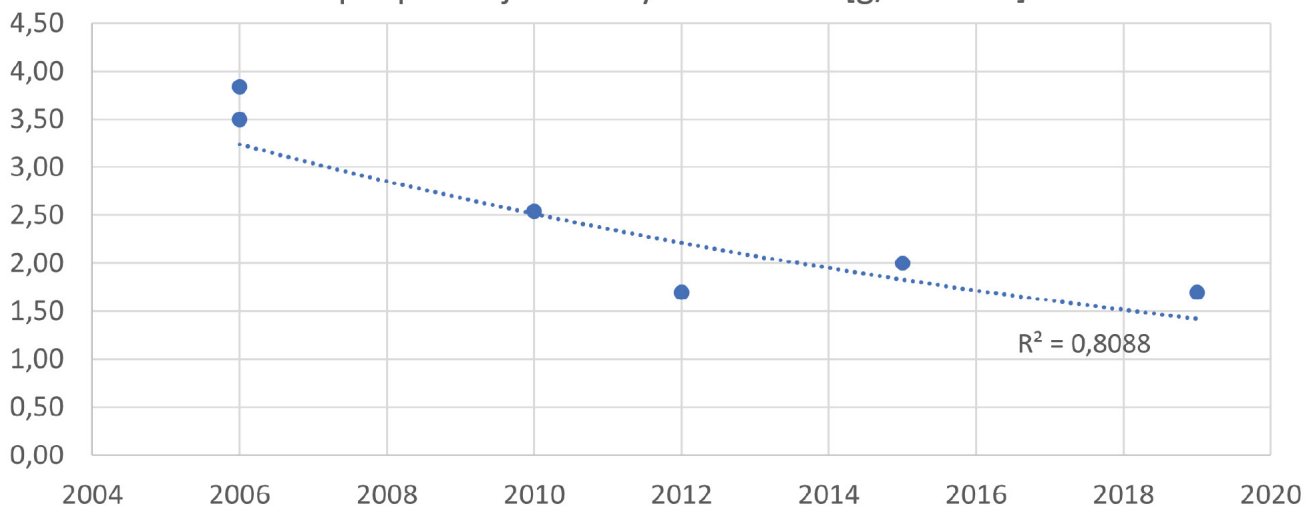
noin 0,6 g elohopeaa yhtä tuhkausta kohden (kuva 25). Ennusteen mukaan määrä laskisi vuoteen 2029 mennessä noin 0,2 grammaan. Kehityksen jatkuessa nykyisellä tasolla elohopeapäästöjen suhteellinen merkitys saattaa tulevaisuudessa pienentyä, mikä johtuu erityisesti amalgaamipaikkojen poistamisesta ja niiden käytön vähenemisestä. Tämän vuoksi suodatusratkaisujen tarpeellisuus pelkästään elohopeapäästöjen hallinnan näkökulmasta voi pitkällä aikavälillä olla vähäisemmässä roolissa.

Materiaalitehokkuuden näkökulmasta merkittävä huomio kohdistuu erikoismetallien talteenottoon ja hyödyntämiseen. Useissa krematorioissa esimerkiksi tekonivelissä käytetyt erikoismetallit toimitetaan erilliskeräyksen kautta kierrätettäväksi esimerkiksi Alankomaihin tavanomaisen metallinkeräyksen sijaan. Menettely parantaa materiaalitehokkuutta, koska se ehkäisee metallilaitteiden sekoittumista ja vähentää tarvetta energiaintensiiviselle erotusprosessille metalliteollisuudessa.

Taulukko 19. Tuhkausmääriä sekä elohopeapäästöjen määrät tuhkauskohdaisesti 2006–2019 vuosien välillä.

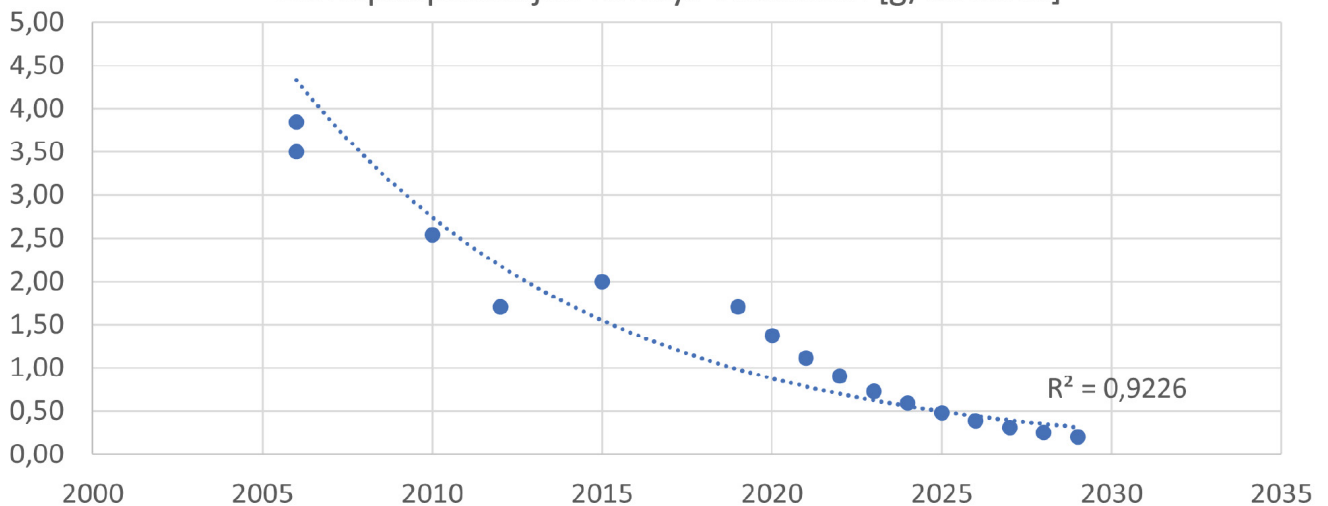
Krematorio	Vuosi	Tuhkauksia [kpl/v]	Elohopeapäästöt [kg/v]	Elohopeapäästöt [g/tuhkaus]
Helsinki, Hietaniemi	2006	1906	7,3	3,84
Helsinki, Malmi	2006	2000	7	3,50
Helsinki, Malmi ja Hietaniemi	2010	5000	12,7	2,54
Hämeenlinna	2012	2000	3,4	1,70
Kangasala, Vatiala	2012	2000	3,4	1,70
Lahti	2015	3000	6	2,00
Kokkola	2019	1000	1,7	1,70
Yhteensä		16906	41,5	2,426

Elohopeapäästöjen kehitys vuosittain [g/tuhkaus]



Kuva 22. Elohopeapäästöjen mitattuja tietoja vuosilta 2006–2019.

Elohopeapäästöjen kehitys vuosittain [g/tuhkaus]



Kuva 23. Elohopeapäästöjen eksponentiaalinen arvioitu kehitys vuosien 2006–2019 datan perusteella.

10. Kestävän kehityksen näkökulmat

10.1 Yritysvastuun raportointi

Krematorio voi sisällyttää kestävän kehityksen ja vastuullisuuden osaksi sekä strategista johtamista että päivittäistä toimintaa. Tämä edellyttää ympäristöön, sosiaalisiin vaikutuksiin ja hallintotapaan liittyvien mittareiden seurantaan, konkreettisten tavoitteiden asettamista sekä toimenpiteitä ympäristövaikutusten vähentämiseksi ja vastuullisuuden vahvistamiseksi. Vastuullisuuden raportointi voidaan toteuttaa avoimesti ja läpinäkyvästi sidosryhmille esimerkiksi VSME-standardin mukaisena kestävyysraporttina.

Kansainväliset esimerkit osoittavat, että krematorioiden vastuullisuusraportoinnissa korostuvat samat osa-alueet kuin VSME-standardissa (taulukko 20). Raportoinnin sisältöön voidaan sisällyttää esimerkiksi energiatehokkuus, lämmön talteenoton toteutustavat, hautausmaiden biologisen monimuotoisuuden edistäminen, jätteiden kierrätyksen kehittäminen sekä ilmanpäästöjen hallinta.

10.2 VSME

VSME (Voluntary Sustainability Reporting Standard for non-listed Micro-, Small- and Medium-Sized Enterprises) on Euroopan taloudellisen raportoinnin neuvoa-antavan ryhmän (EFRAG) kehittämä vapaaehtoinen kestävyysraportointistandardi, joka on suunnattu erityisesti pienille ja keskisuurille yrityksille. Vaikka standardi on ensisijaisesti laadittu pk-yrityksiä varten, sen periaatteita ja rakennetta voivat soveltaa myös julkiset organisaatiot kehittäessään omaa vastuullisuusraportointiaan. Raportointikehikko soveltuu siten myös krematoriotoimintaan, sillä se sisältää useita ympäristöön, sosiaaliseen vastuuseen ja hallintoon liittyviä kestävyysnäkökohtia, jotka ovat toimialalle olennaisia.

VSME jakautuu perusmoduuliin ja kattavaan moduuliin. Perusmoduulin tietosisältöä voidaan täydentää toimialakohtaisilla kestävyysmittareilla. Koska VSME-raportointia on tehty vasta vuodesta 2025 alkaen, krematoriotoimintaa koskevia raportteja ei ole vielä saatavilla.

Ympäristönäkökulmien osalta VSME edellyttää raportointia muun muassa:

Taulukko 20. Krematorion vastuullisuusraportin teemat vuodelta 2022 (Horizon Cremation, 2023).

Ympäristö	Yhteiskunta	Hallinto
Luonnonvarojen käyttö <ul style="list-style-type: none">• Energiankulutus• Vedenkulutus• Jäte ja kiertotalous Ilmastonmuutos <ul style="list-style-type: none">• Toiminnallinen hiilijalanjälki Scope 1, 2 ja 3• Uusiutuvan energian tuotanto Ilmanlaatu <ul style="list-style-type: none">• Elohopeapäästöjen vähentäminen• Typen oksidien päästöt• Ympäristövahingot / onnettomuudet Biodiversiteetti <ul style="list-style-type: none">• Biodiversiteetin nettohyöty (BNG)	Henkilöstö <ul style="list-style-type: none">• Terveys ja turvallisuus• Etninen tausta, monimuotoisuus ja osallisuus (EDI)• Koulutus• Henkilöstökysely/tyytyväisyys Yhteisöt <ul style="list-style-type: none">• Tuetut hyväntekeväisyyskohteet• Hyväntekeväisyyslahjoitukset• Yhteisön osallistuminen	<ul style="list-style-type: none">• Liiketoiminnan etiikka ja vaatimustenmukaisuus• Hallituksen kokoonpano ja toiminta• Käytännöt• Syyte- ja oikeudenkäyntiasiat• ESG-raportointi

- organisaatiolle myönnettyjen lupien puitteissa tehtävistä päästöraportoinneista (ilmaan, veteen ja maaperään)
- energian kulutuksesta (uusiutuvat ja uusiutumattomat energialähteet)
- hiilijalanjäljestä (Scope 1–2)
- vedenkulutuksesta
- biodiversiteettivaikutuksista
- vaarallisen ja ei-vaarallisen jätteen määräämistä ja sen käsittelystä.

Sosiaalisen vastuun näkökulmasta raportoidaan esimerkiksi:

- vakituisten ja määräaikaisten työntekijöiden määrä ja sukupuolijakauma
- työtapaturmat ja kuolemaan johtaneet onnettomuudet
- työntekijöiden palkan taso suhteessa kansalliseen vähimmäispalkkaan
- työehtosopimuksen piirissä olevien työntekijöiden osuus
- henkilöstön koulutustunnit vuodessa sukupuolen mukaan eriteltyinä.

Hallinnollisen vastuun osalta VSME:n mukainen raportointi kattaa muun muassa korrup-tioon ja lahjontaan liittyvät sakot ja sanktiot.

10.3 Kompensointijärjestelmät

Kompensointijärjestelmillä tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla voidaan hyvittää tuhkausk-sesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Krematoriotoiminnan harjoittajille voidaan suositella kompensointimahdollisuuksien tarkaste-lua osana vastuullisuus- ja ympäristöstrategiaa. Kompensointi voidaan toteuttaa esimerkiksi puunistutushankkeilla tai muilla toimenpiteillä, joilla pyritään sitomaan ilmakehästä vastaava määrä hiilidioksidia kuin toiminnassa syntyy.

Esimerkkinä Iso-Britannian Salisburyn krema-torio on arvioinut yksittäisen tuhkauksen aiheuttavan noin 160–190 kg hiilidioksidipääst-öjä. Yhden puun on arvioitu sitovan noin 167 kg hiilidioksidia vuodessa, mikä vastaa keski-

määrin yhden tuhkauksen päästöjä. Puun istu-tuksen hinnaksi on arvioitu noin 100–200 £ (120–230 €), ja krematorion määrittämä kom-pensointimaksu on 20 £ (25 €) tuhkauskelta (Salisbury City Council, 2022).

Samankaltaista mallia hyödyntää Skotlannis-sa Clyde Coast & Garnock Valleyn krematorio (Death Care Industry, 2025). Kompensointi voi toteutua myös muilla tavoin, kuten fos-siilivapaan sähkön käytöllä tai osallistumalla kotimaisiin hiilensidontahankkeisiin. Suo-messa esimerkiksi istutapuita.fi ja carboreal.fi tarjoavat palveluita, joissa kompensointi voidaan kohdentaa päästömäärien tai käyt-tömäärien mukaan, esimerkiksi istuttamalla puu jokaista tai joka kymmenettä tuhkausta kohden (Istutapuita, 2025).

Vapaaehtoisilla hiilimarkkinoilla on tarjolla useita vaihtoehtoja, kuten hiiliviljely ja erilai-set hiilensidontaprojektit. Ympäristöministeri-ön vapaaehtoisia hiilimarkkinoita käsittelevä tietopalvelu korostaa huolellista perehtymis-tä hankkeiden taustoihin, sertifiointeihin ja läpinäkyvyyteen. Myös Valtioneuvoston jul-kaisema opas Vapaaehtoisten ilmastotekojen edistäminen ilmastoyksiköillä esittelee hyviä käytäntöjä ja painottaa selkeiden yksikköjen, ymmärrettävyyden ja toiminnan läpinäkyvyy-den merkitystä.

10.4 Helsingin seurakuntayhty-män hiilineutraaliuden tavoitteet

Uuden vähähiilisen krematorion toteutus, jossa savukaasujen puhdistus ja lämmöntalteenotto sisällytetään prosessiin, tukee Helsingin seura-kuntayhtymän (HSRKY) hiilineutraaliustavoit-teita merkittävästi. Vuoden 2023 päästölasken-nan mukaan lämmitys aiheutti 31 % HSRKY:n kokonaispäästöistä, ja krematorioiden öljyn-kulutuksen osuus tästä oli noin 4 % (Hienonen, 2025). Modernisointi kohdistuu siten kahteen merkittävään päästölähteeseen: polttoaineisiin ja kiinteistöjen lämmitykseen.

Savukaasujen lämmöntalteenotto mahdollistaa hukkalämmön hyödyntämisen uudelleen. Yhden tuhkausprosessin aikana voidaan ottaa talteen keskimäärin noin 170 kWh lämpöenergiaa, ja järjestelmän huipputeho voi olla jopa 400 kW. Talteen otettu lämpö voidaan käyttää krematorion omissa tiloissa, ohjata alueen muihin rakennuksiin tai liittää seurakuntayhtymän laajempaan lämmitysverkkoon. Näin voidaan vähentää ostetun lämmitysenergian tarvetta ja siihen liittyviä epäsuoria Scope 2 -päästöjä.

Krematorion lämpö voi korvata päästöintensiivisempiä energiamuotoja, kuten fossiilipohjaista kaukolämpöä tai öljylämmitystä. Tämä tuottaa laskennallisen hyötypäästövähennyksen eli hiilikädenjäljen. Ratkaisu toimii myös pilottina kirkon laajemmassa ilmastotyössä ja osoittaa mahdollisuudet päästövähennysten saavuttamiseen teknologian avulla.

Yhteenvetona uusi vähähiilinen krematorio pienentää omaa hiilijalanjälkeään ja kasvattaa hiilikädenjälkeään, tukien samalla HSRKY:n päästövähennystavoitteita ja ilmastostrategian toimeenpanoa.

11. Yhteenveto ja johtopäätökset

Suomen hautauskulttuurissa tuhkaus on vakiinnuttanut asemansa yleisimpänä hautaustapana. Tuhkausten määrä on kolminkertaistunut viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana, ja vuonna 2024 jo yli 65 % vainajista tuhkattiin. Samalla uskonnollisiin yhteisöihin kuulumattomien osuus kasvaa, mikä lisää kysyntää tunnustuksettomille hautauspalveluille. Tämä kehitys edellyttää, että jokaisen uuden tai peruskorjattavan krematorion kapasiteetti mitoitetaan vähintään 20–30 % nykyistä suuremmaksi, jotta se vastaa kasvavaan tarpeeseen pitkällä aikavälillä.

Teknis-taloudellinen vertailu osoittaa, että sähkökäyttöinen tuhkausuuni on nykyisistä vaihtoehdoista vähäpäästöisin ja elinkaarikustannuksiltaan edullisin ratkaisu. Uusiutuvaa sähköä käytettäessä fossiiliset CO₂-päästöt jäävät käytännössä nolnaan, energiankulutus on polttoilmaa vaativia uuneja pienempi, eikä polttoaineen logistiikkaa tarvita. Vaikka hankintahinta on hieman kaas- ja öljyvaihtoehdoja korkeampi, elinkaarilaskelmat osoittavat kymmenien prosenttien säästöt käyttö- ja päästökompensaatiokuluissa.

Savukaasujen jäähdytys ja lämmöntalteenotto (LTO) ovat sekä ympäristön että talouden kannalta välttämättömiä. Lämpö voidaan hyödyntää kiinteistön lämmityksessä tai ohjata kaukolämpöverkkoon, jolloin syntyy suoraa kustannussäästöä ja positiivinen hiilikädenjälki. Tämä tukee myös Kirkon hiilineutraalius 2030 -tavoitetta.

Päästöjen hallinnassa paras käyttökelpoinen tekniikka edellyttää savukaasujen jäähdytyksen jälkeen sykloni-esierotusta, aktiivihiili-adsorptiota ja kangassuodatusta. Tällä kokoonpanolla hiukkas-, elohopea-, CO- ja NO_x-pitoisuudet alittavat raja-arvot selvästi. Sähköuunilla päästöt ovat keskimäärin vain kymmenesosa perinteisiin polttoainevaihtoehtoihin verrattuna.

Kannattavuus perustuu hukkalämmön hyödyntämiseen. Lämmöntalteenoton takaisinmak-

suaika on alle kymmenen vuotta, kun lämpö ohjataan myyntiin tai omaan lämmityskäyttöön; ilman hyötykäyttöä investointi muodostuu kuluksi. ORC-turbiini voi olla vaihtoehto 200–400 kW lämpövirran muuntamiseksi 20–30 kWe sähköksi, mutta edellyttää lisäselvityksiä.

Kaksivuorotyö tehostaa uunien käyttöä, alentaa energiankulutusta ja vähentää erityisesti fossiilisten polttoaineiden päästöjä. Sähkökäyttöisissä vaihtoehdoissa päästövähennykset ovat erityisen merkittäviä, ja vihreän sähkön käyttö voi poistaa sähkönkulutuksesta aiheutuvat fossiiliset päästöt kokonaan.

Nykyinen lainsäädäntö ei mahdollista vesituhkausta tai kompostointia, mutta mahdollisiin pilotteihin on syytä varautua. Mikäli sähkökytkentä tai riittävä teho (≥ 400 kW) ei ole käytettävissä, biometaani on suositeltava välivaihtoehto.

Energiahintojen volatiliiteetti, mahdolliset EU-päästörajoiden kiristykset sekä elohopeapaikkojen väheneminen luovat epävarmuutta, joten varsinaiseen hankesuunnitteluun on sisällytettävä skenaario- ja herkkyysanalyysit polttoaine- ja sähköhinnoille sekä lainsäädännön muutoksille.

Lopuksi uuden laitoksen käyttöönottoon on rakennettava reaaliaikainen SCADA-pohjainen seuranta, joka mittaa energiankulutuksen ja päästöt uunikohtaisesti. Näin toiminnan optimointi voidaan tehdä faktapohjaisesti ja avoimesti raportoiden.

Yhteenvetona: sähkökäyttöinen uuni yhdistettynä BAT-tason lämmöntalteenottoon ja savukaasujen puhdistukseen vastaa parhaiten teknisiä, taloudellisia ja ilmastollisia tavoitteita, ja suunnittelu tulisi käynnistää skaalautuva kapasiteetti ja tulevien lakimuutosten pilotointivalmius huomioiden.

11.2 Suositukset vähähiilisen krematorion hankintaan

Ensisijaisena vaihtoehtona suositellaan sähkökäyttöistä, BAT-teknologiaan perustuvaa uunina, joka tuottaa pienimmät elinkaaripäästöt ja on energiankulutukseltaan tehokkain. Uusiutuvan sähkön käyttö ja riittävä liitântäteho (≥ 400 kW) on varmistettava jo tarjouspyyntövaiheessa, ja sähkösopimuksen hiilineutraalius on keskeinen edellytys.

Savukaasujen jäädytys ja lämmöntalteenotto tulee integroida järjestelmään vähintään 85 % hyötysuhteella ja mitoittaa vastaamaan noin 170 kWh/vainaja lämpövirtaa. Kapasiteetin tulee olla modulaarinen (20–30 % laajennusvara) sekä uunien että jäädytys- ja LTO-ratkaisujen osalta. Puhdistusketjun on oltava BAT-tasoa (sykloni + aktiivihiili + kangassuodatin), jolloin pöly-, elohopea- ja NO_x-päästörajat alittuvat selvästi.

Hukkalämmön hyödyntämiseksi on laadittava erillinen suunnitelma, jossa mahdollisia käyttökohteita ovat kiinteistön oma lämmitys, kaukolämpöverkko tai ORC-sähköntuotanto. Toimintavarmuuden lisäämiseksi voidaan sisällyttää optio biometaanikäytölle, joka mahdollistaa fossiilipäästöjen poistamisen myös sähkösaannin rajoitustilanteissa.

Tarjousvertailussa voidaan käyttää hiilikädenjälkikriteeriä, joka pisteyttää ratkaisut niiden tuottaman nettopäästövähennyksen perusteella. SCADA-pohjainen reaaliaikainen energian ja päästöjen seuranta uunikohtaisesti tukee toiminnan optimointia ja läpinäkyvää raportointia. Energiahintojen ja sääntelyn muutoksiin varautuminen edellyttää herkkyyss- ja skenarioanalyysiä. Sopimukseen on syytä sisällyttää indeksiehdot ja palveluhintojen tarkistusmahdollisuus. Pitkäaikainen huolto- ja suodatinvaihtosopimus on hyvä kilpailuttaa, sillä savukaasulaitteiden suodattimet vaihdetaan tyypillisesti noin 10 vuoden välein.

Näiden suositusten sisällyttäminen tarjouspyyntöön varmistaa, että uusi krematorio täyttää ilmasto- ja talousvaatimukset sekä säilyttää muutosjoustavuuden tulevien teknologioiden käyttöönnotolle.

11.3 Strategiset linjaukset ja tulevaisuuden näkymät

Uusi vähähiilinen krematorio tukee Helsingin seurakuntayhtymän ilmastotavoitteita kahdella tavalla: se vähentää omaa hiilijalanjälkeään hyödyntämällä sähköä ja puhtaampia polttoaineita sekä kasvattaa hiilikädenjälkeään ottamalla talteen savukaasujen lämpöä, joka voi korvata päästöintensiivisempää lämmitysenergiaa. Hanke vähentää merkittävästi yhtymän lämpöperusteisia päästöjä ja toimii pilottikohteena kirkon ilmastotyölle sekä Hiilineutraali kirkko 2030 -tavoitteiden saavuttamiselle.

12. Loppuraportin hyödyntäminen

Helsingin seurakuntayhtymän hanke

Selvitys on laadittu ensisijaisesti Helsingin seurakuntayhtymän päätöksenteon ja hankesuunnittelun tueksi. Sen pohjalta voidaan määrittää uuden krematorion tekniset vaatimukset, ympäristötavoitteet ja elinkaarikustannuksiin perustuvat arviointikriteerit. Oikeudelliset ja hallinnolliset analyysit varmistavat, että ratkaisut täyttävät sekä toiminnalliset että säädökselliset edellytykset. Raportti toimii samalla projektinhallinnan työkaluna hankkeen valmistelussa ja kilpailutuksessa.

Suomen seurakunnat

Raportti tarjoaa käytännön käsikirjan seurakunnille, jotka suunnittelevat uusia investointeja tai olemassa olevien laitosten teknologisia päivityksiä. Tekninen vertailu, päästölaskelmat ja taloudelliset arviot ovat suoraan sovellettavissa myös muiden suurten seurakuntayhtymien suunnittelussa. Selvityksen sisältöä voidaan hyödyntää strategisessa päätöksenteossa sekä valtakunnallisten linjausten valmistelussa, esimerkiksi energiaratkaisuihin tai toimialasuosiin liittyen.

Rakennusalan oppilaitokset

Raportin tekninen ja ympäristöpainotteinen sisältö soveltuu opetuskäyttöön rakennus-, energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelmissa. Se tarjoaa esimerkin perinteisen infrastruktuurin kehittämisestä vähähiilisyysnäkökulmasta ja havainnollistaa, kuinka ilmastotavoitteet ja lainsäädäntötavoitteet voidaan integroida julkisiin rakennushankkeisiin.

Kansallinen ja pohjoismainen yhteistyö

Selvitys julkaistaan myös ruotsiksi ja sen tiivistelmä englanniksi, mikä mahdollistaa selvityksen hyödyntämisen kansainvälisessä, erityisesti pohjoismaisessa yhteistyössä. Suomessa, Ruotsissa ja muissa Pohjoismaissa käydään samansuuntaista keskustelua hautauskulttuurin muutoksesta ja ilmastotavoitteista. Raportti tarjoaa vertailupohjaa kansalliselle lainsäädännölle, ympäristösääntelylle ja energiainfrastruktuurille, ja se voi toimia keskustelunavauksena yhteistyöverkostoissa tai tausta-aineistona yhteishankkeissa ja EU-rahoitteisissa projekteissa, jotka tähtäävät vähähiilisiin ratkaisuihin palvelurakentamisessa.

13. Liitteet

13.1 Kyselytutkimuksen vastauksien tiivistelmä

Liitteissä 1–3 on esitetty Macon Oy:n kokooman kyselytutkimuksen keskeiset kysymykset ja niihin saadut vastaukset. Vastaukset on ryhmitelty erikseen öljy- ja kaasukäyttöisten krematorioiden osalta, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia. Kysymyskohdat, joihin ei ole saatu vastausta tai tietoa, on jätetty pois tiivistelmästä.

Liitteessä 4 on esitetty sähkökäyttöisiä tuhkausuuneja toimittavan DFW:n laatima esimerkki yhdenvertaisuustodistuksesta. Dokumentti voi olla tarpeellinen esittää ympäristöviranomaisille, koska sähkökäyttöisissä uuneissa lämpötilajakauma poikkeaa perinteisistä polttoainekäyttöisistä ratkaisuista. Sähköuunissa kuumimmat pisteet sijaitsevat sähkövastusten läheisyydessä, eivätkä uunin keskiosassa, kuten polttoainekäyttöisissä uuneissa. Mikäli lämpötilamittaus tehdään uunin keskeltä, tulos voi olla alempi, vaikka uunin kokonaislämpötila olisi vaatimusten mukainen.

14. Kiitokset ja selvityksen tekijät

14.1 Yhteistyökumppanit ja asiantuntijat

Tämä selvitys on laadittu laajassa yhteistyössä useiden asiantuntijoiden, viranomaisten ja sidosryhmien kanssa. Helsingin seurakuntayhtymä kiittää kaikkia niitä henkilöitä ja organisaatioita, jotka ovat osallistuneet tiedonkeruuseen, haastatteluihin, kommentointiin ja arviointiin.

Erityiskiitokset osoitetaan:

- Kirkkohallitukselle asiantuntijatuesta ja valtakunnallisesta näkökulmasta
- Suomen Krematoriosäätöille toimialatiedon jakamisesta ja keskustelusta käytännön haasteista
- Ympäristöministeriölle, joka on rahoittanut selvityksen osana Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelmaa EU:n elpymisrahoituksesta (RRF)
- Teknologiatoimittajille ja suunnittelutoimistoille, jotka jakoivat tietoa ratkaisuisiaan ja niiden soveltuvuudesta suomalaisiin olosuhteisiin
- Krematoriotoiminnan asiantuntijoille ja ympäristölupaviranomaisille, jotka auttoivat sääntelyn ja käytännön näkökulmien jäsentämisessä

Kiitämme myös seurakuntien ja krematorioiden työntekijöitä sekä asiantuntijoita eri puolilta maata, jotka osallistuivat kyselyihin tai jakoivat tietoa ja kokemuksia omista krematorioprosesseistaan.

14.2 Konsulttiryhmän esittely

Selvityksen on toteuttanut asiantuntijakonsortio, johon on kuulunut seuraavat organisaatiot ja vastuhenkilöt:

Macon Oy

- Mikko Ahokas – projektipäällikkö
- Aleksi Rautavuori – krematoriokyselyn toteutus
- Jussi Järvenpää – elinkaarilaskenta, LTO-, ORC- ja savukaasujen puhdistusteknologiat sekä uusiutuvan energian hyödyntäminen
- Joni Saviniemi – ympäristö- ja päästölaskelmat, uuniteknologiat ja ympäristölupavaatimukset
- Saana Simula – lainsäädäntö ja yhtiöittämiin liittyvät osuudet
- Johanna Alakerttula – vastuullisuusnäkökulmat
- Heidi Happonen – uudet hautausmenetelmät sekä kulttuuriset ja sosiaaliset näkökulmat

KPF Oy

- Eelis Paukku – lainsäädännöllinen ja hallinnollinen osuus

Konsulttiryhmä työskenteli tiiviissä yhteistyössä Helsingin seurakuntayhtymän projektiryhmän kanssa varmistaakseen selvityksen kattavuuden, laadun ja käytännön hyödynnettävyyden. Työ sisälsi asiantuntijahaastattelut, tiedonhankinnan, teknisten vaihtoehtojen mallinnuksen, päästölaskennan ja raportin kirjoittamisen. Ryhmän yhteystiedot julkaistaan raportin julkaisun yhteydessä.

15. Julkaisutiedot ja jatkokäyttö

15.1 Raportin kieliversiot ja julkaisu

Tämä raportti on laadittu suomeksi ja ruotsiksi. Se julkaistaan PDF-muodossa Helsingin seurakuntayhtymän verkkosivuilla sekä Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelman (YM) tiedotuskanavissa. Raportista laaditaan tiivistetty englanninkielinen yhteenveto kansainvälistä viestintää ja asiantuntijavaihtoa varten. Raportin viittauskelpoinen versio sisältää ISBN- ja URN-tunnisteet ja se arkistoidaan osaksi Helsingin seurakuntayhtymän virallista dokumentaatiota.

15.2 Tiedotus ja jakelukanavat

Raportin julkaisemisen yhteydessä järjestetään kohderyhmille suunnattua viestintää, kuten:

- Sähköinen jakelu seurakuntien, krematoriosäätiöiden ja viranomaisten verkostoihin
- Tiedote Kirkon viestintäkanavissa ja alan ammattijulkaisuissa
- Julkinen nosto ympäristöministeriön ohjelmavivustolla ja mahdollisesti ympäristöalan medioissa

Tavoitteena on varmistaa, että raportti tavoittaa mahdollisimman laajasti ne tahot, jotka voivat hyödyntää sen tuloksia päätöksenteossa tai alan kehittämisessä.

15.3 Webinaarit ja tiedotustilaisuudet

Raportin julkaisun yhteydessä tai sen jälkeen tullaan järjestämään yksi tai useampi webinaari, jossa esitellään keskeiset tulokset ja suositukset. Webinaarit ovat avoimia kaikille aiheesta kiinnostuneille ja niihin kutsutaan erityisesti seurakunnat, alan ammattilaiset, opiskelijat sekä viranomaisedustajat. Webinaareista ilmoitetaan erikseen Helsingin seurakuntayhtymän ja Kirkkohallituksen tiedotuskanavissa.

Tarvittaessa järjestetään myös erillisiä asiantuntijatilaisuuksia esimerkiksi teknologia- ja suunnittelutoimistoille tai ympäristöhallinnon virkamiehille, mikäli raportin tulokset vaativat tarkempaa tulkintaa hankekohtaisissa sovelluksissa.

Lainatut lähteet

- Alakangas, E.;Hurskainen, M.;Laatikainen-Luntama, J.;& Korhonen, J. (2016). *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia*. Jyväskylä: VTT.
- ATI Industries. (2025). Cremation line description.
- Beck, C. J. (2024). Die Reerdigung – Eine neue Bestattungsform aus forensischer Sicht. *Archiv für Kriminologie*, 1-13.
- Carubia, J. (2013). Sustainable End-of-Life Arrangements: An overview. *Proceedings of the National Conference on Undergraduate Research (NCUR)*. University of Wisconsin La Crosse.
- Cassidy, L. (10. 3 2025). Recompose Ltd. edustaja. (H. Happonen, Haastattelija)
- Clifton Scannell Emerson Associates. (2018). *Report for Dun Laoghaire Rathdown County Council on Water Cremation/Resomation*. Dublin: Clifton Scannell Emerson Associates Ltd.
- Crematech. (2025). *Cremation Equipment*. Noudettu osoitteesta: <https://www.crematech.nl/crematech-cremators/?lang=en>
- Cryomation Ltd. (2025). *Cryomation: The sustainable alternative to burial and cremation*. Noudettu osoitteesta: <http://cryomation.co.uk/cryomation/>
- Death Care Industry. (13. 05. 2025). *Award winning Scottish crematorium sets out on a green mission to offset its LPG usage*. Noudettu osoitteesta: <https://deathcareindustry.com/award-winning-scottish-crematorium-sets-out-on-a-green-mission-to-offset-its-lpg-usage/>
- DFW Europe. (29. 01. 2025). *Cremation Equipment & Crematory Products*. Noudettu osoitteesta: <https://dfweurope.com/>
- Do, E. (2024). Human composting as an option for final disposition: Public health considerations in light of the COVID-19 pandemic and its implications on the human composting movement. *Houston Journal of Health Law & Policy*, 1-34.
- EFFS. (2007). *The cross-border transport of bodies within the European Union*. Noudettu osoitteesta: <https://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/resources/docs/117-private-act.pdf>
- EFRAG. (2025). *Voluntary reporting standard for SMEs*. Noudettu 16. 05. 2025 osoitteesta: <https://www.efrag.org/en/projects/voluntary-reporting-standard-for-smes-vsme/concluded>
- Energiavirasto. (2023). *Energiavirasto*. Noudettu osoitteesta: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/13026619/Kaasun+toimitusvarmuus+vuonna+2023.pdf>
- Energy Education. (06. 12. 2025). *Organic Rankine cycle*. Noudettu osoitteesta: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Organic_Rankine_cycle?utm_source=chatgpt.com
- Espoon kaupungin ympäristölautakunta. (2015). *Ympäristölupapäätös Dnro 5151/11.01.00/2014*. Espoo: Espoon kaupunki, ympäristölautakunta.
- Euroopan parlamentti ja neuvosto. (2010). *Direktiivi 2010/75/EU teollisuuden päästöistä*. Noudettu osoitteesta: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0075>
- Euroopan parlamentti ja neuvosto. (19. 06. 2024). *Asetus 2024/1849 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2017/852 muuttamisesta elohopean osalta*. Noudettu osoitteesta: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1849>
- European Commission. (2023). *Commission Staff Working Document – Impact Assessment Report: Accompanying the document Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council amending Regulation (EU) 2017/852 on mercury as regards dental amalgam and other mercury-added pro*. Noudet-

- tu osoitteesta: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023SC0170>
- European Crematoria Network. (30. 05. 2008). Manifesto: Cremation and respect for the environment – The recommendations of crematorium managers brought to the attention of regional, national and European authorities.
- Fingrid. (2025). *Fingrid*. Noudettu osoitteesta: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/>
- Finlex. (16. 12. 1994). *Terveydensuojeluasetus 1280/1994*. Noudettu osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1994/1280>
- Finlex. (19. 03. 1999). *Laki takauksesta ja vierasvelkapanttauksesta 361/1999*. Noudettu osoitteesta: <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/1999/361>
- Finlex. (16. 03. 2001). *Yritys- ja yhteisötietolaki 244/2001*. Noudettu osoitteesta: <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/2001/244>
- Finlex. (13. 06. 2003). *Hautausoimilaki 457/2003*. Noudettu osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2003/457>
- Finlex. (21. 07. 2006). *Osakeyhtiölaki 624/2006*. Noudettu osoitteesta: <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/2006/624>
- Finlex. (21. 06. 2011). *Jätelaki 646/2011*. Noudettu osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2011/646>
- Finlex. (23. 04. 2012). *Valtioneuvoston asetus jätteistä 179/2012*. Noudettu osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2012/179>
- Finlex. (27. 04. 2014). *Ympäristönsuojelulaki 527/2014*. Noudettu osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2014/527>
- Finlex. (27. 4. 2014). *Ympäristönsuojelulaki 527/2014*. Noudettu osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2014/527>
- Finlex. (23. 11. 2021). *Valtioneuvoston asetus jätteistä (978/2021)*. Noudettu osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2021/978>
- Finlex. (10. 06. 2022). *Ilmastolaki 423/2022*. Noudettu osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2022/423>
- Gasum. (2025). *Miten biokaasua tuotetaan*. Noudettu osoitteesta: <https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/biokaasu-ja-nesteytetty-biokaasu-lbg/miten-biokaasua-tuotetaan/>
- Harvey, T. (2023). Ashes to Ashes: The Transformation of Cremation and Its Cultural Meanings. *Mortality*, 437-455.
- Hausjärven ympäristölautakunta. (2017). *Ympäristölupa, Hyvinkään seurakunnan krematorio*. Hausjärven kunta.
- Health Council of the Netherlands. (2020). *The admissibility of new techniques of disposing of the dead*. The Hague: Health Council of the Netherlands.
- Heikkilä, L. (2018). *Kymen krematorion lämmöntalteenoton suunnittelu*. Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulu, Energiatekniikan koulutus. XAMK.
- Heinicke GmbH. (2025). Noudettu osoitteesta: <https://www.heinicke-gmbh.de>
- Helsingin juutalainen seurakunta. (2025). Noudettu osoitteesta: <https://jchelsinki.fi/juutalaisuus/elamankaari/#:~:text=Juutalainen%20haudataan%20yksinkertaisessa%20arkussa%20ja,Israelissa%20haudataan%20ilman%20arkkua>
- Helsingin kaupungin ympäristölautakunta. (2006). *Ympäristölupa: Malmin krematorio*. Helsinki: Helsingin seurakuntayhtymä.
- Helsingin kaupungin ympäristölautakunta. (2010). *Ymk 2010-2757*. Helsinki: Helsingin ympäristölautakunta.
- Helsingin komissio. (1 2008). *Helsingin komission suositus 29/1*. Noudettu osoitteesta: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/06/Rec-29-1.pdf>
- HHC earth. (12. 08. 2024). *HHC*. Noudettu osoitteesta: <https://www.hhc.earth/knowledge-base/client-case-dela-a-comparative-lca-study-on-various-methods-of-the->

disposal-of-human-bodies

- Hienonen, E. (04. 02. 2025). *Mitä tiekartta kertoo meille? Kirkon hiilineutraalustiekartasta seurakunnan tiekarttaan*. Noudettu osoitteesta: <https://evl.fi/plus/wp-content/uploads/sites/3/2025/02/Elina-Hienonen-tiekarttatyopa-ja-0402-2025.pdf>
- Hienonen, E.;& Kylmäkoski, T. (21. 01. 2025). Ohjausryhmäpalaveri. (S. Joni;M. R. Aho-kas;& J. Järvenpää, Haastattelijat)
- Horizon Cremation. (2023). Environmental, Social and Governance (ESG) Report 2022. Noudettu osoitteesta https://horizoncremation.co.uk/wp-content/uploads/2023/05/Horizon_ESG_2022_v1.0_22052023.pdf
- Häkkilä, R. (2023). *Krematorion lämpöenergian hyödyntäminen rakennuksen lämmitysjärjestelmissä*. Oulun ammattikorkeakoulu, Talotekniikan tutkinto-ohjelma. Oulu: OAMK. doi: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202303274183>
- Hämeenlinnan kaupungin ympäristö- ja rakennuslautakunta. (2012). *Vuorentaan krematorion ympäristölupa*. Hämeenlinna: Hämeenlinnan kaupunki.
- IFZW International. (5 2025). *IFZW International*. Noudettu osoitteesta: <https://www.ifzw.de/en/>
- Imatran kaupungin ympäristö- ja rakennusvalvonta. (2002). *Imatran seurakunnan ympäristölupahakemus krematoriolle*. Imatra: Imatran kaupunki.
- Istutapuita. (13. 5 2025). *istutapuita.fi*. Noudettu osoitteesta: <https://istutapuita.fi/>
- Kajaanin ympäristötekniikan lautakunnan lupajaosto. (2018). *Päätös Kajaanin seurakunnan ympäristölupahakemuksesta*. Kajaani: Kajaanin kaupunki.
- Kangasalan kunta, Rakennus- ja ympäristölautakunta. (2012). *Ympäristölupahakemus, krematorio*. Kangasala: Kangasalan kunta.
- Kansalaisaloite. (18. 10 2024). *Kansalaisaloite*. Noudettu osoitteesta [Hautaustoimilakiin tulee sisällyttää myös kompostointihau-](https://www.kansalaisaloite.fi/)
- taus ja vesituhkaus: <https://www.kansalaisaloite.fi/fi/aloite/14246>
- Keijzer, E. (2015). *The environmental impact of activities after life: life cycle*. Springer. doi: 10.1007/s11367-016-1183-9
- Kivimaa, P. (29. 01. 2025). Arkkujen koostumus. (J. Saviniemi, Haastattelija)
- Kokkolan kaupungin Rakennus- ja ympäristölautakunta. (2019). *Ympäristölupa (YSL 27§)/ Krematorio, Kokkolan seurakuntayhtymä*. Kokkola: Kokkolan Rakennus- ja ympäristölautakunta.
- Kokoomusnuoret. (01. 06. 2022). Aloite ihmisruumiin hautaamista kompostointimenetelmällä. Kalajoki.
- Korkiakangas, J. (04. 02. 2025). Hautaustoimenpäällikön haastattelu. (H. Happonen, Haastattelija) Kokkola.
- Korpela, S. (30. 10. 2015). *Kirkko & kaupunki*. Noudettu osoitteesta: <https://www.kirkkojakaupunki.fi/-/kukin-kulttuuri-hautaa-omalla-tavalla-1>
- Kuopion kaupungin alueellinen ympäristönsuojelu. (2021). *Päätös ympäristöluvan muutoksesta*. Kuopio: Kuopion kaupunki.
- Kuopion kaupungin ympäristölautakunta. (2021). *Ympäristölupapäätös, Krematorio, Kuopion evankelis-luterilainen seurakuntayhtymä*. Kuopio: Kuopion kaupunki.
- Kuronen, M. (2019). *Funeral Service Development for Needs in the Near Future: Utilizing Design Thinking and a Future-oriented Approach in the Development of Finnish Funeral-related Services and Business*. Yrkeshögskolan Novia.
- Kuronen, M. (2022). *Systemic Design Approach to the Finnish Funeral Ecosystem*. Lapin yliopisto.
- Lagoeiro, H.;Davies, G.;Solman, N.;Elmes, D.;& Maidment, G. (01. 10 2024). *The potential of crematoria as a recoverable waste heat resource for district heating in the UK*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132886>
- Lahden Kaupunki. (2022). *Lahdessa jälleen innovatiivinen kiertotalousratkaisu -*

- Hartwall korvaa maakaasun biokaasulla.* Noudettu osoitteesta: <https://www.lahti.fi/uutiset/lahdessa-jalleen-innovatiivinen-kiertotalousratkaisu-hartwall-korvaa-maakaasun-biokaasulla/>
- Lahden kaupunki. (12. 06. 2025). *Hiilineutraali Lahti.* Noudettu osoitteesta: <https://www.lahti.fi/kaupunki-ja-paatoksentekoymparistokaupunki/hiilineutraali-lahti/>
- Lahden seudun ympäristölautakunta. (2015). *Ympäristölupa Levon krematorio.* Lahti: Lahden kaupunki.
- Law commission. (2025). *New funerary methods.* Noudettu osoitteesta: <https://lawcom.gov.uk/project/new-funeral-methods/>
- Lee, K.-H.;Huang, C.-C.;Chuang, S.;Huang, C.-T.;Tsai, W.-H.;& Hsieh, C.-L. (16. 02. 2022). *Energy Saving and Carbon Neutrality in the Funeral Industry.* Noudettu osoitteesta: <https://doi.org/10.3390/en1504145>
- Lehtinen, M. (2016). *Nesteytettyä maakaasua polttoaineena käyttävien alusten turvallisuus.* Kotka: KYAMK.
- Lehto, R. (2024). *Honkanummen krematorion ympäristölupahakemus.* Vantaa: AVI.
- Luuru, A. (05. 2021). *Biokaasun tuotannon mahdollisuudet Hailuodossa.*
- Macon Oy. (03. 2025). *Kyselytutkimus Suomen krematorioille.*
- Montse, M.;& Domingo, J. L. (01. 2010). *Science Direct.* Noudettu osoitteesta: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412009002050?via%3Dihub>
- Motiva Oy. (2013). *Biokaasun tuotanto maatilalla.* Helsinki: Motiva Oy.
- Motiva Oy. (2018). *Biokaasun energiatehokkaat käyttöratkaisut.* Motiva.
- Mykkänen, K.;& Toikka, T. (21. 9 2023). *Valtioneuvoston U-kirjelmä.* Helsinki: Eduskunta.
- National Agricultural Biosecurity Center. (2004). *Carcass Disposal: A Comprehensive Review.* Manhattan, KS: Kansas State University.
- Neste Oyj. (2025). *Neste polttoöljyt 2025.*
- NSW Government. (2024). *Crematoria emissions guidance note.* NSW Government.
- Oikeusministeriö. (2014). *Lainkirjoittajan opas.* Noudettu osoitteesta: <https://lainkirjoittaja.finlex.fi/>
- Olofsson, P. (31. 1 2022). *Energi&miljö.* Noudettu osoitteesta: <https://www.energi-miljo.se/doda-stockholmare-blir-fjarrvarme/>
- ortodoksi.net. (2025). *Kuoleman kohdassa.* Noudettu osoitteesta: https://www.ortodoksi.net/index.php/Kuoleman_kohdatassa
- OSPAR Commission. (2003). *Mercury emissions from crematoria and their control in the OSPAR Convention Area.* OSPAR Commission.
- Oster, L. (27. 07. 2022). *Smithsonian Magazine.* Noudettu osoitteesta: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/could-water-cremation-become-the-new-american-way-of-death-180980479/>
- Oulun seudun ympäristölautakunta. (2018). *Oulun evankelis-luterilaisen seurakuntayhtymän krematorion toiminnan ympäristölupa.* Oulu: Oulun Kaupunki.
- Outi Aitto-Oja, E. N. (07. 04. 2025). *Krematorion päästömittaukset.* (J. Järvenpää, Haastattelija)
- Palo, H. (07. 02. 2025). *Ohjausryhmäpalaveri.*
- Penttinen, J.-P. (04. 2025). *Lahden krematorio.* (J. Järvenpää, Haastattelija)
- Perustuslakivaliokunta. (2002). *Perustuslakivaliokunnan lausunto hallituksen esityksestä hautaustoimilaiksi 71/2002 vp.*
- Pohl, E. (2023). *Är kompostering ett miljövänligt begravningsskick?.* SKKF.
- Promessa Organic AB. (2025). *Promessa – The ecological burial method.* Noudettu osoitteesta: <https://promessa.se/>
- Pöyry Oy. (18. 09. 2009). *Malmin krematorio-*

- uunin savukaasupäästöjen mittaukset.* Noudettu osoitteesta Mittausraportti, Helsingin seurakuntayhtymä.
- Quoilin, S. V. (06. 2013). Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems.
- Rebay-Salisbury, K. (2012). Inhumation and cremation: how burial practices are linked to beliefs. Teoksessa M. S.-S. (toim.), *Embodied knowledge: historical perspectives on belief and technology* (ss. 15-26). Oxford: Oxbow Books.
- Recompose. (2025). *The Recompose Land Program*. Noudettu osoitteesta: <https://recompose.life/our-model/land-program/>
- Recompose. (2025). *What happens to bones and teeth during human composting?* Noudettu osoitteesta: <https://recompose.life/faqs/what-happens-to-bones-and-teeth-during-human-composting/>
- Rimpiläinen, N. (2024). *Luonnonläheiset hautautavat*. Hämeen ammattikorkeakoulu HAMK.
- Robinson, G. M. (2021). Dying to Go Green: The Introduction of Resomation in the United Kingdom. *Religions*.
- Rovaniemen kaupunki, ympäristölautakunta. (2019). *Päätös Rovaniemen seurakunnan krematoriota koskevasta ympäristölupahakemuksesta*. Rovaniemi: Rovaniemen kaupunki.
- Salisbury City Council. (05. 06. 2022). *Carbon Offsetting – Salisbury Crematorium*. Noudettu osoitteesta: https://salisburycitycouncil.gov.uk/wp-content/uploads/2023/01/DOC86536_Carbon_Offsetting_Salisbury_Crematorium.pdf
- Satakunnan Kansa. (21. 03. 2025). *Porin Metsähautausmaan krematorion uusi uuni jäi ilman takuuta ja huoltosopimusta – Tästä on kyse*. Noudettu osoitteesta: <https://www.satakunnankansa.fi/satakunta/art-2000011114850.html>
- Scarre, G. (2025). Alkaline hydrolysis and respect for the dead: an ethical critique. *Mortality*, 273–286.
- Seppälä, O. (13. 3 2012). *Kotimaa*. Noudettu osoitteesta: <https://www.kotimaa.fi/tuhkana-tuuleen-2/>
- Sinclair-Lappi, S. (28. 03. 2023). Noudettu osoitteesta: <https://app.slidebean.com/sbp/qo3vz0akzh/Ekologinen-vesituhkaus>
- Sinclair-Lappi, S. (26. 02. 2025). (H. Happonen, Haastattelija)
- Skövde Kommun. (2025). *Nytt krematorium med "himmelsljus" byggs i Södra Ryd*. Noudettu osoitteesta: <https://skovdevaxer.se/nytt-krematorium-med-himmelsljus-byggs-i-sodra-ryd/>
- Slominski, E. (2023). Life of the death system: shifting regimes, evolving practices, and the rise of eco-funerals. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 1-17.
- Sorri, P. (03. 2025). Turun krematorio. (J. Järvenpää, Haastattelija)
- ST1. (2025). *Lämmitysöljyt*. Noudettu osoitteesta: <https://st1.fi/yksityisille/tuotteet/lammitysoljy>
- ST1. (2025). *Nestemäiset biopolttoaineet: Kestävä energiaratkaisu*. Noudettu osoitteesta: <https://st1.fi/tietoa-meista/vastuullisuus/energiasiirtyma/nestemaiset-biopolttoaineet>
- Suomen evankelis-luterilainen kirkko. (2023). *Kirkkojärjestys (KJ 2:20 §)*.
- Suomen evankelis-luterilainen kirkko. (2023). *Kirkon tilastot*. Noudettu osoitteesta: <https://www.kirkontilastot.fi/viz.php?id=268>
- Suomen hautausoiminnan keskusliitto. (06. 01. 2025). *Arkkujen ja uurnien laatusuosituks*. Noudettu osoitteesta: <https://shk.fi/doc/arkkujen-ja-uurnien-laatusuosituks.docx>
- Suomen hautausoiminnan keskusliitto ry. (2025). *Tuhkaustilasto 2024 seurakunnat*. Heinola: Suomen hautausoiminnan keskusliitto ry.
- Suomen ympäristökeskus ja kirkon Hiilineutraali kirkko 2030 -kärkihankkeen työryhmä. (13. 06. 2025). *Hiilineutraali kirkko 2030: Tiekartta*. Noudettu osoitteesta:

- https://evl.fi/plus/wp-content/uploads/sites/3/2025/02/HNK-2030-Tiekartta-17122024_KORJATTU.pdf
- Svenska Kyrkan. (2024). *Skövde Skogskrematorium*. Noudettu osoitteesta: <https://skkf.se/wp-content/uploads/2024/09/1030-1100-Skovde-Skogskrematorium-Visby.pdf>
- Sørensen, F. (2012). Delusion and disclosure: human disposal and the aesthetics of vagueness. Teoksessa M. S.-S. (toim.), *Embodied knowledge: historical perspectives on belief and technology* (ss. 27-39). Oxford: Oxbow Books.
- Taura-Jokinen, E. (12. 07. 2024). *Seurakuntalainen*. Noudettu osoitteesta: <https://www.seurakuntalainen.fi/uutiset/suomeen-tarvittaisiin-kipeasti-useampikin-krematorio-mutta-laki-ei-velvoita-yhtakaan-tahoa-jarjestamaan-vainajien-tuhkaamista/>
- The Cremation Society. (2025). *The Cremation Society*. Noudettu osoitteesta: <https://www.cremation.org.uk/>
- Tilastokeskus. (2021). *Väestöennuste 2021: Kuolleet iän mukaan, ennuste 2021-2070*. Noudettu osoitteesta: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_vaenn/statfin_vaenn_pxt_139e.px/table/tableViewLayout1/
- Tilastokeskus. (2024). *Uskonnolliseen yhdyskuntaan kuulumisen iän ja sukupuolen mukaan, 1990-2024*. Noudettu osoitteesta: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_vaerak/statfin_vaerak_pxt_11rx.px/table/tableViewLayout1/
- Tilastokeskus. (2025). *Tilastokeskus*. Noudettu osoitteesta: https://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- Turun kaupungin kaupunkiympäristötoimiala. (2018). *Ympäristölupapäätös Turun ja Kaarinan seurakuntayhtymä, krematorio*. Turku: Turun kaupunki.
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (2025). *Maakaasuputkiston/-kohteen käytönvalvoja*. Noudettu osoitteesta: [tps://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-bio-kaasu/kaytonvalvoja](https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-bio-kaasu/kaytonvalvoja)
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (03. 05. 2025). *Työ- ja elinkeinoministeriö*. Noudettu osoitteesta: <https://tem.fi/energia-ja-investointituet>
- Uimonen, V. (04. 2025). Biokaasu Helsingin seurakuntayhtymälle. (J. Järvenpää, Haastattelija)
- UNEP. (15. 11. 2012). *Compendium of Technologies for Treatment/Destruction of Healthcare Waste*. Noudettu osoitteesta: <https://www.unep.org/resources/report/compendium-technologies-treatment-destruction-healthcare-waste>
- Urban Death Project Research Team. (2017). *Assessment of an Alternative Funeral Method: The Urban Death Project*. Leiden University and TU Delft.
- Vaja, M. L. (02. 2010). Internal combustion engine (ICE) bottoming with Organic Rankine Cycles (ORCs).
- Valkama, V. (18. 02. 2025). Kansanedustaja Anna Kontula ehdottaa ruumiiden kompostoinnin sallimista – ”Olen itse puutarhaihminen”. Yle.
- Valtioneuvosto. (2002). Hallituksen esitys eduskunnalle hautaustoimilaiksi, HE 204/2002. Helsinki.
- Virtanen, J. (23. 3 2025). *Helsingin Sanomat*. Noudettu osoitteesta: <https://www.hs.fi/suomi/art-2000011117727.html>
- Washington State Legislature. (2020). WAC 246-500-055 – Preparation and handling of bodies: Final disposition. Olympia, Washington, Yhdysvallat.
- Weckroth, M. (13. 03. 2025). Luonnonvarakeskus. (H. Happonen, Haastattelija)
- Wikipedia. (2025). Luettelo Suomen hautausmaista. Noudettu osoitteesta: https://fi.wikipedia.org/wiki/Luettelo_Suomen_hautausmaista
- Xue, Y.;Cheng, L.;Chen, X.;& al, e. (2018). Emission characteristics of harmful air pollutants from cremators in Beijing, China. Research Gate.

Ympäristöministeriö. (30. 04. 2025). *Ympäristöministeriö*. Noudettu osoitteesta: <https://ym.fi/-/ymparistoasioiden-kasittely-ja-lupamenettely-ja-sujuvoittava-yhden-luukun-malli-etenee-eduskuntaan>

Liite 1

Kyselytutkimuksessa esitettyjen kysymyksien sisältö

Kyselytutkimuksessa kysyttävät kysymykset

Vastaajan nimi

Vastaajan sähköpostiosoite

Edustetun krematorion sijaintikunta

Edustetun krematorion nimi

Tuhkausten määrä vuonna 2024 (Toteuma)

Tuhkausten määrä vuonna 2030 (Ennuste)

Mahdollinen tuhkausten määrää koskeva lisätieto

Pääasiallinen energiamuoto

Öljynkulutus ja mahdolliset lisätiedot, kuten öljytyyppi

Kaasunkulutus ja mahdolliset lisätiedot, kuten kaasutyyppi

Sähkönkulutus ja sähkönkulutustiedon laajuus

Kaukolämmönkulutus

Kaukolämpö: mahdollinen lisätieto, kuten myynti

Käytössä olevat suodattimet ja savunkaasujen puhdistusratkaisut

Onko käytössä lämmön talteenottojärjestelmää

Onko käytössä muuta teknologiaa, joka halutaan tuoda esille

Mitä kehitystoimenpiteitä krematoriolla on harkinnassa tai suunniteltuna

Mitä toiveita selvityksen aikana on selvitettäväksi

Mitatut päästömäärät (HG, CO, SO₂, NO_x, PM₁₀, PM₂₅, PM_{0,1},)

Käyttöpäivät vuodessa ja käyttöaika käyttöpäivien aikana

Pohja-arinan ja tuhkausuunin uudelleenmuurausten aikaväli

Huoltokatkojen määrät ja syyt

Liite 2 LIITE 2. Kyselytutkimuksen vastaukset (öljykäyttöiset krematoriot), yhdenmukaisesti tiivistelmä, ei sisällä tyhjiä vastauksia.

Kyselytutkimuksen vastaukset (öljykäyttöiset krematoriot)

Edustetun krematorion sijaintikunta	Edustetun krematorion nimi	Tuhkausten määrä 2024 (Toteuma)	Tuhkausten määrä 2030 (Ennuste)	Tuhkauksien öljynkulutus (M3)	Krematorion sähkönkulutus (MWh)	Sähkönkulutustiedon laajuus
Espoo	Espoon Krematorio	1504	2000	40	75	Sähkönkulutuksen arvio krematoriosta
Rauma	Monnan krematorio	1646	1800	50	50	Vastaus koskee ainoastaan tuhkaostointia
Seinäjoke	Seinäjoen Krematorio	1313	1500	34		
Turku	Turun Krematorio	3029	3600	75		
Oulu		1089	2500	60		
Hyvinkää	Rauhannummen krematorio	1733	1900	53	85	Uunin ja suodattimen osuus
Helsinki	Malmin krematorio	1820	2000	45		
Helsinki/ Vantaa	Honkanummi	2495	4000	75		
Jyväskylä	Mäntykan- kaan krematorio	2235	3000	81	6706 (helmikuu 2025)	Vain krematorion osuus (oma mittari krematoriolle asennettu joulukuussa 2024)
Kajaani	Kajaani			529	600	16

LIITE 2. Kyselytutkimuksen vastaukset (öljykäyttöiset krematoriot), yhdenmukaistettu tiivistelmä, ei sisällä tyhjiä vastauksia.

Edustetun krematorion sijaintikunta	Kaukolämmön kulutus ja mahdolliset lisätiedot	Käytössä olevat suodattimet ja savukaasujen puhdistusratkaisut	Onko käytössä lämmön talteenottojärjestelmää	Muut käytössä olevaa teknologiaa
Espoo	283 MWh Fortum ja samalla lämmitetään lähes 1000 neliömetrin kiinteistöä	sorbentilla toimiva pussisuodatus	Kyllä, jossa savukaasut jäädytetään. Jäädytykseen käytetään oma 8 kuutiometrin vesisäiliötä, kaukolämmön myyntisiirrintä ja loput tuuletetaan taivaalle	Ei
Rauma		Höganäs Borgestad Oy:n toimittama savukaasujen puhdistusjärjestelmä	Kyllä, varaajien tilavuus 9600 litraa ja sillä lämmitetään koko kiinteistöä (kappeli, vainajien säilytystilat, sosiaalitilat, tomistot ja krematorio)	
Turku	522 (MWh) Turku Energia. Lukema sisältää koko kappelikompleksi + laajan huoltokeskuksen nettolämmityksen. Myydään siis enemmän kuin ostetaan, myyntihinta kuitenkin hyvin vaatimaton.	IFZW:n savukaasujen puhdistusjärjestelmä, molemmilla uuneilla omansa	Kyllä. Lämpö otetaan talteen ja sillä lämmitetään kappelia ja 200 m päässä olevaa laajaa huoltokeskusta. Ylimääräinen lämpö myydään.	Ei
Oulu		uuteen uuniin (valmistuu 2025) tulee suodatin järjestelmät	Uuteen uuniin (valmistuu 2025) tuossa lämmön talteenotto	
Hyvinkää		Aktiivihiilisuodatin, suodatinaineena sorbaliitti, laitteiston toimittaja Höganäs Borgestedt	Kyllä, käytetään kappelin ja sosiaaltilojen lämmitykseen. Lämpö varataan vesisäiliöihin ja kierrätetään kappeliin.	
Kajaani		Ei suodatusta	Ei ole, kiinnostus olisi, jos löytyisi rakennukseen sopiva	Savukaasu-analyytilaitteisto

LIITE 2. Kyselytutkimuksen vastaukset (öljykäyttöiset krematoriot), yhdenmukaistettu tiivistelmä, ei sisällä tyhjiä vastauksia.

Edustetun krematorion sijaintikunta	Mitatut päästö määrät: elohopea	Mitatut päästö määrät: typpi- ja rikkidioksidit	Mitatut päästö määrät: hiilimonoksidi	Mitatut päästö määrät: hiukkaspäästöt (PM10, PM2.5, PM0.1)	Käyttöaika käyttöpäivien aikana	Käyttöpäivät vuodessa
Espoo	0,19 mg/M ³ n vuosi 2022	ei mitattu	5 mg/m ³ n v. 2022	alle 1 mg/m ³ n v. 2022	8	240
Rauma					8	238
Seinäjoke					8	250
Turku	Uuni 1: 1,27 mikrogramma/m ³ (n), 2,59 redusoitu 02 15 %. Uuni 2: 0,26 ja 0,53. Tämä ja kaikki seuraavat mittaustulokset vuodelta 2024.	NOx 82 ja 66 mg/m ³ (n) redusoidut arvot 167 ja 149. Rikkiä ei mitattu.	21 mg ja 54 / m ³ (n) redusoidut 43 ja 123.	1,0 ja 1,3 mg/m ³ redusoidut arvot 2,1 ja 3,0	9	250
Oulu					13	214
Hyvinkää	0,012-0,044 mg/m ³ , mittaukset 3 vuoden välein		6-14 mg/m ³ mitattu 2023	alle 0,56 mg/m ³ (redusoitu pitoisuus 11 % O ₂)	9	n 230
Helsinki					8	Kaikki arkipäivät
Helsinki/ Vantaa					15	Kaikki arkipäivät
Jyväskylä					9	116
Kajaani	0,41µg/m ³ (n) redusoitu O ₂ = 11 % (vuosi 2017) ja 2,468 kaasumainen, 0,392 hiukkaset ja yhteensä 2,860µg/m ³ (n) redusoitu O ₂ = 11 % (vuonna 2021)	NOx 379 mg/m ³ (n) redusoitu O ₂ = 11 % (2017) ja 331 mg/m ³ (n) redusoitu O ₂ = 11 %, SO ₂ ; 72 (2017) ja 103 (2021) mg/m ³ redusoitu O ₂ = 11 %	CO 102 (2017) ja 9,7 (2021) mg/m ³ redusoitu O ₂ = 11 %	Ka 184 mg/m ³ (2017) 90 mg/m ³ (2021) redusoitu O ₂ = 11 %	6h	3-4pv/vk, noin 190

LIITE 2. Kyselytutkimuksen vastaukset (öljykäyttöiset krematoriot), yhdenmukaistettu tiivistelmä, ei sisällä tyhjiä vastauksia.

Edustetun krematorion sijaintikunta	Kaukolämmön myynti kaukolämpöverkkoon	Huoltokatkosten syyt	Uunin uudelleenmuurausten aikaväli	Huoltopäivien määrä vuodessa	Sähkösovimuksen tyyppi	Öljynkulutus: käytättekö biopolttoainetta tai tavallista polttoöljyä?
Espoo	Hyvin vähän myydään kaukolämpöverkkoon	huollot ja vikaantumiset	4 vuotta	20	100	tavallinen
Rauma		Nuohoukset + huollot	8000	5	Käytösämme ainoastaan uusiutuvaa energiaa	1.4.2025 alkaen biopolttoaine
Seinäjoki		Huoltotoimenpiteet	12-15 vuotta	10	-	Polttoöljy
Turku	770	Uunin huollot, savukaasulaitteiston puhdistusjärjestelmän huollot	Noin 5 vuotta, eli 7500 polttoa	1-7 / päivää / uuni. Toinen uuneista kuitenkin joka työpäivä käytössä.	Uusiutuva energia 100 %	Uusiutuvaa polttoöljyä
Oulu		nuohous, ylläpitohuollot	5-6 vuotta	10		tavallista polttoöljyä
Hyvinkää		Laitteiston huolto, vikojen korjaus, nuohous	6-8 vuotta	n 20	Yrityssähkö, sekasähkö, 81 % fossiilisia	Tavallista, vuodesta 2026 alkaen bio
Helsinki		Huollot	6000	Vaihtelee		Tavallista
Helsinki/Vantaa		Huollot	6000	Vaihtelee		Tavallista
Jyväskylä		Huollot ja laiteviat	6000 tuhauksen välein	noin 10		Tavallista polttoöljyä
Kajaani		Nuohous	30 vuotta, tulossa ensimmäinen	2 pv/v	Määräaikainen	tavallista

LIITE 2. Kyselytutkimuksen vastaukset (öljykäyttöiset krematoriot), yhdenmukaistettu tiivistelmä, ei sisällä tyhjiä vastauksia.

Edustetun krematorion sijaintikunta	Edustetun krematorion nimi	Tuhkausten määrä vuonna 2024 (Toteuma)	Tuhkausten määrä vuonna 2030 (Ennuste)	Tuhkausten kaasunkulutus ilmoitettuna määrä ja yksikkö	Polttoaineena käytetty kaasu	Sähkönkulutustiedon laajuus (MWh)	Sähkönkulutustiedon laajuus ja mahdolliset lisätiedot
Helsinki	Hietanimen krematorioskappeli	3512	3000	27255,9 m ³	Kaupunkikaasu, Helsinki kaasuverkko maakaasu	48,6	Vesivoimalla tuotettua sähköä Heleniltä, Helsinki. Kun prosessin lämpö ei riitä lämpiää kaikki ostetulla sähköllä
Kangasala	Vatialan krematorio	3031	4000	102287 kg	Nestekaasu	295,5	Koko kappelirakennuksen yhteenlaskettu sähkönkulutus oli 345 894,06 kWh.
Lahti	Levon krematorio	2612	3200	16360	Biokaasu	46,3	Koko krematoriorakennuksen sähkönkulutus. Kylmiöt, tuhkausuuni, valaistus, LKV, ilmalämpöpumput ja jäähdytys. KOY Levon krematorio myy LTO:n lämmön Lahden seurakuntayhtymälle eli sitä ei myydä kaukolämpöyhtiölle
Hämeenlinna	Vuorentaan krematorio	1840	1850	218	maakaasu	109	ei

Liite 3

LIITE 3. Kyselytutkimuksen vastaukset (kaasukäyttöiset krematoriot), yhdenmukaistettu tiivistelmä, ei sisällä tyhjiä vastauksia.

Kyselytutkimuksen vastaukset (kaasukäyttöiset krematoriot)

Edustetun krematorion sijaintikunta	Käytössä olevat suodattimet ja savunkaasujen puhdistusratkaisut	Onko käytössä lämmön talteenottojärjestelmää	Kaukolämmön myynti kaukolämpöverkkoon	Onko käytössä muuta teknologiaa, tai kehitystoimenpiteitä	Mitä toiveita teillä on nyt tekeillä olevan selvityksen suhteen?
Helsinki	2013–2014 rakennettu tietokoneohjatut uunit savukaasujen puhdistusjärjestelmällä. Käytössä partikkelisuodatin ja aktiivihilisuodatin	Savukaasujen jäähdytyksestä vapautuva lämpö johdetaan laitoksen keskuslämmitykseen varaajan kautta.	Tuhkausprosessin vesi lämmittää kappelirakennusta sekä viereistä kolumbaariorakennusta	Absorptiojäähdytin, ei toimi toivotulla tavalla. Tarvitsi korkeampaa ja tasaisempaa lämpötehoa. Huoltokustannukset ylittävät edut. Ei suositella. Absorptiokone puretaan pois uunitekniikan uudistuksessa 2030–2035. Samalla siirrytään Biokaasukiintiöihin.	Onko HVO kestävä polttoaine tavalliseen fossiiliseen dieselpolttoaineeseen verrattuna? Vesituhkauksen oikea ympäristökuormitus, käytettävät aineet, niiden valmistus ja puhtaan veden sekä sähkön kulutus, elohopean erotus, vainajan kuljetus, jos arkua ei käytetä?
Kangasala	sorbaliitti	kyllä, lämmitetään krematorio, hautausmaan sosiaalitala sekä myöhemmin remontin jälkeen kappeli			
Lahti	Savukaasujen puhdistuslaitteisto, jossa savukaasujen jäähdytys, syklorin ja sen jälkeen kangassuodatin(-suodatinpussit)	Kyllä, nestelämmönsiirrin ja lämminvesivaraaja (10 m ³). Hautausmaan lämmönjakohuoneessa kaukolämpölämmittäjä	105 MWh	Ei	
Hämeenlinna	sykloonisuodatin, pussisuodatin sekä adsorbentti-suodatin	On käytössä, 5 kappaletta 3 000 l varaajaa, jolla lämmitetään kappeli	ei		

LIITE 3. Kyselytutkimuksen vastaukset (kaasukäyttöiset krematoriot), yhdenmukaistettu tiivistelmä, ei sisällä tyhjiä vastauksia.

Edustetun krematorion sijaintikunta	Mitatut päästö määrät: elohopea	Mitatut päästö määrät: typpi- ja rikki-dioksidit	Mitatut päästö määrät: hiilimonoksidi	Mitatut päästö määrät: hiukkaspäästöt (PM10, PM2.5, PM0.1)
Helsinki	Pöyry Finland Oy mittasi 4.8.-7.-11.8. ja 14.8.2017 krematoriuunien savukaasuista puhdistuslaitteiden jälkeen 32 yksittäisen tuhkaoksen päästöt. Näytteitä otettiin molempien uunien savukaasuista puhdistimien jälkeen 16 kpl. Päästöistä määritettiin hiukkaset, typenoksidit (NOx), hiilimonoksidi (CO) sekä elohopea (Hg) sekä hiukkasiin sitoutuneena, että kaasumaisena (näyte per tuhkaus). Lisäksi määritettiin päästölaskennassa tarvittavat ns. apusuureet: savukaasun O ₂ - ja H ₂ O pitoisuus sekä tilavuusvirtaus (ml. lämpötila). Kaikkien hyväksytyjen elohopeanäytteiden pitoisuudet alittivat laitoksen ympäristöluvassa elohopeapitoisuudelle esitetyn raja-arvon. Kaikista näytteistä elohopeaa löydettiin vain kaasumaisessa muodossa; hiukkasfaasissa elohopean pitoisuus alitti käytetyn menetelmän määrittämissä rajoissa (2 ug/m ³ n, kuivaa kaasua).			
Lahti	<0,001 g/tuhkaus ja 0,0005 mg/Nm ³ mitattu 2016. Laskennallinen päästö 2024 olisi siis 2,612 g/v	ei mitattu	2,0 g/tuhkaus tai 1,5 mg/Nm ³ mitattu 2016. (laskennallinen päästö 2024 on 5 224 g/v	0,27 g/tuhkaus tai 0,2 mg/Nm ³ mitattu 2016. Laskennallinen päästö 2024 olisi siis 705,24 g/v
Hämeenlinna	0,01 mg/Nm ³		4,9 mg/Nm ³	<0,3 mg/Nm ³

Liite 4 LIITE 4. DFW:n Letter of Equivalence sähkökäyttöisen tuhkausuunin yhdenmukaisuuden todentamiselle

DFW:n Letter of Equivalence esimerkki

TMC/ DFW Europe

Client: DFW Europe

Project: Explanation of equivalence cremation oven

Toelichting op de Melding

**Activiteitenbesluitequivalence electric
cremator for Crematoria, rev. a**

LIITE 4. DFW:n Letter of Equivalence sähkökäyttöisen tuhkausuunin yhdenmukaisuuden todentamiselle

TMC/ DFW Europe

a	21-09-2020	Explanation equivalence electric cremator for crematoria, final	TMC/DFW Europe	WJ Tichelman On behalf of TMC/DFW
0	18-09-2020	Explanation equivalence electric cremation oven for crematoria, concept	TMC/DFW Europe	WJ Tichelman On behalf of TMC/DFW
chan	Date	Description	Drafter	Checked

© Copyright TMC

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced and/or made public by means of printing, photocopying or in any other way without the express permission of the publisher.

LIITE 4. DFW:n Letter of Equivalence sähkökäyttöisen tuhkausuunin yhdenmukaisuuden todentamiselle

TMC/ DFW Europe

	Index	Page
	Summary	4
1	Process description	5
1.1	Ceremonies and procedures	5
1.2	Process description cremations	5
1.2.1.1	General description electric oven	5
1.2.2	Downstream filter technology	7
1.2.3	Energy	8
1.2.4	Process controls and safety provisions	9
1.2.5	Ash processing	9
2	Equivalence basis	10
2.1	Introduction	10
2.2	Explanation electrically operated cremator	10
2.2.1	General consideration	10
2.2.2	Characteristics of the electrically operated cremation installation.	11
2.2.3	Operation of the	12
2.2.4	Additional substantiation	12
2.2.5	Afterburning	14
2.2.6	Emission measurements	14
2.2.7	Process controls and safety provisions	15
	Attachments	
Appendix 1	Emission measurement report Tauw R003 1271511 PZX V02 dated 19 Sept. 2019	15
Appendix 2	Information DFW Electric Cremator and Automatic Feeder (ATM)	15
Appendix 3	Subsequent technology	15
Appendix 4	Cremulator	15
Appendix 5	Ash processing	15

TMC/ DFW Europe

Summary

In consultation with DFW Europe, a request was made to provide a supplement regarding the electrically operated cremator in order to demonstrate that it is equivalent in terms of environmental and technical requirements to a gas-fired incinerator in accordance with the current Activities Decree.

It is an electric cremator and no natural gas is used. Operating an electrical installation differs from the usual gas-fired installations, but the current relevant legislation and regulations will be complied with. (Mainly the AIM and the Bal, Activities Regulation Decree.)

The description given below for an electrically operated cremator and subsequent technology deviates from Article 4.118 of the Activities Decree (section 4.8.9) and 4.112 of the Activities Regulation (section 4.8.8). It should also be noted that these regulations in the Activities Regulation relate to firing the combustion and after-combustion chamber with natural gas with Low-NOx burners.

There are special Crematoria Regulations for incineration installations in crematoria. In order to comply with this regulation, which includes air emission requirements in the waste gases, the furnace is fitted with a downstream filter technology.

The requirement for mercury in the Activities Decree is 0.05 mg/Nm³.

TMC/ DFW Europe

1 Process description

This chapter describes the procedures and activities that take place at the establishment. Particularly with regard to the next of kin, importance is attached to piety, care and ethics.

1.1 Ceremonies and procedures

The ceremonies normally take place from Monday to Saturday between 07:00 and 23:00. These ceremonies consist of services in the auditorium (a large and a small auditorium) and the opportunity to offer condolences in the foyers/coffee rooms.

Cremations can also take place from Monday to Saturday between 07:00 and 23:00.

On average, two ceremonies and cremations take place per day, but in the maximum situation three ceremonies and cremations can take place in one day in the day period (between 07:00 and 19:00) and one ceremony and cremation in the evening period (between 07:00 and 19:00, 19:00 and 23:00). Up to 900 cremations per year.

1.2 Process description cremations

It is an electric cremator and no natural gas is used. Operating an electrical installation differs from the usual gas-fired installations, but the current legislation and regulations will be complied with to the extent that it is relevant. (Mainly the AIM and the Bal, Activities Regulation Decree.)

Cremation will take place on the same day after the ceremony. The coffin with the deceased is transported on the catafalque to the cremation room. This is where identification takes place according to the Law. A non-combustible identification stone is placed on the chest. The cremation room is accessible at all times for operation, inspection and maintenance. After that, the box is fed into the oven.

An electric cremator of the DFW Electric type will be installed in new crematoria. This is a fully automatic electric cremator with associated downstream technology. This is in accordance with the Best Existing Technology (BBT).

Below is a general example description of the techniques used in the cremation process.

1.2.1.1 General description electric oven

The automatic electric cremator is designed to operate as efficiently as possible, with the composition of the refractory construction ensuring that the heat in the kiln is retained for as long as possible. (See Appendix 2) The main and post-combustion chambers are brought up to temperature before the first input by means of the heating elements (coils) present in the refractory construction. The spirals heat up the refractory construction, so that when the box is entered, it can catch fire via the radiant heat. The temperature release for the main combustion chamber is 600°C and for the post-combustion chamber it is 700°C.

The coffin is placed in the cremator by means of an automatic feeding system. The cremator consists of a main combustion chamber in which the coffin is placed and in which the main combustion takes place. The floor is constructed in such a way as to keep the main combustion chamber completely separate from the after-combustion chamber and thus prevent combustion gases from escaping prematurely. The floor itself

TMC/ DFW Europe

has no openings, so all materials are held for combustion in the main combustion chamber. The flue gas from this phase of the process leaves the main combustion chamber through openings in the walls and flows to the post-combustion chamber where combustion of the gas phase occurs (post-combustion).

The gases enter the post-combustion chamber and are heated by the refractory structure of the post-combustion chamber, these gases being treated with additional supplied air. The gases circulate several times within the after-combustion chamber, in which the temperature of these gases is kept at a minimum of 700°C, so that temperature and oxygen requirements are met and environmental requirements are met. The total volume of the post-combustion chamber is more than sufficient to provide a residence time of approximately 1.5 seconds under all operating conditions. seconds to guarantee.

The refractory construction within this chamber ensures that temperature requirements are maintained, while an adequate supply of air and the flue provide a high level of turbulence to promote complete combustion. The afterburning of the flue gases takes place completely in this chamber, so that odor and smoke are completely destroyed, even at 700 °C. The temperature of the afterburning is continuously recorded. These registration data are kept in the establishment for at least one year. Periodic inspection and maintenance of the cremator is recorded .

The description given above for an electrically operated cremator and subsequent technology deviates from Article 4.118 of the Activities Decree (section 4.8.9) and 4.112 of the Activities Regulation (section 4.8.8). It should also be noted that these regulations in the Activities Regulation relate to firing the combustion and after-combustion chamber with natural gas with Low-NOx burners. See also Explanation of the electric cremator.

TMC/ DFW Europe

1.2.2 Downstream filter technology

Through a complete combustion in both chambers, all released substances are burned as much as possible. Dust emissions are kept to a minimum in the cremator. The dust that remains is further removed from the flue gases in the downstream filter technology, so that the final dust content is far below the legal standards. The filter technology also serves to separate harmful substances such as dioxins and furans from the exhaust gases of the cremator. (See Appendix 3)

The filtering process is completely dry, which means that only dry auxiliary materials (additive) are used and only dry residues remain.

The downstream filter technology consists of the following components:

- Heat exchanger;
- cyclone;
- the addition of the additive;
- filter cloths;
- the radial fan;
- removing the residues.
-

Heat exchanger

The still hot combustion gases from the cremator must be cooled before these gases can be cleaned. The flue gases from the cremator enter the cooler through a refractory lined channel and are cooled to the operating temperature of the filter, which is approximately 130 °C. The heat content of the flue gases is transferred to the separate dry cooler by recirculating the cooling water. There is a facility available where the application of heat recovery is easy to realize.

This includes

- Preheating combustion air cremator.
- Heating of the crematorium itself.
- Cooling.

Cyclone

The cyclone placed after the heat exchanger serves to separate coarse dust and any glowing sparks that may have come out of the furnace with the flow of the exhaust gases. These particles are deposited in a reservoir for residues by means of an automatic dust lock / impeller.

Capture of Mercury, dioxins and furans.

The capture of mercury compounds, dioxins and furans can take place by adding additives between the cyclone and the particulate matter filter or by installing a fixed bed filter system after the particulate matter filter. The absorption of mercury, dioxins and furans takes place with the aid of the additive in the dust (cake layer) of the filter bags in the first system. Or to the activated carbon mixture in the fixed-bed filter in the second system.

The importance of this is the separation of harmful substances until a residual part of mercury of less than 0.05 mg/m³ remains, in accordance with the requirements of the Activities Decree.

As a result, the limit values can be adhered to for harmful substances in the waste gases (dioxins and furans less than 0.1 ng TEQ/Nm³). Both systems ensure that the emission requirements described in the Activities Decree are met.

TMC/ DFW Europe

Filter cloths and filter cartridges

The filter has automatic compressed air cleaning. The filter cloths and cartridges are arranged horizontally. These filters separate the dust particles until a residual dust content of less than 5 mg/m³ remains.

radial fan

The radial fan for the cleaned gas (exhaust gas) is placed after the filter. The entire installation is therefore operated with underpressure. A radial fan sucks the cleaned gas through the filter and blows it into the atmosphere through the chimney. This fan is controlled by a frequency converter. This ensures that the cremator operates with the correct negative pressure at all times.

Removing the residuals

Residues are discharged separately at the cyclone and the filter. With the cyclone, this happens continuously as long as the filter installation is in operation. The residues of the filter cloths are removed after the service has ended.

1.2.3 Energy

The electric oven has energetic advantages.

The oven can continue to be heated to temperature overnight using the so-called overflow energy

During and between daytime cremations, the oven does not use any extra energy.

The oven offers great flexibility; the oven can be kept at operating temperature with relatively little energy and is therefore always ready for operation.

The heat is stored as much as possible in the refractory construction.

The filter is provided with a thermal insulation on the outside, which will reduce the surface temperature of the filter from 150 °C to 40 °C.

Thermal insulation aims to:

- Absolute safety in the immediate vicinity of the filter for the personnel;
- Extending the life of the filter;
- Reduction of ambient noise.

Electricity consumption depends, among other things, on the number of cremations that take place per day.

With an increasing number of cremations per day, energy consumption decreases accordingly.

If the oven is out of use for a longer period of time, such as at night or at the weekend, the fan placed on the filter is regulated to the lowest possible speed. This happens because of the partial operation of the installation, which is necessary in order to prevent condensation in the filter system.

Heat recovery

There is a facility for applying heat recovery at the heat exchanger.

This provides most of the heating for the crematorium. As a result, only little energy is used from other sources.

TMC/ DFW Europe

1.2.4 Process controls and safety features

It is an electric cremator and no natural gas is used. Operating an electrical installation differs from the usual gas-fired installations, but the current legislation and regulations will be complied with to the extent that it is relevant. (Mainly the AIM and the Bai, Activities Regulation Decree.)

Electrical intermediate circuits also prevent opening of the coffin insertion door if the temperature in the afterburner chamber is below 700°C.

The cremator is equipped with an automatic exhaust control to maintain a preset condition for all normal combustion conditions within the main combustion chamber.

The cremator is standard equipped with an oxygen analyzer. This analyzer ensures continuous regulation, monitoring and registration of the oxygen content in the flue gases

1.2.5 Ash processing

After the cremation is completed, the ashes, the identification stone and other residues are collected in the ash pan of the cremator.

The identification stone is checked and removed from the ash pan and the ash pan is placed in the ash mill (cremulator). The ash mill grinds the ashes. The separated parts are collected separately by the installation. The cremulator is set up in the ash treatment room. (See Appendix 4)

Ash processing table

On request, the crematorium can place the ashes of a deceased person in a different container. Examples are a decorative urn, a medallion or a special tube to take the ashes home. This action releases particulate matter, which could be inhaled by the employee concerned. To prevent this, an "ash processing table" is provided. In this device, any dust released is immediately extracted and protection for the employees of the crematorium is therefore guaranteed. The ash processing table is equipped with an extraction wall with filter unit. (See Appendix 5).

Due to the local underpressure created directly above the table, all dust particles are discharged directly to the filter unit. The filter unit can also serve as an extraction system for the cremulator. The air flow from the filter unit meets the emission requirements of 5 mg/m³ with regard to dust from the Activities Decree.

TMC/ DFW Europe

2 Basis of equality

2.1 Introduction

The technology of an electrically operated cremator and subsequent technology deviates from Article 4.118 of the Activities Decree (section 4.8.9) and 4.112 of the Activities Regulation (section 4.8.8). It should also be noted that these regulations in the Activities Regulation relate to firing the combustion and after-combustion chamber with natural gas with Low-NOx burners and not to an electric cremator.

The competent authority indicates that an electrically operated cremator may be permitted on the basis of equivalence.

It must be demonstrated that it is possible to achieve at least the same environmental quality with an electrically operated cremator and subsequent technology as with gas-fired ovens.

Below is a further explanation of the characteristics of an electric cremator.

In order to demonstrate the equivalence of meeting the emission requirements, a measurement report is attached for the same electric cremator that has been set up in Geleen.

The automatic electric cremator is designed to operate as efficiently as possible, with the composition of the refractory construction ensuring that the heat in the kiln is retained for as long as possible.

The main and post-combustion chambers are brought up to temperature before the first input by means of the heating elements (coils) present in the refractory construction. The spirals heat up the refractory construction, so that when the box is entered, it can catch fire via the radiant heat. The minimum temperature release for the main combustion chamber is 600 °C and for the post-combustion chamber it is a minimum of 700 °C. During the cremation process itself, the spirals are electrically turned off.

2.2 Explanation electrically operated cremator

2.2.1 General consideration

With regard to the state of affairs regarding the new technique of cremation by means of an electrically powered cremation oven introduced by DFW Europe BV, DFW Europe BV states the following.

The description given below for an electrically operated cremator and subsequent technology deviates from Article 4.118 of the Activities Decree (section 4.8.9) and 4.112 of the Activities Regulation (section 4.8.8). It should also be noted that these regulations in the Activities Regulation relate to firing the combustion and after-combustion chamber with natural gas with Low-NOx burners.

TMC/ DFW Europe

2.2.2 Characteristics of the electrically operated cremation installation.

A big difference is the serenity surrounding the entire cremation installation (electric cremator and subsequent technology) in which work is done. This is a significant difference compared to a gas-fired cremator.

In addition, the course of the cremation process itself has also improved. DFW found that the electric cremation process performed with this technique exceeded its expectations. Also with regard to how the cremation process can be controlled, whereby cremation can be done at lower temperatures in the main and afterburner chambers in order to meet the required emission requirements.

This, in combination with an automatic infeed machine, ash pan lift, application of a tilting valve to be able to cool the ashes before removal, which techniques have been adopted from the gas-fed cremation installations, this electric cremator appears to be a good combination of existing and new technology. to be.

The required process time (as was known in advance) is currently slightly longer than for a gas-fired cremator (process time now approx. 100 minutes), but the flow of data that is now obtained gives DFW sufficient opportunities to make various improvements in this respect. bring.

Simultaneously with the construction and development of the electric cremator, DFW Europe has developed a new very extensive data logging system and has recently started using it. The (large) flow of data that is collected by DFW's technicians from the electric cremator(s) already installed makes it very possible for DFW to make good analyzes and therefore to implement further modifications with advancing insight with which the new ones to be deliver electric cremators, as in the situation of a new crematorium provide even better performance.

Not only progress in the time span of process management, but in particular where, in the opinion of DFW, considerable catching up can be made, is the amount of energy required per cremation compared to the current cremation systems.

Before the "real cremation" starts with the input, the cremation combustion chamber and the post-combustion chamber are preheated in the electric cremator.

The starting temperatures at the infeed of the coffin into the cremator that DFW currently maintains are 600°C for the cremation combustion chamber and 700°C for the post-combustion chamber. Immediately after the introduction of a coffin into the cremation chamber, we see the temperature in the afterburner chamber rise within a few seconds (3 to 4) to well above 800°C.

This 800°C is the limit value that is adhered to in the current technology of gas-fired cremators in order to be able to process peaks in CO and other combustion products at the start of the cremation process.

Of course, behind the oven itself is the downstream technology to reduce the other combustion components to the legal requirements.

DFW indicates that with the electric cremator, this 700°C and the residence time of the waste gases of at least 1.5 seconds in the post-combustion chamber are also amply met, in accordance with the design of this electric cremator, derived from the gas-fired oven.

The internal temperature (accumulated energy) of the entire construction of this electric cremator is much higher than that of a gas-fired cremator, achieving optimum combustion in the cremation chamber and after the combustion chamber, see section 5.2.4.

TMC/ DFW Europe

The combustion process of the coffin of a first cremation process in an electric furnace is therefore already comparable to a third and fourth cremation process in a gas-fired cremation furnace. Namely, in a third/fourth cremation process in a gas-fired cremator, no more energy needs to be added by means of the gas burners intended for that purpose. This is in view of the fact that sufficient energy is stored in the refractory construction from the previous cremation processes.

By means of this energy, accumulated in the refractory construction, the coffin is ignited by means of pyrolysis, whereby the cremation process is started by self-ignition.

This process of operation takes place in an electrically operated cremator already during a first cremation.

2.2.3 Cremator operation

The automatic electric cremator is designed to operate as efficiently as possible, with the composition of the refractory construction ensuring that the heat in the kiln is retained for as long as possible.

The main and post-combustion chambers are brought up to temperature before the first input by means of the heating elements (coils) present in the refractory construction. The spirals heat the refractory construction, so that when the box is entered, it can catch fire via the radiant heat. The minimum temperature release for the main combustion chamber is 600°C and for the post-combustion chamber it is a minimum of 700°C. During the cremation process itself, the spirals are electrically turned off.

The description given above for an electrically operated cremator and subsequent technology deviates from Article 4.118 of the Activities Decree (section 4.8.9) and 4.112 of the Activities Regulation (section 4.8.8). It should also be noted that these regulations in the Activities Regulation relate to firing the combustion and after-combustion chamber with natural gas with Low-NOx burners.

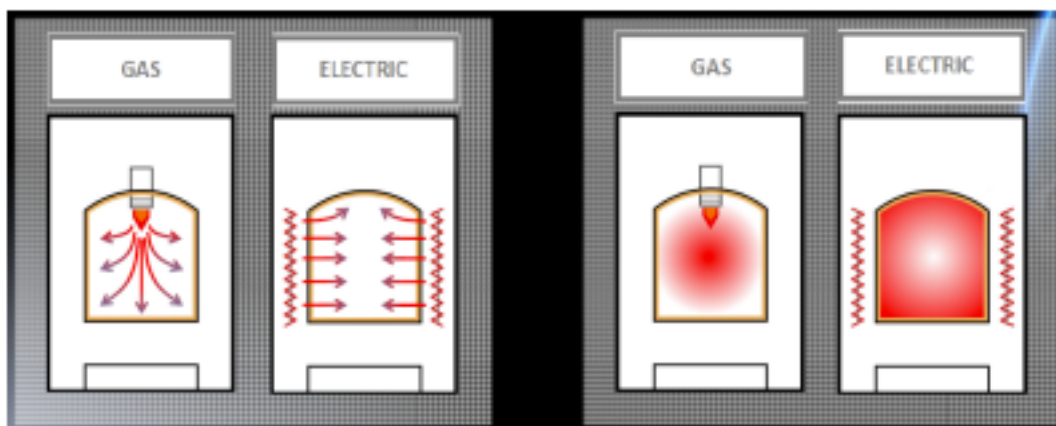
2.2.4 Additional substantiation

As indicated, in this situation of a Crematorium, there are electrically operated installations.

The difference between an electric oven and a gas oven is the fact that the electric oven is fully heated up before starting a process. This indicates that the total with refractory construction is up to temperature. Both the afterburner and the cremation chamber.

In a gas-fired oven, only the after-combustion chamber is heated for 15-30 minutes by means of a burner, after which the entire refractory construction is heated up. See picture in the attachment for clarification.

TMC/ DFW Europe



The reasons for the deviations in temperature are (among other things) that the air temperature in a gas-fired cremator must be at least 800°C, because the refractory construction in the main combustion chamber and post-combustion space at the start of a cremation itself does not always have sufficient radiant heat to be able to meet the criterion for complete combustion in the main chamber and complete afterburning of the resulting gaseous phase.

In this situation, the temperature is measured in the middle of the flue gas flow of the Low-NOx burners. This means that this minimum temperature of 800°C applies there, but that the refractory construction has somewhat lower temperatures when starting a cremation.

An optimum combustion situation is created in the gas-fired main combustion chamber, with NOx emissions resulting from the combustion of natural gas being minimal. For gas-fired afterburning, optimum afterburning of soot and smoke is achieved at this temperature for minimal emissions.

In an electrically driven installation, the heat for combustion comes directly from the radiation of the heating elements (coils) in the refractory construction, from the main combustion chamber and afterburner chamber. In this way a different (perhaps better) heat distribution/balance in the furnace and after-combustion chamber is achieved.

In view of the above of the difference between gas-fired and electrically powered cremators and the results of the electric cremators already in use, the suppliers state that when starting a cremation with a lower temperature of at least 600°C and 700 °C can suffice than is prescribed in art 4.118 of the Activities Decree (section 4.8.9) for gas-fired installations, in order to achieve the same optimum combustion effect.

In particular due to the better heat radiation of the refractory construction with electric spirals, an even more certain effect is possible through optimal heat radiation/heat distribution for optimal combustion of the body in the main combustion chamber and possible soot and smoke particles in the afterburning chamber.

In that situation, therefore, no optimal combustion for NOx is necessary, other than as a result of the burning of the body, because there is no question of a gas-fired installation.

TMC/ DFW Europe

In the opinion of the kiln supplier, therefore, lower minimum input temperatures when starting a cremation can also suffice in this situation than stated in art 4.112 of the Activities Regulation for gas-fired kilns. It should also be noted that this is a question of minimum input temperatures.

Once the electric furnace is in operation, the combustion temperatures in the furnace and afterburner chamber are many times higher. The same also applies to gas-fired furnace installations.

2.2.5 Afterburning

It is shown below (by means of a measurement report from the crematorium in Geleen) that the residence time in the post-combustion chamber is at least 1.5 seconds under normal operating conditions.

Immediately after the insertion of a box has taken place, we see the temperature in the afterburner chamber rise within a few seconds (3 to 4) to far above 800°C.

Emission measurements in Geleen have shown that, even with a temperature of 750°C in the afterburner chamber, this electric cremator also amply meets the emission requirements of the Activities Decree and also aims to burn the flue gases (CO, CxHy and germs and dioxins.)

In the attached appendix 1 with the measurement report with reference R003-1271511PZX-V02 dated September 19, 2019 it is stated that the residence time of gases in the afterburning chamber of the furnace is 2.4 seconds at a flue gas flow rate of 4044 m³/h and a furnace volume of 2.65 m³.

2.2.6 Emission measurements

In order to demonstrate the emission equivalence, a measurement report is attached for a similar electric cremator and subsequent technology that has been set up in the Nedermaas crematorium in Geleen.

With the experience of the past 35 years of this downstream technology and in which a similar filter installation is placed behind the electric cremation oven of the crematorium, we can and may assume that behind all the previously installed gas-fired cremation ovens (about 110 units) from DFW that the emissions with regard to particulate matter, dioxins and mercury (heavy metals) from this installation are at least the same as from a gas-fired cremation installation.

All measurements at the cremation ovens and subsequent techniques installed by DFW in the Netherlands show that the requirements set in the Activities Decree with regard to air emissions are amply met.

The big difference is that large reductions in CO₂ and NO_x emissions (by more than 50%) are achieved with the new technology, because natural gas is not used.

Because the gas burners are missing in an electric oven, this has an effect on

a) a lower flue gas volume flow and

b) a relatively higher oxygen content during the combustion process because there are no gas burners that could cause a reduction in oxygen in combination with air.

TMC/ DFW Europe

Appendix 1 shows the measurement report with reference R003-1271511PZX-V02 dated 19 September 2019 from Crematorium Nedermaas in Geleen with such an electric cremator and downstream technology, indicating that this new electric cremation furnace installation with downstream technology meets the requirements. The measurement report indicates that this electrically operated installation also meets at least the same environmental quality for gas-fired ovens.

The entire report has been released for publication by DFW.

2.2.7 Process controls and safety features

It is an electric cremator and no natural gas is used. Operating an electrical installation differs from the usual gas-fired installations, but the current legislation and regulations will continue to be complied with insofar as relevant. (Mainly the AIM and the Bal, Activities Regulation Decree.)

No later than six months after the electric cremator installation has been put into use, and thereafter annually, the proper functioning of the installation is checked by an expert. At least the operation of the automatic controls and the continuous measuring equipment is checked. This in accordance with Article 4.112 paragraph 9 of the Activities Regulation.

Attachments

- Appendix 1** Emission measurement report Tauw R003 1271511 PZX V02 dated Sep 19. 2019
- Appendix 2** Information DFW Electric Cremator and Automatic Feeder (ATM)
- Appendix 3** Subsequent technology
- Appendix 4** Cremulator
- Appendix 5** Ash processing



KIRKKO HELSINGISSÄ
KYRKAN I HELSINGFORS

Vähähiilisen krematorion hankintaselvitys

Helsingin seurakuntayhtymän
toimeksiannosta kirjoittanut
Macon Oy

macon